

I. DISPOSICIÓNS XERAIS

MINISTERIO DA PRESIDENCIA

10879 *Real decreto 751/2011, do 27 de maio, polo que se aproba a Instrución de aceiro estrutural (EAE).*

As estruturas destinadas a obras de enxeñaría civil e de edificación construídas en aceiro, xunto coas realizadas en formigón e as executadas conxuntamente en aceiro e formigón, constitúen a inmensa maioría das estruturas existentes construídas no último século e das novas que se proxectan actualmente no noso país.

O tratamento de que foron obxecto as estruturas na regulamentación técnica existente evidencia unha maior atención sobre as proxectadas e construídas en formigón fronte ás realizadas con outros materiais construtivos. Isto, entre outras razóns, é debido ao importante desenvolvemento que, desde comezos do pasado século, tivo o formigón, tanto na construción en xeral como nas estruturas en particular, consecuencia do avance producido no coñecemento dos seus materiais compoñentes, no seu comportamento estrutural e na tecnoloxía da súa fabricación, entre outros aspectos, o que, pola súa vez, ten propiciado a súa maior utilización.

Polo que respecta ás estruturas construídas en aceiro, foi o século XIX a época en que o aceiro tivo gran protagonismo na construción de todo tipo de estruturas, fundamentalmente de enxeñaría civil, debido sobre todo ao desenvolvemento do sector industrial relacionado coa súa fabricación. Como no resto do mundo, no transcurso do século XX iníciase en España un paulatino desprazamento do aceiro como produto de construción empregado nas estruturas en favor do formigón.

A proliferación de estruturas de formigón, tanto en obras de edificación como nas de enxeñaría civil, fixo que se lle prestase unha atención preferente á súa seguridade, resistencia e estabilidade, pois as estruturas son responsables da seguridade das construcións que nelas se sustentan e, polo tanto, dos usuarios que as utilizan. Por iso, os requisitos e especificacións exixibles aos seus elementos constituíntes, ao cálculo, ao seu proxecto e á súa construción, foron e son obxecto de atención especial, o que se traduciu, para estas estruturas, na creación dunha comisión interministerial permanente que atendese as cuestións citadas, establecéndose entre os seus fins e obxectivos a elaboración de propostas de proxecto de instrucións relativas ao cálculo, execución e control de estruturas de formigón, tendo en conta a necesaria seguridade exixible a elas nun marco económico razoable. A citada comisión elaborou a vixente «Instrución de formigón estrutural (EHE-08)», aprobada mediante o Real decreto 1247/2008, do 18 de xullo.

No que ás estruturas de aceiro se refire, ata o momento a normativa de obrigado cumprimento limitouse ao ámbito da edificación. Estivo formada inicialmente por unha serie de normas MV e NBE aprobadas por varios reais decretos entre os anos 1966 e 1982, que quedaron modificadas e agrupadas na NBE EA-95 «Estruturas de aceiro en edificación», aprobada en 1995. Esta norma básica constituíu un paso previo á posterior adaptación da regulamentación ao «Eurocódigo para as estruturas de aceiro», que se produciu coa aprobación, mediante o Real decreto 314/2006, do 17 de marzo, do Documento básico DB SE-A «Aceiro», integrante da parte II do Código técnico da edificación (CTE).

No ámbito europeo producíronse novidades técnicas e regulamentarias en relación coas estruturas de aceiro que resulta conveniente ter en consideración ou incorporar, de ser o caso, á regulamentación técnica existente ou que puider existir no ámbito destas estruturas. Así, o Comité Europeo de Normalización desenvolveu e actualizou, neste ámbito, o Programa de eurocódigos estruturais e, en particular, un conxunto de normas baixo a epígrafe EN-1993 «Eurocódigo 3. Proxecto de estruturas de aceiro». Ademais disto, produciuse o desenvolvemento e implantación da marcación CE en numerosos

produtos de construción, e, en particular, nos que se incorporan ás estruturas de aceiro, en virtude do disposto na Directiva 89/106/CEE, do Consello, do 21 de decembro de 1988, relativa á aproximación das disposicións legais, regulamentarias e administrativas dos Estados membros sobre os produtos de construción, incorporada ao noso ordenamento xurídico polo Real decreto 1630/1992, do 29 de decembro.

No ámbito interno, e seguindo o exemplo da actuación levada a cabo en relación co formigón, mediante a Orde do 26 de abril de 2001, do ministro da Presidencia, creouse a Comisión Interministerial Permanente de Estruturas de Aceiro. Este órgano colexiado, en uso das funcións que lle foron atribuídas na súa disposición de creación, elaborou e propuxo a aprobación do proxecto de «Instrución de aceiro estrutural (EAE)».

A nova instrución que se aproba é de carácter eminentemente técnico e adopta un enfoque prestacional en liña coas instrucións e códigos máis recentes, como é o citado CTE. Isto permite non limitar a gama de posibles solucións e fomenta o uso de novos produtos e técnicas innovadoras. Para iso, establécense e cuantifícanse unhas exixencias de forma que poidan ser obxecto de comprobación e cuxo cumprimento acredita a satisfacción dos requisitos exixibles ás estruturas, e en especial o relativo á seguridade. Este requisito encádrase no formato de seguridade inspirador da nova instrución cun enfoque análogo ao da Instrución de formigón estrutural (EHE-08) e concordante co adoptado nas normas europeas denominadas «Eurocódigos estruturais».

A «Instrución de aceiro estrutural (EAE)» configúrase así como un marco técnico coherente co establecido na normativa técnica europea e harmonizado coas disposicións relativas á libre circulación de produtos de construción dentro do mercado único europeo, e, en particular, coa Directiva 89/106/CEE.

Na Instrución EAE aténdese ás cuestións relativas a bases de proxecto e análise estrutural, así como aos requisitos técnicos exixibles aos materiais compoñentes, á durabilidade e vida útil das estruturas, á acción de incendio, e a aspectos relativos a sostibilidade, incorporando, en relación con estes, criterios de proxecto e execución. Esta instrución, cuxo ámbito de aplicación se estende a todas as estruturas e elementos de aceiro estrutural, tanto de edificación como de enxeñaría civil, verase complementada coa próxima revisión do xa citado Documento básico «DB SE-A: Aceiro» do Código técnico da edificación, cuxo ámbito de aplicación se limitará a estruturas de aceiro de edificación convencional, e cuxo contido se adaptará a esta instrución de carácter máis xeral e dando solucións completamente coherentes coa desta instrución.

O obxecto, polo tanto, deste real decreto é a aprobación da «Instrución de aceiro estrutural (EAE)», na que se incorporan as cuestións que con carácter xeral foron citadas anteriormente.

Na tramitación deste real decreto cumpríronse os trámites establecidos na Lei 50/2007, do 27 de novembro, do Goberno, e no Real decreto 1337/1999, do 31 de xullo, polo que se regula a remisión de información en materia de normas e regulamentacións técnicas e das regras relativas aos servizos da sociedade da información, en aplicación da Directiva 98/34/CE do Parlamento Europeo e do Consello, do 22 de xuño, pola que se establece un procedemento de información en materia de normas e regulamentacións técnicas, e foron oídos os representantes das comunidades autónomas na Subcomisión Administrativa para a Calidade da Edificación, así como as asociacións profesionais e os sectores afectados.

Este real decreto adóptase por iniciativa da Comisión Permanente de Estruturas de Aceiro.

Na súa virtude, por proposta do ministro de Fomento e do ministro de Industria, Turismo e Comercio, e logo de deliberación do Consello de Ministros na súa reunión do día 27 de maio de 2011,

DISPOÑO:

Artigo 1. *Aprobación da Instrución de aceiro estrutural (EAE).*

Apróbase a «Instrución de aceiro estrutural (EAE)», que se insire a seguir.

Artigo 2. *Ámbito de aplicación.*

O ámbito de aplicación da «Instrución de aceiro estrutural (EAE)» esténdese, agás as excepcións recollidas nela, a todas as estruturas e elementos de aceiro estrutural, tanto de edificación como de enxeñaría civil.

Nas obras de edificación poderanse empregar indistintamente esta instrución e o Documento básico DB SE-A aceiro do Código técnico da edificación.

Disposición adicional única. *Normativa de prevención de riscos laborais.*

No relativo aos aspectos de prevención de riscos laborais que se deben ter en conta no proxecto e execución das estruturas e elementos estruturais de aceiro, observárase o disposto na normativa aplicable sobre a materia e, en particular, o establecido no Real decreto 1627/1997, do 24 de outubro, polo que se establecen disposicións mínimas de seguridade e saúde nas obras de construción.

Disposición transitoria única. *Aplicación a proxectos e obras.*

O disposto neste real decreto non será de aplicación aos proxectos cuxa orde de redacción ou de estudo, no ámbito das administracións públicas, ou encargo, noutros casos, se fíxese con anterioridade á súa entrada en vigor, nin ás obras deles derivadas, sempre que estas se inicien nun prazo non superior a un ano para as obras de edificación, nin de tres anos para as de enxeñaría civil, desde a dita entrada en vigor, salvo que por parte do correspondente órgano competente ou, de ser o caso, por parte do promotor se acordase acomodar o proxecto ao contido da «Instrución de aceiro estrutural (EAE)».

Disposición derogatoria única. *Derrogación normativa.*

No ámbito de aplicación deste real decreto, quedan derogadas cantas disposicións de igual ou inferior rango se opoñan ao establecido neste real decreto.

Disposición derradeira primeira. *Título competencial.*

Este real decreto dítase ao abeiro do disposto na regra 13ª do artigo 149.1 da Constitución, que lle atribúe ao Estado a competencia en materia de bases e coordinación da actividade económica.

Disposición derradeira segunda. *Facultade de desenvolvemento.*

Facúltase o ministro de Fomento para que poida modificar, por proposta da Comisión Permanente de Estruturas de Aceiro, a relación de normas referenciadas no anexo 2 da «Instrución de aceiro estrutural (EAE)», cando tal modificación teña por obxecto acomodar o seu contido ao progreso da técnica ou á normativa comunitaria, así como para ditar as disposicións necesarias para o desenvolvemento e aplicación deste real decreto.

Disposición derradeira terceira. *Entrada en vigor.*

Este real decreto entrará en vigor aos seis meses da súa publicación no «Boletín Oficial del Estado».

Dado en Madrid o 27 de maio de 2011.

JUAN CARLOS R.

O ministro da Presidencia,
RAMÓN JÁUREGUI ATONDO

ÍNDICE ARTICULADO

TÍTULO PRELIMINAR. CONDICIÓN XERAIS E REQUISITOS

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Artigo 1. Obxecto

Artigo 2. Ámbito de aplicación

Artigo 3. Consideracións xerais

Artigo 4. Condicións xerais

4.1. Condicións administrativas

4.2. Condicións técnicas para a conformidade con esta instrución

4.2.1. Condicións técnicas dos produtos, equipamentos e sistemas

4.2.2. Condicións técnicas do proxecto

4.2.3. Condicións técnicas da execución

Artigo 5. Requisitos

5.1. Exixencias

5.1.1. Exixencias relativas ao requisito de seguridade estrutural

5.1.1.1. Exixencia de resistencia e estabilidade

5.1.1.2. Exixencia de aptitude ao servizo

5.1.2. Exixencias relativas ao requisito de seguridade en caso de incendio

5.1.2.1. Exixencia de resistencia da estrutura fronte ao lume

5.1.3. Exixencias relativas ao requisito de hixiene, saúde e medio ambiente

5.1.3.1. Exixencia de calidade ambiental da execución

TÍTULO 1.º BASES DE PROXECTO

CAPÍTULO II. PRINCIPIOS XERAIS E MÉTODO DOS ESTADOS LÍMITE

Artigo 6. Criterios de seguridade

6.1. Principios

6.2. Clases de execución

6.2.1. Nivel de risco

6.2.2. Condicións de execución e uso

6.2.2.1. Categorías de uso

6.2.2.2. Categoría de execución

6.2.3. Determinación da clase de execución

6.3. Comprobación estrutural mediante procedementos de cálculo

6.4. Comprobación estrutural mediante ensaios

6.4.1. Plan de ensaios

6.4.2. Execución de ensaios

6.4.3. Avaliación de ensaios

6.4.4. Documentación

Artigo 7. Situacións de proxecto

Artigo 8. Bases de cálculo

8.1. O método dos estados límite

8.1.1. Estados límite

8.1.2. Estados límite últimos

8.1.3. Estados límite de servizo

8.2. Bases de cálculo orientadas á durabilidade

8.2.1. Definición do tipo de ambiente

8.2.2. Clases de exposición ambiental en relación coa corrosión do aceiro

CAPÍTULO III. ACCIÓN

Artigo 9. Clasificación de accións

9.1. Clasificación das accións pola súa natureza

9.2. Clasificación das accións pola súa variación no tempo

9.3. Clasificación das accións pola súa variación no espazo

Artigo 10. Valores característicos das accións

- 10.1. Xeneralidades
- 10.2. Valores característicos das accións permanentes

Artigo 11. Valores representativos das accións

Artigo 12. Valores de cálculo das accións

- 12.1. Estados límite últimos
- 12.2. Estados límite de servizo

Artigo 13. Combinación de accións

- 13.1. Principios xerais
- 13.2. Estados límite últimos
- 13.3. Estados límite de servizo

CAPÍTULO IV. MATERIAIS E XEOMETRÍA

Artigo 14. Xeneralidades

Artigo 15. Valores característicos e de cálculo das propiedades dos materiais

- 15.1. Valores característicos
- 15.2. Valores de cálculo
- 15.3. Coeficientes parciais para a resistencia do aceiro

Artigo 16. Xeometría

- 16.1. Valores característicos e de cálculo
- 16.2. Imperfeccións

TÍTULO 2.º ANÁLISE ESTRUTURAL

CAPÍTULO V. ANÁLISE ESTRUTURAL

Artigo 17. Xeneralidades

Artigo 18. Idealización da estrutura

- 18.1. Modelos estruturais
- 18.2. Modelos dos elementos
 - 18.2.1. Luces de cálculo
 - 18.2.2. Constantes estáticas das seccións transversais
 - 18.2.3. Consideración dos efectos da distorsión en elementos de sección pechada
 - 18.2.4. Consideración dos efectos da torsión mixta en elementos con seccións abertas ou pechadas
 - 18.2.5. Rixidez a torsión de seccións semipechadas con triangulacións ou marcos nalgunha das súas caras
- 18.3. Modelos da rixidez das unións
- 18.4. Modelos da rixidez das cimentacións

Artigo 19. Análise global

- 19.1. Métodos de análise
- 19.2. Consideración da non linearidade do material
- 19.3. Análise global elástica
 - 19.3.1. Análise global elástica con redistribución limitada
- 19.4. Análise global plástica
- 19.5. Método xeral de análise non lineal elastoplástica
 - 19.5.1. Seccións sen rixidizadores lonxitudinais
 - 19.5.2. Seccións con rixidizadores lonxitudinais de alma
 - 19.5.3. Seccións con rixidizadores lonxitudinais de alas comprimidas
- 19.6. Influencia da xeometría deformada da estrutura

Artigo 20. Clasificación das seccións transversais

- 20.1. Bases
- 20.2. Clasificación das seccións transversais
- 20.3. Criterios de asignación de clase en seccións non rixidizadas
- 20.4. Criterios de asignación de clase en seccións con rixidizadores lonxitudinais
- 20.5. Condicións das seccións transversais para unha análise global plástica
- 20.6. Condicións das seccións transversais para unha análise global elástica
- 20.7. Características da sección reducida de seccións transversais esveltas

Artigo 21. Consideración dos efectos do arrastre por cortante

- 21.1. Bases
- 21.2. Largo eficaz en función do tipo de análise
- 21.3. Largo eficaz de alas non rixidizadas en estados límite de servizo e fatiga
 - 21.3.1. Lonxitudes de referencia
 - 21.3.2. Coeficientes ψ_{ei} elásticos. Cargas uniformemente repartidas en vigas continuas con luces compensadas
 - 21.3.3. Coeficientes ψ_{ei} elásticos. Casos especiais
 - 21.3.4. Elementos baixo solicitacións combinadas locais e globais
 - 21.3.5. Distribución aproximada de tensións normais nas alas
- 21.4. Largo eficaz de alas rixidizadas en estados límite de servizo e fatiga
- 21.5. Largo eficaz de alas en estados límite últimos
- 21.6. Largo eficaz para accións localizadas aplicadas no plano da alma

Artigo 22. Consideración das imperfeccións

- 22.1. Bases
- 22.2. Método de aplicación
- 22.3. Imperfeccións na análise global da estrutura
 - 22.3.1. Imperfeccións laterais globais equivalentes
 - 22.3.2. Curvaturas iniciais equivalentes nos elementos comprimidos
 - 22.3.3. Forzas transversais equivalentes ás imperfeccións
 - 22.3.4. Imperfeccións para a análise global de arcos
 - 22.3.4.1. Empenamento no plano do arco
 - 22.3.4.2. Empenamento fóra do plano do arco
 - 22.3.5. Imperfeccións xeométricas afíns ás formas de empenamento en estruturas complexas
- 22.4. Imperfeccións na análise de sistemas de arriostamento
 - 22.4.1. Forzas transversais equivalentes sobre o arriostamento
- 22.5. Imperfeccións na análise local de elementos illados

Artigo 23. Estabilidade lateral das estruturas

- 23.1. Rixidez lateral
- 23.2. Clasificación de estruturas intranslacionais e translacionais
 - 23.2.1. Criterio de intranslacionalidade en estruturas convencionais de edificación
- 23.3. Clasificación de estruturas arriostadas ou non arriostadas
- 23.4. Análise dos sistemas de arriostamento

Artigo 24. Métodos de análise da estabilidade global de estruturas

- 24.1. Principios básicos
- 24.2. Análise elástica de estruturas translacionais
- 24.3. Análise plástica de estruturas translacionais
 - 24.3.1. Requisitos nos soportes para a análise plástica
- 24.4. Método xeral de análise non lineal en teoría de 2ª orde

TÍTULO 3.º PROPIEDADES TECNOLÓXICAS DOS MATERIAIS E DURABILIDADE**CAPÍTULO VI. MATERIAIS****Artigo 25. Xeneralidades****Artigo 26. Características dos aceiros**

- 26.1. Composición química
- 26.2. Características mecánicas
- 26.3. Requisitos de ductilidade
- 26.4. Características tecnolóxicas
- 26.5. Determinación das características dos aceiros
 - 26.5.1. Composición química
 - 26.5.2. Características de tracción
 - 26.5.3. Resiliencia
 - 26.5.4. Tenacidade de fractura

- 26.5.5. Soldabilidade (carbono equivalente)
- 26.5.6. Características de dobramento
- 26.5.7. Resistencia á rotura laminar

Artigo 27. Tipos de aceiro

- 27.1. Aceiros non aliados laminados en quente
- 27.2. Aceiros con características especiais
 - 27.2.1. Aceiros soldables de gran fino, na condición de normalizado
 - 27.2.2. Aceiros soldables de gran fino, laminados termomecanicamente
 - 27.2.3. Aceiros con resistencia mellorada á corrosión atmosférica (aceiros patinables)
 - 27.2.4. Aceiros de alto límite elástico, na condición de temperado
 - 27.2.5. Aceiros con resistencia mellorada á deformación na dirección perpendicular á superficie do produto

Artigo 28. Produtos de aceiro

- 28.1. Perfís e chapas de sección chea laminados en quente
- 28.2. Perfís de sección oca acabados en quente
- 28.3. Perfís de sección oca conformados en frío
- 28.4. Perfís de sección aberta conformados en frío
- 28.5. Perfís e chapas non normalizados

Artigo 29. Medios de unión

- 29.1. Xeneralidades
- 29.2. Parafusos, torcas e arandelas
- 29.3. Tipos especiais de parafusos
 - 29.3.1. Parafusos de cabeza abelanada
 - 29.3.2. Parafusos calibrados
 - 29.3.3. Parafusos de inxección
- 29.4. Bulóns
- 29.5. Material de achega

Artigo 30. Sistemas de protección

- 30.1. Tipos de pintura
- 30.2. Sistemas de pintura
- 30.3. Prescricións e ensaios dos sistemas de pintura
- 30.4. Prescricións para os sistemas de protección con proxección térmica de cinc e de galvanización en quente

CAPÍTULO VII. DURABILIDADE

Artigo 31. Durabilidade das estruturas de aceiro

- 31.1. Xeneralidades
 - 31.1.1. Consideración da durabilidade na fase de proxecto
 - 31.1.2. Consideración da durabilidade na fase de execución
- 31.2. Estratexia para a durabilidade
 - 31.2.1. Prescricións xerais
 - 31.2.2. Selección da forma estrutural
 - 31.2.2.1. Sobregrosos en superficies inaccesibles
 - 31.2.2.2. Utilización de aceiros con resistencia mellorada á corrosión atmosférica
 - 31.2.3. Detalles construtivos
 - 31.2.4. Medidas especiais de protección
- 31.3. Condicións para facilitar a inspección e o mantemento

TÍTULO 4.º DIMENSIONAMENTO E COMPROBACIÓN

CAPÍTULO VIII. DATOS DOS MATERIAIS PARA O PROXECTO

Artigo 32. Datos de proxecto do aceiro estrutural

- 32.1. Valores de cálculo das propiedades do material
- 32.2. Diagramas tensión-deformación
- 32.3. Tenacidade de fractura

32.4. Outros datos para o proxecto

CAPÍTULO IX. ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS

Artigo 33. Estado límite de equilibrio

Artigo 34. Estado límite de resistencia das seccións

34.1. Principios xerais do cálculo

34.1.1. Xeneralidades

34.1.2. Características das seccións transversais

34.1.2.1. Características da sección transversal bruta

34.1.2.2. Área neta

34.1.2.3. Características da sección reducida en seccións con almas en clase 3 e alas en clase 1 ou 2

34.1.2.4. Características da sección reducida en seccións de clase 4

34.1.2.5. Efectos do arrastre por cortante

34.2. Esfuerzo axial de tracción

34.3. Esfuerzo axial de compresión

34.4. Momento flector

34.5. Esfuerzo cortante

34.6. Torsión

34.7. Interacción de esforzos

34.7.1. Flexión e cortante

34.7.2. Flexión e esforzo axial

34.7.2.1. Seccións transversais de clase 1 e 2

34.7.2.2. Seccións transversais de clase 3

34.7.2.3. Seccións transversais de clase 4

34.7.3. Flexión, cortante e esforzo axial

Artigo 35. Estado límite de inestabilidade

35.1. Elementos sometidos a compresión

35.1.1. Empenamento de elementos de sección constante

35.1.2. Curvas de empenamento

35.1.3. Esvelteza para empenamento por flexión

35.1.4. Esvelteza para empenamento por torsión e empenamento por torsión e flexión

35.2. Elementos sometidos a flexión

35.2.1. Empenamento lateral de elementos de sección constante

35.2.2. Curvas de empenamento lateral. Caso xeral

35.2.2.1. Curvas de empenamento lateral para perfís laminados ou seccións soldadas equivalentes

35.2.3. Método simplificado para comprobación de vigas con arriostamentos laterais en edificios

35.3. Elementos sometidos a compresión e flexión

35.4. Elementos planos rixidizados lonxitudinalmente

35.5. Aboladura da alma a cortante

35.5.1. Xeneralidades

35.5.2. Resistencia á aboladura por cortante

35.5.2.1. Contribución da alma

35.5.2.2. Contribución das alas

35.6. Resistencia da alma a cargas concentradas transversais

35.7. Interacción

35.7.1. Cortante, flexión e esforzo axial

35.7.2. Cargas concentradas transversais, flexión e esforzo axial

35.8. Aboladura da alma inducida pola ala comprimida

35.9. Rixidizadores

35.9.1. Xeneralidades

35.9.2. Tensións lonxitudinais

35.9.3. Cortante

- 35.9.3.1. Panel extremo ríxido
- 35.9.3.2. Rixidizadores actuando como extremos non ríxidos
- 35.9.3.3. Rixidizadores transversais intermedios
- 35.9.3.4. Rixidizadores lonxitudinais
- 35.9.3.5. Soldaduras
- 35.9.4. Cargas transversais concentradas

CAPÍTULO X. ESTADOS LÍMITE DE SERVIZO

Artigo 36. Bases

- 36.1. Estados límite de servizo en edificios
- 36.2. Estados límite de servizo en pontes
- 36.3. Modelos de cálculo
- 36.4. Requisitos de proxecto

Artigo 37. Estado límite de deformacións

- 37.1. Consideracións xerais
- 37.2. Límites de deformacións en edificios
 - 37.2.1. Deformacións verticais
 - 37.2.2. Deformacións horizontais
 - 37.2.3. Requisitos para a evacuación de augas
- 37.3. Límites de deformacións en pontes e pasarelas
 - 37.3.1. Pontes de estrada e pasarelas
 - 37.3.2. Pontes de ferrocarril
 - 37.3.3. Requisitos para a drenaxe das plataformas

Artigo 38. Estado límite de vibracións

- 38.1. Consideracións xerais
- 38.2. Comprobación de vibracións en edificacións de uso público
- 38.3. Comprobación de vibracións en pontes e pasarelas
 - 38.3.1. Pontes de estrada
 - 38.3.2. Pasarelas
 - 38.3.3. Pontes de ferrocarril
- 38.4. Vibracións inducidas polo vento

Artigo 39. Estado límite de desprazamento en unións con parafusos pretensados de alta resistencia

Artigo 40. Estado límite de deformacións transversais en paneis esveltos

- 40.1. Consideracións xerais
- 40.2. Control de estabilidade de paneis

Artigo 41. Estado límite de plastificacións locais

- 41.1. Consideracións xerais
- 41.2. Limitacións tensionais

CAPÍTULO XI. ESTADO LÍMITE DE FATIGA

Artigo 42. Estado límite de fatiga

- 42.1. Xeneralidades
- 42.2. Símbolos
- 42.3. Comprobación da fatiga
 - 42.3.1. Método do dano acumulado
 - 42.3.2. Método simplificado para pontes
 - 42.3.2.1. Combinación de dano de carreiras local e global de tensións
 - 42.3.2.2. Factores λ de dano equivalente para pontes de estrada
 - 42.3.2.3. Factores λ de dano equivalente para pontes de estrada
 - 42.3.3. Método simplificado para estruturas de aceiro
- 42.4. Coeficientes parciais para a resistencia á fatiga
- 42.5. Cálculo das carreiras de tensións
- 42.6. Resistencia á fatiga

CAPÍTULO XII. PROXECTO DE ESTRUTURAS DE ACEIRO FRENTE AO INCENDIO

Artigo 43. Consideracións xerais

- 43.1. Bases
- 43.2. Acción de incendio a considerar no proxecto de estruturas de aceiro en

edificación

43.3. Procedementos de comprobación da seguridade das estruturas de aceiro ante o incendio

Artigo 44. Accións mecánicas e indirectas concomitantes co incendio

Artigo 45. Propiedades dos materiais sometidos á acción do incendio

45.1. Características mecánicas dos aceiros estruturais

45.2. Propiedades dos materiais de protección

Artigo 46. Comprobación resistente de elementos prismáticos sometidos á acción do incendio

46.1. Clasificación das seccións transversais

46.2. Elementos sometidos a esforzo axial de tracción

46.3. Elementos sometidos a esforzo axial de compresión

46.4. Vigas arriostadas fronte ao empenamento lateral

46.5. Empenamento lateral de elementos sometidos a flexión

46.6. Elementos sometidos a compresión e flexión

46.7. Elementos cuxa sección é de clase 4

46.8. Comprobación no dominio das temperaturas

46.8.1. Elementos cuxa sección é de clase 1, 2 ou 3

46.8.2. Elementos cuxa sección é de clase 4

Artigo 47. Comprobación da resistencia das unións

Artigo 48. Cálculo de temperaturas no aceiro

48.1. Elementos sen protección

48.2. Elementos con revestimento protector

48.3. Características exixidas aos materiais de protección

48.4. Conversión de valores experimentais

CAPÍTULO XIII. PROXECTO DE ESTRUTURAS DE ACEIRO FRONTE AO SISMO

Artigo 49. Xeneralidades

Artigo 50. Bases de proxecto

50.1. Estados límite

50.2. Accións

Artigo 51. Análise estrutural

Artigo 52. Materiais

Artigo 53. Elementos estruturais

53.1. Xeneralidades

53.2. Vigas

53.3. Soportes

53.4. Pórticos

Artigo 54. Unións

TÍTULO 5.º UNIÓN E ELEMENTOS ESTRUTURAS

CAPÍTULO XIV. UNIÓN

Artigo 55. Xeneralidades

55.1. Bases

55.2. Fabricación e montaxe

55.3. Transmisión de esforzos

55.4. Nós de estruturas trianguladas

55.5. Empalmes

55.6. Unións en obra

55.7. Unións híbridas

Artigo 56. Determinación de esforzos nas unións e repartición entre os medios de unión

56.1. Esforzos nas unións.

56.2. Repartición de esforzos

Artigo 57. Clasificación das unións sometidas a momento flector

57.1. Xeneralidades

- 57.2. Diagramas momento-rotación
- 57.3. Clasificación das unións en función da súa resistencia
- 57.4. Clasificación das unións en función da súa rixidez
- 57.5. Modelaxe das unións na análise global

Artigo 58. Unións aparafusadas

- 58.1. Tipos de parafusos
- 58.2. Categorias de unións aparafusadas
- 58.3. Orificios para parafusos
- 58.4. Disposicións construtivas
- 58.5. Resistencia de elementos con orificios
 - 58.5.1. Resistencia a rotura
 - 58.5.2. Angulares unidos por un lado e outros elementos asimetricamente unidos en tracción
 - 58.5.3. Angulares de reforzo
- 58.6. Resistencias dun parafuso a cortante e esmagamento
- 58.7. Resistencia a tracción
 - 58.7.1. Interacción cortante-tracción
- 58.8. Resistencia a desprazamento
- 58.9. Unións con bulóns
- 58.10. Repartición de esforzos entre parafusos

Artigo 59. Unións soldadas

- 59.1. Xeneralidades
 - 59.1.1. Cualificacións
 - 59.1.2. Métodos de soldadura autorizados
- 59.2. Tipos de unións e de cordóns
- 59.3. Disposicións construtivas para cordóns en ángulo
 - 59.3.1. Xeneralidades
 - 59.3.2. Grosor de garganta
 - 59.3.3. Terminación
 - 59.3.4. Cordóns descontínuos
 - 59.3.5. Excentricidades
 - 59.3.6. Lonxitude mínima para cordóns laterais
 - 59.3.7. Solapamentos
- 59.4. Disposicións construtivas para cordóns a tope
- 59.5. Soldaduras de botón e soldaduras en rañura
- 59.6. Rotura laminar
- 59.7. Grosor de garganta
- 59.8. Resistencia de cordóns en ángulo
 - 59.8.1. Lonxitude efectiva dun cordón de soldadura en ángulo
 - 59.8.2. Resistencia
- 59.9. Resistencia de cordóns a tope
 - 59.9.1. Resistencia de cordóns de penetración completa
 - 59.9.2. Resistencia de cordóns de penetración parcial
- 59.10. Resistencia de soldaduras de botón ou en rañura
- 59.11. Repartición de esforzos entre os cordóns dunha unión

Artigo 60. Unións entre elementos sometidos a esforzo axial

- 60.1. Unións planas centradas
 - 60.1.1. Unións planas centradas soldadas
 - 60.1.2. Unións planas centradas aparafusadas
- 60.2. Unións planas excéntricas
 - 60.2.1. Unións planas excéntricas soldadas
 - 60.2.2. Unións planas excéntricas aparafusadas
- 60.3. Unións con cartelas

Artigo 61. Unións entre elementos sometidos a flexión e cortante

- 61.1. Empalmes con cobrexuntas

- 61.2. Empalmes con chapa frontal
 - 61.2.1. Momento resistente da unión
- 61.3. Unións mediante dobre casquete de angular
- 61.4. Unións mediante soldadura
 - 61.4.1. Unións de vigas mediante soldadura directa da alma
- 61.5. Apoio sobre casquete non rixidizado
- 61.6. Apoio sobre casquete rixidizado

Artigo 62. Unións viga-soporte

- 62.1. Unións viga-soporte soldadas
 - 62.1.1. Largura eficaz de ala e soldadura
 - 62.1.2. Resistencia do soporte. Zonas traccionada e comprimida non rixidizadas
 - 62.1.3. Resistencia do soporte. Zonas traccionada e comprimida rixidizadas
 - 62.1.4. Resistencia do soporte. Zona a cortante
 - 62.1.5. Momento resistente da unión
- 62.2. Unións viga-soporte aparafusadas
 - 62.2.1. Resistencia do lado soporte
 - 62.2.2. Momento resistente da unión
- 62.3. Rixidez da unión
- 62.4. Capacidade de rotación da unión
 - 62.4.1. Xeral
 - 62.4.2. Unións soldadas
 - 62.4.3. Unións aparafusadas

Artigo 63. Unións híbridas con parafusos e soldadura

- 63.1. Tipos de parafusos
- 63.2. Execución da unión
- 63.3. Reforzos

Artigo 64. Unións entre pezas de sección tubular

- 64.1. Ámbito de aplicación
- 64.2. Definicións e notación
- 64.3. Soldaduras
- 64.4. Fabricación
- 64.5. Modos de esgotamento de unións entre perfís ocos
- 64.6. Unións soldadas entre perfís ocos de sección circular SHC
 - 64.6.1. Xeneralidades
 - 64.6.2. Unións planas
 - 64.6.3. Unións espaciais
- 64.7. Unións soldadas entre diagonais ou montantes SHC ou SHR e cordóns SHR
 - 64.7.1. Xeneralidades
 - 64.7.2. Unións planas
 - 64.7.2.1. Unións non reforzadas
 - 64.7.2.2. Unións reforzadas
 - 64.7.3. Unións espaciais
- 64.8. Unións soldadas entre diagonais ou montantes SHC ou SHR e cordóns de sección en I ou H
- 64.9. Unións soldadas entre diagonais ou montantes SHC ou SHR e cordóns de sección en U

Artigo 65. Unións á cimentación

- 65.1. Xeneralidades
- 65.2. Placas de base
 - 65.2.1. Transmisión de tensións tanxenciais
 - 65.2.2. Transmisión de esforzos de compresión
 - 65.2.3. Transmisión de esforzos de tracción
 - 65.2.4. Transmisión de esforzos de flexión

65.2.5. Rixidez da placa de base

65.3. Outros métodos de unión de soportes á cimentación

Artigo 66. Elementos de apoio

66.1. Dispositivos de apoio de neopreno

66.2. Dispositivos de apoio metálicos

CAPÍTULO XV. ELEMENTOS ESTRUCTURAIS

Artigo 67. Vigas

67.1. Vigas de alma chea

67.2. Vigas de alma alixeirada

67.2.1. Tipos de vigas de alma alixeirada

67.2.1.1. Comprobación en estado límite último

67.2.1.2. Comprobación en estado límite de servizo

Artigo 68. Tramados

Artigo 69. Forxados

Artigo 70. Soportes

70.1. Soportes de sección constante

70.2. Soportes de sección variable

70.3. Soportes sometidos a esforzo axial variable continuo

70.4. Soportes sometidos a cargas puntuais segundo a súa directriz

70.5. Soportes de sección composta

Artigo 71. Elementos compostos

71.1. Xeneralidades

71.2. Comprobación a empenamento de elementos compostos

71.2.1. Xeneralidades

71.2.2. Comprobación a empenamento nun plano perpendicular ao eixe de inercia material

71.2.3. Comprobación a empenamento nun plano perpendicular ao eixe de inercia libre

71.2.3.1. Elementos triangulados

71.2.3.2. Elementos empresillados

Artigo 72. Estructuras trianguladas

72.1. Xeneralidades

72.1.1. Determinación de esforzos

72.2. Comprobación dos elementos

72.3. Lonxitude de empenamento dos elementos no plano da estrutura

72.4. Lonxitude de empenamento dos elementos na dirección perpendicular ao plano da estrutura

72.4.1. Cordón comprimido con arriostamento transversal

72.4.2. Cordón comprimido sen arriostamento transversal

72.4.3. Montantes e diagonais

72.5. Unións

Artigo 73. Estructuras lixeiras

73.1. Xeneralidades

73.2. Ámbito de aplicación

73.3. Grosor de cálculo

73.4. Modificación do límite elástico

73.5. Terminoloxía e dimensións

73.6. Relacións largura/grosor

73.7. Curvamento de alas

73.8. Distribución de tensións non uniforme en alas

73.9. Aboladura por tensións normais

73.9.1. Introducción

73.9.2. Esvelteza de chapa

73.9.3. Largo reducido

73.10. Aboladura por tensións tanxenciais

- 73.11. Estado límite último
 - 73.11.1. Resistencia de seccións
 - 73.11.2. Resistencia de seccións de clase 3
 - 73.11.3. Resistencia a empenamento
 - 73.11.4. Curvas de empenamento
- 73.12. Estado límite de servizo
 - 73.12.1. Xeral
 - 73.12.2. Deformacións plásticas
 - 73.12.3. Frechas
- 73.13. Unións
 - 73.13.1. Xeneralidades
 - 73.13.2. Esforzos nas unións e empalmes
 - 73.13.3. Unións con fixacións mecánicas
 - 73.13.3.1. Parafusos rosca chapa
 - 73.13.3.2. Parafusos convencionais
 - 73.13.4. Unións por puntos de soldadura
 - 73.13.5. Unións por solapamento
 - 73.13.5.1. Soldadura ao arco de cordóns de ángulo
 - 73.13.5.2. Soldadura de arco de puntos

Artigo 74. Mallas

- 74.1. Estructuras tubulares

TÍTULO 6.º EXECUCIÓN

CAPÍTULO XVI. FABRICACIÓN EN TALLER

Artigo 75. Fabricación en taller

- 75.1. Xeneralidades
- 75.2. Planos de taller
 - 75.2.1. Contido
 - 75.2.2. Revisión e modificacións
- 75.3. Preparación do material
 - 75.3.1. Marcación, manipulación e almacenamento
 - 75.3.2. Enderezamento
 - 75.3.3. Corte
 - 75.3.4. Conformación
 - 75.3.5. Perforación
- 75.4. Ensamblaxe previa en taller

Artigo 76. Fixación con elementos mecánicos

- 76.1. Xeneralidades
- 76.2. Situación e tamaño dos orificios
- 76.3. Utilización de parafusos
- 76.4. Utilización de torcas
- 76.5. Utilización de arandelas
- 76.6. Apertamento de parafusos sen pretensar
- 76.7. Apertamento de parafusos pretensados
 - 76.7.1. Método da chave dinamométrica
 - 76.7.2. Método da arandela con indicación directa de tensión
 - 76.7.3. Método combinado
- 76.8. Superficies de contacto en unións resistentes ao desprazamento
- 76.9. Fixacións especiais.
- 76.10. Utilización de tipos especiais de parafusos
 - 76.10.1. Parafusos de cabeza abelanada
 - 76.10.2. Parafusos calibrados e bulóns
 - 76.10.3. Parafusos de inxección

Artigo 77. Soldadura

- 77.1. Introducción

- 77.2. Plan de soldadura
- 77.3. Proceso de soldadura
- 77.4. Cualificación do proceso de soldadura
 - 77.4.1. Procedemento de soldadura
 - 77.4.2. Cualificación de soldadores
 - 77.4.3. Coordinación da soldadura
- 77.5. Preparación e execución da soldadura
 - 77.5.1. Preparación de bordos
 - 77.5.2. Almacenamento de consumibles
 - 77.5.3. Protección contra a intemperie
 - 77.5.4. Montaxe para a soldadura
 - 77.5.5. Prequentamento
 - 77.5.6. Unións temporais
 - 77.5.7. Soldaduras de punteo
 - 77.5.8. Soldaduras en ángulo
 - 77.5.9. Soldaduras a tope
 - 77.5.9.1. Xeneralidades
 - 77.5.9.2. Soldaduras por un só lado
 - 77.5.9.3. Toma de raíz
 - 77.5.10. Soldaduras de rañura
 - 77.5.11. Soldadura de conectadores
 - 77.5.12. Tratamento post-soldadura
 - 77.5.13. Enderezado
 - 77.5.14. Execución en taller de soldaduras
- 77.6. Criterios de aceptación de soldaduras

CAPÍTULO XVII. Execución en obra

Artigo 78. Montaxe

- 78.1. Condicións da localización
- 78.2. Programa de montaxe
- 78.3. Soportes
 - 78.3.1. Implantación e colocación
 - 78.3.2. Formigonado
- 78.4. Execución da montaxe
 - 78.4.1. Planos de montaxe
 - 78.4.2. Marcación
 - 78.4.3. Manipulación e almacenamento en montaxe
 - 78.4.4. Montaxe de proba
 - 78.4.5. Métodos de montaxe
 - 78.4.6. Aliñacións

Artigo 79. Tratamento de protección

- 79.1. Xeneralidades
- 79.2. Preparación das superficies
- 79.3. Métodos de protección
 - 79.3.1. Metalización
 - 79.3.2. Galvanización en quente
 - 79.3.3. Pintado
- 79.4. Requisitos especiais
- 79.5. Protección de elementos de fixación

CAPÍTULO XVIII. TOLERANCIAS

Artigo 80. Tolerancias

- 80.1. Tolerancias normais. Xeneralidades
- 80.2. Tolerancias normais. Fabricación
- 80.3. Tolerancias normais. Montaxe
 - 80.3.1. Apoios de contacto total
- 80.4. Tolerancias normais para pontes

80.5. Tolerancias especiais

TÍTULO 7.º CONTROL

CAPÍTULO XIX. BASES XERAIS DO CONTROL

Artigo 81. Criterios xerais do control

81.1. Definicións

81.2. Axentes do control da calidade

81.2.1. Dirección facultativa

81.2.2. Laboratorios e entidades de control de calidade

81.2.2.1. Laboratorios de control

81.2.2.2. Entidades de control de calidade

Artigo 82. Condicións para a conformidade da estrutura

82.1. Plan e programa de control

82.2. Conformidade do proxecto

82.3. Conformidade dos produtos

82.3.1. Control documental das subministracións

82.3.2. Control de recepción mediante distintivos de calidade

82.3.3. Control de recepción mediante ensaios

82.4. Conformidade co proxecto

82.4.1. Control da execución mediante comprobación do control de produción do construtor

82.4.2. Control da execución mediante inspección dos procesos

82.5. Comprobación da conformidade da estrutura rematada

Artigo 83. Documentación e trazabilidade

Artigo 84. Niveis de garantía e distintivos de calidade

CAPÍTULO XX. CONTROL DE CALIDADE DO PROXECTO

Artigo 85. Control de proxecto

85.1. Xeneralidades

85.2. Niveis do control de proxecto

85.3. Documentación do control de proxecto

CAPÍTULO XXI. CONTROL DA CONFORMIDADE DOS PRODUTOS

Artigo 86. Xeneralidades

Artigo 87. Criterios xerais para a comprobación da conformidade dos produtos

87.1. Control documental

87.2. Inspección das instalacións

87.3. Toma de mostras e realización dos ensaios

Artigo 88. Criterios específicos para a comprobación da conformidade dos produtos

88.1. Produtos de aceiro

88.1.1. Comprobación da conformidade

88.1.2. Toma de mostras

88.1.3. Realización dos ensaios

88.2. Control dos medios de unión

88.2.1. Control dos parafusos, torcas, arandelas e bulóns

88.2.1.1. Especificacións

88.2.1.2. Ensaio

88.2.1.3. Criterios de aceptación ou rexeitamento

88.2.2. Control do material de achega para as soldaduras

88.2.2.1. Especificacións

88.2.2.2. Ensaio

88.2.2.3. Criterios de aceptación ou rexeitamento

88.3. Control dos sistemas de protección

88.3.1. Especificacións

88.3.2. Ensaio

88.3.3. Criterios de aceptación ou rexeitamento

CAPÍTULO XXII. CONTROL DA EXECUCIÓN

Artigo 89. Criterios xerais para o control de execución

- 89.1. Organización do control
- 89.2. Programación do control de execución
- 89.3. Niveis de control da execución
- 89.4. Lotes de execución
- 89.5. Unidades de inspección
- 89.6. Frecuencias de comprobación

Artigo 90. Comprobacións previas ao comezo da execución

Artigo 91. Control do montaxe en taller

- 91.1. Comprobacións previas ao inicio da subministración
 - 91.1.1. Comprobación documental previa á subministración
 - 91.1.2. Comprobación das instalacións
- 91.2. Control durante a subministración
 - 91.2.1. Control documental durante a subministración
 - 91.2.2. Comprobacións experimentais durante a subministración
 - 91.2.2.1. Control das operacións de corte
 - 91.2.2.2. Control dimensional dos elementos
 - 91.2.2.3. Comprobación da cualificación do persoal para a soldadura
 - 91.2.2.4. Control do procedemento de soldadura
 - 91.2.2.5. Comprobación da execución das soldaduras
 - 91.2.2.6. Control de soldaduras reparadas
 - 91.2.2.7. Control de unións aparafusadas
 - 91.2.2.8. Control do armado en taller
- 91.3. Comprobación da conformidade da montaxe
 - 91.3.1. Comprobacións previas á montaxe
 - 91.3.1.1. Memoria de montaxe
 - 91.3.1.2. Planos de montaxe
 - 91.3.1.3. Programa de inspección
 - 91.3.2. Comprobacións durante a montaxe

TÍTULO 8.º MANTEMENTO

CAPÍTULO XXIII. MANTEMENTO

Artigo 92. Recomendacións de deseño

- 92.1. Detalles
- 92.2. Accesibilidade

Artigo 93. Plan de inspección e mantemento

Artigo 94. Memoria de construción

ÍNDICE ANEXOS

ANEXO 1: NOTACIÓNS E UNIDADES

A1.1 Notación

- A1.1.1 Maiúsculas romanas
- A1.1.2 Minúsculas romanas
- A1.1.3 Maiúsculas gregas
- A1.1.4 Minúsculas gregas

A1.2 Unidades e convención de signos

ANEXO 2: RELACIÓN DE NORMAS UNE

A2.1 Normas UNE

A2.2 Normas UNE-EN

A2.3 Normas UNE-EN ISO

A2.4 Normas UNE-EN ISO/IEC

A2.5 Outras normas

ANEXO 3: DIAFRAGMAS

A3.1 Xeneralidades e ámbito de aplicación

A3.2 Dimensionamento dos diafragmas en pontes de estrada

- A3.2.1 Condicións xeométricas mínimas
- A3.2.2 Dimensionamento resistente dos diafragmas
- A3.2.3 Rixidez necesaria dos diafragmas

A3.3 Cálculo xeral dos efectos da distorsión

- A3.3.1 Cálculo da sobretensión distorsora
- A3.3.2 Cálculo da deformación por distorsión
- A3.3.3 Interacción entre o dimensionamento dos diafragmas e o cálculo lonxitudinal

ANEXO 4: CURVAS EUROPEAS DE EMPENAMENTO

ANEXO 5: LONXITUDE DE EMPENAMENTO DE ELEMENTOS COMPRIMIDOS

A5.1 Xeneralidades

A5.2 Soportes de estruturas ou pórticos de edificios

ANEXO 6: ELEMENTOS PLANOS RIXIDIZADOS LONXITUDINALMENTE

A6.1 Xeneralidades

A6.2 Resistencia fronte a tensións lonxitudinais

A6.3 Elementos planos de chapa sen rixidización lonxitudinal

A6.4 Elementos planos de chapa con rixidización lonxitudinal

- A6.4.1 Consideracións xerais
- A6.4.2 Comportamento de placa
 - A6.4.2.1 Rixidizadores lonxitudinais múltiples. Concepto de chapa ortótropa equivalente
 - A6.4.2.2 Un ou dous rixidizadores na zona comprimida. Concepto de columna equivalente sobre leito elástico
- A6.4.3 Comportamento tipo empenamento de columna
- A6.4.4 Interpolación entre comportamento de placa e de empenamento de

columna

A6.5 Comprobación

A6.6 Diagramas axial-deformación lonxitudinal ($N-e_{ap}$) 'aparentes' para chapas comprimidas rixidizadas

ANEXO 7: RIXIDIZACIÓN. DETALLES

A7.1 Xeneralidades

A7.2 Tensións lonxitudinais

- A7.2.1 Requisitos mínimos para os rixidizadores transversais
- A7.2.2 Requisitos mínimos para os rixidizadores lonxitudinais
- A7.2.3 Chapas soldadas
- A7.2.4 Orificios en rixidizadores

ANEXO 8: ACCIÓNS PARA A ANÁLISE TÉRMICA

A8.1 Xeneralidades

A8.2 Comprobación da estabilidade estrutural en situación de incendio

- A8.2.1 Resistencia ao lume exixible á estrutura
- A8.2.2 Accións térmicas. Fluxo neto de calor
- A8.2.3 Temperatura dos gases no sector de incendio. "Lumes de cálculo"

A8.3 Curvas nominais tempo-temperatura

- A8.3.1 Curva normalizada tempo-temperatura
- A8.3.2 Curva de lume exterior
- A8.3.3 Curva de hidrocarburos

A8.4 Carga de lume

- A8.4.1 Densidade de carga de lume. Valor de cálculo
- A8.4.2 Densidade de carga de lume característica
- A8.4.3 Cargas de lume protexidas
- A8.4.4 Potenciais caloríficos netos
- A8.4.5 Clasificación das cargas de lume segundo o tipo de actividade
- A8.4.6 Curvas de variación da velocidade de liberación de calor nun incendio

A8.5 Tempo equivalente de exposición ao lume

A8.6 Modelos de lume simplificados

- A8.6.1 Curvas paramétricas tempo-temperatura
- A8.6.2 Lumes localizados

A8.7 Modelos de lume avanzados

- A8.7.1 Modelos dunha zona
- A8.7.2 Modelos de dúas zonas
- A8.7.3 Modelos informáticos de dinámica de fluídos

ANEXO 9: UNIÓNS DIRECTAS DE PERFÍS TUBULARES

ANEXO 10: NIVEIS DE GARANTÍA E REQUISITOS PARA O RECOÑECIMENTO OFICIAL DOS DISTINTIVOS DE CALIDADE

A10.1 Introducción

A10.2 Niveis de garantía de produtos

A10.3 Bases técnicas para o recoñecemento oficial dos distintivos

A10.4 Requisitos de carácter xeral dos distintivos

A10.5 Requisitos de carácter específico dos distintivos

- A10.5.1 Elementos fabricados en taller
- A10.5.2 Produtos de aceiro

A10.6 Requisitos xerais do organismo certificador

A10.7 Requisitos xerais dos laboratorios verifcadores

A10.8 Requisitos relativos á instalación de produción

ANEXO 11: ÍNDICE DE CONTRIBUCIÓN DA ESTRUTURA Á SOSTIBILIDADE

A11.1 Consideracións xerais

A11.2 Criterios xerais aplicados ás estruturas de aceiro

A11.3 Método xeral de consideración de criterios de sostibilidade

A11.4 Índice de sensibilidade ambiental da estrutura de aceiro (ISMA-EA)

- A11.4.1 Definición do índice de sensibilidade ambiental
- A11.4.2 Clasificación ambiental das instalacións

A11.4.3 Criterios medioambientais e funcións representativas

A11.4.3.1 Criterio ambiental de caracterización dos produtos de aceiro

A11.4.3.2 Criterio ambiental de optimización da execución

A11.4.3.3 Criterio ambiental de sistemática do control de execución

A11.4.3.4 Criterio ambiental de optimización do aceiro

A11.4.3.5 Criterio ambiental de control dos impactos

A11.4.3.6 Criterio ambiental de xestión dos residuos

A11.5 Índice de contribución da estrutura á sostibilidade

A11.6 Comprobación dos criterios de contribución á sostibilidade

A11.6.1 Avaliación do índice de contribución da estrutura á sostibilidade no proxecto

A11.6.2 Avaliación do índice de contribución da estrutura á sostibilidade real da execución

Instrución de aceiro estrutural (EAE)

TÍTULO PRELIMINAR. CONDICIÓN XERAIS E REQUISITOS

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Artigo 1. Obxecto

Esta Instrución de aceiro estrutural (EAE) é o marco regulamentario polo que se establecen as exixencias que deben cumprir as estruturas de aceiro para satisfacer os requisitos de seguridade estrutural e seguridade en caso de incendio, ademais da protección do medio ambiente, proporcionando procedementos que permiten demostrar o seu cumprimento con suficientes garantías técnicas.

As exixencias débense cumprir no proxecto e a construción das estruturas de aceiro, así como no seu mantemento.

Esta instrución supón que o proxecto, construción e control das estruturas que constitúen o seu ámbito de aplicación son levados a cabo por técnicos e operarios cos coñecementos necesarios e a experiencia suficiente. Ademais, dáse por feito que as ditas estruturas estarán destinadas ao uso para o cal foron concibidas e serán adecuadamente mantidas durante a súa vida de servizo.

A notación, as unidades e criterios de signos e a terminoloxía empregadas nesta instrución son as indicadas no anexo 1.

Artigo 2. Ámbito de aplicación

Esta instrución é aplicable a todas as estruturas e elementos de aceiro estrutural de edificación ou de enxeñaría civil, coas excepcións seguintes:

- As estruturas realizadas con aceiros especiais, tales como os aceiros de alto límite elástico, superior a 460 N/mm², salvo en elementos de unión (parafusos, bulóns, etc.), e os aceiros provenientes de aliaxes especiais, como o aceiro inoxidable;
- os elementos estruturais mixtos de aceiro estrutural e formigón e, en xeral, as estruturas mixtas de aceiro e outro material de distinta natureza, con función resistente; e
- os elementos estruturais de formigón que forman parte dunha estrutura metálica de aceiro, como por exemplo forxados, núcleos e muros. Os ditos elementos deberán ser dimensionados e comprobados de acordo co prescrito na Instrución de formigón estrutural (EHE) vixente.

No caso de que a estrutura de aceiro se pretense con armaduras activas, todo aquilo que concirna o pretensado, no que se refire a bases de proxecto, análise estrutural, dimensionamento e comprobación, execución e control, levarase a cabo de acordo co establecido na Instrución EHE vixente.

De existir regulamentación específica de accións, esta instrución aplicarase complementariamente a ela.

Cando, á vista das características da obra, definidas pola propiedade, a estrutura se poida considerar como unha obra especial ou singular, esta instrución será de aplicación coas adaptacións e disposicións adicionais que estableza o autor do proxecto para satisfacer as exixencias definidas nesta instrución, co seu mesmo nivel de garantía.

Artigo 3. Consideracións xerais

Todos os axentes que participan no proxecto, construción, control e mantemento das estruturas de aceiro no ámbito desta instrución están obrigados a coñecela e aplicala.

Para asegurar que unha estrutura de aceiro satisfai os requisitos establecidos no artigo 5 desta instrución, os axentes que interveñan deben comprobar o cumprimento das exixencias que se establecen nesta para o proxecto, a execución, o control e o mantemento da estrutura.

Para xustificar que a estrutura cumpre as exixencias que establece esta instrución, o autor do proxecto ou a dirección facultativa, nos seus respectivos ámbitos, poderán:

- a. Adoptar solucións técnicas que sexan conformes cos procedementos que establece esta instrución, cuxa aplicación é suficiente para acreditar o cumprimento das exixencias establecidas nela, ou
- b. adoptar, para o cálculo da estrutura no proxecto, os procedementos establecidos nos eurocódigos estruturais para estruturas de aceiro, constituídos polas normas da serie EN: 1990, 1991, 1993, 1997 e 1998, xunto cos seus correspondentes anexos nacionais, cuxa aplicación se pode considerar un medio para demostrar o cumprimento das exixencias establecidas na instrución, ou
- c. adoptar solucións alternativas que se afasten parcial ou totalmente dos procedementos previstos nesta instrución. Para iso, o autor do proxecto e a dirección facultativa poden, en uso das súas atribucións, baixo a súa persoal responsabilidade e logo de conformidade da propiedade, adoptar solucións alternativas (mediante sistemas de cálculo, disposicións construtivas, procedementos de control, etc., diferentes), sempre que se xustifique documentalmente que a estrutura cumpre as exixencias desta instrución porque as súas prestacións son, polo menos, equivalentes ás que se obterían pola aplicación dos procedementos desta.

Artigo 4. Condicións xerais

4.1. Condicións administrativas

No ámbito de aplicación desta instrución, poderanse utilizar produtos de construción que estean fabricados ou comercializados legalmente nos Estados membros da Unión Europea e nos Estados asinantes do Acordo sobre o Espazo Económico Europeo e sempre que eses produtos, cumprindo a normativa de calquera Estado membro da Unión Europea, aseguren en canto á seguridade e o uso a que están destinados un nivel equivalente ao que exige esta instrución.

O dito nivel de equivalencia acreditarase conforme o establecido no artigo 4.2 ou, de ser o caso, no artigo 16 da Directiva 89/106/CEE do Consello, do 21 de decembro de 1988, relativa á aproximación das disposicións legais, regulamentarias e administrativas dos Estados membros sobre os produtos de construción.

O disposto nos parágrafos anteriores será tamén de aplicación para os produtos de construción fabricados ou comercializados legalmente nun Estado que teña un acordo de asociación alfandegueira coa Unión Europea, cando ese acordo lles recoñeza a eses produtos o mesmo tratamento que aos fabricados ou comercializados nun Estado membro da Unión Europea. Nestes casos o nivel de equivalencia constatarase mediante a aplicación, para estes efectos, dos procedementos establecidos na mencionada directiva.

Para os efectos desta instrución, débese entender que as normas UNE, UNE EN ou UNE EN ISO mencionadas no articulado se refiren sempre ás versións que se relacionan no anexo 2, salvo no caso de normas UNE EN que sexan transposición de normas EN cuxa referencia fose publicada no *Diario Oficial da Unión Europea*, no marco de aplicación da Directiva 89/106/CEE sobre produtos de construción, caso en que a cita se deberá relacionar coa última comunicación da Comisión que inclúa esa referencia.

Os distintivos de calidade voluntarios que faciliten o cumprimento das exigencias desta instrución poderán ser recoñecidos, de conformidade cos procedementos e requisitos establecidos no seu anexo 10, polas administracións públicas competentes no ámbito da construción.

4.2. Condicións técnicas para a conformidade con esta instrución

4.2.1. Condicións técnicas dos produtos, equipamentos e sistemas

Os materiais e os produtos de construción que se incorporen con carácter permanente ás estruturas de aceiro deberán presentar as características suficientes para que a estrutura cumpra as exigencias desta instrución, para o cal se deberá comprobar a súa conformidade de acordo cos criterios establecidos no título 7º.

4.2.2. Condicións técnicas do proxecto

O proxecto deberá describir a estrutura, xustificando a solución adoptada e definindo as exigencias técnicas das obras correspondentes co detalle suficiente para que se poidan valorar e interpretar inequivocamente durante a súa construción.

En particular, o proxecto definirá as obras proxectadas co detalle adecuado, de modo que se poida comprobar explicitamente que as solucións adoptadas cumpren as exigencias desta instrución e do resto da regulamentación técnica que lle for aplicable. Esta definición incluírá, polo menos, a seguinte información:

- a. As características técnicas de cada unidade de obra, con indicación das condicións para a súa execución e as verificacións e controis que se deberán realizar para comprobar a súa conformidade co indicado no proxecto.
- b. As características técnicas mínimas que deben cumprir os produtos, equipamentos e sistemas que se incorporen de forma permanente á estrutura proxectada, así como as súas condicións de subministración, as garantías de calidade e o control de recepción que se deba realizar.
Á vista das posibles maiores garantías técnicas e de rastrexabilidade que poidan estar asociadas aos distintivos de calidade, o autor do proxecto valorará a inclusión no correspondente prego de prescricións técnicas particulares, da existencia de empregar materiais e produtos que dispoñan dun nivel de garantía adicional conforme co anexo 10 desta instrución.
- c. As verificacións e probas de carga que, de ser o caso, se deban realizar sobre a estrutura construída, e
- d. As instrucións de uso e mantemento da estrutura.

4.2.3. Condicións técnicas da execución

As obras de execución da estrutura levaranse a cabo con suxeición ao proxecto e ás modificacións que, baixo a súa responsabilidade e en uso das súas atribucións, autorice a dirección facultativa, coa conformidade, de ser o caso, da propiedade; ademais, deberán ser conformes coa regulamentación que sexa aplicable e coas normas de boa práctica construtiva.

Durante a construción, desenvolveranse as actividades de control necesarias para comprobar a conformidade na execución, a conformidade dos materiais e produtos que cheguen á obra, así como a conformidade daqueles que se preparen nesta coa finalidade de seren incorporados a ela con carácter definitivo.

Atendendo aos mesmos criterios de garantía expostos no punto anterior, a dirección facultativa valorará a conveniencia de exixir produtos que dispoñan dun nivel de garantía adicional conforme co anexo 10 desta instrución, mesmo no caso de que tal existencia non estiver prevista no proxecto.

Durante a construción da obra, a dirección facultativa elaborará a documentación que regulamentariamente sexa exixible e que, como mínimo, deberá incluír unha memoria que recolla as incidencias principais da execución, unha colección de planos que reflectan o estado final da obra tal e como foi construída e a documentación correspondente ao control de calidade efectuado durante a obra, todo isto de conformidade co establecido no proxecto e nesta instrución.

Artigo 5. Requisitos

De conformidade coa normativa vixente, e co fin de garantir a seguridade das persoas, os animais e os bens, o benestar da sociedade e a protección do medio ambiente, as estruturas de aceiro deberán ser idóneas para o seu uso, durante a totalidade do período de vida útil para a que se constrúe. Para iso, deberán satisfacer os requisitos seguintes:

- a. seguridade e funcionalidade estrutural, consistente en reducir a límites aceptables o risco de que a estrutura teña un comportamento mecánico inadecuado fronte ás accións e influencias previsibles ás que poida estar sometida durante a súa construción e uso previsto, considerando a totalidade da súa vida útil,

- b. seguridade en caso de incendio, consistente en reducir a límites aceptables o risco de que os usuarios da estrutura sufran danos derivados dun incendio de orixe accidental, e
- c. hixiene, saúde e protección do medio ambiente, de ser o caso, consistente en reducir a límites aceptables o risco de que se provoquen impactos inadecuados sobre o medio ambiente como consecuencia da execución das obras.

Para a consecución dos anteriores requisitos, deberanse cumprir as exixencias que se relacionan neste artigo. Para a súa comprobación será suficiente, nalgúns casos, a aplicación dos procedementos incluídos nesta instrución, mentres que noutros deberán ser complementados co establecido por outras regulamentacións vixentes de carácter máis específico en función do uso da estrutura.

En calquera caso, a propiedade deberá fixar, previamente ao inicio de proxecto, a vida útil nominal da estrutura, que non poderá ser inferior ao indicado nas correspondentes regulamentacións específicas ou, no seu defecto, aos valores recollidos na táboa 5.1.

Táboa 5.1. Vida útil nominal dos diferentes tipos de estrutura ⁽¹⁾

Tipo de estrutura	Vida útil nominal
Estruturas de carácter temporal. ⁽²⁾	Entre 3 e 10 anos
Elementos estruturais substituíbles que non forman parte da estrutura principal (por exemplo, varandas, apoios de tubaxes).	Entre 10 e 25 anos
Edificios (ou instalacións) agrícolas ou industriais e obras marítimas.	Entre 15 e 50 anos
Edificios de vivendas ou oficinas, pontes ou obras de paso de lonxitude total inferior a 10 metros e estruturas de enxeñaría civil (excepto obras marítimas) de repercusión económica baixa ou media.	50 anos
Edificios de carácter monumental ou de importancia especial.	100 anos
Pontes de lonxitude total igual ou superior a 10 metros e outras estruturas de enxeñaría civil de repercusión económica alta.	100 anos

⁽¹⁾ Cando unha estrutura estea constituída por diferentes partes, poderase adoptar para tales partes diferentes valores de vida útil, sempre en función do tipo e características da construción delas.

⁽²⁾ En función do propósito da estrutura (exposición temporal, etc.). En ningún caso se considerarán como estruturas de carácter temporal aquelas estruturas de vida útil nominal superior a 10 anos.

A propiedade poderá establecer tamén outros requisitos adicionais, como, por exemplo, o aspecto, caso en que se deberán identificar previamente á realización do proxecto as exixencias ligadas á consecución dos citados requisitos adicionais, así como os criterios para a súa comprobación.

Os anteriores requisitos satisfaranse mediante un proxecto que inclúa unha axeitada selección da solución estrutural e dos materiais de construción, unha execución coidadosa conforme o proxecto, un control adecuado do proxecto, de ser o caso, así como da execución e da explotación xunto cun uso e mantemento apropiados.

5.1. Exixencias

As exixencias que debe cumprir unha estrutura de aceiro para satisfacer os requisitos son as que se relacionan a continuación.

5.1.1. *Exixencias relativas ao requisito de seguridade estrutural*

Para satisfacer este requisito, as estruturas deberanse proxectar, construír, controlar e manter de forma que se cumpran uns niveis mínimos de fiabilidade para cada unha das exixencias que se establecen nos números seguintes, de acordo co sistema de seguridade recollido no grupo de normas europeas EN 1990 a EN 1999 “Eurocódigos estruturais”.

Enténdese que o cumprimento desta instrución, complementada polas correspondentes regulamentacións específicas relativas a accións, é suficiente para garantir a satisfacción deste requisito de seguridade estrutural.

5.1.1.1. Exixencia de resistencia e estabilidade

A resistencia e a estabilidade da estrutura serán as adecuadas para que non se xeren riscos inadmisibles como consecuencia das accións e influencias previsibles, tanto durante a súa fase de execución como durante o seu uso, manténdose durante a súa vida útil prevista. Ademais, calquera evento extraordinario non deberá producir consecuencias desproporcionadas respecto á causa orixinal.

O nivel de fiabilidade que se debe asegurar nas estruturas de aceiro virá definido polo seu índice de fiabilidade, β_{50} , para un período de referencia de 50 anos, que, no caso xeral, non deberá ser inferior a 3,8. No caso de estruturas singulares ou de estruturas de pouca importancia, a propiedade poderá adoptar un índice diferente.

Os procedementos incluídos nesta instrución mediante a comprobación dos estados límite últimos, xunto co resto de criterios relativos a execución e control, permiten satisfacer esta exixencia.

5.1.1.2. Exixencia de aptitude ao servizo

A aptitude ao servizo será conforme co uso previsto para a estrutura, de forma que non se produzan deformacións inadmisibles, se limite a un nivel aceptable, de ser o caso, a probabilidade dun comportamento dinámico inadmisibile para a confortabilidade dos usuarios e, ademais, non se produzan degradacións inaceptables.

Entenderase que a estrutura ten deformacións admisibles cando cumpra as limitacións de frecha establecidas polas regulamentacións específicas que sexan de aplicación. No caso das estruturas de edificación, utilizaranse as limitacións indicadas no número 4.3.3 do Documento básico “Seguridade estrutural” do Código técnico da edificación.

Entenderase que un elemento estrutural ten vibracións admisibles cando cumpra as limitacións establecidas polas regulamentacións específicas que sexan de aplicación. No caso das estruturas de edificación, utilizaranse as limitacións indicadas no número 4.3.4 do Documento básico “Seguridade estrutural” do Código técnico da edificación.

Os procedementos incluídos nesta instrución mediante a comprobación dos estados límite de servizo, xunto co resto de criterios relativos a execución e control, permiten satisfacer esta exigencia.

O nivel de fiabilidade que se debe asegurar nas estruturas de aceiro para a súa aptitude ao servizo virá definido polo seu índice de fiabilidade, β_{50} , para un período de 50 anos, que, no caso xeral, non deberá ser inferior a 1,5.

5.1.2. Exixencias relativas ao requisito de seguridade en caso de incendio

Para satisfacer este requisito, de ser o caso, as obras deberanse proxectar, construír, controlar e manter de forma que se cumpran unha serie de exixencias, entre as que se atopa a de resistencia da estrutura fronte ao lume.

O cumprimento desta instrución non é, polo tanto, suficiente para o cumprimento deste requisito, sendo necesario cumprir ademais as disposicións do resto da regulamentación vixente que sexa de aplicación.

5.1.2.1. Exigencia de resistencia da estrutura fronte ao lume

A estrutura deberá manter a súa resistencia fronte ao lume durante o tempo establecido nas correspondentes regulamentacións específicas que sexan aplicables, de maneira que se limite a propagación do lume e se facilite a evacuación dos ocupantes e a intervención dos equipos de rescate e extinción de incendios.

No caso de estruturas de edificación, a resistencia ao lume requirida para cada elemento estrutural vén definida polo establecido no Documento básico DB-SE do Código técnico da edificación.

No anexo 8 desta instrución proporciónanse unhas recomendacións para a comprobación da resistencia ao lume de elementos estruturais de aceiro co fin de evitar un colapso prematuro da estrutura.

5.1.3. Exixencias relativas ao requisito de hixiene, saúde e medio ambiente

Cando se establecese o cumprimento deste requisito, as estruturas deberanse proxectar, construír e controlar de forma que se cumpra a exigencia de calidade ambiental da execución.

O cumprimento desta instrución é suficiente para a satisfacción deste requisito, sen prexuízo do cumprimento das disposicións do resto da lexislación vixente de carácter ambiental que sexa de aplicación.

5.1.3.1. Exigencia de calidade ambiental da execución

Cando así se exixa, a construción da estrutura deberá ser proxectada e executada de maneira que se minimize a xeración de impactos ambientais provocados por esta, fomentando a reutilización dos materiais e evitando, no posible, a xeración de residuos.

TÍTULO 1.º BASES DE PROXECTO**CAPÍTULO II****PRINCIPIOS XERAIS E MÉTODO DOS ESTADOS LÍMITE****Artigo 6 Criterios de seguridade****6.1. Principios**

A seguridade dunha estrutura fronte a un risco pode ser expresada en termos da probabilidade de fallo, caracterizada por un valor do índice de fiabilidade.

Nesta instrución asegúrase a fiabilidade requirida adoptando o método dos estados límite (número 8.1). Este método permite ter en conta de maneira sinxela o carácter aleatorio das variables de solicitation e de resposta estrutural que interveñen no cálculo. O valor de cálculo dunha variable obtense a partir do seu principal valor representativo, ponderándoo mediante o seu correspondente coeficiente parcial de seguridade.

Os coeficientes parciais para as accións e para a resistencia non teñen en conta a influencia de posibles erros humanos. Estes fallos deben ser evitados mediante mecanismos adecuados de control de calidade que deberán abarcar todas as actividades relacionadas co proxecto, a execución, o uso e o mantemento dunha estrutura.

6.2. Clases de execución

O proxecto incluirá a clasificación de todos os elementos da estrutura, segundo a súa execución, que é necesaria para garantir o nivel de seguridade definido. Unha obra, ou parte dela, pode incluír elementos de distinta clase. Cómpre que se agrupen os elementos por clases para facilitar a descrición de requisitos e a valoración da súa execución e control.

6.2.1. Nivel de risco

O nivel de risco dunha obra define as consecuencias que podería ter o seu fallo estrutural durante a súa construción ou en servizo (edificio público, almacén privado, obra estratéxica, paso superior sobre vía importante, marquesiña de aparcadoiro, etc.).

A definición do nivel de risco establécese segundo os seguintes criterios:

- Nivel CC 3. Elementos cuxo fallo compromete a seguridade de persoas, como é o caso dun edificio público, ou pode xerar grandes perdas económicas.

- Nivel CC 2. Elementos cuxo fallo compromete a seguridade de persoas, pero non do público en xeral, ou pode xerar apreciables perdas económicas.
- Nivel CC 1. Elementos non incluídos nos niveis anteriores.

Unha estrutura pode conter partes e compoñentes de diferente nivel de risco.

6.2.2. *Condicións de execución e uso*

As condicións de execución e uso tratan de categorizar os riscos inherentes ao tipo de construción e ao tipo de accións que poden incidir sobre a estrutura.

En xeral, pódese aceptar que a complexidade da construción ou o emprego de técnicas e procedementos especiais poden supor un aumento do risco, así como tamén a existencia de esforzos dinámicos e condicións climáticas desfavorables (soldadura en obra fronte a unións aparafusadas, carrileiras de ponte guindastre fronte a soportes de varandas, temperaturas baixas fronte a elementos en interiores, etc.).

A definición da condición de execución e uso pódese establecer de acordo coa táboa 6.2.3 baseada nas categorías de uso e execución que se definen a continuación.

6.2.2.1 Categorías de uso

A categoría de uso depende do risco ligado ao servizo para o que se deseña a estrutura:

- SC1: Estructuras e compoñentes sometidas a accións predominantemente estáticas (edificios). Estructuras con unións deseñadas para accións sísmicas moderadas que non requiren ductilidade. Carrileiras e soportes con cargas de fatiga reducida, por debaixo do limiar de dano do detalle máis vulnerable.
- SC2: Estructuras e compoñentes sometidas a accións de fatiga (pontes de estrada e ferrocarril, guindastres e carrileiras en xeral). Estructuras sometidas a vibracións por efecto do vento, paso de persoas ou maquinaria con rotación. Estructuras con unións que requiren ductilidade por requisito de deseño antisísmico.

6.2.2.2 Categoría de execución.

A categoría de execución depende da fabricación e montaxe da estrutura.

- PC1: Compoñentes sen unións soldadas, con calquera tipo de aceiro. Compoñentes con soldaduras de aceiro de grao inferior a S355, realizadas en taller.
- PC2: Compoñentes con soldaduras de aceiro de grao S355 ou superior. Execución de soldaduras en obra de elementos principais. Elementos sometidos a tratamento térmico durante a súa fabricación. Pezas de perfil oco con recortes en boca de lobo.

6.2.3. Determinación da clase de execución.

A clase de execución defínese a partir dos criterios anteriores de nivel de risco e de categoría das condicións de execución e uso de acordo coa seguinte táboa:

Táboa 6.2.3. Determinación da clase de execución

Nivel de risco		CC1		CC2		CC3	
Categoría de uso		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Categoría de execución	PC1	1	2	2	3	3	3
	PC2	2	2	2	3	3	4

En casos particulares, de conformidade coa propiedade, pode ser conveniente impor unha clase de execución superior nalgúns elementos particulares. Así mesmo, a clasificación anterior non limita a inclusión de requisitos adicionais que explicitamente se indiquen no prego de prescricións técnicas particulares.

6.3. Comprobación estrutural mediante procedementos de cálculo

A comprobación estrutural mediante cálculo representa unha das posibles medidas para garantir a seguridade dunha estrutura e é o sistema que se propón nesta instrución.

6.4. Comprobación estrutural mediante ensaios

En casos en que as regras desta instrución non sexan suficientes ou en que os resultados de ensaios poidan levar a unha economía significativa dunha estrutura, existe tamén a posibilidade de que o autor do proxecto efectúe a comprobación estrutural mediante ensaios, mantendo o resto de criterios desta instrución.

Os requisitos mínimos que deberán satisfacer os ensaios en canto a planificación, execución e avaliación establécense nos números seguintes.

Debido á gran diversidade de circunstancias que se poden dar no proxecto dunha estrutura baseado en ensaios, é conveniente que, en ausencia de regulamentación aplicable, a campaña experimental e especialmente os procedementos de ensaio sexan acordados previamente por todas as partes implicadas.

A campaña experimental basearase nun modelo de cálculo que, aínda que poida ser incompleto, identificará as variables determinantes do comportamento da estrutura, de maneira que se poida prever en liñas xerais a tendencia dos ensaios.

No caso de que o modo de colapso ou o comportamento en carga non poida ser descrito mediante un cálculo aproximado, ou ben cando existan dúbidas razoables sobre a validez deste, recoméndase efectuar ensaios piloto.

6.4.1. Plan de ensaios

Deberase redactar un plan de ensaios antes de proceder á execución destes.

No dito plan deberá constar o obxectivo a conseguir, as instrucións de operación, o deseño dos modelos de ensaio, o de calquera outro elemento auxiliar e os criterios que se utilizarán para a avaliación dos resultados.

Entre outros aspectos, no plan de ensaios deberase tratar:

- Campo de aplicación dos ensaios (parámetros e rango de validez destes).
- Descrición das propiedades dos elementos que poden afectar o comportamento da estrutura (xeometría, características dos materiais, tolerancias ou procedementos de montaxe).
- Descrición completa dos modelos a ensaiar.
- Número de modelos de ensaio que cómpre establecer tendo en conta os criterios de significación estatística e de avaliación de resultados.
- Establecemento das accións, secuencia e velocidade de aplicación de cargas, etc.
- Condicións ambientais.
- Modo previsto de comportamento. Criterio de finalización dos ensaios.
- Disposición de equipamentos de ensaio e aparellos complementarios.
- Descrición da instrumentación, do modo de seguimento do ensaio e do rexistro de resultados.
- Tolerancias e marxe de erro prevista nos dispositivos de medición.

Deberase proceder a unha comprobación previa tanto da fabricación de modelos como da montaxe destas, ao inicio dos ensaios.

6.4.2. Execución de ensaios

A execución dos ensaios deberá ser levada a cabo por organismos especializados con persoal experimentado neste campo.

O laboratorio onde se realicen os ensaios deberá estar adecuadamente equipado e dispor dunha organización que garanta unha coidadosa realización e documentación de todos os ensaios.

6.4.3. *Avaliación de ensaios*

Na avaliación dos ensaios deberase considerar o carácter aleatorio de todos os datos. A fiabilidade dos resultados deberase establecer de acordo con métodos estatísticos suficientemente contrastados.

6.4.4. *Documentación*

Cada campaña de ensaios deberá quedar documentada nun informe de ensaios que, ademais de conter o plan de ensaios descrito en 6.4.1, incluíra a descrición dos ensaios, as incidencias ocorridas, as persoas participantes incluíndo a súa responsabilidade nos ensaios, os resultados e a valoración destes.

Artigo 7 **Situacións de proxecto**

As situacións de proxecto a considerar son as que se indican a continuación:

- Situacións persistentes, que corresponden ás condicións de uso normal da estrutura.
- Situacións transitorias, como son as que se producen durante a construción ou reparación da estrutura.
- Situacións accidentais, que corresponden a condicións excepcionais aplicables á estrutura.

Artigo 8 **Bases de cálculo**

8.1. O método dos estados límite

8.1.1. *Estados límite*

Defínense como estados límite aquelas situacións para as que, de seren superadas, se pode considerar que a estrutura non cumpre algunha das funcións para as que foi proxectada.

Xeralmente, os estados límite clasifícanse en:

- Estados límite últimos.
- Estados límite de servizo.

Débase comprobar que unha estrutura non supere ningún dos estados límite anteriormente definidos en calquera das situacións de proxecto indicadas no artigo 7, considerando os valores de cálculo das accións, das características dos materiais e dos datos xeométricos.

O procedemento de comprobación, para un certo estado límite, consiste en deducir, por unha parte, o efecto das accións aplicadas á estrutura ou a parte dela e, por outra, a resposta da estrutura para a situación límite en estudo. O estado límite quedará garantido se se verifica, cunha fiabilidade aceptable, que a resposta estrutural non é inferior ao efecto das accións aplicadas.

Para a determinación do efecto das accións, cómpre considerar as accións de cálculo combinadas segundo os criterios expostos no capítulo III e os datos xeométricos segundo se definen no artigo 16, e débese realizar unha análise estrutural de acordo cos criterios expostos no capítulo V.

Para a determinación da resposta estrutural, débense considerar os distintos criterios definidos nos títulos 4º e 5º desta instrución, tendo en conta os valores de cálculo das propiedades dos materiais e dos datos xeométricos, de acordo co exposto no capítulo IV.

A definición das accións actuantes nas estruturas establécese nas respectivas instrucións, regulamentos, normas básicas, etc., relativas a accións. Nesta instrución fíxanse, en xeral, dado que resultan imprescindibles para a súa utilización, regras para a definición dos valores de cálculo das accións e as súas combinacións, sempre que as correspondentes regulamentacións de accións non indiquen outra cousa.

8.1.2. Estados límite últimos

A denominación de estados límite últimos engloba todos aqueles que producen o fallo da estrutura, por colapso ou rotura desta ou dunha parte dela.

Como estados límite últimos débense considerar os debidos a:

- A perda do equilibrio da estrutura ou parte dela, considerada como un sólido ríxido;
- o fallo por perda da estabilidade da estrutura ou parte dela, ou dalgún ou algúns elementos estruturais que constitúen a estrutura;
- o fallo por esgotamento da resistencia da estrutura ou das seccións dos elementos estruturais que constitúen esta;
- o fallo por esgotamento da resistencia das unións;
- o fallo por deterioración progresiva baixo a actuación de cargas repetidas.

Na comprobación dos estados límite últimos que consideran o colapso ou rotura dunha sección ou elemento estrutural, débese satisfacer a condición:

$$R_d \geq E_d$$

onde:

R_d Valor de cálculo da resposta da estrutura.

E_d Valor de cálculo do efecto das accións.

Para a avaliación do estado límite de equilibrio (artigo 33), débese satisfacer a condición:

$$E_{d, \text{estab}} \geq E_{d, \text{desestab}}$$

onde:

$E_{d, \text{estab}}$ Valor de cálculo dos efectos das accións estabilizadoras.

$E_{d, \text{desestab}}$ Valor de cálculo dos efectos das accións desestabilizadoras.

8.1.3. Estados límite de servizo

Inclúense baixo a denominación de estados límite de servizo todas aquelas situacións da estrutura para as que non se cumpren os requisitos de funcionalidade, de comodidade, de durabilidade ou de aspecto requiridos.

Na comprobación dos estados límite de servizo, débese satisfacer a condición:

$$C_d \geq E_d$$

onde:

C_d Valor límite admisible para o estado límite a comprobar (deformacións, vibracións, etc.).

E_d Valor de cálculo do efecto das accións (tensións, nivel de vibración, etc.).

8.2. Bases de cálculo orientadas á durabilidade

Antes de comezar o proxecto, deberase identificar o tipo de ambiente que define a agresividade a que vai estar sometido cada elemento estrutural.

Para conseguir unha durabilidade adecuada, deberase establecer no proxecto, e en función do tipo de ambiente, unha estratexia acorde cos criterios expostos no capítulo VII e co exposto no artigo 79 *Tratamento de protección*, e no título 8º *Mantemento* desta instrución.

8.2.1. Definición do tipo de ambiente

O tipo de ambiente a que está sometido un elemento estrutural vén definido polo conxunto de condicións físicas e químicas a que está exposto, e que pode chegar a provocar a súa degradación como consecuencia de efectos diferentes aos das cargas e solicitacións consideradas na análise estrutural.

O tipo de ambiente vén definido por unha das clases de exposición, fronte á corrosión, de acordo con 8.2.2.

Cando unha estrutura conteña elementos con diferentes tipos de ambiente, o autor do proxecto deberá definir algúns grupos cos elementos estruturais que presenten características similares de exposición ambiental. Para iso, sempre que sexa posible, agruparanse elementos do mesmo tipo (por exemplo, piares, vigas de cuberta, placas de base, etc.), coidando ademais que os criterios seguidos sexan congruentes cos aspectos propios da fase de execución.

Para cada grupo, identificarase a clase que define a agresividade do ambiente a que se atopan sometidos os seus elementos.

8.2.2. Clases de exposición ambiental en relación coa corrosión do aceiro

Para os efectos desta instrución, defínense como clases de exposición as que se refiren exclusivamente a procesos relacionados coa corrosión do aceiro.

Distínguese entre estruturas ou elementos estruturais expostos á corrosión atmosférica (táboa 8.2.2.a) e estruturas ou elementos estruturais somerxidos en auga ou enterrados no chan (táboa 8.2.2.b). No caso de existiren procesos mecánicos (erosión eólica por area, abrasión pola acción das ondas ou dos sólidos transportados pola auga), biolóxicos (acción de organismos vivos), térmicos (temperaturas superiores a 60 °C), ou axentes químicos particularmente agresivos (caso de certas instalacións industriais especiais, como industrias papeleiras, factorías de tinguiduras e refinarías de petróleo), cuxo efecto agrava fortemente a posible corrosión, deberase ter en conta este feito, co obxecto de reforzar a protección da estrutura.

Cómpre ter en conta o perigo de formación de condensacións, que se pode producir nas áreas máis frías de estruturas no interior de edificios, en espazos cerrados e elementos ocultos cuxa hermeticidade non fose garantida (caso de empregar soldaduras descontinuas ou unións non herméticas con pernos), ou en instalacións especiais (como as estacións de bombeo ou os circuitos de refrixeración por auga). A formación de condensacións supón sempre un agravamento da corrosión.

No caso de pontes de estrada ou pasarelas peonís, débese prestar especial atención se existe risco de corrosión pola utilización de fundentes (sales de desxeo). Isto pode producir corrosión en taboleiros de pontes ou pasarelas en que se utilicen fundentes, en zona inferior de machóns de pasos elevados sobre estradas en que se empreguen, e incluso na cara inferior de taboleiros de pasos elevados sobre estradas en que se utilicen, por efecto dos aerosois salinos producidos. Para estes efectos, nas zonas con máis de cinco nevadas anuais ou con valor medio da temperatura mínima nos meses de inverno inferior a 0 °C, considerarase que a clase de exposición é a C5-I.

Táboa 8.2.2.a. Clases de exposición relativas á corrosión atmosférica

Designación	Clase de exposición (corrosividade)	Perda de masa por unidade de superficie/perda de grosor (tras o primeiro ano de exposición)				Exemplos de ambientes típicos nun clima tépedo	
		Aceiro de baixo contido en carbono		Cinc		Exterior	Interior
		Perda de masa g/m ²	Perda de grosor μm	Perda de masa g/m ²	Perda de grosor μm		
C 1	moi baixa	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	---	Edificios con calefacción e con atmosferas limpas, por exemplo: oficinas, tendas, colexios, hoteis.
C2	baixa	> 10 e ata 200	> 1,3 e ata 25	> 0,7 e ata 5	> 0,1 e ata 0,7	Atmosferas con baixos niveis de contaminación Áreas rurais na súa maior parte.	Edificios sen calefacción onde poden ocorrer condensacións, por exemplo: almacéns, polideportivos.
C3	media	> 200 e ata 400	> 25 e ata 50	> 5 e ata 15	> 0,7 e ata 2,1	Atmosferas urbanas e industriais, con moderada contaminación de dióxido de xofre. Áreas costeiras con baixa salinidade.	Naves de fabricación con elevada humidade e con algo de contaminación do aire, por exemplo: plantas de procesamento de alimentos, lavandarias, plantas cervexeiros, plantas lácteas. Interior de pontes-caixón.
C4	alta	> 400 e ata 650	> 50 e ata 80	> 15 e ata 30	> 2,1 e ata 4,2	Áreas industriais e áreas costeiras con moderada salinidade.	Plantas químicas, piscinas, barcos costeiros e estaleiro.
C5-I	moi alta (industrial)	> 650 e ata 1500	> 80 e ata 200	> 30 e ata 60	> 4,2 e ata 8,4	Áreas industriais con elevada humidade e con atmosfera agresiva.	Edificios ou áreas con condensacións case permanentes, e con contaminación elevada.
C5-M	moi alta (mariña)	> 650 e ata 1500	> 80 e ata 200	> 30 e ata 60	> 4,2 e ata 8,4	Áreas costeiras e marítimas con elevada salinidade.	Edificios ou áreas con condensacións case permanentes, e con contaminación elevada.

Táboa 8.2.2b. Clases de exposición relativas á auga e ao solo

Designación	Clase de exposición	Exemplos
Im1	Auga doce	Instalacións ribeiregas, plantas hidroeléctricas.
Im2	Auga de mar ou salobre	Estruturas en zonas portuarias en contacto coa auga de mar; estruturas <i>off-shore</i> .
Im3	Solo	Tanques enterrados, estacas de aceiro, tubaxes de aceiro.

CAPÍTULO III

ACCIÓNS

Artigo 9 Clasificación das accións

As accións a considerar no proxecto dunha estrutura ou elemento estrutural pódense clasificar segundo os criterios seguintes:

- Clasificación pola súa natureza.
- Clasificación pola súa variación no tempo.
- Clasificación pola súa variación no espazo.

9.1. Clasificación das accións pola súa natureza

As accións pódense clasificar segundo a súa natureza nos seguintes grupos:

- Accións directas. Son aquelas que se aplican directamente sobre a estrutura. Neste grupo inclúense o peso propio da estrutura, as restantes cargas permanentes, as sobrecargas de uso, etc.
- Accións indirectas. Son aquelas deformacións ou aceleracións impostas capaces de dar lugar a esforzos. Neste grupo inclúense os efectos debidos á temperatura, asentos da cimentación, desprazamentos impostos, accións sísmicas, etc.

9.2. Clasificación das accións pola súa variación no tempo

As accións pódense clasificar pola súa variación no tempo nos seguintes grupos:

- Accións permanentes (G). Son aquelas que actúan en todo momento e son constantes en magnitude e posición. Dentro deste grupo englobanse o peso propio da estrutura, de sollados e pavimentos, de accesorios e instalacións fixas, etc.
- Accións permanentes de valor non constante (G^{\prime}). Son aquelas que actúan en todo momento pero cuxa magnitude non é constante e varía de forma monótona, como por exemplo movementos diferidos da cimentación.
- Accións variables (Q). Son aquelas cuxo valor varía frecuentemente ao longo do tempo, de forma non monótona. Dentro deste grupo inclúense sobrecargas de uso, accións climáticas, accións debidas ao proceso construtivo, etc.
- Accións accidentais (A). Son aquelas cuxa probabilidade de actuación ao longo da vida útil da estrutura é pequena pero teñen unha magnitude importante. Neste grupo inclúense as accións debidas a impactos, explosións, etc. Os efectos sísmicos pódense considerar deste tipo.

A acción de incendio enténdese como situación accidental de proxecto e analízase no capítulo XII e no anexo 8 desta instrución.

9.3. Clasificación das accións pola súa variación no espazo

As accións pódense clasificar segundo a súa variación no espazo nos seguintes grupos:

- Accións fixas. Son aquelas que se aplican sempre na mesma posición. Dentro deste grupo inclúense basicamente as accións debidas ao peso propio dos elementos estruturais e funcionais.
- Accións libres. Son aquelas cuxa posición pode ser variable na estrutura. Dentro deste grupo inclúense, por exemplo, as sobrecargas de uso.

Artigo 10 Valores característicos das accións

10.1. Xeneralidades

O valor característico dunha acción é o seu valor de referencia para efectos de proxecto. Pode vir determinado por un valor medio, un valor nominal ou, nos casos en que se fixe mediante criterios estatísticos, por un valor correspondente a unha determinada probabilidade de non ser superado durante un período de referencia, que ten en conta a vida útil da estrutura e a duración da acción.

10.2. Valores característicos das accións permanentes

Para as accións permanentes nas cales se prevexan dispersións importantes, ou naquelas que poidan ter unha certa variación durante o período de servizo da estrutura, tales como balastro, pavimento, solados, tomaranse os valores característicos superior e inferior. En caso contrario, é suficiente adoptar un único valor.

En xeral, para o peso propio da estrutura, adoptarase como valor característico un único valor deducido das dimensións nominais e dos pesos específicos nominais. Para os produtos de aceiro, tomarase o seguinte valor do peso específico:

Aceiro: $78,5 \text{ kN/m}^3$

Artigo 11 Valores representativos das accións

O valor representativo dunha acción é o valor desta utilizado para a comprobación dos estados límite.

Unha mesma acción pode ter un ou varios valores representativos, segundo sexa o seu tipo.

O valor representativo dunha acción é o seu valor característico F_k ou este afectado por un coeficiente ψ_i de simultaneidade:

$$\Psi_i F_k$$

Como valores característicos das accións, tomaranse os indicados nas regulamentacións de accións vixentes.

Táboa 11.a. Coeficientes de simultaneidade para as sobrecargas de uso en edificios

USO DO ELEMENTO	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Zonas residenciais e domésticas	0,7	0,5	0,3
Zonas de oficinas	0,7	0,5	0,3
Zonas de reunión	0,7	0,7	0,6
Zonas comerciais	0,7	0,7	0,6
Zonas de almacenamento	1,0	0,9	0,8
Zonas de tráfico, peso do vehículo ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Zonas de tráfico, 30 kN < peso do vehículo ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Cubertas non accesibles	0,0	0,0	0,0

Táboa 11.b. Coeficientes de simultaneidade para a acción da neve

	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Edifícios situados a unha altitude $H > 1000$ metros sobre o nivel do mar	0,7	0,5	0,2
Edifícios situados a unha altitude $H \leq 1000$ metros sobre o nivel do mar	0,5	0,2	0,0

Táboa 11.c. Coeficientes de simultaneidade para a acción do vento

Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
0,6	0,2	0,0

Táboa 11.d. Coeficientes de simultaneidade para a acción térmica

Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
0,6	0,5	0,0

Artigo 12 Valores de cálculo das accións

Defínese como valor de cálculo dunha acción o obtido como produto do valor representativo (artigo 11) por un coeficiente parcial para a acción:

$$F_d = \gamma_f \Psi_i F_k$$

onde:

F_d Valor de cálculo da acción F.

γ_f Coeficiente parcial para a acción considerada.

12.1. Estados límite últimos

Como coeficientes parciais para as accións nas comprobacións dos estados límite últimos, adóptanse os valores da táboa 12.1, sempre que as regulamentacións correspondentes de accións non establezan outros criterios, caso en que se adoptarán estes últimos.

Táboa 12.1. Coeficientes parciais para as accións, aplicables para a avaliación dos estados límite últimos

TIPO DE ACCIÓN	Situacións persistentes ou transitorias		Situacións accidentais	
	Efecto favorable	Efecto desfavorable	Efecto favorable	Efecto desfavorable
Permanente	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,35$	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,00$
Permanente de valor non constante	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,50$	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
Variable	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,50$	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,00$
Accidental	-	-	$\gamma_A = 1,00$	$\gamma_A = 1,00$

En xeral, para as accións permanentes, a obtención do seu efecto favorable ou desfavorable determínase ponderando todas as accións da mesma orixe co mesmo coeficiente, indicado na táboa 12.1.

Cando os resultados dunha comprobación sexan moi sensibles ás variacións da magnitude da acción permanente, dunha parte a outra da estrutura, as partes favorable e desfavorable da dita acción consideraranse como accións individuais. En particular, isto aplícase na comprobación do estado límite de equilibrio no que para a parte favorable se adoptará un coeficiente $\gamma_G = 0,9$ e para a parte desfavorable se adoptará un coeficiente $\gamma_G = 1,1$, para situacións de servizo, ou $\gamma_G = 0,95$ para a parte favorable e $\gamma_G = 1,05$ para a parte desfavorable, para situacións de construción.

12.2. Estados límite de servizo

Como coeficientes parciais para as accións para as comprobacións dos estados límite de servizo adóptanse os valores da táboa 12.2, sempre que as regulamentacións correspondentes de accións non establezan outros criterios.

Táboa 12.2. Coeficientes parciais para as accións, aplicables para a avaliación dos estados límite de servizo

TIPO DE ACCIÓN	Efecto favorable	Efecto desfavorable
Permanente	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,00$
Permanente de valor non constante	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
Variable	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,00$

Artigo 13 Combinación de accións

13.1. Principios xerais

Para cada unha das situacións estudadas estableceranse as posibles combinacións de accións. Unha combinación de accións consiste nun conxunto de accións compatibles que se considerarán actuando simultaneamente para unha comprobación determinada.

Cada combinación, en xeral, estará formada polas accións permanentes, unha acción variable determinante e unha ou varias accións variables concomitantes. Calquera das accións variables pode ser determinante.

13.2. Estados límite últimos

Para as distintas situacións de proxecto, as combinacións de accións definiranse de acordo coas seguintes expresións:

En situacións persistentes ou transitorias:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

En situacións accidentais:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_A A_k + \gamma_{Q,1} \Psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

En situacións en que actúa a acción sísmica:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_A A_{E,k} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

onde:

$G_{k,j}$ Valor característico das accións permanentes

$G_{k,j}^*$ Valor característico das accións permanentes de valor non constante

$Q_{k,1}$ Valor característico da acción variable determinante.

$\Psi_{0,i} Q_{k,i}$ Valor representativo de combinación das accións variables que actúan simultaneamente coa acción variable determinante.

$\Psi_{1,1} Q_{k,1}$ Valor representativo frecuente da acción variable determinante.

$\Psi_{2,i} Q_{k,i}$ Valor representativo cuasi-permanente das accións variables que actúan simultaneamente coa acción variable determinante e a acción accidental, ou coa acción sísmica.

A_k Valor característico da acción accidental.

$A_{E,k}$ Valor característico da acción sísmica.

Nas situacións persistentes ou transitorias, cando a acción determinante $Q_{k,1}$ non sexa obvia, valoraranse distintas posibilidades considerando diferentes accións variables como determinantes.

O estado límite último de fatiga, no estado actual do coñecemento, supón comprobacións especiais que dependen dos elementos a dimensionar (elementos estruturais, aceiros de construción, unións, parafusos, etc.) e dos detalles construtivos. A comprobación fronte á fatiga farase de acordo co recollido no capítulo XI desta instrución.

13.3. Estados límite de servizo

Para estes estados límite considéranse unicamente as situacións de proxecto persistentes e transitorias. Nestes casos, as combinacións de accións definiránse de acordo coas seguintes expresións:

Combinación pouco probable:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Combinación frecuente:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_{Q,1} \Psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Combinación cuasi-permanente:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

CAPÍTULO IV

MATERIAIS E XEOMETRÍA

Artigo 14 Xeneralidades

Tanto a determinación da resposta estrutural como a avaliación do efecto das accións débense realizar utilizando valores de cálculo para as características dos materiais e para os datos xeométricos da estrutura.

Os valores de cálculo necesarios para a comprobación a rotura fráxil e a fatiga indícanse no número 32.3 e no capítulo XI, respectivamente.

Artigo 15 Valores característicos e de cálculo das propiedades dos materiais

15.1. Valores característicos

Para os efectos desta instrución, empregaranse como valores característicos das propiedades dos materiais os valores nominais, que se dan no capítulo VIII.

15.2. Valores de cálculo

Os valores de cálculo das propiedades dos materiais (R_d) obtéñense dividindo os valores característicos (R_k) por un coeficiente parcial para a resistencia (γ_M):

$$R_d = R_k / \gamma_M$$

15.3. Coeficientes parciais para a resistencia do aceiro

Os valores dos coeficientes parciais para a resistencia na comprobación dos estados límite últimos son os que se indican na táboa 15.3.

Táboa 15.3. Coeficientes parciais para a resistencia, para estados límite últimos

Resistencia das seccións transversais.	$\gamma_{M0} = 1,05^{(1)}$
Resistencia de elementos estruturais fronte á inestabilidade.	$\gamma_{M1} = 1,05^{(1), (2)}$
Resistencia á rotura das seccións transversais en tracción.	$\gamma_{M2} = 1,25$
Resistencia das unións.	$\gamma_{M2} = 1,25$
Resistencia ao desprazamento de unións con parafusos pretensados: - En estado límite último (unións categoría C) (véxanse números 58.2 e 58.8). - En estado límite de servizo (unións categoría B) (véxanse números 58.2 e 58.8).	$\gamma_{M3} = 1,25$ $\gamma_{M3} = 1,10$

⁽¹⁾ No proxecto de estruturas de edificación poderase adoptar un coeficiente parcial $\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = 1,00$ sempre e cando se cumpran simultaneamente os seguintes requisitos:

- Tolerancias "máis estritas" segundo o artigo 80.
- Garantías adicionais para o aceiro segundo o artigo 84. Deberase garantir que o límite elástico do aceiro empregado na obra presente unha dispersión acorde co coeficiente parcial reducido, segundo unha análise baseada na teoría de fiabilidade estrutural.
- Control de execución intenso segundo o artigo 89.

⁽²⁾ No proxecto de pontes de aceiro adoptárase en todos os casos un coeficiente parcial $\gamma_{M1} = 1,10$.

Os coeficientes parciais para a resistencia aplicables á comprobación de unións entre elementos estruturais de sección oca indícanse no capítulo XIV.

Os coeficientes parciais para a resistencia aplicables á comprobación de fatiga indícanse no capítulo XI.

Para a comprobación dos estados límite de servizo adoptáranse como coeficientes parciais para a resistencia valores iguais á unidade.

Artigo 16 Xeometría

16.1. Valores característicos e de cálculo

Adoptaranse como valores característicos e de cálculo dos datos xeométricos os valores nominais definidos nas normas de produtos ou na documentación de proxecto:

$$a_k = a_d = a_{nom}$$

Nalgúns casos, cando as imprecisións relativas á xeometría teñan un efecto significativo sobre a resistencia da estrutura, tomarase como valor de cálculo dos datos xeométricos o seguinte:

$$a_d = a_{nom} + \Delta a$$

Onde Δa deberá ter en conta as posibles desviacións desfavorables dos valores nominais e estará definido de acordo coas tolerancias establecidas no proxecto. O valor de Δa pode ser tanto negativo como positivo.

16.2. Imperfeccións

As imperfeccións de fabricación e montaxe entre as que se inclúen as tensións residuais e as imperfeccións xeométricas tales como a falta de verticalidade, rectitude, planitude, axuste, así como as posibles excentricidades de montaxe en unións, teranse en conta na comprobación fronte aos fenómenos de inestabilidade.

Nesta instrución, os efectos destas imperfeccións teranse en conta a través do emprego dunhas imperfeccións xeométricas equivalentes, cuxa definición se fará de acordo co artigo 22.

TÍTULO 2.º ANÁLISE ESTRUTURAL**CAPÍTULO V****ANÁLISE ESTRUTURAL****Artigo 17 Xeneralidades**

A análise estrutural consiste na obtención do efecto das accións sobre a totalidade ou parte da estrutura, con obxecto de efectuar as comprobacións dos estados límite últimos e de servizo definidos no artigo 8.

Esa análise débese realizar, para as diferentes situacións de proxecto indicadas no artigo 7, mediante modelos estruturais adecuados que consideren a influencia de todas as variables que sexan relevantes.

Artigo 18 Idealización da estrutura**18.1. Modelos estruturais**

Para realizar a análise idealízanse tanto a xeometría da estrutura como as accións e as condicións de apoio mediante un modelo matemático adecuado que debe, así mesmo, reflectir aproximadamente as condicións de rixidez das seccións transversais, dos elementos, das súas unións e das vinculacións co terreo.

Os modelos estruturais deben permitir a consideración dos efectos dos movementos e deformacións naquelas estruturas, ou partes delas, en que os efectos de segunda orde incrementen significativamente os efectos das accións.

En certos casos, o modelo debe incorporar nas súas condicións de rixidez a consideración de:

- A resposta non lineal do material fóra do rango elástico.
- Os efectos do arrastre de cortante en seccións con alas anchas.
- Os efectos da abolladura en paneis comprimidos de chapa.

- Os efectos da catenaria (utilizando por exemplo un módulo de elasticidade reducido) e dos desprazamentos nas estruturas con cables.
- A deformabilidade a cortante de certos elementos estruturais.
- A rixidez das unións.
- A interacción solo-estrutura.

Cando sexa preciso realizar análises dinámicas, os modelos estruturais deben ademais considerar as características de masa, rixidez, resistencia e amortecemento de cada elemento estrutural, así como as masas dos demais elementos non estruturais.

Cando, de acordo coas instrucións ou normativas vixentes, resulte apropiado efectuar unha aproximación cuasi-estática dos efectos dinámicos da estrutura, os ditos efectos pódense considerar incluídos nos valores estáticos das accións, ou ben aplicarse coeficientes de amplificación dinámica equivalente ás ditas accións estáticas.

Nalgúns casos (por exemplo, en vibracións inducidas por vento ou sismo), os efectos das accións pódense obter, a partir de análises elásticas lineais, polo método de superposición modal.

As análises estruturais fronte ao lume requiren modelos específicos que se recollen no capítulo XII.

Nalgúns casos os resultados da análise estrutural poden experimentar variacións sensibles respecto a posibles oscilacións de certos parámetros do modelo ou das hipóteses de cálculo adoptadas. O autor do proxecto deberá entón realizar unha análise de sensibilidade que permita acoutar o rango probable de oscilación da resposta estrutural buscada.

18.2. Modelos dos elementos

Para a análise, os elementos estruturais clasifícanse en unidimensionais, cando unha das súas dimensións é moito maior que as restantes; bidimensionais, cando unha das súas dimensións é pequena comparada coas outras dúas; e tridimensionais, cando ningunha das súas dimensións resulta sensiblemente maior que as outras.

O autor do proxecto deberá elixir, en cada caso, o tipo de elemento máis adecuado para reflectir satisfactoriamente a súa resposta estrutural.

A directriz do elemento seguirá, xeralmente, a aliñación dos baricentros elásticos das seccións transversais.

18.2.1. Luces de cálculo

Salvo xustificación especial, considerarase como luz de cálculo dun elemento unidimensional a distancia entre eixes de apoio ou entre puntos de intersección da súa directriz coas dos elementos adxacentes.

18.2.2. Constantes estáticas das seccións transversais

A análise global da estrutura poderase realizar, na maioría dos casos, utilizando as seccións brutas dos elementos, a partir das dimensións nominais destes.

En elementos unidimensionais, as constantes estáticas a considerar son a área, os momentos de inercia respecto de eixes principais e o módulo de torsión uniforme.

A área de cortante e os efectos da distorsión da sección e da torsión de empenamento só se necesitan ter en conta nalgúns casos especiais.

Os efectos do arrastre por cortante en seccións con alas anchas, e da abladura de paneis comprimidos de chapa, sobre a rixidez dos elementos débense considerar cando poidan afectar significativamente os resultados da análise estrutural.

O efecto do arrastre por cortante nas alas pódese ter en conta a través do uso dunhas larguras eficaces para estas, segundo se trata no artigo 21.

O efecto da abladura de paneis comprimidos na rixidez dos elementos pódese ter en conta mediante seccións reducidas equivalentes para o caso de seccións transversais esveltas, de clase 4, segundo se trata en 20.7.

No caso de seccións con eixes principais non coincidentes cos planos de actuación das cargas, o autor do proxecto deberá utilizar modelos estruturais que lle permitan unha correcta aproximación da resposta real dos elementos en flexión nesgada.

Cando, en seccións abertas principalmente, o centro de esforzos cortantes non coincida co baricentro da sección transversal, o modelo estrutural deberá, así mesmo, considerar adecuadamente as accións, constantes estáticas e xeometría dos elementos, para reproducir fiablemente os efectos da flexión e da torsión na estrutura, así como das súas posibles interaccións mutuas e das excentricidades das cargas.

18.2.3. Consideración dos efectos da distorsión en elementos de sección cerrada

En elementos sometidos a torsión, e nas zonas de aplicación de cargas concentradas de certa entidade, débense considerar os efectos derivados das deformacións por distorsión da sección transversal, cando sexan significativos.

En xeral, para controlar a magnitude dos ditos efectos en seccións cerradas de certa dimensión (vigas caixón de pontes, por exemplo), adoita resultar necesario dispor un sistema interno de rixidez mediante uns elementos transversais chamados diafragmas, que poden ser marcos, triangulacións ou vigas de alma chea.

Pódense desprezar os efectos da distorsión cando a propia rixidez ou dimensións da sección transversal (perfis tubulares, por exemplo), e/ou dos eventuais diafragmas dispostos, limiten os efectos da distorsión, unha vez maiorados, por debaixo do 10% do límite elástico minorado do material, no elemento considerado, baixo as accións localizadas ou excéntricas correspondentes.

Cando sexa necesario dispor diafragmas, estes deberanse dimensionar para os esforzos derivados da súa función rixidizadora da sección cerrada, fronte ás accións torsoras (baixo cargas excéntricas ou en elementos de directriz curva en planta) ou na proximidade de cargas concentradas (intermedias e en apoios), segundo se establece no anexo 3.

En presenza de accións dinámicas, os efectos da distorsión sobre os elementos, e os seus posibles diafragmas, débense considerar sempre na comprobación do estado límite de fatiga da estrutura.

18.2.4. Consideración dos efectos da torsión mixta en elementos con seccións abertas ou cerradas

O contido deste número só resulta directamente aplicable ao caso de elementos lineais sometidos a torsión, nos cales a distancia entre puntos de momento nulo sexa igual ou superior a dúas veces e media o seu canto e cuxa largura sexa igual ou inferior a catro veces o dito canto, podendo ser a súa directriz recta ou curva.

A resposta a torsión de elementos lineais, nos que se poidan desprezar os efectos da distorsión, é suma de dous mecanismos:

- a) Torsión uniforme ou de Saint-Venant, que xera unicamente tensións tanxenciais na sección e cuxa rixidez queda caracterizada polo módulo de torsión I_t da sección transversal.
- b) Torsión non uniforme ou de empenamento, que xera tanto tensións normais como tanxenciais nos diferentes paneis de chapa da sección transversal. A súa rixidez queda caracterizada polo módulo de empenamento I_w desta.

A resposta a torsión dun elemento pódese obter mediante unha análise elástica, por integración das ecuacións xerais da torsión mixta, en función das constantes estáticas de torsión das seccións transversais, I_t e I_w , dos módulos de deformación do material, E e G , das condicións de vinculación ao xiro e empenamento nos extremos do elemento e da distribución das accións torsoras ao longo deste. Alternativamente, a análise estrutural da torsión pódese abordar mediante modelos de elementos finitos da peza.

De forma suficientemente aproximada, pódese admitir que os efectos da torsión de empenamento son desprezables, e analizar os elementos en torsión uniforme unicamente, nos seguintes casos:

- a) En elementos con liberdade de empenamento nos seus extremos e solicitados unicamente por momentos torsores nos ditos extremos.
- b) En elementos en que o módulo de empenamento da sección transversal, I_w , sexa nulo ou de pequena magnitude respecto do módulo de torsión, I_t . É o caso de:
 - Seccións macizas (redondos, cadrados, rectángulos, etc.).
 - Seccións abertas constituídas por rectángulos que se cortan nun punto (angulares, seccións en cruz, simples T, etc.).
 - Seccións cerradas (tubulares, caixóns uni ou multicelulares sen distorsión, etc.).

Así mesmo, como simplificación pódese admitir que os efectos da torsión uniforme son desprezables, e analizar os elementos unicamente en torsión de empenamento, en perfís con seccións abertas de parede delgada, tales como seccións dobre T, U, H, Z, etc.

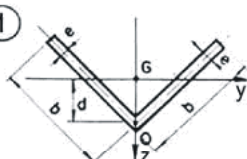
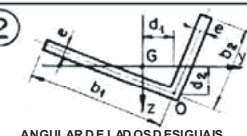
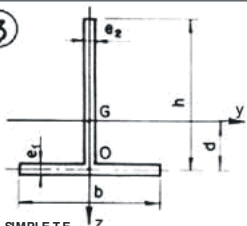
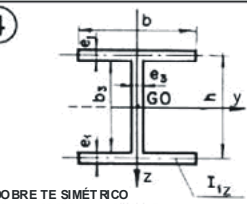
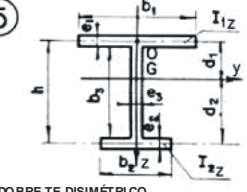
Cando o equilibrio estático dunha estrutura dependa basicamente da resistencia a torsión dun ou varios elementos, estes proxectaranse principalmente con seccións cerradas. Nestes casos, os perfís abertos non resultan en xeral recomendables para resistir solicitacións de torsión, aínda que no ámbito das pontes ou en pezas especiais, de planta recta ou con pequenas curvaturas en planta, pódese recorrer a seccións abertas de dobre viga, ou vigas mestras dobres, proxectadas para resistiren adecuadamente as torsións derivadas de accións excéntricas.

Resulta en cambio frecuente a presenza, en estruturas hiperestáticas, de elementos de sección aberta (vigas transversais de grellas ou de taboleiros de ponte con dobre caixón, por exemplo), que resultan solicitados a torsión unicamente por condicións de compatibilidade derivadas da flexión diferencial entre elementos lonxitudinais.

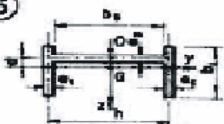
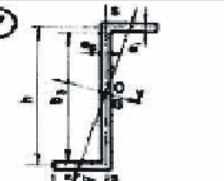
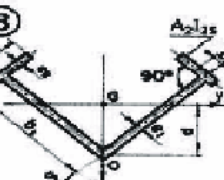
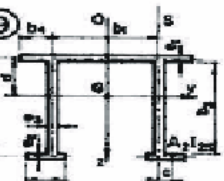
Os efectos da torsión de empenamento, cando sexan significativos, deberanse ter en conta nas comprobacións dos estados límite de servizo e fatiga da estrutura, mesmo para os elementos sometidos a torsións de compatibilidade. En estados límite últimos, a súa consideración só será necesaria para os elementos solicitados por torsións de equilibrio e para aqueles elementos sometidos a torsións de compatibilidade cuxa rixidez a torsión fose considerada no cálculo de esforzos da análise global da estrutura, e teña unha influencia significativa nos resultados deste.

O uso de modelos estruturais, de barras principalmente, que incorporan só a rixidez de torsión uniforme dos elementos, infravalora polo xeral os efectos da torsión de seccións abertas. Cando sexa necesaria unha maior precisión, caso de seccións esveltas ou de controis de fatiga por exemplo, débense utilizar módulos de torsión, I_t , corrixidos para aproximar a rixidez a torsión uniforme do modelo á rixidez real a torsión mixta do elemento, estimada mediante solucións analíticas ou submodelos de elementos finitos, coas condicións reais de cargas e vinculacións ás cales vai estar sometido.

Táboa 18.2.4. Coordenadas do centro de esforzos cortantes, módulos de torsión e módulos de empenamento nalgunhas seccións transversais de uso frecuente

SECCIÓN	COORDENADAS DO CENTRO DE ESFORZOS CORTANTES	MÓDULO DE TORSIÓN I_t	MÓDULO DE EMPENAMENTO I_w
<p>①</p>  <p>ANGULAR DE LADOS IGUAIS</p>	$y_0 = 0$ $z_0 = d$	$\frac{2}{3} b e^3$	$\frac{b^3 e^3}{18} = \frac{A^3}{144}$ Na práctica pódese superpor $I_w = 0$
<p>②</p>  <p>ANGULAR DE LADOS DESIGUAIS</p>	$y_0 = d_1$ $z_0 = d_2$	$\frac{(b_1 + b_2) e^3}{3}$	$\frac{(b_1^3 + b_2^3) e^3}{36}$ Na práctica pódese superpor $I_w = 0$
<p>③</p>  <p>SIMPLETE</p>	$y_0 = 0$ $z_0 = d$	$\frac{b e_1^3 + h e_2^3}{3}$	$\frac{b^3 e_1^3}{144} + \frac{h^3 e_2^3}{36}$ Na práctica pódese superpor $I_w = 0$
<p>④</p>  <p>DOBRETE SIMÉTRICO</p>	$y_0 = 0$ $z_0 = 0$	$\frac{2 b e_1^3 + b_3 e_3^3}{3}$	$I_{1z} \cdot \frac{h^2}{2} \approx I_z \cdot \frac{h^2}{4}$
<p>⑤</p>  <p>DOBRETE DISIMÉTRICO</p>	$y_0 = 0$ $z_0 = \frac{d_2 I_{2z} - d_1 I_{1z}}{I_{1z} + I_{2z}}$ $\approx \frac{d_2 I_{2z} - d_1 I_{1z}}{I_z}$	$\frac{b_1 e_1^3 + b_2 e_2^3 + b_3 e_3^3}{3}$	$\frac{h^2 \cdot I_{1z} \cdot I_{2z}}{I_{1z} + I_{2z}}$ $\approx \frac{h^2 \cdot I_{1z} \cdot I_{2z}}{I_z}$

Táboa 18.2.4 (continuación)

SECCIÓN	COORDENADAS DO CENTRO DE ESFORZOS CORTANTES	MÓDULO DE TORSIÓN I_r	MÓDULO DE EMPENAMENTO I_w
 <p>FÓRMULAS VÁLIDAS TAMÉN PARA PERFÍS C LAMINADOS</p>	$y_0 = 0$ $z_0 = -d \left(1 + \frac{h^2 A}{4 I_z} \right)$	$\frac{2 b_1 e_1^3 + b_2 e_2^3}{3}$	$\frac{h^3}{4} \left[I_y + d^2 A \left(1 + \frac{h^2 A}{4 I_z} \right) \right]$
	$y_0 = 0$ $z_0 = 0$	$\frac{2 b_1 e_1^3 + b_2 e_2^3}{3}$	$\frac{h^3}{4} \cdot I_{xx}$
	$y_0 = 0$ $z_0 = d + \sqrt{2} \left[+c \cdot b_1^2 \cdot \frac{A_2}{I_z} - b_2 \frac{I_{zz}}{I_z} \right]$	$\frac{2 b_1 e_1^3 + 2 b_2 e_2^3}{3}$	$[2d^2 - z_0^2] I_z + 2b_1 (b_1 - 2d) I_{zz} + 4db_1^2 \cdot c \cdot A_2$
	$y_0 = 0$ $z_0 = -d \left(1 + \frac{b_1^2 A}{4 I_z} \right) + 2h \cdot \frac{I_{zz}}{I_z}$	$\frac{b_1 + 2b_2}{3} \left[e_1^3 + 2b_1 e_1^2 + 2b_2 e_2^2 \right]$	$\frac{b_1^3}{4} \left[I_y + d^2 A \left(1 + \frac{b_1^2 A}{4 I_z} \right) \right] + 2h^2 I_{zz} - 2b_1 \cdot e \cdot h^2 A_2 + b_1^2 h d A \frac{I_{zz}}{I_z} - 4h^2 \frac{A_2^2}{I_z}$

Nas seccións transversais 8 e 9, "c" é a distancia entre o eixe da ala e o centro de gravidade das aletas finais.

18.2.5. Rixidez a torsión de seccións semipechadas con triangulacións ou marcos nalgunha das súas caras

É o caso, por exemplo, das subseccións abertas de seccións caixón mixtas que, en fases construtivas, pechan provisoriamente o seu circuíto de torsión mediante triangulacións ou marcos tipo Vierendeel nalgunha das súas caras. Tamén se pode tratar de elementos exclusivamente de aceiro que inclúan as ditas disposicións (torres, soportes compostos, por exemplo). Para o cálculo do módulo de torsión uniforme destes elementos, poderase considerar un grosor equivalente 't' dun panel de chapa ficticio cuxa enerxía de deformación a torsión uniforme sexa igual á do panel triangulado ou marco tipo Vierendeel correspondente.

Na figura 18.2.5 indícanse as expresións que permiten obter o grosor equivalente 't' para as disposicións máis usuais:

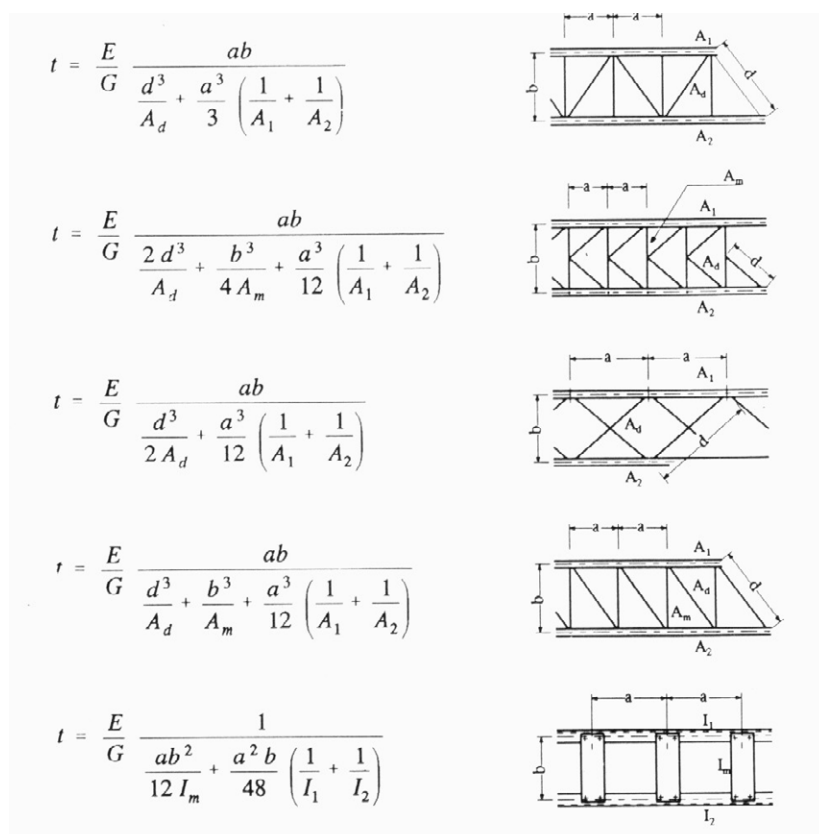


Figura 18.2.5. Grosor equivalente "t" para as disposicións máis usuais de seccións semipechadas con triangulacións ou marcos nalgunha das súas caras

sendo:

A_1, A_2, I_1, I_2	Área e inercia de cada cordón.
A_d	Área dunha diagonal.
A_m, I_m	Área e inercia dun montante.
a, b, d	Dimensións indicadas nas figuras adxuntas.
E e G	Módulos de elasticidade e de deformación transversal do aceiro.

18.3. Modelos da rixidez das unións

En función da súa rixidez relativa con respecto ás dos elementos a unir, no número 57.4 clasifícanse as unións en: articulacións, unións ríxidas ou encastramentos e unións semirríxidas, cuxa deformabilidade queda caracterizada polos seus diagramas momento-rotación (véxase o número 57.2).

As exixencias relativas á súa rixidez, resistencia e ductilidade son tratadas no artigo 57.

No caso de unións semirríxidas, o modelo estrutural debe ser capaz de reproducir os efectos do seu comportamento non lineal sobre a distribución de esforzos na estrutura e sobre as deformacións globais desta, salvo que os ditos efectos sexan pouco significativos.

En pontes e estruturas sometidas a cargas dinámicas, a comprobación das unións deberá incluír a comprobación da súa correcta resposta á fatiga.

En xeral, o deseño das unións estudarase para minimizar no posible as excentricidades entre os eixes baricéntricos dos elementos conectados, de forma que se minimicen os esforzos secundarios debidos á posible rixidez á rotación das unións.

No número 55.4 trátanse as condicións que permiten non considerar os ditos efectos en caso de nós de estruturas trianguladas. No artigo 64 establécense, así mesmo, condicións específicas para unións directas de elementos de sección tubular. Noutras situacións, as comprobacións resistentes e a fatiga, tanto das propias unións como dos elementos conectados, deben incluír os ditos esforzos secundarios, e o modelo estrutural debe incorporar adecuadamente a xeometría das citadas excentricidades.

18.4. Modelos da rixidez das cimentacións

Naquelas estruturas cuxo comportamento resulte afectado significativamente polas condicións de deformabilidade do terreo de cimentación, a análise deberase abordar mediante modelos estruturais que incorporen adecuadamente os efectos da interacción solo-estrutura.

Cando a resposta estrutural se poida ver sensiblemente afectada por variacións posibles dos parámetros de deformación do terreo respecto ao seu valor medio estimado, a análise estrutural deberá realizar unha análise de sensibilidade para asegurar unha correcta resposta da estrutura dentro do rango de probable oscilación dos ditos parámetros, que deberá quedar xustificadamente establecido no informe xeotécnico do proxecto.

Para incorporar ao modelo de estrutura a rixidez dos vínculos entre cimentación e terreo, pódese recorrer a resortes elásticos ou non lineais (fronte a desprazamentos horizontais, verticais e xiros) ou, se fose necesario, a un modelo de elementos finitos da zona do terreo adxacente.

A adecuada consideración da rixidez das cimentacións profundas debe incorporar o posible efecto grupo da estacada, así como a rixidez do conxunto estacas / encepado.

Cando a resposta estrutural se vexa sensiblemente afectada pola interacción co terreo, o deseño da estrutura deberá cubrir as incertezas do modelo garantindo a suficiente ductilidade da súa resposta global, así como dos diferentes elementos afectados e das súas unións.

Artigo 19 Análise global

19.1. Métodos de análise

Toda análise estrutural debe satisfacer as condicións de equilibrio e compatibilidade, tendo en conta as leis de comportamento dos materiais.

Os métodos para a análise global dunha estrutura clasifícanse en:

- a) Análises lineais, baseadas na hipótese de comportamento elástico-lineal dos materiais e na consideración do equilibrio sobre a estrutura sen deformar (análise en primeira orde).
- b) Análises non lineais, que teñen en conta a non linearidade mecánica, isto é, o comportamento non lineal dos materiais, e a non linearidade xeométrica, é dicir, a consideración das condicións de equilibrio sobre a estrutura deformada (análise en segunda orde).
- c) As análises non lineais poden considerar, pola súa vez, unha soa ou ambas das causas de non linearidade citadas.

O comportamento non lineal implica a non validez do principio de superposición, o que se debe ter en conta ao aplicar o formato de seguridade descrito nos capítulos II, III e IV.

En casos de non linearidade, a resposta estrutural depende da historia de cargas, sendo xeralmente preciso proceder de forma incremental, percorrendo os rangos elásticos e elastoplásticos ata o esgotamento da estrutura.

A análise non lineal require en xeral, para un nivel determinado de carga, un proceso iterativo de sucesivas análises lineais, ata converxer a unha solución que satisfaga as condicións de equilibrio, de compatibilidade e de comportamento dos materiais. Esas condicións compróbanse nun número determinado de seccións, dependendo da discretización, que deberá ser suficiente para garantir unha axeitada aproximación da resposta estrutural.

As comprobacións correspondentes ao estado límite de fatiga realizaranse a partir dos resultados dunha análise global lineal da estrutura.

Así mesmo, en xeral, as comprobacións dos estados límite de servizo realizaranse mediante análises lineais. Exceptúase o caso de certas estruturas singulares moi esveltas, ou atirantadas, en que pode ser preciso considerar o efecto das deformacións baixo cargas de servizo. Así mesmo, no artigo 41 considérase a posibilidade de admitir plastificacións limitadas en situacións de servizo de certas estruturas sometidas a cargas predominantemente estáticas.

A posible consideración dos efectos do arrastre por cortante na análise global da estrutura trátase en 18.2.2 e 21.2.

Os efectos da inestabilidade de chapas delgadas comprimidas poden condicionar o tipo de análise global da estrutura, segundo se describe no artigo 20. Os efectos da abolidura sobre as rixideces dos elementos, a considerar na análise global da estrutura, trátanse en 18.2.2. No caso de seccións esveltas de clase 4, pódese ver tamén o establecido en 19.3.

19.2. Consideración da non linearidade do material

En función da forma en que se consideren, ou non, os efectos da non linearidade do material, os métodos de análise global da estrutura clasifícanse en:

- a) Análise global elástica.
- b) Análise global plástica.
- c) Análise global elastoplástica.

A análise global elástica pódese utilizar en todos os casos, coas precaucións establecidas en 20.6.

En estruturas convencionais de edificación pódese recorrer, en certos casos, a unha análise lineal elástica con redistribución limitada segundo se prevé en 19.3.1.

A análise global elastoplástica, descrita en 19.5, sempre se pode aplicar para a comprobación dos estados límite últimos.

A análise global plástica non resulta aplicable a pontes nin a estruturas sometidas a sobrecargas móbiles ou repetitivas de entidade.

19.3. Análise global elástica

A análise global elástica baséase na hipótese dun comportamento indefinidamente lineal da lei tensión-deformación do aceiro.

Trátase dun método lineal que admite o principio de superposición.

A súa aplicación para as comprobacións dos estados límite de servizo e de fatiga de estruturas de aceiro obriga a considerar os efectos de:

- Os diferentes esquemas resistentes e secuencias de aplicación das cargas no caso de montaxes evolutivas.
- As accións térmicas (dilatación e gradiente).
- As accións inducidas por descenso de apoios ou calquera deformación imposta aplicable á estrutura (pretensado, movementos impostos de apoios, etc.).

Permítese non considerar os ditos efectos na comprobación dos estados límite últimos da estrutura se todas as seccións críticas, ou potencialmente críticas, son de clase 1 (véxase o artigo 20).

A análise global elástica pódese aplicar para a obtención dos esforzos na estrutura, mesmo cando as comprobacións resistentes das seccións en estados límite últimos están condicionadas pola aboladura local das súas chapas (seccións de clase 4), ou tomen en consideración as súas reservas plásticas (seccións de clase 1 ou 2), cos matices indicados en 20.6.

19.3.1. Análise global elástica con redistribución limitada

É aquela en que, para a comprobación dos estados límite últimos da estrutura, as leis de esforzos das combinacións de accións a considerar se obteñen a partir dunha análise global elástica lineal, como a descrita en 19.3, e posteriormente se efectúan redistribucións limitadas destas.

A súa aplicación queda limitada a vigas continuas de estruturas convencionais de edificación en que se garantan as adecuadas condicións de ductilidade, para o que se deben cumprir as seguintes condicións:

- a) As redistribucións nas leis elásticas de flectores de cada vano limítanse ao 15% do seu valor máximo no elemento.
- b) As leis de esforzos na estrutura, unha vez redistribuídos, están en equilibrio coas cargas aplicadas.
- c) As seccións transversais de todos aqueles elementos en que se efectúan redistribucións deben ser de clase 1 ou clase 2, segundo o artigo 20.

- d) Contrólase adecuadamente a estabilidade lateral das vigas, así como das súas alas comprimidas.

19.4. Análise global plástica

Os métodos baseados na análise global plástica de estruturas de aceiro só poden ser aplicados para a comprobación dos estados límite últimos de estruturas convencionais de edificación, ou daquelas estruturas sometidas a cargas predominantemente estáticas e en ausencia de sobrecargas repetitivas de entidade.

Os métodos plásticos abórdanse segundo a teoría das rótulas plásticas e permiten a completa redistribución dos esforzos internos na estrutura, garantindo que os momentos resistentes plásticos alcanzados nas sucesivas rótulas plásticas permanezan inalterados ata a formación da última rótula plástica que converte a estrutura nun mecanismo.

Os métodos plásticos pódense basear nun calquera dos teoremas básicos da plasticidade: o estático ou do límite inferior e o cinemático ou do límite superior.

A súa utilización non permite considerar as distintas secuencias e fases de posta en carga das estruturas evolutivas, nin as accións térmicas, deformacións impostas ou calquera sistema autoequilibrado de accións que solicite a estrutura, podéndose asumir un incremento monótono crecente dos factores de amplificación das accións ata o mecanismo de colapso, para as diferentes combinacións de accións consideradas. O principio de superposición non é aplicable.

A análise global plástica só se permite cando os diferentes elementos da estrutura teñen unha ductilidade suficiente para aseguraren as redistribucións de esforzos exixidas polos mecanismos de colapso plástico considerados, o que se garante de se verificaren as condicións establecidas en 20.5.

No caso de soportes ou de linteis sometidos a esforzos de compresión, a estimación da súa capacidade de rotación debe ter en conta obrigatoriamente a influencia dos axiais de compresión na redución de ductilidade das leis momento-curvatura ($M-\chi$) das seccións transversais.

En xeral, as análises plásticas non se deben utilizar cando os efectos en segunda orde debidos ás deformacións non son desprezables, xa que nestes casos o colapso da estrutura se pode alcanzar antes de que se cheguen a desenvolver todas as rótulas plásticas do mecanismo de ruína plástico en primeira orde. Nestes casos, cómpre recorrer ao método xeral de análise non lineal descrito en 24.4.

19.5. Método xeral de análise non lineal elastoplástico

O método elastoplástico considera a influencia da resposta non lineal do aceiro nos diagramas momentos-curvatura das diferentes seccións transversais, obtidas xeralmente baixo solicitacións monótonas crecentes ata a resistencia última destas. Os diagramas momento-curvatura deben incluír a consideración dun eventual esforzo axial que actúe simultaneamente.

As seccións transversais permanecen elásticas ata alcanzaren a deformación correspondente ao límite elástico na fibra máis solicitada. Baixo solicitação crecente, a sección plástica progresivamente ata alcanzarse as deformacións unitarias máximas, a compresión ou tracción, na fibra máis deformada.

As deformacións unitarias máximas do aceiro indícanse en 19.5.1 a 19.5.3, incluíndo a consideración dos posibles fenómenos de inestabilidade de chapas comprimidas.

As características da sección reducida de cálculo, para considerar os efectos da inestabilidade de chapas en seccións transversais esveltas de clase 4, obtéñense en función das deformacións unitarias máximas, progresivamente crecentes, dos elementos comprimidos, segundo se indica en 20.7.

Os efectos do arrastre por cortante, baixo solicitação crecente, téñense en conta a partir das larguras eficaces indicadas en 21.3 e 21.4, para a fase elástica, e en 21.5 para a fase elastoplástica.

A análise global elastoplástica, para as combinacións de accións a considerar nos estados límite últimos, abórdase mediante algoritmos de cálculo non lineal, a partir das leis momento-curvatura ($M-\chi$) das diferentes seccións transversais. O principio de superposición non é aplicable.

19.5.1. Seccións sen rixidizadores lonxitudinais

Adoptaranse as seguintes deformacións límite:

a) Elementos comprimidos de aceiro:

$$\varepsilon_{cu} = 6 \varepsilon_y \quad \text{Para seccións de clase 1.}$$

$$\varepsilon_{cu} = 3 \varepsilon_y \quad \text{Para seccións de clase 2.}$$

$$\varepsilon_{cu} = \varepsilon_y \quad \text{Para seccións de clases 3 e 4.}$$

b) Elementos traccionados de aceiro:

$$\varepsilon_{tu} = 2\% \quad \text{Para seccións de clases 1 e 2.}$$

$$\varepsilon_{tu} = 6 \varepsilon_y \quad \text{Para seccións de clases 3 e 4.}$$

sendo ε_y a deformación correspondente ao límite elástico minorado do aceiro.

En seccións transversais esveltas, de clase 4, os longos reducidos das seccións obtéñense cos criterios establecidos en 20.7 e nas táboas 20.7.a e 20.7.b, a partir do plano de deformacións considerado. Para o cálculo do factor de redución ρ dos paneis comprimidos, adoptárase, ao avaliar $\bar{\lambda}_p$, a deformación unitaria máxima de compresión do panel, para o dito plano de deformacións, tanto para a ala comprimida como para a alma total ou parcialmente comprimida:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\varepsilon_{c\max}}{\varepsilon_{cr}}}$$

A estimación da largura eficaz por arrastre de cortante dun panel poderase realizar, segundo 21.5, mediante unha interpolación lineal dos coeficientes reductores ψ para curvaturas intermedias χ , entre a elástica χ_{el} e a última elastoplástica χ_u .

19.5.2. Seccións con rixidizadores lonxitudinais de alma

Adóptanse as mesmas deformacións límite, a tracción e compresión, que no punto 19.5.1.

Para a obtención dos longos reducidos de almas esveltas, considérase que cada rixidizador divide a chapa de alma en subpaneis independentes. Para cada subpanel aplícase un criterio similar ao establecido en 19.5.1, considerando o valor $\varepsilon_{c\max}$ como a deformación unitaria máxima no bordo máis comprimido do panel (figura 19.5.2).

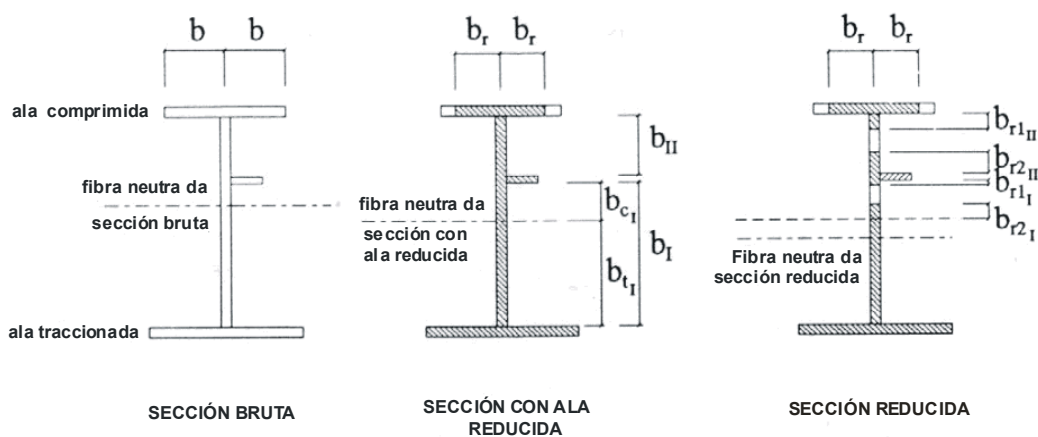


Figura 19.5.2. Seccións reducidas con rixidizadores

19.5.3. Seccións con rixidizadores lonxitudinais de alas comprimidas

A análise elastoplástica de seccións transversais con alas comprimidas rixidizadas depende fundamentalmente destas últimas, cuxa resposta se pode asimilar a unha serie de rixidizadores, cun largo reducido de ala comprimida asociado a cada lado do eixe destes, que se comportan como soportes comprimidos apoiados elasticamente nos rixidizadores transversais (ou diafragmas antidistorsión das seccións caixón).

No anexo 6 trátanse posibles modelos aproximados da resposta non lineal elastoplástica de paneis de chapa comprimida rixidizados, que se poden utilizar para a estimación das leis momento-curvatura da sección transversal completa.

19.6. Influencia da xeometría deformada da estrutura

A análise global da estrutura pódese realizar, en xeral, mediante:

- a) Unha análise en primeira orde, a partir da xeometría inicial da estrutura.
- b) Unha análise non lineal en segunda orde, considerando a influencia da xeometría deformada da estrutura.

Os efectos de segunda orde, debidos á deformación da estrutura, débense ter en conta se aumentan significativamente os efectos das accións (esforzos e deformacións) na resposta estrutural.

Para a súa avaliación, cómpre considerar as imperfeccións xeométricas e mecánicas, segundo se trata no artigo 22. Ao tratarse dunha análise non lineal, o principio de superposición non resulta aplicable.

A influencia dos efectos de segunda orde na redución da capacidade resistente de certos elementos illados, tales como soportes ou vigas de sección constante, total ou parcialmente comprimidos, tense en conta no ámbito desta instrución mediante coeficientes redutores incluídos nas súas formulacións resistentes, como as indicadas en 35.1, 35.2 e 35.3.

No artigo 23 descríbense os métodos que permiten avaliar se os efectos de segunda orde afectan significativamente a resposta global da estrutura.

O artigo 24 trata dos métodos xerais de análise que permiten ter en conta os ditos efectos nos casos en que a súa consideración resulta obrigada.

Artigo 20 Clasificación das seccións transversais

20.1. Bases

A agrupación das seccións transversais en catro clases permite identificar a influencia dos fenómenos de inestabilidade local de chapas (abolladura) das súas zonas comprimidas sobre:

- A súa resistencia, identificando a capacidade das seccións para alcanzar, ou non, os seus momentos resistentes elásticos ou plásticos (figura 20.1.a).
- A súa capacidade de rotación, identificando a súa aptitude para desenvolver, ou non, as curvaturas últimas exixibles para unha análise global de esforzos por métodos elásticos ou plásticos (figura 20.1.b).

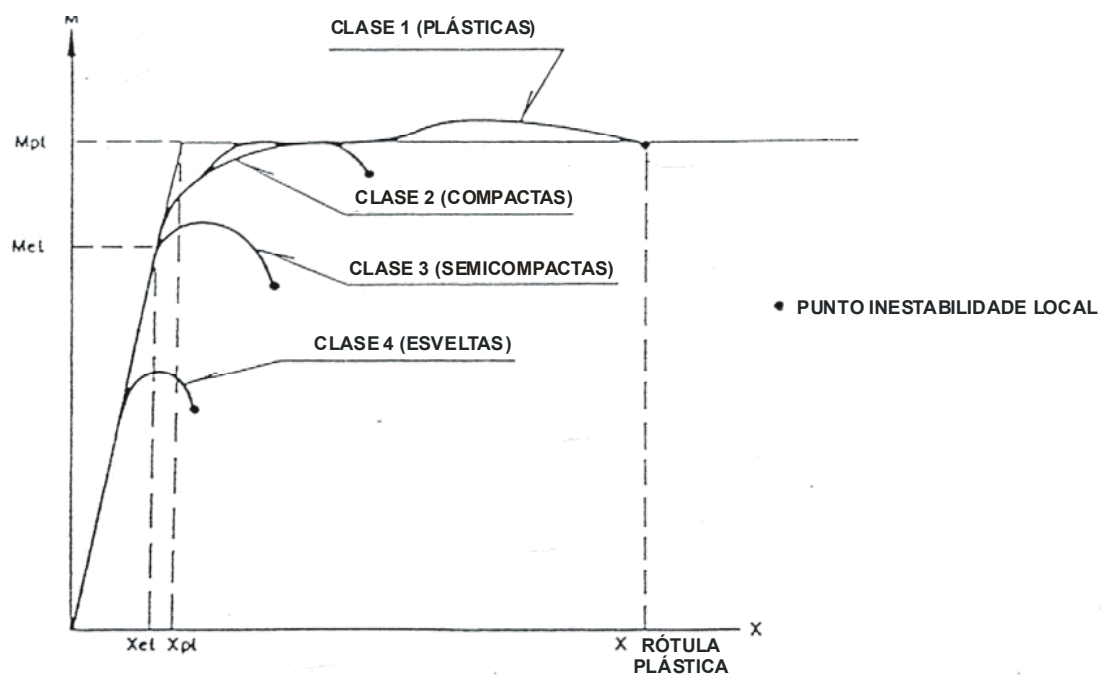


Figura 20.1.a. Leis momento-curvatura ($M-\chi$) de seccións transversais de clases 1 a 4

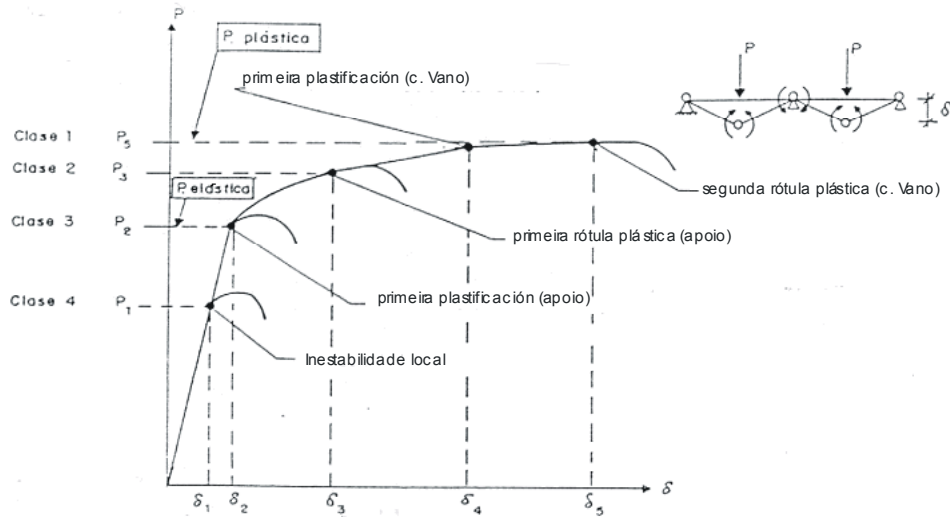
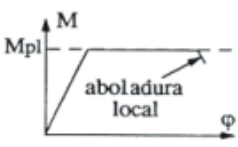

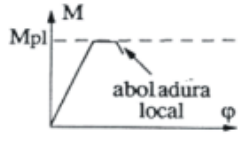

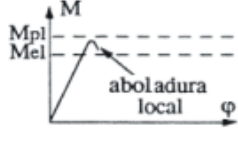

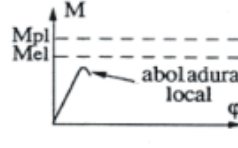



Figura 20.1.b. Diagrama elastoplástico ata rotura dun lintel continuo en función da clase das seccións transversais.

A asignación de clase a unha sección transversal aplícase unicamente en relación cos fenómenos de inestabilidade de chapas baixo a acción de tensións normais. A consideración dos problemas de abladura de chapas sometidas a tensións tanxenciais trátase en 35.5 e no artigo 40.

Táboa 20.1. Clasificación de seccións transversais en relación coas comprobacións dos estados límite últimos

Clase	Modelo de comportamento	Resistencia de cálculo	Capacidade de rotación da rótula plástica	Análise global da estrutura
1		PLÁSTICA sobre toda a sección 	importante	elástica ou plástica
2		PLÁSTICA sobre toda a sección 	limitada	elástica
3		ELÁSTICA sobre toda a sección 	ningunha	elástica
4		ELÁSTICA sobre a sección reducida 	ningunha	elástica

20.2. Clasificación das seccións transversais

En función da influencia dos problemas de inestabilidade de chapas sobre a súa resposta resistente, defínense catro clases de seccións transversais (figuras 20.1.a e 20.1.b).

- Seccións de clase 1 (plásticas) son aquelas que alcanzan, sen se veren afectadas por fenómenos de abolladura nas súas zonas comprimidas, a súa capacidade resistente plástica, e permiten desenvolver, sen redución desta, a capacidade de rotación exixible ás rótulas nunha análise global plástica.
- Seccións de clase 2 (compactas) son aquelas que poden alcanzar o seu momento resistente plástico, pero nas cales os fenómenos de abolladura limitan a súa capacidade de rotación por debaixo das exixencias de aplicabilidade da análise global plástica.
- Seccións de clase 3 (semicompactas) son aquelas en que a tensión na fibra máis comprimida, estimada a partir dunha distribución elástica de tensións, pode alcanzar o límite elástico do aceiro, pero nas cales os fenómenos de abolladura impiden garantir a deformación necesaria para acadar o momento resistente plástico da sección.
- Seccións de clase 4 (esveltas) son aquelas nas cales os fenómenos de abolladura limitan incluso o desenvolvemento da súa capacidade resistente elástica, sen que se chegue a alcanzar o límite elástico do aceiro na fibra máis comprimida.

A asignación de clase a unha sección transversal depende de:

- a) O límite elástico do aceiro da sección.
- b) A xeometría da sección e, en particular, a esvelteza (relación dimensión/grosor) das súas chapas parcial ou totalmente comprimidas.
- c) As posibles vinculacións laterais das zonas comprimidas.
- d) O signo da flexión, no caso de seccións non simétricas respecto da súa fibra neutra.
- e) A relación flector/axial en seccións sometidas a flexión ou compresión composta, o que determina a posición da fibra neutra e, por tanto, a xeometría e extensión das zonas comprimidas de chapa.
- f) A dirección do eixe do momento flector en casos de flexión nesgada, o que determina a orientación da fibra neutra e, por tanto, a xeometría e extensión das zonas comprimidas de chapa.

As diferentes chapas comprimidas dunha sección transversal, por exemplo as alas ou as almas, poden, en función da esvelteza e extensión das súas zonas comprimidas, ter asignadas clases diferentes.

En xeral, a clase dunha sección transversal asígnase como a clase máis elevada, é dicir, a menos favorable, das relativas a cada unha das súas eventuais partes comprimidas. Alternativamente, a clasificación dunha sección transversal pode distinguir separadamente, para os efectos considerados explicitamente nalgúns artigos desta instrución, a asignación de clase da súa alma e a das súas alas comprimidas.

Nas seccións esveltas de clase 4, a redución da súa capacidade resistente en estados límite últimos, a consecuencia dos fenómenos de aboladura, pódese estimar mediante o recurso a seccións ideais reducidas segundo se prevé en 20.7.

20.3. Criterios de asignación de clase en seccións non rixidizadas

En seccións transversais sen rixidizadores lonxitudinais, a clasificación dos diferentes paneis de chapa, parcial ou totalmente comprimidos, pódese realizar a partir das relacións límite de esvelteza incluídas nas táboas 20.3.a a 20.3.c.

En xeral, pódese considerar que todo panel de chapa comprimido que non satisfaga os límites establecidos nas ditas táboas para a clase 3 se debe asignar á clase 4.

Para a clasificación de seccións transversais, utilizarase inicialmente a distribución plástica de tensións, salvo na fronteira para as clases 3 e 4, que se establecerá a partir da lei elástica (ou elastoplástica con plastificación na zona traccionada, segundo se prevé máis adiante).

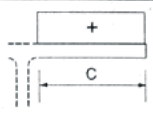
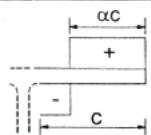
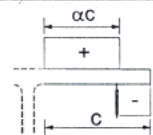
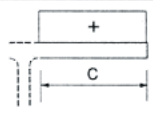
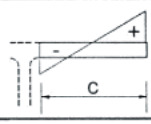
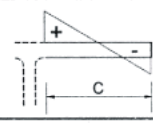
Táboa 20.3.a. esbeltezas máximas para paneis comprimidos interiores (alas e almas)

Clase		Panel flectado	Panel comprimido	Panel flexocomprimido		
Lei de tensións nos paneis (compresión +)						
	1	$c/t \leq 72\epsilon$	$c/t \leq 33\epsilon$	cando $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{396\epsilon}{13\alpha - 1}$ cando $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{36\epsilon}{\alpha}$		
2	$c/t \leq 83\epsilon$	$c/t \leq 38\epsilon$	cando $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{456\epsilon}{13\alpha - 1}$ cando $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{41,5\epsilon}{\alpha}$			
Lei de tensións nos paneis (compresión +)						
	3	$c/t \leq 124\epsilon$	$c/t \leq 42\epsilon$	cando $\psi > -1$: $c/t \leq \frac{42\epsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ cando $\psi \leq -1$: $c/t \leq 62\epsilon(1 - \psi)\sqrt{-\psi}$		
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y (N/mm ²)	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

*) $\psi \leq -1$ aplícase cando a deformación na fibra comprimida é menor que a deformación na fibra traccionada, podendo esta última estar parcialmente plastificada. Neste caso, ψ é a relación alxébrica entre a deformación plástica na fibra traccionada ($> f_y/E$) e a deformación elástica na fibra comprimida ($< f_y/E$).

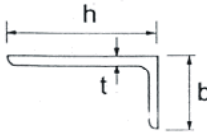
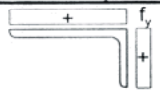
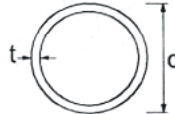
Táboa 20.3.b

Esveltezas máximas para paneis comprimidos en alas voadas

Clase	Panel comprimido	Panel flexocomprimido				
		Extremo comprimido	Extremo traccionado			
Lei de tensións nos paneis (compresión +)						
1	$c/t \leq 9\varepsilon$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
2	$c/t \leq 10\varepsilon$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
Lei de tensións nos paneis (compresión +)						
3	$c/t \leq 14\varepsilon$	$c/t \leq 21\varepsilon\sqrt{k_\sigma}$				
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y (N/mm ²)	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

O valor do coeficiente de abladura k_σ pódese obter nas táboas 20.7.a e 20.7.b

Táboa 20.3.c. Esbeltezas máximas para casos especiais de paneis comprimidos

Clase		Sección comprimida				
Ver tamén "alas voadas" (táboa 20.3.b)		<p>Angulares</p>  <p>Non se aplica a angulares en contacto continuo con outros elementos</p>				
Lei de tensións nos paneis (comprensión +)						
3		$h/t \leq 15\epsilon \quad ; \quad \frac{b+h}{2t} \leq 11,5\epsilon$				
		Seccións tubulares				
						
		Sección flectada e/ou comprimida				
1		$d/t \leq 50\epsilon^2$				
2		$d/t \leq 70\epsilon^2$				
3		$d/t \leq 90\epsilon^2$				
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y (N/mm ²)	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	ϵ^2	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

Adicionalmente, pódense considerar as seguintes situacións:

- a. Os paneis comprimidos cuxa aboladura se poida considerar eficazmente coaccionada mediante conectadores, ou outros elementos de fixación, a unha lousa de formigón, ou outro sistema ríxido, asignaranse á clase 1.

Nestes casos, a separación máxima entre eixes de conectadores na dirección da compresión non superará:

$$22 t_f \sqrt{235/f_y}, \text{ se a lousa está en contacto continuo co panel.}$$

$$15 t_f \sqrt{235/f_y}, \text{ se non o está.}$$

Ademais, a distancia máxima do bordo do panel á liña de conectadores máis próxima será menor que:

$$9 t_f \sqrt{235/f_y}, \text{ sendo } t_f \text{ o grosor do panel de chapa comprimida.}$$

- b. Salvo no caso de pontes ou elementos de especial relevancia, as seccións transversais cuxas alas sexan de clase 1 ou 2 e as almas de clase 3 poden, aproximadamente, considerarse como de clase 2, substituíndo a zona comprimida de alma por dous subpaneis de dimensión:

$$20 \varepsilon t_w = 20 t_w \sqrt{235/f_y}, \text{ sendo } t_w \text{ o grosor da alma.}$$

Ambos os subpaneis situaranse adxacentes á ala comprimida e ao eixe neutro plástico da nova sección reducida ideal (véxase a figura 20.3.a).

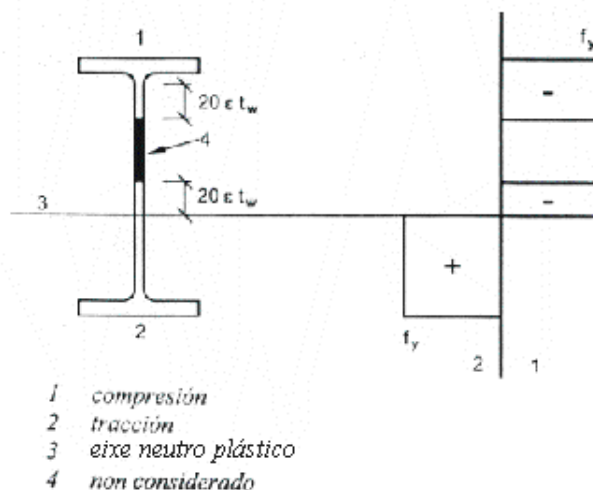


Figura 20.3.a. Alma de clase 3 equivalente a alma de clase 2, cando as alas son de clase 1 ou 2

- c. En seccións transversais de clase 3 ou 4 non simétricas respecto do eixe neutro de flexión, nas que a plastificación se produce primeiro na zona traccionada da sección, pódese permitir, tanto para efectos da asignación de clase da alma (véxase a táboa 20.3.a) como do momento resistente último da sección, a entrada en zona plástica das fibras traccionadas da sección (véxase a figura 20.3.b).

A deformación máxima de tracción limitarase a $6 \varepsilon_y$, sendo ε_y o límite elástico do aceiro. En elementos continuos, débense cumprir así mesmo os requisitos de ductilidade establecidos en 20.5.

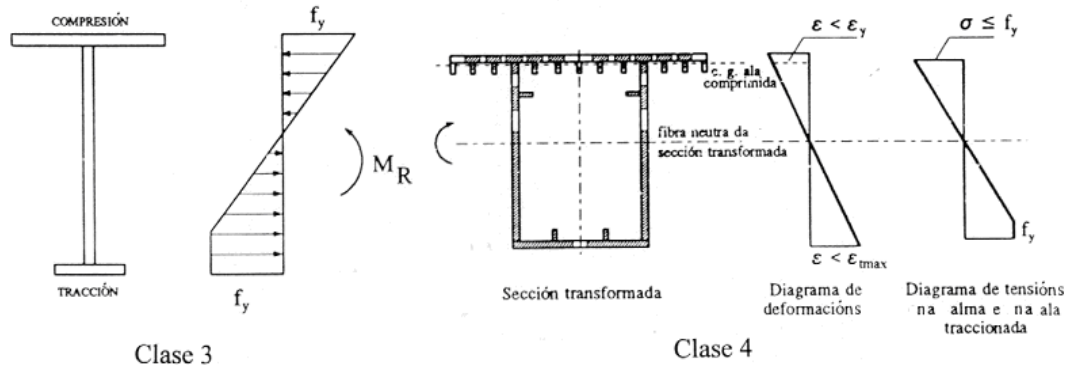


Figura 20.3.b. resposta elastoplástica a tracción en almas de clase 3 ou 4

- d. Excepto para o caso das comprobacións dos estados límite últimos de elementos susceptibles a problemas de inestabilidade, tratados no artigo 35, as seccións transversais de clase 4 pódense considerar como seccións de clase 3 cando se atopan solicitadas por tensións maioradas inferiores ao límite elástico minorado do aceiro, e as esveltezas dos paneis de chapa, parcial ou totalmente comprimidos, sexan inferiores aos valores límite indicados nas táboas 20.3.a a 20.3.c, pero adoptando un valor de ϵ' corrixido tal que:

$$\epsilon' = \epsilon \sqrt{\frac{f_y / \gamma_{M0}}{\sigma_{c,Ed}}} \geq \epsilon, \quad \text{sendo:}$$

$$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$$

f_y Límite elástico do aceiro, en N/mm^2 .

$\sigma_{c,Ed}$ Tensión máxima de compresión de cálculo, actuando sobre o panel a clasificar, obtida a partir dunha análise global de primeira orde ou, de ser o caso, de segunda orde, para a hipótese de cálculo considerada.

- e. As seccións tubulares de clase 4, cuxa análise se debe abordar coa teoría de láminas, quedan fóra do alcance desta instrución.

20.4. Criterios de asignación de clase en seccións con rixidizadores lonxitudinais

Os paneis comprimidos de chapa nos cales se dispoñan rixidizadores lonxitudinais serán considerados como de clase 4.

Alternativamente, a sección poderase clasificar de acordo con 20.3 sen considerar a presenza dos ditos rixidizadores lonxitudinais.

20.5. Condicións das seccións transversais para unha análise global plástica

O recurso a unha análise global plástica exige asegurar unha capacidade de rotación suficiente nas eventuais localizacións de rótulas plásticas.

En xeral, as exigencias de rotación poden ser diferentes en función da localización da rótula plástica e da hipótese de carga considerada.

As exigencias de rotación para o cálculo plástico dunha estrutura pódense considerar garantidas se, para todos os elementos onde se desenvolven, ou son susceptibles de desenvolvemento, rótulas plásticas baixo as diferentes hipóteses de cálculo a considerar, se satisfán as condicións expostas a continuación.

No caso de elementos de sección constante, se se cumpren os dous requisitos seguintes:

- As seccións transversais nas rótulas son de clase 1.
- En rótulas situadas sobre apoios ou baixo a acción de forzas transversais localizadas, cuxo valor exceda o 10% da resistencia plástica a cortante da sección transversal, se dispoñen rixidizadores transversais de alma a unha distancia da rótula non superior a medio canto da sección transversal.

En elementos de sección variable débense cumprir, ademais, os seguintes requisitos adicionais:

- O grosor da alma non se debe reducir sobre unha distancia de, polo menos, dúas veces o canto da alma na sección de rótula, a ambos os lados da dita sección.
- A ala comprimida nas proximidades da sección de rótula débese manter de clase 1 nunha lonxitude mínima, a ambos os lados da rótula, non menor de dúas veces o canto da alma na sección de rótula e sempre que o momento flector na sección sexa superior ao 80% do momento resistente plástico da rótula.
- No resto do elemento, a ala comprimida sexa de clase 1 ou 2 e a alma de clase 1, 2 ou 3.

As xeometrías e vinculacións dos elementos de aceiro deberán adicionalmente asegurar a resistencia fronte ao empenamento lateral. Así mesmo, garantirase a coacción lateral ás alas comprimidas nas seccións de rótulas plásticas.

No caso de situarse a rótula plástica nunha sección que conteña unha unión, deberase garantir que a dita unión teña a ductilidade suficiente para asegurar as exixencias de rotación da rótula ou que, alternativamente, se dimensione coa resistencia suficiente para asegurar que a rótula plástica se desenvolve no elemento, fóra da unión. Os requisitos de resistencia e ductilidade das unións trátanse no artigo 57.

20.6. Condicións das seccións transversais para unha análise global elástica

En xeral, a análise global elástica resulta sempre de aplicación, con independencia da clase das seccións transversais dos diferentes elementos da estrutura, sen máis restricións que as posteriores comprobacións resistentes, de acordo coa clase destas.

20.7. Características da sección reducida de seccións transversais esveltas

Con carácter xeral, as propiedades da sección reducida de seccións transversais de clase 4 (esveltas) obtéñense a partir da definición duns largos reducidos nas zonas comprimidas dos paneis de chapa, de acordo cos criterios establecidos na táboa 20.7.a, para os paneis interiores comprimidos de almas e alas, e na táboa 20.7.b, para os paneis de alas cun bordo libre.

O coeficiente de redución ρ do largo do panel comprimido pódese estimar segundo as seguintes expresións:

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3+\psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0, \text{ para paneis interiores comprimidos,}$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0, \quad \text{para paneis cun bordo libre,}$$

onde:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \sqrt{\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_{cr}}} = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}}, \quad \text{sendo:}$$

ψ Relación entre as deformacións nos extremos do panel, segundo se indica nas táboas 20.7.a e 20.7.b.

σ_{cr} Tensión crítica ideal de aboladura do panel:

$$\sigma_{cr} = E \varepsilon_{cr} = k_{\sigma} \sigma_E, \text{ con}$$

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 E t^2}{12(1-\nu^2)\bar{b}^2} = 190000 \left(\frac{t}{\bar{b}} \right)^2, \text{ en N/mm}^2$$

ν Coeficiente de Poisson do aceiro.

t Grosor de chapa do panel.

ε_{cr} Deformación crítica ideal de aboladura do panel: $\varepsilon_{cr} = 0,9 k_{\sigma} \left(\frac{t}{\bar{b}} \right)^2$

k_{σ} Coeficiente de aboladura do panel, que se obtén das táboas 20.7.a e 20.7.b.

\bar{b} Largo do panel, que se obtén de acordo co mostrado nas figuras das táboas 20.3.a, 20.3.b e 20.3.c.

En seccións esveltas con almas ou alas rixidizadas (figura 20.7.a), os paneis rixidizados pódense tratar como un conxunto de subpaneis de largo b , delimitados polos rixidizadores lonxitudinais, obténdose o largo reducido de cada subpanel de acordo cos criterios antes establecidos, en función da relación entre as deformacións nos bordos deste.

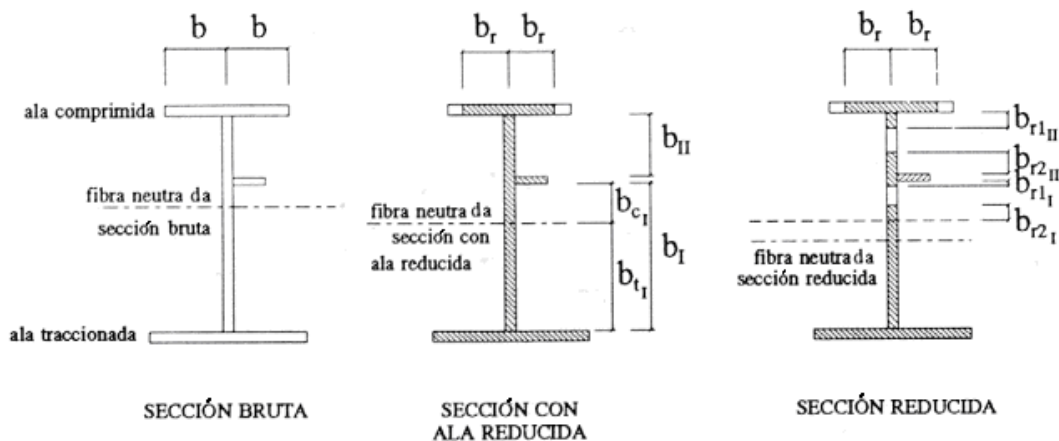


Figura 20.7.a. Sección reducida en seccións esveltas rixidizadas

Táboa 20.7.a. Coeficiente redutor ρ (paneis interiores)

PANEIS INTERIORES DE ALAS E ALMAS								
DEFORMACIÓNS UNITARIAS				LARGURA REDUCIDA b_r				
$\varepsilon_1 > 0$ (compresión)								
				$b_r = \rho b$ $b_{r1} = 0,5 b_r$ $b_{r2} = 0,5 b_r$ $\psi = 1$				
				$b_r = \rho b$ $b_{r1} = \frac{2 b_r}{5 - \psi}$ $b_{r2} = b_r - b_{r1}$ $0 < \psi < 1$				
				$b_r = \rho b$ $b_{r1} = 0,4 b_r$ $b_{r2} = 0,6 b_r$ $\psi < 0$				
$\psi = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$		1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$		-1	$-1 > \psi > -5$
k_σ	$\alpha \geq 1$	4,0	$\frac{8,2}{1,05 + \psi}$	7,81	$7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$	23,9	$5,98(1 - \psi)^2$	
	$\alpha < 1$	$\left(\alpha + \frac{1}{\alpha}\right)^2 \frac{2,05}{1,05 + \psi}$						

 k_σ = coeficiente de aboladura

Táboa 20.7.b. Coeficiente reductor ρ (paneis cun bordo libre)

PANEIS CUN BORDO LIBRE						
DEFORMACIÓNS UNITARIAS		LARGURA REDUCIDA b_r				
$\varepsilon_1 > 0$ (compresión)						
		$b_r = \rho b$ $1 > \psi \geq 0$				
		$b_r = \rho b_c = \rho \frac{b}{1 - \psi}$ $\psi < 0$				
$\psi = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$	$\psi > 1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1
k_c	$0,57 - \frac{0,21}{\psi} + \frac{0,07}{\psi^2}$	0,43	$\frac{0,578}{\psi + 0,34}$	1,70	$1,7 - 5\psi + 17,1\psi^2$	23,8
$\varepsilon_1 \leq 0$ (tracción)						
		$b_r = \rho b_c$				

k_c = coeficiente de abladura

Xeralmente, a obtención dos largos reducidos das alas comprimidas pódese realizar a partir da xeometría da sección transversal bruta. En cambio, para a obtención dos largos reducidos das almas, débese partir do plano de deformacións ψ obtido usando a área reducida dos paneis de ala comprimidos. En xeral, non resulta necesario proceder iterativamente, podéndose utilizar, para efectos do cálculo de ψ , as dimensións brutas da alma (véxase a figura 20.7.b).

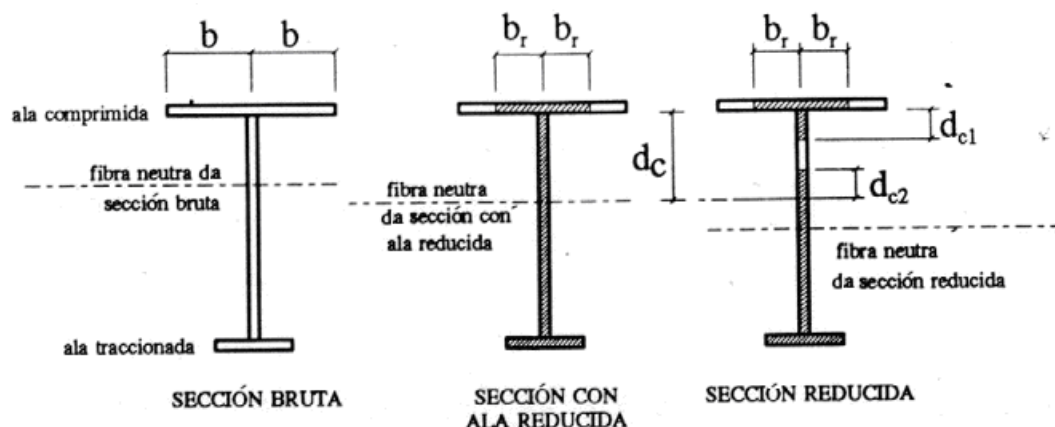
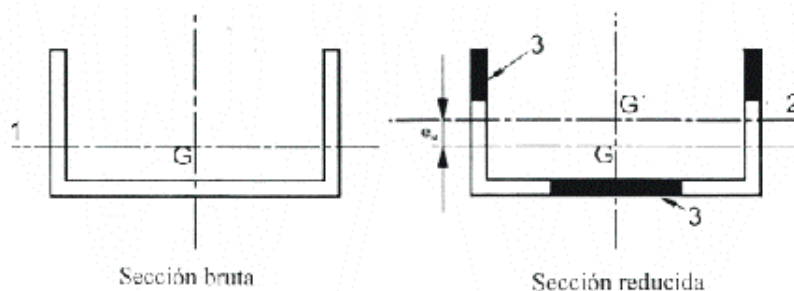


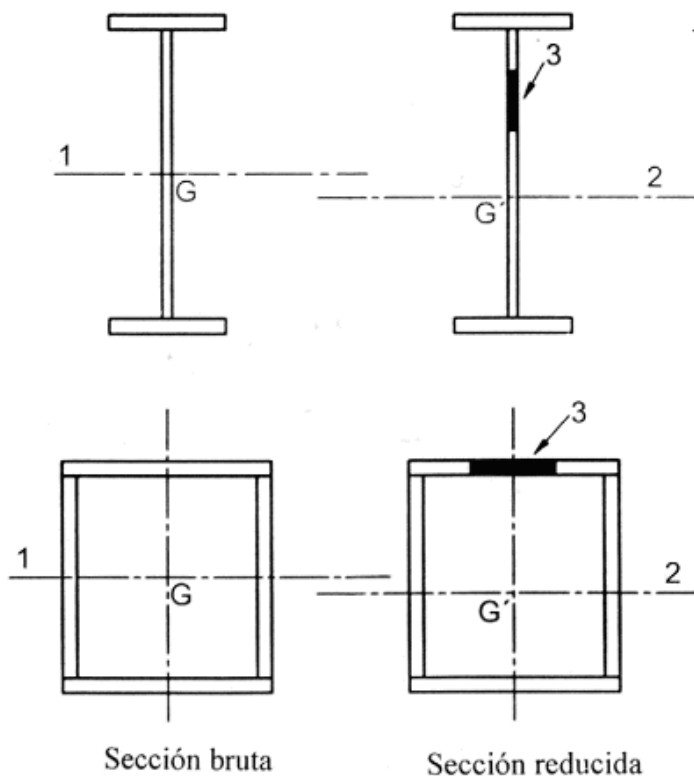
Figura 20.7.b. Determinación da sección reducida

Xeralmente, o eixe neutro da sección reducida experimentará un desprazamento de valor e_N respecto ao eixe neutro da sección bruta (véxanse as figuras 20.7.c e d). O dito desprazamento deberase ter en conta para a obtención das constantes estáticas (I_{ef} , W_{ef}) da sección reducida.



- G* centro de gravidade sección bruta
- G'* centro de gravidade sección reducida
- 1* eixe neutro sección bruta
- 2* eixe neutro sección reducida
- 3* zonas non efectivas

Figura 20.7.c. Sección reducida baixo esforzo axial



G centro de gravidade sección bruta
G' centro de gravidade sección reducida
 1 eixe neutro sección bruta
 2 eixe neutro sección reducida
 3 zonas non efectivas

Figura 20.7.d. Sección reducida baixo solicitude de flexión

Cando as seccións transversais de clase 4 se atopan solicitadas por un esforzo axial referido ao centro de gravidade da sección bruta, débese considerar o efecto do desprazamento do eixe neutro da sección reducida respecto da sección bruta para obter o incremento de flexión ao referir os esforzos ao eixe neutro da sección reducida. De forma aproximada, e para evitar procesos iterativos, pódese estimar o dito momento adicional a partir do desprazamento e_N do eixe neutro na sección reducida, suposta sometida unicamente a unha compresión centrada (figura 20.7.c):

$$\Delta M = N e_N$$

Excepto para as comprobacións dos estados límite últimos de elementos de aceiro susceptibles de problemas de inestabilidade, tratados en 35.1, 35.2 e 35.3, os largos reducidos dos paneis comprimidos de seccións transversais de clase 4 pódense estimar, de forma máis precisa, cun valor de $\bar{\lambda}_p$ calculado a partir dos valores da tensión ou

deformación máxima no panel comprimido, obtidos considerando os longos reducidos de todos os paneis parcial ou totalmente comprimidos da sección:

$$\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\frac{\sigma_{c,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\frac{\varepsilon_{c,Ed}}{\varepsilon_y/\gamma_{M0}}} \leq \bar{\lambda}_p$$

sendo:

$\sigma_{c,Ed}$ Tensión máxima de compresión de cálculo, que solicita o dito panel, obtida a partir das constantes estáticas da sección reducida para a hipótese de carga considerada.

$\varepsilon_{c,Ed} = \sigma_{c,Ed}/E$ Deformación máxima de compresión de cálculo, estimada de forma análoga.

Este procedemento require un cálculo iterativo no que, tanto os valores $\sigma_{c,Ed}$ e $\varepsilon_{c,Ed}$ como a relación entre as deformacións nos extremos do panel ψ , e os longos reducidos dos diferentes paneis e subpaneis, se obteñan en cada paso a partir das leis de tensións e deformacións da sección total reducida calculadas na iteración anterior.

Artigo 21 Consideración dos efectos do arrastre por cortante

21.1. Bases

O contido deste artigo non afecta o caso de perfís laminados ou de seccións armadas con alas de dimensión reducida.

A difusión do esforzo rasante desde as arestas de encontro de almas con alas, comprimidas ou traccionadas, de elementos lineais, con seccións abertas ou cerradas, dá lugar a unha distribución non lineal das tensións normais nos paneis de ala das ditas seccións (véxase 21.3.5).

A efectos prácticos, para as comprobacións das seccións, así como para a estimación das rixideces a flexión que se incorporan nos modelos globais de análise estrutural, pódese asumir que as tensións normais se distribúen uniformemente nunha certa largura reducida de ala, denominada largura eficaz.

A largura eficaz depende do tipo de elemento (isostático ou continuo), do tipo de acción (localizada ou repartida), da lonxitude do elemento entre puntos de momento nulo, da presenza de rixidizadores nas alas, do voo en alas con bordos libres e, finalmente, do número de almas da sección e da distancia entre almas.

A largura eficaz varía ao longo da directriz do elemento. Igualmente, pode variar en función do estado de plastificación do material ou da posible aboladura dos paneis comprimidos de ala, sendo diferente en situacións de servizo e de esgotamento.

Os efectos do arrastre por cortante xeralmente pódense desprezar cando:

$$b_0 \leq L / n$$

sendo:

- b_0 Largura da zona voada, (b_1), para as semialas exteriores, ou metade da largura entre almas (b), para as semialas interiores (véxase a figura 21.3.a).
- L Luz dos elementos isostáticos ou distancia aproximada entre puntos adxacentes de momento flector nulo dos elementos continuos (véxase 21.3.1).
- $n =$ 20 para elementos convencionais de edificación.
- 50 para pontes ou elementos singulares de edificación, con seccións esveltas, ou onde o control tensional ou deformacional exixa unha gran precisión.
- 20 para as comprobacións dos estados límite últimos de seccións de clase 1 ou 2 (véxase o artigo 20), en todos os casos.

21.2. Largura eficaz en función do tipo de análise

Para a análise global da estrutura, os efectos do arrastre por cortante só deben ser considerados cando a súa influencia poida resultar significativa; por exemplo:

- Cando as reducións de largura eficaz de alas sexan importantes.
- Cando, a xuízo do autor do proxecto, se necesite unha elevada precisión nas comprobacións de tensións ou deformacións.
- En pontes en celosía, arcos ou atirantados.
- Nos controis de deformacións en montaxes en beiril de pezas con separacións entre almas importantes.

Non é preciso considerar os efectos do arrastre por cortante na análise global de estruturas cuxos elementos sexan perfís ou vigas armadas en dobre T, en edificación principalmente.

En todos os casos, e salvo que se necesite unha elevada precisión, pódese adoptar para a análise estrutural unha largura eficaz constante ao longo da directriz de todo o elemento, utilizándose a correspondente á sección de centro vano, segundo se define en 21.3.

Cando os límites do punto 21.1 resultan superados, débense considerar os efectos do arrastre por cortante, mediante as larguras eficaces definidas en 21.3 e 21.4, para as comprobacións dos estados límite de servizo e fatiga, e en 21.5, para as relativas aos estados límite últimos.

A distribución elástica das tensións normais debidas á difusión de accións localizadas aplicadas no plano das almas pódese estimar segundo 21.6.

21.3. Largura eficaz de alas non rixidizadas en estados límite de servizo e fatiga

Os efectos do arrastre por cortante en fase elástica pódense estimar mediante unha largura eficaz de alas obtida por (véxase a figura 21.3.a):

$$b_e = \psi_{el} b, \text{ para alas interiores.}$$

$$b_{1e} = \psi_{el} b_1, \text{ para alas exteriores.}$$

sendo $\psi_{el} (\leq 1)$ os coeficientes redutores especificados máis adiante.

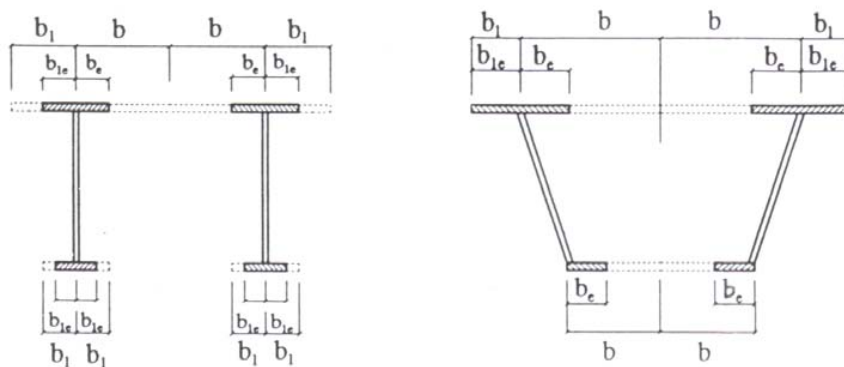


Figura 21.3.a. Larguras eficaces de seccións abertas e cerradas

A distribución de larguras eficaces ao longo dunha viga continua pódese supor segundo o esquema da figura 21.3.b.

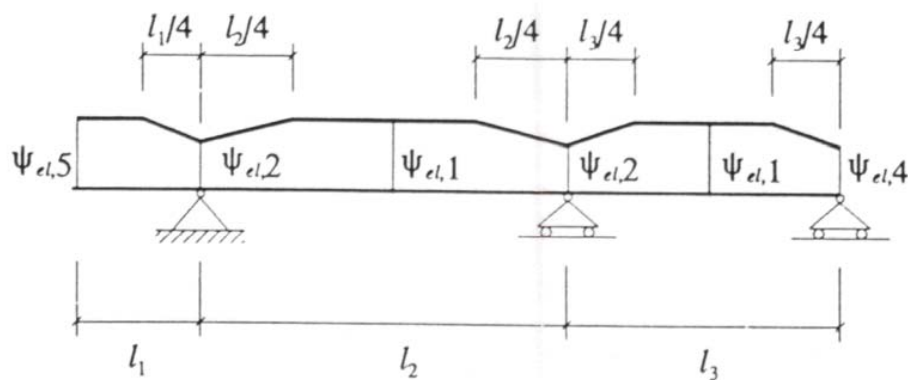


Figura 21.3.b. Distribución de larguras eficaces en vigas continuas

21.3.1. Lonxitudes de referencia

Para a estimación de ψ_{el} , pódese adoptar como lonxitude de referencia L a distancia entre puntos de momento nulo. Como simplificación, en vigas continuas pódense adoptar as lonxitudes de referencia aproximadas indicadas na figura 21.3.1, válidas sempre que a relación de luces entre vanos contiguos non supere 1,5 e que a lonxitude de eventuais beirís sexa inferior á metade da luz dos vanos adxacentes.

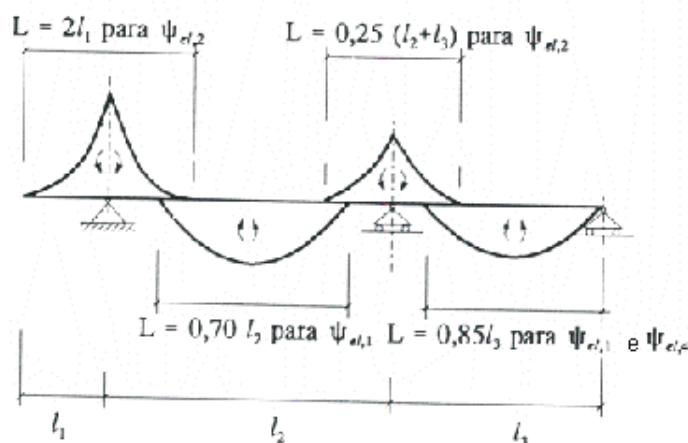


Figura 21.3.1. Lonxitudes de referencia en vigas continuas

21.3.2. Coeficientes ψ_{el} elásticos. Cargas uniformemente repartidas en vigas continuas con luces compensadas

Os coeficientes reductores elásticos da largura eficaz de alas, ψ_{el} , adoptan os seguintes valores, en función do parámetro $\beta = b_0/L$ (onde b_0 se define en 21.1):

- Para todos os casos:

$$\psi_{el,i} = 1 \quad \beta \leq 0,02$$

- En centro de vanos isostáticos ou continuos (flexión positiva):

$$\psi_{el,1} = 1 \quad \beta \leq 0,05$$

$$\psi_{el,1} = \frac{1}{1+6,4 \beta^2} \quad 0,05 < \beta < 0,70$$

$$\psi_{el,1} = \frac{1}{5,9 \beta} \quad 0,70 \leq \beta$$

- En zonas de apoios de vigas continuas ou beirís (flexión negativa):

$$\psi_{el,2} = \frac{1}{1 + 6,0 \left(\beta - \frac{1}{2500 \beta} \right) + 1,6 \beta^2} \quad 0,02 < \beta < 0,70$$

$$\psi_{el,2} = \frac{1}{8,6 \beta} \quad 0,70 \leq \beta$$

- En vanos extremos de vigas continuas (flexión positiva):

$$\psi_{el,4} = (0,55 + 0,025/\beta) \psi_{el,1} \leq \psi_{el,1}$$

- En zonas de beiril (flexión negativa):

$$\psi_{el,5} = \psi_{el,2}$$

As expresións anteriores supóñense aplicables para cargas uniformemente repartidas (leis de momentos flectores parabólicas).

21.3.3. Coeficientes ψ_{el} elásticos. Casos especiais

A existencia de cargas puntuais ou localizadas de entidade pode reducir significativamente a largura eficaz respecto á que se obtería en presenza unicamente de cargas uniformemente repartidas.

En zonas de centro de vano sometidas a cargas localizadas (leis de momentos flectores lineais), o coeficiente redutor adopta a expresión:

- Se a carga puntual se aplica en $L/2$:

$$\psi_{el,3} \cong (1,115 - 5,74 \beta) \quad 0,02 < \beta \leq 0,05$$

$$\psi_{el,3} = \frac{1}{1 + 4,0\beta + 3,2\beta^2} \quad 0,05 < \beta$$

- Se a carga puntual se aplica en $x < L/2$:

$$\psi_{el,3} = 0,33 (2 \psi_{el,3} (\beta^*_x) + \psi_{el,3} (\beta^*_{L-x})), \text{ sendo:}$$

$$\psi_{el,3} (\beta^*_x) \quad \text{o valor de } \psi_{el,3} \text{ obtido para un } \beta^*_x = 0,5 b_0/x$$

$$\psi_{el,3} (\beta^*_{L-x}) \quad \text{o valor de } \psi_{el,3} \text{ obtido para un } \beta^*_{L-x} = 0,5 b_0/(L-x)$$

- En beirís sometidos a cargas puntuais nos seus extremos, pódese así mesmo adoptar:

$$\psi_{el,5} = \psi_{el,2}$$

Os coeficientes ψ_{el} do número 21.3.2 pódense aplicar cando as flexións se deban principalmente a cargas uniformemente repartidas e se trate de elementos isostáticos ou continuos coas limitacións xeométricas de relación de luces entre vanos contiguos de 21.3.1.

Cando o efecto das cargas puntuais ou localizadas sexa suficientemente significativo en relación co das cargas e sobrecargas repartidas, ou cando non se cumpran as condicións de aplicación das lonxitudes de referencia L da figura 21.3.1, pódese utilizar un coeficiente redutor global único para a sección, obtido mediante a expresión:

$$\psi_{el} = \frac{\sum M_i}{\sum \frac{M_i}{\psi_{el,i}}} \quad \text{sendo:}$$

M_i Momento flector na sección para a carga 'i' considerada illadamente, co seu signo alxébrico correspondente.

$\sum M_i$ Momento flector total que solicita a sección.

$\psi_{el,i}$ Coeficiente redutor da largura eficaz correspondente á carga 'i' considerada illadamente e obtido coas expresións aproximadas antes definidas. Como lonxitude de referencia L_i , tomarase a distancia entre puntos de momento flector nulo para a dita carga 'i'.

21.3.4. Elementos baixo solicitacións combinadas locais e globais

Certos elementos estruturais atópanse solicitados pola combinación dos efectos das flexións locais, derivadas da acción das cargas directas actuando sobre eles, cos efectos, xeralmente esforzos axiais, debidos á súa participación na resposta global da estrutura.

Tal é o caso, por exemplo, dos cordóns superiores de estruturas en celosía, de taboleiros de sistemas atirantados, dos tirantes de arcos de taboleiro inferior, etc.

A análise estrutural (local e global), así como as comprobacións de resistencia das seccións, deben considerar as diferentes larguras eficaces dos ditos elementos para reflectir adecuadamente os efectos da flexión local baixo as accións directas e da difusión no seu plano das solicitacións axiais do traballo global.

21.3.5. Distribución aproximada de tensións normais nas alas

Unha vez coñecido ψ_{el} nunha sección, a distribución transversal de tensións normais na largura da ala pódese estimar de forma suficientemente aproximada como se representa na figura 21.3.5.

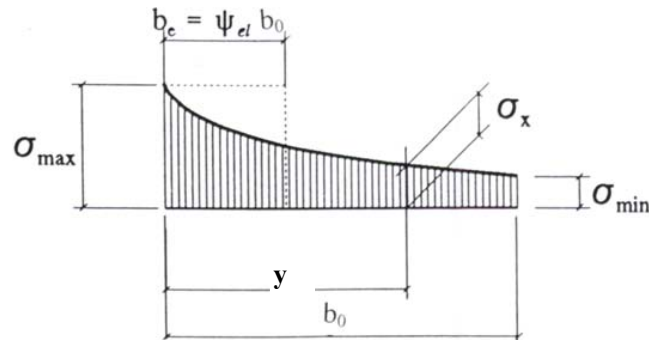


Figura 21.3.5. Lei aproximada de tensións normais nas alas

- Se $\psi_{el} > 0,20$:

$$\sigma_{min} = \sigma_{max} (1,25 \psi_{el} - 0,25)$$

$$\sigma_x = \sigma_{min} + (\sigma_{max} - \sigma_{min}) (1 - y/b_0)^4$$

- Se $\psi_{el} \leq 0,20$:

$$\sigma_x = 0 \quad \text{para } y \geq 5 \psi_{el} b_0$$

$$\sigma_x = \sigma_{max} (1 - y / (5 \psi_{el} b_0))^4 \quad \text{para } y < 5 \psi_{el} b_0$$

21.4. Largura eficaz de alas rixidizadas en estados límite de servizo e fatiga

A presenza de rixidizadores nas alas de vigas ou caixóns de aceiro (figura 21.4) aumenta os efectos do arrastre por cortante, reducindo as larguras eficaces a considerar, que se poden estimar de forma análoga ao caso de alas non rixidizadas:

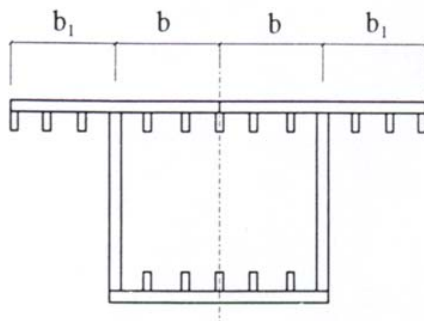


Figura 21.4. Larguras eficaces en alas rixidizadas.

$$b_e = \psi'_{el} b, \text{ para alas interiores.}$$

$$b_{1e} = \psi'_{el} b_1, \text{ para alas exteriores.}$$

Os coeficientes de redución ψ'_{el} obtéñense mediante as expresións xa establecidas no punto precedente, pero substituíndo o parámetro β por:

$$\beta' = \alpha \beta = \alpha b_0/L$$

sendo:

$$\alpha = \sqrt{1 + \frac{A_{sl}}{b_0 t}}$$

$b_0 = b$ para alas interiores rixidizadas.

$b_0 = b_1$ para alas exteriores rixidizadas.

$A_{sl} =$ Área dos rixidizadores lonxitudinais situados dentro da largura b_0 da ala.

$t =$ Grosor da ala.

21.5. Largura eficaz de alas en estados límite últimos

Os efectos do arrastre por cortante nas comprobacións de resistencia de seccións de aceiro poden ser estimados, de forma conservadora, mediante os mesmos coeficientes redutores elásticos da largura eficaz das alas, ψ_{el} , definidos en 21.3 e 21.4. Alternativamente, pódense seguir os criterios máis precisos establecidos seguidamente:

Cando as comprobacións de resistencia dos estados límite últimos consideren as alas plastificadas, os coeficientes redutores da largura eficaz da ala en rango elastoplástico, ψ_{ult} , adoptan valores máis favorables que os ditos ψ_{el} .

Así, para alas traccionadas e para alas comprimidas de seccións transversais de clase 1 e 2, de acordo co artigo 20, pódese supor.

$$\psi_{ult} = \psi_{el}^{\beta} \geq \psi_{el} \quad \text{para alas non rixidizadas.}$$

$$\psi'_{ult} = \psi'_{el}{}^{\beta'} \geq \psi'_{el} \quad \text{para alas traccionadas con rixidizadores lonxitudinais.}$$

En seccións transversais esveltas, de clase 4, resulta necesario considerar conxuntamente os efectos do arrastre por cortante e da abladura de paneis comprimidos, nas comprobacións dos estados límite últimos. Para iso, débese utilizar unha área eficaz reducida das alas comprimidas, A_{ef} , estimada a partir da expresión:

$$A_{ef} = A_{c,ef} \psi_{ult}, \quad \text{sendo:}$$

$A_{c,ef}$ Área da sección reducida da ala esvelta comprimida, con ou sen rixidizadores, fronte a abladura (véxase o artigo 20).

ψ_{ult} Coeficiente redutor da largura eficaz da ala comprimida, debido ao arrastre por cortante, estimado en rango elástico a partir das expresións de ψ_{el} (véxanse os puntos 21.3 e 21.4), pero substituíndo o parámetro β por:

$$\beta' = \alpha\beta = \alpha b_0/L, \quad \text{onde:}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{A_{c,ef}}{b_0 t}}$$

Para alas comprimidas de clase 3 (véxase o artigo 20), onde practicamente non se producen fenómenos de abladura nin deformacións fóra do ámbito elástico, nas comprobacións dos estados límite últimos, débese adoptar:

$$\psi_{ult} = \psi_{el}$$

21.6. Largura eficaz para accións localizadas aplicadas no plano da alma

A aplicación de cargas localizadas no plano da alma dunha sección, a través da platabanda da ala, dá lugar a unha distribución de tensións normais, en dirección transversal á directriz do elemento, cuxa difusión elástica no dito plano da alma segue unha lei non lineal (véxase a figura 21.6) que se pode aproximar segundo a seguinte expresión:

$$\sigma_{z,Ed} = \frac{F_{Ed}}{b_e (t_w + a_{st})} \quad \text{sendo:}$$

- $\sigma_{z,Ed}$ Valor de cálculo da tensión normal na dirección transversal á directriz, no punto considerado da alma.
- F_{Ed} Valor de cálculo da forza transversal aplicada.
- t_w Grosor da alma.
- a_{st} Área da sección transversal bruta, por unidade de lonxitude, dos eventuais rixidizadores transversais situados directamente na zona de afección da carga baixo a platabanda, supondo unha difusión a 45° a través do grosor desta. Adoptarase o valor da área dun rixidizador dividida pola distancia entre eixes de rixidizadores.

O largo eficaz, b_e , obtense mediante a seguinte expresión:

$$b_e = s_e \sqrt{1 + \left(\frac{z}{s_e n}\right)^2} \quad \text{onde:}$$

$$n = 0,636 \sqrt{1 + \frac{0,878 a_{st}}{t_w}}$$

$$s_e = s_s + 2 t_f \quad \text{sendo:}$$

- t_f Grosor da ala.
- s_s Lonxitude da zona de aplicación da carga localizada sobre a platabanda da ala.
- s_e Lonxitude da zona de difusión da carga localizada na sección de contacto ala-alma, supondo unha difusión de 45° da carga na platabanda da ala.
- z Distancia transversal entre a sección de estudo e a sección de contacto ala-alma, inmediata á zona de aplicación da carga (véxase a figura 21.6).

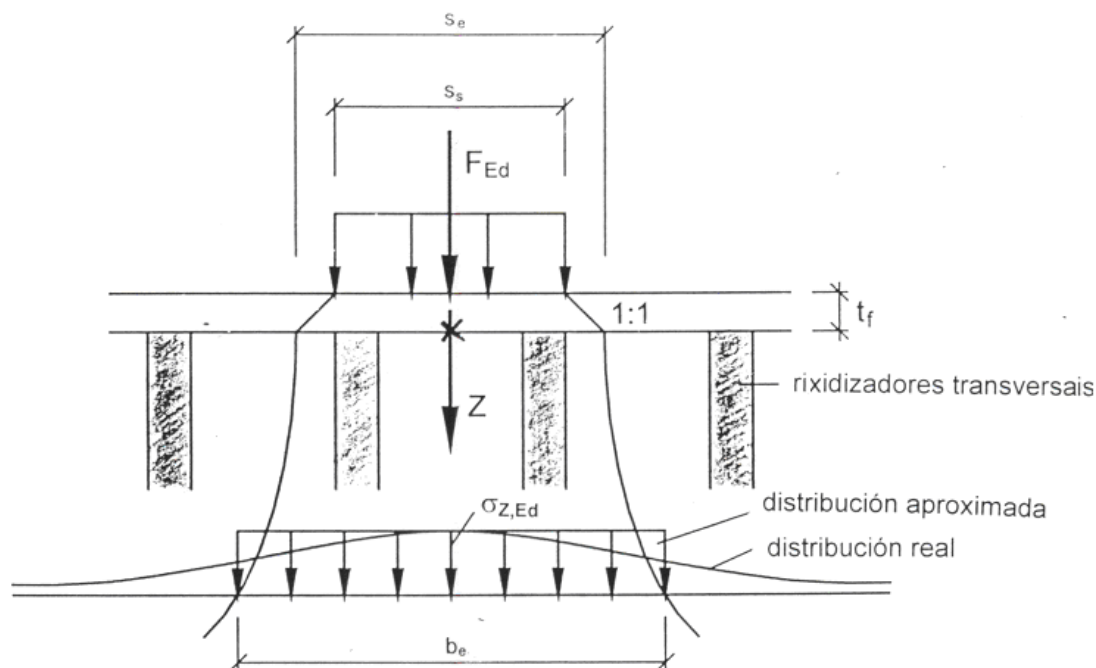


Figura 21.6. Difusión de cargas localizadas no plano da alma

Artigo 22 Consideración das imperfeccións

22.1. Bases

A análise en segunda orde das estruturas cuxa resposta sexa sensible ás deformacións da súa xeometría inicial debe considerar adecuadamente os efectos das tensións residuais sobre a resposta non lineal do aceiro, así como das inevitables imperfeccións xeométricas, tales como defectos de verticalidade, de aliñación, de planeidade, de axuste e excentricidade nas unións, e demais tolerancias de execución e montaxe.

En xeral, os seus efectos pódense incorporar nas análises estruturais adoptando unhas imperfeccións xeométricas equivalentes.

Os efectos das imperfeccións débense considerar nos seguintes casos:

- Efecto das imperfeccións na análise global da estrutura.
- Efecto das imperfeccións na análise de sistemas de arriostamento lateral de elementos flectados ou comprimidos.
- Efecto das imperfeccións na análise local de elementos illados.

As imperfeccións débense incluír nas análises estruturais para a comprobación dos estados límite últimos, sempre que a súa influencia sexa significativa. En xeral, non resulta necesaria a súa consideración nas comprobacións dos estados límite de servizo.

22.2. Método de aplicación

Os efectos das imperfeccións xeométricas equivalentes, definidas no punto 22.3, débense incluír na análise global de estruturas translacionais susceptibles a fenómenos de inestabilidade lateral (artigos 23 e 24). Os esforzos resultantes da análise deberanse considerar nas posteriores comprobacións resistentes dos diferentes elementos da estrutura.

No caso de estruturas arriostadas (véxase 23.3), as imperfeccións xeométricas equivalentes definidas en 22.3 utilizaranse, así mesmo, para a verificación resistente dos sistemas estabilizadores de arriostamento lateral (núcleos, pantallas, celosías, etc.), segundo se prevé en 23.4.

Os efectos das imperfeccións establecidas no punto 22.4 incorporaranse, así mesmo, na análise estrutural dos eventuais sistemas de arriostamento lateral de elementos flectados ou comprimidos. Os esforzos resultantes da análise teranse en conta no dimensionamento dos ditos sistemas de arriostamento.

No caso das comprobacións resistentes de elementos illados sensibles a fenómenos de inestabilidade, a partir dos métodos ou formulacións considerados nos puntos 35.1, 35.2 e 35.3 desta instrución, os efectos das imperfeccións xeométricas equivalentes dos elementos illados atópanse xa implicitamente incluídos nas ditas verificacións.

Segundo se indica en 22.5, para o caso de elementos illados non convencionais, cuxa comprobación resistente non queda explicitamente cuberta polos métodos establecidos no artigo 35, así como nos casos de inestabilidade global de estruturas previstos en 22.3.2, débense incorporar as imperfeccións locais xeométricas dos elementos illados, establecidas en 22.3.2 e 22.3.5, nas análises en segunda orde dos ditos elementos ou estruturas, respectivamente.

Se se desexa, as imperfeccións xeométricas equivalentes pódense substituír por forzas equivalentes, transversais á directriz dos elementos comprimidos, segundo se prevé en 22.3.3 e 22.4.1.

22.3. Imperfeccións na análise global da estrutura

As imperfeccións xeométricas equivalentes débense incluír na análise global de todas aquelas estruturas en que non se poidan desprezar os efectos de segunda orde. No artigo 23 establécense as condicións de intranslacionalidade de estruturas que permiten non considerar os ditos efectos.

A xeometría do modelo de cálculo é a que resulta de incorporar á xeometría teórica, ideal, da estrutura as imperfeccións xeométricas equivalentes, de forma que produzan os efectos máis desfavorables.

Para iso, as imperfeccións a considerar pódense obter a partir dos modos de empenamento global da estrutura, no plano de inestabilidade considerado.

En xeral, resulta necesario estudar a posibilidade de empenamento da estrutura no seu plano e fóra del, aínda que de forma non simultánea (figura 22.3).

Naquelas estruturas de baixa rixidez global torsional será así mesmo necesario considerar a posibilidade dun empenamento xeneralizado por torsión, antimétrico, mediante a aplicación das imperfeccións en sentido contrario sobre dúas caras opostas da estrutura (figura 22.3).

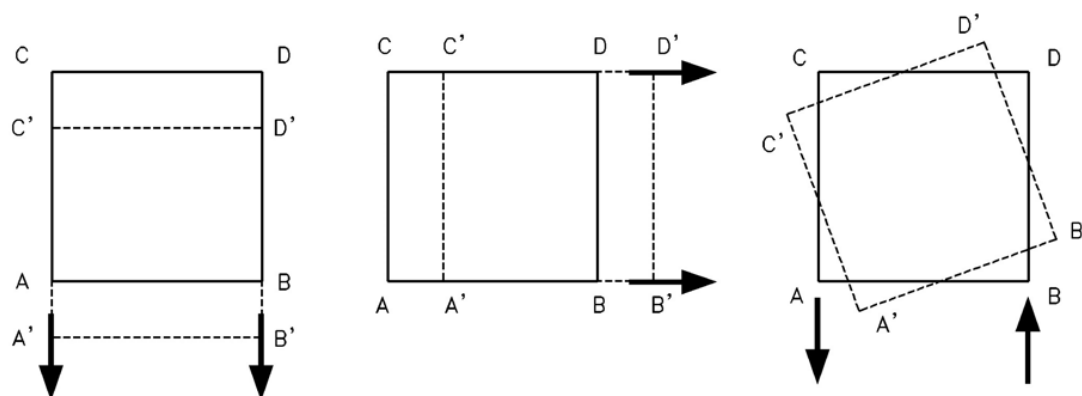


Fig. 22.3. Posibles formas de inestabilidade, por translación ou torsión, dunha estrutura

O efecto das imperfeccións na análise global de estruturas translacionais introdúcese como suma dun defecto global de verticalidade da estrutura e dunhas curvaturas iniciais en todos os elementos comprimidos desta, con forma parabólica de segundo grao.

Se se desexa, as imperfeccións xeométricas pódense substituír por un sistema autoequilibrado de forzas transversais equivalentes, segundo se prevé en 22.3.3.

En xeral, cómpre analizar sempre a posible inestabilidade baixo modos de empenamento simétricos e asimétricos, e para aquelas combinacións de accións en que se obteña, para cada un deles, o menor coeficiente de amplificación das cargas que produce a inestabilidade elástica do sistema.

22.3.1. Imperfeccións laterais globais equivalentes

Considerarase un defecto inicial de verticalidade tal que (véxase a figura 22.3.1):

$$\phi = k_h \cdot k_m \cdot \phi_0 \quad \text{sendo:}$$

ϕ_0 Valor de base da imperfección lateral: $\phi_0 = 1/200$

k_h Coeficiente redutor para a altura 'h' (en metros) da estrutura:

$$k_h = \frac{2}{\sqrt{h}} \quad \text{con} \quad \frac{2}{3} \leq k_h \leq 1,0$$

k_m Coeficiente redutor para o número de aliñacións, 'm', de elementos comprimidos (machóns en pontes ou piares en edificios) no plano do empenamento considerado:

$$k_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m} \right)}$$

En 'm' só se contabilizan os elementos solicitados por unha compresión cuxo valor de cálculo, N_{Ed} , sexa igual ou superior ao 50% da compresión media por elemento, para o plano de empenamento e combinación de accións considerada.

En principio, só se deberán contabilizar en 'm' aqueles elementos comprimidos que se estendan á totalidade da altura 'h' da estrutura utilizada para a obtención de k_h .

En tramados aporticados de edificación, a imperfección lateral global poderase desprezar, para unha certa combinación de accións, cando:

$$H_{Ed} \geq 0,15 V_{Ed} \quad \text{sendo:}$$

H_{Ed} Valor de cálculo da resultante das accións horizontais totais, na base do edificio, correspondentes á combinación de accións considerada.

V_{Ed} Valor de cálculo da resultante das accións verticais totais, na base do edificio, para a dita combinación de accións.

Os efectos estruturais ocasionados polas imperfeccións laterais globais equivalentes son pouco significativos respecto dos ocasionados polas accións horizontais que actúan sobre a estrutura.

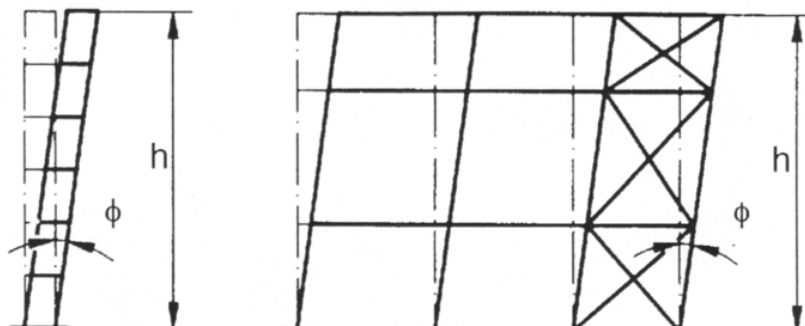


Fig. 22.3.1. Imperfeccións laterais globais

22.3.2. Curvaturas iniciais equivalentes nos elementos comprimidos

Ademais do defecto inicial de verticalidade global da estrutura, e salvo nas circunstancias establecidas seguidamente, deberase considerar a influencia, na inestabilidade global das estruturas translacionais, das imperfeccións locais propias de todos aqueles elementos comprimidos en que se cumpran as dúas condicións seguintes:

- Polo menos un dos dous nós extremos do elemento non se poida considerar como articulado.
- A súa esvelteza adimensional (véxase 35.1.2), no plano de empenamento considerado, calculada como barra biarticulada nos seus extremos, sexa tal que:

$$\bar{\lambda} > 0,5 \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{Ed}}} \quad \text{sendo:}$$

A Área da sección transversal do elemento.

N_{Ed} Valor de cálculo da compresión no elemento, para a combinación de accións analizada.

Esta condición equivale a que o axial de compresión de cálculo do elemento, N_{Ed} , sexa superior ao 25% da súa carga crítica de Euler, N_{cr} .

Nos ditos casos, pódese adoptar unha curvatura inicial equivalente, nos elementos comprimidos afectados, con forma parabólica de segundo grao e unha frecha máxima e_0 , tal que:

Tipo de curva de empenamento (véxase 35.1.2)	Método de análise global da estrutura	
	Análise global elástica	Análise global plástica
	e_0	e_0
a_0	L/350	L/300
A	L/300	L/250
B	L/250	L/200
C	L/200	L/150
D	L/150	L/100

Onde L é a lonxitude do elemento.

Se se desexa realizar unha análise máis precisa, pódense adoptar, alternativamente, as expresións establecidas en 22.3.5.

22.3.3. Forzas transversais equivalentes ás imperfeccións

Os efectos das imperfeccións laterais globais e das curvaturas iniciais nos elementos comprimidos pódense asemillar a uns sistemas de forzas transversais autoequilibradas equivalentes, proporcionais ás cargas verticais aplicadas na combinación de accións correspondente, estimadas como segue para cada elemento (véxase a figura 22.3.3):

- a. Para o caso de defectos iniciais de verticalidade de elementos comprimidos:

$$H_{td} = \phi N_{Ed}$$

- b. Para o caso de curvaturas iniciais en elementos comprimidos, cando sexa preciso consideralas segundo 22.3.2:

$$q_{td} = \frac{8 N_{Ed} \cdot e_0}{L^2}$$

$$H_{td} = \frac{4 N_{Ed} e_0}{L}$$

sendo L e N_{Ed} a lonxitude e o valor de cálculo do esforzo de compresión, respectivamente, no elemento.

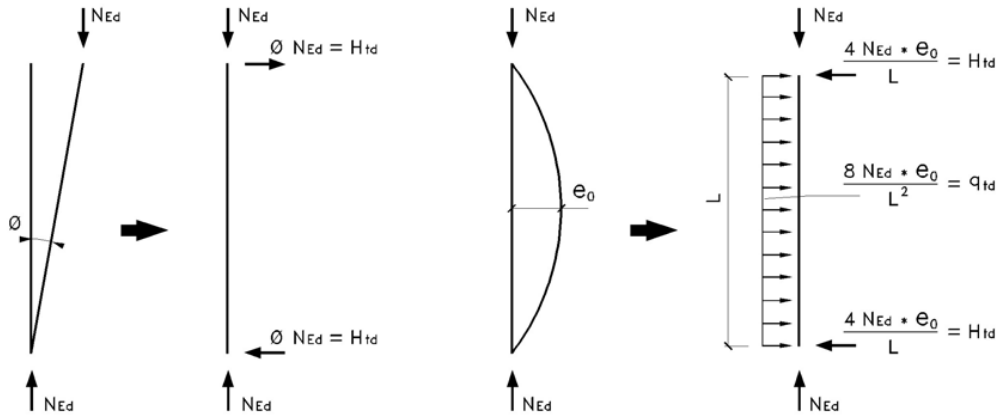


Fig. 22.3.3. Forzas transversais equivalentes ás imperfeccións

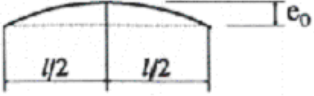
22.3.4. Imperfeccións para a análise global de arcos

Salvo que se utilice o método xeral descrito en 22.3.5, na análise da inestabilidade global de arcos baixo formas de empenamento no seu plano, ou fóra do seu plano, pódense utilizar as imperfeccións xeométricas definidas seguidamente.

22.3.4.1. Empenamento no plano do arco

		Forma das imperfeccións xeométricas equivalentes no plano do arco (parábola ou funcións seno)	Valor de e_0 para seccións correspondentes ás diferentes curvas de empenamento			
			a	b	c	d
1	Arco triarticulado con empenamento simétrico		$\frac{s}{300}$	$\frac{s}{250}$	$\frac{s}{200}$	$\frac{s}{150}$
2	Arco biarticulado encastrado triarticulado con empenamento asimétrico		$\frac{l}{600}$	$\frac{l}{500}$	$\frac{l}{400}$	$\frac{l}{300}$

22.3.4.2. Empenamento fóra do plano do arco

	Forma das imperfeccións xeométricas equivalentes fóra do plano do arco (parábola ou función seno)	Valor de e_0 para seccións correspondentes ás diferentes curvas de empenamento			
		a	b	c	d
Arco triarticulado Arco biarticulado Arco encastrado		$\frac{l_0}{300}$	$\frac{l_0}{250}$	$\frac{l}{200}$	$\frac{l_0}{150}$

$$l_0 = l \quad \text{para} \quad l \leq 20 \text{ m}$$

$$l_0 = \sqrt{20 \cdot l} \quad \text{para} \quad l > 20 \text{ m}$$

22.3.5. Imperfeccións xeométricas afíns ás formas de empenamento en estruturas complexas

Como alternativa ás imperfeccións xeométricas equivalentes globais e locais, establecidas respectivamente en 22.3.1 e 22.3.2, pódese recorrer á definición dun sistema único de imperfeccións xeométricas iniciais, afín á deformada do modo crítico de empenamento elástico da estrutura, para a combinación de accións e plano de empenamento considerados, cunha amplitude dada por:

$$\eta_{\text{inic}} = e'_0 \eta_{\text{cr}}$$

$$e'_0 = e_0 \left(\frac{N_{\text{cr}}}{EI \eta_{\text{cr}, \text{máx}}} \right) = e_0 \left(\frac{1}{\bar{\lambda}^2} \frac{N_{\text{Rk}}}{EI \eta_{\text{cr}, \text{máx}}} \right)$$

sendo:

η_{cr} Deformada do modo crítico de empenamento elástico da estrutura, sendo $EI \eta_{\text{cr}, \text{máx}}$ o momento flector na sección transversal crítica baixo a deformada η_{cr} .

$$e_0 = \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) \frac{M_{\text{Rk}}}{N_{\text{Rk}}} k_\gamma$$

onde:

$$k_{\gamma} = \frac{1 - \chi \bar{\lambda}^2 / \gamma_{M1}}{1 - \chi \bar{\lambda}^2} \geq 1,0$$

α Coeficiente de imperfección da curva de empenamento apropiada para a sección transversal crítica, segundo a táboa 35.1.2.a.

χ Coeficiente de redución para o modo de empenamento considerado, segundo 35.1.2.

$\bar{\lambda}$ esvelteza adimensional reducida da estrutura, obtida segundo se establece a continuación:

- Supóñense aplicadas nos nós da estrutura unhas forzas tales que todos os elementos desta se atopen solicitados cos axiais de cálculo, N_{Ed} , resultantes dunha análise global en primeira orde para a combinación de accións considerada. Pódense desprezar os momentos flectores nos elementos.
- Para a dita combinación de accións, obtense o modo crítico de inestabilidade elástica da estrutura e o coeficiente crítico mínimo de amplificación, α_{cr} , para a citada configuración de esforzos axiais de cálculo, N_{Ed} , ao alcanzarse a inestabilidade elástica.
- Obtense, así mesmo, en análise de primeira orde, o coeficiente mínimo de amplificación, α_{uk} , da dita configuración de axiais de cálculo, N_{Ed} , ao alcanzarse, sen considerar os efectos do empenamento, a resistencia característica, N_{Rk} , na sección transversal do elemento con menor reserva resistente a compresión.
- A esvelteza adimensional reducida da estrutura, para a dita combinación de accións, será:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{\alpha_{uk}}{\alpha_{cr}}}$$

M_{Rk}, N_{Rk} Momento e axial resistentes característicos, respectivamente, da sección transversal crítica, segundo se definen en 34.3 e 34.4. O cociente $\frac{M_{Rk}}{N_{Rk}}$ será

por tanto:

$$\frac{W_{pl}}{A} \quad \text{para seccións de clase 1 ou 2.}$$

$$\frac{W_{el,min}}{A} \quad \text{para seccións de clase 3.}$$

$$\frac{W_{ef,min}}{A_{ef}} \quad \text{para seccións de clase 4.}$$

22.4. Imperfeccións na análise de sistemas de arriostamento

Os efectos das imperfeccións xeométricas equivalentes débense incorporar na análise dos sistemas de arriostamento utilizados para asegurar a estabilidade lateral de elementos flectados ou comprimidos.

Adoptarase unha curvatura inicial equivalente dos elementos a estabilizar tal que:

$$e_0 = k_m L/500, \quad \text{sendo:}$$

L Luz do sistema de arriostamento.

k_m Coeficiente reductor do número de elementos a considerar, que se pode estimar segundo:

$$k_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m} \right)} \quad \text{onde 'm' é o número de elementos estabilizados polo sistema de arriostamento considerado.}$$

22.4.1. Forzas transversais equivalentes sobre o arriostamento

Se se desexa, os efectos das imperfeccións xeométricas, derivadas das curvaturas iniciais dos elementos a estabilizar, pódense substituír por un sistema de forzas equivalentes de valor (véxanse as figuras 22.4.1.a e 22.4.1.b):

$$q = \Sigma N_{ed} \cdot 8 \cdot \frac{e_0 + \delta_q}{L^2}, \quad \text{sendo:}$$

δ_q Frecha do sistema de arriostamento no plano de estabilización, estimada a partir dun cálculo elástico en primeira orde baixo a acción das forzas 'q' e das eventuais accións exteriores solicitantes do sistema de arriostamento.

Resulta preciso, por tanto, realizar un proceso iterativo.

En caso de utilizarse unha análise de segunda orde, δ_q , pódese tomar igual a cero, pero na dita análise inclúranse todas as forzas que solicitan ao sistema de estabilización.

N_{Ed} Valor máximo do esforzo normal solicitante de cada elemento a estabilizar, suposto uniforme sobre a lonxitude L do sistema de arriostamento. Para esforzos non uniformes, esta hipótese queda do lado da seguridade.

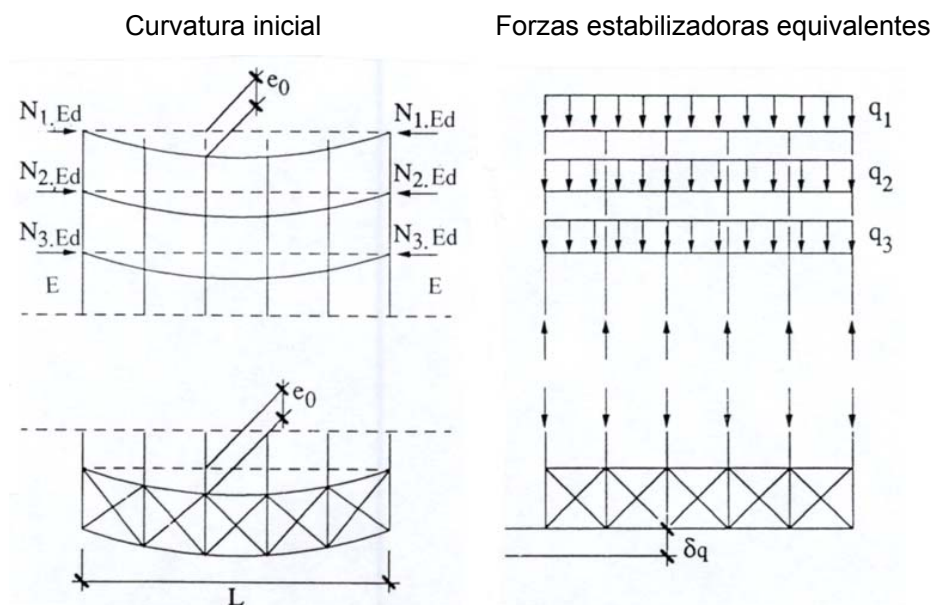


Fig. 22.4.1.a. Imperfeccións sobre o sistema de arriostamento

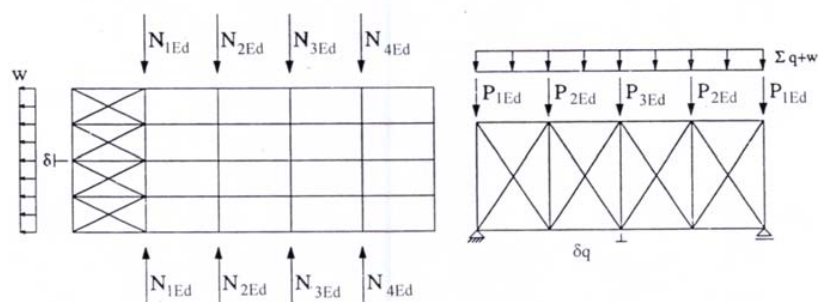
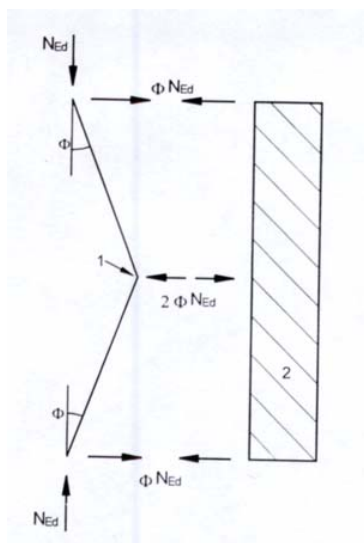


Fig. 22.4.1.b. Forzas equivalentes incluíndo accións exteriores

Cando un sistema de arriostamento estabiliza elementos flectados ou comprimidos que teñen unha xunta de continuidade, non transmisora de momentos, deberá así mesmo verificarse que o dito sistema de arriostamento é capaz de resistir unha forza transversal local igual a $k_m N_{Ed}/100$, transmitida por cada elemento comprimido na sección de xunta, e transmitida aos puntos de arriostamento adxacentes do dito elemento (véxase a figura 22.4.1.c). Neste caso incluíranse, ademais, as eventuais forzas exteriores que solicitan ao sistema de arriostamento, pero non se engadirán as derivadas das imperfeccións anteriormente definidas.



$$\phi = k_m \phi_0 \quad \phi_0 = 1/200$$

$$2\phi N_{Ed} = k_m N_{Ed}/100$$

1. Xunta de continuidade. 2. Sistema de arriostamento.

Fig. 22.4.1.c. Forzas locais sobre o sistema de arriostamento de elementos con xunta de continuidade

Cada elemento de apoio lateral e vinculación co sistema de arriostamento debe, así mesmo, ser capaz de resistir unha forza igual a $k_m \Sigma N_{Ed}/100$ dos elementos a estabilizar.

22.5. Imperfeccións na análise local de elementos illados

Normalmente, os efectos das imperfeccións locais nos elementos illados, comprimidos ou flectados, atópanse implicitamente considerados nas fórmulas de verificación dos estados límite de inestabilidade do artigo 35.

Alternativamente, ou naqueles casos en que as ditas formulacións non sexan de aplicación (por exemplo, en certos elementos de sección non uniforme, ou con niveis de compresión variable na súa lonxitude, ou en presenza de cargas transversais ou de condicións complexas de vinculación nos extremos, etc.), a resistencia de elementos comprimidos ou flectados fronte a fenómenos de inestabilidade, no seu plano ou lateral, pódese xustificar mediante análise en segunda orde adoptando unhas imperfeccións iniciais locais, en forma de curvaturas parabólicas equivalentes, coa amplitude máxima definida en 22.3.2 ou, de forma máis precisa, en 22.3.5.

Nas análises en segunda orde dos problemas de empenamento lateral de elementos flectados, pódese adoptar como imperfección lateral un valor de $0,5 e_0$, sendo e_0 a amplitude da imperfección inicial equivalente para o empenamento nun plano normal ao de flexión (xeralmente respecto ao eixe de menor inercia da sección). Non se necesita, en xeral, incorporar unha imperfección adicional de torsión.

Artigo 23 Estabilidade lateral das estruturas

23.1. Rixidez lateral

A influencia dos efectos de segunda orde na resistencia dunha estrutura depende basicamente da súa rixidez lateral.

A estabilidade lateral dunha estrutura adoita, en xeral, garantirse por medio de:

A propia rixidez dos sistemas de tramados de nós ríxidos.

Sistemas de arriostamento lateral triangulados.

Sistemas de arriostamento lateral mediante pantallas ou núcleos ríxidos.

Por combinación dalgúns dos esquemas estruturais precedentes.

En caso de se proxectaren unións semirríxidas (véxase 57.4) entre elementos estruturais, débense ter en conta os seus diagramas momento-rotación (véxase 57.2) na avaliación da rixidez lateral.

As cimentacións débense, en xeral, proxectar de forma que os efectos dos desprazamentos laterais e rotacións na súa base sexan desprezables.

En estruturas non simétricas en planta, débense considerar os efectos da interacción flexión-torsión na comprobación da súa estabilidade lateral.

A estabilidade lateral débese garantir tanto para a estrutura en servizo como para as súas diferentes fases construtivas.

23.2. Clasificación de estruturas intranslacionais e translacionais

Unha estrutura pódese clasificar como intranslacional cando a súa rixidez lateral é suficiente para que a influencia dos efectos de segunda orde na súa resistencia se poida considerar desprezable. A análise global das estruturas intranslacionais pódese realizar segundo a teoría en primeira orde.

Unha estrutura pódese considerar como intranslacional fronte a un certo modo de inestabilidade lateral, e unha determinada combinación de accións, se se cumpre o seguinte criterio:

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10 \quad \text{cando se realiza unha análise global elástica.}$$

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 15 \quad \text{cando se realiza unha análise global plástica ou elastoplástica.}$$

sendo:

F_{cr} Carga crítica de inestabilidade elástica para o dito modo de empenamento global, baixo a configuración da combinación de accións a considerar.

F_{Ed} Carga de cálculo que actúa sobre a estrutura para a dita combinación de accións.

α_{cr} Coeficiente de amplificación polo que se debe multiplicar a configuración de cargas de cálculo para provocar a inestabilidade lateral elástica segundo o modo de empenamento global considerado.

Deberanse analizar todas aquelas combinacións de cargas para as que α_{cr} non satisfaga o dito criterio de intranslacionalidade.

23.2.1. Criterio de intranslacionalidade en estruturas convencionais de edificación

Unha estrutura pódese clasificar como intranslacional cando a súa rixidez lateral é suficiente para que a influencia dos efectos de segunda orde sobre a magnitude dos esforzos ou sobre o comportamento estrutural global desta se poida considerar desprezable. A análise global das estruturas intranslacionais pódese realizar segundo a teoría en primeira orde. Os efectos de segunda orde só deben ser considerados nas comprobacións resistentes dos elementos comprimidos illados, segundo se trata no punto 22.5 e o artigo 35.

En pórticos simples con linteis de cuberta planos, ou de débil pendente, así como en tramados aporticados planos de edificación, con nós ríxidos, o criterio de intranslacionalidade de 23.2 pódese supor satisfeito se, en cada planta, e para a combinación de accións considerada, o dito criterio se cumpre para:

$$\alpha_{cr} = \left(\frac{F_{H,Ed}}{F_{v,Ed}} \right) \times \left(\frac{h_p}{\delta_{H,Ed}} \right) \quad \text{sendo:}$$

$F_{H,Ed}$ Valor de cálculo da forza horizontal, estimada no nivel inferior de cada planta, resultante das cargas horizontais que actúan por encima do dito nivel, incluíndo os efectos das imperfeccións indicadas no artigo 22.

$F_{v,Ed}$ Valor de cálculo da forza vertical, estimada no nivel inferior de cada planta, resultante das cargas verticais que actúan por encima do dito nivel.

h_p Altura da planta considerada.

$\delta_{H,Ed}$ Desprazamento horizontal relativo entre o nivel superior e inferior da planta considerada, baixo a acción das accións exteriores, horizontais e verticais, de cálculo e das forzas transversais equivalentes ás imperfeccións, establecidas no artigo 22, para a combinación de accións considerada.

23.3. Clasificación de estruturas arriostadas ou non arriostadas

Unha estrutura pódese clasificar como arriostada cando a súa rixidez lateral está garantida a través dun sistema estabilizador de arriostamento que permita desprezar a influencia dos efectos de segunda orde na súa resposta estrutural. A análise global pódese realizar entón segundo a teoría en primeira orde.

A rixidez do sistema de arriostamento, para poder considerar unha estrutura como arriostada, débese verificar mediante os criterios de intranslacionalidade establecidos en 23.2, aplicados ao conxunto da estrutura a clasificar, incluíndo o sistema de arriostamento a que está vinculada.

Adicionalmente, o sistema de arriostamento deberá satisfacer os requisitos establecidos en 23.4.

23.4. Análise dos sistemas de arriostamento

O sistema de arriostamento deberase dimensionar para facer fronte a:

- Os efectos das imperfeccións establecidas no artigo 22, tanto para o propio sistema de arriostamento como para todas as estruturas ás cales arriosta.
- Todas as forzas horizontais que puidesen solicitar as estruturas ás cales arriosta.
- Todas as forzas horizontais e verticais que actúan directamente sobre o propio sistema de arriostamento.

Pódese considerar que o conxunto de todas estas accións solicita unicamente o sistema de arriostamento, sen afectar significativamente á resposta das estruturas ás cales arriosta.

Artigo 24 Métodos de análise da estabilidade global de estruturas

24.1. Principios básicos

En todas aquelas estruturas cuxa rixidez lateral non sexa suficiente para podelas considerar como intranslacionais ou arriostadas, segundo os criterios establecidos en 23.2 e 23.3, respectivamente, débese comprobar a súa estabilidade lateral global segundo os métodos descritos neste artigo, que consideran os efectos de segunda orde, así como as imperfeccións xeométricas equivalentes, definidas no artigo 22.

En función do tipo de estrutura e do método de análise global a realizar, a consideración dos efectos de segunda orde e das imperfeccións xeométricas equivalentes pódese abordar por algún dos métodos seguintes:

- a) Mediante unha análise global translacional que inclúa a totalidade dos ditos efectos, é dicir, as imperfeccións laterais globais equivalentes da estrutura translacional, definidas en 22.3.1, e as imperfeccións por curvaturas iniciais equivalentes dos elementos comprimidos illados, definidas en 22.3.2. En ambos os casos, pódense utilizar alternativamente as forzas transversais equivalentes establecidas en 22.3.3. En estruturas complexas convén utilizar directamente un único sistema de imperfeccións xeométricas afíns ás formas de empenamento, segundo se indica en 22.3.5.
- b) Mediante unha análise global translacional da estrutura que considere unicamente, salvo o establecido en 22.3.2, os efectos das imperfeccións laterais globais equivalentes, seguido dun control dos efectos da inestabilidade nos elementos comprimidos illados.

En 22.3.2 establécense as condicións en que a análise global translacional debe incorporar, ademais, as imperfeccións por curvaturas lineais equivalentes en certos elementos comprimidos.

- c) En certos casos básicos, considerados en 35.1 e no anexo 5, pode resultar suficiente a verificación dos controis de inestabilidade nos elementos comprimidos illados segundo o artigo 35, a partir de 'lonxitudes de empenamento' apropiadas (véxase 35.1 e anexo 5), baseadas no modo de inestabilidade global da estrutura, e coas solicitacións obtidas segundo a teoría de primeira orde, sen considerar as imperfeccións xeométricas equivalentes.

Se se utiliza o método a), a verificación da estabilidade dos elementos illados comprimidos queda adecuadamente garantida a través da análise global en segunda orde da estrutura, non sendo preciso ningunha verificación adicional á comprobación resistente das diferentes seccións baixo os esforzos resultantes do cálculo.

Se se utiliza o método b), a estabilidade dos elementos illados comprimidos débese controlar posteriormente, incluíndo os efectos de segunda orde e as imperfeccións locais nos ditos elementos, non considerados previamente na análise global en segunda orde da estrutura (por exemplo, empenamento por flexocompresión ou empenamento lateral do elemento).

Para iso, pódense utilizar os métodos establecidos en 35.3, cando resulten aplicables, ou os máis xerais do punto 22.5, cando non o sexan, supondo que o elemento illado, coa súa lonxitude de empenamento (menor ou igual á distancia entre puntos adxacentes con desprazamento transversal coaccionado), está sometido ás solicitacións de flexión e compresión nos seus extremos, obtidas na análise global translacional realizada. Con carácter xeral, poderán así mesmo analizarse os ditos elementos illados, coas súas lonxitudes reais, mediante o método xeral elastoplástico non lineal previsto en 24.4, e sometidos ás solicitacións xa citadas en ambos os extremos.

Os métodos a) e b) exigen a consideración dos efectos de segunda orde, baixo as cargas exteriores e os efectos equivalentes das imperfeccións, mediante unha análise estrutural adecuada:

- Método xeral elastoplástico de análise non lineal en teoría de segunda orde, segundo se prevé en 24.4.
- Métodos elásticos en teoría de segunda orde.
- Naqueles casos en que sexa aplicable (véxase 24.2), mediante un método aproximado consistente en efectuar unha análise elástica de primeira orde, seguida dunha amplificación dos resultados da dita análise (esforzos flectores, esforzos cortantes e desprazamentos laterais, por exemplo) mediante coeficientes adecuados, segundo se trata en 24.2.
- En certos casos concretos de estruturas de edificación, considerados en 24.3, os métodos elásticos pódense aplicar a pórticos con rótulas plásticas debidamente localizadas, considerando de forma adecuada a redución de rixidez lateral na estrutura debida á presenza das ditas rótulas plásticas.

Ao tratarse de métodos de análise non lineal, non resulta de aplicación o principio de superposición. Por tanto, débese proceder a verificacións independentes para todas as combinacións de accións, e os seus eventuais modos de inestabilidade asociados, que resulten relevantes.

24.2. Análise elástica de estruturas translacionais

As análises elásticas en segunda orde, baixo a acción das cargas exteriores e as imperfeccións xeométricas equivalentes, son aplicables a calquera tipo de estrutura translacional.

Alternativamente, pode resultar suficientemente aproximado, no ámbito de aplicación logo indicado, realizar unha análise elástica en primeira orde, baixo as accións exteriores e os efectos das imperfeccións xeométricas iniciais equivalentes, e amplificar os momentos flectores, esforzos cortantes e demais efectos debidos estritamente á deformación lateral, polo coeficiente:

$$\left(\frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}} \right) \quad \text{sendo: } \alpha_{cr} \geq 3,0$$

α_{cr} o coeficiente de amplificación polo que se debe multiplicar a configuración de cargas de cálculo para alcanzar a inestabilidade elástica, segundo o modo de empenamento global considerado, tal e como se define en 23.2.

Este método simplificado só resulta aplicable a:

- a) Pórticos de edificación dunha soa planta.
- b) Pórticos regulares de edificación de varias plantas, coa condición de que todas as plantas presenten condicións similares de:
 - Distribución de cargas verticais,
 - distribución de cargas horizontais, e
 - rixideces laterais de pórtico en relación coas accións horizontais.

Cumpríranse, así mesmo, as condicións relativas aos linteis de piso ou cuberta establecidas en 23.2.1.

- c) Pontes ou outro tipo de estruturas, ou calquera dos seus elementos, cando $\alpha_{cr} > 3,0$ e se poida considerar que as seccións sometidas ás máximas flexións na análise de primeira orde (incluíndo os efectos das imperfeccións) son basicamente as mesmas que resultan máis amplificadas polos efectos de segunda orde (efectos P-delta).

Nos demais casos, débese recorrer a un método xeral de análise elástica en segunda orde.

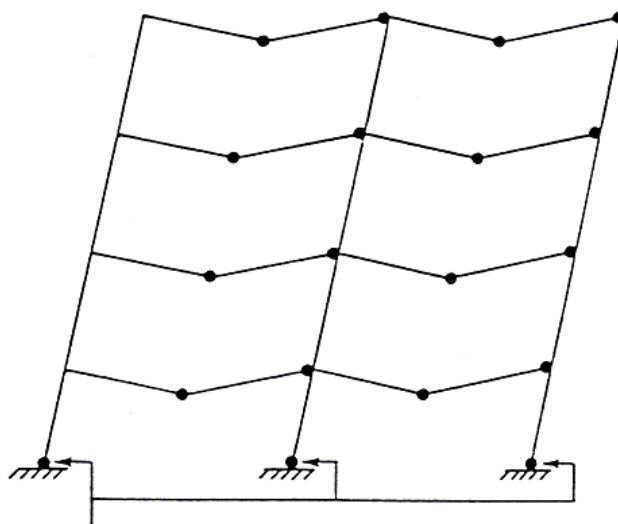
24.3. Análise plástica de estruturas translacionais

En xeral, a análise plástica de estruturas translacionais non está permitida, salvo nos casos estritamente previstos neste articulado, ou cando se aplique o método xeral elastoplástico en teoría de segunda orde, descrito en 24.4.

A análise ríxido-plástica de estruturas translacionais, con consideración indirecta dos efectos de segunda orde por inestabilidade lateral global, só está permitida en estruturas de edificación que cumpran as seguintes condicións:

- As seccións transversais dos elementos (linteis, soportes) susceptibles de aloxaren unha rótula plástica deberán satisfacer as exixencias de ductilidade establecidas en 20.5.
 - As seccións onde se forman rótulas plásticas deben ser simétricas e estar adecuadamente arriostadas fronte ao empenamento lateral e ao empenamento no plano perpendicular ao pórtico.
 - O coeficiente de amplificación α_{cr} (véxase 23.2) será maior ou igual a 5,0.
 - Coas limitacións anteriores, a súa aplicación queda restrinxida ás seguintes estruturas convencionais de edificación:
- a) Pórticos ortogonais dunha ou dúas plantas en que se cumpre unha das dúas condicións seguintes:

- Non se permite o desenvolvemento de rótulas plásticas nos soportes.
 - Poden aparecer rótulas plásticas en cabeza ou base de soportes, aínda que non en puntos intermedios, e ademais cúmprense as exixencias establecidas en 24.3.1.
- b) Pórticos ortogonais de varias plantas nos cales o mecanismo de rotura translacional é un mecanismo incompleto, no que só se permiten rotulacións en soportes nas seccións de arranque das plantas baixas. Ademais, o deseño das seccións críticas garantizará que as ditas posibles rótulas nas bases de soportes sexan as últimas que se desenvolvan na estrutura, permanecendo todas as seccións de soportes, en toda a súa altura, en rango elástico durante todo o proceso de desenvolvemento das sucesivas rotulacións en linteis (véxase fig. 24.3).



rótulas plásticas só en bases de soportes de planta baixa

Fig. 24.3. Mecanismo plástico incompleto en pórticos ortogonais de varias plantas

A consideración indirecta dos esforzos de segunda orde en estruturas translacionais con rótulas ríxido-plásticas, cando sexa de aplicación, pódese realizar mediante os modelos de análise elástica en segunda orde de estruturas translacionais, descritos en 24.1 e 24.2, reflectindo de forma adecuada as rótulas plásticas nas condicións de rixidez dos modelos elásticos correspondentes.

24.3.1. Requisitos nos soportes para a análise plástica

En pórticos ortogonais de edificación, dunha ou dúas plantas, nos cales se verifiquen as exixencias establecidas en 24.3 para permitir unha análise simplificada ríxida plástica translacional que implique rótulas plásticas nos extremos de todos ou algúns dos soportes, é necesario asegurar a adecuada capacidade de rotación das ditas seccións, baixo a actuación simultánea dos esforzos de compresión que lles solicitan.

Este requisito pódese considerar satisfeito se, baixo os esforzos axiais obtidos cunha análise ríxida plástica en primeira orde, se verifica que:

$$\bar{\lambda} \leq 0,3\sqrt{A \cdot f_y / N_{Ed}}, \quad \text{ou o seu equivalente:}$$

$$N_{cr} \geq 11,11 N_{Ed}$$

sendo:

A Área do soporte, suposto de sección constante.

f_y Límite elástico do aceiro.

N_{Ed} Valor de cálculo do esforzo axial de compresión no soporte.

N_{cr} Axial crítico de Euler para o soporte, suposto biarticulado.

$\bar{\lambda}$ esvelteza adimensional, correspondente ao axial crítico ideal de empenamento do soporte, e adoptando conservadoramente como lonxitude de empenamento a altura do soporte.

24.4. Método xeral de análise non lineal en teoría de segunda orde

O método xeral de análise non lineal en teoría de segunda orde é aquel que considera simultaneamente os efectos da non linearidade do comportamento dos materiais e do equilibrio da estrutura na súa configuración xeométrica deformada.

Ademais, débense ter en conta as imperfeccións xeométricas equivalentes ás imprecisións construtivas e do material (tensións residuais), establecidas no artigo 22.

A consideración dos efectos elastoplásticos da non linearidade do material seguirá as indicacións establecidas en 19.5, para seccións con e sen rixidizadores.

Con este método xustificarase que a estrutura, para as diferentes combinacións de accións, cos seus correspondentes coeficientes parciais de seguridade, e modos de inestabilidade asociados, non presenta condicións de inestabilidade global nin local, a nivel dos seus elementos constitutivos, nin resulta superada a capacidade resistente das diferentes seccións dos ditos elementos.

**TÍTULO 3.º PROPIEDADES TECNOLÓXICAS DOS MATERIAIS
E DURABILIDADE****CAPÍTULO VI****MATERIAIS**

No ámbito de aplicación desta instrución, poderanse utilizar produtos de construción que estean fabricados ou comercializados legalmente nos Estados membros da Unión Europea e nos Estados asinantes do Acordo sobre o Espazo Económico Europeo e sempre que os ditos produtos, cumprindo a normativa de calquera Estado membro da Unión Europea, aseguren, en canto á seguridade e o uso ao que están destinados, un nivel equivalente ao que exige esta instrución.

O dito nivel de equivalencia acreditarase conforme o establecido no punto 4.2 ou, de ser o caso, no artigo 16 da Directiva 89/106/CEE do Consello, do 21 de decembro de 1988, relativa á aproximación das disposicións legais, regulamentarias e administrativas dos Estados membros sobre os produtos de construción.

O disposto nos parágrafos anteriores será tamén de aplicación aos produtos de construción fabricados ou comercializados legalmente nun Estado que teña un acordo de asociación alfandegueira coa Unión Europea, cando ese acordo lles recoñeza a eses produtos o mesmo tratamento que aos fabricados ou comercializados nun Estado membro da Unión Europea. Nestes casos o nivel de equivalencia constatarase mediante a aplicación, para estes efectos, dos procedementos establecidos na mencionada directiva.

Artigo 25 Xeneralidades

Este capítulo prescribe os requisitos que deben cumprir os materiais utilizables nas estruturas de aceiro. O artigo 26 define as características de composición química, mecánicas e tecnolóxicas que deben cumprir, así como os métodos de ensaio para a súa determinación. Os artigos 27 e 28 refírense, respectivamente, aos tipos de aceiro e aos diferentes produtos (perfís e chapas) utilizables.

O artigo 29 especifica os medios de unión utilizables, e o artigo 30 refírese aos sistemas de protección necesarios.

Artigo 26 Características dos aceiros

26.1. Composición química

A composición química dos aceiros utilizables para a fabricación de perfís e chapas para estruturas de aceiro será a especificada no punto que corresponda, segundo o tipo de aceiro, no artigo 27.

26.2. Características mecánicas

Para os efectos desta instrución, as características fundamentais que se utilizan para definir a calidade dos aceiros son as seguintes:

Diagrama tensión-deformación (carga unitaria-deformación).

Carga unitaria máxima a tracción ou resistencia a tracción (f_u).

Límite elástico (f_y).

Deformación correspondente á resistencia a tracción ou deformación baixo carga máxima ($\epsilon_{m\acute{a}x}$).

Deformación remanente concentrada de rotura (ϵ_u).

Módulo de elasticidade (E).

Estricción (Z) expresada en porcentaxe.

Resiliencia (K_v).

Tenacidade de fractura.

Os fabricantes deberán garantir, como mínimo, as características indicadas en b), c), d), e), f) e h).

26.3. Requisitos de ductilidade

Os aceiros utilizables deberán cumprir os seguintes requisitos, co obxecto de garantir unha ductilidade suficiente:

$$f_u/f_y \geq 1,10$$

$$\epsilon_u \geq 0,15$$

$$\epsilon_{m\acute{a}x} \geq 15 \epsilon_y$$

sendo ϵ_u a deformación remanente concentrada de rotura medida sobre unha base de lonxitude $5,65 \sqrt{A_0}$, onde A_0 é a sección inicial, $\epsilon_{m\acute{a}x}$ é a deformación correspondente á resistencia a tracción ou deformación baixo carga máxima e ϵ_y a deformación correspondente ao límite elástico, dada por $\epsilon_y = 0,002 + f_y/E$, sendo E o módulo de elasticidade do aceiro, para o que se pode tomar o valor convencional de 210.000 N/mm², salvo que se dispoña de resultados procedentes de ensaios do aceiro.

26.4. Características tecnolóxicas

A soldabilidade é a aptitude dun aceiro para ser soldado mediante os procedementos habituais sen que apareza fisuración en frío. É unha característica tecnolóxica importante, de cara á execución da estrutura. Segundo ISO 581/80 “Un aceiro considérase soldable nun grao prefixado, por un procedemento determinado e para unha aplicación específica, cando mediante unha técnica adecuada se poida conseguir a continuidade metálica da unión, de tal maneira que esta cumpra coas exigencias prescritas con respecto ás súas propiedades locais e á súa influencia na construción da que forma parte integrante”.

A resistencia á rotura laminar do aceiro defínese como a resistencia á aparición de fisuras en pezas soldadas sometidas a tensións de tracción en dirección perpendicular á súa superficie. Para evitar a rotura laminar, deberanse reducir no posible as ditas tensións mediante un proxecto adecuado dos detalles construtivos correspondentes e analizar se cómpre empregar aceiros pouco susceptibles a este defecto, tales como os aceiros con resistencia mellorada á deformación na dirección perpendicular á superficie do produto, indicados en 27.2.5.

A aptitude á dobradura é un índice da ductilidade do material, e defínese pola ausencia ou presenza de fisuras no ensaio de dobradura. A aptitude á dobradura é unha característica opcional que se debe verificar só se o exige o prego de prescricións técnicas particulares do proxecto ou se o indica o pedido.

26.5. Determinación das características dos aceiros

26.5.1. Composición química

En canto á composición química do aceiro, os contidos máis importantes son os dos elementos que aparecen na expresión do valor do carbono equivalente (definido en 26.5.5), así como os contidos en fósforo e xofre, cuxa limitación obedece á necesidade de minimizar as inclusións.

A determinación da composición química efectuarase mediante os métodos especificados na norma UNE correspondente ao tipo de aceiro.

26.5.2. Características de tracción

A determinación das características mecánicas de tracción (f_u , f_y , $\epsilon_{m\acute{a}x}$, ϵ_u , E) efectuarase mediante o ensaio de tracción normalizado en UNE-EN ISO 6892-1.

A determinación da estricción (Z) realizarase a partir das seccións rectas, inicial e de rotura, da probeta sometida ao ensaio de tracción, mediante a expresión:

$$Z = \frac{A_i - A_u}{A_i} 100.$$

26.5.3. Resiliencia

A determinación da resiliencia efectuarase mediante o ensaio de flexión por choque sobre probeta Charpy normalizado en UNE 7475-1.

26.5.4. Tenacidade de fractura

A determinación rigorosa da tenacidade de fractura efectuarase, nos casos especiais en que se requira, mediante ensaios específicos de mecánica de fractura, que se deberán realizar en laboratorios especializados.

26.5.5. Soldabilidade (carbono equivalente)

O parámetro fundamental dos aceiros desde o punto de vista da soldabilidade é o valor do carbono equivalente (CEV) que se establece para cada tipo de aceiro.

O valor do carbono equivalente defínese mediante a seguinte expresión en que os contidos dos elementos químicos indicados se expresan en tanto por cento:

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

Non obstante, considerarase que se cumpre o requisito de soldabilidade nun aceiro cuxo valor do carbono equivalente supere o establecido nesta instrución para el, se o procedemento de soldadura deste está cualificado segundo UNE-EN ISO 15614-1 (ou UNE-EN ISO 15613 se precisa utilizar un cupón de proba non normalizado).

26.5.6. Características de dobradura

A determinación da aptitude á dobradura efectuarase comprobando a ausencia de fisuras no ensaio de dobradura simple, normalizado en UNE-EN ISO 7438.

26.5.7. Resistencia á rotura laminar

A comprobación de que un aceiro é resistente á rotura laminar efectuarase mediante a obtención da estricción no ensaio de tracción, debéndose cumprir o especificado na táboa 27.2.5.

Artigo 27 Tipos de aceiro

Esta instrución prevé os seguintes tipos de aceiro utilizables en perfís e chapas para estruturas de aceiro:

- Aceiros non aliados laminados en quente. Enténdese por tales os aceiros non aliados, sen características especiais de resistencia mecánica nin resistencia á corrosión, e cunha microestrutura normal de ferrita-perlita.
- Aceiros con características especiais. Considéranse os seguintes tipos:
 - Aceiros soldables de gran fino, na condición de normalizado.

- Aceiros soldables de gran fino, laminados termomecanicamente.
- Aceiros con resistencia mellorada á corrosión atmosférica (aceiros patinables).
- Aceiros de alto límite elástico, na condición de temperado.
- Aceiros con resistencia mellorada á deformación na dirección perpendicular á superficie do produto.

Para os efectos desta instrución, os aceiros normalizados nas normas indicadas na táboa 27 considéranse equivalentes aos tipos de aceiros mencionados anteriormente:

Táboa 27. Aceiros equivalentes aos tipos de aceiro expresados

TIPO DE ACEIRO	NORMA UNE-EN
Aceiros non aliados laminados en quente.	UNE-EN 10025-2
Aceiros soldables de gran fino, na condición de normalizado.	UNE-EN 10025-3
Aceiros soldables de gran fino, laminados termomecanicamente.	UNE-EN 10025-4
Aceiros con resistencia mellorada á corrosión atmosférica (aceiros patinables).	UNE-EN 10025-5
Aceiros de alto límite elástico, na condición de temperado.	UNE-EN 10025-6:2007+A1
Aceiros con resistencia mellorada á deformación na dirección perpendicular á superficie do produto.	UNE-EN 10164 UNE-EN 10025-1

Os puntos 27.1 e 27.2 establecen as características e propiedades para os aceiros descritos baseadas nas previstas nas normas de aceiro para produtos laminados en quente UNE-EN 10025-2, UNE-EN 10025-3, UNE-EN 10025-4, UNE-EN 10025-5 e UNE-EN 10025-6:2007+A1, e son compatibles cos tipos de aceiro e as características mecánicas dos aceiros recollidos nas normas UNE-EN 10210-1 e UNE-EN 10219-1 de perfís de sección oca e UNE-EN 10162 de perfís de sección aberta.

Para o límite elástico característico f_{yk} , tomarase o valor nominal indicado na norma UNE-EN correspondente ao tipo de aceiro de que se trate, en función do tipo e grao de aceiro e do grosor nominal de produto ou, alternativamente, como simplificación, cando o aceiro dispoña dunhas garantías adicionais segundo o artigo 84, o valor nominal establecido neste artigo para o tipo de aceiro de que se trate. Igualmente se procederá co resto das características e propiedades que figuran nos distintos puntos deste artigo.

27.1. Aceiros non aliados laminados en quente

Os aceiros non aliados laminados en quente utilizables para os efectos desta instrución son os que corresponden aos tipos e graos recollidos na táboa 27.1.a

Táboa 27.1.a. Aceiros non aliados laminados en quente

Grao \ Tipo	S 235	S 275	S 355
JR	S 235 JR	S 275 JR	S 355 JR
J0	S 235 J0	S 275 J0	S 355 J0
J2	S 235 J2	S 275 J2	S 355 J2
K2	-	-	S 355 K2

Admítense os estados de desoxidación FN (non se admite aceiro efervescente), no caso dos graos JR e J0, e FF (aceiro calmado), no caso dos graos J2 e K2.

O valor do carbono equivalente (CEV) baseado na análise de coada deberá cumprir a táboa 27.1.b.

Táboa 27.1.b. CEV máximo

Tipo	Grosor nominal de produto t (mm)			
	≤ 30	30 < t ≤ 40	40 < t ≤ 150	150 < t ≤ 250
S 235	0,35	0,35	0,38	0,40
S 275	0,40	0,40	0,42	0,44
S 355	0,45	0,47	0,47	0,49

As porcentaxes de fósforo e xofre, na análise de produto, deberán cumprir a táboa 27.1.c.

Táboa 27.1.c. Contidos máximos en P e S

Tipo	P (% máx)	S (% máx)
S235 JR, S275 JR, S355 JR	0,045	0,045
S235 J0, S275 J0, S355 J0	0,040	0,040
S235 J2, S275 J2, S355 J2, S355 K2	0,035	0,035

Na táboa 27.1.d recóllense as especificacións correspondentes a límite elástico f_y e resistencia a tracción f_u para os distintos tipos de aceiro.

Táboa 27.1.d. Límite elástico mínimo e resistencia a tracción (N/mm²)

Tipo	Grosor nominal t (mm)			
	t ≤ 40		40 < t ≤ 80	
	f_y	f_u	f_y	f_u
S 235	235	360 < f_u < 510	215	360 < f_u < 510
S 275	275	430 < f_u < 580	255	410 < f_u < 560
S 355	355	490 < f_u < 680	335	470 < f_u < 630

Na táboa 27.1.e detállanse as especificacións de resiliencia dos distintos graos de aceiro.

Táboa 27.1.e. Resiliencia (J), segundo o grosor nominal de produto t (mm)

Grao	Temperatura de ensaio (°C)	Resiliencia (J)		
		$t \leq 150$	$150 < t \leq 250$	$250 < t \leq 400$
JR	20	27	27	-
J0	0	27	27	-
J2	-20	27	27	27
K2	-20	40 (*)	33	33

(*) Equivale a unha resiliencia de 27J a -30 °C.

Para $t \leq 12$ mm, aplicarase o indicado en UNE-EN 10025-1.

Todos os tipos e graos de aceiro da táboa 27.1.a son, xeralmente, aptos para a soldadura por todos os procedementos, sendo crecente a soldabilidade desde o grao JR ata o K2.

27.2. Aceiros con características especiais

27.2.1. Aceiros soldables de gran fino, na condición de normalizado.

Os aceiros soldables de gran fino, na condición de normalizado, utilizables para os efectos desta instrución, corresponden aos tipos e graos recollidos na táboa 27.2.1.a

Táboa 27.2.1.a. Aceiros soldables de gran fino, na condición de normalizado

Tipo \ Grao	S 275	S 355	S 420	S 460
N	S 275 N	S 355 N	S 420 N	S 460 N
NL	S 275 NL	S 355 NL	S 420 NL	S 460 NL

O valor do carbono equivalente (CEV) baseado na análise de coada deberá cumprir a táboa 27.2.1.b.

Táboa 27.2.1.b. CEV máximo

Tipo	Grosor nominal t (mm)		
	$t \leq 63$	$63 < t \leq 100$	$100 < t \leq 250$
S 275 N/NL	0,40	0,40	0,42
S 355 N/NL	0,43	0,45	0,45
S 420 N/NL	0,48	0,50	0,52
S 460 N/NL	0,53	0,54	0,55

As porcentaxes de fósforo e xofre, na análise de produto, deberán cumprir a táboa 27.2.1.c.

Táboa 27.2.1.c. Contidos máximos en P e S

Tipo	P (% máx)	S (% máx)
S275 N, S355 N, S420 N, S460 N	0,035	0,030
S275 NL, S355 NL, S420 NL, S460 NL	0,030	0,025

Na táboa 27.2.1.d recóllense as especificacións correspondentes a límite elástico f_y e resistencia a tracción f_u para os distintos tipos de aceiro.

Táboa 27.2.1.d. Límite elástico mínimo e resistencia a tracción (N/mm²)

Tipo	Grosor nominal t (mm)			
	t ≤ 40		40 < t ≤ 80	
	f _y	f _u	f _y	f _u
S 275 N/NL	275	370 < f _u < 510	255	370 < f _u < 510
S 355 N/NL	355	470 < f _u < 630	335	470 < f _u < 630
S 420 N/NL	420	520 < f _u < 680	390	520 < f _u < 680
S 460 N/NL	460	540 < f _u < 720	430	540 < f _u < 720

Na táboa 27.2.1.e detállanse as especificacións de resiliencia dos distintos graos de aceiro.

Táboa 27.2.1.e. Resiliencia (J) segundo a dirección, lonxitudinal (L) ou transversal (T), de ensaio

Grao	Dirección	Temperatura de ensaio (°C)						
		20	0	-10	-20	-30	-40	-50
N	L	55	47	43	40(*)	-	-	-
	T	31	27	24	20	-	-	-
NL	L	63	55	51	47	40	31	27
	T	40	34	30	27	23	20	16

(*) Equivale a unha resiliencia de 27J a -30 °C.

Nesta táboa, a verificación de valores efectuarase, salvo que o prego de prescricións técnicas particulares dispoña outra cousa, sobre ensaios efectuados na dirección lonxitudinal, e a unha temperatura de -20 °C, ou -50 °C, para os graos N e NL, respectivamente.

Todos os tipos e graos de aceiro da táboa 27.2.1.a deben ser aptos para a soldadura polos procedementos habituais.

27.2.2. Aceiros soldables de gran fino, laminados termomecanicamente

Os aceiros soldables de gran fino, laminados termomecanicamente, utilizables para os efectos desta instrución corresponden aos tipos e graos recollidos na táboa 27.2.2.a.

Táboa 27.2.2.a. Aceiros soldables de gran fino, laminados termomecanicamente

Grao	Tipo	S 275	S 355	S 420	S 460
	M		S 275 M	S 355 M	S 420 M
ML		S 275 ML	S 355 ML	S 420 ML	S 460 ML

O valor do carbono equivalente (CEV) baseado na análise de coada deberá cumprir a táboa 27.2.2.b.

Táboa 27.2.2.b. CEV máximo

Tipo	Grosor nominal t (mm)			
	t ≤ 16	16 < t ≤ 40	40 < t ≤ 63	63 < t
S 275 M/ML	0,34	0,34	0,35	0,38
S 355 M/ML	0,39	0,39	0,40	0,45
S 420 M/ML	0,43	0,45	0,46	0,47
S 460 M/ML	0,45	0,46	0,47	0,48

As porcentaxes de fósforo e xofre, na análise de produto, deberán cumprir a táboa 27.2.2.c.

Táboa 27.2.2.c. Contidos máximos en P e S

Tipo	P (% máx)	S (% máx)
S275 M, S355 M, S420 M, S460 M	0,035	0,030
S275 ML, S355 ML, S420 ML, S460 ML	0,030	0,025

Na táboa 27.2.2.d recóllense as especificacións correspondentes a límite elástico f_y e resistencia a tracción f_u para os distintos tipos de aceiro.

Táboa 27.2.2.d. Límite elástico mínimo e resistencia a tracción (N/mm²)

Tipo	Grosor nominal t (mm)			
	t ≤ 40		40 < t ≤ 80	
	f_y	f_u	f_y	f_u
S 275 M/ML	275	370 < f_u < 530	255	360 < f_u < 520
S 355 M/ML	355	470 < f_u < 630	335	450 < f_u < 610
S 420 M/ML	420	520 < f_u < 680	390	500 < f_u < 660
S 460 M/ML	460	540 < f_u < 720	430	530 < f_u < 710

Na táboa 27.2.2.e detállanse as especificacións de resiliencia dos distintos graos de aceiro.

Táboa 27.2.2.e: Resiliencia (J) segundo a dirección, lonxitudinal (L) ou transversal (T), de ensaio

Grao	Dirección	Temperatura de ensaio (°C)						
		20	0	-10	-20	-30	-40	-50
M	L	55	47	43	40(*)	-	-	-
	T	31	27	24	20	-	-	-
ML	L	63	55	51	47	40	31	27
	T	40	34	30	27	23	20	16

(*) Equivale a unha resiliencia de 27J a -30 °C.

Nesta táboa, a verificación de valores efectuarase, salvo que o prego de prescricións técnicas particulares dispoña outra cousa, sobre ensaios efectuados na dirección lonxitudinal, e a unha temperatura de -20 °C, ou -50 °C, para os graos M e ML, respectivamente.

Todos os tipos e graos de aceiro da táboa 27.2.2.a deben ser aptos para a soldadura polos procedementos habituais.

27.2.3. Aceiros con resistencia mellorada á corrosión atmosférica (aceiros patinables)

Os aceiros con resistencia mellorada á corrosión atmosférica (tamén chamados aceiros patinables ou aceiros autoprotectores) utilizables para os efectos desta instrución corresponden aos tipos e graos recollidos na táboa 27.2.3.a.

Táboa 27.2.3.a. Aceiros con resistencia mellorada á corrosión atmosférica

Grao \ Tipo	S 235	S 355
J0	S 235 J0 W	S 355 J0 W
J2	S 235 J2 W	S 355 J2 W
K2		S 355 K2 W

O valor do carbono equivalente (CEV) baseado na análise de coada deberá ser menor ou igual que 0,44 para o tipo S235, e que 0,52 para o tipo S 355.

As porcentaxes de fósforo e xofre, na análise de produto, deberán cumprir a táboa 27.2.3.b.

Táboa 27.2.3.b. Contidos máximos en P e S

Tipo	P (% máx)	S (% máx)
S235 J0 W, S355 J0 W	0,040	0,040
S235 J2 W	0,040	0,035
S355 J2 W, S355 K2 W	0,035	0,035

Na táboa 27.2.3.c recóllese as especificacións correspondentes a límite elástico f_y e resistencia a tracción f_u para os distintos tipos de aceiro.

Táboa 27.2.3.c. Límite elástico mínimo e resistencia a tracción (N/mm²)

Tipo	Grosor nominal t (mm)			
	t ≤ 40		40 < t ≤ 80	
	f_y	f_u	f_y	f_u
S 235 J0W S 235 J2W	235	360 < f_u < 510	215	360 < f_u < 510
S 355 J0W S 355 J2W S 355 K2W	355	490 < f_u < 680	335	470 < f_u < 630

Na táboa 27.2.3.d detállanse as especificacións de resiliencia dos distintos graos de aceiro.

Táboa 27.2.3.d. Resiliencia (J)

Grao	Temperatura de ensaio (°C)	Resiliencia (J)
J0	0	27
J2	-20	27
K2	-20	40 (*)

(*) Equivale a unha resiliencia de 27 J a -30 °C.

Para $t \leq 12$ mm, aplicarase o indicado en UNE-EN 10025-1.

Todos os tipos de aceiros indicados son soldables, pero a súa soldabilidade non é ilimitada para os diferentes procesos de soldadura. Por iso, o subministrador deberalle facilitar á dirección facultativa os procedementos recomendados para realizar, cando sexa necesario, as soldaduras. En todo caso, débese eliminar antes da soldadura a pátina autoprotectora que se formase na zona próxima (a menos de 20 mm) dos bordos da unión. Cómpre asegurarse de que a soldadura sexa tamén resistente á corrosión atmosférica.

27.2.4. Aceiros de alto límite elástico, na condición de temperado

Os aceiros de alto límite elástico, na condición de temperado, utilizables para os efectos desta instrución corresponden aos tipos e graos recollidos na táboa 27.2.4.a.

Táboa 27.2.4.a. Aceiros de alto límite elástico, na condición de temperado

Grao \ Tipo	S 460
Q	S 460 Q
QL	S 460 QL
QL1	S 460 QL1

As porcentaxes de fósforo e xofre, na análise de produto, deberán cumprir a táboa 27.2.4.b.

Táboa 27.2.4.b. Contidos máximos en P e S

Tipo	P (% máx)	S (% máx)
S460 Q	0,030	0,017
S460 QL, S460 QL1	0,025	0,012

Na táboa 27.2.4.c recóllense as especificacións correspondentes a límite elástico mínimo f_y e resistencia a tracción f_u para estes aceiros.

Táboa 27.2.4.c. Límite elástico mínimo e resistencia a tracción (N/mm²)

Tipo	Grosor nominal t (mm)			
	t ≤ 40		40 < t ≤ 80	
	f _y	f _u	f _y	f _u
S 460 Q S 460 QL S 460 QL1	460	550 < f _u < 720	440	550 < f _u < 720

Na táboa 27.2.4.d detállanse as especificacións de resiliencia dos distintos graos de aceiro.

Táboa 27.2.4.d. Resiliencia (J) segundo a dirección, lonxitudinal (L) ou transversal (T), de ensaio

Grao	Dirección	Temperatura de ensaio (°C)			
		0	-20	-40	-60
Q	L	40	30	-	-
	T	30	27	-	-
QL	L	50	40	30	-
	T	35	30	27	-
QL1	L	60	50	40	30
	T	40	35	30	27

Nesta táboa, a verificación de valores efectuarase, salvo que o prego de prescricións técnicas particulares dispoña outra cousa, sobre ensaios efectuados na dirección lonxitudinal, e a unha temperatura de -20 °C, -40 °C ou -60 °C, para os graos Q, QL e QL1 respectivamente.

Dada a súa composición química, e co obxecto de garantir a soldabilidade do aceiro, o subministrador deberá informar a dirección facultativa dos elementos de aliaxes que se incorporaron ao aceiro que se subministra e dos procedementos recomendados para realizar, cando sexa necesario, as soldaduras.

27.2.5. Aceiros con resistencia mellorada á deformación na dirección perpendicular á superficie do produto

Os aceiros con resistencia mellorada á deformación na dirección perpendicular á superficie do produto utilizables para os efectos desta instrución son aceiros tipificados nalgún dos puntos deste artigo 27, que cumpren, ademais, os valores mínimos de estricción da táboa 27.2.5, obtida en ensaio de tracción na dirección do grosor.

Táboa 27.2.5. Graos e valores mínimos de estricción

Grao	Estricción (%)	
	Valor mínimo medio de 3 ensaios	Valor mínimo individual
Z 15	15	10
Z 25	25	15
Z 35	35	25

Artigo 28 Produtos de aceiro

Nas estruturas de aceiro utilizaranse exclusivamente os perfís e chapas recollidos neste artigo, coas dimensións e tolerancias que en cada caso se indican.

Os perfís e chapas deben ser elaborados cos aceiros especificados no artigo 27.

28.1. Perfís e chapas de sección chea laminados en quente

Perfís e chapas de sección chea laminados en quente, para os efectos desta instrución, son os produtos obtidos mediante laminación en quente, de grosor maior ou igual que 3 mm, de sección transversal chea e constante, empregados na construción de estruturas ou na fabricación de elementos de aceiro estrutural.

Deberán corresponder a algunha das series indicadas na táboa 28.1.

Táboa 28.1. Series de perfís e chapas de sección chea laminados en quente

Serie	Norma de produto	
	Dimensións	Tolerancias
Perfil IPN	UNE 36521	UNE-EN 10024
Perfil IPE	UNE 36526	UNE-EN 10034
Perfil HEB (base)	UNE 36524	UNE-EN 10034
Perfil HEA (lixeiro)	UNE 36524	UNE-EN 10034
Perfil HEM (pesado)	UNE 36524	UNE-EN 10034
Perfil U Normal (UPN)	UNE 36522	UNE-EN 10279
Perfil UPE	UNE 36523	UNE-EN 10279
Perfil U Comercial (U)	UNE 36525	UNE-EN 10279
Angular de lados iguais (L)	UNE-EN 10056-1	UNE-EN 10056-2
Angular de lados desiguais (L)	UNE-EN 10056-1	UNE-EN 10056-2
Perfil T	UNE-EN 10055	UNE-EN 10055
Redondo	UNE-EN 10060	UNE-EN 10060
Cadrado	UNE-EN 10059	UNE-EN 10059
Rectangular	UNE-EN 10058	UNE-EN 10058
Hexagonal	UNE-EN 10061	UNE-EN 10061
Chapa (*)	UNE 36559	UNE 36559

(*) A chapa é o produto laminado plano de largura maior que 600 mm, utilizado principalmente como material de partida para a fabricación de elementos planos. Segundo o seu grosor t , clasifícase en chapa media ($3 \text{ mm} \leq t \leq 4,75 \text{ mm}$) e chapa grossa ($t > 4,75 \text{ mm}$).

28.2. Perfís de sección oca acabados en quente

Perfís de sección oca acabados en quente, para os efectos desta instrución, son os perfís ocas estruturais de sección transversal constante, de grosor igual ou maior que 2 mm, conformados en quente, con ou sen tratamento térmico posterior, ou conformados en frío con tratamento térmico posterior, empregados na construción de estruturas.

Deberán corresponder a algunha das series indicadas na táboa 28.2.

Táboa 28.2. Series de perfís de sección oca acabados en quente

Serie	Norma de produto	
	Dimensións	Tolerancias
Sección circular	UNE-EN 10210-2	UNE-EN 10210-2
Sección cadrada		
Sección rectangular		
Sección elíptica		

28.3. Perfís de sección oca conformados en frío

Perfís de sección oca conformados en frío, para os efectos desta instrución, son os perfís ocas estruturais soldados conformados en frío sen tratamento térmico posterior, de grosor maior ou igual que 2 mm, de sección transversal constante, empregados na construción de estruturas.

Deberán corresponder a algunha das series indicadas na táboa 28.3.

Táboa 28.3. Series de perfís de sección oca conformados en frío.

Serie	Norma de produto	
	Dimensións	Tolerancias
Sección circular	UNE-EN 10219-2	UNE-EN 10219-2
Sección cadrada		
Sección rectangular		

28.4. Perfís de sección aberta conformados en frío

Perfís de sección aberta conformados en frío, para os efectos desta instrución, son os perfís de sección constante, con formas diversas, producidos por conformación en frío de chapas planas laminadas en quente ou en frío, empregados na construción de estruturas.

Deberán corresponder a algunha das seccións seguintes:

- Perfil L.
- Perfil U.
- Perfil C.
- Perfil Z.
- Perfil omega.
- Perfil tubular con bordos rexuntados.

A norma UNE-EN 10162 establece as dimensións e tolerancias dos perfís de sección aberta conformados en frío.

28.5. Perfís e chapas non normalizados

Ademais dos perfís e chapas considerados nos puntos 28.1 a 28.4, que corresponden a series normalizadas, poderanse empregar na construción de estruturas perfís e chapas non normalizados, ben sexan de formas abertas especiais, ou variantes de series normalizadas, sempre que se cumpran as seguintes condicións:

- Os perfís e chapas están elaborados con aceiros especificados no artigo 27.
- O fabricante garante as dimensións e tolerancias, dimensionais e de forma, dos perfís e chapas.
- O fabricante subministra os valores dos datos da sección necesarios para o proxecto (área da sección transversal, momentos de inercia, módulos resistentes, raios de xiro, posición do centro de gravidade).
-

Artigo 29 Medios de unión

29.1. Xeneralidades

Os medios de unión que considera esta instrución son os constituídos por parafusos, torcas e arandelas, para unións aparafusadas, e o material de achega, para unións soldadas.

29.2. Parafusos, torcas e arandelas

Os parafusos utilizables para os efectos desta instrución en unións de estruturas de aceiro corresponden aos graos recollidos na táboa 29.2.a, coas especificacións de límite elástico f_{yb} e resistencia a tracción f_{ub} que nela se indican.

Táboa 29.2.a. Límite elástico mínimo f_{yb} e resistencia a tracción mínima f_{ub} dos parafusos (N/mm^2)

Tipo	Parafusos ordinarios			Parafusos de alta resistencia	
	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
f_{yb}	240	300	480	640	900
f_{ub}	400	500	600	800	1000

Non se utilizarán parafusos de grao inferior a 4.6 ou superior a 10.9 sen xustificación experimental documentada de que son adecuados para a unión a que se destinan.

Os parafusos normalizados nas normas recollidas na táboa 29.2.b considéranse parafusos utilizables para os efectos desta instrución. Na táboa indícanse, para cada grupo normalizado de parafusos, as normas relativas ás torcas e arandelas que se poden utilizar con aqueles. Esta táboa aplícase a parafusos, torcas e arandelas para conxuntos non pretensados, de acordo con UNE-EN 15048.

Táboa 29.2.b. Compatibilidade de uso de parafusos, torcas e arandelas

Parafusos normalizados	Torcas hexagonais normalizadas	Arandelas planas normalizadas
UNE-EN ISO 4014 UNE-EN ISO 4016 UNE-EN ISO 4017 UNE-EN ISO 4018	UNE-EN ISO 4032 UNE-EN ISO 4033 UNE-EN ISO 4034	UNE-EN ISO 7089 UNE-EN ISO 7090 UNE-EN ISO 7091 UNE-EN ISO 7092 UNE-EN ISO 7093-1 UNE-EN ISO 7093-2 UNE-EN ISO 7094

As arandelas da serie normal son as normalizadas nas UNE-EN ISO 7089, 7090 e 7091; as da serie estreita son as normalizadas en UNE-EN ISO 7092; as da serie ancha son as normalizadas en UNE-EN ISO 7093-1 e 7093-2; finalmente, as da serie extra ancha son as normalizadas en UNE-EN ISO 7094.

Poderanse pretensar unicamente os parafusos de graos 8.8 e 10.9 normalizados segundo UNE-EN 14399-1. Neste caso, os conxuntos seguirán as partes aplicables de UNE-EN 14399: para parafuso e torca, partes 3, 4, 7, 8 e 10; para arandelas, partes 5 e 6.

29.3. Tipos especiais de parafusos

Esta instrución prevé a utilización, como tipos especiais, dos parafusos de cabeza abelanada, os parafusos calibrados e os parafusos de inxección.

Deben ser fabricados con materiais que cumpran o establecido en 29.2. Pódense utilizar como parafusos sen pretensar ou parafusos pretensados (neste último caso, deben cumprir os requisitos establecidos ao respecto en 29.2).

29.3.1. Parafusos de cabeza abelanada

Son parafusos cuxa forma e tolerancias dimensionais fan que, unha vez instalados, queden enrasados nominalmente coa cara exterior da chapa externa.

29.3.2. Parafusos calibrados

Os parafusos calibrados instálanse en orificios que, cando está previsto que sexan escareados *in situ*, se deben pretradar mediante trade ou punzón cun diámetro, polo menos, 3 mm inferior ao diámetro definitivo. Cando o parafuso debe unir varias chapas, débense manter firmemente unidas estas durante o escariado.

O escariado débese realizar cun dispositivo de fuso fixo, e non se deben empregar lubricantes ácidos.

29.3.3. Parafusos de inxección

Os parafusos de inxección son tipos especiais de parafusos que dispoñen dunha perforación na cabeza por onde se inxecta resina para encher toda a folgura existente entre a súa espiga e o orificio.

A cabeza do parafuso de inxección debe presentar un orificio con diámetro mínimo de 3,2 mm, ao que se conecta a cánula do dispositivo de inxección. Debaixo da cabeza do parafuso débese usar unha arandela especial, cuxo diámetro interior debe ser como mínimo 0,5 mm maior que o diámetro real do parafuso e que debe ter un lado mecanizado. Debaixo da torca débese empregar unha arandela especial rañurada.

O apertamento do parafuso débese realizar antes de iniciar o procedemento de inxección. Esta consistirá nunha resina de dous compoñentes, cuxa temperatura debería estar comprendida entre 15 °C e 25 °C. No momento da inxección, a unión debe estar limpa de auga.

29.4. Bulóns

Na norma UNE-EN 10083-1 defínese a calidade dos aceiros para os bulóns utilizables para os efectos desta instrución en unións de estruturas de aceiro, coas especificacións de límite elástico f_{yb} , e resistencia a tracción f_{ub} que se indican a continuación na táboa 29.4.

Táboa 29.4. Límite elástico mínimo e resistencia a tracción do aceiro utilizable para bulóns
(N/mm²)

Estado	Tempero						Normalizado			
	d ≤ 16 mm		16 mm < d ≤ 40 mm		40 mm < d ≤ 100 mm		d ≤ 16 mm		16 mm < d ≤ 100 mm	
Designación	f _{yb}	f _{ub}	f _{yb}	f _{ub}	f _{yb}	f _{ub}	f _{yb}	f _{ub}	f _{yb}	f _{ub}
C 22	340	500 a 650	290	470 a 620	--	--	240	430	210	410
C 25	370	550 a 700	320	500 a 650	--	--	260	470	230	440
C 30	400	600 a 750	350	550 a 700	300 (*)	500 a 550(*)	280	510	250	480
C 35	430	630 a 780	380	600 a 750	320	550 a 700	300	550	270	520
C 40	460	650 a 800	400	630 a 780	350	600 a 750	320	580	290	550
C 45	490	700 a 850	430	650 a 800	370	630 a 780	340	620	305	580
C 50	520	750 a 900	460	700 a 850	400	650 a 800	355	650	320	610
C 55	550	800 a 950	490	750 a 900	420	700 a 850	370	680	330	640
C 60	580	852 a 1000	520	800 a 950	450	750 a 900	380	710	340	670

(*) Aplicable só ata d = 63 mm.

29.5. Material de achega

O material de achega utilizable para a realización de soldaduras (arames, fios e eléctrodos) deberá ser apropiado para o proceso de soldadura, tendo en conta o material que se vai soldar e o procedemento de soldadura; ademais, deberá ter unhas características mecánicas, en termos de límite elástico, resistencia a tracción, deformación baixo carga máxima e resiliencia, non inferiores ás correspondentes do material de base que constitúe os perfís ou chapas que se pretenden soldar.

No caso de soldar aceiro con resistencia mellorada á corrosión atmosférica, o material de achega deberá ter unha resistencia á corrosión equivalente á do metal base, salvo que permita outra cousa o prego de prescricións técnicas particulares do proxecto.

Artigo 30 Sistemas de protección

Este artigo establece principalmente os tipos de pintura e sistemas de pintura que se poden utilizar para a protección de estruturas de aceiro, así como as prescricións técnicas que deben cumprir, segundo a durabilidade requirida do sistema de pintura protector.

Outros sistemas de protección das construcións en aceiro de probada eficacia e ampla utilización, como son a "proxección térmica de cinc" ou a "galvanización en quente", trátanse a continuación e nos puntos 79.3.1 e 79.3.2.

30.1. Tipos de pintura

Pódense empregar os seguintes tipos de pintura:

- Pinturas de secado ao aire.
- Pinturas de curado físico.
 - Pinturas en base disolvente.
 - Pinturas en base auga.
- Pinturas de curado químico.
 - Pinturas epoxídicas de dous compoñentes.
 - Pinturas de poliuretano de dous compoñentes.
 - Pinturas de curado por humidade.

30.2. Sistemas de pintura

Os sistemas de pintura están constituídos por un conxunto de capas de imprimación (1 ou 2, segundo os casos) e de capas de acabado (entre 1 e 4, segundo os casos) de pintura con grosos nominais de película seca definidos que, aplicados sobre unha superficie de aceiro cun grao de preparación preestablecido, conducen a unha durabilidade determinada do sistema de pintura protector.

A durabilidade dun sistema de pintura protector depende do tipo de sistema de pintura, do deseño da estrutura, do estado da superficie de aceiro (pola súa vez, función da condición previa da superficie e do grao de preparación desta), da calidade da aplicación, das condicións durante a aplicación e das condicións de exposición en servizo.

Por iso, o grao de durabilidade dun sistema de pintura é un concepto técnico útil para seleccionar o sistema a empregar nun caso concreto e para definir o programa de mantemento correspondente, pero non se pode, en ningún caso, tomar como un período de garantía.

Establécense tres graos de durabilidade dos sistemas de pintura:

- Durabilidade baixa (L): de 2 a 5 anos.
- Durabilidade media (M): de 5 a 15 anos.
- Durabilidade alta (H): máis de 15 anos.

30.3. Prescricións e ensaios dos sistemas de pintura

Os sistemas de pintura que se utilicen para as estruturas de aceiro deben cumprir as prescricións da táboa 30.3.a, na cal, para cada clase de exposición da estrutura indicada en 8.2.2 e grao de durabilidade do sistema de pintura, se fixa a duración en horas de ensaio que debe resistir o sistema de pintura. A táboa 30.3.b establece as prescricións de adherencia dos sistemas de pintura aplicados sobre aceiro recuberto de cinc.

Nas ditas táboas, os ensaios referidos son os seguintes:

- Ensaio de resistencia química, segundo UNE-EN ISO 2812-1.
- Ensaio de inmersión, segundo UNE-EN ISO 2812-2, en auga (clase Im1) ou en solución acuosa de cloruro sódico ao 5 % (clases Im2 e Im3).
- Ensaio de condensación continua de auga, segundo UNE-EN ISO 6270-1.
- Ensaio de néboa salina neutra, segundo UNE-EN ISO 9227.

Táboa 30.3.a. Prescricións relativas aos sistemas de pinturas aplicados sobre aceiro

Clase de exposición	Grao de durabilidade	Ensaio de resistencia química	Ensaio de inmersión	Ensaio de condensación de auga	Ensaio de néboa salina neutra
		h	h	h	h
C2	Baixa	-	-	48	-
	Media	-	-	48	-
	Alta	-	-	120	-
C3	Baixa	-	-	48	120
	Media	-	-	120	240
	Alta	-	-	240	480
C4	Baixa	-	-	120	240
	Media	-	-	240	480
	Alta	-	-	480	720
C5-I	Baixa	168	-	240	480
	Media	168	-	480	720
	Alta	168	-	720	1 440
C5-M	Baixa	-	-	240	480
	Media	-	-	480	720
	Alta	-	-	720	1 440
Im1	Baixa	-	-	-	-
	Media	-	2 000	720	-
	Alta	-	3 000	1 440	-
Im2	Baixa	-	-	-	-
	Media	-	2 000	-	720
	Alta	-	3 000	-	1 440
Im3	Baixa	-	-	-	-
	Media	-	2 000	-	720
	Alta	-	3 000	-	1 440

Táboa 30.3.b. Prescricións relativas á adherencia dos sistemas de pintura aplicados sobre aceiro recuberto de cinc

Clase de exposición	Grao de durabilidade	Ensaio de condensación de auga
		h
C2	Baixa	240
	Media	240
	Alta	240
C3	Baixa	240
	Media	240
	Alta	240
C4	Baixa	240
	Media	240
	Alta	480
C5-I	Baixa	240
	Media	480
	Alta	720
C5-M	Baixa	240
	Media	480
	Alta	720

As probetas para a realización dos ensaios deben ser do mesmo tipo de aceiro que se vaia empregar (e, de ser o caso, co mesmo recubrimento de cinc que se vaia utilizar), cun tamaño mínimo de 150 x 70 mm e un grosor, dependente do ensaio, pero en todo caso non menor que 2 mm. As probetas cumprirán as condicións de preparación e estado superficial prescritas en UNE-EN ISO 12944-6.

Un ensaio dunha probeta considérase que cumpre unha determinada prescrición das táboas 30.3.a ou 30.3.b cando:

- Antes do ensaio, a clasificación obtida pola probeta de acordo con UNE-EN ISO 2409 é 0 ou 1. Cando o grosor da película seca do sistema de pintura é maior que 250 μm , este requisito débese substituír pola inexistencia de desprendemento da pintura do substrato (A/B) no ensaio de adherencia segundo UNE-EN ISO 4624, a menos que os valores da tracción sexan maiores ou iguais que 5 N/mm².
- Despois do ensaio, coa duración en horas indicada na táboa 30.3.a ou na 30.3.b, segundo sexa o caso, para a clase de exposición e grao de durabilidade exixidos, a probeta non presenta defectos segundo os métodos de avaliación das UNE-EN ISO 4628-2 a UNE-EN ISO 4628-5 e a clasificación obtida de acordo con UNE-EN ISO 2409 é 0 ou 1. Cando o grosor da película seca do sistema de pintura é maior que 250 μm , utilízase a mesma substitución deste último requisito indicada no parágrafo anterior. A avaliación da condición tras o ensaio segundo UNE-EN ISO 2409 ou segundo o ensaio substitutivo efectúase tras 24 h de reacondicionamento da probeta.

Considérase que a probeta non presenta defectos segundo os métodos de avaliación das UNE-EN ISO 4628-2 a UNE-EN ISO 4628-5 cando cumpre os seguintes requisitos:

- segundo UNE-EN ISO 4628-2: ampolamento 0 (S0).

- segundo UNE-EN ISO 4628-3: óxido Ri 0.
- segundo UNE-EN ISO 4628-4: gretamento 0 (S0).
- segundo UNE-EN ISO 4628-5: descamación 0 (S0).

Ademais destes requisitos, que se avalían de maneira inmediata, débese cumprir, despois do envellecemento artificial prescrito en UNE-EN ISO 9227, que non existe ningún avance de corrosión do substrato, a partir da incisión, calculado segundo UNE-EN ISO 12944-6, maior que 1 mm.

Na avaliación de defectos, non se debe ter en conta ningún que se produza a menos de 10 mm dos bordos da probeta.

30.4. Prescricións para os sistemas de protección con proxección térmica de cinc e de galvanización en quente.

As duracións mínimas e máximas (en anos) dos recubrimentos de cinc ata o primeiro mantemento, para as diferentes categorías de corrosividade da norma ISO 9223, inclúense na norma UNE-EN ISO 14713.

Así, por exemplo, para o caso de recubrimentos de galvanización en quente (realizada conforme a UNE-EN ISO 1461) de 85 micrometros de grosor (que é o valor mínimo do grosor medio de recubrimento exixible sobre elementos estruturais de aceiro de grosor superior a 6 mm), na norma UNE-EN ISO 14713 indícanse duracións da protección (en anos) que van desde 40/>100 (para ambientes de categoría C3), 20/40 (para ambientes C4) e 10/20 (para ambientes C5).

CAPÍTULO VII

DURABILIDADE

Artigo 31 Durabilidade das estruturas de aceiro

31.1. Xeneralidades

A durabilidade dunha estrutura de aceiro é a súa capacidade para soportar, durante a vida útil para a que foi proxectada, as condicións físicas e químicas a que está exposta, e que poderían chegar a provocar a súa degradación como consecuencia de efectos diferentes ás cargas e solicitacións consideradas na análise estrutural.

Unha estrutura durable débese conseguir cunha estratexia capaz de considerar todos os posibles factores de degradación e actuar consecuentemente sobre cada unha das fases de proxecto, execución e uso da estrutura.

Unha estratexia correcta para a durabilidade debe ter en conta que nunha estrutura pode haber diferentes elementos estruturais sometidos a distintos tipos de ambiente.

31.1.1. Consideración da durabilidade na fase de proxecto

O proxecto dunha estrutura de aceiro debe incluír as medidas necesarias para que a estrutura alcance a duración da vida útil prefixada, de acordo coas condicións de agresividade ambiental e co tipo de estrutura. Para iso, deberá incluír unha estratexia de durabilidade, acorde cos criterios establecidos no punto 31.2.

A agresividade a que está sometida a estrutura identificarase polo tipo de ambiente, de acordo con 8.2.1.

Na memoria, xustificarse a selección das clases de exposición consideradas para a estrutura. Así mesmo, nos planos reflectirase o tipo de ambiente para o que se proxectou cada elemento.

O proxecto deberá definir formas e detalles estruturais que faciliten a evacuación da auga e sexan eficaces fronte á posible corrosión do aceiro.

Os elementos de equipamento, tales como apoios, xuntas, drenaxes, etc., poden ter unha vida máis curta que a da propia estrutura, polo que, de ser o caso, se estudará a adopción de medidas de proxecto que faciliten o mantemento e substitución dos ditos elementos durante a fase de uso.

31.1.2. Consideración da durabilidade na fase de execución

A boa calidade da execución da obra ten unha influencia decisiva para conseguir unha estrutura durable.

As especificacións relativas á durabilidade deberanse cumprir na súa totalidade durante a fase de execución. Non se permitirá compensar os efectos derivados polo incumprimento dalgunha delas.

31.2. Estratexia para a durabilidade

31.2.1. Prescricións xerais

Para satisfacer os requisitos establecidos no artigo 5, será necesario seguir unha estratexia que considere todos os posibles mecanismos de degradación, adoptando medidas específicas en función da agresividade a que se encontre sometido cada elemento.

A estratexia de durabilidade incluírá, polo menos, os aspectos que se mencionan nos seguintes puntos:

- Selección de formas estruturais adecuadas, de acordo co indicado en 31.2.2.
- Selección do tratamento de protección (pintado, metalización, galvanización en quente) adecuado, tendo en conta a clase de exposición a que vaia a estar sometido o elemento, e o estado da superficie a protexer, segundo o artigo 79.
- Disposición de medidas especiais de protección, no caso de ambientes moi agresivos, segundo 31.2.4.
- Establecemento dun programa de inspeccións a efectuar durante e despois da pintura, segundo o capítulo XXI.
- Establecemento dun programa de mantemento que cubra toda a vida útil da estrutura, segundo o capítulo XXIII.
-

31.2.2. Selección da forma estrutural

No proxecto defíniranse os esquemas estruturais, as formas xeométricas e os detalles que sexan compatibles coa consecución dunha adecuada durabilidade da estrutura. O proxecto debe facilitar a preparación das superficies, o pintado, as inspeccións e o mantemento.

Procurarase evitar o emprego de deseños estruturais que conduzan a unha susceptibilidade elevada á corrosión. Para iso, recoméndase que as formas dos elementos estruturais sexan sinxelas, evitando unha complexidade excesiva, e que os métodos de execución da estrutura sexan tales que non se reduza a eficacia dos sistemas de protección empregados (por danos no transporte e manipulación dos elementos).

Tenderase a reducir ao mínimo o contacto directo entre as superficies de aceiro e a auga, evitando a formación de depósitos de auga, facilitando a rápida evacuación desta e impedindo o paso de auga sobre as zonas de xuntas. Para iso, débense adoptar precaucións como evitar a disposición de superficies horizontais que promovan a acumulación de auga ou sucidade, a eliminación de seccións abertas na parte superior que faciliten a dita acumulación, a supresión de cavidades e ocos en que pode quedar retida a auga, e a disposición de sistemas adecuados e de sección xenerosa para condución e drenaxe de auga.

Cando a estrutura presente áreas cerradas (interior accesible) ou elementos ocos (interior inaccesible), procurarase que estean protexidos de maneira efectiva contra a corrosión. Para iso, cómpre evitar que quede auga atrapada no seu interior durante a montaxe da estrutura, débense dispor as medidas necesarias para a ventilación e drenaxe (interiores accesibles), e débense selar de maneira efectiva fronte á entrada de aire e humidade, mediante soldaduras continuas, os interiores inaccesibles.

Cómpre evitar a corrosión potencial en orificios estreitos, fendeduras cegas e unións solapadas, mediante un selado eficaz, que en xeral estará constituído por soldaduras continuas.

Débese prestar unha atención especial á protección contra a corrosión das unións, tanto aparafusadas (de maneira que os parafusos, torcas e arandelas teñan a mesma durabilidade que o resto da estrutura) como soldadas (coidando que a superficie da soldadura estea libre de imperfeccións, como fisuras, cráteres e proxeccións, que son difíciles de cubrir eficazmente pola pintura posterior), así como ter en conta, no caso de disposición de reforzos ou de execución de entallas (en almas, reforzos, etc.), a necesidade de permitir unha adecuada preparación da superficie e aplicación da pintura (soldando de maneira continua a intersección entre o reforzo e o elemento reforzado, dispoñendo un raio mínimo de 50 mm nas entallas e evitando calquera retención de auga).

Débese evitar a aparición de pares galvánicos, que se producen cando existe continuidade eléctrica entre dous metais de diferente potencial electroquímico (tales como aceiro inoxidable e aceiro ao carbono), illando electricamente mediante pintado ou outros procedementos as superficies de ambos os metais.

31.2.2.1. Sobregrosos en superficies inaccesibles

As superficies de estrutura de aceiro sometidas a risco de corrosión que sexan inaccesibles á inspección e mantemento e que non sexan adecuadamente seladas deberán ter inicialmente unha protección adecuada á vida útil prevista, debendo ademais incrementarse o grosor do aceiro estritamente resultante do cálculo estrutural, cun sobregrosor que compense o efecto da corrosión durante a vida útil.

En ausencia de estudos máis detallados, o sobregrosor (incremento do grosor nominal) terá o seguinte valor mínimo, expresado en mm por cara inaccesible e por cada 30 anos de vida útil prevista da estrutura:

- Clases de exposición C4 (corrosividade alta), C5-I e C5-M (corrosividade moi alta): 1,5 mm.

- Clase de exposición C3 (corrosividade media): 1mm.
- Clase de exposición C2 (corrosividade baixa): 0,5 mm.

Non se precisa sobregrosor no caso da clase de exposición C1 (corrosividade moi baixa).

O grosor resultante (grosor nominal e mais sobregrosor) nos caixóns inaccesibles de pontes non poderá ser inferior a 8 mm.

31.2.2.2. Utilización de aceiros con resistencia mellorada á corrosión atmosférica

Os aceiros con resistencia mellorada á corrosión atmosférica poderanse utilizar sen pintura de protección nas superficies exteriores, incrementando o grosor nominal, obtido no cálculo, en 1 mm para a superficie exposta ao ambiente exterior. Na superficie interior de seccións cerradas inaccesibles aplicaranse as disposicións establecidas en 31.2.2.1 (sistema de protección adecuado á vida útil prevista, e sobregrosor de aceiro).

O emprego destes aceiros nos casos en que se prevé que a súa superficie vai estar en contacto co terreo ou a auga durante longos períodos, permanentemente húmida, ou sometida a ambiente mariño con salinidade moderada ou elevada, ambiente industrial con alto contido en SO_3 , ou presenza de sales de desxeo, precisa un estudo detallado da súa conveniencia, debendo en tales casos protexerse superficialmente o aceiro.

31.2.3. *Detalles construtivos*

Recoméndase evitar os detalles construtivos indicados como inadecuados nas figuras que seguen, empregando os considerados adecuados nelas. Os detalles adecuados son conformes cos criterios xerais indicados en 31.2.2.

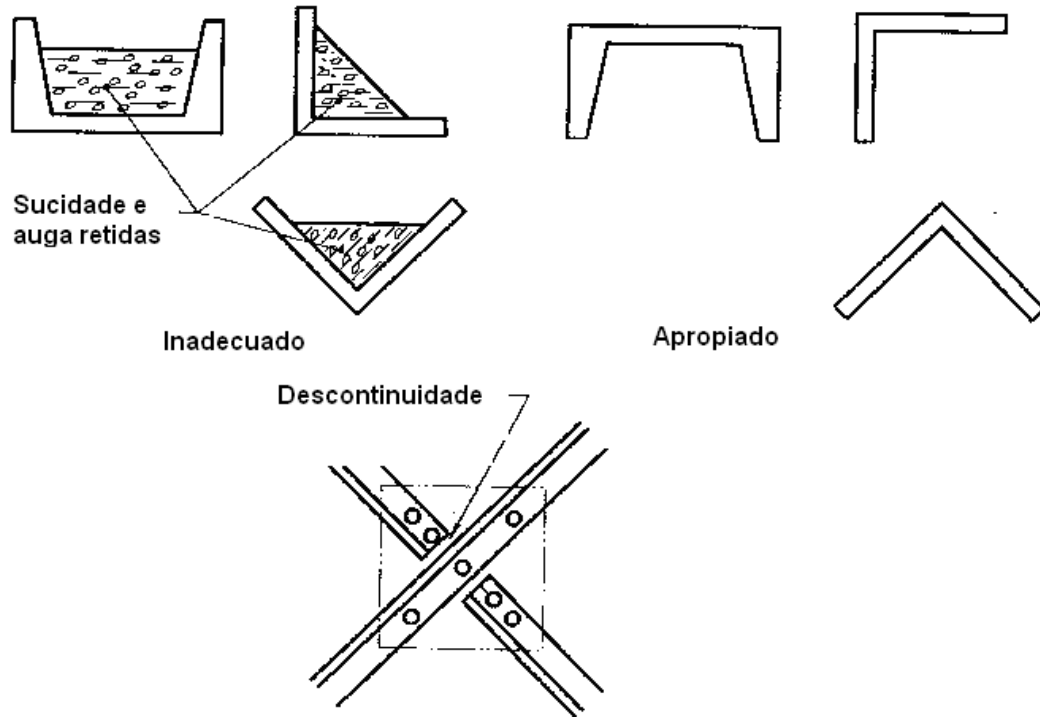


Figura 31.2.3.a. Prevención da acumulación de auga e sucidade

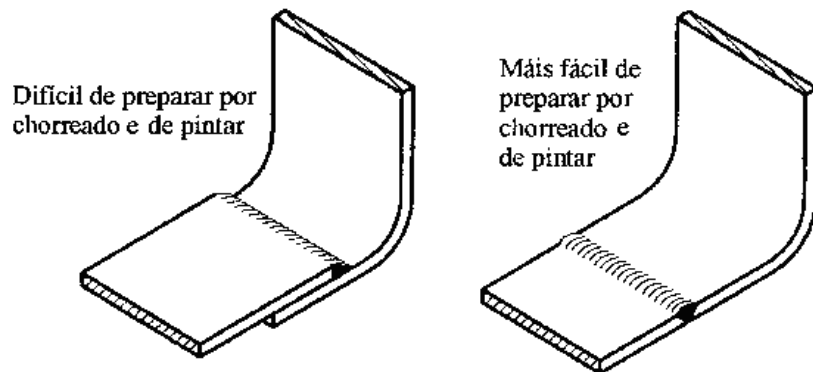


Figura 31.2.3.b. Realización de soldaduras

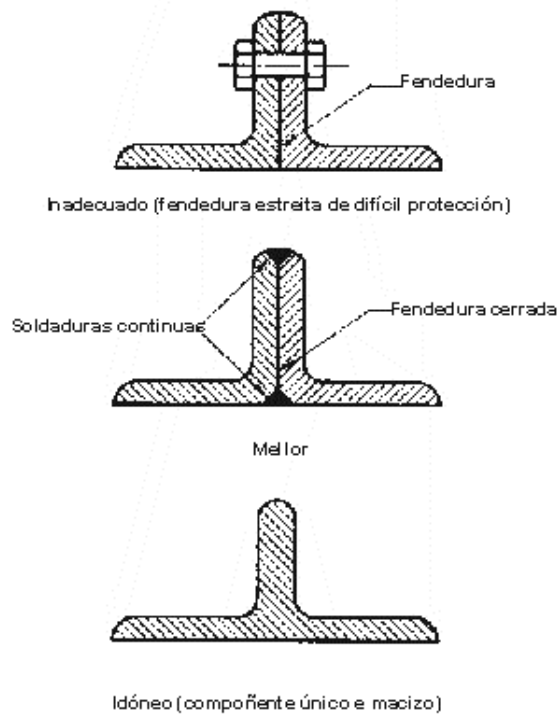


Figura 31.2.3.c. Tratamento de ocios

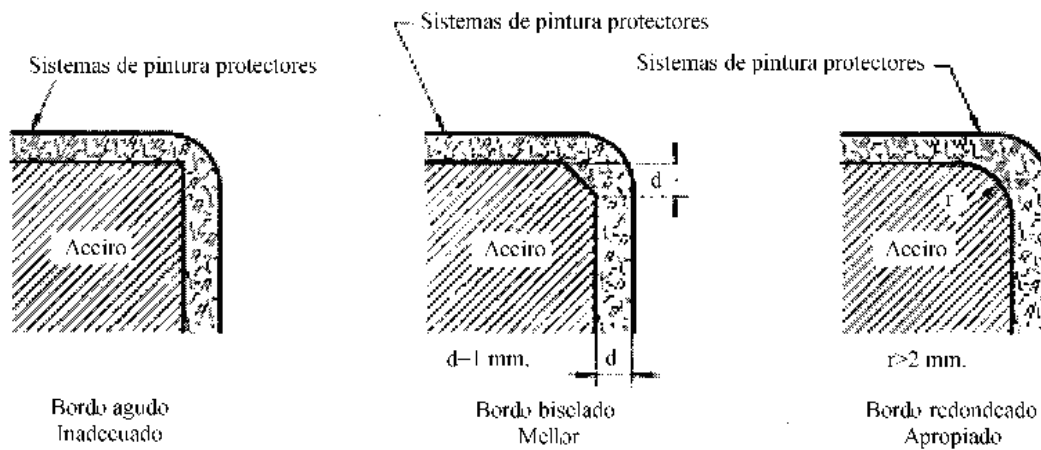


Figura 31.2.3.d. Eliminación de bordos agudos

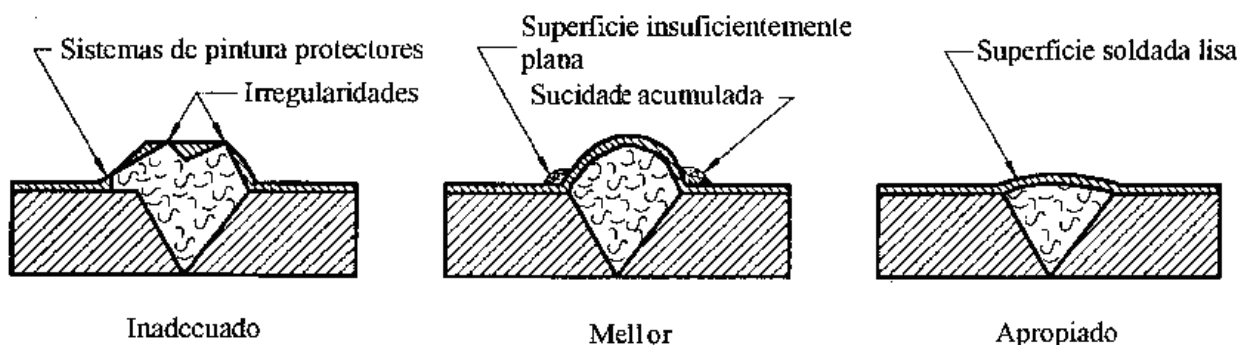
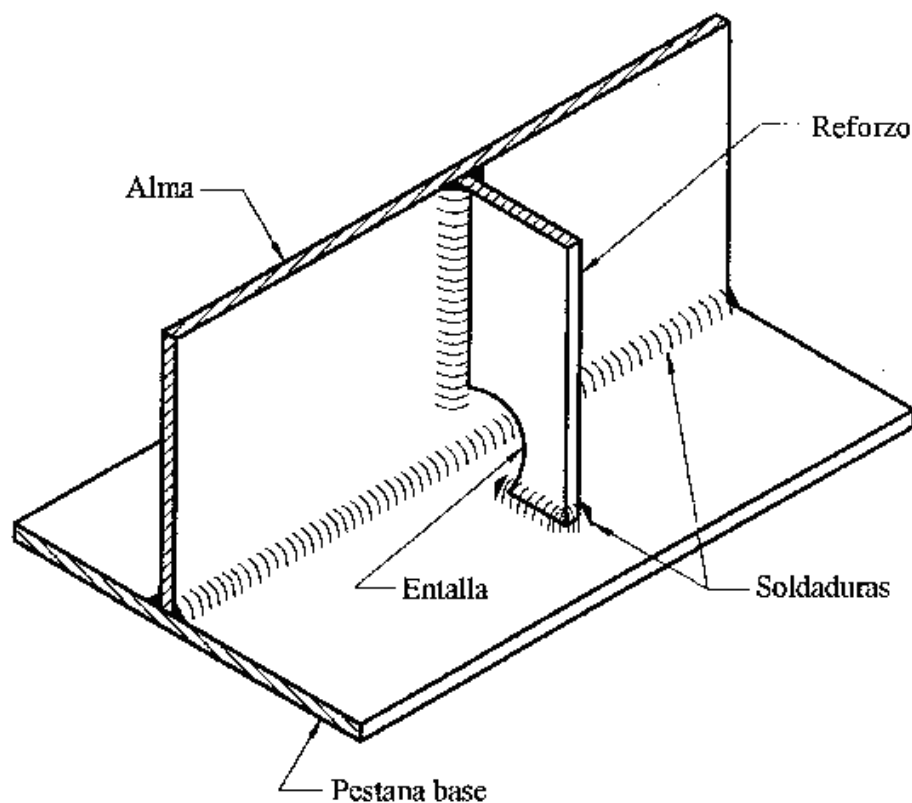


Figura 31.2.3.e. Eliminación de imperfeccións na superficie das soldaduras



Para entallas, $r \geq 50$ mm

Figura 31.2.3.f. Deseño recomendado de reforzos para a protección fronte á corrosión

31.2.4. Medidas especiais de protección

En casos de especial agresividade, cando as medidas normais de protección non se consideren suficientes, poderase recorrer á disposición de sistemas especiais de protección.

O proxecto deberá ter en conta a vida útil da protección especial adicional, e establecer o mantemento adecuado deste.

31.3. Condicións para facilitar a inspección e o mantemento

Na medida do posible, deberase prever o acceso a todos os elementos da estrutura, así como aos apoios, xuntas e elementos de drenaxe, estudando a conveniencia de dispor sistemas específicos que

faciliten a inspección e o mantemento durante a fase de servizo. Por iso, e dado que a inclusión en servizo de sistemas de acceso para o mantemento non previstos inicialmente é unha tarefa difícil, o proxecto deberá establecer os sistemas de acceso necesarios, que poden incluír pasarelas fixas, plataformas motorizadas ou outros medios auxiliares.

O criterio fundamental de accesibilidade é que todas as superficies da estrutura que han de ser inspeccionadas e mantidas deben ser visibles e deben estar ao alcance do operario de mantemento mediante un método seguro. O operario débese poder desprazar por todas as partes da estrutura a manter e debe ter o espazo adecuado para traballar nelas.

Cómpre prestar unha atención especial á accesibilidade a áreas cerradas da estrutura, como caixóns metálicos. As aberturas de acceso deben ter un tamaño suficiente para permitir un acceso seguro, tanto para os operarios como para os equipamentos de mantemento. Recoméndanse dimensións mínimas de 500 x 700 mm (largo x alto) nos accesos rectangulares ou ovais, e de 600 mm de diámetro mínimo nos accesos de forma circular. Ademais, deben existir orificios de ventilación adecuados ao sistema de protección empregado no mantemento.

TÍTULO 4.º DIMENSIONAMENTO E COMPROBACIÓN

CAPÍTULO VIII

DATOS DOS MATERIAIS PARA O PROXECTO

Artigo 32 Datos de proxecto do aceiro estrutural

32.1. Valores de cálculo das propiedades do material

Considerarase como resistencia de cálculo do aceiro o valor f_{yk}/γ_M , sendo f_{yk} o límite elástico característico e γ_M o coeficiente parcial para a resistencia, correspondente ao modo de rotura considerado, definido en 15.3.

Esta expresión é válida tanto para tracción como para compresión.

32.2. Diagramas tensión-deformación

Diagrama característico tensión-deformación do aceiro é o que se adopta como base dos cálculos, e ten a propiedade de que os valores da tensión presentan un nivel de confianza do 95 por 100 con respecto aos correspondentes valores obtidos no ensaio de tracción.

En compresión adóptase o mesmo diagrama que en tracción.

Diagrama tensión-deformación de cálculo do aceiro é o que se deduce do diagrama característico mediante unha afinidade oblicua, paralela á recta de Hooke, de razón $1/\gamma_M$, sendo γ_M o coeficiente parcial para a resistencia de que se trate.

Nesta instrución utilizarase o diagrama tensión-deformación bilineal, con segunda rama horizontal (figura 32.2.a), ben que, no caso de análise non lineal, se pode utilizar como alternativa o diagrama tensión-deformación bilineal, con segunda rama inclinada (figura 32.2.b).

Malia o anterior, poderanse empregar outros diagramas simplificados, sempre que o seu uso conduza a resultados que estean suficientemente avalados pola experiencia.

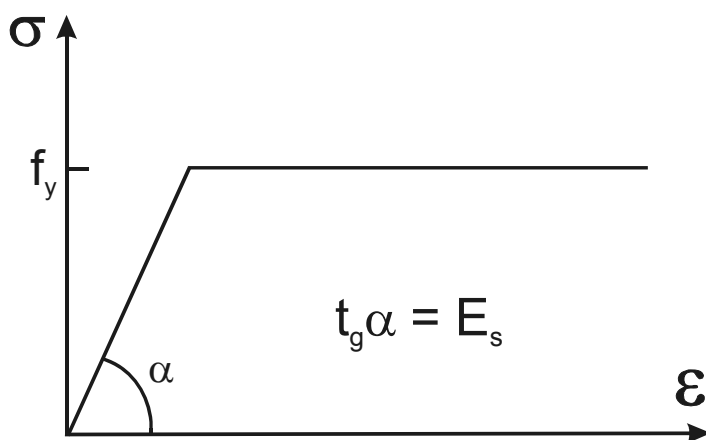


Figura 32.2.a. Diagrama tensión-deformación bilineal

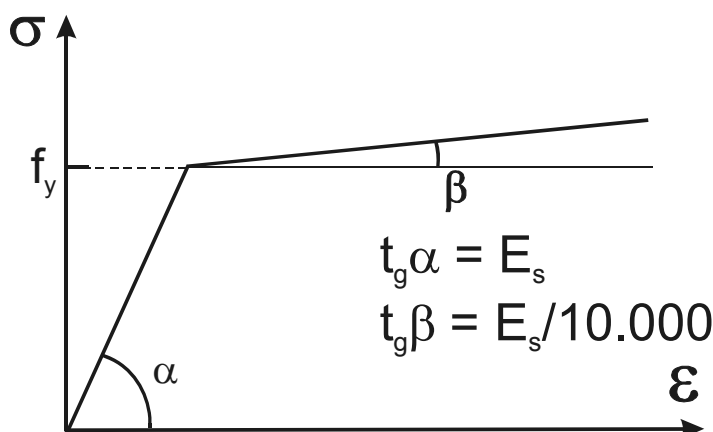


Figura 32.2.b. Diagrama tensión-deformación bilineal, con segunda rama inclinada

32.3. Tenacidade de fractura

A tenacidade de fractura dun aceiro define a resistencia do material á rotura fráxil, é dicir, sen deformación plástica apreciable. Nesta instrución, a tenacidade de fractura defínese en termos da resiliencia, que é a enerxía absorbida nun ensaio de flexión por choque sobre probeta Charpy, normalizado en UNE 7475-1.

O material deberá ter unha tenacidade de fractura suficiente para evitar a rotura fráxil dos elementos sometidos a tracción ou flexión á temperatura de servizo máis baixa que se prevexa durante a vida útil da estrutura.

En ausencia de estudos rigorosos, como poden ser os correspondentes á aplicación da mecánica de fractura, sobre as condicións de rotura fráxil do elemento, en función da tenacidade de fractura do material, do nivel de tensión e da temperatura mínima esperada en servizo, a táboa 32.3 dá os valores máximos do grosor t do material base que se poden utilizar. Estes valores máximos determínanse na táboa en función do tipo e grao do aceiro, o nivel de tensión de referencia no aceiro σ_{ref} e a temperatura de referencia T_{ref} .

A táboa 32.3 é aplicable para elementos sometidos a tracción, así como a flexión ou fatiga, en que polo menos parte da sección se atopa traccionada. Esta táboa é aplicable tanto para elementos sen soldar como soldados. Non se precisa comprobación de tenacidade de fractura nos elementos sometidos unicamente a tensións de compresión (ben sexa por compresión pura, compresión composta ou ciclo de fatiga con tensións unicamente de compresión).

A tensión de referencia σ_{ref} é a tensión nominal (é dicir, sen ter en conta unha posible fisura) no elemento e sección que se quere comprobar, calculada en estado límite de servizo considerando a combinación pésima de cargas permanentes e variables que se pode producir, así como o efecto da temperatura T_{ref} .

A temperatura de referencia T_{ref} obtense a partir da temperatura mínima do aire que cabe esperar durante a vida útil da estrutura, corrixida para ter en conta o efecto da perda por radiación térmica, a velocidade de deformación e o tipo de material, mediante a seguinte expresión:

$$T_{ref} = T_o + \Delta T_r - \Delta T_{\dot{\epsilon}} - \Delta T_{\epsilon_{cf}}$$

sendo:

T_o Temperatura mínima de servizo a considerar, que se pode tomar como a temperatura mínima absoluta rexistrada no lugar da localización da estrutura durante os 50 anos anteriores. A falta doutros datos, pódense tomar os valores publicados pola Axencia Estatal de Meteoroloxía para a estación máis próxima á localización, restando 0,5 °C por cada 100 m de aumento de altitude, ou sumando 0,5° C por cada 100 m de redución de altitude.

ΔT_r Termo que introduce o efecto da perda por radiación; pódese tomar $\Delta T_r = -5$ °C.

$\Delta T_{\dot{\epsilon}}$ Termo función da velocidade de deformación $\dot{\epsilon}$, de valor 0 °C se esta é igual ao valor de referencia, $\dot{\epsilon}_o = 4 \times 10^{-4}$ /seg; para outros valores de $\dot{\epsilon}$ (por exemplo, en caso de cargas de impacto), pódese obter $\Delta T_{\dot{\epsilon}}$ mediante a expresión:

$$\Delta T_{\dot{\epsilon}} = (1440 - f_y) (\ln (\dot{\epsilon} / \dot{\epsilon}_o))^{1.5} / 550$$

$\Delta T_{\epsilon_{cf}}$ Termo función da conformación en frío do aceiro; se o aceiro non é conformado en frío, este termo é 0 °C. Se o aceiro é conformado en frío, pódese tomar:

$$\Delta T_{\epsilon_{cf}} = 3 \times \epsilon_{cf}$$

sendo ϵ_{cf} a porcentaxe de deformación permanente producida pola conformación en frío do material.

Na táboa 32.3, a tensión de referencia σ_{ref} dáse normalizada como unha porcentaxe (75%, 50%, 25%) do límite elástico nominal do aceiro para o grosor t considerado, $f_y(t)$, onde $f_y(t)$ é o valor de f_y para o grosor t que figura na norma correspondente ao tipo de aceiro de que se trate ou, alternativamente, pódese determinar mediante:

$$f_y(t) = f_y - 0,25t$$

sendo f_y o límite elástico do aceiro en N/mm^2 e t o grosor do material en mm.

A táboa 32.3 admite a interpolación lineal. Na maior parte dos casos, o valor de σ_{ref} varía entre 0,75 $f_y(t)$ e 0,50 $f_y(t)$. Non se poden extrapolar os valores de σ_{ref} fóra do intervalo 0,75 $f_y(t)$ -0,25 $f_y(t)$.

Táboa 32.3. Grosos máximos t (mm) do material base

Tipo de aceiro	Grao	Resiliencia		Temperatura de referencia T_{ref} [°C]																				
		a T [°C]	J_{min}	$\sigma_{ref} = 0,75 f_y(t)$							$\sigma_{ref} = 0,50 f_y(t)$							$\sigma_{ref} = 0,25 f_y(t)$						
				10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50
S235	JR	20	27	60	50	40	35	30	25	20	90	75	65	55	45	40	35	135	115	100	85	75	65	60
	J0	0	27	90	75	60	50	40	35	30	125	105	90	75	65	55	45	175	155	135	115	100	85	75
	J2	-20	27	125	105	90	75	60	50	40	170	145	125	105	90	75	65	200	200	175	155	135	115	100
S275	JR	20	27	55	45	35	30	25	20	15	80	70	55	50	40	35	30	125	110	95	80	70	60	55
	J0	0	27	75	65	55	45	35	30	25	115	95	80	70	55	50	40	165	145	125	110	95	80	70
	J2	-20	27	110	95	75	65	55	45	35	155	130	115	95	80	70	55	200	190	165	145	125	110	95
	M,N	-20	40	135	110	95	75	65	55	45	180	155	130	115	95	80	70	200	200	190	165	145	125	110
	ML,NL	-50	27	185	160	135	110	95	75	65	200	200	180	155	130	115	95	230	200	200	200	190	165	145
S355	JR	20	27	40	35	25	20	15	15	10	65	55	45	40	30	25	25	110	95	80	70	60	55	45
	J0	0	27	60	50	40	35	25	20	15	95	80	65	55	45	40	30	150	130	110	95	80	70	60
	J2	-20	27	90	75	60	50	40	35	25	135	110	95	80	65	55	45	200	175	150	130	110	95	80
	K2,M,N	-20	40	110	90	75	60	50	40	35	155	135	110	95	80	65	55	200	200	175	150	130	110	95
	ML,NL	-50	27	155	130	110	90	75	60	50	200	180	155	135	110	95	80	210	200	200	200	175	150	130
S420	M,N	-20	40	95	80	65	55	45	35	30	140	120	100	85	70	60	50	200	185	160	140	120	100	85
	ML,NL	-50	27	135	115	95	80	65	55	45	190	165	140	120	100	85	70	200	200	200	185	160	140	120
S460	Q	-20	30	70	60	50	40	30	25	20	110	95	75	65	55	45	35	175	155	130	115	95	80	70
	M,N	-20	40	90	70	60	50	40	30	25	130	110	95	75	65	55	45	200	175	155	130	115	95	80
	QL	-40	30	105	90	70	60	50	40	30	155	130	110	95	75	65	55	200	200	175	155	130	115	95
	ML,NL	-50	27	125	105	90	70	60	50	40	180	155	130	110	95	75	65	200	200	200	175	155	130	115
	QL1	-60	30	150	125	105	90	70	60	50	200	180	155	130	110	95	75	215	200	200	200	175	155	130

32.4. Outros datos para o proxecto

Nos cálculos das estruturas de aceiro adoptaranse os seguintes valores, para as características que se indican:

- Módulo de elasticidade: $E = 210.000 \text{ N/mm}^2$
- Módulo de elasticidade transversal: $G = E/[2 (1+ \nu)]$
 $\nu = 0,3$
 $\alpha = 1,2 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
- Coeficiente de Poisson: $\gamma = 7.850 \text{ kg/m}^3$
- Coeficiente de dilatación lineal:
- Densidade

CAPÍTULO IX

ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS

Artigo 33 Estado límite de equilibrio

Deberase comprobar que, baixo a hipótese de carga máis desfavorable, non se superan os límites de equilibrio da estrutura (envorcadura, desprazamento, etc.), aplicando os métodos da mecánica racional e tendo en conta as condicións reais das sustentacións.

$$E_{d,estab.} \geq E_{d,desestab}$$

onde:

$E_{d,estab}$ Valor de cálculo dos efectos das accións estabilizadoras.

$E_{d,desestab}$ Valor de cálculo dos efectos das accións desestabilizadoras.

Artigo 34 Estado límite de resistencia das seccións

34.1. Principios xerais do cálculo

34.1.1. Xeneralidades

Este artigo considera a resistencia das seccións transversais dos elementos.

A consideración dos efectos da aboladura local e do arrastre por cortante, cando sexa preciso, farase mediante a determinación da sección transversal reducida e eficaz, de acordo cos artigos 20 e 21, respectivamente. No caso concreto do esforzo cortante, os efectos da aboladura xerados por ese esforzo deberán ser considerados de acordo co número 35.5.

A resistencia da seccións depende da clasificación da sección transversal. A comprobación de acordo con criterios elásticos poderase realizar para todo tipo de sección, inclusive para seccións de clase 4, sempre e cando, para estas, se consideren as propiedades da sección transversal reducida.

Para a comprobación fronte ao esgotamento da resistencia das seccións de acordo con criterios elásticos, pódese empregar o seguinte criterio para o punto crítico da sección transversal, a menos que se apliquen outras fórmulas de interacción (véxase 34.7):

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}\right) + 3 \cdot \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}\right)^2 \leq 1$$

onde:

$\sigma_{x,Ed}$ Valor de cálculo da tensión normal na dirección lonxitudinal no punto considerado.

$\sigma_{z,Ed}$ Valor de cálculo da tensión normal na dirección transversal no punto considerado.

τ_{Ed} Valor de cálculo da tensión tanxencial no punto considerado.

34.1.2. Características das seccións transversais

34.1.2.1. Características da sección transversal bruta

Para determinar as características da sección bruta utilizaranse as dimensións nominais desta. No cálculo das ditas características non será necesario deducir os orificios para parafusos, pero si se deducirán os orificios e aberturas importantes. Non se incluírán no cálculo das características da sección bruta os elementos de empalme.

34.1.2.2. Área neta

A área neta dunha sección transversal obtérase a partir da área bruta descontando as áreas correspondentes a todos os orificios e outras aberturas. A dedución por un orificio será a área bruta deste no plano do seu eixe (a correspondente ao produto do diámetro do orificio polo grosor do elemento). No caso de orificios abelanzados, deberá terse en conta a porción abelanzada do orificio.

Sempre que os orificios dos parafusos non estean dispostos en paralelo de forma alterna, a área total deducible será a suma máxima de áreas dos orificios incluídos en calquera sección transversal, perpendicular ao eixe do elemento.

No caso de que os orificios dos parafusos estean dispostos en paralelo de forma alterna, a área total deducible será a maior de:

A dedución feita para aqueles orificios non dispostos en paralelo de forma alterna como se indica no parágrafo anterior.

A suma das áreas de todos os orificios situados nunha diagonal ou nunha liña zigzag ao longo do elemento ou dunha parte deste, menos o produto de $s^2t / 4p$ para cada espazo entre orificios (véxase a figura 34.1.2.2.a):

$$t \cdot \left(n \cdot d_0 - \sum \frac{s^2}{4 \cdot p} \right)$$

Nesta expresión, s é a distancia entre centros de dous orificios consecutivos medida paralelamente ao eixe do elemento, p é a distancia entre centros dos mesmos orificios medida perpendicularmente ao eixe do elemento, t é o grosor do elemento, d_0 é o diámetro do orificio e n é o número de orificios estendidos en calquera diagonal ou liña de zigzag a través do elemento ou parte del (véxase a figura 34.1.2.2.a).

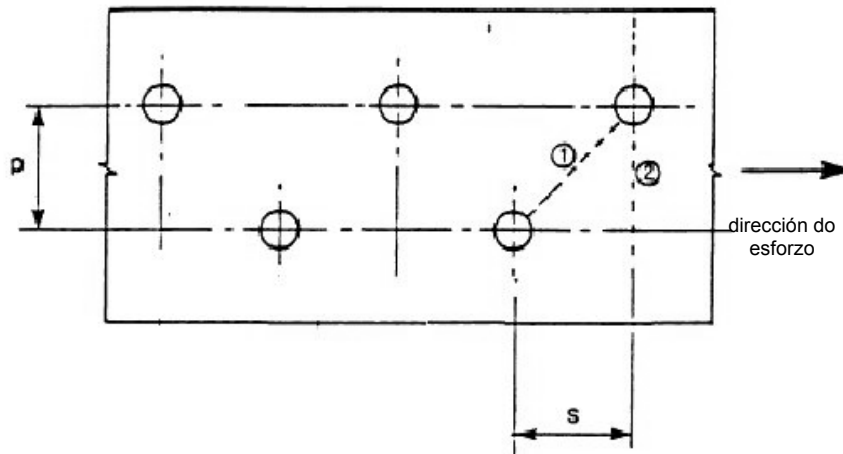


Figura 34.1.2.2.a. Orificios dispuestos en paralelo de forma alterna

En angulares ou noutros elementos con orificios en máis dun plano, a distancia p deberase medir ao longo da liña media do elemento (véxase a figura 34.1.2.2.b).

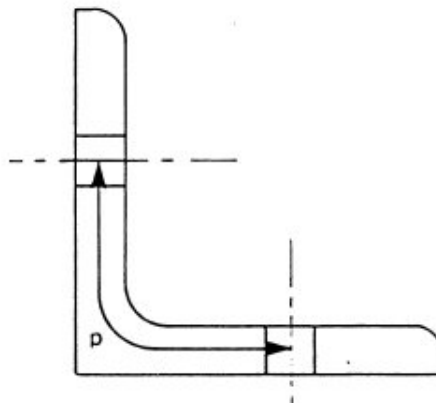


Figura 34.1.2.2.b. Perfís angulares con orificios en ambos os planos

34.1.2.3. Características da sección reducida en seccións con almas en clase 3 e alas en clase 1 ou 2

O cálculo da sección reducida en seccións transversais con almas en clase 3 e alas en clase 1 ou 2 obtense a partir da determinación dunha alma equivalente, de acordo con 20.3.

34.1.2.4. Características da sección reducida en seccións de clase 4

O cálculo da sección reducida en seccións de clase 4 baséase nos largos reducidos dos elementos comprimidos. Os largos reducidos de elementos planos comprimidos obtense de acordo co artigo 20.

Para seccións transversais de clase 4 sometidas a esforzo axial de compresión, deberase considerar o desprazamento do eixe baricéntrico da área reducida con respecto ao eixe baricéntrico da sección transversal bruta (véxase 34.7.2.3), resultando así un momento flector adicional:

$$\Delta M_{Ed} = N_{Ed} e_N$$

34.1.2.5. Efectos do arrastre por cortante

Poderase desprezar a influencia do arrastre por cortante nas alas cando se cumpran as condicións recollidas no número 21.1.

En caso de se superaren estes límites, deberanse considerar os efectos do arrastre por cortante.

Para a comprobación fronte a estados límite últimos, poderanse considerar os efectos combinados de arrastre por cortante e de abolladura local da ala mediante a obtención dunha área eficaz reducida dada por:

$$A_{ef} = A_{c,ef} \psi_{ult}$$

onde:

$A_{c,ef}$ Área reducida da ala comprimida fronte á abolladura (véxase o artigo 20).

ψ_{ult} Coeficiente reductor de largura eficaz da ala comprimida para considerar o arrastre por cortante en estado límite último, estimado no rango elástico a partir das expresións de ψ_{el} (véxase 21.3 e 21.4), pero substituíndo o parámetro β por β' .

$$\beta' = \alpha\beta = \alpha b_0 / L$$

sendo: $\alpha = \sqrt{\frac{A_{c,ef}}{b_0 t}}$ onde t é o grosor da ala.

34.2. Esforzo axial de tracción

O valor de cálculo do esforzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumprir para calquera sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

onde:

- N_{Ed} Valor de cálculo do esforzo axial.
 $N_{t,Rd}$ Resistencia de cálculo da sección a tracción.

No caso de seccións con orificios, deberase tomar como valor da resistencia a tracción $N_{t,Rd}$ o menor dos seguintes valores:

A resistencia plástica de cálculo da sección bruta $N_{pl,Rd}$:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

A resistencia última de cálculo da sección transversal neta:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

Cando se requira un comportamento dúctil, a resistencia plástica de cálculo $N_{pl,Rd}$ deberá ser menor que a resistencia última de cálculo da sección neta $N_{u,Rd}$.

Para a comprobación de unións de categoría C, dimensionadas para resistir a desprazamento en estado límite último, a resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ non poderá superar a resistencia de cálculo a tracción da área neta $N_{net,Rd}$:

$$N_{net,Rd} = \frac{A_{net} f_y}{\gamma_{M0}}$$

No caso de angulares e outras seccións, como as seccións en T e en U, unidos por un só lado, deberanse aplicar os criterios especificados en 58.5.2.

34.3. Esforzo axial de compresión

O valor de cálculo do esforzo axial de compresión N_{Ed} deberá cumprir para calquera sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

sendo:

- N_{Ed} Valor de cálculo do esforzo axial.
 $N_{c,Rd}$ Resistencia de cálculo da sección a compresión.

A resistencia de cálculo da sección para un esforzo axial de compresión $N_{c,Rd}$ obtérase mediante as seguintes expresións:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{para seccións de clase 1, 2 ou 3.}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{ef} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{para seccións de clase 4.}$$

Non se descontarán os orificios dos parafusos na comprobación da resistencia das seccións de elementos comprimidos, sempre que estes estean ocupados por parafusos, exceptuando os casos de orificios sobredimensionados ou alongados.

No caso de seccións de clase 4 non simétricas, deberase considerar o exposto en 34.1.2.4 para determinar o momento adicional ΔM debido á variación de posición da fibra neutra da sección transversal reducida respecto da súa posición na sección transversal bruta.

34.4. Momento flector

O valor de cálculo do momento flector M_{Ed} deberá cumprir para calquera sección transversal:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

onde:

M_{Ed} Valor de cálculo do momento flector.

$M_{c,Rd}$ Resistencia de cálculo da sección a flexión.

A resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ da sección transversal arredor dun eixe principal obtérase mediante as seguintes expresións:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{para seccións de clase 1 ou 2.}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el,min} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{para seccións de clase 3.}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{ef,min} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{para seccións de clase 4.}$$

Onde W_{pl} é o módulo resistente plástico e $W_{el,min}$ e $W_{ef,min}$ son os módulos resistentes correspondentes á fibra máis solicitada, adoptando unha distribución elástica de tensións, considerando a sección bruta e a sección reducida respectivamente.

En seccións transversais de clase 3 ou clase 4 non simétricas respecto do eixe neutro de flexión, nas que a plastificación se produce primeiro na zona traccionada da sección, pódese permitir, tanto para efectos da asignación de clase da alma (véxase 20.3) como para a determinación da resistencia de cálculo a flexión, a entrada en zona plástica das fibras traccionadas da sección transversal. A deformación máxima de tracción límitase a $6\varepsilon_y$, sendo ε_y a deformación correspondente ao límite elástico do aceiro.

Non é necesaria a consideración dos orificios dos parafusos na ala traccionada cando se cumpra a seguinte condición na dita ala:

$$\frac{A_{f,net} \cdot 0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \geq \frac{A_f \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Onde A_f e $A_{f,net}$ son respectivamente a área bruta e neta da ala traccionada.

Os orificios na zona de tracción da alma non necesitan ser considerados sempre que se cumpra a limitación anterior en toda a zona traccionada da sección transversal, incluíndo a ala traccionada e a zona traccionada da alma.

Non se descontarán os orificios dos parafusos na comprobación da resistencia das seccións de elementos sometidos a momento flector, sempre que os orificios estean ocupados por parafusos, exceptuando os casos de orificios sobredimensionados ou alongados.

No caso de flexión nesgada, empregaranse os métodos recollidos en 34.7.2.

34.5. Esfuerzo cortante

O valor de cálculo do esforzo cortante V_{Ed} deberá cumprir para calquera sección transversal:

$$V_{Ed} \leq V_{c,Rd}$$

onde:

- V_{Ed} Valor de cálculo do esforzo cortante.
- $V_{c,Rd}$ Resistencia de cálculo da sección a cortante.

En dimensionamento plástico, en ausencia de torsión, $V_{c,Rd}$ é a resistencia plástica de cálculo a cortante $V_{pl,Rd}$, que vén dada pola seguinte expresión:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

Onde A_v é a área a cortante, que se obterá a partir das seguintes expresións en función do tipo de sección transversal:

Seccións de perfís laminados en I ou en H con carga paralela á alma:

$$A = 2bt_f + (t_w + 2r) t_f \text{ pero non menor que } (\eta \cdot h_w \cdot t_w).$$

Seccións de perfís laminados en U con carga paralela á alma:

$$A - 2bt_f + (t_w + r) t_f$$

Seccións de perfís laminados en T con carga paralela á alma:

$$A - bt_f + (t_w + 2r) \frac{t_f}{2}$$

Seccións de vigas armadas soldadas en I, en H e en caixón con carga paralela á alma:

$$\eta \sum (h_w t_w)$$

Seccións de vigas armadas soldadas en I, H, U e en caixón con carga paralela ás alas:

$$A - \sum (h_w t_w)$$

- Seccións de vigas armadas soldadas en T con carga paralela á alma:

$$t_w \left(h - \frac{t_f}{2} \right)$$

Seccións de perfís ocós rectangulares de grosor constante:

$$\text{Carga paralela ao canto } h: \quad Ah/(b + h)$$

$$\text{Carga paralela ao largo } b: \quad Ab/(b + h)$$

Seccións de perfís ocós circulares e tubos de grosor constante:

$$2A/\pi$$

onde:

A Área da sección transversal.

b Largo total da sección.

h Canto total da sección.

h_w Altura da alma.

r Raio de acordo.

t_f Grosor da ala.

t_w Grosor da alma.

η Coeficiente que permite considerar a resistencia adicional que ofrece en réxime plástico o endurecemento por deformación do material. Recoméndase adoptar o valor de $\eta = 1,2$.

Para a comprobación dunha sección transversal fronte a esforzo cortante, pódese aplicar o seguinte criterio elástico para calquera punto crítico da sección, a menos que se apliquen os criterios de comprobación establecidos en 35.5.

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_y / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})} \leq 1 \quad \text{con} \quad \tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} S}{I \cdot t}$$

onde:

- τ_{Ed} Tensión tanxencial de cálculo no punto considerado.
- V_{Ed} Valor de cálculo do esforzo cortante.
- S Momento estático da área da sección transversal por encima do punto considerado.
- I Momento de inercia da sección transversal.
- t Grosor no punto considerado.

Para perfís en I ou en H onde a liña de aplicación do esforzo cortante coincide co eixe de simetría da alma, a tensión tanxencial de cálculo τ_{Ed} na alma pódese obter mediante a seguinte expresión:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} \quad \text{Se } A_f / A_w \geq 0,6$$

sendo:

- A_f Área dunha ala.
- A_w Área da alma $A_w = h_w t_w$

Ademais, deberá ser comprobada a resistencia á aboladura por cortante das almas sen rixidizadores intermedios de acordo con 35.5.

Os orificios para parafusos non serán considerados na comprobación fronte a cortante.

34.6. Torsión

Para elementos sometidos a torsión para os cales as deformacións de distorsión poidan ser desprezadas, o valor de cálculo do momento torsor T_{Ed} deberá cumprir para calquera sección transversal:

$$T_{Ed} \leq T_{c,Rd}$$

onde:

- T_{Ed} Valor de cálculo do esforzo momento torsor.

$T_{c,Rd}$ Resistencia de cálculo da sección a torsión.

O esforzo torsor T_{Ed} en calquera sección transversal poderase dividir en dous compoñentes tales que:

$$T_{Ed} = T_{t,Ed} + T_{w,Ed}$$

onde:

$T_{t,Ed}$ Compoñente de esforzo torsor correspondente á torsión uniforme de Saint-Venant.

$T_{w,Ed}$ Compoñente de esforzo torsor correspondente á torsión de empenamento.

Os valores de $T_{t,Ed}$ e $T_{w,Ed}$ poden ser determinados a partir de T_{Ed} mediante unha análise elástica, tendo en conta as características da sección transversal, as condicións de vinculación nos apoios e a distribución das accións ao longo do elemento.

Deberanse considerar os seguintes estados tensionais inducidos pola torsión:

As tensións tanxenciais $\tau_{t,Ed}$ debidas ao esforzo torsor $T_{t,Ed}$ de torsión uniforme.

As tensións normais lonxitudinais $\sigma_{w,Ed}$ debidas ao bimomento B_{Ed} de torsión de empenamento e as tensións tanxenciais $\tau_{w,Ed}$ debidas ao esforzo torsor $T_{w,Ed}$ de torsión de empenamento.

Para a comprobación fronte ao esgotamento da resistencia da sección, de acordo con criterios elásticos, pódese aplicar o criterio presentado en 34.1.1.

Para determinar a resistencia de cálculo dunha sección transversal sometida a flexión e torsión, só se terán en conta os efectos da torsión producidos polo bimomento B_{Ed} que resultan dunha análise elástica. Iso tradúcese no seguinte criterio de comprobación:

$$M_{c,T,Rd} = \left[1 - \frac{\sigma_{w,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right] \cdot M_{c,Rd}$$

Onde $M_{c,Rd}$ é a resistencia de cálculo da sección á flexión (véxase 34.4) e $\sigma_{w,Ed}$ é a tensión normal máxima de cálculo debida á torsión de empenamento.

O cálculo da tensión normal máxima $\sigma_{w,Ed}$ lévase a cabo facendo uso da seguinte ecuación, proveniente da teoría da torsión de empenamento:

$$\sigma_{w,Ed} = \frac{B_{Ed} \omega}{I_w}$$

Onde ω é a coordenada sectorial normalizada e I_w é o módulo de empenamento da sección transversal.

Os efectos da torsión de empenamento poderán ser desprezados para o caso de elementos con sección transversal oca cerrada. No caso de elementos con sección transversal aberta, tales como seccións en I e en H, poderanse desprezar os efectos da torsión uniforme.

Para determinar a resistencia de cálculo a torsión $T_{c,Rd}$ de seccións ocas deberase ter en conta a resistencia a cortante de cada unha das partes individuais da sección transversal, de acordo cos criterios de comprobación establecidos en 35.5.

Baixo a acción combinada de esforzo cortante e esforzo torsor, en dimensionamento plástico, deberase aplicar o seguinte criterio:

$$V_{Ed} \leq V_{pl,T,Rd}$$

onde:

V_{Ed} Valor de cálculo do esforzo cortante.

$V_{pl,T,Rd}$ Resistencia de cálculo da sección fronte a esforzo cortante e momento torsor.

A dita resistencia seccional $V_{pl,T,Rd}$ vén dada polas seguintes expresións en función do tipo de sección transversal:

Para seccións en I ou en H:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

Para seccións en U:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[\sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}} - \frac{\tau_{w,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

Para seccións ocas:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

34.7. Interacción de esforzos

34.7.1. Flexión e cortante

Naqueles casos en que a sección se vexa sometida ao efecto combinado de solicitacións de flexión e cortante, a comprobación fronte a este efecto levarase a cabo considerando a súa interacción, traducíndose iso nunha redución da resistencia de cálculo da sección a flexión.

Cando o valor de cálculo do esforzo cortante V_{Ed} non supere o 50% da resistencia plástica da sección $V_{pl,Rd}$, non se deberá reducir o valor da resistencia de cálculo da sección a flexión, a excepción dos casos en que esta redución sexa necesaria para a consideración do fenómeno de aboladura por cortante (véxase 35.5).

Cando V_{Ed} exceda o 50% da resistencia plástica da sección a cortante $V_{pl,Rd}$, asignaráselle á área de cortante un límite elástico reducido de valor $(1-\rho) \cdot f_y$ para a determinación da resistencia de cálculo da sección a flexión, onde:

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$$

con $V_{pl,Rd}$ obtido de acordo con 34.5.

No caso de seccións sometidas a cortante e torsión, cando V_{Ed} exceda o 50% da resistencia plástica da sección a cortante $V_{pl,T,Rd}$, asignaráselle á área de cortante un límite elástico reducido de valor $(1-\rho) \cdot f_y$ para a determinación da resistencia de cálculo da sección a flexión, onde:

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} - 1 \right)^2$$

con $V_{pl,T,Rd}$ obtido de acordo con 34.6.

En seccións en dobre T con alas iguais e sometidas a flexión arredor do eixe principal de inercia da sección, a resistencia plástica de cálculo a flexión considerando a interacción co esforzo cortante e o esforzo torsor pódese obter mediante a seguinte expresión:

$$M_{y,V,Rd} = \frac{\left[W_{pl,y} - \frac{\rho \cdot A_w^2}{4t_w} \right] f_y}{\gamma_{M0}}$$

Onde $A_w = h_w t_w$

34.7.2. Flexión e esforzo axial

Naqueles casos en que a sección se vexa sometida ao efecto combinado de solicitacións de flexión e esforzo axial, a comprobación fronte a este efecto levarase a cabo de acordo cos criterios establecidos en función do tipo de sección transversal, nos números que seguen.

Naqueles elementos sometidos a flexión e esforzo axial de compresión, deberanse satisfacer os criterios correspondentes á comprobación fronte a fenómenos de inestabilidade (véxase o artigo 35).

34.7.2.1. Seccións transversais de clase 1 e 2

En presenza dun esforzo axial, deberase levar a cabo unha redución da resistencia plástica de cálculo a flexión. Deberase satisfacer o seguinte criterio:

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd}$$

Onde $M_{N,Rd}$ é a resistencia plástica de cálculo a flexión reducida, debido á existencia do esforzo axial N_{Ed} .

Para unha sección rectangular sen orificios para parafusos, a resistencia plástica de cálculo a flexión reducida $M_{N,Rd}$ vén dada por:

$$M_{N,Rd} = M_{c,Rd} \left[1 - \left(N_{Ed} / N_{pl,Rd} \right)^2 \right]$$

Onde $M_{c,Rd}$ é a resistencia de cálculo da sección a flexión (véxase 34.4).

En seccións en I e en H dobremente simétricas, deberase levar a cabo a redución para a consideración do efecto do esforzo axial sobre o momento plástico resistente arredor do eixe y-y, cando se cumpra:

$$N_{Ed} > \min \left\{ 0,25 N_{pl,Rd}, \frac{0,5 \cdot h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \right\}$$

De modo similar, para seccións en I e en H dobremente simétricas, deberase levar a cabo a redución por efecto do esforzo axial sobre o momento plástico resistente arredor do eixe z-z, cando se cumpra:

$$N_{Ed} > \frac{h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}}$$

Para seccións transversais de perfís laminados ou armados en I ou en H con alas iguais onde os orificios para parafusos non sexan considerados, poderanse aplicar as seguintes expresións aproximadas para a obtención da resistencia plástica a flexión reducida:

Arredor do eixe forte y-y:

$$M_{N,y,Rd} = M_{c,y,Rd} (1 - n) / (1 - 0,5a) \quad \text{sendo} \quad M_{N,y,Rd} \leq M_{c,y,Rd}$$

$$\text{onde: } n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \quad \text{e} \quad a = \frac{A - 2bt_f}{A} \quad \text{sendo} \quad a \leq 0,5$$

Arredor do eixe débil z-z:

$$\text{Para } n \leq a: \quad M_{N,z,Rd} = M_{c,z,Rd}$$

$$\text{Para } n > a: \quad M_{N,z,Rd} = M_{c,z,Rd} \left[1 - \left(\frac{n - a}{1 - a} \right)^2 \right] \quad \text{sendo} \quad M_{N,z,Rd} \leq M_{c,z,Rd}$$

$$\text{onde: } n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \quad \text{e} \quad a = \frac{A - 2bt_f}{A} \quad \text{sendo} \quad a \leq 0,5$$

Para seccións transversais de perfís ocas rectangulares con grosor constante e seccións caixón soldadas con alas iguais e almas iguais onde os orificios para parafusos non sexan considerados, poderanse aplicar as seguintes expresións aproximadas para a obtención da resistencia plástica reducida a flexión arredor de ambos os eixes:

$$M_{N,y,Rd} = M_{c,y,Rd} (1 - n) / (1 - 0,5a_w) \quad \text{sendo} \quad M_{N,y,Rd} \leq M_{c,y,Rd}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{c,z,Rd} (1 - n) / (1 - 0,5a_f) \quad \text{sendo} \quad M_{N,z,Rd} \leq M_{c,z,Rd}$$

onde:

$$a_w = \frac{A - 2bt}{A} \quad \text{sendo } a_w \leq 0,5 \quad \text{para seccións ocas.}$$

$$a_w = \frac{A - 2bt_f}{A} \quad \text{sendo } a_w \leq 0,5 \quad \text{para seccións caixón soldadas.}$$

$$a_f = \frac{A - 2ht}{A} \quad \text{sendo } a_f \leq 0,5 \quad \text{para seccións ocas.}$$

$$a_f = \frac{A - 2ht_w}{A} \quad \text{sendo } a_f \leq 0,5 \quad \text{para seccións caixón soldadas.}$$

Para o caso de seccións ocas circulares, poderase aplicar a seguinte expresión aproximada para a obtención da resistencia plástica a flexión reducida:

$$M_{N,y,Rd} = M_{N,z,Rd} = M_{c,Rd} (1 - n^{1,7})$$

onde:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$

Para o caso de flexión nesgada e esforzo axial, poderase utilizar o seguinte criterio aproximado para a comprobación:

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1$$

Onde α e β son constantes que, de maneira conservadora, se poden tomar igual á unidade, ou ben obterse tal como segue:

Seccións en I e en H:

$$\alpha = 2; \beta = 5n \text{ con } \beta \geq 1$$

Seccións ocas rectangulares:

$$\alpha = \beta = \frac{1,66}{1 - 1,13 \cdot n^2} \text{ con } \alpha = \beta \leq 6$$

$$\text{Onde } n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$

34.7.2.2. Seccións transversais de clase 3

Baixo a acción combinada de flector e esforzo axial, e en ausencia de esforzo cortante, a tensión normal máxima $\sigma_{x,Ed}$ deberá satisfacer:

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

A tensión $\sigma_{x,Ed}$ é o valor de cálculo da tensión normal máxima debida ao momento flector e ao esforzo axial, tendo en conta os orificios para os parafusos cando iso sexa pertinente, tal como se especifica en 34.2, 34.3 e 34.4.

Para a comprobación da sección, o criterio anterior tradúcese na seguinte expresión no punto máis solicitado:

$$\frac{N_{Ed}}{A f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{el,y} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{el,z} f_y / \gamma_{M0}} \leq 1$$

onde:

A Área da sección transversal.

W_{el} Módulo resistente elástico a flexión arredor do eixe en cuestión.

34.7.2.3. Seccións transversais de clase 4

Baixo a acción combinada de flector e esforzo axial, e en ausencia de esforzo cortante, a tensión normal máxima calculada utilizando os largos reducidos dos elementos comprimidos deberá satisfacer:

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Onde $\sigma_{x,Ed}$ é o valor de cálculo da tensión normal máxima debida ao momento flector e ao esforzo axial, tendo en conta os orificios para os parafusos cando iso sexa pertinente, tal como se especifica en 34.2, 34.3 e 34.4.

Para a comprobación da sección, o criterio anterior tradúcese na seguinte expresión no punto máis solicitado:

$$\frac{N_{Ed}}{A_{ef} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{W_{ef,y} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{Nz}}{W_{ef,z} f_y / \gamma_{M0}} \leq 1$$

onde:

- A_{ef} Área reducida da sección cando esta se ve sometida a compresión uniforme.
- W_{ef} Módulo resistente da sección reducida cando a sección transversal se ve sometida a flexión arredor do eixe en cuestión.
- e_N Desprazamento do centro de gravidade da sección reducida con respecto ao da sección bruta, cando esa sección transversal se ve sometida soamente a compresión uniforme.

34.7.3. Flexión, cortante e esforzo axial

Naqueles casos en que a sección se vexa sometida ao efecto combinado de solicitacións de flexión, cortante e esforzo axial, a comprobación fronte a este efecto levarase a cabo reducindo a resistencia de cálculo da sección a flexión e axial.

Cando o valor de cálculo do esforzo cortante V_{Ed} sexa menor que o 50% da resistencia plástica de cálculo da sección $V_{pl,Rd}$, non será necesaria ningunha das reducións das resistencias de cálculo da sección establecidas en 34.7.2, exceptuando os casos en que a redución se deba levar a cabo para a consideración dos efectos da aboladura por cortante do modo que se establece en 35.5.

Cando V_{Ed} exceda o 50% da resistencia plástica da sección a cortante $V_{pl,Rd}$, asignaráselle á área de cortante un límite elástico reducido de valor $(1-\rho) \cdot f_y$ para a determinación da resistencia de cálculo da sección fronte á acción combinada de momento flector e esforzo axial (véxase 34.7.2), onde:

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$$

obténdose $V_{pl,Rd}$ de acordo con 34.5.

Artigo 35 Estado límite de inestabilidade

35.1. Elementos sometidos a compresión

35.1.1. *Empenamento de elementos de sección constante*

Para elementos sometidos a compresión, o valor de cálculo do esforzo axial de compresión N_{Ed} deberá verificar:

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

onde:

N_{Ed} Valor de cálculo do esforzo axial de compresión.

$N_{b,Rd}$ Resistencia de cálculo a empenamento do elemento comprimido.

Para elementos con sección transversal non simétrica de clase 4, deberase considerarse un momento adicional ΔM_{Ed} debido ao desprazamento do eixe baricéntrico da área reducida A_{ef} con respecto ao eixe baricéntrico da sección transversal bruta, do modo que se define en 34.1.2.3. Iso requirirá unha análise da interacción esforzo axial-momento flector na comprobación de elementos comprimidos e flectados fronte a empenamento (véxase 35.3).

A resistencia de cálculo a empenamento dun elemento sometido a compresión determinarase do seguinte xeito:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{para seccións transversais de clase 1, 2 e 3.}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{para seccións transversais de clase 4.}$$

Onde χ é o coeficiente de redución para o modo de empenamento considerado.

Para a determinación de A e A_{ef} non é necesario contabilizar os orificios para parafusos nos extremos do elemento.

En elementos comprimidos con sección variable ao longo da súa directriz ou con distribución non uniforme do esforzo axial, a comprobación relativa á resistencia a empenamento dos ditos elementos pódese levar a cabo segundo o método xeral de análise en segunda orde de pórticos e elementos estruturais, de acordo cos artigos 22 e 24 do capítulo V. Para elementos comprimidos de inercia variable ou con esforzo axial non uniforme, con determinadas condicións de vinculación, pódese aplicar o recollido nos números 70.2, 70.3 e 70.4 do capítulo XV.

35.1.2. Curvas de empenamento

Para elementos con sección transversal constante sometidos a un esforzo axial de compresión de valor constante, o valor de χ para a esvelteza adimensional $\bar{\lambda}$ determinarase conforme:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{sendo } \chi \leq 1,0$$

sendo:

$$\Phi = 0.5 \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

α Coeficiente de imperfección.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} \quad \text{en seccións de clase 1, 2 e 3.}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{ef} f_y}{N_{cr}}} \quad \text{en seccións de clase 4.}$$

N_{cr} Esforzo axial crítico elástico para o modo de empenamento considerado, obtido coas características da sección transversal bruta.

O valor do coeficiente de imperfección α para cada unha das curvas de empenamento obterase da táboa 35.1.2.a.

Táboa 35.1.2.a. Valores do coeficiente de imperfección

Curva de empenamento	a_0	a	b	c	d
Coeficiente de imperfección α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

A elección da curva de empenamento para cada sección transversal obterase da táboa 35.1.2.b.

Táboa 35.1.2.b. Elección das curvas de empenamento

Sección transversal	Límites	Empenamento arredor do eixe	Curva empenamento		
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460	
Seccións de perfís laminados 	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$ $40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y-y z-z	a a ₀	
			b c	a a	
	$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$ $t_f > 100 \text{ mm}$	y-y z-z	b d	a c
			c d	a c	
Seccións de vigas en I armadas soldadas 	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	b c	b c	
	$t_f > 40 \text{ mm}$	y-y z-z	c d	c d	
Seccións de perfís ocos 	Acabados en quente	calquera	a	a ₀	
	Conformados en frío	calquera	c	c	
Seccións de vigas en caixón armadas soldadas 	En xeral (excepto caso recadro inferior)	calquera	b	b	
	Soldadura grossa : $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	calquera	c	c	
Seccións de perfís en U, en T e macizas 		calquera	c	c	
Seccións de perfís angulares 		calquera	b	b	

Os valores do coeficiente de redución χ , en función da esvelteza adimensional $\bar{\lambda}$, pódense obter tamén a partir da figura 35.1.2.

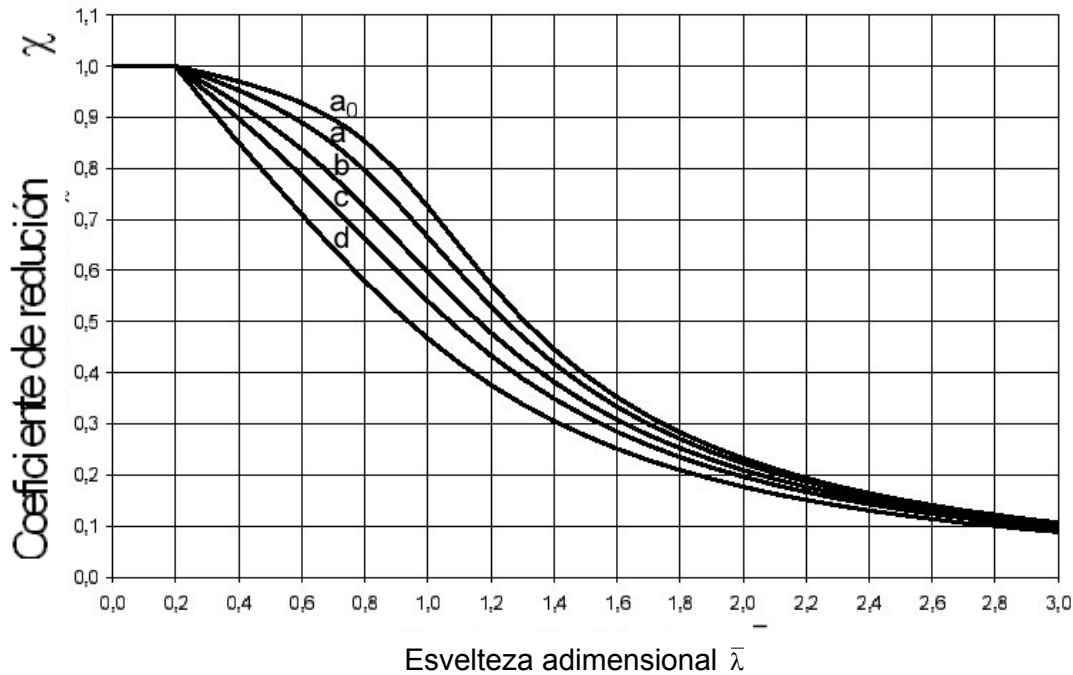


Figura 35.1.2. Curvas de empenamento

Para esveltezas $\bar{\lambda} \leq 0,2$ ou para relacións $\frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \leq 0,04$ poderase omitir a comprobación fronte a empenamento, téndose que levar a cabo unicamente a comprobación resistente da sección transversal.

35.1.3. Esvelteza para empenamento por flexión

A esvelteza adimensional $\bar{\lambda}$ para a comprobación fronte a empenamento por flexión de elementos comprimidos vén dada por:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\lambda_E} \quad \text{para seccións de clase 1, 2 e 3.}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{ef} f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \sqrt{\frac{A_{ef}}{A}} \frac{1}{\lambda_E} \quad \text{para seccións de clase 4.}$$

onde:

L_{cr} Lonxitude de empenamento no plano de empenamento por flexión considerado.

i é o raio de xiro arredor do eixe considerado, determinado este a partir das características da sección transversal bruta.

$$\lambda_E = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \cdot \varepsilon$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (f_y \text{ en N/mm}^2)$$

Para a comprobación do elemento fronte a empenamento, deberase elixir a curva de empenamento apropiada de acordo coa táboa 35.1.2.b.

35.1.4. *Esvelteza para empenamento por torsión e empenamento por torsión e flexión*

Os elementos comprimidos con seccións transversais abertas con débil rixidez torsional deberánse comprobar fronte a empenamento por torsión e empenamento por torsión e flexión.

A esvelteza adimensional para a comprobación fronte a empenamento por torsión e empenamento por torsión e flexión vén dada por:

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} \quad \text{en seccións de clase 1, 2 e 3.}$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A_{ef} f_y}{N_{cr}}} \quad \text{en seccións de clase 4.}$$

Onde $N_{cr} = N_{cr,TF}$, sendo $N_{cr} < N_{cr,T}$

Os valores $N_{cr,TF}$ e $N_{cr,T}$ son os esforzos axiais críticos elásticos de empenamento por torsión e flexión e empenamento por torsión respectivamente.

Para a comprobación dun elemento comprimido fronte a empenamento por torsión e empenamento por torsión e flexión, a curva de empenamento apropiada pódese obter da táboa 35.1.2.b, considerando a curva relativa ao eixe z-z.

35.2. Elementos sometidos a flexión

35.2.1. *Empenamento lateral de elementos de sección constante*

Para elementos non arriostados lateralmente sometidos a flexión arredor do eixe forte, o valor de cálculo do momento flector M_{Ed} deberá verificar:

$$M_{Ed} \leq M_{b,Rd}$$

onde:

M_{Ed} Valor de cálculo do momento flector.

$M_{b,Rd}$ Resistencia de cálculo a flexión fronte a empenamento lateral.

En elementos con certos tipos de sección transversal tales como as dos perfís ocós de sección circular ou cadrada, ou seccións en caixón, poderase omitir a comprobación fronte a empenamento lateral.

A resistencia de cálculo a empenamento lateral dun elemento non arriostado lateralmente sometido a flexión arredor do eixe forte vén dada pola seguinte expresión:

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

sendo:

W_y Módulo resistente da sección:

$$W_y = W_{pl,y} \quad \text{para seccións de clase 1 e 2.}$$

$$W_y = W_{el,y} \quad \text{para seccións de clase 3.}$$

$$W_y = W_{ef,y} \quad \text{para seccións de clase 4.}$$

χ_{LT} Coeficiente de redución para empenamento lateral.

Para a determinación de W_y non é necesario contabilizar os orificios para parafusos nos extremos do elemento.

En elementos sometidos a flexión arredor do seu eixe forte con sección variable ao longo da súa directriz, o dimensionamento e comprobación da resistencia a empenamento lateral dos ditos elementos levarase a cabo segundo o método xeral de análise en segunda orde de elementos estruturais, de acordo co exposto nos artigos 22 e 24.

35.2.2. *Curvas de empenamento lateral. Caso xeral*

Para elementos con sección transversal constante sometidos a momento flector arredor do eixe forte, o valor de χ_{LT} para a correspondente esvelteza adimensional $\bar{\lambda}_{LT}$ determinarase de conformidade con:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{sendo } \chi_{LT} \leq 1,0$$

onde:

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

α_{LT} Coeficiente de imperfección

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$$

M_{cr} Momento flector crítico elástico de empenamento lateral.

O valor de M_{cr} obtérase considerando as características da sección transversal bruta e tendo en conta os estados de carga, a distribución real de momentos flectores e os arriostamentos laterais.

O valor do coeficiente de imperfección α_{LT} para cada unha das curvas de empenamento obtérase da táboa 35.2.2.a.

Táboa 35.2.2.a. Valores do coeficiente de imperfección para empenamento lateral

Curva de empenamento	a	b	c	d
Coficiente de imperfección α_{LT}	0,21	0,34	0,49	0,76

A elección da curva de empenamento para cada sección transversal obtérase da táboa 35.2.2.b

Táboa 35.2.2.b. Elección da curva de empenamento lateral

Sección transversal	Límites	Curva de empenamento
Seccións de perfís laminados en dobre T	$h / b \leq 2$	A
	$h / b > 2$	B
Seccións soldadas en dobre T	$h / b \leq 2$	C
	$h / b > 2$	D
Outras seccións	-	D

Os valores do coeficiente de redución χ_{LT} , en función da esvelteza adimensional $\bar{\lambda}_{LT}$, pódense obter a partir das curvas de empenamento da figura 35.1.2.

35.2.2.1. Curvas de empenamento lateral para perfís laminados ou seccións soldadas equivalentes

Para perfís laminados ou seccións soldadas equivalentes sometidos a flexión, o valor do coeficiente reductor χ_{LT} para a correspondente esvelteza adimensional $\bar{\lambda}_{LT}$ pódese determinar segundo:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{sendo } \chi_{LT} \leq 1,0 \text{ e } \chi_{LT} \leq 1,0 / \bar{\lambda}_{LT}^2$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

Para este tipo de seccións, para a determinación de χ_{LT} pódense adoptar como valores de $\bar{\lambda}_{LT,0}$ e de β os valores de 0,4 (valor máximo) e 0,75 (valor mínimo) respectivamente. A elección da curva de empenamento para cada sección transversal obtérase entón da táboa 35.2.2.1.a.

Táboa 35.2.2.1.a. Elección da curva de empenamento lateral para estas seccións considerando a expresión anterior para a determinación do coeficiente χ_{LT}

Sección transversal	Límites	Curva de empenamento
Seccións de perfís laminados en dobre T	$h / b \leq 2$	b
	$h / b > 2$	c
Seccións soldadas en dobre T	$h / b \leq 2$	c
	$h / b > 2$	d

Adoptando os valores de $\bar{\lambda}_{LT,0}$ e de β mencionados no parágrafo anterior, tense que para esveltezas $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,4$ ou para relacións $\frac{M_{Ed}}{M_{cr}} \leq 0,16$ se poderá omitir a comprobación fronte a empenamento lateral, téndose que levar a cabo unicamente a comprobación resistente da sección transversal.

Así mesmo, para considerar a distribución de momentos flectores existente entre os puntos de arriostamento lateral do elemento na comprobación fronte a empenamento lateral, o coeficiente χ_{LT} obtido coa expresión anterior pódese modificar conforme a seguinte expresión:









$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} \quad \text{sendo } \chi_{LT,mod} \leq 1,0 \quad \text{y } \chi_{LT,mod} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2}$$

O valor mínimo de f determínase mediante a seguinte expresión:

$$f = 1,0 - 0,5(1 - k_c) \left[1,0 - 2,0(\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2 \right] \quad \text{sendo } f \leq 1,0$$

sendo k_c un factor de corrección que depende da distribución de momentos flectores e que se obtén da táboa 35.2.2.1.b.

Táboa 35.2.2.1.b. Factor de corrección k_c

Distribución de momentos	k_c
 $\psi = 1$	1,0
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$
  	0,94 0,90 0,91
  	0,86 0,77 0,82

35.2.3. Método simplificado para comprobación de vigas con arriostamentos laterais en edificios

Os elementos con arriostamento lateral puntual discreto da ala comprimida non se verán afectados polo empenamento lateral se a lonxitude L_c entre puntos de arriostamento da ala ou a esvelteza resultante $\bar{\lambda}_f$ da ala comprimida equivalente satisfai o seguinte criterio:

$$\bar{\lambda}_f = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_E} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$$

onde

$\bar{\lambda}_f$ Esvelteza adimensional da ala comprimida equivalente entre puntos de arriostamento.

$M_{y,Ed}$ Valor de cálculo do momento flector máximo existente entre puntos de arriostamento.

$$M_{c,Rd} = \frac{W_y f_y}{\gamma_{M1}}$$

sendo W_y o módulo resistente apropiado da sección con respecto á ala comprimida.

- k_c Factor de corrección da esvelteza que considera a distribución de momentos flectores existente entre puntos de arriostamento (véxase a táboa 35.2.2.1.b).
- $i_{f,z}$ Raio de xiro da ala comprimida equivalente con respecto ao eixe débil da sección transversal, constituída aquela pola propia ala comprimida e mais a terceira parte da área da parte comprimida da alma.

Para seccións de clase 4, $i_{f,z}$ pódese obter mediante a seguinte expresión:

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{ef,f}}{A_{ef,f} + \frac{1}{3}A_{ef,w,c}}}$$

sendo

$I_{ef,f}$ Momento de inercia da ala comprimida reducida arredor do eixe débil da sección.

$A_{ef,f}$ Área reducida da ala comprimida.

$A_{ef,w,c}$ Área reducida da parte comprimida da alma.

$$\lambda_E = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \cdot \varepsilon$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (f_y \text{ en N/mm}^2)$$

$\bar{\lambda}_{c0}$ Esvelteza límite da ala comprimida equivalente. Recoméndase un valor para esta esvelteza de $\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0,1 = 0,5$.

De non se cumprir o criterio anterior, a resistencia de cálculo a empenamento lateral pódese obter tal como segue:

$$M_{b,Rd} = k_{fl} \cdot \chi \cdot M_{c,Rd} \quad \text{sendo } M_{b,Rd} \leq M_{c,Rd}$$

onde:

χ Coeficiente de redución da ala comprimida equivalente determinado con $\bar{\lambda}_f$.

k_{fl} Factor de corrección que ten en conta que o método da ala comprimida equivalente é conservador. Recoméndase o valor de $k_{fl} = 1,10$.

As curvas de empenamento para obter o coeficiente χ en función de $\bar{\lambda}_f$ serán:

- Curva de para seccións soldadas en que se cumpra que $\frac{h}{t_f} \leq 44\epsilon$ sendo h o canto total da sección transversal e t_f o grosor da ala comprimida.
- Curva c para o resto de seccións.

35.3. Elementos sometidos a compresión e flexión

A non ser que se levase a cabo unha análise en segunda orde empregando as imperfeccións dadas no artigo 22, a estabilidade de elementos sometidos a flexión e compresión con sección transversal uniforme dobremente simétrica, non susceptibles a deformacións por distorsión, deberase verificar do modo que se presenta a continuación, onde se distinguirá entre:

Elementos que non son susceptibles a deformacións por torsión, tales como elementos con seccións ocas circulares ou seccións con torsión impedida.

Elementos que son susceptibles a deformacións por torsión, tales como elementos con seccións abertas e con torsión non impedida.

A comprobación de elementos de sistemas estruturais pódese levar a cabo sobre a análise de elementos individuais dun só vano extraídos do sistema. Os efectos de segunda orde de sistemas translacionais (efecto P- Δ) deberanse ter en conta a través dos momentos en extremos do elemento ou a través da lonxitude de empenamento que corresponda.

Para elementos sometidos a flexión e compresión, deberanse verificar as seguintes condicións:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1} \frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1} \frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

onde:

- $N_{Ed}, M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$ Valores de cálculo do esforzo axial de compresión e dos momentos flectores máximos ao longo do elemento arredor dos eixes y-y e z-z respectivamente.
- $\Delta M_{y,Ed}, \Delta M_{z,Ed}$ Momentos adicionais debidos ao desprazamento do eixe baricéntrico da área reducida A_{ef} con respecto ao eixe baricéntrico da sección transversal bruta (véxase 34.7.2.3), (véxase a táboa 35.3.a).
- χ_y, χ_z Coeficientes de redución para empenamento por flexión (véxase 35.1.2).
- χ_{LT} Coeficiente de redución para empenamento lateral (véxase 35.2.2). Para elementos non susceptibles a deformacións por torsión $\chi_{LT} = 1,0$.
- $k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}$ Coeficientes de interacción, que se obterán mediante dous métodos alternativos: Método 1 (táboas 35.3.b (a) e 35.3.b (b)). Método 2 (táboas 35.3.c (a), 35.3.c (b) e 35.3.c (c)).

Táboa 35.3.a. Valores de $N_{Rk} = f_y A_i$, $M_{i,Rk} = f_y W_{i,e} \Delta M_{i,Ed}$ nas expresións de comprobación fronte a empenamento

Clase	1	2	3	4
A	A	A	A	A_{ef}
W_y	$W_{pl,y}$	$W_{pl,y}$	$W_{el,y}$	$W_{ef,y}$
W_z	$W_{pl,z}$	$W_{pl,z}$	$W_{el,z}$	$W_{ef,z}$
$\Delta M_{y,Ed}$	0	0	0	$e_{N,y} \cdot N_{Ed}$
$\Delta M_{z,Ed}$	0	0	0	$e_{N,z} \cdot N_{Ed}$

Táboa 35.3.b (a). Método 1. Coeficientes de interacción k_{ij}

Coeficiente de interacción	Suposto de deseño	
	Propiedades elásticas seccións clase 3 ou 4	Propiedades plásticas seccións clase 1 ou 2
k_{yy}	$C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$	$C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{yy}}$
k_{yz}	$C_{mz} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$	$C_{mz} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \frac{1}{C_{yz}} 0,6 \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$
k_{zy}	$C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$	$C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{zy}} 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$

k_{zz}	$C_{mz} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$	$C_{mz} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \frac{1}{C_{zz}}$
Termos auxiliares		
$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$ $\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$ $w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1,5$ $w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1,5$ $n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{RK} / \gamma_{M0}}$ $a_{LT} = 1 - \frac{l_t}{l_y} \geq 0$	$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max} - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 \right) n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$ $\text{con } b_{LT} = 0,5 a_{LT} \bar{\lambda}_0^2 \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}}$ $C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \left[\left(2 - \frac{14}{w_z} C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 \right) n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$ $\text{con } c_{LT} = 10 a_{LT} \frac{\bar{\lambda}_0^2}{5 + \bar{\lambda}_z^4} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}}$ $C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - \frac{14}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 \right) n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$ $\text{con } d_{LT} = 2 a_{LT} \frac{\bar{\lambda}_0}{0,1 + \bar{\lambda}_z^4} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{C_{mz} M_{pl,z,Rd}}$ $C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \left[\left(2 - \frac{1,6}{w_z} C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max} - \frac{1,6}{w_z} C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 - e_{LT} \right) n_{pl} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$ $\text{con } e_{LT} = 1,7 a_{LT} \frac{\bar{\lambda}_0}{0,1 + \bar{\lambda}_z^4} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}}$	
$\bar{\lambda}_{max} = \max(\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z)$. $\bar{\lambda}_0$ = Esvelteza adimensional de empenamento lateral cando actúa un momento uniforme, é dicir, cando $\psi_y = 1,0$ na táboa 35.3.b (b). $\bar{\lambda}_{LT}$ = Esvelteza adimensional de empenamento lateral.		
Para $\bar{\lambda}_0 \leq 0,2 \sqrt{C_1} \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}$ $C_{my} = C_{my,0}$ $C_{mz} = C_{mz,0}$ $C_{mLT} = 1,0$		
Para $\bar{\lambda}_0 > 0,2 \sqrt{C_1} \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}$ $C_{my} = C_{my,0} + (1 - C_{my,0}) \frac{\sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}$ $C_{mz} = C_{mz,0}$		

$$C_{mLT} = C_{my}^2 \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}} \geq 1$$

$C_{mi,0}$ ver táboa 35.3.b (b).

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \frac{A}{W_{el,y}} \text{ para seccións de clase 1, 2 e 3.}$$

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \frac{A_{ef}}{W_{ef,y}} \text{ para seccións de clase 4.}$$

$N_{cr,y}$ Esfuerzo axial crítico elástico por empenamento por flexión arredor do eixe y-y.

$N_{cr,z}$ Esfuerzo axial crítico elástico por empenamento por flexión arredor do eixe z-z.

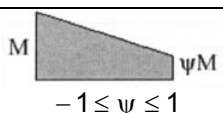
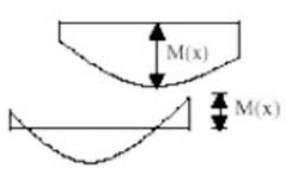


$N_{cr,T}$ Esfuerzo axial crítico elástico por empenamento por torsión.

I_t Módulo de torsión uniforme.

I_y Inercia a flexión arredor do eixe y-y.

C_1 De maneira aproximada, C_1 pódese obter da seguinte expresión: $C_1 = \frac{1}{(k_c)^2}$

Táboa 35.3.b (b). Método 1. Factores $C_{mi,0}$ para a obtención do momento equivalente uniforme

Diagrama de momento	$C_{mi,0}$
	$C_{mi,0} = 0,79 + 0,21\psi_i + 0,36(\psi_i - 0,33) \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$
	$C_{mi,0} = 1 + \left(\frac{\pi^2 \cdot EI_i \cdot \delta_x }{L^2 M_{i,Ed}(x) } - 1 \right) \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$ <p>$M_{i,Ed}(x)$ é o máximo momento $M_{y,Ed}$ ou $M_{z,Ed}$ de acordo cunha análise en primeira orde δ_x é a máxima frecha ao longo da peza</p>
	$C_{mi,0} = 1 - 0,18 \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$
	$C_{mi,0} = 1 + 0,03 \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$

Táboa 35.3.c (a). Método 2. Coeficientes de interacción k_{ij} para elementos non susceptibles a deformacións por torsión


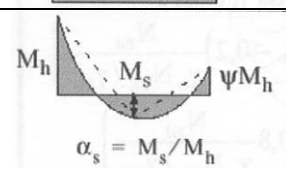
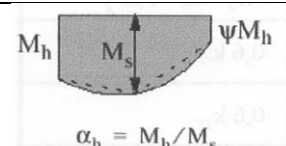
Coeficiente de interacción	Tipo de sección	Suposto de deseño	
		Propiedades elásticas seccións clase 3 ou 4	Propiedades plásticas seccións clase 1 ou 2
k_{yy}	En dobre T (I)	$C_{my} \left(1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
	Ocas rectangulares (SHR)	$\leq C_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$\leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
k_{yz}	I	k_{zz}	$0,6 \cdot k_{zz}$
	SHR		
k_{zy}	I	$0,8 \cdot k_{yy}$	$0,6 \cdot k_{yy}$
	SHR		
k_{zz}	I	$C_{mz} \left(1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
	SHR		$C_{mz} \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$

Nota: Para seccións en dobre T (perfis I ou H) e para seccións ocas rectangulares sometidas a axial e a flexión uniaxial $M_{y,Ed}$ o coeficiente k_{zy} pódese tomar igual a cero.

Táboa 35.3.c (b). Método 2. Coeficientes de interacción k_{ij} para elementos susceptibles a deformacións por torsión

Coeficiente de interacción	Suposto de deseño	
	Propiedades elásticas seccións clase 3 ou 4	Propiedades plásticas seccións clase 1 ou 2
k_{yy}	adóptase o valor da táboa 35.3.c (a)	adóptase o valor da táboa 35.3.c (a)
k_{yz}	adóptase o valor da táboa 35.3.c (a)	adóptase o valor da táboa 35.3.c (a)
k_{zy}	$\left[1 - \frac{0,05 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot N_{Ed}}{(C_{mLT} - 0,25) \chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ $\geq \left[1 - \frac{0,05}{(C_{mLT} - 0,25) \chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \cdot N_{Ed} \right]$	$\left[1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z \cdot N_{Ed}}{(C_{mLT} - 0,25) \chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ $\geq \left[1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25) \chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \cdot N_{Ed} \right]$ <p>Para $\bar{\lambda}_z < 0,4$:</p> $k_{zy} = 0,6 + \bar{\lambda}_z \leq$ $1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z \cdot N_{Ed}}{(C_{mLT} - 0,25) \chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}}$
k_{zz}	adóptase o valor da táboa 35.3.c (a)	adóptase o valor da táboa 35.3.c (a)

Táboa 35.3.c (c). Método 2. Factores C_{mi} para a obtención do momento equivalente uniforme

Diagrama de momento	Rango	C_{my} e C_{mz} y C_{myLT}		
		Carga uniforme	Carga concentrada	
 ψM	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4$		
 M_h M_s $\alpha_s = M_s / M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$	
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$	$-0,8 \alpha_s \geq 0,4$
 M_h M_s $\alpha_h = M_h / M_s$	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h$	$0,90 + 0,1 \cdot \alpha_h$
		$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h$	$0,90 + 0,1 \cdot \alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h \cdot (1 + 2\psi)$	$0,90 + 0,1 \cdot \alpha_h \cdot (1 + 2\psi)$

Notas: - Utilizando o método 2, para elementos con modo de empenamento translacional adoptarase: $C_{my} = 0,9$ ó $C_{mz} = 0,9$.

Utilizando o método 2, C_{my} , C_{mz} y C_{mLT} deberíanse obter de acordo co diagrama de momentos flectores existente entre os correspondentes puntos de arriostamento:

Factor de momento equivalente	Eixe de flexión	Puntos arriostados na dirección
C_{my}	y-y	z-z
C_{mz}	z-z	y-y
C_{mLT}	y-y	y-y

Co obxectivo de conseguir unha maior simplicidade, as comprobacións anteriores sempre se poden realizar no rango elástico, empregando calquera dos dous métodos alternativos presentados.

Ademais, para calquera sección transversal do elemento analizado sometido a flexión e compresión, deberanse comprobar os criterios de resistencia establecidos no artigo 34.

Para aquelas situacións de comprobación non consideradas neste número 35.3, tales como elementos con sección transversal non constante, elementos con condicións de contorno complexas, etc., recorrerase ao método xeral de análise en segunda orde, considerando o exposto nos artigos 22 e 24.

35.4. Elementos planos rixidizados lonxitudinalmente

A resposta estrutural de seccións transversais con elementos rixidizados lonxitudinalmente depende, fundamentalmente, dos ditos elementos. Estes adoitan ser, na maioría das ocasións, alas comprimidas de seccións en caixón. Co obxecto de poder considerar un largo adecuado, para efectos de determinar a súa resposta estrutural e a da sección transversal no seu conxunto, os ditos elementos rixidízanse na dirección lonxitudinal. O grao en que a rixidización lonxitudinal incrementa a resistencia do elemento, e a da propia sección transversal, depende da rixidez dos propios rixidizadores lonxitudinais, función da súa inercia e da distancia entre rixidizadores transversais.

35.5. Aboladura da alma a cortante

35.5.1. Xeneralidades

Neste número considéranse os efectos de aboladura de paneis ocasionados polas tensións tanxenciais, que cumpran os seguintes criterios:

- Os paneis son rectangulares (un panel inclinado considerarase para estes efectos como rectangular se o ángulo de inclinación é menor que 10°).
- Poden existir rixidizadores na dirección lonxitudinal e/ou transversal.
- Todos os orificios son pequenos.
- Os elementos son de sección constante.

En paneis sometidos a cortante, deberase comprobar a resistencia á aboladura cando a súa esvelteza sexa tal que:

$$\frac{h_w}{t_w} > \frac{72}{\eta} \varepsilon \quad \text{para paneis de almas non rixidizadas.}$$

$$\frac{h_w}{t_w} > \frac{31}{\eta} \varepsilon \sqrt{k_\tau} \quad \text{para paneis de almas rixidizadas (véxase 35.5.2.1).}$$

onde:

h_w Altura do panel de alma (distancia interior entre alas) (véxase a figura 35.5.2).

t_w Grosor de alma.

k_τ Coeficiente de aboladura por cortante (véxase 35.5.2.1).

η Coeficiente que permite considerar a resistencia adicional que ofrece en réxime plástico o endurecemento por deformación do material.

Para paneis de almas non rixidizadas con esvelteza $\frac{h_w}{t_w} > \frac{72}{\eta} \varepsilon$ e para paneis de almas rixidizadas con esvelteza $\frac{h_w}{t_w} > \frac{31}{\eta} \varepsilon \sqrt{k_\tau}$ deberanse dispor rixidizadores transversais nas seccións de apoio.

35.5.2. Resistencia á aboladura por cortante

Para almas sometidas a cortante, con ou sen rixidizadores, o valor de cálculo do esforzo cortante que discorre pola alma $V_{w,Ed}$ deberá verificar:

$$V_{Ed} \leq V_{b,Rd}$$

onde:

V_{Ed} Valor de cálculo do esforzo cortante incluíndo o cortante inducido por torsión.

$V_{b,Rd}$ Resistencia de cálculo fronte a aboladura da alma.

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta \cdot (f_{yw} / \sqrt{3}) \cdot h_w t_w}{\gamma_{M1}}$$

Onde h_w , t_w e η teñen o significado exposto anteriormente.

O termo $V_{bw,Rd}$ (véxase 35.5.2.1) representa a contribución da alma e vén dado por:

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot (f_{yw} / \sqrt{3}) \cdot h_w t_w}{\gamma_{M1}}$$

O termo $V_{bf,Rd}$ (véxase 35.5.2.2) representa a contribución das alas á resistencia fronte a abladura por cortante do elemento.

Os rixidizadores e as soldaduras deberán verificar os requisitos especificados nos números 35.9.3 e 35.9.3.5 respectivamente.

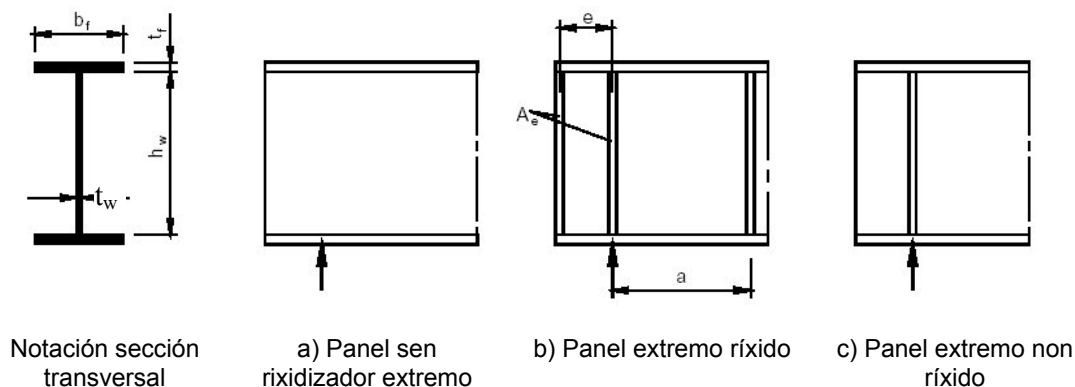


Figura 35.5.2. Criterio de clasificación do extremo do panel

As condicións de panel ríxido son aplicables ao caso de paneis en apoios intermedios en vigas continuas.

35.5.2.1. Contribución da alma

Para almas con rixidizadores transversais unicamente en seccións de apoio e para almas con rixidizadores transversais intermedios ou rixidizadores lonxitudinais, ou ambos, o coeficiente χ_w para a contribución da alma á resistencia fronte á abladura por cortante pódese obter a partir da táboa 35.5.2.1, ou ben a partir da figura 35.5.2.1.a.

Táboa 35.5.2.1. Coeficiente χ_w para a contribución da alma fronte a abladura por cortante

	Panel extremo ríxido	Panel extremo non ríxido
$\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$	η	η
$0,83/\eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83/\bar{\lambda}_w$	$0,83/\bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37/(0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83/\bar{\lambda}_w$

As condicións de rixidización para paneis extremos ríxidos e non ríxidos quedan recollidas no número 35.9.3.

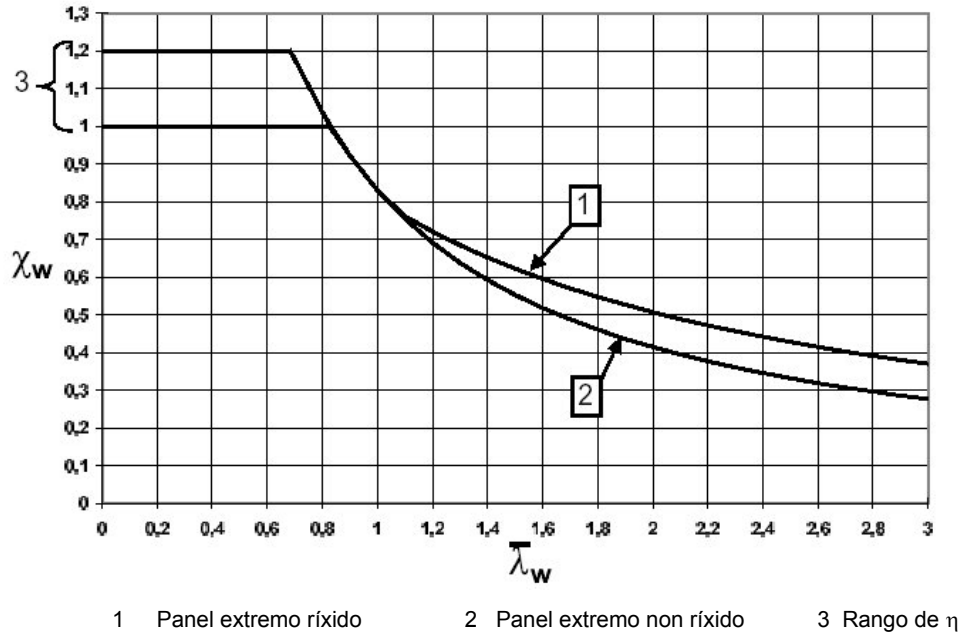


Figura 35.5.2.1.a. Coeficiente χ_w para a contribución da alma fronte á aboladura por cortante

A esbelteza da alma $\bar{\lambda}_w$ que aparece na táboa 35.5.2.1 e na figura 35.5.2.1.a vén dada pola seguinte expresión:

$$\bar{\lambda}_w = \sqrt{\frac{(f_{yw} / \sqrt{3})}{\tau_{cr}}}$$

onde:

τ_{cr} Tensión tanxencial crítica de aboladura que se obtén da seguinte expresión:

$$\tau_{cr} = k_\tau \sigma_E$$

sendo:

σ_E Tensión crítica de Euler:

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 E}{12(1 - \nu^2)} \left(\frac{t_w}{h_w} \right)^2$$

k_τ Coeficiente de aboladura por cortante. Para elementos planos con rixidizadores transversais ríxidos e sen rixidizadores lonxitudinais ou con máis de dous rixidizadores lonxitudinais, o dito coeficiente obterase de acordo coas seguintes expresións:

$$k_{\tau} = 5,34 + 4,00 (h_w/a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{para } a/h_w \geq 1,0$$

$$k_{\tau} = 4,00 + 5,34 (h_w/a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{para } a/h_w < 1,0$$

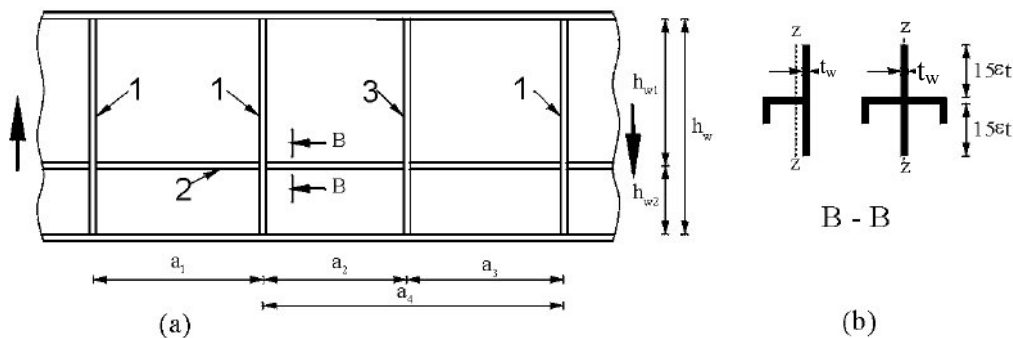
con:
$$k_{\tau sl} = 9 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 \sqrt[4]{\left(\frac{I_{sl}}{t_w^3 h_w} \right)^3}$$
 sendo non menor que:
$$\frac{2,1}{t_w} \sqrt[3]{\frac{I_{sl}}{h_w}}$$

onde:

- a Distancia entre rixidizadores transversais (véxase a figura 35.5.2.1.b(a)).
- I_{sl} Momento de inercia da rixidización lonxitudinal con respecto ao eixe z-z (véxase a figura 35.5.2.1.b(b)). Para paneis de alma con rixidizadores lonxitudinais, non necesariamente equiespazados, I_{sl} é a suma de rixideces dos rixidizadores individuais.

Para paneis de alma cun ou dous rixidizadores lonxitudinais, se a relación de aspecto cumpre que $\alpha = a/h_w \geq 3$, o coeficiente de aboladura de chapa por cortante k_{τ} pódese obter mediante a expresión anterior. Para paneis de alma cun ou dous rixidizadores lonxitudinais e cunha relación de aspecto $\alpha = a/h_w < 3$, o coeficiente de aboladura de chapa por cortante k_{τ} pódese obter mediante a seguinte expresión:

$$k_{\tau} = 4,1 + \frac{6,3 + 0,18 \frac{I_{sl}}{t_w^3 h_w}}{\alpha^2} + 2,2 \sqrt[3]{\frac{I_{sl}}{t_w^3 h_w}}$$



- 1 Rixidizador transversal ríxido
- 2 Rixidizador lonxitudinal
- 3 Rixidizador transversal non ríxido

Figura 35.5.2.1.b. Alma con rixidizadores transversais e lonxitudinais

Para o caso de almas con rixidizadores transversais unicamente en seccións de apoio, a esvelteza $\bar{\lambda}_w$ pódese obter mediante:

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{86,4 t_w \varepsilon}$$

Para o caso de almas con rixidizadores transversais en seccións de apoio e con rixidizadores transversais intermedios ou rixidizadores lonxitudinais, ou ambos, a esvelteza $\bar{\lambda}_w$ pódese obter mediante:

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 t_w \varepsilon \sqrt{k_\tau}}$$

sendo k_τ o mínimo coeficiente de aboladura por cortante para o panel de alma.

En caso de se empregaren rixidizadores transversais non ríxidos ademais de rixidizadores transversais ríxidos (véxase a figura 35.5.2.1.b), deberanse avaliar os paneis de alma comprendidos entre dous rixidizadores calquera (por exemplo, $a_2 \times h_w$ e $a_3 \times h_w$) e os paneis de alma comprendidos entre dous rixidizadores transversais ríxidos adxacentes que conteñan rixidizadores transversais non ríxidos ($a_4 \times h_w$) e comprobar a aboladura co menor coeficiente k_τ .

Para paneis de alma con rixidizadores lonxitudinais, a súa esvelteza $\bar{\lambda}_w$ non deberá ser menor que a esvelteza do subpanel con maior esvelteza $\bar{\lambda}_{wi}$ de todos os subpaneis nos que se subdividiu o panel en estudo (véxase a figura 35.5.2.1.b):

$$\bar{\lambda}_{wi} = \frac{h_{wi}}{37,4 t_w \varepsilon \sqrt{k_{\tau i}}}$$

O coeficiente de aboladura por cortante $k_{\tau i}$ refírese ao subpanel con maior esvelteza. Para obter ese coeficiente pódense utilizar as expresións dadas anteriormente, tomando $k_{\tau si} = 0$.

35.5.2.2. Contribución das alas

Cando a resistencia da ala non está completamente utilizada para absorber o momento flector de cálculo ($M_{Ed} < M_{f,Rd}$), pódese considerar unha contribución das alas para a obtención da resistencia de cálculo fronte á aboladura por cortante. Esa contribución obtérase mediante a seguinte expresión:

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f t_f^2 f_{yf}}{c \cdot \gamma_{M1}} \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right)$$

onde:

b_f e t_f Tómanse para a ala que conduce á resistencia máis baixa, sendo b_f non maior que $15\epsilon t_f$ a cada lado da alma.

$M_{f,Rd} = \frac{M_{f,Rk}}{\gamma_{M0}}$ Resistencia de cálculo a flexión da sección transversal considerando exclusivamente a sección reducida das alas.

$c = a \left(0,25 + \frac{1,6b_f t_f^2 f_{yf}}{t_w h_w^2 f_{yw}} \right)$ Distancia de ancoraxe do campo diagonal de traccións na ala.

f_{yf} e f_{yw} Límite elástico do aceiro das alas e da alma, respectivamente.

Se o elemento se ve sometido a un esforzo axial de cálculo N_{Ed} , entón o valor de $M_{f,Rd}$ reducirase multiplicándose este polo factor:

$$\left(1 - \frac{N_{Ed}}{(A_{f1} + A_{f2})(f_{yf} / \gamma_{M0})} \right)$$

Onde A_{f1} e A_{f2} son as áreas das alas.

35.6. Resistencia da alma a cargas concentradas transversais

Para almas rixidizadas ou non rixidizadas de vigas laminadas ou vigas armadas sometidas a cargas concentradas transversais aplicadas a través dunha ala, o valor de cálculo da forza transversal aplicada deberá satisfacer:

$$F_{Ed} \leq F_{Rd}$$

onde:

F_{Ed} Valor de cálculo da forza transversal aplicada.

$F_{Rd} = \frac{f_{yw} \chi_F l_y t_w}{\gamma_{M1}}$ Valor da resistencia da alma fronte a cargas transversais concentradas.

sendo:

l_y Lonxitude efectiva de carga.

χ_F Coeficiente de redución de abladura fronte a carga concentrada.

t_w Grosor da alma.

f_{yw} Límite elástico do aceiro da alma.

En calquera caso, débese asegurar que as alas se manteñen en posición segundo a dirección lateral, xa sexa pola súa propia rixidez ou pola existencia de arriostamentos.

O coeficiente de redución χ_F por ablodura local fronte a carga concentrada determínase mediante a seguinte expresión:

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} \leq 1,0$$

sendo:

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{I_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}}$$

$$F_{cr} = 0,9 \cdot k_F E \frac{t_w^3}{h_w}$$

Carga transversal crítica de ablodura local da alma fronte a carga concentrada.

Para almas sen rixidización lonxitudinal, o factor k_F obtérase a partir dos esquemas presentados na figura 35.6.a. Os ditos esquemas atenden aos tres modos considerados de introdución das cargas:

- Forza F_S aplicada a través dunha ala e resistida por esforzo cortante na alma (véxase a figura 35.6.a(a)).
- Forza F_S aplicada a través dunha ala e transmitida a través da alma directamente á outra ala (véxase a figura 35.6.a(b)).
- Forza F_S aplicada a través dunha ala próxima a un extremo non rixidizado (véxase a figura 35.6.a(c)).

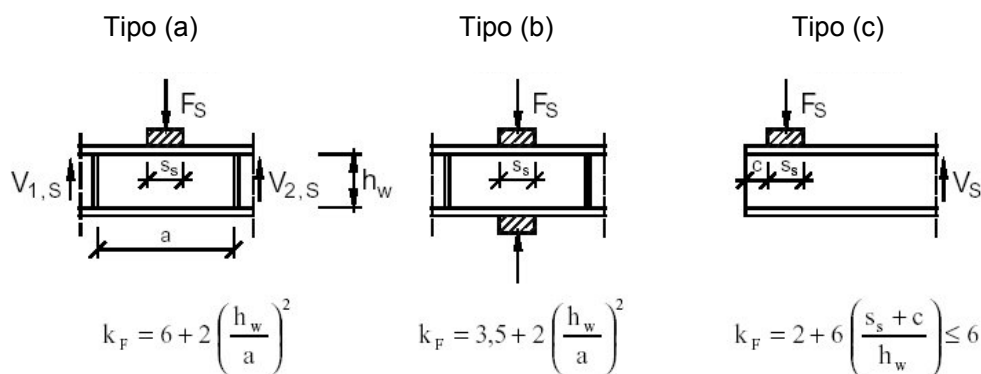


Figura 35.6.a. Coeficientes de ablodura para diferentes tipos de aplicación da carga

Para seccións de vigas en caixón con almas inclinadas, deberase levar a cabo a comprobación de ambos os elementos, alma e ala, considerando as compoñentes da carga transversal concentrada aplicada no plano da alma e da ala.

A lonxitude efectiva de carga l_y depende do modo en que se aplique a carga e da lonxitude da ala s_s sobre a cal se aplica directamente esta, supondo unha repartición a 45° . En calquera caso, s_s deberá ser inferior a h_w (véxase a figura 35.6.b).

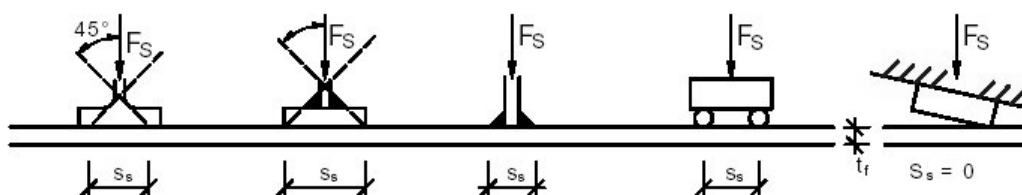


Figura 35.6.b. Lonxitude de ala sobre a cal se aplica a carga distribuída

A lonxitude l_y calcularase utilizando os parámetros adimensionais m_1 e m_2 :

$$m_1 = \frac{f_{yf} b_f}{f_{yw} t_w}$$

$$m_2 = 0,02 \left(\frac{h_w}{t_f} \right)^2 \quad \text{se } \bar{\lambda}_F > 0,5$$

$$m_2 = 0 \quad \text{se } \bar{\lambda}_F \leq 0,5$$

Para seccións en caixón, o valor de b_f limitarase a $15 \cdot \varepsilon \cdot t_f$ a cada lado da alma.

Para os casos a) e b) da figura 35.6.a, a lonxitude l_y obterase como:

$$l_y = s_s + 2t_f (1 + \sqrt{m_1 + m_2})$$

sendo l_y non maior que a distancia entre rixidizadores transversais adxacentes.

Para o caso c) da figura 35.6.a, a lonxitude l_y obterase como a menor das obtidas das seguintes expresións:

$$l_y = l_e + t_f \sqrt{\frac{m_1}{2} + \left(\frac{l_e}{t_f} \right)^2 + m_2}$$

$$l_y = l_e + t_f \sqrt{m_1 + m_2}$$

$$\text{con } l_e = \frac{k_F E t_w^2}{2 f_{yw} h_w} \leq s_s + c$$

$$I_y = s_s + 2t_f(1 + \sqrt{m_1 + m_2})$$

sendo I_y non maior que a distancia entre rixidizadores transversais adxacentes.

35.7. Interacción

35.7.1. Cortante, flexión e esforzo axial

Naqueles casos en que $\frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}}$ (véxase 35.5.2) sexa menor ou igual que 0,5, non será necesario reducir a resistencia da sección a flexión e a esforzo axial para ter en conta o efecto do esforzo cortante.

Se, pola contra, $\frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}}$ é maior que 0,5, a combinación dos efectos de flexión e esforzo axial e de cortante, na alma dunha viga en dobre T ou en caixón, deberá satisfacer a seguinte expresión

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \right) + \left[\left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right) \left(2 \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} - 1 \right)^2 \right] \leq 1 \quad \text{sendo} \quad M_{Ed} \geq M_{f,Rd}$$

onde:

M_{Ed} Valor de cálculo do momento flector.

$M_{f,Rd}$ Resistencia plástica de cálculo da sección a flexión considerando exclusivamente a sección reducida das alas.

$M_{pl,Rd}$ Resistencia plástica de cálculo da sección a flexión considerando a sección reducida das alas e a totalidade da alma, con independencia da clase de sección desta.

Ademais, deberase satisfacer a expresión do número 35.5.2 e a seguinte expresión:

$$\frac{N_{Ed}}{A_{ef} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} e_N}{W_{ef} f_y / \gamma_{M0}} \leq 1$$

A avaliación dos efectos das accións, N_{Ed} e M_{Ed} , deberá incluír os efectos de segunda orde cando iso sexa pertinente.

A comprobación da interacción deberase satisfacer para todas aquelas seccións localizadas a unha distancia superior a $h_w/2$, contada a partir da sección transversal de apoio con rixidizadores verticais.

A resistencia plástica de cálculo da sección considerando exclusivamente as alas, $M_{f,Rd}$, obtense como o produto de f_y/γ_{M0} pola área reducida da ala, tomando o valor máis pequeno correspondente a unha das alas, e pola distancia entre centros de gravidade das alas (véxase 35.5.2.2).

No caso de existencia dun axial N_{Ed} , $M_{pl,Rd}$ será a resistencia plástica de cálculo a flexión reducida debido á existencia de esforzo axial, $M_{N,Rd}$, definida en 34.7.2.1, e o valor de $M_{f,Rd}$ deberase reducir de acordo co establecido en 35.5.2.2.

No caso de que o axial existente sexa moi elevado e provoque un estado de compresión en toda a alma, aplícase o exposto a continuación. A verificación da interacción na ala dunha sección en caixón realizarase tomando $M_{f,Rd} = 0$ e adoptando como tensión tanxencial de cálculo τ_{Ed} o valor da tensión tanxencial media na ala, a cal non será non menor que a metade da tensión tanxencial máxima na ala. Entón, a comprobación levarase a cabo mediante a seguinte expresión:

$$\left(\frac{N_{Ed}}{A_{ef} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} e_N}{W_{ef} f_y / \gamma_{M0}} \right) + \left(2 \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} - 1 \right)^2 \leq 1$$

Ademais, deberanse comprobar os subpaneis tendo en conta a dita tensión media de cortante en todo o subpanel e determinando χ_w para a comprobación do subpanel fronte á abladura, de acordo con 35.5.2.1, considerando os rixidizadores lonxitudinais como ríxidos.

35.7.2. Cargas concentradas transversais, flexión e esforzo axial

Se o elemento estrutural se atopa sometido a unha carga concentrada transversal actuando na ala comprimida en combinación con flexión e esforzo axial, deberase comprobar a seguinte expresión para a interacción:

$$\frac{F_{Ed}}{\gamma_{M1} f_{yw} \chi_F I_y t_w} + 0,8 \left(\frac{N_{Ed}}{A_{ef} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} e_N}{W_{ef} f_y / \gamma_{M0}} \right) \leq 1,4$$

Ademais, deberase comprobar a expresión do número 35.6, referente á comprobación fronte a cargas concentradas transversais, e a seguinte expresión, referente á comprobación fronte a flexión e esforzo axial de compresión:

$$\frac{N_{Ed}}{A_{ef} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} e_N}{W_{ef} f_y / \gamma_{M0}} \leq 1$$

Se a carga concentrada actúa na ala traccionada, deberase comprobar o número 35.6, así como a expresión recollida no número 34.1.1.

35.8. Aboladura da alma inducida pola ala comprimida

Para prever a posibilidade de aboladura da alma por efecto das tensións transversais que transmite a ala comprimida por efecto da propia deformación por flexión, a esvelteza da

alma $\frac{h_w}{t_w}$ deberá satisfacer a seguinte condición

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

onde:

A_w Área da alma.

$A_{fc,ef}$ Área reducida da ala comprimida.

f_{yf} Límite elástico do aceiro da ala comprimida.

O valor do coeficiente k tomarase:

$k=0,3$	Cando se utilice a capacidade de rotación plástica.
$k=0,4$	Cando se utilice a resistencia plástica a flexión.
$k=0,55$	Cando se utilice a resistencia elástica a flexión.

En presenza de vigas curvas en alzado, coa ala comprimida no lado cóncavo, a condición a cumprir será entón:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq \frac{k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}}{\sqrt{1 + \frac{h_w E}{3 \cdot r \cdot f_{yf}}}}$$

sendo r o raio de curvatura da ala comprimida.

35.9. Rixidizadores

35.9.1. Xeneralidades

Neste número danse criterios para a comprobación de elementos rixidizadores en estruturas de chapa, como complemento aos criterios xa dados para a aboladura e para cargas concentradas (números 35.4, 35.5, 35.6 e 35.7).

Cando se verifica a resistencia fronte a empenamento, a sección transversal dun rixidizador pódese tomar como a área bruta do rixidizador e mais unha porción de chapa de largo igual a $15\epsilon t$ a ambos os lados do rixidizador, e sempre non maior que o largo dispoñible a cada lado, non considerando a superposición das partes contribuíntes da chapa para rixidizadores adxacentes (véxase a figura 35.9.1).

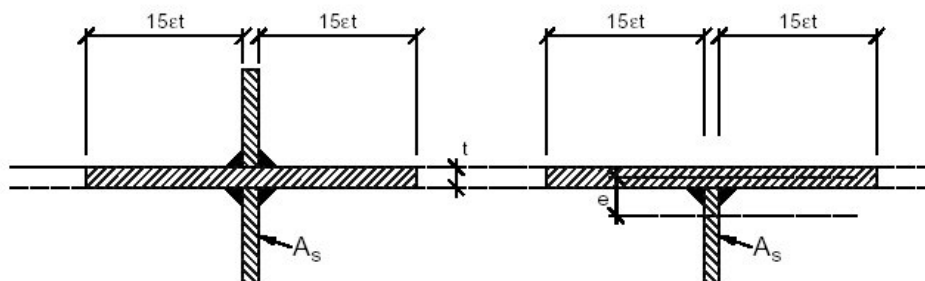


Figura 35.9.1. Sección transversal dun rixidizador

O axial actuante nun rixidizador transversal obtense en función do cortante e de calquera carga concentrada aplicada neste.

35.9.2. Tensións lonxitudinais

Co obxectivo de conseguir un soporte ríxido para unha chapa con ou sen rixidizadores lonxitudinais, os rixidizadores transversais intermedios deberán verificar unhas condicións de mínima rixidez e mínima resistencia.

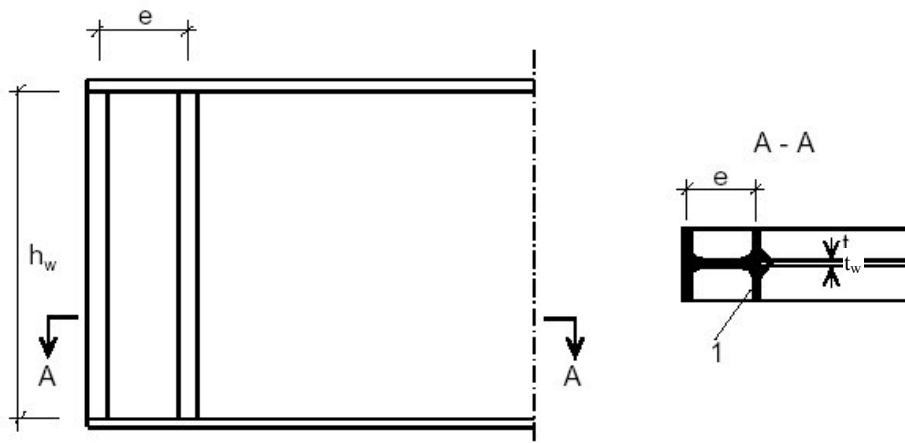
Así mesmo, tanto os rixidizadores transversais como os lonxitudinais deberán satisfacer determinados requisitos para evitar o empenamento por torsión.

35.9.3. Cortante

35.9.3.1. Panel extremo ríxido

O panel extremo ríxido (véxase a figura 35.5.2) deberá actuar como un rixidizador de apoio resistindo a reacción dos apoios (véxase 35.9.4), e como unha viga curta resistindo as tensións lonxitudinais de membrana no plano da alma.

Un panel extremo ríxido pode estar composto por dous rixidizadores transversais dobres a ambos os lados da alma que forman as alas dunha viga curta de lonxitude h_w (véxase a figura 35.5.2, caso b)). O panel de alma comprendido entre os rixidizadores constitúe a alma desta viga curta. De modo alternativo, o panel extremo ríxido pódese resolver coa introdución dun perfil laminado, unido ao extremo do panel de alma, tal como se mostra na figura 35.9.3.1.



1. Perfil inserido

Figura 35.9.3.1. Perfil laminado formando un panel extremo ríxido

Cada un dos rixidizadores transversais dobres compostos por chapas deben ter unha área transversal de, polo menos, $\frac{4h_w t_w^2}{e}$ onde e é a distancia entre centros dos rixidizadores, debendo ser $e > 0,1 \cdot h_w$.

Naqueles casos en que o panel extremo ríxido se resolva cun perfil laminado na vez de elementos de chapa, o seu módulo resistente a flexión arredor dun eixe horizontal perpendicular á alma será, como mínimo, $4 h_w t_w^2$.

35.9.3.2. Rixidizadores actuando como extremos non ríxidos

Un extremo non ríxido pódese materializar mediante un único rixidizador dobre, a ambos os lados da alma, tal como se mostra na figura 35.5.2, caso c). Este pode actuar como un rixidizador de apoio resistindo a reacción (véxase 35.9.4).

35.9.3.3. Rixidizadores transversais intermedios

Os rixidizadores intermedios que traballan como soportes ríxidos para os paneis interiores da alma deberanse comprobar por resistencia e rixidez. Cando se utilicen rixidizadores flexibles, a súa rixidez terase en conta no cálculo de k_r (véxase número 35.5.2.1).

A sección reducida daqueles rixidizadores intermedios que traballen como soportes ríxidos para paneis de alma (liña de deformación nula) deberá ter unha inercia mínima I_{st} tal que:

$$\text{Se } a/h_w < \sqrt{2} : \quad I_{st} \geq \frac{1,5h_w^3 t_w^3}{a^2}$$

$$\text{Se } a/h_w \geq \sqrt{2} : \quad I_{st} \geq 0,75h_w t_w^3$$

35.9.3.4. Rixidizadores lonxitudinais

Se no cálculo de tensións se considerou a existencia de rixidizadores lonxitudinais, para a comprobación definitiva da resistencia da sección transversal terase en conta que os ditos rixidizadores lonxitudinais se ven sometidos a tensións directas lonxitudinais.

35.9.3.5. Soldaduras

As soldaduras ala-alma poden ser comprobadas para un fluxo de cortante $\frac{V_{Ed}}{h_w}$ sempre que o valor do esforzo cortante de cálculo verifique que $V_{Ed} \leq \frac{\chi_w f_{yw} h_w t_w}{\sqrt{3} \gamma_{M1}}$.

Para valores do esforzo cortante de cálculo superiores a este límite, a soldadura entre almas e alas deberase dimensionar para un fluxo de cortante $\frac{\eta f_{yw} t_w}{\sqrt{3} \gamma_{M1}}$.

En todos os outros casos, as soldaduras deberanse comprobar para transferir as pertinentes forzas entre as compoñentes que cómpre unir, tendo en conta o método de análise e os efectos de segunda orde.

35.9.4. Cargas transversais concentradas

Se a resistencia de cálculo dunha alma non rixidizada fronte a cargas transversais concentradas resulta insuficiente, deberanse dispor rixidizadores transversais.

A resistencia a empenamento dun rixidizador transversal sometido a unha carga transversal concentrada e a cortante (véxase 35.9.3.3) deberase determinar segundo o número 35.3, empregando a curva c de empenamento e unha lonxitude de empenamento non menor que $0,75 h_w$, cando ambos os extremos se encontren coaccionados lateralmente. Nos casos en que as condicións de contorno ofrezan unha menor coacción lateral, deberase utilizar un valor maior da lonxitude de empenamento. De os rixidizadores teren orificios no seu extremo cargado, a comprobación da súa resistencia levarase a cabo considerando tales cortes.

Naqueles casos en que se empregue un rixidizador a un só lado da alma ou outros rixidizadores non simétricos, a excentricidade resultante terase en conta ao aplicar o establecido no número 35.3, ou ao aplicar o método xeral para o cálculo a empenamento de elementos estruturais. De se supor que os rixidizadores lle proporcionan arriostamento lateral á ala comprimida, estes deberán cumprir os criterios de resistencia e rixidez establecidos para a comprobación fronte a empenamento lateral.

CAPÍTULO X

ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO

Artigo 36 Bases

As estruturas de aceiro deben ser proxectadas, construídas e mantidas de forma que se garanta o cumprimento de todos os requisitos para os estados límite de servizo establecidos en 8.1.3.

O estado límite de desprazamento en unións pretensadas aplícase ás unións con parafusos de alta resistencia proxectadas na categoría B, coas condicións indicadas en 58.2.

A aplicabilidade dos estados límite de deformacións transversais en paneis esveltos e de plastificacións locais límitase, xeralmente, ao caso de estruturas ou elementos estruturais sometidos a sobrecargas repetitivas de certa entidade.

36.1. Estados límite de servizo en edificios

Os estados límite de servizo en edificios concirnen fundamentalmente á rixidez dos seus forxados e cubertas, así como á rixidez lateral da propia estrutura, para o que se establecen limitacións ás súas deformacións verticais e horizontais en 37.2.

En estruturas de uso público ou industrial pode resultar así mesmo necesaria a comprobación das vibracións segundo se trata en 38.2.

En caso de se proxectaren unións aparafusadas con parafusos pretensados de alta resistencia de categoría B, segundo se define en 58.2, resulta necesario comprobar a ausencia de desprazamento en condicións de servizo, segundo se prevé no artigo 39.

Salvo nalgúns casos singulares de estruturas ou elementos estruturais de edificios que se atopen sometidos a sobrecargas repetitivas de certa entidade, non resultan xeralmente de aplicación os artigos 40 e 41.

36.2. Estados límite de servizo en pontes

Ademais dos estados límite de servizo considerados en 36.1, no caso de pontes ou pasarelas resulta sempre necesario comprobar o estado límite de deformacións transversais en paneis esveltos e o estado límite de plastificacións locais, segundo se trata nos artigos 40 e 41, respectivamente.

36.3. Modelos de cálculo

En xeral, a resposta estrutural para as comprobacións dos estados límite de servizo obtérase a partir dunha análise global elástica da estrutura (véxase o artigo 19).

As combinacións de accións a considerar serán as apropiadas para as comprobacións establecidas no articulado que segue.

Cando sexan relevantes, a análise estrutural deberá considerar a influencia de posibles efectos térmicos, reolóxicos, desnivelacións ou asentos de apoio, pretensados mediante cables ou calquera outra presolicitación elástica aplicada sobre a estrutura.

A análise estrutural realizarase coas seccións brutas (sen descontar orificios), tomando en consideración, se resultan significativos, os efectos do arrastre por cortante mediante as larguras eficaces establecidas nos números 21.3 e 21.4.

Pódense usar modelos de cálculo aproximados sempre que as simplificacións introducidas sexan conservadoras ou se xustifique adecuadamente que non inflúen nos resultados das verificacións a satisfacer.

36.4. Requisitos de proxecto

Ademais das comprobacións definidas neste capítulo X, os requisitos establecidos no artigo 5 para a vida útil da estrutura exigen establecer unha estratexia de proxecto orientada á durabilidade, cuxas bases se tratan en 8.2 e no capítulo VII, en función da exposición ambiental da estrutura.

En pontes, e en todos aqueles elementos estruturais de especial responsabilidade, débese garantir, en xeral, un correcto deseño de detalles que minimize o risco de corrosión da estrutura de aceiro, ao mesmo tempo que facilite a súa inspección, mantemento e, se fose preciso, a substitución de certos elementos, tales como apoios, xuntas, cables, ancoraxes, etc.

Todos os taboleiros de pontes deben ser adecuadamente impermeabilizados para evitar a entrada de auga na estrutura. O sistema de drenaxe débese proxectar en función da superficie de plataforma e o volume previsible de auga a evacuar, tendo en conta a pendente do taboleiro, así como a localización e capacidade dos sistemas de desaugamento.

O proxecto debe prever e definir un fácil mantemento e limpeza do sistema de drenaxe para evitar a súa obturación.

En seccións cerradas e non visitables, e salvo que se garanta o seu completo selado, mediante soldaduras ou outro sistema, cómpre proceder á oportuna protección interior, segundo 31.2, así como ao deseño de detalles que aseguren a evacuación das eventuais filtracións de auga.

Artigo 37 Estado límite de deformacións

37.1. Consideracións xerais

O estado límite de deformacións satisfáise se os movementos (desprazamentos ou xiros) na estrutura, ou elementos estruturais, son menores que uns valores límite máximos.

A comprobación do estado límite de deformacións terase que realizar en todos aqueles casos en que as deformacións poidan afectar a estética, funcionalidade ou durabilidade da propia estrutura ou dos elementos por ela soportados.

O estudo das deformacións débese realizar para as condicións de servizo que correspondan, en función do problema a tratar, de acordo cos criterios de combinación de accións expostos en 13.3, e as accións definidas polas instrucións ou normativas que sexan de aplicación.

Se a funcionalidade ou a deterioración da estrutura, maquinaria, equipamentos ou elementos non estruturais (tabiques, cerramentos, varandas, servizos, instalacións, solados, por exemplo) se poden ver afectados polas deformacións, a súa comprobación limitarase para os efectos das cargas permanentes ou variables que se apliquen despois da posta en obra do elemento afectado.

De se considerar a estética ou aparencia da estrutura, comprobarase coa combinación cuasi-permanente de accións.

De se analizar o confort do usuario ou o correcto funcionamento dos equipamentos baixo os efectos dinámicos derivados das deformacións (maquinaria, peóns, vehículos, trens, etc.), só se terán en conta os efectos daquelas sobrecargas que resulten pertinentes.

Os valores máximos admisibles das deformacións dependen do tipo e función da estrutura, das exigencias funcionais e de confort que deba satisfacer e das condicións que poidan impor outros elementos non estruturais que se apoién nela, que pola súa vez poden estar afectados polo tipo ou procedemento de fixación ou montaxe que se utilice.

Por todo iso, e salvo que se establezan outros con carácter prescriptivo por algunha instrución ou normativa de aplicación, os valores límite que se recomentan neste artigo 37 son de carácter semiempírico indicativo. En cada proxecto, os valores límite máximos poden ser acordados alternativamente entre a propiedade, o autor do proxecto ou, de ser o caso, a administración competente, segundo as características particulares deste. Os ditos valores deben figurar explicitamente na memoria e/ou planos do proxecto, xunto coas posibles exigencias, de índole técnica, construtiva ou arquitectónica, asociadas aos ditos valores límite, se as houber.

En estruturas de aceiro, cando sexa previsible unha deformación importante baixo cargas permanentes, pode ser aconsellable ou mesmo necesario (no caso de pontes, por exemplo) establecer unha contrafrecha de execución en taller dos elementos estruturais de aceiro, que contrarreste total ou parcialmente as deformacións permanentes, instantáneas e diferidas, e nalgúns casos a fracción cuasi-permanente das deformacións debidas ás sobrecargas totais.

Para efectos da comprobación das deformacións verticais, establécense as seguintes definicións, segundo o esquema representado na figura 37.1.a, sendo:

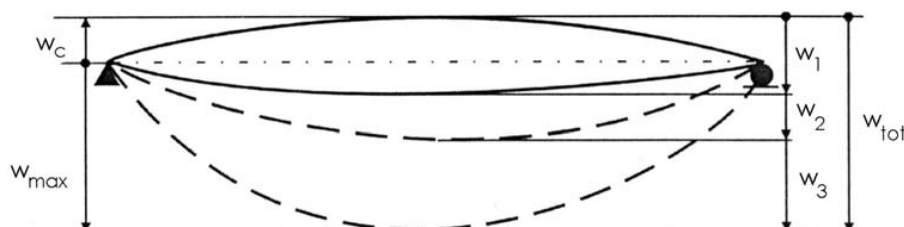


Figura 37.1.a. Definición de frechas verticais

- w_c Contrafrecha de execución en taller do elemento estrutural de aceiro (descargado).
- w_1 Frecha inicial baixo a totalidade das cargas permanentes actuando sobre a estrutura.
- w_2 Compoñente diferida da frecha baixo cargas permanentes.
- w_3 Frecha debida á acción das sobrecargas, baixo a combinación de accións que resulte pertinente.
- w_{tot} Frecha total, suma de $(w_1 + w_2 + w_3)$.
- w_{max} Frecha total aparente descontando a contrafrecha $(w_{tot} - w_c)$.
- w_{activa} Frecha activa, en xeral suma de $(w_2 + w_3) = (w_{tot} - w_1)$.

En caso de procesos construtivos evolutivos, e para efectos de avaliar con maior precisión o risco de deterioracións nun elemento (tabique, sollado, cerramento, etc.), a frecha activa debería incorporar, ademais, a posible fracción de w_1 debida ás cargas permanentes aplicadas á estrutura con posterioridade ao momento en que se constrúe ou instala o dito elemento.

Para efectos do control de deformacións horizontais, establécese o esquema representado na figura 37.1.b.

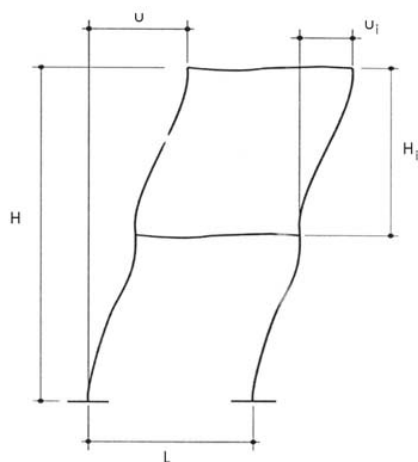


Figura 37.1.b. Definición de deformacións horizontais

Na dita figura, os valores de u e u_i representan respectivamente:

- u Frecha horizontal total do edificio ou estrutura de altura H .
- u_i Frecha horizontal, relativa entre cotas de forxado, de cada nivel ou planta de altura H_i .

37.2. Límites de deformacións en edificios

Entenderase que a estrutura ten deformacións admisibles cando cumpra as limitacións de frecha establecidas polas regulamentacións específicas que sexan de aplicación. No caso das estruturas de edificación, utilizaranse as limitacións indicadas no documento básico "Seguridade estrutural" do Código técnico da edificación, de acordo co número 5.1.1.2 desta instrución.

37.2.1. Deformacións verticais

Para estruturas de edificación aplícanse as limitacións indicadas no número 4.3.3 do DB-SE do Código técnico da edificación.

En vigas carrileiras de pórticos guindastre, a frecha activa máxima non superará o valor $L/700$, aínda que se recomenda fixar un valor límite específico para cada proxecto particular, en función do uso e tipo de equipamento.

37.2.2. Deformacións horizontais

Para estruturas de edificación aplícanse as limitacións indicadas no número 4.3.3 do DB-SE do Código técnico da edificación.

En vigas carrileiras de pórticos guindastre, a frecha máxima horizontal pódese limitar, de forma orientativa, a $L/800$, aínda que se recomenda fixar un valor límite específico para cada proxecto particular, en función do uso e tipo de equipamento.

Así mesmo, e con carácter indicativo, convén limitar as frechas horizontais máximas en cabeza dos soportes de apoio das vigas carrileiras a $h/300$, sendo h a altura real do soporte. A diferenza entre os desprazamentos horizontais en cabeza de dous soportes de apoio enfrontados non debe, ademais, superar os 20 mm.

37.2.3. Requisitos para a evacuación de augas

Cómpre garantir a correcta drenaxe da auga de chuvia en cubertas, así como en plataformas, aparcadoiros, etc., non cubertos.

Para iso, resulta aconsellable que o proxecto e control de execución da estrutura deste tipo de superficies aseguren pendentes non inferiores ao 5%, cara a puntos de desaugamento correctamente localizados, para evitar embalsamentos.

O proxecto e control de execución da estrutura deben ter en conta:

- A tolerancia e erros de execución e montaxe.
- As deformacións propias dos elementos de cuberta ou forxado.
- As deformacións da estrutura que soporta a superficie a drenar.
- As eventuais contrafrechas dos elementos resistentes.

Cando a pendente resulte inferior ao 3%, débense efectuar cálculos adicionais para controlar a existencia de marxes adecuadas de seguridade baixo a actuación de cargas adicionais de auga por:

- Embalsamentos baixo a deformación dos elementos resistentes, así como dos propios materiais de cubrición.
- Acumulación de neve.

37.3. Límites de deformacións en pontes e pasarelas

O control de deformacións (desprazamentos e xiros) en pontes e pasarelas debe garantir a adecuada aparencia e funcionalidade da obra, evitando:

- Efectos dinámicos amplificados, ou non desexados, debidos a impactos do tráfico circulante.
- Danos na capa de rodamento de pontes de estrada, ou no balastro e sistemas de vía de pontes ferroviarios.
- Alteracións no correcto funcionamento do sistema de drenaxe.
- Impresións visuais non adecuadas da xeometría final da estrutura.
- Sensacións que afecten o confort dos usuarios.

- Alteracións nas condicións finais da rasante (planta, alzado, peraltes) respecto das aliñacións previstas en proxecto.
- Afeccións ao funcionamento e durabilidade de xuntas, apoios, varandas, instalacións, etc., moi sensibles a cambios bruscos de pendente na deformada.

O proxecto deberá definir unhas contrafrechas teóricas de execución tales que, para a totalidade da carga permanente, e a metade dos efectos reolóxicos e da parte de sobrecargas da combinación cuasi-permanente, a rasante final da estrutura corresponda á xeometría prevista.

O proxecto deberá definir, con total precisión, as distintas fases de montaxe e posta en carga da estrutura para as que se obtiveron as contrafrechas de execución. Calquera variación do proceso ou secuencias de montaxe respecto do establecido en proxecto obrigará a un novo cálculo das contrafrechas, que deberá ser sometido á aprobación da dirección facultativa antes de iniciarse calquera operación de corte ou despezamento das chapas ou perfís en taller.

As tolerancias admisibles de execución ou montaxe, respecto á directriz teórica de proxecto, axustaranse ao establecido no capítulo XVIII desta instrución ou nas normativas e instrucións vixentes que sexan de aplicación.

37.3.1. Pontes de estrada e pasarelas

Os criterios específicos para a comprobación das deformacións en servizo de pontes de estrada e pasarelas poderanse axustar, de conformidade co indicado no artigo 37.1, ao establecido na instrución sobre as accións a considerar no proxecto de pontes de estrada (IAP).

En pontes de estrada, recoméndase que a rixidez do taboleiro sexa tal que, baixo a actuación do valor frecuente das sobrecargas de tráfico establecido pola instrución sobre as accións a considerar no proxecto de pontes de estrada (IAP), a frecha correspondente ás ditas sobrecargas non supere os valores seguintes:

L/1000 en pontes de estrada.

L/1200 en pontes urbanas con beirarrúas transitables.

sendo L a luz do vano.

En pontes de estrada que teñan taboleiros con beirís laterais importantes, ou con flexibilidade transversal en seccións coincidentes con xuntas de dilatación, recoméndase comprobar que a deformación transversal máxima, baixo a actuación do valor frecuente das sobrecargas de tráfico, non supere os 5 mm, salvo especificacións técnicas alternativas por parte do subministrador das xuntas.

No caso de pasarelas, recoméndase comprobar que a frecha debida á actuación do valor frecuente das sobrecargas debidas ao paso dos peóns, establecido pola instrución sobre as accións a considerar no proxecto de pontes de estrada (IAP), non supere o valor L/1200, sendo L a luz do vano.

37.3.2. Pontes de ferrocarril

Os criterios específicos para a comprobación das deformacións en servizo de pontes de ferrocarril poderanse axustar, de conformidade co indicado no artigo 37.1, ao establecido na instrución sobre as accións a considerar no proxecto de pontes de ferrocarril (IAPF).

37.3.3. Requisitos para a drenaxe das plataformas

Débese controlar a xeometría final da ponte deformada baixo a totalidade das cargas permanentes para eliminar posibles zonas de acumulación de auga, en función do sistema de drenaxe proxectado.

Cando o sistema de drenaxe afecte, total ou parcialmente, o interior de seccións cerradas da ponte, débense establecer medidas preventivas para evitar acumulacións de auga no interior do taboleiro por fallos do dito sistema.

Artigo 38 Estado límite de vibracións**38.1. Consideracións xerais**

As vibracións poden afectar á funcionalidade ou durabilidade das estruturas baixo condicións de servizo.

A adecuada resposta en servizo dunha estrutura, ou un elemento estrutural illado, deben garantir:

- O confort dos usuarios.
- A ausencia de deterioracións na propia estrutura, ou nos elementos non resistentes soportados por ela, orixinados por efectos dinámicos.
- O correcto funcionamento e durabilidade de posibles maquinarias, servizos, instalacións, etc., sensibles a estes fenómenos.

Os efectos dinámicos a considerar poden ser inducidos por maquinarias, movementos sincronizados de xente (andando, correndo, bailando ou saltando), sobrecargas de tráfico por estrada ou ferroviario, vibracións do terreo adxacente (inducidas por tráfico nas proximidades, por exemplo), vento e ondas. Os ditos efectos poden resultar amplificados por condicións de resonancia.

Para limitar os efectos vibratorios nas estruturas, os valores das súas frecuencias fundamentais, ou das de elementos estruturais illados, deben estar, no posible, suficientemente afastados (polo xeral, superiores) das frecuencias das eventuais fontes de excitación, con obxecto de evitar fenómenos de resonancia.

En estruturas, ou elementos estruturais, con frecuencias fundamentais baixas ou próximas ás de excitación, os criterios establecidos neste articulado poden non resultar adecuados ou suficientes, debéndose proceder a unha análise dinámica precisa da

resposta estrutural (amplitudes, velocidades e aceleracións), incluíndo os efectos do amortecemento.

Naqueles casos en que os efectos dinámicos poidan ser relevantes, a memoria do proxecto explicitará as comprobacións, análise e criterios de aceptación utilizados, que poderían diferir dos recomendados neste articulado, tras acordo previo entre o autor do proxecto, a propiedade e a eventual administración competente.

Por todo iso, e salvo que se establezan outros con carácter prescriptivo por algunha instrución ou normativa de aplicación, os valores que se recomentan neste artigo 38 son de carácter semiempírico indicativo. En cada proxecto, os valores admisibles poden ser acordados alternativamente entre a propiedade, o autor do proxecto ou, de ser o caso, a Administración competente, segundo as características particulares deste. Os ditos valores deben figurar explicitamente na memoria e planos do proxecto, xunto coas posibles exixencias, de índole técnica, construtiva ou arquitectónica, asociadas aos ditos valores límite, se as houber.

38.2. Comprobación de vibracións en edificacións de uso público

O nivel das vibracións en estruturas abertas ao público débese limitar para non afectar o confort dos usuarios e, en certos casos (laboratorios, hospitais, por exemplo), o correcto funcionamento de equipamentos de precisión.

38.3. Comprobación de vibracións en pontes e pasarelas

As pontes e pasarelas deben cumprir os requisitos dos estados límite de servizo baixo os efectos dinámicos debidos ás cargas de tráfico, ferrocarril, peóns, bicicletas e vento.

As vibracións en pontes e pasarelas non deben causar inquietude nos pasaxeiros de vehículos, circulando ou detidos sobre o taboleiro, nin nos peóns. Tamén resulta conveniente limitar o nivel de emisión de ruídos a causa das vibracións, especialmente en pontes e pasarelas situados en zonas urbanas.

Tales condicións cúmprense xeralmente cando a máxima aceleración vertical que se poida producir, en calquera zona ou elemento transitible por peóns, non supere certos valores límite, en función do grao de confort exixido.

Este requisito afecta unicamente o caso de pasarelas e pontes con beirarrúas transitibles. En xeral, as pontes de estrada sen beirarrúas transitibles non necesitan unha comprobación de vibracións en condicións de servizo, salvo o establecido en 38.3.1.

As comprobacións de vibracións en pontes de ferrocarril, principalmente en liñas de alta velocidade, requiren requisitos específicos máis estritos, segundo se trata en 38.3.3.

38.3.1. Pontes de estrada

As verificacións das limitacións de vibracións en pontes de estrada poderanse rexer, de conformidade co indicado no artigo 38.1, polos requisitos específicos establecidos na Instrución sobre as accións a considerar no proxecto de pontes de estrada (IAP).

En xeral, o criterio limitativo de deformacións establecido en 37.3.1 adoita conducir a estruturas en que o efecto das vibracións é reducido e pódese considerar aceptable desde o punto de vista do confort.

Así pois, unicamente pode resultar necesario verificar o nivel de vibracións en pontes de estrada:

- Cando se proxectan estruturas en que non se satisfai estritamente o valor límite de deformacións de 37.3.1.
- En pontes de carácter urbano con beirarrúas transitables e condicións de tráfico peonil intenso.
- En estruturas con tipoloxías estruturais singulares non convencionais.

38.3.2. Pasarelas

As verificacións das limitacións de vibracións en pasarelas poderanse rexer, de conformidade co indicado no artigo 38.1, polos requisitos específicos establecidos na Instrución sobre as accións a considerar no proxecto de pontes de estrada (IAP).

En xeral, resultan susceptibles de fenómenos vibratorios que poden afectar o confort dos peóns as pasarelas cuxas frecuencias fundamentais estean comprendidas nos seguintes rangos críticos:

- Para oscilacións no plano vertical: entre 1,25 e 4,60 Hz.
- Para oscilacións no plano horizontal ou de torsión: entre 0,50 e 1,20 Hz.

En pasarelas cuxas frecuencias fundamentais se sitúen fóra dos ditos rangos críticos non adoita resultar necesario efectuar ningunha análise dinámica de vibracións.

No caso de pasarelas convencionais, non comprendidas nos casos logo indicados, cuxas frecuencias fundamentais para vibracións no plano vertical estean comprendidas no rango crítico antes citado, tampouco adoita ser necesario efectuar unha análise dinámica de vibracións, salvo que así o estableza a propiedade, se se satisfai o valor límite de deformacións do número 37.3.1.

En cambio, resulta necesario verificar a adecuada resposta vibratoria das pasarelas, mediante estudos dinámicos específicos, en certos casos como:

- Estruturas singulares non convencionais.
- Pasarelas de luces superiores a 50 m.
- Pasarelas de largura superior a 3,0 m.

- Pasarelas situadas en zonas onde se pode esperar un tráfico intenso de peóns ou exista o risco de concentracións de xente sobre a propia pasarela.
- Pasarelas cuxas frecuencias fundamentais para oscilacións, no plano horizontal ou de torsión, se sitúen no rango crítico antes indicado.

Nestes casos, será necesario realizar un estudo dinámico específico. O autor do proxecto deberá acordar coa propiedade ou, de ser o caso, a administración competente as hipóteses de diferentes solicitacións dinámicas a analizar (peóns ou grupos de peóns andando compasadamente, correndo, saltando, etc.) en condicións de vibración estacionarias ou transitorias, incluso vandálicas, así como as amplitudes, velocidades e aceleracións dinámicas máximas admisibles, por razóns de confort, para cada situación.

Os estudos dinámicos abarcarán, así mesmo, a comprobación da resposta dinámica fronte a hipóteses de carga asimétricas ou, de se considerar necesario, fronte a eventuais excitacións dos desprazamentos laterais no plano da plataforma.

Lonxitudinalmente, convén establecer sempre vínculos horizontais suficientemente ríxidos co terreo.

38.3.3. Pontes de ferrocarril

As verificacións das limitacións de vibracións en pontes de ferrocarril poderanse rexer, de conformidade co indicado no artigo 38.1, polos requisitos específicos establecidos na Instrución sobre as accións a considerar no proxecto de pontes de ferrocarril (IAPF). Deberase comprobar, de ser o caso, ademais a repercusión dos fenómenos vibratorios nas verificacións do estado límite de fatiga dos elementos de aceiro afectados.

38.4. Vibracións inducidas polo vento

En xeral, as estruturas convencionais posúen suficiente rixidez como para non seren susceptibles para os efectos da excitación dinámica debida á acción do vento. Non obstante, cando esta acción poida orixinar fenómenos vibratorios importantes, deberanse considerar os efectos aeroelásticos de acordo cos criterios establecidos no documento normativo que corresponda (CTE, IAP ou IAPF).

En certas estruturas con esquemas resistentes singulares non convencionais, ou de gran esvelteza, resulta necesario analizar a súa resposta baixo os efectos dinámicos de resonancia entre a turbulencia do vento e os modos propios de vibración da estrutura. É o caso, en xeral, de estruturas tales como:

- Cubertas de gran luz.
- Edificios esveltos de grande altura, en xeral próxima ou superior a 100 m.
- Pontes e pasarelas con luces superiores, respectivamente, a 200 m ou 100 m, ou con relacións (luz/canto) entre puntos de momento nulo, superiores a 30.
- Machóns esveltos con alturas superiores a 100 m.

- Pontes ou sistemas colgantes ou atirantados, con frecuencias fundamentais de torsión e flexión relativamente próximas.
- Elementos flexibles tales como cables, barras ou tirantes de estruturas colgadas ou atirantadas, especialmente se a súa esvelteza xeométrica é superior a 250.

Estas comprobacións hai que efectualas no marco da verificación da seguridade estrutural.

Artigo 39 Estado límite de desprazamento en unións con parafusos pretensados de alta resistencia

No caso de unións con parafusos de alta resistencia, proxectadas en categoría B segundo 58.2, admítese que, en estado límite último, se produza un desprazamento na unión e os parafusos resistan traballando a cortadura e esmagamento.

Neste tipo de unións de categoría B resulta preciso, ademais, comprobar que non se produce desprazamento en estado límite de servizo, baixo a combinación de accións pouco probable, segundo 13.3:

$$F_{s,Sd} \leq F_{s,Rd}, \text{ sendo } F_{s,Rd} \text{ o valor dado en 58.8.}$$

A solicitação de cálculo en servizo do parafuso, $F_{s,Sd}$, obtérase, neste caso, por métodos elásticos lineais, segundo se indica no artigo 56.

Artigo 40 Estado límite de deformacións transversais en paneis esveltos

40.1. Consideracións xerais

En condicións de servizo, pode resultar necesario garantir a non aparición de deformacións transversais significativas en paneis esveltos de chapa, a consecuencia do desenvolvemento de fenómenos de inestabilidade (aboladura) nas súas zonas comprimidas. Trátase de limitar o risco de consecuencias non aceptables tales como:

- Excesivos curvamentos nos paneis, que poden afectar negativamente a aparencia da obra ou crear inquietude nos usuarios.
- Cambios bruscos na configuración de equilibrio do panel, que poden dar lugar a ruídos ou efectos dinámicos non desexables.
- Redución nas rixideces elásticas adoptadas nos modelos de análise global que, principalmente se afectan a paneis comprimidos de alas, poden xerar desviacións nos resultados (esforzos, deformacións) das ditas análises.
- Respiro transversal dos paneis que, no caso de sobrecargas repetitivas de entidade, pode orixinar a fisuración lonxitudinal por fatiga dos cordóns laterais de fixación do panel, solicitados por vibracións transversais de pequena amplitude, pero de gran número de ciclos.

No marco desta instrución só se prevé como estado límite de servizo a verificación da ausencia de risco de fatiga por respiro de paneis esveltos, comprimidos total ou parcialmente.

A súa verificación non será, por tanto, estritamente necesaria para aquelas estruturas, de edificación ou naves industriais por exemplo, sometidas a accións de carácter predominantemente estático.

En cambio, será necesaria a súa comprobación en todos os elementos con paneis comprimidos esveltos de pontes, vigas carrileiras ou calquera outra estrutura que soporten sobrecargas repetitivas de certa entidade.

En xeral, só resulta necesario verificar a limitación dos fenómenos de inestabilidade de paneis en fases de servizo nas seccións transversais de clase 4 (esveltas). Exceptúase o caso daquelas seccións en que se produza unha sensible alteración da posición da fibra neutra, e conseguintemente da extensión e esvelteza das zonas comprimidas dos paneis, entre as fases elásticas e de esgotamento. É o caso das seccións de aceiro pretensadas ou das subseccións parciais de aceiro de seccións mixtas construídas evolutivamente.

O autor do proxecto, ou a propiedade, poderán establecer valores máis restritivos que os indicados no número 40.2 para as esveltezas das zonas comprimidas de paneis de chapa, cando se desexe limitar, de forma máis estrita, o inicio de calquera proceso de inestabilidade, por razóns de aparencia ou psicolóxicas, baixo a combinación de accións que se estime oportuna.

Nos ditos casos poderase recorrer a valores mínimos da esvelteza dos paneis, sancionados pola experiencia ou pola bibliografía técnica especializada.

40.2. Control de estabilidade de paneis

Pódese considerar, de forma suficientemente aproximada, que os fenómenos de fatiga por respiro de paneis se manteñen dentro de límites aceptables cando, para a combinación frecuente de accións, se cumpre a limitación indicada a continuación.

Para a dita comprobación, a avaliación das tensións que solicitan os paneis deberá ter en conta todos aqueles fenómenos resistentes que puidesen ser relevantes, como os indicados no número 41.1.

En paneis de chapa non rixidizados comprobarase que:

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed,ser}}{1,1\sigma_{cr,i}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{Ed,ser}}{\tau_{cr,i}} \right)^2 \leq 1, \quad \text{sendo:}$$

$\sigma_{x, Ed, ser}$

Compresión máxima no panel para a combinación frecuente de accións.

- $\tau_{Ed,ser}$ Tensión tanxencial no panel para a combinación frecuente de accións.
- $\sigma_{cr,i} = k_{\sigma}\sigma_E$ A tensión normal crítica ideal de aboladura do panel, suposto articulado nos seus bordos, obtida segundo 20.7.
- $\tau_{cr,i} = k_{\tau}\sigma_E$ Tensión tanxencial crítica ideal de aboladura do panel, suposto articulado nos seus bordos, obtida segundo 35.5.2.1.

No caso de paneis de chapa rixidizados lonxitudinal e/ou transversalmente, pódese aplicar a comprobación precedente ás tensións e dimensións de cada subpanel limitado polos rixidizadores, supostos ultrarríxidos.

De as tensións $\sigma_{x, Ed, ser}$ e/ou $\tau_{Ed,ser}$ variaren ao longo do panel, a comprobación do panel pódese realizar para os valores correspondentes á sección situada a unha distancia igual ao mínimo de 0,4 a ou 0,5 b do bordo transversal do panel, onde os esforzos sexan maiores, sendo "a" a dimensión lonxitudinal do panel e "b" a dimensión transversal. Os valores das ditas tensións non serán, ademais, menores do 50% do valor máximo correspondente no panel.

En xeral, non resulta necesario verificar a limitación precedente no caso de pontes de estrada ou ferrocarril en que a esvelteza dos paneis (ou subpaneis de chapas rixidizadas) sexa inferior aos valores límite seguintes:

$$b/t \leq 30 + 4,0 L, \text{ pero } b/t \leq 300, \text{ en pontes de estrada.}$$

$$b/t \leq 55 + 3,3 L, \text{ pero } b/t \leq 250, \text{ en pontes de ferrocarril.}$$

sendo "L" a luz do vano (m) e nunca inferior a 20 m, 't' o grosor da chapa e 'b' o dobre da altura do panel (ou subpanel) comprimida. As relacións (b/t) anteriores non resultan de aplicación en paneis (ou subpaneis) en compresión simple ou composta.

Artigo 41 Estado límite de plastificacións locais

41.1. Consideracións xerais

En condicións de servizo, pode resultar necesario limitar o nivel tensional dos elementos estruturais de aceiro con obxecto de:

- Garantir unha resposta cuasi-lineal da estrutura, baixo cargas de servizo, acorde cos resultados obtidos cos modelos de análise usualmente adoptados para as diferentes comprobacións en servizo das ditas estruturas, así como para as eventuais probas de carga.
- Acoutar os posibles fenómenos de histérese e redución da ductilidade por acumulación de deformacións plásticas remanentes baixo sobrecargas repetitivas de certa entidade.
- Evitar o risco de fenómenos de fatiga oligocíclica, baixo un número reducido de ciclos de carga, non cubertos polas verificacións de fatiga do capítulo XI desta instrución.

En xeral, non resulta necesario o control tensional das seccións de clase 3 e 4, sempre que na súa capacidade resistente en estados límite últimos non se considerasen as reservas elastoplásticas das súas zonas traccionadas.

Tampouco resulta necesaria a verificación deste artigo 41 para aquelas estruturas, de edificación ou naves industriais por exemplo, solicitadas por accións de carácter predominantemente estático, e non susceptibles, por tanto, a fenómenos de fatiga. Exceptúase o caso de detalles ou elementos singulares de responsabilidade, logo citados.

Cómpre efectuar a comprobación do estado límite de plastificacións locais en:

- Todos os elementos estruturais de aceiro de pontes, vigas carrileiras, ou de calquera outra estrutura, que soporten sobrecargas repetitivas de certa entidade.
- Plataformas constituídas por lousas ortótropas solicitadas transversalmente ao seu plano.
- En xeral, en todos aqueles elementos estruturais de responsabilidade en que existan zonas singulares ou detalles construtivos complexos, susceptibles de xeraren concentracións de tensións principais en dúas ou tres direccións, tales como zonas de introdución de cargas concentradas, cambios bruscos de sección, diafragmas, nós de estruturas trianguladas, ancoraxes de pontes atirantados, nós de encontro arco-taboleiro en pontes arco con taboleiro inferior, detalles de encontro de taboleiros con elementos transversais de grandes beirís (costelas metálicas, sistemas tirante-riosta, por exemplo), etc.

A avaliación dos estados tensionais que cómpre comprobar deberá ter en conta todos aqueles fenómenos estruturais que puidesen ser relevantes:

- Arrastre por cortante en alas anchas.
- Efectos secundarios por deformacións coaccionadas, como os momentos secundarios de estruturas trianguladas, por exemplo.
- Distorsión de seccións abertas ou cerradas.
- Coacción ao empenamento en elementos con sección aberta solicitados a torsión de empenamento ou mixta.
- Estados autoequilibrados de tensións por efectos térmicos diferenciais.
- Secuencias de montaxe en procesos evolutivos.
- Eventuais redistribucións diferidas en estruturas con elementos mixtos ou de formigón.
- Solicitacións debidas a accións transversais ao plano dos elementos (vento, desvíos por curvatura, lousas ortótropas, etc.).

En xeral, non resulta necesaria a consideración dos efectos de segunda orde na obtención dos niveis tensionais en servizo dos elementos estruturais de aceiro. Exceptúase o caso de lousas ortótropas solicitadas perpendicularmente ao seu plano, en que se deben

amplificar os momentos flectores dos elementos de rixidez lonxitudinais, multiplicándoos polo factor $1/(1-N/N_{cr})$, sendo N o axial de compresión en servizo concomitante co momento flector e N_{cr} o esforzo axial crítico elástico (carga crítica de empenamento de Euler) do elemento de rixidización.

41.2. Limitacións tensionais

Nos casos en que, de acordo con 41.1, sexa necesario verificar o estado límite de servizo de plastificacións locais, deberanse limitar as tensións máximas, baixo a combinación pouco probable de accións máis desfavorable a:

$$\sigma_{Ed,ser} \leq f_y$$

$$\tau_{Ed,ser} \leq f_y/\sqrt{3}$$

$$\sigma_{co,Ed,ser} = \sqrt{\sigma_{Ed,ser}^2 + 3 \tau_{Ed,ser}^2} \leq f_y$$

Ademais, a oscilación máxima das magnitudes anteriores, baixo as envolventes pésimas da combinación frecuente de sobrecargas, non superará 1,50 veces os límites precedentes.

En estados planos de tensións, limitarase a tensión de comparación a:

$$\sigma_{co} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3 \tau_{xy}^2} \leq f_y$$

Ou ben, con referencia ás tensións principais, o valor límite a verificar será:

$$\sigma_{co} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_I - \sigma_{II})^2 + (\sigma_{II} - \sigma_{III})^2 + (\sigma_{III} - \sigma_I)^2]} \leq f_y$$

Ademais, no caso de estados triaxiais de tensión, ningunha tensión principal deberá superar 1,40 veces o límite elástico do aceiro, suposto un comportamento indefinidamente elástico do aceiro. Os estados de tracción triaxial débense, en todo caso, evitar.

No caso de seccións esveltas (clase 4) a comprobación tensional débese realizar sobre a sección reducida, definida en 20.7, pero substituíndo o límite elástico do aceiro, f_y , pola tensión máxima de compresión, no panel afectado, baixo a combinación frecuente de sobrecargas de servizo.

CAPÍTULO XI

ESTADO LÍMITE DE FATIGA

Artigo 42 Estado límite de fatiga

42.1. Xeneralidades

Denomínase dano de fatiga nun elemento estrutural a iniciación e/ou propagación de fisuras causadas pola variación repetida de tensións.

O método das curvas S-N que emprega esta instrución está baseado en ensaios de fatiga sobre probetas que reproducen os detalles construtivos a tamaño real e inclúen o efecto das imperfeccións xeométricas e das tensións residuais debidas á fabricación e montaxe da estrutura (por exemplo, as de soldadura nos cordóns realizados conforme a boa práctica).

O procedemento de comprobación da seguridade fronte á fatiga recollido neste capítulo é aplicable a toda estrutura fabricada con aceiros, parafusos, eléctrodos, etc., que cumpran os requisitos indicados nos capítulos IV, VI e VIII desta instrución; suponse que a estrutura satisfai ademais os requisitos fixados nela para os restantes estados límite.

O uso de detalles construtivos que permitan o fluxo de tensións sen orixinar fortes gradientes, así como unha execución coidadosa, reducen a probabilidade de iniciación e propagación de fisuras por fatiga.

Non se consideran as estruturas situadas en ambientes agresivos como, por exemplo, o mariño. Tampouco se consideran as sometidas a temperaturas superiores a 150 °C.

42.2. Símbolos

Ademais dos relacionados con carácter xeral nesta instrución, neste capítulo utilizaranse os seguintes símbolos específicos:

- | | |
|--------------------------------|---|
| $\Delta\sigma$ | Carreira de tensións nominais normais. |
| $\Delta\tau$ | Carreira de tensións nominais tanxenciais. |
| $\Delta\sigma_C; \Delta\tau_C$ | Categoría de detalle: carreira de tensións normais ou tanxenciais cuxa acción, repetida dous millóns de veces, provoca o fallo por fatiga do detalle. |
| $\Delta\sigma_D; \Delta\tau_D$ | Límite de fatiga: carreira de tensións normais ou tanxenciais cuxa acción, repetida cinco millóns de veces, orixina o fallo por fatiga do detalle. |

$\Delta\sigma_L; \Delta\tau_L$	Limiar de dano: carreira de tensións, normais ou tanxenciais, cuxa acción non chega a contribuír ao fallo por fatiga do detalle.
$\Delta\sigma_{C, red}$	Categoría de detalle corrixida por efecto do tamaño.
γ_{Ff}	Coefficiente parcial de maioración para as carreiras de tensión.
γ_{Mf}	Coefficiente parcial para a resistencia á fatiga para as categorías de detalle $\Delta\sigma_C$ e $\Delta\tau_C$, cando se utilizan como valor da resistencia á fatiga.
m	Inversa da pendente da curva de resistencia á fatiga.

42.3. Comprobación da fatiga

42.3.1. Método do dano acumulado

Nesta instrución a comprobación a fatiga realízase mediante o método do dano acumulado.

As carreiras de tensións normais ou tanxenciais debidas ás accións variables frecuentes $\psi_1 Q_k$ non poderán exceder os límites respectivos:

$$\Delta\sigma \leq 1,5f_y$$

$$\Delta\tau \leq 1,5 \frac{f_y}{\sqrt{3}}$$

As tensións nominais calcúlanse en réxime lineal, utilizando a sección bruta sen considerar ningún efecto de concentración de tensións.

Para cada detalle construtivo susceptible de experimentar dano por fatiga, comprobarase que o dano D_d acumulado polo detalle como resultado dos ciclos de carga que deba soportar é igual ou inferior á unidade (regra de Palmgren-Miner):

$$D_d \leq 1$$

sendo:

$$D_d = \sum_{i=1}^N \frac{1}{\tilde{N}_\sigma(\gamma_{Ff}\Delta\sigma_i)} + \sum_{i=1}^N \frac{1}{\tilde{N}_\tau(\gamma_{Ff}\Delta\tau_i)}$$

onde:

N	Número de ciclos de carga.
$\Delta\sigma_i$ e $\Delta\tau_i$	Carreiras das compoñentes normal e tanxencial da tensión no i -ésimo ciclo de carga.
$\tilde{N}_\sigma(\Delta\sigma)$	Número de veces sucesivas que se debe aplicar a carreira de tensións normais $\Delta\sigma$ para esgotar a resistencia á fatiga do detalle segundo a curva S-N correspondente, minorada mediante o coeficiente γ_{Mf} .

$\tilde{N}_t(\Delta\tau)$ Valor análogo para a carreira de tensións tanxenciais $\Delta\tau$.

Os valores dos coeficientes parciais están en función do criterio de integridade estrutural adoptado: tolerancia ao dano ou integridade asegurada. O primeiro criterio require estruturas redundantes desde o punto de vista resistente, plans de inspección e mantemento con medidas de detección e reparación de fisuras, e detalles construtivos que propicien baixas velocidades de crecemento de fisuras por fatiga e toleren grandes tamaños de fisura. O criterio de integridade asegurada non require inspeccións nin mantemento regular, e é de aplicación obrigada cando a formación de fisuras pode conducir rapidamente ao fallo da estrutura.

42.3.2 Método simplificado para pontes

Alternativamente, en certo tipo de estruturas, como é o caso dos pontes, as Instrucións sobre as accións a considerar no proxecto de pontes (IAP, IAPF) definen modelos simplificados de cargas para as comprobacións do estado límite último de fatiga.

A condición de fatiga a verificar é, nestes casos:

$$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} \leq \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} \quad \text{e}$$

$$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} \leq \frac{\Delta\tau_c}{\gamma_{Mf}}$$

onde:

$\Delta\sigma_c, \Delta\tau_c$	Categoría de detalle definida en 42.2.
γ_{Mf}	Coefficiente parcial de minoración da resistencia á fatiga definido en 42.4.
γ_{Ff}	Coefficiente parcial de maioración para as accións de fatiga, cuxo valor se adoita tomar igual á unidade.
$\Delta\sigma_{E,2}, \Delta\tau_{E,2}$	Carreiras de tensións equivalentes de amplitude constante, relativas a 2 millóns de ciclos, que producen o mesmo dano acumulado que as oscilacións tensionais de amplitude variable producidas polas cargas reais ao longo da vida útil da estrutura.

Os valores $\Delta\sigma_{E,2}$ e $\Delta\tau_{E,2}$ aproxímanse a partir das cargas dos modelos simplificados de fatiga e das condicións do tráfico real:

- Esquema estático da estrutura e da liña de influencia dos efectos das cargas na sección ou elemento en estudo.
- Vida útil da ponte.
- Volume do tráfico real.

- Distribución do tráfico pesado ao longo da plataforma do taboleiro da ponte.

Así:

$$\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2} = \lambda \Delta \sigma (\gamma_{Ff} Q_k)$$

$$\gamma_{Ff} \Delta \tau_{E,2} = \lambda \Delta \tau (\gamma_{Ff} Q_k)$$

onde:

- λ Coeficiente de dano equivalente, función dos factores do tráfico real antes citados.
- Q_k Cargas dos modelos simplificados de fatiga, incluíndo os coeficientes de impacto dinámico asociados aos ditos modelos.

Os valores de Q_k , e os eventuais coeficientes de impacto dinámico a aplicar, son establecidos polas correspondentes instrucións sobre as accións a considerar no proxecto de pontes de estrada (IAP) ou ferrocarril (IAPF).

Os valores de λ , para pontes de estrada e ferrocarril, defínense nos números 42.3.2.2 e 42.3.2.3

42.3.2.1. Combinación de dano de carreiras local e global de tensións

Cando a comprobación dun elemento se realice para os efectos combinados da flexión xeral da ponte (efectos globais) e a flexión local dos elementos illados (efectos locais), os efectos combinados $\Delta \sigma_{E2}$ tomaranse como segue:

$$\Delta \sigma_{E2} = \lambda_{loc} \cdot \Delta \sigma_{loc} + \lambda_{glo} \cdot \Delta \sigma_{glo}$$

Onde o sufixo "loc" se refire para os efectos locais e "glo" para os efectos globais.

42.3.2.2. Factores λ de dano equivalente para pontes de estrada

O factor λ de dano equivalente para pontes de estrada de ata 80 m de luz de vano obtérase da expresión:

$$\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 \quad \text{con } \lambda \leq \lambda_{\max}$$

onde:

- λ_1 é o factor que considera o efecto do dano debido ao tráfico e depende da lonxitude da liña ou área de influencia;
- λ_2 é o factor que considera o volume de tráfico;
- λ_3 é o factor que considera a vida útil de proxecto da ponte;
- λ_4 é o factor que considera o tráfico noutros carrís;

λ_{\max} é o valor máximo de λ tendo en conta o límite de fatiga;

O valor de λ_1 determinarase de acordo coas expresións da táboa 42.3.2.2.a.

Táboa 42.3.2.2.a. Valores de λ_1 para pontes de estrada

Seccións de centro de vano	$\lambda_1 = 2,55 - 0,7 \frac{L-10}{70}$	Para $10 \leq L$ [m] ≤ 80
Seccións de apoio	$\lambda_1 = 2,0 - 0,3 \frac{L-10}{20}$	Para $10 \leq L$ [m] ≤ 30
	$\lambda_1 = 1,70 + 0,5 \frac{L-30}{50}$	Para $30 < L$ [m] ≤ 80

Unha sección considerarase sección de centro de vano ou sección de apoio de acordo coa táboa 42.3.2.2.b.

Táboa 42.3.2.2.b. Criterio de clasificación entre sección de vano e sección de apoio

Sección de apoio	Para vanos continuos de lonxitude L_i , aquelas seccións situadas a unha distancia menor de $0,15 \cdot L_i$ dos apoios en que exista continuidade.
Sección de centro de vano	Aquelas seccións que non sexan sección de apoio.

A lonxitude L [m] da liña ou área de influencia das expresións da táboa 42.3.2.2.a poderase tomar como segue:

- a) Para momentos flectores:
 - Para vanos simplemente apoiados, a luz do vano L_i ;
 - Para vanos continuos en seccións de centro de vano, a luz L_i do vano en consideración;
 - Para vanos continuos en seccións de apoio, a media das luces L_i e L_j dos vanos adxacentes ao apoio en consideración;
 - Para vigas transversais que reciben a carga a través de longueiros, a suma de luces dos dous vanos adxacentes dos longueiros soportados polas ditas vigas transversais.
- b) Para esforzos cortantes en vanos simplemente apoiados e en vanos continuos:
 - Para a sección de apoio, a luz L_i do vano en consideración;
 - Para as seccións de centro de vano, 0,4 veces a luz L_i do vano en consideración.
- c) Para reaccións:

- Para apoios extremos, a luz L_i do vano en consideración;
- Para apoios intermedios, a suma de luces L_i+L_j dos dous vanos adxacentes.

d) Para pontes arco:

- Para péndolas, dúas veces a separación entre péndolas;
- Para o arco, a metade da luz do arco.

O valor de λ_2 calcularase como segue:

$$\lambda_2 = \frac{Q_{m1}}{Q_0} \cdot \left(\frac{N_{Obs}}{N_0} \right)^{\frac{1}{5}}$$

Onde Q_{m1} é o peso medio en kN dos vehículos pesados circulando polo carril lento obtido como segue:

$$Q_{m1} = \left(\frac{\sum n_i Q_i^5}{\sum n_i} \right)^{\frac{1}{5}}$$

onde:

$Q_0 = 480$ kN;

$N_0 = 0,5 \cdot 10^6$

N_{Obs} é o número total de vehículos pesados ao ano circulando polo carril lento;

Q_i é o peso en kN do vehículo pesado i circulando polo carril lento;

n_i é o número de vehículos pesados de peso Q_i circulando polo carril lento.

Para diferentes valores de Q_{m1} e N_{Obs} , λ_2 pódese obter da táboa 42.3.2.2.c:

Táboa 42.3.2.2.c. Valores de λ_2 para pontes de estrada

Q_{m1}	N_{Obs}							
	$0,25 \cdot 10^6$	$0,50 \cdot 10^6$	$0,75 \cdot 10^6$	$1,00 \cdot 10^6$	$1,25 \cdot 10^6$	$1,50 \cdot 10^6$	$1,75 \cdot 10^6$	$2,00 \cdot 10^6$
200	0,362	0,417	0,452	0,479	0,500	0,519	0,535	0,550
300	0,544	0,625	0,678	0,712	0,751	0,779	0,803	0,825
400	0,725	0,833	0,904	0,957	1,001	1,038	1,071	1,100
500	0,907	1,042	1,130	1,197	1,251	1,298	1,338	1,374
600	1,088	1,250	1,356	1,436	1,501	1,557	1,606	1,649

O valor de λ_3 calcularase como segue:

$$\lambda_3 = \left(\frac{t_{Ld}}{100} \right)^{\frac{1}{5}}$$

onde t_{Ld} é a vida útil de proxecto da ponte en anos.

Táboa 42.3.2.2.d. Valores de λ_3 para pontes de estrada

Vida útil de proxecto en anos	50	60	70	80	90	100	120
Factor λ_3	0,871	0,903	0,931	0,956	0,979	1,00	1,037

O valor de λ_4 calcularase como segue:

$$\lambda_4 = \left[1 + \frac{N_2}{N_1} \left(\frac{\eta_2 \cdot Q_{m2}}{\eta_1 \cdot Q_{m1}} \right)^5 + \frac{N_3}{N_1} \left(\frac{\eta_3 \cdot Q_{m3}}{\eta_1 \cdot Q_{m1}} \right)^5 + \dots + \frac{N_k}{N_1} \left(\frac{\eta_k \cdot Q_{mk}}{\eta_1 \cdot Q_{m1}} \right)^5 \right]^{\frac{1}{5}}$$

onde:

- k é o número de carrís con tráfico pesado;
- N_j é o número de vehículos pesados ao ano no carril j;
- Q_{mj} é o peso medio dos vehículos pesados no carril j;
- η_j é o valor da liña de influencia no centro do carril j, para o esforzo que produce a carreira de tensións. Introdúcese na expresión anterior con signo positivo.

O valor de λ_{\max} obterase das expresións na táboa 42.3.2.2.e.

Táboa 42.3.2.2.e. Valores de λ_{\max} para pontes de estrada

Seccións de centro de vano	$\lambda_{\max} = 2,5 - 0,5 \frac{L-10}{15}$	Para $10 \leq L$ [m] ≤ 25
	$\lambda_{\max} = 2,00$	Para $25 < L$ [m] ≤ 80
Seccións de apoio	$\lambda_{\max} = 1,80$	Para $10 \leq L$ [m] ≤ 30
	$\lambda_{\max} = 1,80 + 0,9 \frac{L-30}{50}$	Para $30 < L$ [m] ≤ 80

42.3.2.3. Factores λ de dano equivalente para pontes de ferrocarril

O factor λ de dano equivalente para pontes de ferrocarril de ata 100 m de luz de vano obtérase da expresión:

$$\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 \quad \text{con } \lambda \leq \lambda_{\max}$$

onde:

λ_1 é o factor que considera o efecto do dano debido ao tráfico e depende da lonxitude da liña de influencia;

λ_2 é o factor que considera o volume de tráfico;

λ_3 é o factor que considera a vida útil de proxecto da ponte;

λ_4 é o factor que considera se o elemento estrutural entra en carga cando circula tráfico por máis dunha vía;

λ_{\max} é o valor máximo de λ tendo en conta o límite de fatiga.

O valor de λ_1 pódese obter da táboa 42.3.2.3.a e da táboa 42.3.2.3.b, para condicións de tráfico mixto.

Táboa 42.3.2.3.a. Valores de λ_1 para tráfico ferroviario estándar

L [m]	λ_1
0,5	1,60
1,0	1,60
1,5	1,60
2,0	1,46
2,5	1,38
3,0	1,35
3,5	1,17
4,0	1,07
4,5	1,02
5,0	1,03
6,0	1,03
7,0	0,97
8,0	0,92
9,0	0,88
10,0	0,85
12,5	0,82
15,0	0,76
17,5	0,70
20,0	0,67
25,0	0,66
30,0	0,65
35,0	0,64
40,0	0,64
45,0	0,64

L [m]	λ_1
50,0	0,63
60,0	0,63
70,0	0,62
80,0	0,61
90,0	0,61
100,0	0,60

Táboa 42.3.2.3.b. Valores de λ_1 para tren suburbano de múltiples unidades, ferrocarril metropolitano, e para tráfico ferroviario con eixes de 250 kN

L [m]	Tren suburbano de múltiples unidades e tren metropolitano		Tráfico ferroviario con eixes de 250 kN
	Tipo 9	Tipo 10	
0,5	0,97	1,00	1,65
1,0	0,97	1,00	1,65
1,5	0,97	1,00	1,65
2,0	0,97	0,99	1,64
2,5	0,95	0,97	1,55
3,0	0,85	0,94	1,51
3,5	0,76	0,85	1,31
4,0	0,65	0,71	1,16
4,5	0,59	0,65	1,08
5,0	0,55	0,62	1,07
6,0	0,58	0,63	1,04
7,0	0,58	0,60	1,02
8,0	0,56	0,60	0,99
9,0	0,56	0,55	0,96
10,0	0,56	0,51	0,93
12,5	0,55	0,47	0,90
15,0	0,50	0,44	0,92
17,5	0,46	0,44	0,73
20,0	0,44	0,43	0,68
25,0	0,40	0,41	0,65
30,0	0,37	0,42	0,64
35,0	0,36	0,44	0,65
40,0	0,35	0,46	0,65
45,0	0,35	0,47	0,65
50,0	0,36	0,48	0,66
60,0	0,39	0,48	0,66
70,0	0,40	0,49	0,66
80,0	0,39	0,49	0,66
90,0	0,39	0,48	0,66
100,0	0,40	0,48	0,66

Nota: Os valores indicados na táboa 42.3.2.3.a e na táboa 42.3.2.3.b para tráfico mixto corresponden á combinación de trens tipo indicadas na Instrución sobre as accións a considerar no proxecto de pontes de ferrocarril IAPF.

A lonxitude L da liña de influencia da táboa 42.3.2.3.a e da táboa 42.3.2.3.b poderase tomar como segue:

a) Para momentos flectores:

- Para vanos simplemente apoiados, a luz do vano L_i ;
- Para vanos continuos en seccións de centro de vano, a luz L_i do vano en consideración;
- Para vanos continuos en seccións de apoio, a media das luces L_i e L_j dos vanos adxacentes ao apoio en consideración;
- Para vigas transversais que reciben a carga a través de longueiros, a suma de luces dos dous vanos adxacentes dos longueiros soportados polas vigas transversais.
- Para unha chapa de tableiro soportada unicamente por vigas ou costelas transversais (sen elementos lonxitudinais) e para as ditas vigas ou costelas transversais, a lonxitude da liña de influencia da frecha (ignorando calquera parte que corresponda a frechas ascendentes), tendo en conta a rixidez dos carrís na distribución de carga. Para as vigas transversais que non se encontren separadas máis de 750 mm, pódese tomar como dúas veces a separación entre vigas transversais + 3 m.

b) Para esforzos cortantes tanto en vanos simplemente apoiados como en vanos continuos:

- Para a sección de apoio, a luz L_i do vano en consideración;
- Para a sección de centro de vano, 0,4 veces a luz L_i do vano en consideración.

O valor de λ_2 obtérase da táboa 42.3.2.3.c:

Táboa 42.3.2.3.c. Valores de λ_2 para pontes de ferrocarril

Tráfico por ano [10^6 t/vía]	5	10	15	20	25	30	35	40	50
λ_2	0,72	0,83	0,90	0,96	1,00	1,04	1,07	1,10	1,15

O valor de λ_3 obtérase da táboa 42.3.2.3.d:

Táboa 42.3.2.3.d. Valores de λ_3 para pontes de ferrocarril

Vida útil de proxecto [anos]	50	60	70	80	90	100	120
λ_3	0,87	0,90	0,93	0,96	0,98	1,00	1,04

O valor de λ_4 obtérase da táboa 42.3.2.3.e:

Táboa 42.3.2.3.e. Valores de λ_4 para pontes de ferrocarril

$\frac{\Delta\sigma_1}{\Delta\sigma_{1+2}}$	1,00	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50
λ_4	1,00	0,91	0,84	0,77	0,72	0,71
$\Delta\sigma_1$	É a carreira de tensións na sección a controlar debida ao tren de cargas, definido na Instrución sobre as accións a considerar no proxecto de pontes de ferrocarril IAPF, actuando nunha vía.					
$\Delta\sigma_{1+2}$	É a carreira de tensións na sección a controlar, debida ao tren de cargas definido na Instrución sobre as accións a considerar no proxecto de pontes de ferrocarril IAPF, actuando en dúas vías calquera.					

Nota: A táboa 42.3.2.3.e é válida tan só se $\Delta\sigma_1$ e $\Delta\sigma_{1+2}$ teñen o mesmo signo.

Os valores de λ_4 na táboa 42.3.2.3.e asumen que o 12% do tráfico total cruza a ponte mentres hai tráfico na outra vía. Se a porcentaxe de tráfico que cruza a ponte é diferente, λ_4 tomarase como segue:

$$\lambda_4 = \sqrt[3]{n + [1-n] \cdot [a^5 + (1-a)^5]}$$

onde:

$$a = \frac{\Delta\sigma_1}{\Delta\sigma_{1+2}};$$

n é a porcentaxe de tráfico total que cruza a ponte mentres hai tráfico na outra vía;

O valor de λ non será maior que λ_{\max} , sendo $\lambda_{\max} = 1,4$

42.4. Coeficientes parciais para a resistencia á fatiga

Os valores de γ_{Mf} tomaranse da táboa 42.4.

Táboa 42.4. Valores do coeficiente parcial γ_{Mf} para a resistencia á fatiga

Criterio de integridade estrutural	Consecuencias do fallo	
	Leves	Graves
Tolerancia ao dano	1,00	1,15
Integridade asegurada	1,15	1,35

42.5. Cálculo das carreiras de tensións

As carreiras de tensións determinaranse mediante as seguintes regras:

1. Identificación dos ciclos de carga básicos (por exemplo, cada paso do carro nunha ponte guindastre) a partir das especificacións particulares do proxecto, e determinación do número de veces que se repiten ao longo da vida útil da estrutura.

2. Selección dos detalles construtivos a comprobar (por exemplo, os cordóns de ala dun empalme soldado nunha viga carrileira) e cálculo das tensións producidas polos ciclos de carga básicos (por exemplo, as tensións normais nas alas na sección do citado empalme).
3. Para os detalles tipo incluídos nas táboas 42.6.a a 42.6.j, basta calcular as tensións nominais, que inclúen os efectos debidos ao carácter dinámico das accións, pero non os de concentración de tensións. Esta exclusión débese a que a concentración de tensións causada pola configuración xeométrica do detalle está considerada a través das categorías de detalle que figuran nas táboas.
4. Cando os detalles das táboas 42.6.a a 42.6.j estean baixo o efecto de concentradores de tensión (cambios de sección, trades, aberturas, etc.) non incluídos na xeometría tipificada do detalle, cómpre multiplicar as tensións nominais polo correspondente factor de concentración de tensións. As tensións resultantes denomínanse tensións nominais modificadas.
5. Nas estruturas en celosía formadas por perfís tubulares circulares ou rectangulares e cargadas no seu plano, as concentracións de tensión debidas aos momentos secundarios nos nós pódense ter en conta multiplicando as tensións obtidas a partir dun modelo convencional (de nós articulados) polos factores k_1 indicados nas táboas 42.5.a e 42.5.b.
6. Nas unións soldadas con fortes gradientes de tensión no pé dos cordóns de soldadura, as tensións nominais substitúense polas tensións xeométricas. As tensións xeométricas son tensións principais no material base da raíz do cordón que inclúen os efectos das concentracións de tensión debidas á configuración xeométrica global do detalle e á configuración xeométrica local do cordón de soldadura. Para as unións soldadas da táboa 42.6.k, abonda con empregar métodos de análise capaces de considerar o efecto concentrador de tensións debido á xeometría global do nó, xa que o efecto do cordón se recolle nas categorías de detalle da táboa.
7. As carreiras de tensión nos ciclos de carga básicos pódense determinar a partir das tensións empregando o método do “baleirado do depósito” ou o método da “gota de auga”. Xunto co valor de cada carreira de tensión, deberase determinar tamén o número de veces que a carreira se repite na vida útil da estrutura.

No método do “baleirado do depósito” os valores das tensións e a orde en que se suceden ao longo do tempo represéntanse como puntos dun diagrama cartesiano, coas tensións como ordenadas e calquera variable que sexa unha función crecente do tempo como abscisa. Cada punto así representado únese co seguinte mediante unha recta, e a poligonal resultante identifícase co perfil dun depósito de auga cuxa superficie libre é a paralela ao eixe de abscisas do gráfico que pasa polo punto de máxima tensión. Cada mínimo relativo da poligonal é un desaugamento do depósito. O depósito baléirase abrindo os desaugadoiros un tras outro, cando o precedente deixa de evacuar auga. En cada apertura ábrese o desaugadoiro que orixina o máximo descenso local do nivel da auga. As carreiras de tensións son as profundidades locais de cada desaugamento inmediatamente antes de ser aberto. As carreiras de tensións obtidas por este método a partir do gráfico da figura 42.5 serían S_1 , S_2 , S_3 e S_4 .

8. Para determinar as carreiras de tensións normais en detalles sen soldaduras ou con soldaduras sometidas a un tratamento de relaxación de tensións, as tensións de compresión pódense reducir ao 60%.

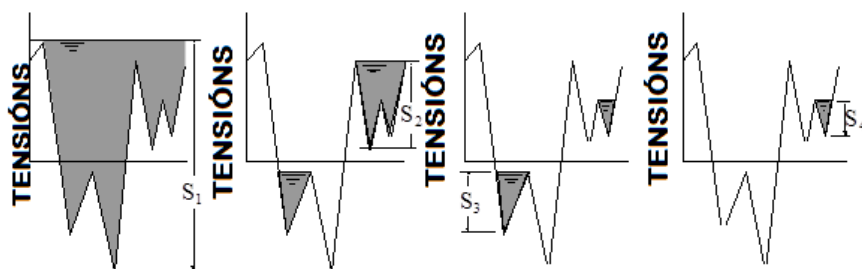


Figura 42.5. Determinación das carreiras de tensións polo método do "baleirado do depósito"

Táboa 42.5.a. Factores k_1 para vigas en celosía de perfís circulares ocos

Tipo de nó		Cordóns	Montantes	Diagonais
Nós con folgura	Tipo K	1,5	1,0	1,3
	Tipo N/Tipo KT	1,5	1,8	1,4
Nós con solapamento	Tipo K	1,5	1,0	1,2
	Tipo N/Tipo KT	1,5	1,65	1,25

Táboa 42.5.b. Factores k_1 para vigas en celosía de perfís rectangulares ocos

Tipo de nó		Cordóns	Montantes	Diagonais
Nós con folgura	Tipo K	1,5	1,0	1,5
	Tipo N / Tipo KT	1,5	2,2	1,6
Nós con solapamento	Tipo K	1,5	1,0	1,3
	Tipo N / Tipo KT	1,5	2,0	1,4

42.6. Resistencia á fatiga

A resistencia á fatiga dun detalle vén dada polas curvas S-N das figuras 42.6.a e 42.6.b, respectivamente, correspondentes ás categorías $\Delta\sigma_C$ e $\Delta\tau_C$ do detalle, as cales representan as carreiras de tensións normais e tanxenciais, en N/mm^2 , que esgotan a resistencia á fatiga do detalle aplicadas dous millóns de veces sucesivas.

As curvas da figura 42.6.a responden ás expresións:

$$\Delta\sigma_R^m \cdot \tilde{N} = \Delta\sigma_C^m \cdot 2 \times 10^6 \quad \text{con } m = 3 \quad \text{para } \tilde{N} \leq 5 \times 10^6$$

$$\Delta\sigma_R^m \cdot \tilde{N} = \Delta\sigma_D^m \cdot 5 \times 10^6 \quad \text{con } m = 5 \quad \text{para } 5 \times 10^6 < \tilde{N} \leq 10^8$$

$$\Delta\sigma_R = \Delta\sigma_L \quad \text{para } \tilde{N} > 10^8$$

onde:

$$\Delta\sigma_D = \left[\frac{2}{5} \right]^{1/m} \Delta\sigma_C = \left[\frac{2}{5} \right]^{1/3} \Delta\sigma_C = 0,737 \Delta\sigma_C \quad \text{é o límite de fatiga, e}$$

$$\Delta\sigma_L = \left[\frac{5}{100} \right]^{1/m} \Delta\sigma_D = \left[\frac{5}{100} \right]^{1/5} \Delta\sigma_D = 0,549 \Delta\sigma_D \quad \text{é o limiar de dano.}$$

As curvas da figura 42.6.b responden ás expresións:

$$\Delta\tau_R^m \cdot \tilde{N} = \Delta\tau_C^m \cdot 2 \times 10^6 \quad \text{con } m = 5 \quad \text{para } \tilde{N} \leq 10^8$$

$$\Delta\tau_R = \Delta\tau_L \quad \text{para } \tilde{N} > 10^8$$

onde:

$$\Delta\tau_L = \left[\frac{2}{100} \right]^{1/m} \Delta\tau_C = \left[\frac{2}{100} \right]^{1/5} \Delta\tau_C = 0,457 \Delta\tau_C \quad \text{é o limiar de dano.}$$

Se todas as carreiras de tensión a considerar son normais e ningunha supera o límite de fatiga, a curva S-N da figura 42.6.a pódese modificar a partir dos cinco millóns de ciclos, substituíndo a liña continua pola descontinua.

Para detalles construtivos de igual configuración xeométrica e distinto tamaño, a resistencia á fatiga e, consecuentemente, a categoría de detalle diminúen co tamaño. Nas táboas 42.6.a a 42.6.k figura o coeficiente de minoración k_s que transforma a categoría de detalle $\Delta\sigma_C$ da táboa na categoría de detalle $\Delta\sigma_{C,red}$ corrixida polo efecto do tamaño para grosos maiores de 25 mm.

$$\Delta\sigma_{C,red} = k_s \Delta\sigma_C$$

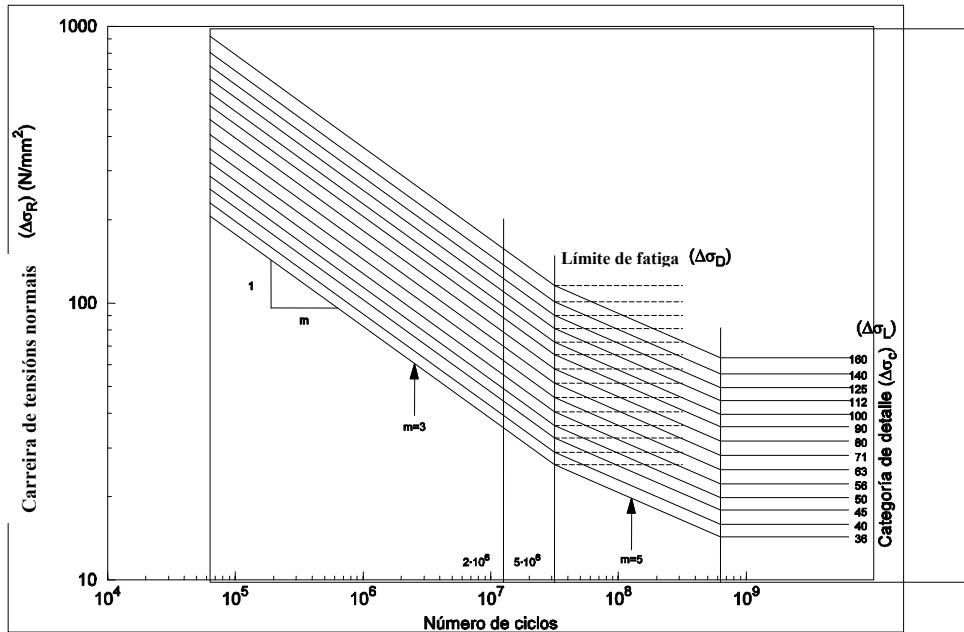


Figura 42.6.a. Curvas de resistencia á fatiga para carreiras de tensións normais

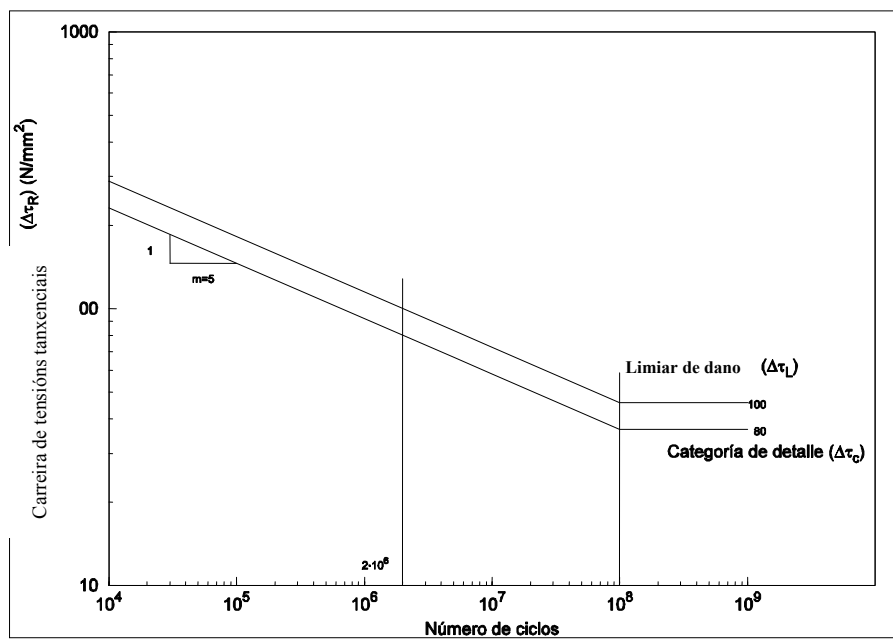


Figura 42.6.b. Curvas de resistencia á fatiga para carreiras de tensións tanxenciais

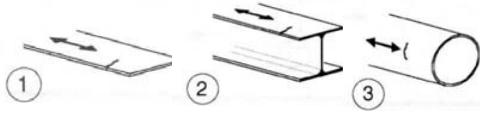




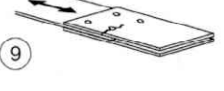
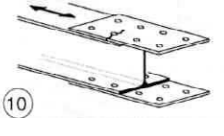
As categorías de detalle das táboas 42.6.a a 42.6.k corresponden aos seguintes tipos de detalle:

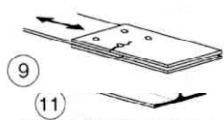
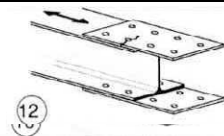
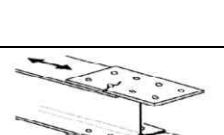
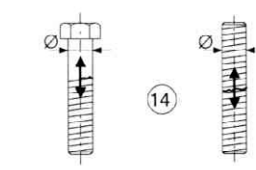
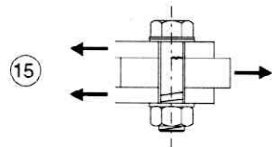
Táboa	Detalle
42.6.a	Detalles sen soldaduras.
42.6.b	Seccións armadas soldadas.
42.6.c	Soldaduras a tope transversais (de forza).
42.6.d	Casquetes e rixidizadores soldados.
42.6.e	Unións soldadas transmisoras de forza.
42.6.f	Seccións ocas ($t < 12,5\text{mm}$).
42.6.g	Nós de celosías.
42.6.h	Taboleiros ortótropos. Rixidizadores lonxitudinais de sección cerrada.
42.6.i	Taboleiros ortótropos. Rixidizadores lonxitudinais de sección aberta.
42.6.j	Unión de alas superiores a almas de vigas carril.
42.6.k	Soldaduras que producen gradientes locais de tensión fortes (tensións xeométricas).

Os resultados de ensaio dos detalles construtivos marcados con asterisco (detalles 36*, 45*, 56*) non coinciden exactamente coas curvas de resistencia á fatiga da figura 42.6.a. Para evitar valores do lado da inseguridade, a estes detalles adxudícaselles unha categoría de detalle un grao por debaixo da que lles corresponde segundo os resultados experimentais. Non obstante, pódese empregar esta última se a curva S-N se modifica prolongando o tramo con pendente $-1/3$ ata 10 millóns de ciclos e se adopta a ordenada final da prolongación como límite de fatiga.

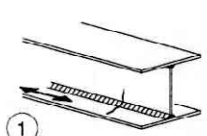
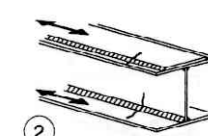
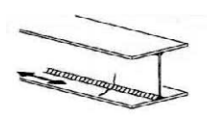

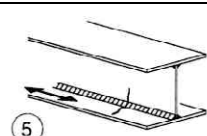
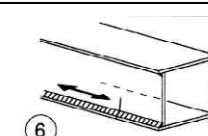
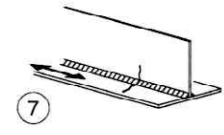
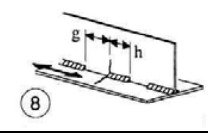
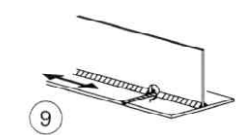
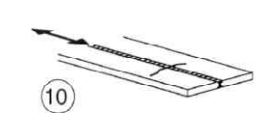
A figura 42.6.c resume as distintas etapas que compoñen a comprobación da seguridade á fatiga.

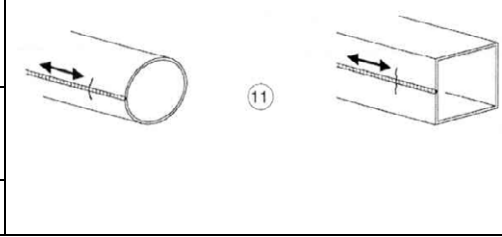
Táboa 42.6.a. Detalles sen soldaduras

Categoría de detalle	Detalle construtivo	Descrición	Requisitos
160	<p>Nota: A resistencia á fatiga asociada á categoría 160 é a máis alta. Ningún detalle pode ter maior resistencia á fatiga para ningún número de ciclos.</p> 	<p><u>Produtos laminados ou extruídos:</u></p> <p>1) Chapas e produtos planos. 2) Perfis laminados. 3) Perfis ocos sen costura, circulares ou rectangulares.</p>	<p><u>Detalles 1) a 3):</u></p> <p>As arestas vivas, os defectos superficiais e os defectos de laminación deberanse desbastar ata a súa eliminación, deixando transicións suaves.</p>
140		<p><u>Chapas cisalladas ou oxicortadas:</u></p> <p>4) Material oxicortado ou cisallado con posterior saneamento de bordos. 5) Material oxicortado a máquina con estrias de corte regulares e pouco profundas, ou á man con posterior saneamento de bordos para eliminar arestas. Máquinas de oxicorte que cumpran as especificacións de calidade da norma UNE-EN 1990.</p>	<p>4) Deberase eliminar toda traza visible de arestas. As superficies de corte deberán ser mecanizadas ou desbastadas e toda rebaba eliminada. Calquera marca deixada pola maquinaria empregada, por exemplo no desbastamento, deberá ser paralela á dirección das tensións. <u>Detalles 4) e 5):</u> - As esquinas entrantes deberanse mellorar mediante desbastamento (pendente $\leq 1/4$) ou terse en conta nos cálculos mediante o factor de concentración de tensións correspondente. - Non se admiten reparacións mediante recheo con soldadura.</p>
125			
100 m = 5		<p>6) e 7) Produtos fabricados por laminación ou extrusión, como os dos detalles 1), 2), 3).</p>	<p><u>Detalles 6) e 7):</u> $\Delta\tau$ calculado mediante: $\tau = \frac{VS(t)}{It}$</p>
Se os detalles 1-5 se executan en aceiro con resistencia mellorada á corrosión, cómpre adoptar a categoría de detalle inmediatamente inferior.			
112		<p>8) Unión simétrica con cobrexuntas a ambos os lados e parafusos pretensados de alta resistencia. 8) Unión simétrica con cobrexuntas dobre, parafusos pretensados e trades inxectados.</p>	<p>8) Para o cálculo de $\Delta\sigma$ utilizarase a sección bruta. <u>En xeral, para unións aparafusadas (detalles 8 a 13):</u> Distancia aos extremos: $e_1 \geq 1,5 d$</p>
90		<p>9) Unión simétrica con cobrexuntas a ambos os lados e parafusos calibrados. 9) Unión simétrica con cobrexuntas dobre, parafusos sen pretensar e trades inxectados.</p>	<p>9) Para o cálculo de $\Delta\sigma$ empregarase a sección neta. Distancia aos bordos: $e_2 \geq 1,5 d$</p>
		<p>10) Unión con cobrexuntas simple e parafusos pretensados de alta resistencia. 10) Unión con cobrexuntas simple, parafusos pretensados e trades inxectados.</p>	<p>10) Para o cálculo de $\Delta\sigma$ utilizarase a sección bruta. Espazamento: $p_1 \geq 2,5 d$ $p_2 \geq 2,5 d$ Para os detalles, véxase EN 1993-1-8,</p>

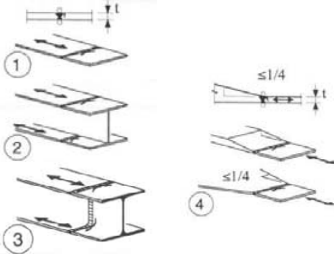
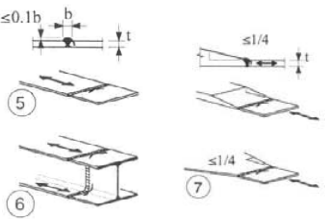
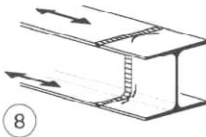
		11) Elemento estrutural con trades sometido a esforzo axial e momento flector.	11) Para o cálculo de $\Delta\sigma$ usarase a sección neta.	Figura 3.1.
80		12) Unión con cobrexuntas simple e parafusos calibrados 12) Unión con cobrexuntas simple, parafusos sen pretensar e trades inxectados.	12) Para o cálculo de $\Delta\sigma$ utilizarase a sección neta.	
50		13) Unión simétrica con cobrexuntas simple ou dobre, parafusos sen pretensar e trades de folgura ordinaria. Sen inversión de carga.	13) Para o cálculo de $\Delta\sigma$, empregárase a sección neta.	
50	<p>Efecto do tamaño $\varnothing > 30 \text{ mm}$ $k_s = \left(\frac{30}{\phi}\right)^{1/4}$</p> 	14) Parafusos e espárragos traccionados con rosca laminada ou mecanizada. Para diámetros grandes (parafusos de ancoraxe), terase en conta o efecto do tamaño mediante o factor k_s .	14) O valor de $\Delta\sigma$ calcúlase nas seccións traccionadas do parafuso, tendo en conta os esforzos de flexión e tracción por efecto panca, así como as tensións de flexión debidas a outras causas. En parafusos pretensados, cómpre aplicar a redución da carreira de tensións.	
100 m = 5		15) Parafusos sometidos a cortadura simple ou dobre sen rosca nas seccións baixo esforzo cortante. – Parafusos calibrados. – Parafusos ordinarios sen inversión de carga (parafusos dos graos 5.6, 8.8 ou 10.9).	15) Para o cálculo de $\Delta\tau$, utilizarase a sección da espiga.	

Táboa 42.6.b. Pezas armadas soldadas

Categoría de detalle	Detalle construtivo	Descrición	Requisitos
125	 	<p>Cordóns lonxitudinais continuos:</p> <p>1) Soldaduras a tope con execución automática efectuada desde ambos os lados.</p> <p>2) Soldaduras en ángulo con execución automática. Os extremos das platabandas comprobaranse como detalles 6) ou 7) da táboa 42.6.e.</p>	<p><u>Detalles 1) e 2):</u></p> <p>A soldadura deberase executar ininterrompidamente, a menos que se trate dunha reparación realizada por especialistas e verificada mediante inspección.</p>
112	 	<p>3) Soldaduras a tope ou en ángulo con execución automática efectuada desde ambos os lados.</p> <p>4) Soldaduras a tope con execución automática ininterrompida efectuada con chapa dorsal continua desde un só lado.</p>	<p>4) A categoría deste detalle son 100 N/mm² cando se executa intermitentemente.</p>
100	 	<p>5) Soldaduras a tope ou en ángulo executadas manualmente.</p> <p>6) Soldaduras a tope, con execución automática ou manual desde un só lado, en particular as de vigas caixón.</p>	<p>5), 6) É fundamental conseguir un bo axuste entre as chapas de alma e de ala. Os bordos da alma débense acondicionar para que a penetración da soldadura na raíz da unión sexa regular e continua.</p>
100		<p>7) Reparacións automáticas ou manuais de soldaduras a tope ou en ángulo de detalles 1) a 6).</p>	<p>7) É posible recuperar a categoría do detalle orixinal mellorando a reparación mediante desbastamento realizado por especialistas para eliminar os signos visibles da reparación e mediante a posterior verificación do detalle reparado.</p>
80	 <p>$g/h \leq 2,5$</p>	<p>8) Soldaduras lonxitudinais descontinuas en ángulo.</p>	<p>8) Os valores de $\Delta\sigma$ baseados nas tensións normais da ala.</p>
71		<p>9) Soldaduras lonxitudinais, a tope ou en ángulo, ou soldaduras interrompidas por orificios de altura non superior a 60 mm. Para orificios de altura superior a 60 mm, véxase o detalle 1) da táboa 8.4.</p>	<p>9) Os valores de $\Delta\sigma$ baseados nas tensións normais da ala.</p>
125		<p>10) Soldaduras lonxitudinais a tope, posición a nivel de ambas as caras con moa na dirección de carga, 100% END.</p>	
112		<p>10) Execución ininterrompida; sen desbastamento.</p>	
90		<p>10) Con interrupcións.</p>	

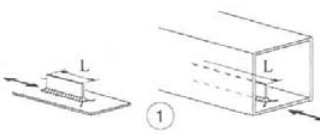
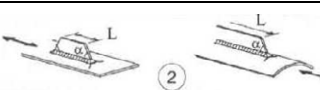
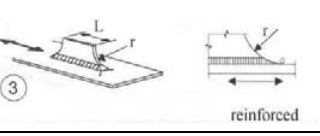
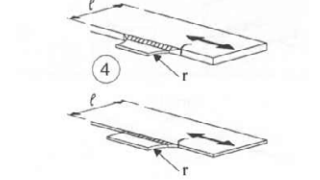

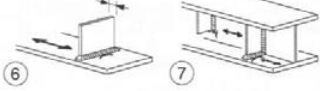
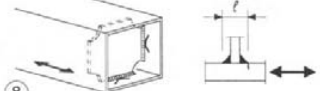

140		11) Soldaduras lonxitudinais de cerramento de perfís ocos con execución automática ininterrompida.	11) Sen defectos dentro das tolerancias especificadas pola norma UNE-ENV 1090-2. Grosor de parede $t \leq 12,5$ mm.
125		11) Soldaduras lonxitudinais de cerramento de perfís ocos con execución automática ininterrompida.	11) Grosor de parede $t > 12,5$ mm.
90		11) Execución con interrupcións.	
Os detalles 1 a 11 executados con soldadura automática ou con soldadura mecanizada teñen igual categoría de detalle.			

Táboa 42.6.c. Empalmes soldados

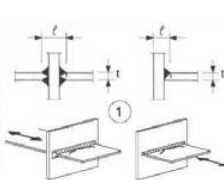
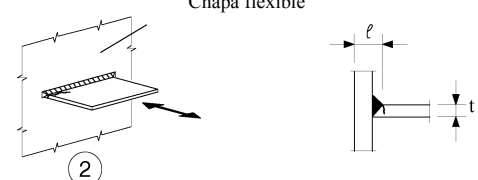
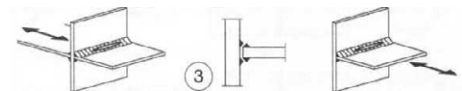
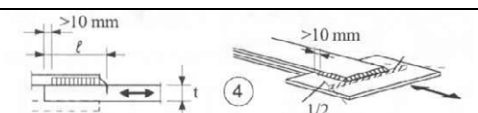
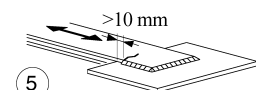
Categoría de detalle	Detalle construtivo	Descrición	Requisitos
112		<p><u>Sen chapa dorsal:</u></p> <p>1) Empalmes en prolongación de chapas e produtos planos. 2) Empalmes en prolongación de alas e almas antes de armar a viga. 3) Empalmes en prolongación de perfís laminados mediante soldadura a tope de seccións completas sen orificios. 4) Empalmes en prolongación de chapas e produtos planos de largura ou grosor rebaixado con pendente $\leq 1/4$.</p>	<p>- Todas as soldaduras enrasadas mediante moa coa superficie das chapas paralela á dirección da frecha.</p> <p>- Utilización e posterior retirada de chapas de derramo, bordos de chapa enrasados con moa segundo a dirección da tensión.</p> <p>- Soldadura desde ambos os lados e verificación por ensaios non destrutivos (END).</p> <p><u>Detalle 3:</u> Só para unións de perfís laminados, cortadas e soldadas de novo.</p>
90		<p>5) Empalmes en prolongación de chapas e produtos planos. 6) Empalmes en prolongación de perfís laminados mediante soldadura a tope de seccións completas sen orificios. 7) Empalmes en prolongación de chapas e produtos planos de largura ou grosor rebaixado con pendente $\leq 1/4$. Eliminación de entallas en soldaduras por mecanización.</p>	<p>- Sobregrosor de cordóns inferior ao 10% da largura con transición gradual ata o plano das superficies empalmadas.</p> <p>- Utilización e posterior retirada de chapas de derramo, bordos de chapa enrasados con moa segundo dirección da tensión.</p> <p>- Soldadura desde ambos os lados e verificación por ensaios non destrutivos (END).</p> <p><u>Detalles 5 e 7:</u> Soldaduras executadas en posición horizontal.</p>
90		<p>8) O detalle 3) con orificios.</p>	<p>- Todas as soldaduras enrasadas mediante moa coa superficie das chapas paralela á dirección da frecha.</p> <p>- Utilización e posterior retirada de chapas de derramo, bordos de chapa enrasados con moa segundo a dirección da tensión.</p> <p>- Soldadura desde ambos os lados e verificación por ensaios non destrutivos (END).</p> <p>- Perfís laminados de iguais dimensións e tolerancias.</p>

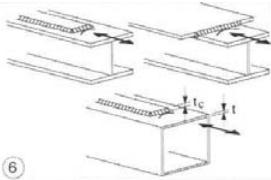
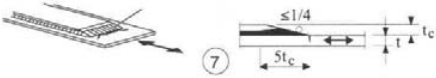
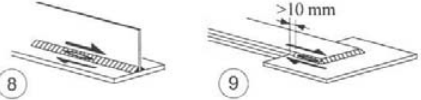
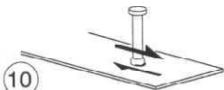
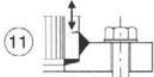
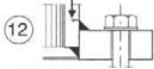
80			<p>9) Empalmes en prolongación de vigas armadas sen orificios.</p> <p>10) Empalmes en prolongación de perfis laminados mediante soldadura a tope de seccións completas con orificios.</p> <p>11) Empalmes en prolongación de chapas, produtos planos, perfis laminados e chapas de vigas armadas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sobregrosor de cordóns inferiores ao 20% da largura con transición gradual ao plano das superficies empalmadas. - Soldadura sen nivelamento con moa. - Utilización e posterior retirada de chapas de derramo, bordos de chapa enrasados con moa segundo a dirección da tensión. - Soldadura desde ambos lados e verificación por ensaios non destrutivos (END). <p><u>Detalle 10</u> Sobregrosor de cordóns inferiores ao 10% da largura con transición gradual ao plano das superficies empalmadas.</p>
63			<p>12) Empalmes en prolongación de perfis laminados con soldadura a tope de seccións completas sen orificios.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Utilización e posterior retirada de chapas de derramo, bordos de chapa enrasados con moa segundo a dirección da tensión.
36			<p>13) Soldaduras a tope executadas desde un só lado.</p>	<p>13) Sen chapa dorsal.</p>
71			<p>13) Soldaduras a tope executadas desde un só lado con penetración total e verificación mediante técnicas END apropiadas.</p>	
71	<p>Efecto do tamaño para $t > 25$ mm</p> $k_s = \left(\frac{25}{t}\right)^{0.2}$		<p>Con chapa dorsal: 14) Empalmes en prolongación. 15) Empalmes en prolongación de chapas e produtos planos ou curvos de largura ou grosor rebaixado con pendente $\leq 1/4$. Tamén é válido para chapas curvas.</p>	<p>Detalles 14) e 15): Soldaduras en ángulo de unión da chapa dorsal con extremos distantes máis de 10 mm dos bordos da chapa cargada. Puntos de soldadura aplicados na zona a ocupar polas soldaduras a tope.</p>
50			<p>16) Empalmes en prolongación con chapa dorsal permanente e largura ou grosor rebaixado con pendente $\leq 1/4$. Tamén é válido para chapas curvas.</p>	<p>16) Se os extremos das soldaduras en ángulo da chapa dorsal distan menos de 10 mm dos bordos da chapa, ou se non é posible garantir un bo axuste.</p>
71	<p>Efecto do tamaño para $t > 25$ mm e da excentricidade:</p> $k_s = \left(\frac{25}{t_1}\right)^{0.2} \sqrt{1 + \frac{6 \cdot e}{t_1} \cdot \frac{t_1^{1.5}}{t_1^{1.5} + t_2^{1.5}}}$	<p>Pendente $\leq 1/2$</p>	<p>17) Empalmes en prolongación con continuidade do plano medio e descontinuidade de grosor.</p>	
Como o detalle 1 da táboa 42.6.e			<p>18) Empalmes en prolongación a través de ala interposta.</p>	<p>Detalles 18) e 19): A comprobación a fatiga do elemento interposto débese efectuarse como detalle 4 ou 5 da táboa 42.6.d.</p>
Como o detalle 4 da táboa 42.6.d			<p>19) Para transicións con acordo conforme o detalle 4 da táboa 42.6.d.</p>	

Táboa 42.6.d. Cartelas e rixidizadores soldados

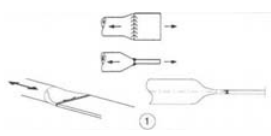
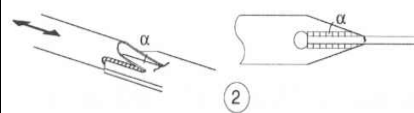
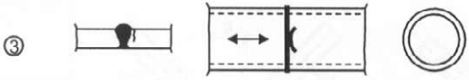
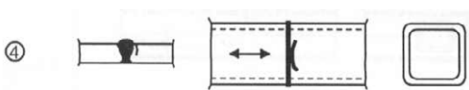
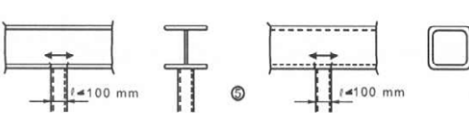
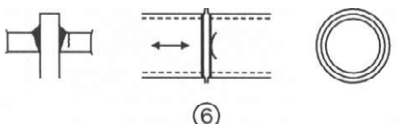
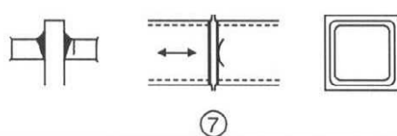
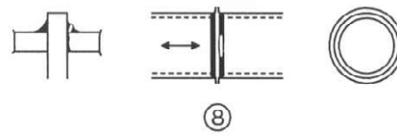
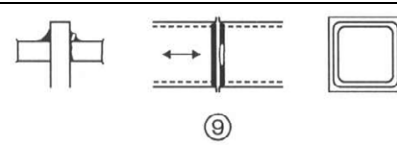
Categoría de detalle	Detalle construtivo	Descrición	Requisitos
80	$L \leq 50$ mm	 <p>1) A categoría do detalle está en función da lonxitude L da cartela.</p>	O grosor da cartela debe ser inferior á súa altura. En caso contrario, véxase a táboa 42.6.e, detalles 5 ou 6.
71	$50 < L \leq 80$ mm		
63	$80 < L \leq 100$ mm		
56	$L > 100$ mm		
71	$L > 100$ mm $\alpha < 45^\circ$	 <p>2) Cartelas longitudinais soldadas a chapas ou tubos.</p>	
80	$r > 150$ mm	 <p>3) Cartela con acordo de transición soldada en ángulo a unha chapa ou tubo; extremo do cordón de soldadura reforzado (penetración total); lonxitude do cordón reforzado $> r$.</p>	<p><u>Detalles 3) e 4):</u></p> <p>Acordo de transición executado mediante mecanización ou oxicorte da cartela antes de ser soldada, e posterior desbastamento da área de soldadura paralela á frecha ata eliminar por completo o pé do cordón transversal.</p>
90	$\frac{r}{L} \geq 1/3$ o $r > 150$ mm	 <p>4) Cartela soldada ao bordo dunha chapa ou ao da ala dunha viga.</p>	
71	$\frac{1}{6} \leq \frac{r}{L} \leq \frac{1}{3}$		
50	$\frac{r}{L} < \frac{1}{6}$		
	L: lonxitude da cartela como nos detalles 1, 2 ou 3.		
40	 <p>5) Unión soldada sen acordo de transición.</p>		
80	$t \leq 50$ mm	  <p>6) Cartelas soldadas a chapas. 7) Rixidizadores verticais de vigas unidos por soldadura. 8) Diafragmas de vigas caixón soldados ás alas ou ás almas. Para seccións pequenas, poden non ser viables. As categorías de detalle son tamén válidas para rixidizadores anulares.</p>	<p><u>Detalles 6) e 7):</u></p> <p>Os extremos dos cordóns deben ser coidadosamente desbastados para eliminar mordeduras. 7) Se o rixidizador remata na alma (parte esquerda da figura), $\Delta\sigma$ débese calcular empregando as tensións principais.</p>
71	$50 < t \leq 80$ mm		
80	 <p>9) Efecto debido aos conectadores de transmisión de cortante soldados sobre material base.</p>		

Táboa 42.6.e. Unións soldadas transmisoras de forza

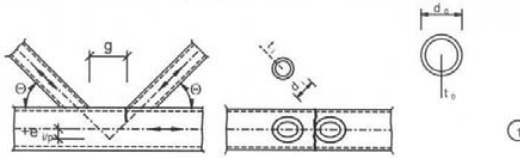
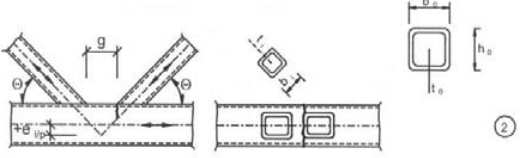
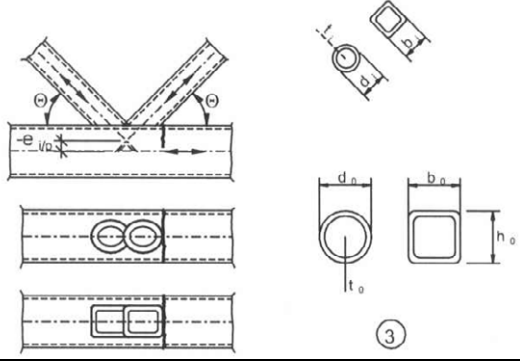
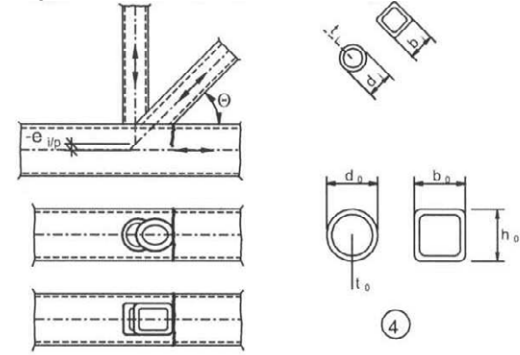
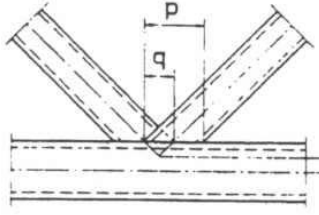
Categoría de detalle	Detalle construtivo	Descrición	Requisitos
80	$l \leq 50$ mm, todo t		<p><u>Unións en cruz e en T:</u></p> <p>1) Fisuración do pé de cordón en soldaduras a tope con penetración total e en todas as soldaduras con penetración parcial.</p> <p>2) Para calcular $\Delta\sigma$ deberán empregarse as tensións nominais modificadas.</p> <p>3) En unións con penetración parcial son necesarias dúas comprobacións a fatiga: unha para a fisuración da raíz da unión coas tensións definidas na sección 5 e coas categorías de detalle 36 para σ_w e 80 para τ_w, e outra para a fisuración do pé de cordón co valor de $\Delta\sigma$ correspondente á chapa que transmite a carga.</p> <p><u>Detalles 1) a 3):</u></p> <p>O desaliniamento das chapas cargadas non tería que superar o 15% do grosor da interposta.</p>
71	50 mm $< l \leq 80$ mm, todo t		
63	80 mm $< l \leq 100$ mm, todo t		
56	100 mm $< l \leq 120$ mm, todo t		
56	$l > 120$ mm, $t > 20$ mm		
50	120 mm $< l \leq 200$ mm, $t > 20$ mm $l > 200$ mm, 20 mm $< t \leq 30$ mm		
45	200 mm $< l \leq 300$ mm, $t > 30$ mm $l > 300$ mm, 30 mm $< t \leq 50$ mm		
40	$l > 300$ mm, $t > 50$ mm		
Como o detalle 1 da táboa 42.6.e	<p>Chapa flexible</p> 	2) Fisuración de pé de cordón desde os extremos da soldadura, con concentración de tensións debida á flexibilidade da chapa.	
36*		3) Fisuración da raíz da unión en unións en ángulo e en unións a tope en T con penetración parcial ou con penetración total efectiva.	
Como o detalle 1 da táboa 42.6.e	 <p>Área da chapa principal sometida a tensións: pendiente = 1/2</p>	<p><u>Unións por solapamento soldadas:</u></p> <p>4) Unións por solapamento con soldaduras en ángulo.</p>	4) Na chapa principal, $\Delta\sigma$ calcularase empregando a área indicada na figura. 5) $\Delta\sigma$ débese calcular nas chapas exteriores. <u>Detalles 4) e 5):</u>
45*		<p><u>Unións por solapamento soldadas:</u></p> <p>5) Unións por solapamento con soldaduras en ángulo.</p>	<p>- Extremos da soldadura a máis de 10 mm do bordo da chapa principal.</p> <p>- A fisuración por cortante dos cordóns débese comprobar como detalle 8.</p>

	$t_c < t, t \leq 20 \text{ mm}$			
56*	$t_c < t, 20 \text{ mm} < t \leq 30 \text{ mm}$ $t_c \geq t, t \leq 20 \text{ mm}$		<p><u>Platabandas en vigas e vigas armadas:</u></p> <p>6) Extremos de platabandas simples ou múltiples, soldadas con ou sen cordón no bordo frontal.</p>	<p>6) Se a platabanda é máis ancha que a ala, é necesario un cordón de soldadura no bordo frontal coidadosamente desbastado para eliminar mordeduras. A lonxitude mínima da platabanda é de 300 mm. Para lonxitudes menores, o efecto do tamaño é o do detalle 1).</p>
50	$t_c < t, 30 \text{ mm} < t \leq 50 \text{ mm}$ $t_c \geq t, 20 \text{ mm} < t \leq 30 \text{ mm}$			
45	$t_c < t, t > 50 \text{ mm}$ $t_c \geq t, 30 \text{ mm} < t \leq 50 \text{ mm}$			
40	$t_c < t, t \leq 20 \text{ mm}$			
36	$t_c < t, 20 \text{ mm} < t \leq 30 \text{ mm}$ $t_c \geq t, t \leq 20 \text{ mm}$			
	$t_c < t, t \leq 20 \text{ mm}$			
56	Cordón frontal reforzado		<p>7) Platabandas en vigas e vigas armadas.</p> <p>A lonxitude do reforzo ha de ser superior a $5t_c$.</p>	<p>7) O cordón do bordo frontal enrasado con moa. Tamén o extremo da platabanda, cunha pendente $< 1/4$, se $t_c > 20 \text{ mm}$.</p>
80 m = 5			<p>8) Soldadura continua en ángulo con transmisión de esforzos rasantes, como no caso das unións ala-ala en vigas armadas.</p> <p>Unións por solapamento con soldaduras en ángulo.</p> <p>9) Unións por solapamento con soldaduras en ángulo.</p>	<p>8) $\Delta\tau$ débese calcular para a sección de garganta do cordón.</p> <p>9) $\Delta\tau$ débese calcular para a sección de garganta considerando toda a lonxitude do cordón, cuxo extremo debe distar máis de 10 mm do bordo da chapa. Véxanse tamén os detalles 4) e 5).</p>
90 m = 8 Véxase EN 1994-2			<p><u>Conectores soldados para transmisión de cortante:</u></p> <p>10) Para estruturas mixtas.</p>	<p>10) $\Delta\tau$ débese calcular para a sección nominal do perno do conector.</p>
71			<p>11) Unión tubo-bridada co 80% de soldaduras a tope e penetración total.</p>	<p>11) O pé da soldadura débese desbastar e $\Delta\sigma$ débese calcular para o tubo.</p>
40			<p>12) Unión tubo-bridada con soldaduras en ángulo.</p>	<p>12) $\Delta\sigma$ calculado para o tubo.</p>

Táboa 42.6.f. Perfís ocos ($t \leq 12,5$ mm)

Categoría de detalle	Detalle construtivo	Descrición	Requisitos
71		1) Unións tubo-chapa con esmagamento do extremo do tubo, biselado de bordos en X e soldadura a tope.	1) $\Delta\sigma$ débese calcular para o tubo. Diámetro do tubo inferior a 200 mm.
71		2) Unións tubo-chapa soldadas ao longo de ranuras de inserción da chapa no tubo rematadas con trades.	2) $\Delta\sigma$ débese calcular para o tubo. A fisuración por cortante da soldadura débese comprobar como detalle 8, táboa 42.6.e.
63			
71		<u>Soldaduras a tope con cordóns frontais</u> 3) Empalmes en prolongación extremo-extremo entre perfís circulares ocos con soldaduras a tope.	<u>Detalles 3) e 4)</u> - Cordóns con sobregrosor inferior ao 10% da largura e transición gradual. - Execución da soldadura en posición horizontal, verificación mediante inspección e ausencia de defectos fóra de tolerancia segundo a norma UNE-ENV 1090-2. - Para $t > 8$ mm, a categoría de detalle aumenta en dous graos.
56		4) Empalmes en prolongación extremo-extremo entre perfís rectangulares ocos con soldaduras a tope.	
71		<u>Conexións mediante soldadura:</u> 5) Perfís ocos circulares ou rectangulares unidos a outros perfís mediante soldaduras en ángulo.	5) - Soldaduras que non transmitan carga. - Dimensión paralela á dirección das tensións ≤ 100 mm. - Para outros casos, véxase a táboa 42.6.d
50		<u>Empalmes en prolongación soldados:</u> 6) Empalmes en prolongación extremo-extremo entre perfís circulares ocos mediante soldadura a tope con chapa interposta.	<u>Detalles 6) e 7)</u> - Soldaduras que transmitan carga. - Verificación de soldaduras mediante inspección e ausencia de defectos fóra de tolerancia segundo a norma UNE-ENV 1090-2. - Para $t > 8$ mm, a categoría de detalle aumenta nun grao.
45		7) Empalmes en prolongación extremo-extremo entre perfís rectangulares ocos mediante soldadura a tope con chapa interposta.	
40		8) Empalmes en prolongación extremo-extremo entre perfís circulares ocos mediante soldadura en ángulo con chapa interposta.	<u>Detalles 8) e 9)</u> - Soldaduras transmisoras de carga. - Grososores de parede $t \leq 8$ mm.
36		9) Empalmes en prolongación extremo-extremo entre perfís rectangulares ocos mediante soldadura en ángulo con chapa interposta.	

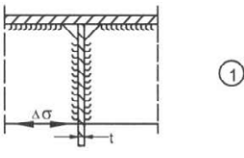
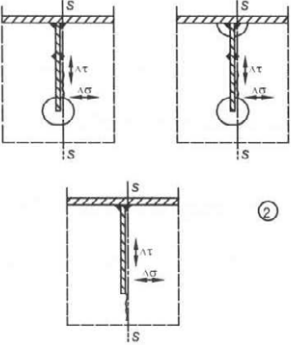
Táboa 42.6.g. Nós de celosías

Categoría de detalle	Detalle construtivo	Requisitos
90 m = 5	Unións con separación: Detalle 1): Nós en K e en N, perfis circulares ocos: 	Detalles 1) e 2) - Comprobacións por separado de cordóns e riestas. - Para valores do cociente t_0/t_i comprendidos entre 1 e 2, a categoría de detalle pódese obter por interpolación lineal. - Admítase soldadura en ángulo para riestas con grosor de parede $t \leq 8$ mm. t_0 e $t_i \leq 8$ mm $35^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$
45 m = 5	$\frac{t_0}{t_i} \geq 2,0$	$b_0/t_0 \cdot t_0/t_i \leq 25$ $d_0/t_0 \cdot t_0/t_i \leq 25$ $0,4 \leq b_0/b_0 \leq 1,0$ $0,25 \leq d_0/d_0 \leq 1,0$ $b_0 \leq 200$ mm $d_0 \leq 300$ mm - $0,5 h_0 \leq l_{ip} \leq 0,25 h_0$ - $0,5 d_0 \leq l_{ip} \leq 0,25 d_0$ $e_{o/p} \leq 0,02 b_0$ ou $\leq 0,02 d_0$ ($e_{o/p}$ é a excentricidade fóra do plano)
71 m = 5	Unións con separación: Detalle 2): Nós en K e en N, perfis rectangulares ocos: 	Detalle 2) $0,5 (b_0 - b_i) \leq g \leq 1,1 (b_0 - b_i)$ $e \geq 2 t_0$
36 m = 5	$\frac{t_0}{t_i} \geq 1,0$	Unións con solapamento: Detalle 3): Nós en K e en N, perfis circulares ocos: 
71 m = 5	$\frac{t_0}{t_i} \geq 1,4$	Detalles 3) e 4) - $30\% \leq \text{solapamento} \leq 100\%$ - $\text{solapamento} = (q/p) \times 100\%$ - Comprobacións por separado de cordóns e riestas. - Para valores do cociente t_0/t_i comprendidos entre 1 e 1,4, a categoría de detalle pódese obter por interpolación lineal. - Admítase a soldadura en ángulo para riestas con grosor de parede $t \leq 8$ mm. t_0 e $t_i \leq 8$ mm $35^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ $b_0/t_0 \cdot t_0/t_i \leq 25$ $d_0/t_0 \cdot t_0/t_i \leq 25$ $0,4 \leq b_0/b_0 \leq 1,0$ $0,25 \leq d_0/d_0 \leq 1,0$ $b_0 \leq 200$ mm $d_0 \leq 300$ mm - $0,5 h_0 \leq l_{ip} \leq 0,25 h_0$ - $0,5 d_0 \leq l_{ip} \leq 0,25 d_0$ $e_{o/p} \leq 0,02 b_0$ ou $\leq 0,02 d_0$ ($e_{o/p}$ é a excentricidade de empenamento) Definicións de p e q:
56 m = 5	$\frac{t_0}{t_i} = 1$	$b_0/t_0 \cdot t_0/t_i \leq 25$ $d_0/t_0 \cdot t_0/t_i \leq 25$ $0,4 \leq b_0/b_0 \leq 1,0$ $0,25 \leq d_0/d_0 \leq 1,0$ $b_0 \leq 200$ mm $d_0 \leq 300$ mm - $0,5 h_0 \leq l_{ip} \leq 0,25 h_0$ - $0,5 d_0 \leq l_{ip} \leq 0,25 d_0$ $e_{o/p} \leq 0,02 b_0$ ou $\leq 0,02 d_0$ ($e_{o/p}$ é a excentricidade de empenamento)
71 m = 5	$\frac{t_0}{t_i} \geq 1,4$	Unións con solapamento: Detalle 4): Nós en K e en N, perfis rectangulares ocos: 
50 m = 5	$\frac{t_0}{t_i} = 1$	Definicións de p e q: 

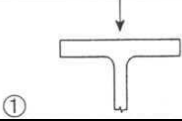
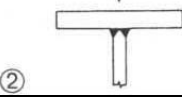
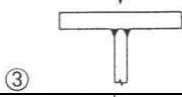
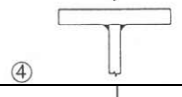
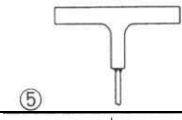
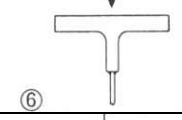
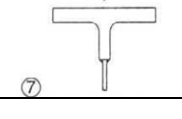
Táboa 42.6.h. Taboleiros ortótropos con longueiros cerrados

Categoría de detalle	Detalle construtivo		Descrición	Requisitos
80	$t \leq 12 \text{ mm}$		1) Longueiro continuo lonxitudinal con orificios nas viguetas.	1), 2), 3) e 4) Comprobación baseada na carreira $\Delta\sigma$ de tensións normais do longueiro lonxitudinal.
71	$t > 12 \text{ mm}$			
80	$t \leq 12 \text{ mm}$		2) Longueiro continuo lonxitudinal sen orificios nas viguetas.	
71	$t > 12 \text{ mm}$			
36			3) Longueiro lonxitudinal descontinuo, interrompido polas viguetas.	
71			4) Empalme de longueiros mediante soldadura a tope con penetración total e chapa dorsal.	
112	Como os detalles 1, 2, 4 da táboa 42.6.c.		5) Empalme de longueiros mediante soldadura a tope sen chapa dorsal, con soldadura por ambos os lados e penetración total.	5) Comprobación baseada na carreira $\Delta\sigma$ de tensións normais do longueiro. Puntos de soldadura na zona a ocupar pola soldadura a tope.
90	Como os detalles 5, 7 da táboa 42.6.c.			
80	Como os detalles 9, 11 da táboa 42.6.c.			
71			6) Sección crítica na alma das viguetas debido aos orificios.	6) Comprobación baseada na carreira de tensións da sección crítica tendo en conta o efecto Vierendeel. Pódese utilizar a categoría de detalle 112 se a carreira de tensións se calcula segundo a norma EN 1993-2, 9.4.4.4(3).
71		$\Delta\sigma = \frac{\Delta M_w}{W_w}$	Unión soldada entre chapas de taboleiro e longueiros de sección trapezoidal ou en V.	7) Comprobación baseada na carreira de tensións normais debidas á flexión da chapa.
50			7) Soldaduras con penetración parcial e $a \geq t$.	
			8) Soldaduras en ángulo ou soldaduras con penetración parcial fóra dos límites do detalle 7).	8) Comprobación baseada na carreira de tensións normais debidas á flexión da chapa.

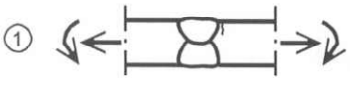
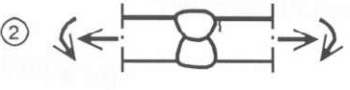
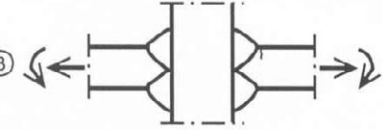
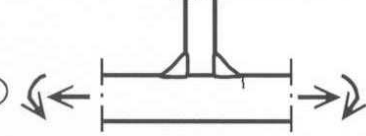
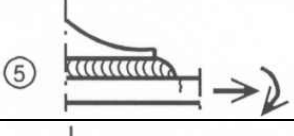
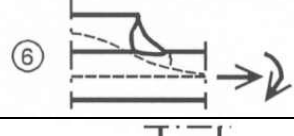
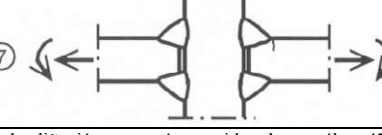
Táboa 42.6.i. Taboleiros ortótopos: Rixidizadores lonxitudinais con longueiros abertos

Categoría de detalle	Detalle construtivo		Descrición	Requisitos
80	$t \leq 12 \text{ mm}$		1) Unións de longueiros lonxitudinais con viguetas.	1) Comprobación baseada na carreira $\Delta\sigma$ de tensións normais do longueiro.
71	$t > 12 \text{ mm}$			
56			2) Unións de longueiros lonxitudinais continuos con viguetas. $\Delta\sigma = \frac{\Delta M_s}{W_{net,s}}$ $\Delta\tau = \frac{\Delta V_s}{A_{w,net,s}}$ Comprobar tamén a carreira de tensións entre longueiros segundo a definición da norma EN 1993-2.	2) Comprobación baseada na carreira equivalente de tensións: $\Delta\sigma_{eq} = \frac{1}{2} \left(\Delta\sigma + \sqrt{\Delta\sigma^2 + 4\Delta\tau^2} \right)$ resultante de combinar as carreiras de tensións normais $\Delta\sigma$ e tanxenciais $\Delta\tau$ da alma da vigueta.

Táboa 42.6.j. Unións ala superior-alma de vigas carril

Categoría de detalle	Detalle construtivo	Descrición	Requisitos
160		1) Perfis laminados con seccións en I ou H.	1) e 2) Carreira $\Delta\sigma_{\text{vert}}$ de tensións verticais de compresión na ala por carga de rodas.
71		2) Unión con soldaduras a tope en T e penetración total.	
36*		3) Unión con soldaduras a tope en T e penetración parcial ou penetración total efectiva segundo a norma EN 1993-1-8.	3) e 4) Carreira $\Delta\sigma_{\text{vert}}$ de tensións na garganta dos cordóns por compresión vertical debida á carga de rodas.
36*		4) Soldaduras en ángulo.	
71		5) Unión á ala de sección en T mediante soldaduras a tope en T con penetración total.	5) Carreira de tensións $\Delta\sigma_{\text{vert}}$ verticais de compresión na ala por carga de rodas.
36*		6) Unión á ala de sección en T mediante soldaduras a tope en T con penetración parcial ou con penetración total efectiva segundo a norma EN 1993-1-8.	6) e 7) Carreira $\Delta\sigma_{\text{vert}}$ de tensións na garganta dos cordóns por compresión vertical debida á carga de rodas.
36*		7) Unión á ala de sección en T mediante soldaduras en ángulo.	

Táboa 42.6.k. Detalles con fortes gradientes de tensión (categorías de detalle para tensións xeométricas)

Categoría de detalle	Detalle construtivo	Descrición	Requisitos
112		1) Soldaduras a tope con penetración total.	1) - Todas as soldaduras enrasadas coas superficies unidas por puidura paralela á dirección da frecha. - Utilización e posterior retirada de chapas de derramo, e nivelamento de bordos de chapa con moa na dirección da tensión. - Soldadura por ambos os lados e verificación mediante END. - Para desaliñamentos, véxase a nota 1.
100		1) Soldaduras a tope con penetración total.	2) - Soldaduras sen puidura de nivelamento. - Utilización e posterior retirada de chapas de derramo, e nivelamento de bordos de chapa con moa na dirección da tensión. - Soldadura por ambos os lados e verificación mediante END. - Para desaliñamentos, véxase a nota 1.
100		3) Unión en cruz con soldaduras a tope en K e penetración total.	3) - Ángulo pé cordón $\leq 60^\circ$. - Para desaliñamentos, véxase a nota 1.
100		4) Soldaduras en ángulo non transmisoras de carga.	4) - Ángulo pé cordón $\leq 60^\circ$. - Véxase tamén a nota 2.
100		5) Extremos con escuadra e extremos de rixidizadores lonxitudinais.	5) - Ángulo pé cordón $\leq 60^\circ$. - Véxase tamén a nota 2.
100		6) Extremos de platabandas e unións afíns.	6) - Ángulo pé cordón $\leq 60^\circ$. - Véxase tamén a nota 2.
90		7) Unións en cruz con soldaduras en ángulo transmisoras de carga.	7) - Ángulo pé cordón $\leq 60^\circ$. - Para desaliñamentos, véxase a nota 1. - Véxase tamén a nota 2.

Nota 1: As faltas de aliñación non están consideradas na táboa 42.6.k e débense incorporar explicitamente no cálculo de tensións.
Nota 2: A táboa 42.6.k non é aplicable a fisuras con iniciación na raíz das soldaduras e propagación a través da garganta.

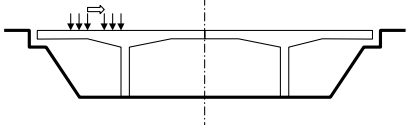
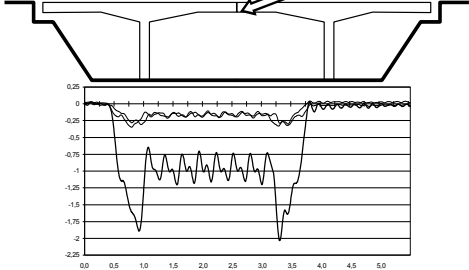
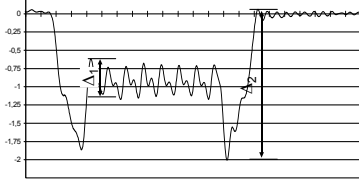
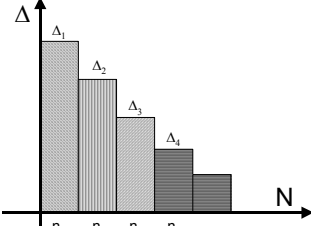
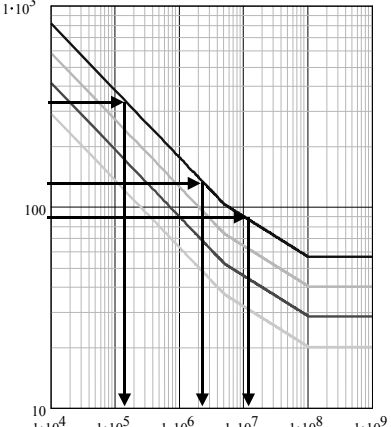
Identificación dos ciclos de carga básicos.	
Selección dos detalles a comprobar e cálculo de tensións en cada un.	
Determinación das carreiras de tensións e do número de veces que se repite cada unha na vida útil da estrutura.	
Representación do espectro de carreiras de tensións.	
Utilización da curva S-N do detalle para calcular o número \tilde{N} de ciclos de fallo de cada carreira de tensión.	
Comprobación da seguridade a fatiga (regra de Palmgren-Miner).	$D_d = \sum \frac{n_i}{\tilde{N}_i} = \frac{n_1}{\tilde{N}_1} + \frac{n_2}{\tilde{N}_2} + \frac{n_3}{\tilde{N}_3} + \dots \leq 1$

Figura 42.6.c. Etapas para efectuar a comprobación da seguridade a fatiga

CAPÍTULO XII

PROXECTO DE ESTRUTURAS DE ACEIRO FRONTE AO INCENDIO

Artigo 43 Consideracións xerais

43.1. Bases

Este capítulo establece os criterios que se aplicarán no proxecto de estruturas de aceiro de edificación para verificar a súa capacidade portante baixo a acción dun incendio, considerado como unha “situación accidental”, para efectos de seguridade estrutural.

Quedan excluídos do ámbito de aplicación deste capítulo os establecementos regulados por normativa específica do Ministerio de Defensa, os establecementos con instalacións cuxa vixilancia lle corresponda ao Consello de Seguridade Nuclear, e os establecementos a que se refire a lexislación mineira.

43.2. Acción de incendio a considerar no proxecto de estruturas de aceiro en edificación

Os modelos da acción de incendio admitidos por esta instrución para o proxecto de estruturas de aceiro en edificación consideran só os seus efectos sobre a estabilidade ou capacidade portante, e non outros aspectos do seu comportamento ante o lume regulados por outras normas de construción, como por exemplo a estanquidade ao lume, a capacidade de illamento térmico, etc., que, chegado o caso, puidese ser exigible. Polo tanto, a aplicación deste articulado restrínxese ao caso, normal no proxecto de edificios con estruturas de aceiro, de que se lles asignen a outros elementos construtivos esas prestacións distintas dos aspectos puramente resistentes.

A acción de incendio ou acción térmica defínese polo fluxo de calor que incide sobre as superficies dos elementos de estrutura expostas ao lume.

Dependendo do “lume de cálculo” adoptado, débense utilizar os seguintes procedementos:

- Coa curva normalizada tempos-temperaturas definida por CTE, a análise térmica dos elementos estruturais efectúase para un período de tempo especificado.
- Con outro modelo de incendio, a análise térmica dos elementos estruturais realízase para o proceso completo do incendio.

Salvo que as instrucións ou normas de accións vixentes indiquen o contrario, adoptaranse para os incendios os modelos incluídos no anexo 8.

43.3. Procedementos de comprobación da seguridade das estruturas de aceiro ante o incendio

Os procedementos de comprobación da seguridade das estruturas de aceiro ante o incendio explicitamente incluídos nesta instrución pertencen á categoría dos modelos de cálculo catalogados como “simplificados”, que son métodos de cálculo baseados en hipóteses apropiadas para a súa aplicación a elementos estruturais simples, ou pequenos subconxuntos deles.

Artigo 44 Accións mecánicas e indirectas concomitantes co incendio

Para as accións mecánicas adoptaranse os valores de cálculo correspondentes a unha situación accidental segundo os artigos 11, 12 e 13:

$$\Sigma G_{k,j} + \Psi_{1,1} Q_{k,1} + \Sigma \Psi_{2,i} Q_{k,j}$$

Artigo 45 Propiedades dos materiais sometidos á acción do incendio

Os números seguintes definen os valores de cálculo a adoptar nos modelos formulados por esta instrución, para diversas características mecánicas e térmicas dos materiais empregados. Algúns dos ditos valores son cantidades calibradas para axustar os resultados de aplicación dos ditos modelos, englobando empiricamente a incidencia de aspectos que transcenden do fenómeno puro referido na denominación literal de cada magnitude ou parámetro. Polo tanto, non se poden utilizar fóra do contexto en que se inclúen.

45.1. Características mecánicas dos aceiros estruturais

Para as comprobacións resistentes en situación de incendio, adoptárase $\gamma_{M,fi} = 1$ como coeficiente parcial para a resistencia do aceiro, definida neste número.

Para a súa aplicación nos procedementos de comprobación resistente definidos neste capítulo, deberanse adoptar os seguintes coeficientes correctores das características mecánicas do aceiro estrutural, en función da temperatura alcanzada por este (θ_a):

$k_{y,\theta} = f_{y,\theta} / f_y$ Cociente entre o límite elástico efectivo para a temperatura (θ_a) e o límite elástico a 20 °C.

$k_{E,\theta} = E_{a,\theta} / E_a$ Cociente entre o módulo de elasticidade na fase lineal do diagrama tensión-deformación, para a temperatura (θ_a) e o módulo de elasticidade a 20 °C.

Os valores destes coeficientes débense tomar da táboa 45.1, na cal se admite interpolar linealmente. A aplicación destes coeficientes é válida de se aplicaren os modelos de cálculo simplificado das temperaturas do aceiro recollidos nesta instrución, ou outros procedementos admitidos por ela, pero neste segundo caso cómpre verificar que a velocidade de incremento de temperatura se manteña entre os límites $2 \leq d\theta_a/dt \leq 50$ °C/minuto.

Na mesma táboa consta tamén o parámetro seguinte:

$k_{p,\theta} = f_{p,\theta} / f_y$ Cociente entre o límite de proporcionalidade para a temperatura (θ_a) e o límite elástico a 20 °C.

Xunto cos anteriores, este parámetro intervéñen na formulación do seguinte diagrama tensión (σ) - deformación (ϵ) uniaxial, que se pode adoptar de se empregaren métodos de cálculo avanzados.

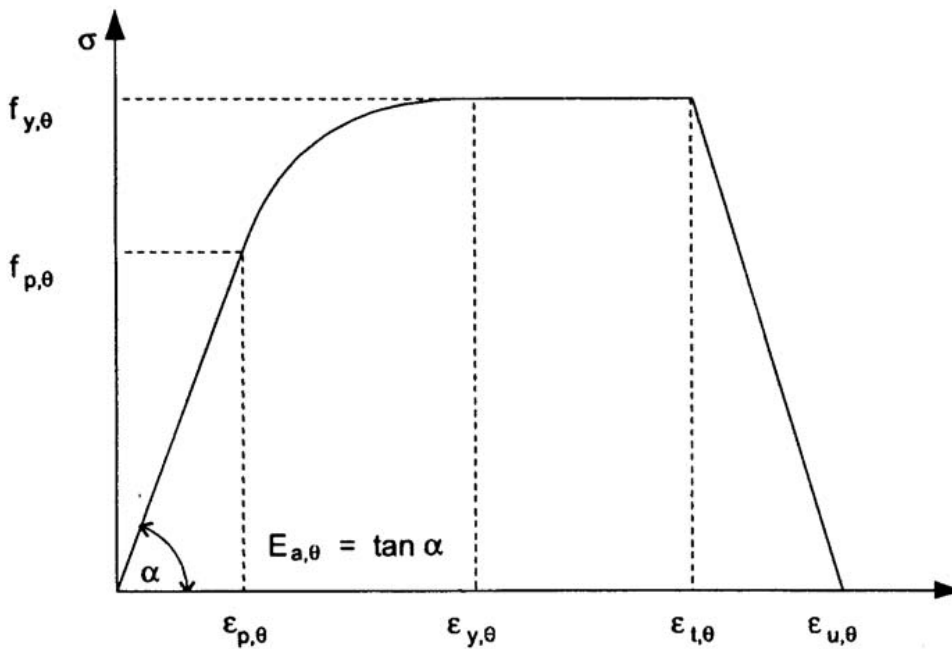


Figura 45.1

Para $0 \leq \epsilon \leq \epsilon_{p,\theta} = f_{p,\theta}/E_{a,\theta}$:	$\epsilon = \sigma/E_{a,\theta}$
Para $\epsilon_{p,\theta} \leq \epsilon \leq \epsilon_{y,\theta} = 0,02$:	$\epsilon = \sigma/E_{a,\theta} + (\epsilon_{y,\theta} - f_{y,\theta}/E_{a,\theta}) \{1 - \sqrt{[1 - (\sigma - f_{p,\theta})^2 / (f_{y,\theta} - f_{p,\theta})^2]}\}$
Para $\epsilon_{y,\theta} \leq \epsilon \leq \epsilon_{t,\theta} = 0,15$:	$\sigma = f_{y,\theta}$
Para $\epsilon_{t,\theta} \leq \epsilon \leq \epsilon_{u,\theta} = 0,20$:	$\sigma = f_{y,\theta} [1 - (\epsilon - \epsilon_{t,\theta}) / (\epsilon_{u,\theta} - \epsilon_{t,\theta})]$
Para $\epsilon = \epsilon_{u,\theta}$:	$\sigma = 0$

Táboa 45.1. Coeficientes de corrección coa temperatura das características mecánicas dos aceiros estruturais ao carbono.

θ_a	$k_{y,a} = f_{y,a}/f_y$	$k_{p,a} = f_{p,a}/f_y$	$k_{E,a} = E_{a,a}/E_a$
20°C	1,000	1,000	1,000
100°C	1,000	1,000	1,000
200°C	1,000	0,807	0,900
300°C	1,000	0,613	0,800
400°C	1,000	0,420	0,700
500°C	0,780	0,360	0,600
600°C	0,470	0,180	0,310
700°C	0,230	0,075	0,130
800°C	0,110	0,050	0,090
900°C	0,060	0,0375	0,0675
1000°C	0,040	0,0250	0,0450
1100°C	0,020	0,0125	0,0225
1200°C	0,000	0,0000	0,0000

Outras propiedades físicas dos aceiros estruturais ao carbono:

Coeficiente de dilatación lineal de orixe térmica, $\alpha_\theta = \Delta L(\theta_a)/L(20\text{ }^\circ\text{C})$, sendo L a lonxitude do elemento a 20 °C e $\Delta L(\theta_a)$ a dilatación inducida nel, en función da temperatura (θ_a):

$$\text{Para } 20\text{ }^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 750\text{ }^\circ\text{C}: \quad \alpha_\theta = 1,2 \times 10^{-5} \theta_a + 0,4 \times 10^{-8} \theta_a^2 - 2,416 \times 10^{-4}$$

$$\text{Para } 750\text{ }^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 860\text{ }^\circ\text{C}: \quad \alpha_\theta = 1,1 \times 10^{-2}$$

$$\text{Para } 860\text{ }^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 1200\text{ }^\circ\text{C}: \quad \alpha_\theta = 2 \times 10^{-5} \theta_a - 6,2 \times 10^{-3}$$

En procedementos simplificados, pódese considerar unha relación lineal entre a dilatación e a temperatura utilizando o coeficiente:

$$\alpha_\theta = 14 \times 10^{-6} (\theta_a - 20)$$

Calor específica c_a en J/(kg °K), variable coa temperatura (θ_a):

$$\text{Para } 20\text{ }^\circ\text{C} \leq \theta_a < 600\text{ }^\circ\text{C}: \quad c_a = 425 + 0,773 \theta_a - 1,69 \times 10^{-3} \theta_a^2 + 2,22 \times 10^{-6} \theta_a^3$$

$$\text{Para } 600\text{ }^\circ\text{C} \leq \theta_a < 735\text{ }^\circ\text{C}: \quad c_a = 666 + 13002/(738 - \theta_a)$$

$$\text{Para } 735 \text{ }^{\circ}\text{C} \leq \theta_a < 900 \text{ }^{\circ}\text{C}: \quad c_a = 545 + 17820/(\theta_a - 731)$$

$$\text{Para } 900 \text{ }^{\circ}\text{C} \leq \theta_a \leq 1200 \text{ }^{\circ}\text{C}: \quad c_a = 650$$

En procedementos simplificados, pódese considerar a calor específica independente da temperatura, tomando o valor:

$$c_a = 600 \text{ J/(kg }^{\circ}\text{K)}$$

Conductividade térmica λ_a en W/(m $^{\circ}\text{K}$), variable coa temperatura (θ_a):

$$\text{Para } 20 \text{ }^{\circ}\text{C} \leq \theta_a < 800 \text{ }^{\circ}\text{C}: \quad \lambda_a = 54 - 0,0333 \theta_a$$

$$\text{Para } 800 \text{ }^{\circ}\text{C} \leq \theta_a \leq 1200 \text{ }^{\circ}\text{C}: \quad \lambda_a = 27,3$$

En procedementos simplificados, pódese considerar a conductividade térmica independente da temperatura, tomando o valor:

$$\lambda_a = 45 \text{ W/(m }^{\circ}\text{K)}$$

45.2. Propiedades dos materiais de protección

As propiedades dos materiais de protección introdúcense nos cálculos de artigos posteriores mediante diversas magnitudes, en xeral dependentes da temperatura; cando por simplificación da notación a dita dependencia non se explicita, deberase sobreentender, de ser o caso. Por esta dependencia da temperatura, entre outras razóns, non son en absoluto aplicables nos modelos de cálculo deste capítulo valores usuais a temperatura ambiente das ditas magnitudes:

- λ_p Conductividade térmica convencional, en W/(m $^{\circ}\text{K}$), diferente da conductividade térmica intrínseca, a causa de fenómenos diferentes da propia conducción térmica englobados empiricamente no dito parámetro, tales como posibles resistencias de contacto entre o aceiro e a protección, fisuras e transformacións durante o proceso, etc.
- c_p Calor específica convencional, en J/(kg $^{\circ}\text{K}$).

As ditas magnitudes, e outras derivadas delas, aféctanse do subíndice “k” cando teñen consideración de valores característicos, e co subíndice “d” cando interveñen como valores de cálculo, cos criterios de seguridade que se definen en 48.3.

Outras propiedades dos materiais de protección que se consideran no articulado son:

- ρ_p Densidade, en kg/m³.
- Δt_p “Tempo de atraso” de materiais de protección cun contido permanente de humidade (véxase 48.2).
- P Porcentaxe de humidade máxima admitida nos cálculos.

$r_{p,ef}$ "Resistividade térmica efectiva" definida en 48.2.

Os valores característicos de todas estas magnitudes poden proceder da biografía dispoñible sobre materiais xenéricos, pero só os recollidos para tal efecto na táboa 45.2. A mención dun determinado material de protección na dita táboa non impide a utilización nos cálculos de valores máis favorables que os dados nela, sempre que a súa orixe sexa experimental e de acordo cos criterios e condicións dos casos a), b) ou c) de 48.3.

Táboa 45.2. Valores característicos de propiedades convencionais de materiais de protección xenéricos.

Material	λ_{pk} W/(m °K)	C_{pk} J/(kg °K)	ρ_{pk} kg/m ³	P_k % peso
Granito, mármore.	2,40	900	2800	0
Formigón de densidade normal con árido silíceo (¹).	1,60	1000	2300	0
Formigón de densidade normal con árido calcario (²).	1,30	1000	2300	0
Fábrica de ladrillo cerámico con argamasa de cemento.	1,15	1000	1450	0
Formigón lixeiro, segundo a súa densidade.	0,80 (³)	840	1600	2
	0,65	850	1300	2
	0,50	800	1000	2
	0,35	800	700	2
Placas de xeso.	0,20	1700	800	20
Argamasa proxectada de vermiculita ou perlita con cemento.	0,12	1100	350-550	2
Argamasa proxectada de vermiculita ou perlita con xeso.	0,12	1100	650	2
Placas de base silicatada en xeral.	0,15	1200	600	3
Placas de perlita ou vermiculita con cemento.	0,20	1200	800	15
Fibra mineral proxectada.	0,12	1200	300	0

Material	λ_{pk} W/(m °K)	c_{pk} J/(kg °K)	ρ_{pk} kg/m ³	P_k % peso
La de rocha, la mineral.	0,20	1200	150	0

- (¹) No caso dos formigóns de densidade normal, se se require maior precisión, os valores anteriores pódense substituír polas expresións seguintes, variables coa súa temperatura (θ_c , en °C; para $20\text{ °C} \leq \theta_c \leq 1200\text{ °C}$):

Calor específica con calquera tipo de árido:

$$c_c = 900 + 80 (\theta_c/120) - 4 (\theta_c/120)^2$$

Conductividade térmica con árido silíceo: $\lambda_c = 2 - 0,24 (\theta_c/120) + 0,012 (\theta_c/120)^2$

Conductividade térmica con árido calcario: $\lambda_c = 1,6 - 0,16 (\theta_c/120) + 0,008 (\theta_c/120)^2$

- (³) Para formigóns lixeiros con ρ_c entre 1600 e 2000 kg/m³, pódese adoptar:

Para $20\text{ °C} \leq \theta_c \leq 800\text{ °C}$: $\lambda_c = 1,0 - \theta_c/1600$

Para $\theta_c > 800\text{ °C}$: $\lambda_c = 0,5\text{ W/(m °K)}$

Artigo 46 Comprobación resistente de elementos prismáticos sometidos á acción do incendio

Salvo aplicación dos procedementos expresados nos números 46.8, 46.8.1 e 46.8.2, a comprobación dos elementos prismáticos de aceiro sometidos á acción do incendio efectuarase seguindo o formato xeral seguinte:

$$E_{fi,d}/R_{fi,d,t} \leq 1, \text{ sendo:}$$

$E_{fi,d}$ Efectos da acción de incendio definida en 43.2, conxuntamente coas accións mecánicas concomitantes especificadas no artigo 44 deste capítulo, cos coeficientes parciais de seguridade indicados nel.

$R_{fi,d,t}$ Resistencias respectivas, supondo o elemento sometido á distribución de temperaturas (θ) no instante (t) do proceso de incendio.

$t = t_{fi,requ}$ Tempo de incendio normalizado requirido pola normativa en vigor, en edificios CTE.

De se utilizaren outros modelos de lume de cálculo (véxase 43.2), as resistencias ($R_{fi,d}$ sen referencia ao tempo t) corresponden á peor situación resistente do elemento sometido á distribución de temperaturas (θ) durante o proceso completo do incendio.

De os efectos a considerar ($E_{fi,d}$) se reduciren a un único esforzo ou solicitação ($S_{fi,d}$), ou varios non interactuantes entre si, simplemente se debe comprobar $S_{fi,d} \leq R_{fi,d,t}$ (solicitacións \leq resistencias respectivas). Para varios esforzos interactuantes, $E_{fi,d}/R_{fi,d,t} \leq 1$ representa a fórmula de interacción aplicable en cada caso. As resistencias $R_{fi,d,t}$ defínense nos números posteriores (46.1 ata 46.6).

Como alternativa, sempre que se reúnan as condicións sinaladas nos números 46.8, 46.8.1, 46.8.2, pódese efectuar a comprobación resistente no dominio das temperaturas:

$$\theta_{a,t} / \theta_{a,cr} \leq 1$$

sendo $\theta_{a,t}$ a temperatura homoxénea alcanzada no aceiro unha vez transcorrido o tempo $t = t_{fi,requ}$ e $\theta_{a,cr}$ o seu valor crítico de acordo co especificado nos ditos números. De se utilizaren outros modelos de lume de cálculo, a temperatura, θ_a (sen referencia ao tempo t), corresponde á máxima do elemento durante o proceso completo do incendio.

46.1. Clasificación das seccións transversais

Para a comprobación resistente en situación de incendio, débese volver a clasificar a sección nas catro clases de seccións transversais (1, 2, 3, 4) cos criterios do artigo 20, pero usando un valor reducido do parámetro:

$$\varepsilon = 0,85 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

sendo f_y o límite elástico a 20 °C, expresado en N/mm².

46.2. Elementos sometidos a esforzo axial de tracción

A resistencia de cálculo dunha sección solicitada en tracción pura e cunha temperatura uniforme ($\theta_{a,t}$) vén dada pola expresión:

$$N_{fi,\theta,Rd} = k_{y,\theta} N_{pl,Rd} (\gamma_{M0} / \gamma_{M,fi})$$

sendo:

$N_{pl,Rd}$	Resistencia plástica de cálculo da sección bruta solicitada en tracción pura a temperatura ambiente, definida nesta instrución.
$k_{y,\theta}$	Véxase 45.1.
$\gamma_{M0} / \gamma_{M,fi}$	Relación de coeficientes parciais para a resistencia do material, en caso de seren distintos nos cálculos en situación de incendio e a temperatura ambiente.

A resistencia de cálculo dunha sección solicitada en tracción pura e cunha distribución non homoxénea de temperatura nun instante dado (t) do proceso de incendio pódese calcular con carácter conservador aplicando a expresión anterior co valor de $k_{y,\theta}$ que corresponda á temperatura máxima da sección, ou ben, con maior precisión, da forma seguinte:

$$N_{fi,t,Rd} = \sum F_{x,\theta,i,Rd}$$

$$F_{x,\theta,i,Rd} = A_i k_{y,\theta,i} f_y / \gamma_{M,fi}$$

sendo:

A_i Área da sección parcial i -ésima dunha partición da sección tal que a temperatura de cada unha se poida asimilar a un valor uniforme no seu interior (θ_i), en cada instante do proceso, de acordo co indicado posteriormente.

Como partición válida da sección para o cálculo antedito, admítase calquera subdivisión en seccións parciais tal que a resultante de tensións de toda a sección, supostas iguais a $k_{y,\theta,i} f_y / \gamma_{M,fi}$ en cada punto, con $k_{y,\theta}$ función da temperatura correspondente (θ), non sexa inferior en máis dun 5% de $N_{pl,Rd}$ ao valor $\Sigma F_{x,\theta,i,Rd}$, en ningún instante do proceso.

46.3. Elementos sometidos a esforzo axial de compresión

A resistencia de cálculo a empenamento dun elemento solicitado por un esforzo de compresión cuxa sección, de área A , sexa de clase 1, 2 ou 3 tomarase igual a:

$$N_{b,fi,t,Rd} = \chi_{fi} A k_{y,\theta} f_y / \gamma_{M,fi}$$

sendo:

$k_{y,\theta}$ O valor que lle corresponda á temperatura uniforme ($\theta_{a,t}$) do elemento no instante (t) do proceso de incendio, ou ben á temperatura máxima cando a súa distribución non sexa homoxénea.

χ_{fi} Coeficiente de redución para o modo de empenamento considerado, obtido coa mesma expresión dada en 35.1.2. desta instrución para os cálculos a temperatura ambiente, salvo pola modificación dos parámetros seguintes:

$$\Phi = 0,5 [1 + \alpha \bar{\lambda}_\theta + \bar{\lambda}_\theta^2]$$

$\alpha = 0,65 (235/f_y)^{0,5}$ Coeficiente de imperfección para situación de incendio, en función de f_y , límite elástico a 20 °C, expresado en N/mm².

$\bar{\lambda}_\theta = \bar{\lambda} (k_{y,\theta}/k_{E,\theta})^{0,5}$ Esvelteza relativa empregada para os cálculos a temperatura ambiente, corrixida en función dos coeficientes $k_{y,\theta}$ e $k_{E,\theta}$ obtidos en 45.1 coa temperatura ($\theta_{a,t}$) no instante (t) do proceso de incendio considerado.

Ademais do anterior, a lonxitude de empenamento L_{fi} en situación de incendio pódese reducir con respecto á utilizada nos cálculos a temperatura ambiente se o soporte analizado pertence a un tramado arriostado con soportes continuos e tal que os tramos consecutivos non formen parte do mesmo "sector de incendio", de acordo coa sectorización utilizada no proxecto, podendo entón adoptarse para L_{fi} os valores correspondentes a unha peza biencastrada, salvo na última planta, en que se tomará a lonxitude de empenamento dunha peza encastrada-apoiada (véxase a figura 46.3).

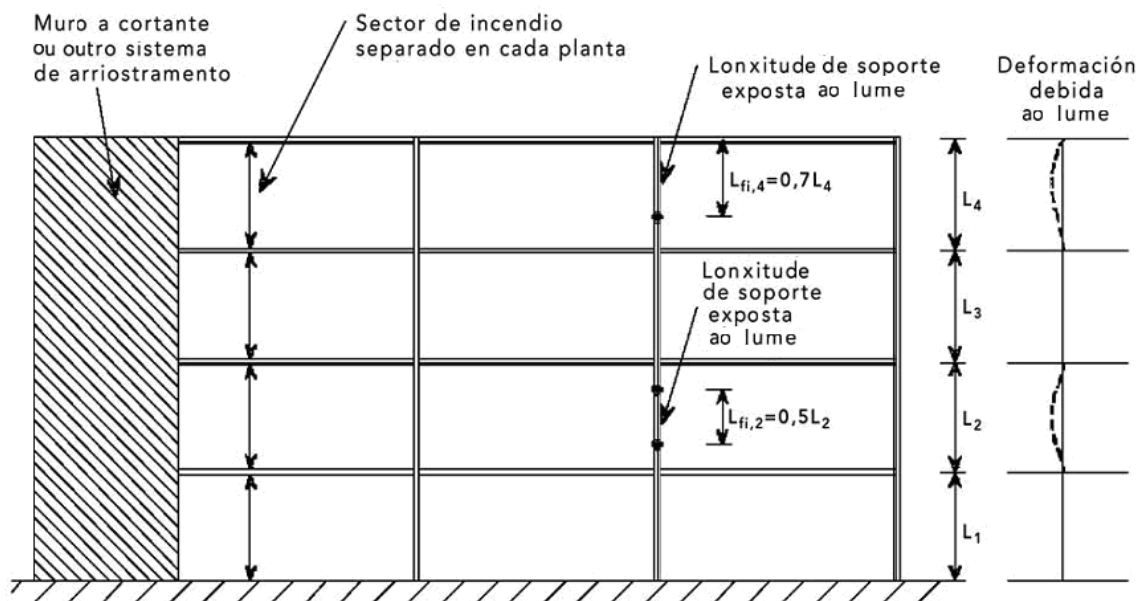


Figura 46.3. Longitudes de empenamento L_{fi} de soportes de pórticos arriostados de nós ríxidos, con sectores de incendio que non abarquen máis dunha planta.

46.4. Vigas arriostadas fronte ao empenamento lateral

A comprobación resistente en situación de incendio dunha sección de clase 1, 2 ou 3 solicitada en flexión simple, co empenamento lateral coaccionado, efectuarase coas solicitacións $V_{fi,Ed}$ e $M_{fi,Ed}$ determinadas cos coeficientes parciais definidos no artigo 44 deste capítulo, e tendo avaliada previamente a súa distribución de temperaturas nun instante dado (t) do proceso de incendio segundo os criterios dados neste capítulo da instrución.

A resistencia de cálculo á flexión dunha sección de clase 1, 2 ou 3 co empenamento lateral coaccionado e cunha temperatura uniforme ($\theta_{a,t}$) vén dada pola expresión:

$$M_{fi,\theta,Rd} = k_{y,\theta} M_{V,Rd} (Y_{M0}/Y_{M,fi})$$

sendo:

$M_{V,Rd}$ Momento último da sección solicitada en flexión simple a temperatura ambiente, incluíndo de ser o caso a redución por efecto do esforzo cortante, segundo os criterios definidos no artigo 34 desta instrución (véxase 34.7.1).

Para unha mellor aproximación ao resultado dos ensaios e de maneira moi simplificada, pódese considerar a distribución non homoxénea de temperaturas na viga aplicando dous coeficientes correctores, κ_1 e κ_2 , para incrementar o valor de cálculo da resistencia anteriormente obtida $M_{fi,\theta,Rd}$. Neste caso a resistencia de cálculo dunha sección de clase 1, 2 ou 3 solicitada en flexión simple, co empenamento lateral coaccionado, e cunha distribución non homoxénea de temperatura nun instante dado (t) do proceso de incendio, pódese obter de maneira aproximada tomando a mesma expresión

anterior ($M_{fi,\theta,Rd}$) co valor de $k_{y,\theta}$ que lle corresponda á temperatura uniforme do aceiro de cada sección ($\theta_{a,t}$), e aplicando os coeficientes correctores:

$$M_{fi,t,Rd} = M_{fi,\theta,Rd} / (K_1 K_2)$$

K_1 ten en conta a distribución non homoxénea de temperaturas na sección e K_2 a variación da temperatura ao longo da viga, cos valores:

- $K_1 = 1,00$ Se a sección está exposta ao lume en todas as súas caras.
- $K_1 = 0,70$ Para seccións cunha cara protexida por unha lousa de formigón, por un forxado mixto, ou por un forxado de características térmicas equivalentes, e o resto das súas caras expostas ao lume sen protección.
- $K_1 = 0,85$ En condicións análogas ao caso anterior, pero con protección contra o lume nas caras expostas (neste caso θ_a será menor, obviamente, que no caso anterior, pero a súa distribución será máis homoxénea; de aí o valor máis desfavorable de K_1).
- $K_2 = 0,85$ Nas seccións extremas dunha viga cuxos momentos flectores teñan carácter hiperestático (a acumulación de material na unión dá lugar a temperaturas inferiores).
- $K_2 = 1,00$ Nas restantes seccións.

A resistencia de cálculo dunha sección de clase 1, 2 ou 3 solicitada a cortante, nun instante dado (t) do proceso de incendio, tomarase igual a:

$$V_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta,V} V_{c,Rd} (\gamma_{M0}/\gamma_{M,fi})$$

sendo:

- $V_{c,Rd}$ Cortante último da sección solicitada en flexión simple a temperatura ambiente, segundo os criterios definidos nesta instrución (véxase 34.5).
- $k_{y,\theta,V}$ O valor que corresponda para θ_V , temperatura media da sección eficaz a cortante (A_V) utilizada para os cálculos a temperatura ambiente, de acordo con 34.5.

Como alternativa aos procedementos anteriores, de libre elección polo autor do proxecto, a resistencia dunha sección de clase 1 ou 2 solicitada en flexión simple, co empenamento lateral coaccionado, poderase verificar sobre unha discretización que cumpra as especificacións posteriores, comprobando que existe unha distribución particular calquera de forzas $\{F_{x,i}, F_{z,i}\}$ que cumpran as seguintes condicións de equilibrio e de resistencia (véxase a figura 46.4):

$$\sum F_{x,i} = 0 \quad \text{Condición que determina a posición do eixe neutro de} \\ \text{tensións (z = 0), o cal será en xeral variable en cada} \\ \text{instante (t) do proceso.}$$

$$|V_{fi,Ed} / \sum F_{z,i}| \leq 1$$

$ M_{fi,Ed}/\sum z_i F_{x,i} \leq 1$	Onde $M_{fi,Ed}$ e $\sum z_i F_{x,i}$ se supoñen de igual signo.
$(F_{x,i}^2 + 3F_{z,i}^2)^{0,5}/F_{x,\theta,i,Rd} \leq 1$	Para elementos contidos dentro da área parcial A_V .
$F_{z,i} = 0$ e $ F_{x,i}/F_{x,\theta,i,Rd} \leq 1$	Para os restantes elementos.
$F_{x,\theta,i,Rd}$	Resistencia da sección parcial i-ésima, dada en 46.2.
z_i	Posición da resultante $F_{z,i}$ ("brazo mecánico" da dita forza).

Como condicións suficientes de validez da discretización adoptada, pódense tomar as (a), (b) e (c) especificadas en 46.2, xunto coa condición adicional a), e os límites seguintes b) ou c) para as diferenzas de temperatura dentro de cada sección parcial:

- a) As tensións normais lonxitudinais non deben cambiar de signo no interior dos elementos ou seccións parciais, polo que, en caso de intersectaren co eixe neutro de tensións, se deberán subdividir.
- b) $|\theta_{2i} - \theta_{1i}| \leq 100$ °C Para elementos perpendiculares ao plano da flexión, e elementos paralelos ao plano da flexión cuxo brazo mecánico (z_i) se determine exactamente.
- c) $|\theta_{2i} - \theta_{1i}| \leq 20$ °C Para elementos paralelos ao plano da flexión (plano xz na figura 46.4) nos cales z_i se aproxime pola posición do seu centro de gravidade ($z_i \approx z_{Gi}$ na dita figura).

Este mesmo procedemento de cálculo aplícase tamén ás solicitacións de flexotracción (esforzos $N_{fi,Ed} > 0$ e $M_{fi,Ed}$ concomitantes, ademais do cortante $V_{fi,Ed}$, de ser o caso), simplemente substituíndo a ecuación $\sum F_{x,i} = 0$ por:

$$\sum F_{x,i} = N_{fi,Ed}$$

Se $V_{fi,Ed} = 0$ e ademais as tensións normais lonxitudinais son de tracción en toda a sección (solicitación de tracción composta), o procedemento descrito pódese aplicar aínda que a sección sexa de clase 3 ou 4 e/ou o empenamento lateral non se atope coaccionado.

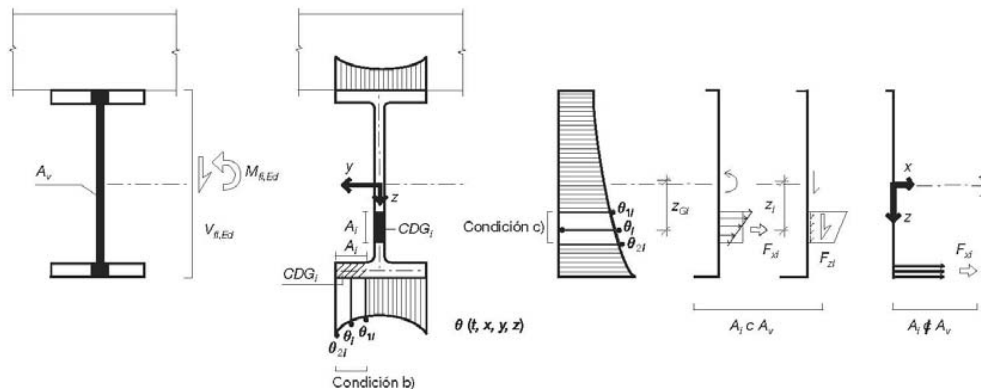


Figura 46.4. Distribución de temperaturas e esforzos nunha sección de aceiro de clase 1 ou 2 solicitada en flexión simple, en estado límite último en situación de incendio, co empenamento lateral coaccionado

46.5. Empenamento lateral de elementos sometidos a flexión

A resistencia de cálculo a flexión fronte a empenamento lateral dun elemento con sección de clase 1, 2 ou 3, cunha temperatura máxima do aceiro na ala comprimida da sección ($\theta_{a,com}$) nun instante dado (t) do proceso de incendio, pódese obter co valor de $k_{y,\theta,com}$ que corresponda á dita temperatura. A temperatura máxima do aceiro na ala comprimida da sección ($\theta_{a,com}$) pódese supor de maneira aproximada igual á temperatura uniforme da sección ($\theta_{a,com} = \theta_a$) en seccións de clase 1 e 2, e igual á temperatura máxima da sección ($\theta_{a,com} = \theta_{a,max}$) nas de clase 3. Nestas condicións, o momento último de cálculo obtense coa seguinte expresión:

$$M_{b,fi,t,Rd} = k_{y,\theta,com} M_{b,V,Rd} (\gamma_{M1}/\gamma_{M,fi})$$

sendo:

$M_{b,V,Rd}$

Resistencia de cálculo a empenamento lateral dun elemento non arriostado lateralmente solicitado a flexión arredor do eixe forte a temperatura ambiente, incluíndo de ser o caso a redución por efecto do esforzo cortante, segundo os criterios definidos no artigo 35 desta instrución, con:

$\chi_{LT,fi}$

Coefficiente de redución para empenamento lateral obtido coas mesmas expresións dadas nesta instrución para os cálculos a temperatura ambiente, salvo pola modificación dos parámetros seguintes:

$$\Phi_{LT, \theta, com} = 0,5 [1 + \alpha \bar{\lambda}_{LT, \theta, com} + (\bar{\lambda}_{LT, \theta, com})^2]$$

$\alpha = 0,65 (235/f_y)^{0,5}$

Coefficiente de imperfección para situación de incendio, en función de f_y expresado en N/mm^2 .

$\bar{\lambda}_{LT,\theta,com} = \bar{\lambda}_{LT}(k_{y,\theta,com}/k_{E,\theta,com})^{0,5}$ Esvelteza adimensional empregada para os cálculos a temperatura ambiente, corrixida en función dos coeficientes $k_{y,\theta,com}$ e $k_{E,\theta,com}$ obtidos en 45.1 coa temperatura máxima da zona comprimida da sección ($\theta_{a,com}$) no instante (t) do proceso de incendio considerado.

O cortante último ($V_{fi,t,Rd}$) calcularase igual que no número anterior 46.4.

46.6. Elementos sometidos a compresión e flexión

A comprobación resistente en situación de incendio dun elemento comprimido e flectado cuxa sección sexa de clase 1, 2 ou 3, tendo avaliado previamente a súa distribución de temperaturas nun instante dado (t) do proceso de incendio segundo os criterios dados neste capítulo da instrución, efectuarase aplicando os mesmos criterios de comprobación definidos nesta instrución para temperatura ambiente, salvo os cambios seguintes:

- Adoptaranse as solicitacións $N_{fi,Ed}$, $M_{y,fi,Ed}$, $M_{z,fi,Ed}$ determinadas cos coeficientes parciais de seguridade definidos no artigo 44 deste capítulo.
- Para o cálculo dos coeficientes de redución para o modo de empenamento considerado, utilizarase o mesmo parámetro Φ e o mesmo coeficiente α de imperfección para a situación de incendio dados en 46.3 e 46.5.
- As esveltezas empregadas para os cálculos a temperatura ambiente corrixiranse polo factor $(k_{y,\theta}/k_{E,\theta})^{0,5}$, en función dos coeficientes $k_{y,\theta}$ e $k_{E,\theta}$ obtidos en 45.1 coa temperatura máxima (θ) do elemento no instante (t) do proceso de incendio considerado, tanto para a obtención dos coeficientes de empenamento sen torsión en cada plano principal de inercia como para o coeficiente de empenamento con flexión e torsión.

46.7. Elementos cuxa sección é de clase 4

Para os elementos que inclúan seccións transversais de clase 4 (segundo 46.1), efectuaranse as comprobacións resistentes en situación de incendio indicadas nos números 46.3, 46.4, 46.5 e 46.6, modificándoas de maneira que a área e o módulo resistente da sección sexan substituídos pola área reducida e o módulo resistente da sección reducida desta obtidos segundo o número 20.7 e o artigo 34 desta instrución.

Na determinación da resistencia de cálculo en situación de incendio baixo solicitacións de tracción, compresión, momento ou cortante utilizarsae para o aceiro a resistencia ($f_{0,2p,\theta}$) correspondente a unha deformación do 0,2 %.

Os valores dos coeficientes correctores ($k_{0,2p,\theta}$) da resistencia do aceiro en función da temperatura alcanzada por este débense tomar da táboa 46.7, sendo:

$k_{0,2p,\theta} = f_{0,2p,\theta} / f_y$ Cociente entre a resistencia a temperatura elevada e o límite elástico a 20 °C.

Táboa 46.7. Coeficientes de corrección coa temperatura da resistencia do aceiro para a comprobación de elementos con seccións de clase 4

Temperatura do aceiro θ_a	Coeficiente de redución (respecto a f_{yb}) para a resistencia de cálculo das seccións de aceiro laminado en quente e soldadas de clase 4. $k_{p0,2,\theta} = f_{p,0,2,\theta} / f_y$	Coeficiente de redución (respecto a f_{yb}) para a resistencia de cálculo das seccións de aceiro conformado en frío de clase 4. $k_{p0,2,\theta} = f_{p,0,2,\theta} / f_{yb}$
20 °C		1,00
100 °C		1,00
200 °C		0,89
300 °C		0,78
400 °C		0,65
500 °C		0,53
600 °C		0,30
700 °C		0,13
800 °C		0,07
900 °C		0,05
1000 °C		0,03
1100 °C		0,02
1200 °C		0,00
Nota 1: Para valores intermedios da temperatura do aceiro, pódese utilizar a interpolación lineal.		
Nota 2: Para f_{yb} , véxase o número 73.4.		

46.8. Comprobación no dominio das temperaturas

Baixo as condicións sinaladas nos números 46.8.1 e 46.8.2, segundo os casos, pódese efectuar a comprobación resistente no dominio das temperaturas, como alternativa aos procedementos de comprobación expostos nos números precedentes:

$$\theta_{a,t} / \theta_{a,cr} \leq 1,$$

sendo $\theta_{a,t}$ a temperatura alcanzada no aceiro unha vez transcorrido un incendio normalizado de duración t e $\theta_{a,cr}$ o seu valor crítico de acordo co especificado nos ditos números.

46.8.1. Elementos cuxa sección é de clase 1, 2 ou 3

Para elementos estruturais non susceptibles de experimentar fenómenos de inestabilidade, nin de carácter local (por seren as súas seccións de clase 1, 2 ou 3, segundo o tipo de análise empregada), nin a nivel do elemento, nin de carácter global, (en resumo, cando non inflúe a redución do módulo de elasticidade E), para os efectos previstos en 46.8, a súa temperatura crítica pódese determinar na táboa 46.8.1, ou mediante a expresión seguinte:

$$\theta_{a,cr} = 39,19 l_n \left[\frac{1}{0,9674 \mu_0^{3,833}} - 1 \right] + 482$$

Onde μ_0 é o denominado “grao de utilización”, dado por:

$$\mu_0 = E_{fi,d} / R_{fi,d,0}$$

sendo $E_{fi,d}$ e $R_{fi,d,t}$ as magnitudes definidas no artigo 46 deste capítulo e $R_{fi,d,0}$ igual a $R_{fi,d,t}$ para $t = 0$ (é dicir, a temperatura ambiente).

Táboa 46.8.1. Temperatura crítica, en °C, en función do grao de utilización de elementos de clase 1, 2 ou 3 non susceptibles de fenómenos de inestabilidade

μ_0	$\theta_{a,cr}$	μ_0	$\theta_{a,cr}$	μ_0	$\theta_{a,cr}$
0,22	711	0,42	612	0,62	549
0,24	698	0,44	605	0,64	543
0,26	685	0,46	598	0,66	537
0,28	674	0,48	591	0,68	531
0,30	664	0,50	585	0,70	526
0,32	654	0,52	578	0,72	520
0,34	645	0,54	572	0,74	514
0,36	636	0,56	566	0,76	508
0,38	628	0,58	560	0,78	502
0,40	620	0,60	554	0,80	496

46.8.2. Elementos cuxa sección é de clase 4

Para os elementos con seccións de clase 4 exclusivamente traccionados, a temperatura crítica pódese determinar mediante a mesma expresión do número 46.8.1.

Para elementos con seccións de clase 4 solicitados a flexión simple e arriostados fronte ao empenamento lateral, de maneira simplificada, a menos que se utilice 46.7, considerarase satisfeito o requisito de resistencia nun instante (t) do proceso de incendio se a temperatura $\theta_{a,t}$ en calquera punto da sección verifica a condición seguinte:

$$\theta_{a,t} / \theta_{a,cr} \leq 1, \quad \text{sendo:}$$

$\theta_{a,cr} = 350 \text{ }^\circ\text{C}$ Temperatura crítica específica das seccións de clase 4, baixo as condicións citadas.

Artigo 47 Comprobación da resistencia das unións

Como condición suficiente de validez das unións na situación de incendio, establécese o cumprimento de todos os requisitos seguintes:

- A “resistencia térmica efectiva do revestimento” ($r_{p,ef,d} = r_{p,ef,k}/\gamma_p$) non debe ser menor nos elementos de unión que nos elementos unidos.
- O cociente $E_{fi,d}/R_{fi,d,0}$ non debe ser maior na unión que nos ditos elementos, sendo:
 - $E_{fi,d}$ Solicitacións a considerar na situación accidental de incendio, definidas neste capítulo.
 - $R_{fi,d,0}$ Resistencias respectivas, no instante $t = 0$ do proceso de incendio, é dicir, a temperatura ambiente pero con $\gamma_{M,fi} = 1$.
- A comprobación resistente a temperatura ambiente da unión, como a de todos os elementos, débese efectuar segundo os criterios sinalados nesta instrución.
-
-

Artigo 48 Cálculo de temperaturas no aceiro

48.1. Elementos sen protección

Defínese como área exposta dun elemento de aceiro por unidade de lonxitude (A_m , en m^2/m) a porción da área perimetral da súa sección transversal que, non sendo exterior ao edificio nin estando en contacto cun forxado ou elemento similar que o protexa, careza de revestimento protector ao lume. De estar “exposta” toda a área perimetral (A_L , magnitude usualmente tabulada polos fabricantes), obviamente $A_m = A_L$. Se A_m é variable ao longo do elemento, tomarase o seu valor máximo. Este número refírese a elementos en que $A_m \geq A_L/2$, mentres que o número seguinte corresponde a elementos con $A_m = 0$. Os casos intermedios non están recollidos explicitamente, pero si admitidos, por esta instrución; neses casos ($0 < A_m < A_L/2$), o autor do proxecto poderá optar entre aplicar os criterios deste número tomando $A_m = A_L/2$, ou ben aplicar os métodos de cálculo “avanzado” indicados en 43.3.

En función de A_m e do resto de parámetros logo indicados, o incremento elemental de temperatura no aceiro ($\Delta\theta_{a,t}$) vén dado por:

$$\Delta\theta_{a,t} = S_m k_{sh} \dot{h}_{net,d} \Delta t / (\rho_a c_a)$$

con:

$S_m = A_m/V \geq 10 \text{ m}^{-1}$ Factor de sección (expresado en m^{-1}), sendo V o volume de aceiro do elemento por unidade de lonxitude (en m^3/m).

k_{sh} Factor que se pode tomar sempre igual á unidade, pero que para seccións cuxo contorno non sexa convexo se pode reducir adoptando:

$k_{sh} = 0,9A_b/A_m$ Para seccións dobre T simétricas, sendo A_b a parte exposta ao lume do perímetro do rectángulo envolvente da sección, ($A_b = 2(b+h)$ para exposición ao lume polas catro caras, $A_b = b+2h$ para exposición por tres caras).

$k_{sh} = A_b/A_m$ Para outros tipos de seccións, sendo A_b a parte exposta ao lume do perímetro do menor polígono convexo envolvente da sección.

Δt Incremento de tempo, en segundos, respectando o límite seguinte:

$$\Delta t \leq \text{mínimo} (5 \text{ seg}, 5 \cdot 10^3/S_m)$$

ρ_a, c_a Densidade e calor específica do aceiro definidos en 45.1, expresados en kg/m^3 e $\text{J}/(\text{kg } ^\circ\text{K})$.

$\dot{h}_{\text{net,d}}$ Fluxo neto de calor por unidade de área, en W/m^2 , dado por:

$$\dot{h}_{\text{net,d}} = 5,67 \cdot 10^{-8} \varepsilon_{\text{res}} [(\theta_{g,t} + 273)^4 - (\theta_{m,t} + 273)^4] + \alpha_c (\theta_{g,t} - \theta_{m,t})$$

$\theta_{g,t}$ Temperatura da masa gasosa ($^\circ\text{C}$) definida en 43.2.

$\theta_{m,t} = \theta_{a,t}$ Temperatura superficial do elemento ($^\circ\text{C}$), que neste modelo se toma igual á temperatura do aceiro ($\theta_{a,t}$), que se supón homoxénea en toda a sección.

$\varepsilon_{\text{res}} = 0,7$ Emisividade resultante para superficies de aceiros ao carbono, adoptando $\varepsilon_f = 1,0$ para a emisividade relacionada co tipo de recinto.

$\alpha_c = 25$ Coeficiente de transferencia térmica por convección para lume normalizado, $\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$.

Para o cálculo de S_m dunha sección dada, pódense adoptar as expresións seguintes, onde (t_a) son os grosos do aceiro:

- Para un tubo de sección calquera e grosor constante (t_a) pequeno en relación co seu perímetro, exposto en todas as súas caras: $S_m \approx 1/t_a$.
- Para unha sección aberta de forma calquera e grosor constante (t_a), suposto tamén pequeno en relación co seu perímetro: $S_m \approx 2/t_a$ se a sección está completamente exposta.
- No mesmo caso anterior, pero con só a metade do perímetro exposto: $S_m \approx 1/t_a$.

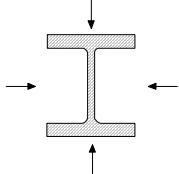
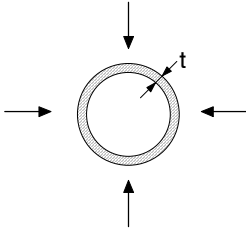
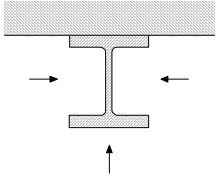
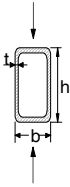
- d) Se a sección está constituída por varias seccións parciais A_i que, todas elas, estean incluídas nalgún dos casos anteriores, para o conxunto da sección pódese adoptar a media ponderada seguinte:

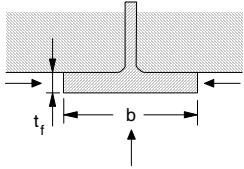
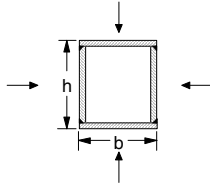
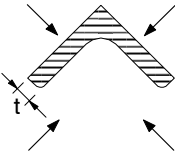
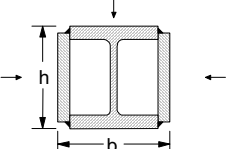
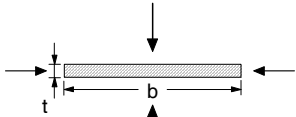
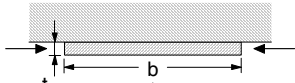
$$S_m = \sum v_i S_i, \quad \text{con } v_i = A_i / \sum A_i,$$

onde ambos os sumatorios se estenden ao conxunto de todas as seccións parciais, e S_i é o factor de sección individual que correspondería a cada unha delas aplicando os casos a), b) ou c) respectivos.

- e) Para outros casos, pódese aplicar a definición xeral $S_m = A_m/V$ ou ben adoptar os valores que se indican na táboa 48.1, de seren aplicables.

Táboa 48.1. Factor de sección de elementos sen protección

<p>Sección aberta exposta ao lume en todas as súas caras:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{\text{perímetro}}{\text{área da sección transversal}}$ 	<p>Tubo exposto ao lume en todas as súas caras:</p> $A_m/V = 1/t$ 
<p>Sección aberta exposta ao lume en tres das súas caras:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{\text{superficie exposta ao lume}}{\text{área da sección transversal}}$ 	<p>Sección oca (ou sección en caixón soldada con grosor uniforme) exposta ao lume en todas as súas caras:</p> <p>se $t \ll b$: $A_m/V \approx 1/t$</p> 

<p>Sección en T aberta exposta ao lume en tres das súas caras:</p> $A_m/V = (b + 2t_f)/(bt_f)$ <p>se $t \ll b$: $A_m/V \approx 1/t_f$</p> 	<p>Sección en caixón soldada exposta ao lume en todas as súas caras:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{2(b+h)}{\text{área da sección transversal}}$ <p>se $t \ll b$: $A_m/V \approx 1/t$</p> 
<p>Perfil angular exposto ao lume en todas as súas caras:</p> $A_m/V = 2/t$ 	<p>Sección en dobre T aberta reforzada en caixón, exposta ao lume en todas as súas caras:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{2(b+h)}{\text{área da sección transversal}}$ 
<p>Chapa exposta ao lume en todas as súas caras:</p> $A_m/V = 2(b+t)/(bt)$ <p>se $t \ll b$: $A_m/V \approx 2/t$</p> 	<p>Chapa exposta ao lume en tres das súas caras:</p> $A_m/V = (b+2t)/(bt)$ <p>se $t \ll b$: $A_m/V \approx 1/t$</p> 

48.2. Elementos con revestimento protector

Neste caso, a magnitude V defínese igual que no número anterior, pero a outra magnitude que intervén no factor de sección é agora A_p , a área da superficie interna do revestimento por unidade de lonxitude do elemento (en m^2/m), descontando a parte que puidese ser exterior ao edificio ou estar en contacto cun forxado, muro ou elemento similar que a protexa. De a sección de aceiro e o revestimento estaren total ou parcialmente separados entre si, A_p débese medir sobre o menor polígono que, sendo de caras paralelas ao revestimento, sexa tanxente á superficie de aceiro. Este e outros casos indícanse na táboa 48.2.

Desprezando neste caso os fenómenos de radiación e convección superficiais, o incremento elemental de temperatura no aceiro vén entón definido por:

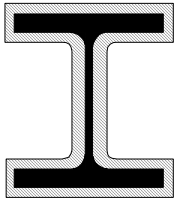
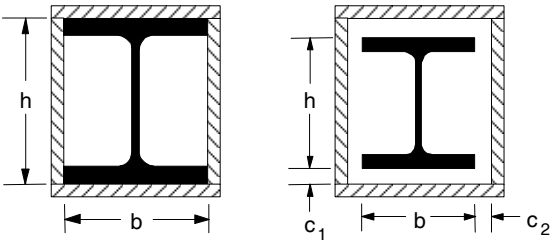
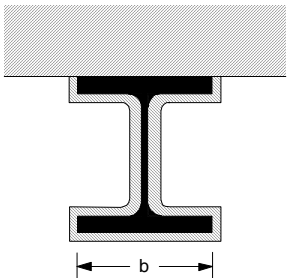
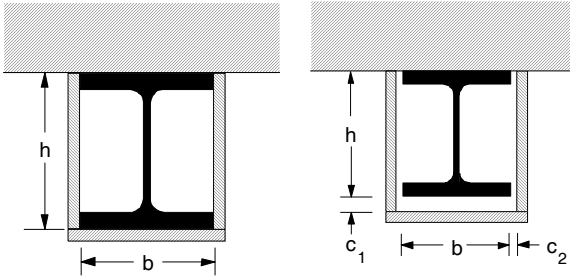
$$\Delta\theta_{a,t} = [(S_p/r_{p,ef,d})(\theta_{g,t} - \theta_{a,t})\Delta t/(\rho_a c_a) - (e^{\theta/10} - 1)\Delta\theta_{g,t}] > 0$$

con:

$S_p = A_p/V$	Factor de sección do elemento protexido (en m^{-1}).
Δt	Incremento de tempo, en segundos, respectando neste caso o límite seguinte: $\Delta t \leq 30$ seg.
ρ_a, C_a	Densidade e calor específica do aceiro definidos en 45.1, en kg/m^3 e $J/(kg \text{ } ^\circ K)$.
$\varphi = \rho_{pd} C_{pd} d_p S_p / \rho_a C_a$	Relación de capacidades caloríficas totais do revestimento e do elemento de aceiro, nos casos a) e d) do número 48.3.
$\varphi = 0$	Valor preceptivo nos casos b) e c) do mesmo número.
d_p	Grosor do material de protección en m.
$\rho_{pd} C_{pd}$	Valores de cálculo da densidade e calor específica do revestimento segundo 48.3, en kg/m^3 e $J/(kg \text{ } ^\circ K)$.
$r_{p,ef,d} = r_{p,ef,k} / \gamma_p$	Valor de cálculo da resistividade térmica efectiva do revestimento, en $m^2 \text{ } ^\circ K/W$, con γ_p dado en 48.3.
$r_{p,ef,k} = (1 + \varphi/3) d_p / \lambda_{pk}$	Valor característico da resistividade térmica efectiva do revestimento, nos casos a) e d) do número 48.3.
$r_{p,ef,k}$	Valor determinado segundo 48.4, nos casos b) e d) do número 48.3.
$\theta_{a,t}$	Temperatura do aceiro ($^\circ C$), que se supón homoxénea en toda a sección.
$\theta_{g,t}$	Temperatura da masa gasosa ($^\circ C$) definida en 43.2.
$\Delta \theta_{g,t}$	Incremento de $\theta_{g,t}$ durante Δt .

Para materiais de protección cun contido permanente de humidade, e que fosen ensaiados conforme o caso a) do número 48.3, a ecuación incremental anterior pódese modificar incorporando un “tempo de atraso” (Δt_p) no instante en que a temperatura do aceiro alcanza os $100 \text{ } ^\circ C$, sempre que o valor dese tempo de atraso se determinase de conformidade con UNE-ENV 13381-4. O dito tempo de atraso depende da porcentaxe de humidade adoptada nos cálculos, que non poderá superar o valor máximo definido na táboa 45.2 (P_k) (caso d), ou o que experimentalmente se determine como correspondente ao equilibrio higroscópico a unha temperatura de $20 \text{ } ^\circ C$ e humidade ambiente relativa do 40%. Para os casos b) e c) do número 48.3, preceptivamente, adoptarase $\Delta t_p = 0$.

Táboa 48.2. Factor de sección de elementos con revestimento protector

Deseño	Descrición	Factor de sección (A_p/V)
	Revestimento de contorno con grosor uniforme	$\frac{\text{perímetro de aceiro}}{\text{superficie da sección transversal de aceiro}}$
	Revestimento oco con grosor uniforme) ¹	$\frac{2(b+h)}{\text{superficie da sección transversal de aceiro}}$
	Revestimento de contorno con grosor uniforme, exposto ao lume en tres das súas caras	$\frac{\text{perímetro de aceiro} - b}{\text{superficie da sección transversal de aceiro}}$
	Revestimento oco con grosor uniforme, exposto ao lume en tres das súas caras) ¹	$\frac{2h+b}{\text{superficie da sección transversal de aceiro}}$

¹ As dimensións da folgura c_1 e c_2 , polo xeral, non deberían ser superiores a $h/4$

48.3. Características exixidas aos materiais de protección

As características térmicas dos materiais de protección, en xeral dependentes da temperatura, defínense mediante as magnitudes λ_p , c_p e ρ_p que interveñen nas expresións do número 48.2. En xeral, trátase de funcións variables coa temperatura, $\lambda_p(\theta)$, $c_p(\theta)$, $\rho_p(\theta)$, e, cando por simplificación da notación a dita dependencia non se explicita, deberase sobreentender, de ser o caso.

Os valores de cálculo dos parámetros a adoptar no proxecto obteranse a partir dos valores experimentais λ_{pk} , c_{pk} e ρ_{pk} , e da resistividade térmica efectiva $r_{p,ef,k}$ definida en 48.2, aplicando un coeficiente parcial de seguridade γ_p na forma:

$$c_{pd} = c_{pk} \quad \rho_{pd} = \rho_{pk} \quad \lambda_{pd} = \gamma_p \lambda_{pk}, \quad \text{e consecuentemente:}$$
$$r_{p,ef,d} = r_{p,ef,k} / \gamma_p$$

O coeficiente γ_p a adoptar será o seguinte:

- $\gamma_p = 1,00$ se os valores experimentais achegados polo fabricante do revestimento protector se determinaron conforme as normas CEN/TS 13381-1, UNE-ENV 13381-2 ou UNE-ENV 13381-4, segundo corresponda.
- $\gamma_p = 1,10$ se os valores experimentais achegados polo fabricante proceden da adaptación de resultados de ensaios de incendio normalizado efectuados de conformidade coas normas UNE non anteriores a 1997, sempre que estes resultados se convertan seguindo os criterios especificados no número 48.4.
- $\gamma_p = 1,25$ para produtos homologados segundo normas UNE anteriores sempre que os seus valores experimentais se convertan seguindo os criterios especificados no número 48.4.
- $\gamma_p = 1,00$ de se adoptaren valores experimentais de materiais xenéricos tomados da táboa 45.2.

Para cumprir o requisito da comprobación resistente de cada elemento segundo os criterios deste capítulo, obteranse as temperaturas do aceiro correspondentes tomando o valor de cálculo $r_{p,ef,d} = r_{p,ef,k} / \gamma_p$, e aplicando o modelo do número 48.2, para o que se admitirá a súa implementación en forma de programas informáticos, táboas ou ábacos de se cumpriren as dúas condicións seguintes:

- Se os ditos programas, táboas ou ábacos son conformes co modelo do número 48.2, tal como vén formulado no dito número, para o cal nos casos b) e c) se deberá ter efectuado a conversión especificada no número 48.4, ou ben se basean en UNE-ENV 13381-4.
- Para os casos b), c) e d): se as ditas táboas ou ábacos permiten a aplicación do factor γ_p indicado en cada caso.

Se algunha das dúas condicións non se cumpren, para poder aplicar tales programas, táboas ou ábacos, o factor γ_p deberase aplicar ás temperaturas do aceiro ($\theta_{a,t}$) deducidas destes, ou, o que é equivalente, as temperaturas medidas nos ensaios deberanse multiplicar polo coeficiente parcial de seguridade γ_p , para logo, en calquera caso, verificar a comprobación resistente de cada peza segundo os criterios deste capítulo desta instrución.

Os detalles construtivos e/ou especificacións do proxecto deberán asegurar que os materiais de protección empregados e os seus procedementos de unión ou fixación ao elemento de aceiro permanezan íntegros e eficaces durante o tempo de incendio normalizado $t_{fi,requ}$ segundo o número 43.2. No caso a), esta condición verifícase en virtude das condicións impostas polas normas citadas para a validación de cada sistema ensaiado. Nos casos b) e c), cada fabricante deberá achegar documentación experimental suficiente para verificar as condicións de integridade anteditas dos materiais e fixacións ou unión empregadas. No caso d), o proxecto deberá incluír detalles construtivos que definan os mallazos, ancoraxes, etc., pertinentes.

Así mesmo, cómpre garantir a durabilidade dos materiais de protección, e, de ser o caso, o proxecto deberá especificar as condicións de mantemento exixidas e, de seren necesarias, capas adicionais ou disposicións de protección contra a corrosión. Este requisito é de especial aplicación ás pinturas intumescentes, sobre todo en ambientes de humidade elevada, presenza de ión cloro ou outros axentes que poidan afectar a durabilidade dos materiais, etc., e iso tanto se as ditas condicións ambientais se deben ao entorno en que se sitúa o edificio como se proceden do uso deste (pavillóns con piscinas, actividades industriais, etc.).

48.4. Conversión de valores experimentais

Os resultados de ensaios de incendio normalizado UNE-EN 1363 (partes 1 e 2) efectuados de conformidade con normas diferentes das CEN/TS 13381-1, UNE-ENV 13381-2 ou UNE-ENV 13381-4, para a súa aplicación no modelo de cálculo definido en 48.2, e para os efectos previstos no número 48.3, converteranse a valores característicos da resistencia térmica efectiva do revestimento ($r_{p,ef,k}$) polo procedemento indicado neste número, que se basea na utilización da táboa 48.4, na cal se expresan as temperaturas do aceiro ($\theta_{a,t}$) calculadas co modelo do número 48.2 aplicado convencionalmente con $\varphi = 0$, con resistencia térmica efectiva suposta constante durante o proceso, e con $\gamma_p = 1$ (a introdución posterior deste coeficiente parcial de seguridade efectuarase segundo o indicado en 48.3).

A dita táboa constitúe a definición numérica de $\theta_a = \theta_a(t, s)$, función teórica de temperaturas no aceiro baixo as hipóteses anteditas, sendo $s = S_p/r_{p,ef}$.

Con cada terna de valores experimentais:

t_{ex} Duración do ensaio normalizado, en minutos.

$\theta_{a,ex}$ Temperatura máxima alcanzada no aceiro, en °C.

$S_{p,ex}$ Factor de sección, en m^{-1} , calculado segundo os criterios de 48.2.

Obterase na táboa 48.4 o caso (θ_a, t, s) para o que os valores de θ_a e t sexan os máis próximos aos valores de $\theta_{a,ex}$ e t_{ex} , cumprindo $t \leq t_{ex}$ e $\theta_a \geq \theta_{a,ex}$. Como valor correspondente dos $r_{p,ef}$, adoptarase:

$$r_{p,ef} = S_{p,ex}/s \quad (\text{en } m^2 \text{ } ^\circ K/W)$$

Admítase refinar a determinación anterior de $r_{p,ef}$ por interpolación bilineal entre casos da táboa en cuxa sección estean comprendidos t_{ex} e $\theta_{a,ex}$. O mesmo contido da táboa 48.4 consta nas figuras 48.4.1 e 48.4.2, sen valor cuantitativo (para cuxos efectos só ten validez a táboa).

Os $r_{p,ef}$ avaliados agrúpanse en lotes $\{r_{p,ef,i} / 1 \leq i \leq N\}$, incluíndo N determinacións que correspondan ao mesmo tipo e grosor ($d_{p,ex}$) de produto de protección, con iguais valores de t_{ex} e S_e ; non obstante, poderanse agrupar determinacións que correspondan a diferentes t_{ex} e/ou S_{ex} , de se tomaren os valores máis desfavorables, para os límites de utilización que se indican logo. Como valor característico de cada lote, adoptarase:

$$r_{p,ef,k} = [1 - 1/(5N)] \min^o(r_{p,ef,i})$$

Os $r_{p,ef,k}$ así obtidos poderanse utilizar nos cálculos de proxectos (agora con aplicación de γ_p), respectando para cada valor $r_{p,ef,k}$ as condicións seguintes:

- Como condición suficiente de utilización de cada valor $r_{p,ef,k}$, establécese o cumprimento simultáneo de:

$$- \quad t_{fi,requ} \leq t_{ex}, \quad - \quad S_p \approx S_{ex} (\pm 25\%) \quad - \quad d_p = d_{p,ex}$$

- Nunca se admitirán extrapolacións para $t_{fi,requ} > t_{ex}$.
- Cando non se aprecien variacións importantes (ata $\pm 50\%$) nas determinacións de $r_{p,ef,k}$ para un valor fixo do grosor de produto ($d_{p,ex}$) con diferentes t_{ex} e S_p , admitiranse interpolacións para valores intermedios destas últimas magnitudes.
- De se observar un valor relativamente pouco variable (ata $\pm 25\%$) do cociente $d_{p,ex}/r_{p,ef,k}$ en todos ou parte dos casos ensaiados, admitiranse tamén interpolacións en función dos correspondentes valores de $d_{p,ex}$, pero nunca extrapolacións.

Táboa 48.4. Temperaturas do aceiro $\theta_a = \theta_a(t, s)$ en °C, para $15 \leq t \leq 240$ minutos e $50 \leq s \leq 6000$ W/(m³°K)

s (W/m ³ °K)	Tempo t (minutos)											
	15	30	45	60	75	90	105	120	150	180	210	240
50	27	37	48	59	70	81	92	103	125	147	168	189
100	35	54	73	94	114	134	153	173	211	248	283	318
150	42	69	98	126	154	181	208	234	285	222	278	420
200	49	84	121	156	191	225	258	289	349	405	456	502
250	56	99	142	185	226	265	302	338	406	466	520	569
300	62	113	163	211	258	302	343	383	455	519	575	624

s (W/m ³ °K)	Tempo t (minutos)											
	15	30	45	60	75	90	105	120	150	180	210	240
350	69	127	183	237	288	336	381	423	499	564	621	670
400	75	140	202	261	316	367	415	459	537	603	660	706
450	82	152	220	283	342	397	446	492	571	638	693	729
500	88	165	238	305	367	424	475	522	602	668	718	738
600	100	188	270	345	413	472	526	574	654	714	729	777
700	112	211	301	382	453	515	569	617	695	735	770	837
800	123	232	329	415	489	552	606	654	723	751	818	894
900	134	252	356	445	520	584	639	685	735	783	865	941
1000	145	271	380	472	549	613	667	709	747	822	908	978
1100	155	290	403	498	575	638	691	726	768	859	943	1008
1200	165	307	425	521	598	661	710	734	795	893	972	1031
1300	175	324	445	542	619	681	724	740	824	922	996	1050
1400	185	340	464	561	638	698	732	751	851	946	1015	1065
1500	194	355	481	579	655	712	737	767	876	967	1031	1077
1600	203	369	498	596	671	723	743	786	899	985	1044	1087
1700	212	383	513	611	685	730	752	805	919	1000	1055	1095
1800	221	397	528	625	698	735	765	824	936	1012	1064	1102
1900	229	409	542	639	709	738	779	843	952	1023	1072	1107
2000	238	421	555	651	718	743	794	860	965	1032	1078	1112
2100	246	433	567	663	725	750	809	876	977	1040	1084	1115
2200	254	444	578	673	730	759	824	891	987	1047	1088	1118
2300	261	455	589	683	733	769	839	904	996	1053	1092	1121
2400	269	465	599	692	736	780	852	916	1003	1058	1095	1123
2500	276	475	609	700	738	791	865	927	1010	1062	1098	1125

s (W/m ³ °K)	Tempo t (minutos)											
	15	30	45	60	75	90	105	120	150	180	210	240
2600	283	485	618	707	742	803	877	937	1016	1066	1100	1127
2700	290	494	627	714	746	814	888	945	1021	1069	1102	1128
2800	297	503	635	719	752	825	898	953	1026	1072	1104	1130
2900	304	511	643	724	759	835	907	960	1030	1074	1106	1131
3000	311	519	651	728	766	845	915	967	1034	1076	1107	1132
3100	317	527	658	731	773	855	923	973	1037	1078	1108	1133
3200	323	534	665	733	781	864	930	978	1040	1080	1110	1134
3300	330	542	671	735	789	872	937	982	1042	1081	1111	1134
3400	336	549	678	736	797	880	943	987	1045	1083	1112	1135
3500	342	555	683	738	805	887	948	991	1047	1084	1112	1136
3600	347	562	689	740	812	894	953	994	1049	1085	1113	1136
3700	353	568	694	743	820	901	958	997	1050	1086	1114	1137
3800	359	574	699	746	827	907	962	1000	1052	1087	1114	1137
3900	364	580	703	749	834	912	965	1003	1053	1088	1115	1138
4000	369	585	707	753	841	917	969	1005	1054	1089	1116	1138
4100	375	591	711	757	847	922	972	1007	1056	1089	1116	1139
4200	380	596	715	761	853	927	975	1009	1057	1090	1117	1139
4300	385	601	718	766	859	931	978	1011	1058	1091	1117	1139
4400	390	606	721	771	865	934	980	1013	1058	1091	1117	1140
4500	395	611	723	775	870	938	983	1014	1059	1092	1118	1140
4600	399	615	726	780	875	941	985	1016	1060	1092	1118	1140
4700	404	620	728	785	880	944	987	1017	1061	1093	1119	1141
4800	409	624	730	790	884	947	989	1018	1061	1093	1119	1141
4900	413	628	731	795	888	950	990	1020	1062	1093	1119	1141

S (W/m ³ °K)	Tempo t (minutos)											
	15	30	45	60	75	90	105	120	150	180	210	240
5000	417	633	732	800	892	952	992	1021	1062	1094	1120	1141
5100	422	637	734	804	896	955	998	1022	1063	1094	1120	1142
5200	426	640	734	809	900	957	995	1022	1063	1095	1120	1142
5300	430	644	735	814	903	959	996	1023	1074	1095	1120	1142
5400	434	648	736	818	906	961	997	1024	1064	1095	1121	1142
5500	438	651	737	822	909	963	998	1025	1065	1096	1121	1143
5600	442	655	738	826	912	964	999	1025	1065	1096	1121	1143
5700	446	658	739	830	915	966	1000	1026	1066	1096	1121	1143
5800	450	661	740	834	917	967	1001	1027	1066	1096	1122	1143
5900	453	664	741	838	919	969	1002	1027	1066	1097	1122	1143
6000	457	667	743	841	922	970	1003	1028	1067	1097	1122	1143

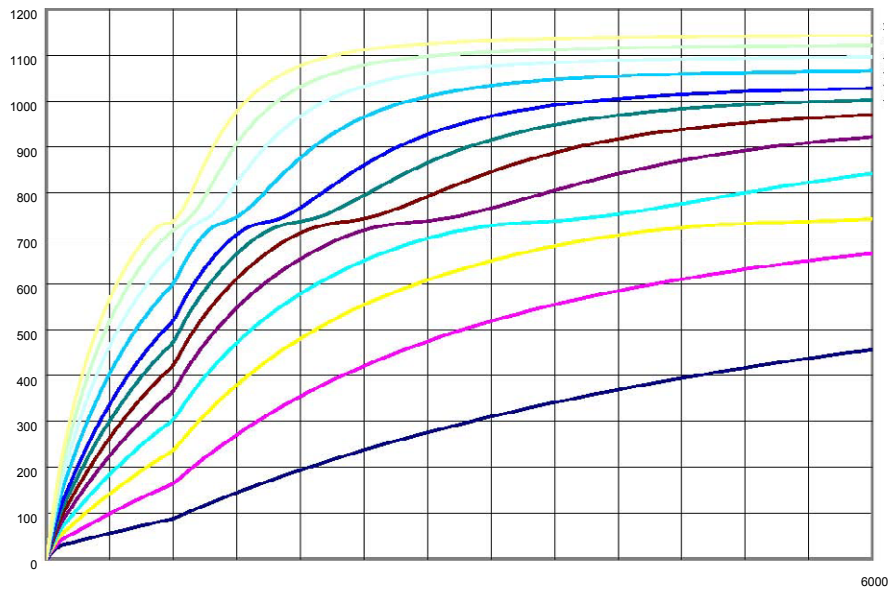
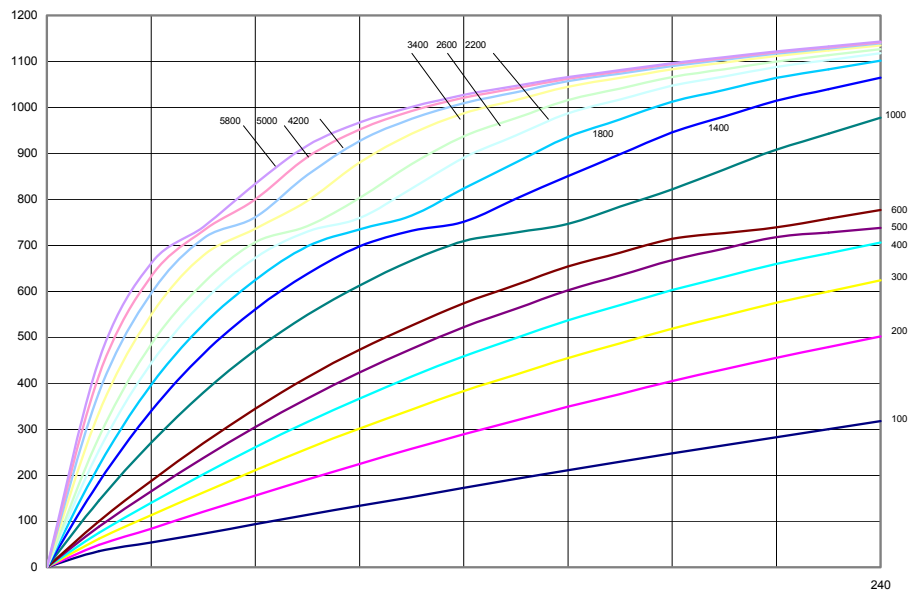


Figura 48.4.1. En ordenadas: temperaturas do aceiro θ_a , $0 \leq \theta_a \leq 1200$ $^{\circ}C$. En abscisas: variable s , $0 \leq s \leq 6000$ $W/(m^3 \cdot K)$. Cada curva corresponde ao valor indicado de t , en minutos

Figura 48.4.2. En ordenadas: temperaturas do aceiro θ_a , $0 \leq \theta_a \leq 1200$ $^{\circ}C$. En abscisas: tempo t , $0 \leq t \leq 240$ minutos. Cada curva corresponde ao valor indicado de s , en $W/(m^3 \cdot K)$



CAPÍTULO XIII

PROXECTO DE ESTRUTURAS DE ACEIRO FRONTE AO SISMO

Artigo 49 Xeneralidades

Neste capítulo relaciónanse algúns aspectos particulares do proxecto e a execución de estruturas de aceiro fronte a accións sísmicas que complementan as disposicións de tipo xeral contidas na Norma de construción sismorresistente NCSE-02, aprobada polo Real decreto 997/2002, do 27 de setembro, e as específicas aplicables a tipos particulares de construcións, como a Norma de construción sismorresistente: Pontes (NCSP-07), aprobada polo Real decreto 637/2007, do 18 de maio (depósitos, tubaxes...).

O capítulo diríxese especialmente ao proxecto e execución daquelas partes das estruturas que forman o sistema resistente ante as accións sísmicas.

As normas vixentes de construción sismorresistente establecen espectros elásticos de resposta que poden ser modificados tendo en conta a capacidade da estrutura de se comportar de forma dúctil, é dicir, de forma estable en réxime plástico. Cando no proxecto da estrutura se define a solicitação a partir do espectro elástico, sen redución ningunha por ductilidade, non é necesario empregar outras disposicións que as de carácter xeral (aplicables a construcións situadas en zonas de baixa ou nula sismicidade) contidas nesta instrución e as contidas no artigo 50 seguinte. A utilización de espectros de cálculo reducidos obriga, en cambio, á estrita observancia das condicións detalladas neste capítulo, condicións máis restritivas que as xerais.

Artigo 50 Bases de proxecto

As bases de proxecto para as estruturas sometidas a accións sísmicas son as que se establecen no título 1º, Bases de proxecto, desta instrución. No artigo 13, combinación de accións, defínese a expresión da combinación en que participa a acción sísmica.

No caso de construcións particulares (pontes, depósitos, tubaxes...), pode ocorrer que a correspondente norma específica requira a comprobación da estrutura fronte a combinacións diferentes da definida nesta instrución ou, mesmo, ante máis dunha combinación.

Como valores representativos cuasi-permanentes das accións variables, tomaranse os indicados no capítulo III desta instrución ou os definidos nas normas específicas aplicables a tipos particulares de construcións.

50.1. Estados límite

Tomaranse explicitamente en consideración como estados límite últimos os correspondentes para os efectos dos movementos que poden causar danos graves, como os producidos no choque entre construcións lindeiras (ou entre partes separadas dunha mesma construción) ou a perda de apoio. As comprobacións correspondentes basearanse na estimación do largo de xunta ou a entrega necesarias para evitar estes efectos sen entrar na avaliación das súas consecuencias.

En xeral, para a estimación do largo de xunta ou a entrega necesarias, seguiranse as prescricións da Norma de construción sismorresistente e das instrucións de carácter específico aplicables.

En edificación, e no caso particular de xuntas entre distintos corpos dun mesmo edificio (caso das xuntas de dilatación) que separen construcións de características similares (con períodos fundamentais semellantes na dirección do sismo considerado), o largo de xunta pódese estimar como a raíz cadrada da suma dos cadrados dos movementos de cada bloque.

No caso das pontes, consideraranse explicitamente os estados límite últimos correspondentes ao choque entre o taboleiro e o estribo e o correspondente á perda de apoio daquel en machóns e estribos.

50.2. Accións

Cando a acción sísmica se especifique mediante un espectro de resposta, este deberá corresponder ao da vixente Norma de construción sismorresistente ou, no caso particular de construcións ás cales, polas súas características especiais (período fundamental fóra do rango habitual), non lles sexa adecuada a aplicación do citado espectro (pontes, depósitos...), ás instrucións específicas aplicables. Nalgúns destes casos será necesario empregar espectros diferentes nas comprobacións de seguridade e de servizo.

Cando a acción sísmica se especifique mediante rexistros temporais, xerados numericamente ou correspondentes a terremotos reais, demostrarase a súa compatibilidade cos espectros correspondentes, e seguiranse as especificacións da instrución aplicable no relativo ao número de rexistros e á duración destes.

Nesta instrución non se recollen outras definicións da acción sísmica.

Como factores redutores do espectro elástico, utilizaranse os prescritos pola normativa sismorresistente.

Calquera valor conservador que se poida demostrar (mediante, por exemplo, cálculos plásticos elementais) da relación entre os multiplicadores de carga " α " correspondentes ás situacións de colapso e de primeira plastificación (Figura 50.2) pódese utilizar para reducir o espectro elástico no caso de pórticos de nós ríxidos ou arriostados de forma incompleta (os eixes das barras non concorren nos nós). É dicir, admítese incrementar o valor do coeficiente de comportamento por ductilidade " μ " prescrito pola Norma reconstrución sismorresistente na relación α_u/α_y .

Como limitación, non se aplicarán valores do citado cociente superiores a:

Tipo estrutural	Valor máximo do cociente α_u/α_y
Pórticos de nós ríxidos e unha altura.	1,1
Pórticos de nós ríxidos e varias alturas.	1,2
Pórticos de nós ríxidos, varias alturas e varias aliñacións de piares.	1,3
Estruturas arriostadas mediante triangulacións incompletas.	1,1

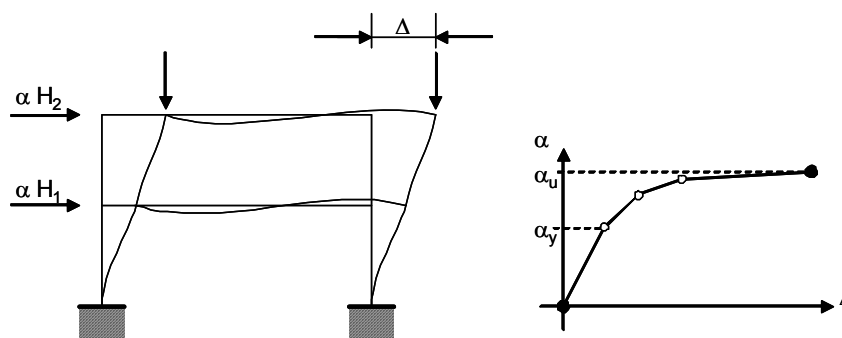


Figura 50.2

Artigo 51 Análise estrutural

A avaliación de esforzos e desprazamentos basearase na modelización realista do comportamento da construción no seu conxunto. De existiren, considerarase a colaboración á rixidez dos elementos non estruturais (no caso dos edificios, cerramentos, particións, escaleiras, etc.).

Cando non sexa posible unha avaliación precisa do efecto dos ditos elementos na rixidez da construción, ben porque o seu comportamento non se coñeza con suficiente precisión ou ben porque poidan sufrir alteracións ao longo da vida da construción, adoptaranse valores conservadores.

O anterior conducirá, en xeral, á realización de máis dunha análise. Os esforzos avaliaranse mediante modelos en que a rixidez non sexa inferior á real. Na avaliación dos desprazamentos, en cambio, utilizaranse valores de rixidez non superiores aos reais.

As masas a considerar en cada modelo serán coherentes coas cargas consideradas nas hipóteses correspondentes e, no caso de depósitos, machóns somerxidos, etc., responderán a un modelo aceptable de interacción fluído-estrutura (por exemplo, masas impulsiva e convectiva en depósitos). No caso de edificios, as masas correspondentes ás sobrecargas de uso poderanse reducir nun 10%.

No caso de construcións en que os elementos non estruturais se distribúan de forma asimétrica en planta (edificio con cerramento medianoiro nun dos seus lados e fachada lixeira no oposto) ou irregular en alzado (planta baixa comercial), o modelo estrutural deberá considerar explicitamente o efecto adverso de tales circunstancias (modos de torsión e concentración da exigencia de ductilidade respectivamente).

A estimación da importancia dos efectos de segunda orde efectuarase conforme o criterio especificado na norma NCSE-02:

$$\theta = \frac{P_k}{V_k} \frac{d_k}{h_k} < 0,10$$

cos significados alí relacionados.

Cando non se verifique a condición anterior pero se cumpra que $\theta \leq 0,20$, entón os efectos da amplificación pódense estimar multiplicando a resposta estrutural (nas variables consideradas, esforzos movementos) polo cociente $1/(1-\theta)$.

En ningún caso o coeficiente θ será maior que 0,3.

Artigo 52 Materiais

Cando no proxecto non se considere redución ningunha do espectro, non serán precisas outras condicións sobre os materiais que as expostas no título 3º desta instrución.

De se considerar algunha redución por ductilidade, requiriranse en xeral condicións máis restritivas sobre os materiais. Neste caso:

- Para os aceiros estruturais, serán de aplicación as condicións relacionadas na Norma de construción sismorresistente. En concreto, os aceiros cumprirán as prescricións do artigo 26 desta instrución, en especial os relativos á ductilidade e á prevención do fallo por rotura laminar (26.3 e 26.4).
- Para as seccións serán de aplicación as condicións relacionadas na Norma de construción sismorresistente. En concreto, as relativas á simetría e á clase da sección.
- Os parafusos serán, preferentemente, de calidades 8.8 ou 10.9.

Artigo 53 Elementos estruturais

53.1. Xeneralidades

Nun esquema estrutural convencional de barras unidas polos seus extremos, as zonas disipativas proxectaranse situadas nas barras, dado que, en xeral, as unións non admiten unha deformación estable de valor suficiente como para disiparen enerxía de forma significativa. As unións situaranse, no posible, afastadas das zonas disipativas. Se iso non for posible, proxectaranse seguindo deseños en capacidade, e cun factor adecuado de sobrerresistencia.

Admítese que os empalmes entre seccións idénticas, realizados mediante soldadura a tope de penetración total, presenten a suficiente sobrerresistencia sen necesidade de comprobación numérica.

53.2. Vigas

As seccións dos elementos flectados cumprirán as prescricións da Norma de construción sismorresistente respecto a simetría e clase.

Comprobarase o arriostamento lateral das vigas en condicións de esgotamento.

Comprobarase que a capacidade á flexión nas zonas disipativas non sofre mingua significativa por efecto do axial ou cortante concomitantes. Para iso, utilizaranse as expresións:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 0,15$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{onde: } V_{Ed} = V_{Ed,G} + V_{Ed,M}$$

sendo:

M_{Ed} , N_{Ed} e V_{Ed} os esforzos de cálculo.

$M_{pl,Rd}$, $N_{pl,Rd}$, $V_{pl,Rd}$ as resistencias das seccións.

$V_{Ed,G}$ o esforzo cortante debido ás accións non sísmicas.

En xeral será:

$$V_{Ed,M} = \frac{M_{pl,Rd,A} + M_{pl,Rd,B}}{L}$$

onde o subíndice A, B se refire a cada extremo da viga e L é a súa luz (entre rótulas).

53.3. Soportes

Os soportes comprobaranse a compresión ante a combinación máis desfavorable de esforzos axiais e flectores.

Na estimación dos momentos actuantes consideraranse os coeficientes de sobrerresistencia pertinentes.

53.4. Pórticos

Cando a estrutura se organice en pórticos, estes cumprirán as prescricións establecidas no capítulo V, Análise estrutural, desta instrución e no número correspondente da Norma de construción sismorresistente.

Os únicos tipos de pórticos admisibles en estruturas situadas en zonas sísmicas son ríxidos e arriostados. Non se admite o proxecto de pórticos semirríxidos, duais ou mixtos, que combinen as rixideces de sistemas resistentes diferentes.

No caso dos pórticos arriostados, adoptaranse as medidas construtivas necesarias para que os elementos da triangulación non soporten as cargas permanentes.

Artigo 54 Unións

No proxecto das unións, e especialmente no caso daquelas que se sitúen ou limiten unha zona de disipación, evítanse aqueles detalles que:

- Produzan efectos de concentración de tensións (entallas xeométricas ou metalúrxicas), coidando especialmente o acordo adecuado entre ángulos entrantes, o tamaño suficiente dos orificios, limitando ao mínimo o cruzamento de cordóns, etc.
- Requiran a existencia de deformacións plásticas de valor elevado (por exemplo, por conformación de elementos de grosor importante).
- Introduzan tensións residuais de valor elevado (cordóns de soldadura de tamaño innecesariamente grande, coaccións durante a soldadura...).
- Favorezan a aparición de fallos por rotura laminar.
- Dificulten en exceso a execución e o control.

O emprego de unións de elementos de pequeno grosor mediante parafusos autorroscantes e similares limitarase ao proxecto de estruturas non dúctiles ou ben ás situadas en zonas non disipativas.

En xeral, non se admitirá o proxecto de unións semirríxidas entre elementos que formen parte do esquema resistente a sismo.

Nas zonas disipativas non se permitirá a existencia de elementos que transmitan esforzos en dirección do grosor.

TÍTULO 5.º UNIÓNS E ELEMENTOS ESTRUTURAIIS**CAPÍTULO XIV****UNIÓNS****Artigo 55 Xeneralidades****55.1. Bases**

Todas as unións dunha estrutura se deben proxectar de forma que lle permitan conseguir a esta o proxectado nivel de seguridade, bo comportamento en servizo e durabilidade, e deben ser capaces de resistir, polo menos, os esforzos previstos para elas na análise global da estrutura.

55.2. Fabricación e montaxe

As unións proxectaranse de forma que sexan de fácil e segura execución. En particular, prestarase a debida atención a dispor o espazo necesario para:

- Montar as pezas con seguridade.
- Apertar os parafusos.
- Permitir o acceso dos soldadores.
- Permitir o acceso do persoal encargado de realizar os tratamentos de protección e mantemento, dos traballos de inspección e dos seus equipamentos.

Tamén se deberán ter en conta os efectos a que poidan dar orixe as tolerancias en lonxitude e no ángulo entre caras dunha mesma peza sobre o axuste coas pezas contiguas.

55.3. Transmisión de esforzos

A disposición de cada unión estudarase para que, co menor número posible de elementos, os esforzos existentes se transmitan nas condicións máis correctas que se poidan lograr e de forma que se reduzan ao mínimo os esforzos secundarios.

55.4. Nós de estruturas trianguladas

No caso de estruturas trianguladas, facilítase o cumprimento da condición anterior cando os eixes das barras a unir nun nó coincidan nun punto e cando o ángulo formado por barras contiguas estea comprendido entre 30° e 150° .

De se cumpriren ambas as condicións, poderase supor que as barras están articuladas no nó. Non se poderá admitir esta suposición no caso de non se cumprir a segunda delas, ou cando existan cargas aplicadas en puntos intermedios da barra, distintas do seu peso propio ou da acción directa do vento sobre esta, ou cando o cociente da luz ao canto da estrutura sexa inferior a 6.

En caso de non se cumprir a primeira das condicións, a excentricidade correspondente terase en conta no cálculo, salvo o disposto no artigo 64 para certos casos de unións entre perfís tubulares.

55.5. Empalmes

Denomínanse empalmes as unións en prolongación de barras ou perfís desta ou de moi parecida sección. Non se permitirán empalmes non previstos nos planos de proxecto ou nos de taller debidamente aprobados pola dirección facultativa.

55.6. Unións en obra

Procurarase reducir ao mínimo o número de unións a realizar en obra. Con este fin, é recomendable a colaboración entre o proxectista e o construtor para a resolución dos problemas de transporte e montaxe que aquela redución puidese implicar.

Aconséllase seguir a boa práctica construtiva de proxectar aparafusadas as unións que se van realizar en obra.

55.7. Unións híbridas

Denomínanse unións híbridas aquelas en que dous ou máis medios de unión distintos, soldadura ou parafusos, colaboran para transmitir un determinado esforzo entre dúas pezas distintas.

Non se consideran como tales a transmisión dun certo esforzo dunha peza a outra utilizando un determinado medio de unión, e desta segunda peza a unha terceira utilizando un medio diferente.

Artigo 56 Determinación de esforzos nas unións e repartición entre os medios de unión

56.1. Esforzos nas unións

Os esforzos que recibe unha unión determinaranse a partir da análise global da estrutura, realizada de acordo co disposto nos capítulos II, Bases de proxecto, e V, Análise estrutural, desta instrución.

Na dita análise global teranse explicitamente en conta os efectos de segunda orde e os das imperfeccións da estrutura, cando sexan relevantes; e a propia flexibilidade das unións en calquera caso.

As unións dimensionaranse para resistir, polo menos, os esforzos que reciben, calculados segundo se acaba de indicar. En ningún caso os esforzos a considerar, N_{Ed} , M_{Ed} ou V_{Ed} , se tomarán como inferiores a:

- A metade do esforzo axial plástico da sección da peza, $N_{Ed} = 1/2 N_p = 0,5A_f f_y$, en pezas sometidas predominantemente a esforzos axiais, tales como soportes, tirantes, pezas de celosías, etc.
- A metade do momento elástico da sección da peza, $M_{Ed} = 1/2 M_{el} = 0,5 W_{el} f_y$ e unha terceira parte do cortante plástico desta, $V_{Ed} = 1/3 V_p \approx 0,2A_w f_y$ en puntos interiores de pezas flectadas. Se a unión se atopa a unha distancia inferior a dous cantos do lugar onde se prevexa a formación dunha rótula plástica, substituirase a metade do momento elástico M_{el} polo momento plástico completo, $M_{Ed} = M_{pl} = 2S_y f_y$, salvo estudo detallado.
- Unha terceira parte do cortante plástico da sección da peza $V_{Ed} = 1/3 V_p \approx 0,2A_w f_y$ en extremos articulados de pezas flectadas.

Recoméndase que, salvo que os ditos esforzos fosen determinados con precisión e non poidan ser aumentados pola introdución de elementos novos na construción ou pola presenza de elementos non considerados, as unións se dimensionen para os máximos esforzos que as pezas poidan transmitir, en función da forma de traballo prevista para estas.

56.2. Repartición de esforzos

Admitirase en calquera caso a repartición de esforzos entre os distintos elementos que compoñen unha unión determinada baseada nunha análise lineal elástica desta.

Alternativamente, nos casos autorizados expresamente nesta instrución e baseándose no teorema de mínimo da plasticidade, admitiranse reparticións baseadas en análise non lineais. Admitirase como correcta calquera repartición de esforzos entre os distintos elementos da unión que cumpra as seguintes condicións:

- A suma de forzas e momentos supostos para cada un dos distintos elementos da unión están en equilibrio cos esforzos exteriores que a solicitan.
- Cada elemento da unión é capaz de resistir os esforzos que se lle adxudicaron na repartición.
- Cada elemento da unión ten suficiente capacidade de deformación para que sexa fisicamente posible a repartición suposta.
- A repartición de esforzos debe gardar proporción coas rixideces dos distintos elementos implicados, transmitíndose a través da unión preferentemente polas zonas de maior rixidez.

De se utilizar o método das liñas de rotura para xustificar unha determinada repartición, será necesaria unha verificación mediante ensaios deste. Exceptúanse os casos expresamente indicados nesta instrución.

Non se admite realizar a repartición de esforzos por métodos plásticos nos casos indicados no número 58.10.

Artigo 57 Clasificación das unións sometidas a momento flector

57.1. Xeneralidades

Neste número estúdanse aquelas unións entre dúas pezas, tales como unións viga-soporte ou empalme de vigas, que estean destinadas fundamentalmente a transmitir momentos flectores.

57.2. Diagramas momento-rotación

Unha unión destinada a transmitir momentos queda definida cando se coñece a relación existente entre o momento aplicado a esta e o xiro relativo que permite entre as pezas que cómpre unir. A representación gráfica desta relación coñécese co nome de diagrama momento-rotación.

En xeral, o dito diagrama presenta unha rama lineal, figura 57.2.a (1), unha zona de comezo das plastificacións, figura 57.2.a (2), e unha rama de grandes deformacións, figura 57.2.a (3).

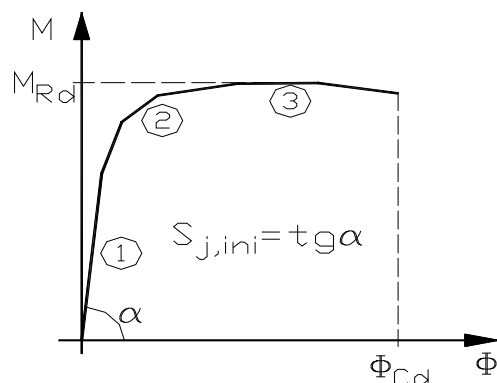


Figura 57.2.a. Diagrama momento-rotación

Estes diagramas pódense obter mediante ensaios ou mediante métodos numéricos que consideren a non-linearidade dos distintos materiais, aceiro estrutural, metal de achega nas soldaduras, parafusos, etc., que interveñen na unión. Para efectos de cálculo, pódense substituír por diagramas simplificados, bilineais ou trilineais, obtidos a partir do real coa única condición de que todos os seus puntos queden por debaixo deste, figura 57.2.b.

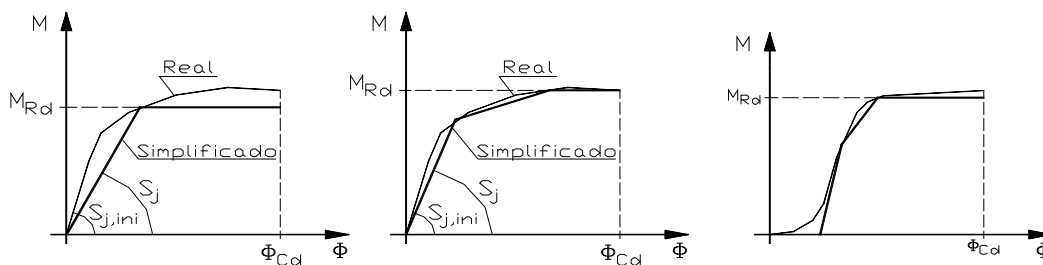


Figura 57.2.b. Diagramas momento-rotación simplificados

Un diagrama simplificado queda definido por tres parámetros, figura 57.2.b:

Momento último M_{Rd} , definido pola maior ordenada do diagrama.

Capacidade de rotación, ϕ_{Cd} , definida pola maior abscisa do diagrama.

Rixidez da unión, S_j , pendente da rama lineal que pasa pola orixe.

57.3. Clasificación das unións en función da súa resistencia

En función da súa resistencia relativa con respecto ás das pezas a unir, as unións clasifícanse en:

Articulacións, que son aquelas unións que non son capaces de transmitir momentos apreciables (superiores ao 25% do momento plástico das pezas que se van unir) que poidan afectar negativamente o comportamento dalgunha peza da estrutura. Deberán ser capaces de soportar os xiros que resulten da análise global.

Unións de resistencia completa, cuxo momento último é igual ou maior que o das pezas a unir, $M_{Rd} \geq M_{pl,Rd}$.

As unións de resistencia parcial son aquelas que non son nin articuladas nin de resistencia completa. O seu momento último non poderá ser menor que o determinado na análise, $M_{Rd} \geq M_{Ed}$.

En calquera caso, a capacidade de rotación da unión será suficiente para non limitar a formación das rótulas plásticas que se previsen na análise.

A capacidade de rotación dunha unión débese demostrar experimentalmente ou mediante métodos numéricos que consideren a non-linearidade do comportamento dos materiais e elementos implicados, a non ser que nesta instrución se indiquen métodos simplificados para calculala, tales como os indicados no artigo 62.

En particular, cando o momento último dunha unión de resistencia completa sexa superior en polo menos un 20% ao momento plástico da maior peza a unir, $M_{Rd} \geq 1,2 M_{pl,Rd}$ non será preciso comprobar a súa capacidade de rotación, admitíndose que esta é suficiente.

57.4. Clasificación das unións en función da súa rixidez

En función da súa rixidez relativa con respecto ás das pezas a unir, as unións clasifícanse en:

Articulacións, que son aquelas unións cuxa rixidez cumpre a condición:

$$S_{j,ini} \leq \frac{EI_b}{2L_b}$$

Onde I_b e L_b son o momento de inercia e a lonxitude da viga conectada.

Unións rixidas ou encastramentos, que son aquelas unións en que a súa deformación non ten influencia apreciable nas leis de esforzos globais da estrutura nin na deformabilidade xeral desta. Clasifícanse como tales aquelas unións en que a rixidez inicial $S_{j,ini}$ do seu diagrama momento-rotación cumpre a condición:

$$S_{j,ini} \geq k \frac{EI_b}{L_b}$$

onde k se tomará igual a 8 se a viga pertence a un pórtico intranslacional ou a 25 se pertence a un pórtico translacional.

Unións semirrígidas, que son aquelas que non poden ser clasificadas como articulacións nin como unións ríxidas. Consideraranse tamén como semirrígidas todas as unións que non sexan articulacións e que pertencen a pisos de pórticos en que se cumpra que:

$$\frac{K_b}{K_c} < 0,1$$

sendo K_b o valor medio de I_b/L_b para todas as vigas do teito piso e K_c o valor medio de I_c/L_c das columnas ou piares do dito piso.

57.5. Modelado das unións na análise global

En xeral, para a análise global as unións modelízanse mediante o seu diagrama momento-rotación.

As unións articuladas poderanse modelizar mediante articulacións que non transmitan momento flector. As unións ríxidas de resistencia completa poderanse modelizar como un nó continuo (ou ríxido). Nestes casos, non haberá necesidade de introducir o diagrama momento rotación da unión.

No caso das unións semirrígidas ou de resistencia parcial á rixidez da unión S_j correspondente ao momento $M_{j,Ed}$ (definida polo seu diagrama momento-rotación), deberá ser utilizada na análise global para a determinación dos esforzos na estrutura.

Como simplificación no caso de análise global elasto-plástica, poderase utilizar un diagrama bilineal como o mostrado na figura 57.2.b no que a rixidez S_j sexa igual a:

$$S_{j,ini} / \eta.$$

Como simplificación no caso de análise global elástica, a rixidez rotacional para todos os valores do momento M_{Ed} poderase tomar como:

$$S_{j,ini} \text{ se } M_{Ed} \leq 2/3 M_{Rd}$$

$$S_{j,ini} / \eta \text{ se } M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

O parámetro η será igual a 2 para as unións viga-piar; 3,5 para as unións viga-viga, empalmes e zapatas que leven angulares aparafusados ás alas; e 3 para calquera outro tipo de unión.

Artigo 58 Unións aparafusadas

58.1. Tipos de parafusos

Os parafusos a empregar en unións de estruturas de aceiro serán preferentemente dalgún dos graos 4.6, 5.6, 6.8, 8.8 ou 10.9, amparados por algunha das normas recollidas no número 29.2 desta instrución.

Non se utilizarán parafusos de grao inferior ao 4.6 nin de grao superior ao 10.9 sen demostración experimental de que son adecuados para a unión en que se prevé o seu uso.

Os valores nominais do límite elástico f_{yb} e da resistencia á tracción f_{ub} do aceiro dos parafusos dos graos admitidos indícanse na táboa 58.1.

Táboa 58.1. Valores nominais do límite elástico f_{yb} e da resistencia á tracción f_{ub} dos parafusos

GRAO DO PARAFUSO	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
f_{yb} , N/mm ²	240	300	480	640	900
f_{ub} , N/mm ²	400	500	600	800	1000

Os parafusos de graos 8.8 e 10.9 denomínanse de alta resistencia.

58.2. Categorías de unións aparafusadas

As unións aparafusadas clasifícanse, en función da maneira de traballar dos parafusos, en cinco categorías. Tres delas corresponden a unións en que os parafusos están solicitados en dirección normal ao seu eixe, categorías A, B e C; e outras dúas, categorías D e E, a unións en que os parafusos están solicitados en dirección do seu eixe, isto é, a tracción.

Categoría A: Son unións en que os parafusos, ordinarios ou de alta resistencia, traballan a cortante e esmagamento. De os parafusos seren de alta resistencia, calidades 8.8 ou 10.9, non é preciso que estean pretensados, nin que as superficies en contacto estean preparadas de maneira especial. O seu cálculo efectuarase de acordo co disposto no número 58.6. Por evidentes razóns de economía, empregaranse habitualmente unións desta categoría cando os parafusos vaian estar solicitados en dirección normal ao seu eixe. Cando a peza estea sometida a fatiga, a impactos ou a esforzos alternativos, recoméndase que se empreguen parafusos de alta resistencia pretensados ata o valor N_0 indicado no número 58.8, aínda que os parafusos se poden seguir calculando a cortante e esmagamento.

Categoría B: Son unións realizadas con parafusos de alta resistencia pretensados, con superficies en contacto preparadas, que se desexa que non se despracen no estado límite de servizo. Admítese que, en estado límite último, a unión se desprace e os parafusos traballan a cortante e esmagamento. O esforzo $F_{s.Ed}$ a transmitir, calculado en estado límite de servizo, deberá cumprir:

$$F_{s.Ed} \leq F_{s.Rd}$$

sendo $F_{s,Rd}$ o valor dado no número 58.8. En estado límite último, a unión comprobarase de acordo co disposto no número 58.6.

Categoría C: Son unións realizadas con parafusos de alta resistencia pretensados, con superficies en contacto preparadas, que se desexa que non se despracen no estado límite último. O esforzo $F_{s,Ed}$ a transmitir, calculado en estado límite último, deberá cumprir:

$$F_{s,Ed} \leq F_{s,Rd}$$

sendo $F_{s,Rd}$ o valor dado no número 58.8.

Comprobarase ademais que en estado límite último:

- A unión resiste a cortante e esmagamento de acordo co disposto no número 58.6. Esta condición poderase considerar satisfeita se o grosor t_{min} da peza máis delgada a unir é superior ao valor $d/2,4$ se as pezas son de aceiro S 235 ou S 275 ou ao valor $d/3,1$ se as pezas son de aceiro S 355;
- O esforzo a transmitir, $F_{s,Ed}$, é inferior á resistencia plástica da área neta da peza:

$$F_{s,Ed} \leq A_{net} f_y / \gamma_{M0}$$

Esta categoría de unións empregárase cando, para simplificar a montaxe, se utilicen trades a sobremedida ou estirados na dirección do esforzo a transmitir, ou cando se estime que calquera desprazamento da unión poida deteriorar sensiblemente a resistencia ou a rixidez da estrutura, ou cando os parafusos traballen conxuntamente con cordóns de soldadura en unións híbridas.

Categoría D: Son unións realizadas con parafusos ordinarios ou de alta resistencia traballando a tracción. De se empregaren parafusos de alta resistencia, non é preciso que estean pretensados nin que as superficies en contacto estean preparadas. Non se recomenda o uso de unións desta categoría cando deban estar sometidas a variacións frecuentes do esforzo de tracción a transmitir, aínda que se admite o seu uso se os ditos esforzos de tracción son debidos unicamente a cargas de vento.

Categoría E: Son unións realizadas con parafusos de alta resistencia pretensados traballando a tracción. O pretensado mellora a rixidez da unión en estado límite de servizo e a resistencia á fatiga, aínda que esta última dependerá en gran medida dos detalles construtivos e das tolerancias do axuste entre pezas. Só é preciso preparar as superficies se a unión está sometida a esforzos normais ao eixe dos parafusos, ademais da tracción (unións de categorías E+B ou E+C).

58.3. Orificios para parafusos

Os orificios para parafusos efectuaranse preferentemente mediante trade. Autorízase a súa execución mediante punzonado cando o orificio sexa de diámetro superior ao grosor da peza, o dito grosor non sexa superior a 15 mm e sempre que as pezas a unir non estean sometidas a solicitacións de fatiga.

O diámetro estándar dos orificios será igual ao do parafuso e mais:

- 1 mm para parafusos de 12 e 14 mm de diámetro;
- 1 ou 2 mm para parafusos de 16 a 24 mm;
- 2 ou 3 mm para parafusos de 27 mm ou maiores.

Os orificios dos parafusos de 12 e 14 mm tamén poderán ter unha folgura de 2 mm sempre e cando a resistencia do grupo de parafusos a esmagamento sexa inferior á de cortante.

En unións aparafusadas resistentes por rozamento pódense empregar orificios a sobremedida ou orificios abertos, curtos ou longos, para facilitar a montaxe das pezas. Para orificios a sobremedida, o diámetro do trade será igual ao dos parafusos e mais:

- 3 mm para parafusos de 12 mm;
- 4 mm para parafusos de 14 a 22 mm;
- 6 mm para parafusos de 24 mm;
- 8 mm para parafusos de 27 mm ou maiores.

Para os pernos de ancoraxe en placas de base, pódense empregar orificios a sobremedida coas folguras que indique o proxectista, sempre que os ditos trades se tapen con cobrexuntas de dimensións e grosor adecuados. Os orificios nos cobrexuntas serán de diámetro estándar. En caso de que os pernos de ancoraxe deban resistir esforzos perpendiculares ao seu eixe, os cobrexuntas deberanse soldar á placa de base cunha soldadura de resistencia suficiente para transmitir os ditos esforzos.

A largura dos orificios abertos curtos ou longos en dirección normal ao esforzo será igual ao diámetro dos orificios estándar correspondentes. Na dirección do esforzo, a distancia e , figura 58.3, para orificios abertos curtos será igual a:

- $(d + 4)$ mm para parafusos de 12 ou 14 mm,
- $(d + 6)$ mm para parafusos de 16 a 22 mm,
- $(d + 8)$ mm para parafusos de 24 mm,
- $(d + 10)$ mm para parafusos de 27 mm e maiores.

Para orificios abertos longos será en todos os casos:

$e = 2,5 d$ de mm, sendo d o diámetro do parafuso correspondente.

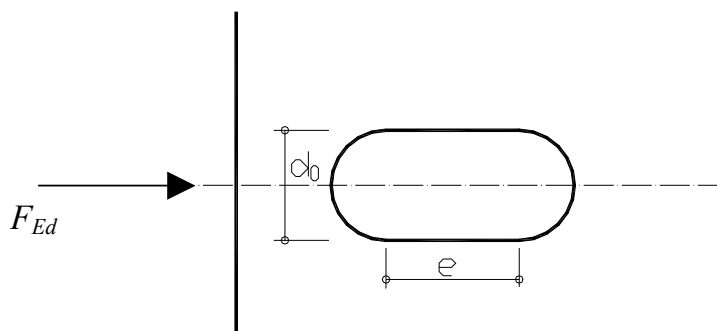


Figura 58.3. Orificios abertos

Autorízase o emprego de orificios abertos longos cando se queira permitir o movemento relativo entre as pezas a unir. Neste caso, a lonxitude do trade será fixada polo proxectista. En calquera caso, para evitar problemas de durabilidade, os orificios abertos longos nas caras exteriores das pezas débense cubrir con cobrexuntas de dimensións e grosor apropiados e con orificios non maiores que os estándares

58.4. Disposicións construtivas

Os orificios para parafusos débense dispor de forma que se dificulte a corrosión das pezas a unir, se eviten os problemas de empenamento local ou aboladura destas, permitan a colocación dos parafusos ou bulóns de maneira fácil e non diminúan innecesariamente a resistencia a esmagamento das pezas a unir.

Na táboa 58.4.a establécense os límites máximos e mínimos para as distancias dos orificios e os bordos que se definen a continuación e nas figuras 58.4.a. e 58.4.b, sendo:

- e_1 Distancia desde o centro dun orificio a un bordo contiguo, medida en dirección do esforzo a transmitir.
- e_2 Distancia desde o centro dun orificio a un bordo contiguo, medida en dirección perpendicular ao esforzo a transmitir.
- p_1 Distancia entre centros de orificios contiguos, medida en dirección do esforzo a transmitir.
- p_2 Distancia entre filas contiguas de parafusos ou remache, medida en dirección perpendicular ao esforzo a transmitir.
- m Distancia do eixe do trade a calquera superficie paralela ao dito eixe.

No caso de orificios abertos, as distancias e_1 , e_2 , p_1 e p_2 mediranse desde os centros dos semicírculos extremos.

Táboa 58.4.a: Disposicións construtivas

Distancias e separacións	Mínimo obrigatorio	Mínimo recomendado	Máximo, ambiente normal	Máximo, intemperie ou ambiente corrosivo
e_1	$1,2d_0$	$2d_0$	125 mm ou $8t$	$40 \text{ mm} + 4t$
e_2	$1,2d_0$	$1,5d_0$	125 mm ou $8t$	$40 \text{ mm} + 4t$
p_1	$2,2d_0$	$3d_0$	Pezas comprimidas: $14t$ ou 200 mm Pezas traccionadas: $28t$ ou 400 mm	
p_2	$2,4d_0$	$3d_0$	$14t$ ou 200 mm	
m		$2d$		

d_0 Diámetro do orificio.
 d Diámetro do parafuso.
 t Grosor da peza máis delgada a unir.

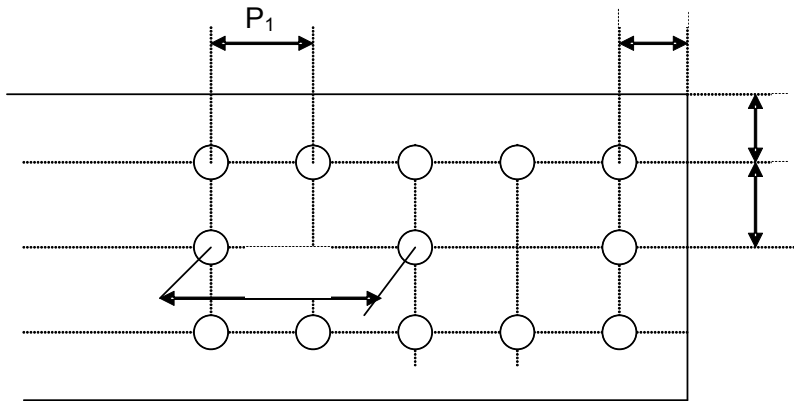


Figura 58.4.a. Distancias

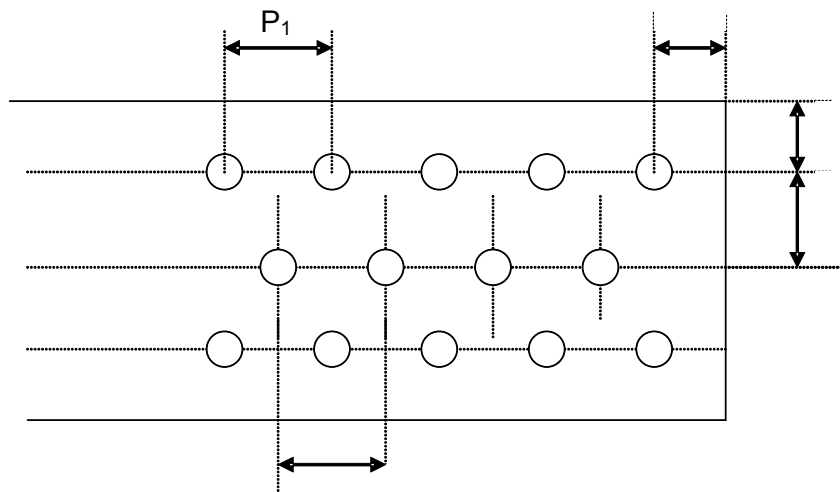
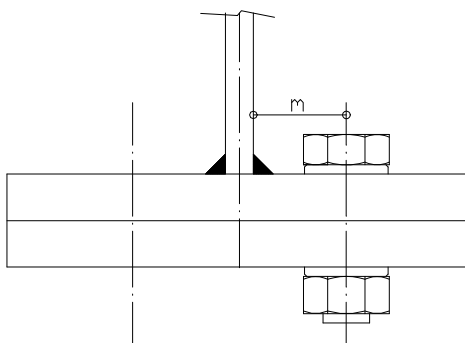


Figura 58.4.b. Orificios en paralelo de forma alterna

Para que os parafusos se poidan apertar sen dificultade, recoméndase que a distancia m do eixe do trade a calquera superficie paralela ao dito eixe, figura 58.4.c, non sexa inferior a $2d$, sendo d do diámetro do parafuso.

Figura 58.4.c. Distancia m

58.5. Resistencia de elementos con orificios

A diminución de resistencia a tracción, compresión ou flexión que os orificios destinados a aloxaren medios de unión supoñen para as pezas a unir terase en conta de acordo co disposto no artigo 34 desta instrución.

58.5.1. Resistencia á rotura

Nos extremos de vigas unidas a outras vigas ou a soportes mediante unións que obriguen a desmembrar unha ou ambas as alas, figura 58.5.1.a, ou nos extremos de pezas traccionadas unidas mediante parafusos ou soldadura a cartelas, figura 58.5.1.b, é preciso comprobar a resistencia das pezas e cartelas á rotura.

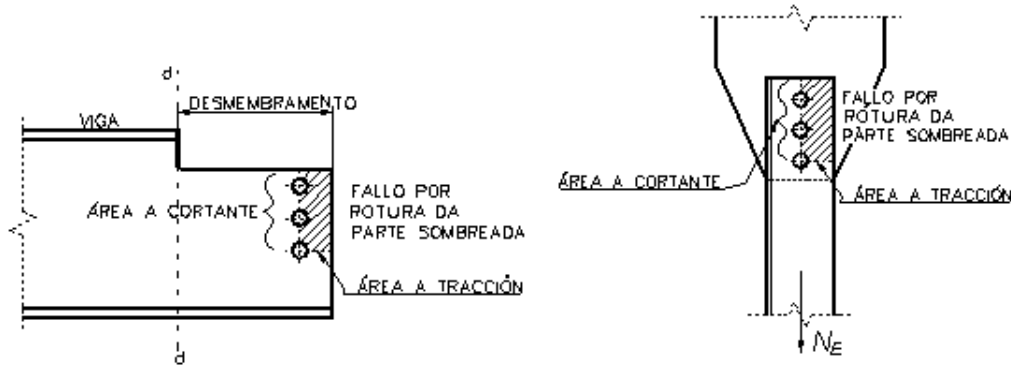
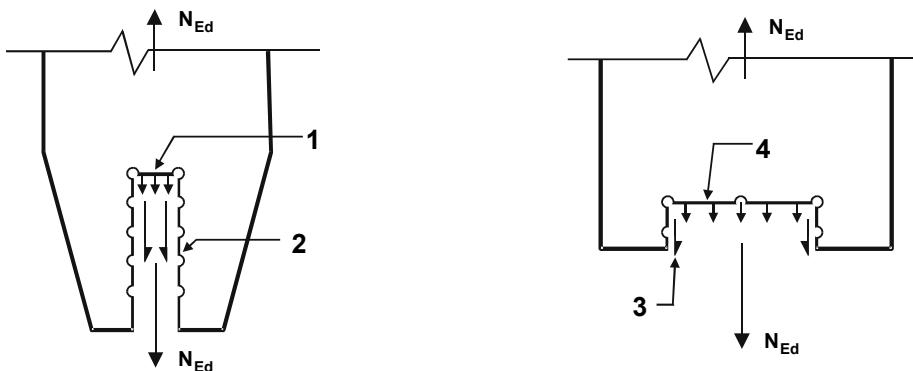


Figura 58.5.1.a. Rotura en extremo de pezas

No caso de unión dunha viga a outra viga ou a un soporte mediante dobre casquete de angular, número 61.3, se a unión se realiza como é habitual mediante unha única columna de n parafusos, só será preciso efectuar esta comprobación cando se desmembre a alma da viga cara á que se dirixe a reacción, figura 58.5.1.a; neste caso tamén será preciso comprobar a flexión a sección $d-d$ de comezo do desmembramento.



- 1 Esfuerzo de tracción pequeno.
- 2 Esfuerzo cortante grande.
- 3 Esfuerzo cortante pequeno.
- 4 Esfuerzo de tracción grande.

Figura 58.5.1.b. Rotura en cartelas

O extremo da peza solicitada por un esforzo axial centrado co seu eixe ou a cartela correspondente serán seguros de se cumprir que:

$$N_{Ed} \leq N_{ef,Rd}$$

onde N_{Ed} é o esforzo de cálculo e $N_{ef,Rd}$ é a resistencia á rotura, que se calculará a partir da seguinte expresión:

$$N_{ef,Rd} = \frac{f_u A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y A_{nv}}{\sqrt{3}\gamma_{M0}}$$

sendo:

A_{nt} Área neta da zona sometida a tracción.

A_{nv} Área neta da zona sometida a cortante.

En unións en que o esforzo actúe excentricamente, tales como as unións con dobre casquete de angular de extremo de vigas, tomarase para A_{nt} na expresión anterior a metade do seu valor real.

58.5.2. Angulares unidos por un lado e outros elementos asimetricamente unidos en tracción

A excentricidade nas unións, e os efectos da separación e a distancia ao bordo dos parafusos, teranse en conta ao determinar o valor de cálculo da resistencia de:

- Elementos asimétricos.
- Elementos simétricos que están asimetricamente unidos, tales como angulares unidos por un lado.

Un angular único a tracción unido por unha única fila de parafusos nun lado, véxase a figura 58.5.2, pódese tratar como concéntricamente cargado nunha sección neta eficaz para a cal o valor da resistencia última de cálculo se poderá determinar da seguinte maneira:

Con 1 parafuso
$$N_{u,Rd} = \frac{2(e_2 - 0,5d_0) t f_u}{\gamma_{M2}}$$

Con 2 parafusos
$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

Con 3 ou máis parafusos
$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

onde:

β_2 e β_3 Coeficientes de redución que dependen da separación p_1 tal e como se indica na táboa 58.5. Para valores intermedios de p_1 , o valor de β pódese determinar por interpolación lineal.

A_{net} Área neta do angular. Para un angular de lados desiguais unidos polo seu lado menor, A_{net} poderase tomar igual á área neta da sección dun angular equivalente de lados iguais do mesmo tamaño do lado menor.

Táboa 58.5: Coeficientes de redución β_2 e β_3

Separación p_1	$\leq 2,5 d_0$	$\geq 5,0 d_0$
2 parafusos β_2	0,4	0,7
3 ou máis parafusos β_3	0,5	0,7

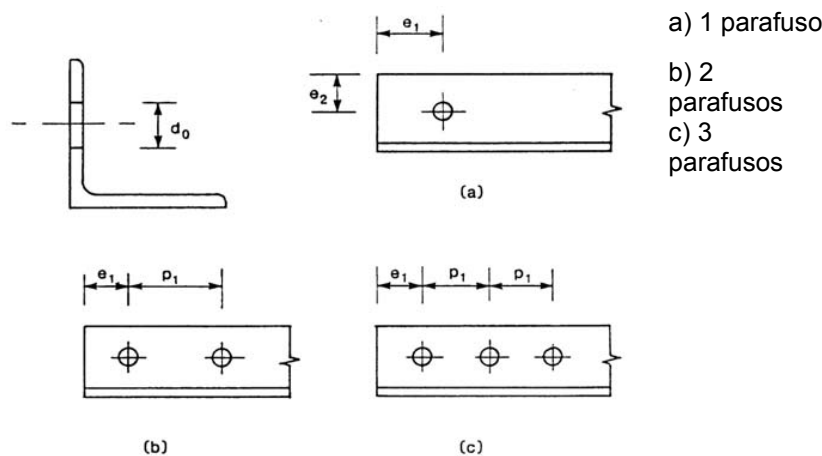


Figura 58.5.2. Angulares unidos por un só lado

58.5.3. Angulares de reforzo

Cando sexa preciso colocar angulares de reforzo entre unha peza de sección angular e unha cartela, figura 58.5.3, a unión do angular de reforzo á peza dimensionarase para resistir un esforzo un 20% superior ao esforzo correspondente á ala do angular que une, e a súa unión á cartela para resistir un esforzo superior nun 40% ao esforzo da ala do angular ao que vai unido.

Se a peza ten sección en U, unida pola súa alma a unha cartela con axuda de dous angulares de reforzo, a unión de cada un destes ás alas da peza en U dimensionarase para resistir un esforzo un 10% superior ao esforzo correspondente á ala da sección en U, e a súa unión á cartela para resistir un esforzo superior nun 20% ao da ala que da sección en U que une.

En ningún caso se deberán empregar menos de dous parafusos para unir o angular de reforzo.

A unión dun angular de reforzo a unha cartela ou outra parte portante deberá rematar ao final do elemento unido. A unión do angular de reforzo ao elemento deberá ir desde o final do elemento ata máis alá da unión directa do elemento coa cartela ou outra parte portante.

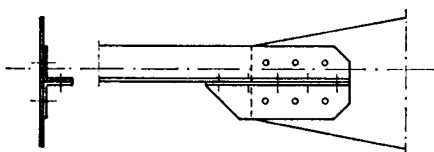


Figura 58.5.3. Angulares de reforzo

58.6. Resistencias dun parafuso a cortante e esmagamento

Cando un parafuso, colocado en orificio estándar, está solicitado en dirección normal ao seu eixe nos estados límite últimos, o esforzo que o solicita, $F_{v,Ed}$ non será maior que o menor dos dous valores seguintes:

- A resistencia a cortante do parafuso, $F_{v,Rd}$.
- A resistencia a esmagamento da peza na zona contigua ao parafuso, $F_{b,Rd}$.

Se todos os planos de corte pasan pola zona sen rosca do eixe do parafuso, a resistencia a cortante $F_{v,Rd}$ vén dada pola expresión:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{ub} A n}{\gamma_{M2}}$$

Se algún dos planos de corte pasa pola zona roscada do eixe do parafuso e os parafusos son 4.6, 5.6 e 8.8, a resistencia a cortante vén dada pola expresión:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{ub} A_s n}{\gamma_{M2}}$$

Se algún dos planos de corte pasa pola zona roscada do eixe e os parafusos son de grao 6.8 ou 10.9, a resistencia a cortante vén dada pola expresión:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 f_{ub} A_s n}{\gamma_{M2}}$$

Nas expresións anteriores, A é a área do eixe do parafuso; A_s é a área resistente a tracción (véxase a táboa 58.7); f_{ub} a tensión última a tracción do parafuso, e n é o número de planos de corte.

A resistencia a esmagamento dunha peza de grosor t contra o eixe dun parafuso de diámetro d colocado nun orificio estándar vén dada pola expresión:

$$F_{b,Rd} = \frac{\alpha \beta f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

onde f_u é a resistencia á tracción do material da peza, α un coeficiente igual ao menor dos valores:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \quad \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \quad \frac{f_{ub}}{f_u}; \quad 1,0$$

e β outro coeficiente igual ao menor dos valores:

$$\frac{2,8e_2}{d_0} - 1,7; \quad \frac{1,4p_2}{d_0} - 1,7; \quad 2,5$$

Se o parafuso está colocado en orificio a sobremedida, o valor de $F_{b,Rd}$ dado polas expresións anteriores multiplicarase polo factor 0,8. Se o orificio é aberto, coa dirección de abertura normal ao esforzo a transmitir, o valor de $F_{b,Rd}$ dado polas expresións anteriores multiplicarase polo factor 0,6. Non se permite a transmisión de esforzos por cortante e esmagamento en orificios abertos na dirección do esforzo.

Para unións de solapamento único cunha soa fila de parafusos, deberanse colocar obrigatoriamente arandelas baixo a cabeza e baixo a torca do parafuso, e a resistencia a esmagamento $F_{b,Rd}$, calculada segundo as expresións anteriores, limitarase como máximo ao valor:

$$F_{b,Rd} = 1,5 f_u d e t / \gamma_{M2}$$

Para parafusos de cabeza abelana, tomarase como grosor t o da peza na que se aloxa a cabeza menos a metade da altura desta.

Na táboa 58.6.a indícase a resistencia a simple cortante en kN dos parafusos de diámetros e graos máis usuais cando os planos de corte non pasan pola zona roscada do eixe.

Táboa 58.6.a. Resistencia a simple cortante en kN dos parafusos máis usuais

GRAO	DIÁMETRO DO PARAFUSO (mm)						
	12	14	16	20	22	24	27
4.6	21,71	29,55	38,60	60,32	72,98	86,86	109,93
5.6	27,14	36,95	48,25	75,40	91,23	108,57	137,41
6.8	32,57	44,33	57,90	90,48	109,48	130,28	164,89
8.8	43,43	59,11	77,21	120,64	145,97	173,72	219,86
10.9	54,28	73,89	96,50	150,80	182,46	217,14	274,82

Na táboa 58.6.b indícase a resistencia a esmagamento dunha peza de 10 mm de grosor contra parafusos dos diámetros máis usuais, tomando para as distancias a bordos e entre parafusos os valores que se indican nela.

Táboa 58.6.b. Resistencia a esmagamento en kN para chapas de 10 mm de grosor

DIÁMETROS	DISTANCIAS MÍNIMAS (mm)					RESISTENCIA PARA ACEIROS		
	d_0	e_1	e_2	p_1	p_2	S 235	S 275	S 355
12	13	25	20	40	40	55,38	66,15	78,46
14	15	30	25	45	45	67,20	80,27	95,20
16	17	35	25	50	50	79,06	94,43	112,0
20	21	40	30	65	65	91,43	109,21	129,52
22	23	50	35	75	75	114,78	137,10	162,61
24	26	50	40	80	80	120,0	143,33	170,0
27	29	60	45	90	90	134,07	160,14	189,93

Cando sexa necesario dispor forros de grosor t_f superior a unha terceira parte do diámetro dos parafusos que se utilicen para poder garantir un bo axuste entre as pezas a unir, a resistencia a cortante $F_{v,Rd}$ débese multiplicar por un coeficiente de redución β_f dado por:

$$\beta_f = \frac{9d}{8d + 3t_f} \leq 1$$

Para unións traballando a dobre cortante con forros nas dúas caras da unión, t_f débese tomar igual ao grosor do forro máis grosso dos dous. Calquera parafuso adicional que sexa preciso colocar a causa da aplicación do factor β_f pode, a vontade do proxectista, colocarse nunha prolongación dos forros disposta para o efecto.

58.7. Resistencia á tracción

Cando un parafuso está solicitado na dirección do seu eixe nos estados límite últimos por un esforzo de tracción, $F_{t,Ed}$, no cal se deben incluír as posibles forzas de panca, este non será maior que o menor dos dous valores seguintes:

- A resistencia á tracción do parafuso, $F_{t,Rd}$.
- A resistencia ao punzonamento da peza baixo a torca ou baixo a cabeza do parafuso, $B_{p,Rd}$.

Nas unións con chapa frontal e con parafusos de alta resistencia pretensados, a resistencia a tracción do conxunto chapa-parafuso, $F_{ch,Rd}$, que se determinará de acordo co disposto no número 61.2.

A resistencia a tracción $F_{t,Rd}$ dun parafuso vén dada pola expresión:

$$F_{t,Rd} = 0,9 f_{ub} A_s / \gamma_{M2}$$

A resistencia á tracción indicada só é válida para parafusos fabricados de acordo con algunha das normas indicadas no número 58.1. A resistencia á tracción de elementos, tales como pernos de ancoraxe, nos que a rosca se fabrique mediante procedementos que impliquen arranque de labra, será igual á dada pola expresión anterior multiplicada por 0,85. Na táboa 58.7 indícase a resistencia á tracción dos parafusos con cabeza normal de diámetros e graos máis usuais.

Táboa 58.7. Resistencia á tracción en kN

DIÁMETRO (mm)	A_s (mm ²)	GRAO			
		4.6	5.6	8.8	10.9
12	84,3	24,28	30,35	48,56	60,70
16	157	45,22	56,52	90,43	113,04
20	245	70,56	88,20	141,12	176,4
22	303	87,26	109,08	174,53	218,16
24	353	101,66	127,08	203,33	254,16
27	456	131,33	164,16	262,66	328,30

Para parafusos de cabeza abelanada, a resistencia á tracción será igual ao 70% da dada polas expresións anteriores.

A resistencia ao punzonamento dunha chapa de grosor t , $B_{p,Rd}$, sobre a que actúa un parafuso sometido a tracción, vén dada pola expresión:

$$B_{p,Rd} = 0,6 \pi d_m t f_u / \gamma_{M2}$$

sendo d_m o menor diámetro medio entre os círculos circunscrito e inscrito á torca ou á cabeza e f_u a resistencia a tracción do aceiro da chapa.

Non será preciso comprobar o valor de $B_{p,Rd}$ cando o grosor da chapa cumpra a condición:

$$t_{\min} \geq \frac{d f_{ub}}{6 f_u}$$

58.7.1. Interacción cortante-tracción

Os parafusos suxeitos simultaneamente a esforzos de tracción e a esforzos normais ao seu eixe, ademais de cumpriren o número 58.7, deberán cumprir a condición:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1$$

58.8. Resistencia a desprazamento

Os parafusos de alta resistencia, graos 8.8 e 10.9, que deban ser pretensados, deberanse apertar de acordo con algún dos métodos expostos no número 76.7 ata conseguir unha tracción no eixe igual ao 70% da súa resistencia á tracción. En consecuencia, o esforzo de pretensado de cálculo do parafuso virá dado por:

$$N_0 = 0,7 f_{ub} A_s$$

Cando se utilicen tipos de parafusos non amparados polas normas citadas no número 58.1, ou outros elementos que se poidan pretensar, tales como barras roscadas, o esforzo de pretensado de cálculo N_0 e a maneira de conseguilo deberán ser acordados entre o proxectista, o fabricante do elemento e a dirección facultativa.

A resistencia ao desprazamento dun parafuso de alta resistencia pretensado tomarase igual ao valor:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} N_0$$

Na expresión anterior tense:

k_s Factor que depende do tipo de orificios que se utilicen. Tomarase igual a 1,0 se estes son estándar, igual a 0,85 para trades a sobremedida ou abertos curtos en dirección normal ao esforzo, e igual a 0,7 en caso de empregar orificios abertos longos en dirección normal ao esforzo. Se a abertura dos orificios está na dirección do esforzo, k_s tomarase igual a 0,76 para trades abertos curtos e igual a 0,63 para trades abertos longos.

n Número de posibles planos de desprazamento; en xeral será $n = 1$ ou $n = 2$.

μ Coeficiente de rozamento, que depende do estado das superficies de contacto nos posibles planos de desprazamento. O seu valor tomarase igual a:

- 0,5 para superficies tratadas ao chorro de area ou granalla ata o grao SA 2 1/2 da norma UNE-EN ISO 8501-1, exentas de picaduras, ben sen ningún tratamento posterior se a unión se realiza inmediatamente despois do chorreado de forma que non dea tempo á formación de óxido nas superficies de contacto, ou ben con proxección térmica posterior con aluminio ou con outro tratamento que garanta, a xuízo da dirección facultativa, o dito coeficiente.
- 0,4 para superficies tratadas ao chorro de area ou granalla ata o grao SA 2 1/2 da norma UNE-EN ISO 8501-1, exentas de picaduras e pintadas cun silicato alcalino de cinc con grosor comprendido entre 50 e 80 μm .
- 0,3 para superficies limpadas mediante cepillado con cepillo de arame ou mediante flamexado.

- 0,2 para superficies sen tratar ou galvanizadas.

γ_{M3} Coeficiente de minoración de resistencia que se tomará igual a:

- 1,1 para unións tipo B.
- 1,25 en unións tipo C, híbridas e en unións sometidas a efectos de fatiga.

Se a unión está sometida ademais a un esforzo axial de tracción que xera un esforzo de tracción no parafuso de valor $F_{t,Ed}$, tomarase para o cálculo de $F_{s,Rd}$ o valor:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} (N_0 - 0,8 F_{t,Ed})$$

58.9. Unións con bulóns

O disposto neste artigo é aplicable a unións en que é preciso que os bulóns permitan libremente o xiro relativo entre as pezas que unen. No caso de que non sexa preciso permitir o dito xiro, a unión poderase calcular como unha unión aparafusada cun só parafuso, sempre e cando a lonxitude do bulón sexa menor que 3 veces o seu diámetro.

Dada unha peza de grosor t unida a outras mediante un bulón de diámetro d aloxado nun trade de diámetro d_0 , será capaz de transmitir o esforzo F_{Ed} se a súa xeometría (figura 58.9.a) cumpre as seguintes condicións:

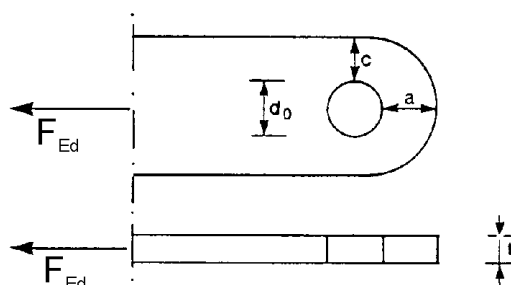


Figura 58.9.a

- Distancia do bordo do orificio a un bordo perpendicular ao esforzo a transmitir:

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

- Distancia do bordo do orificio a un bordo paralelo ao esforzo a transmitir:

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

Onde f_y é o límite elástico do aceiro da peza e f_u a súa resistencia a tracción.

Dada unha peza que cumpra as condicións xeométricas que se indican na figura 58.9.b, poderá resistir o esforzo de cálculo F_{Ed} sempre que o diámetro do trade e o grosor da peza cumpran:

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

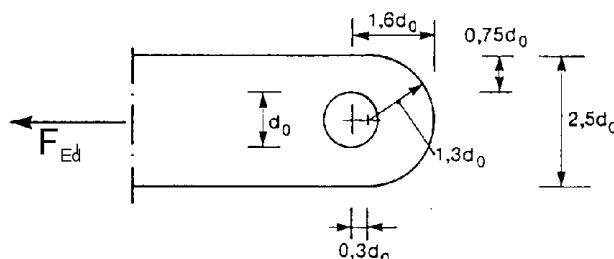


Figura 58.9.b

As chapas de reforzo dispostas para aumentar a área neta das pezas ou a súa resistencia a esmagamento débense dispor sen excentricidade e ter o tamaño suficiente para lle poderen transmitir á peza o esforzo que lle corresponda; a unión entre ambas débese dimensionar para resistir este esforzo.

Recoméndase que se dispoña un casquete de material resistente á corrosión, tal como bronce ou bronce sinterizado con PTFE, entre o bulón e as pezas a unir cando sexa necesario garantir o xiro da unión.

A resistencia a simple cortante dun bulón de diámetro d , sección transversal A e fabricado cun aceiro de resistencia a tracción f_{up} vén dada por:

$$F_{v,Rd} = 0,6 A f_{up} / \gamma_{M2}$$

O momento flector M_{Ed} nun bulón que une unha peza central de grosor b sometida a un esforzo F_{Ed} , normal ao eixe do bulón, con outras dúas pezas laterais de grosor a , separadas unha distancia c da central, figura 58.9.c, tomarase igual a:

$$M_{Ed} = F_{Ed} (b + 4c + 2a) / 8$$

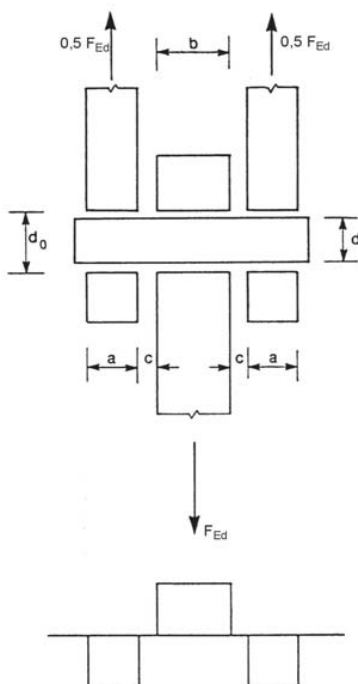


Figura 58.9.c

Para un bulón de diámetro d , módulo resistente W_{el} e fabricado cun aceiro de límite elástico f_{yp} , cumprírase:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} = 1,5 W_{el} f_{yp} / \gamma_{M0}$$

Se o bulón debe ser desmontable, o momento flector que o solicita en estado límite de servizo, $M_{Ed,ser}$ debe cumprir a condición:

$$M_{Ed,ser} \leq M_{Rd,ser} = 0,8 W_{el} f_{yp}$$

A resistencia combinada a cortante e flexión será suficiente mentres se cumpra que:

$$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1$$

Onde M_{Ed} e $F_{v,Ed}$ son os esforzos que solicitan o bulón en estado límite último.

A resistencia a esmagamento dunha peza de grosor t , suposto fabricada cun aceiro de límite elástico $f_y \leq f_{yp}$ contra un bulón de diámetro d e fabricado cun aceiro de límite elástico f_{yp} , vén dada por:

$$F_{b,Rd} = 1,5 t de f_y / \gamma_{M0}$$

e deberase cumprir que:

$$F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

Se o bulón debe ser desmontable, a resistencia ao esmagamento en estado límite de servizo, $F_{b,Rd,ser}$, vén dada por:

$$F_{b,Rd,ser} = 0,6 t d f_y$$

e deberase cumprir que:

$$F_{b,Ed,ser} \leq F_{b,Rd,ser}$$

Tamén, se o bulón debe ser desmontable, a presión local de contacto entre bulón e peza en estado límite de servizo debe cumprir a condición:

$$\sigma_{H,ser} = 0,591 \sqrt{\frac{E F_{b,Ed,ser} (d_0 - d)}{d^2 t}} \leq 2,5 f_y$$

58.10. Repartición de esforzos entre parafusos

A repartición de esforzos entre os distintos parafusos dunha unión no estado límite último efectuarase mediante métodos lineais nos seguintes casos:

- En unións de categoría C.
- En unións de categorías A ou B cando a resistencia á cortante $F_{v,Rd}$ do parafuso sexa inferior á resistencia ao esmagamento $F_{b,Rd}$ da peza contigua.
- Cando a unión estea sometida a impactos, vibracións ou ciclos de carga alternadas (exceptuando o vento).

Noutros casos, a repartición pódese efectuar por métodos elásticos ou plásticos, sempre que se respecten as condicións de equilibrio, compatibilidade de deformacións e plasticidade.

En calquera caso considerarase que unha unión aparafusada é segura se se cumpre que o esforzo F_{Ed} no parafuso máis solicitado é igual ou inferior á resistencia do dito parafuso F_{Rd} a cortante, esmagamento ou desprazamento, segundo sexa aplicable, isto é, se se cumpre que:

$$F_{Ed} \leq F_{Rd}$$

Artigo 59 Unións soldadas

59.1. Xeneralidades

As unións soldadas amparadas por esta instrución deberanse executar de acordo co disposto no artigo 77.

Os aceiros a unir mediante soldadura e os materiais de achega estarán de acordo co disposto no número 29.5.

En todos os casos, o material de achega deberá ter características mecánicas, límite elástico e resistencia á tracción, non inferiores ás do metal de base.

As soldaduras amparadas por esta instrución deberanse efectuar sobre pezas de, polo menos, 4 mm de grosor.

59.1.1. *Cualificacións*

Non se considerará que unha unión soldada estea realizada de acordo con esta instrución se non foi realizada seguindo un proceso de soldadura cualificado, conforme se indica no número 77.4.

59.1.2. *Métodos de soldadura autorizados*

Aínda que son válidos todos os métodos que se indican no número 77.3, cítanse a continuación os máis habituais nas estruturas de aceiro obxecto desta instrución:

- Soldadura manual con eléctrodo recuberto, con recubrimentos de tipo rútilo ou básico. É o proceso 111, soldadura por arco eléctrico manual que inclúe revestimentos de tipo rútilo e básico ademais doutros.
- Soldadura semiautomática baixo protección gasosa, con fío macizo ou tubular recheo de flux, con transferencia en chuvia (spray). Refírese aos procesos 135 e 136.
- Soldadura semiautomática con fío tubular recheo de flux, sen protección gasosa, con transferencia en chuvia (spray). Refírese ao proceso 114.
- Soldadura automática por arco somerxido. Refírese ao proceso 121.

Para o emprego doutros procedementos, ou de eléctrodos con outros recubrimentos, requirirase autorización da dirección facultativa.

En calquera caso, as características mecánicas do metal de achega serán iguais ou superiores ás do aceiro das pezas que se soldan.

59.2. Tipos de unións e de cordóns

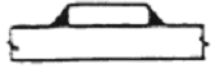
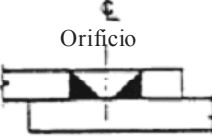



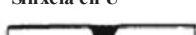

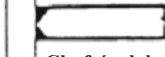
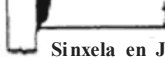
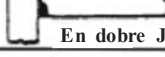


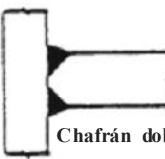

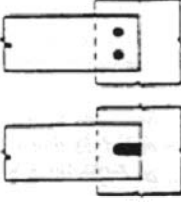
Pola posición relativa das pezas a unir, as unións soldadas poden ser a tope, en T ou a solapamento, táboa 59.2.

Os cordóns de soldadura a depositar entre as pezas que se van unir para formar unha unión soldada divídense en cordóns en ángulo e cordóns a tope. As soldaduras pódense realizar, ademais, por un lado ou por ambos os lados.

Os cordóns en ángulo denomínanse laterais cando son paralelos á dirección do esforzo que transmiten, frontais cando son normais ao dito esforzo e oblicuos en casos intermedios. En calquera caso, poden ser continuos ou descontinuos.

Os cordóns a tope poden ser de penetración completa ou de penetración parcial.

Táboa 59.2 Tipos de unión soldada pola posición relativa das pezas a unir

Tipo de soldadura	Tipo de unión		
	Unión a tope	Unión a tope en T	Unión de solapamento
Soldadura en ángulo			
Soldadura de ollal (ou en rañura)			 Orificio
Soldadura a tope con penetración completa ^{*)}	 Sinxela en V  En dobre V  Sinxela en U  En dobre U	 Chafrán sinxelo  Chafrán dobre  Sinxela en J  En dobre J	
Soldadura a tope con penetración parcial ^{*)}	 En dobre V  En dobre U	 Chafrán dobre	
Soldadura de tapón (ou botón)			

59.3. Disposicións construtivas para cordóns en ángulo

59.3.1. Xeneralidades

Os cordóns en ángulo pódense usar para unir pezas cuxas caras a fundir formen ángulos comprendidos entre 60° e 120°.

Se o ángulo está comprendido entre 45° e 60°, o cordón considerarase como de penetración parcial.

Se o ángulo é superior a 120° ou inferior a 45°, o cordón considerarase que é de simple atado e sen capacidade para resistir esforzos, a menos que a súa resistencia se determine mediante ensaios.

59.3.2. Grosor de garganta

Salvo o disposto para unións entre pezas de sección tubular ou seccións en caixón non accesibles interiormente, o grosor de garganta a dun cordón en ángulo non será superior a $0,7 t_{min}$, sendo t_{min} o grosor da peza máis delgada a unir.

O grosor de garganta a dun cordón en ángulo, número 59.7, non debe ser inferior a 3 mm cando se deposite en chapas de ata 10 mm de grosor, nin inferior a 4,5 mm cando se deposite sobre pezas de ata 20 mm de grosor, nin inferior a 5,6 mm cando se deposite sobre pezas de máis de 20 mm de grosor, a menos que o procedemento de soldadura considere grosos de garganta menores.

Para evitar posibles problemas de fisuración en frío, cando o grosor dunha das pezas a unir sexa superior ao dobre do da outra peza, recoméndase preparar un proceso de soldadura adecuado que considere o carbono equivalente *CEV* do material de base, a achega de calor do proceso de soldadura e a posibilidade de ter que prequentar o metal de base.

59.3.3. Terminación

Os cordóns en ángulo non deben terminar nas esquinas das pezas ou de elementos destas, senón que se deben prolongar arredor da esquina, sempre que a prolongación se poida facer no mesmo plano que o cordón, nunha lonxitude polo menos igual a tres veces a garganta a do cordón. Esa prolongación debe figurar nos planos.

59.3.4. Cordóns descontinuos

En estruturas solicitadas por cargas predominantemente estáticas, en ambiente con grao de corrosividade C1 ou C2, poderanse utilizar cordóns en ángulo descontinuos cando o grosor de garganta requirido polos cálculos de comprobación resulte inferior ao mínimo recomendable segundo o número 59.8. Prohíbese o uso de cordóns descontinuos en ambientes con grao de corrosividade superior ao C2.

- Nos cordóns descontínuos a distancia L_1 libre entre extremos de cordóns parciais, da mesma ou de distinta cara, en pezas traccionadas (figura 59.3.4) será inferior ao menor dos seguintes valores: 200 mm ou 16 veces o grosor da peza máis delgada a unir.
- Nos cordóns descontínuos a distancia L_2 libre entre extremos de cordóns parciais, da mesma ou de distinta cara, en pezas comprimidas ou a cortante (figura 59.3.4) será inferior ao menor dos seguintes valores: 200 mm, 12 veces o grosor da peza máis delgada a unir ou $0,25b$.
- A lonxitude L_w de cada cordón parcial será superior ao maior dos seguintes valores: 6 veces a garganta do cordón ou 40 mm.
- A lonxitude L_{we} de cada cordón parcial nos extremos das pezas a unir será maior que o menor dos seguintes valores: $0,75b$ ou $0,75b_1$.

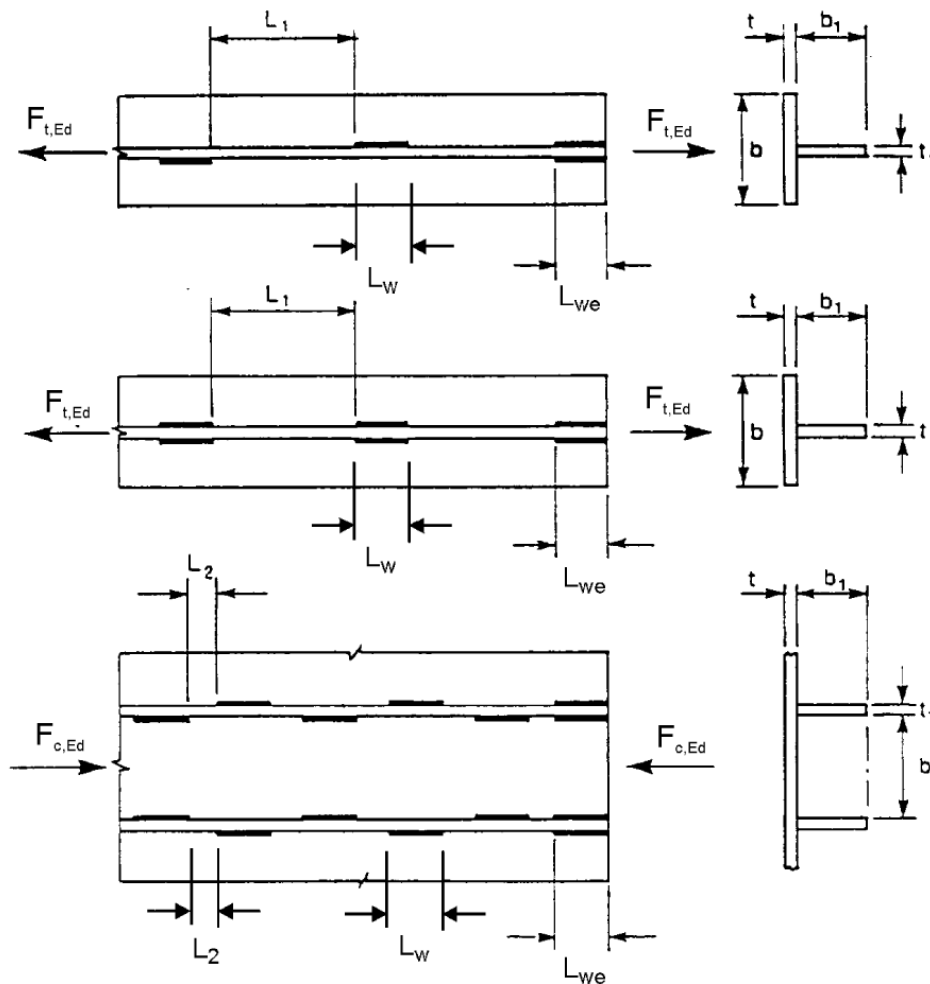


Figura 59.3.4

59.3.5. Excentricidades

Os cordóns en ángulo disporanse de forma que se evite a aparición de momentos flectores que teñan por eixe o do propio cordón, figura 59.3.5.

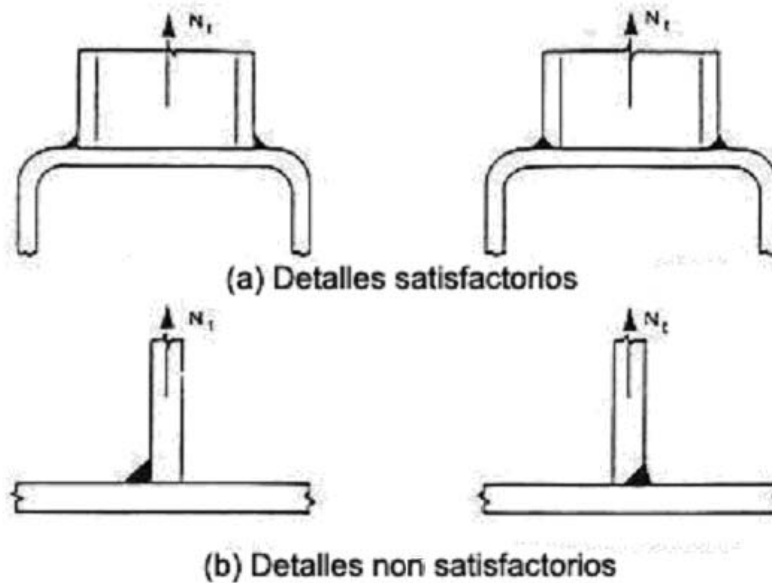


Figura 59.3.5

59.3.6. Lonxitude mínima para cordóns laterais

Os cordóns en ángulo laterais que transmitan esforzos axiais de barras terán unha lonxitude non inferior a quince veces o seu grosor de garganta nin inferior ao longo da peza a unir, figura 59.3.6.

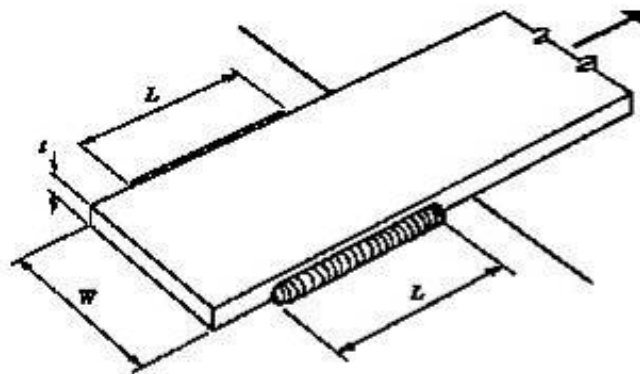


Figura 59.3.6

59.3.7. Solapamentos

En unións a solapamento, o solapamento mínimo non será inferior a $5t_{min}$, onde t_{min} é o menor grosor das pezas a unir, nin a 25 mm. Se a unión debe transmitir esforzos axiais, débense dispor cordóns en ángulo frontais en ambos os extremos das pezas solapadas, figura 59.3.7.

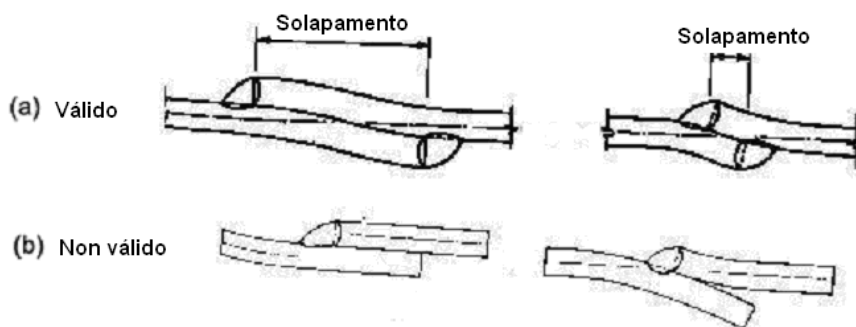


Figura 59.3.7

59.4. Disposicións construtivas para cordóns a tope

Os cordóns a tope pódense dar entre pezas dispostas en prolongación ou en T, táboa 59.2. Dise que son de penetración completa cando o metal de achega ocupa sen defectos todo o grosor das pezas a unir.

Dise que son de penetración parcial cando o grosor ocupado polo metal de achega é inferior ao das pezas unidas.

Os cordóns a tope de penetración parcial disporanse de forma que se evite a aparición de momentos flectores parasitos que teñan por eixe o do propio cordón, figura 59.3.5.

Prohíbense os cordóns a tope descontinuos.

59.5. Soldaduras de botón e soldaduras en rañura

As soldaduras de botón, que enchen orificios circulares ou alongados executados nunha peza que solapa a outra, débense usar só cando non exista outro medio para transmitir esforzos cortantes ou impedir o empenamento ou a separación de partes solapadas. Non se deberán utilizar para transmitir esforzos de tracción.

Deberanse tomar as disposicións oportunas segundo o número 77.5.10 para evitar a súa posible fisuración e deberán ser inspeccionadas de acordo co disposto no número 91.2.

Cumprirán as seguintes limitacións:

- O diámetro dos orificios circulares ou a largura dos alongados non será inferior ao grosor da peza que o contén e mais 8 mm.
- Os extremos dos orificios alongados serán semicirculares ou terán os ángulos redondeados cun raio non menor que o grosor da peza, excepto cando o orificio chegue ata o bordo desta.
- O grosor do metal de achega nunha soldadura de botón efectuada en pezas de ata 16 mm de grosor será igual ao grosor da peza. Se este é superior a 16 mm, o grosor do metal de achega debe ser polo menos igual á metade do grosor da peza e non inferior a 16 mm.
- A distancia mínima entre centros de botóns en dirección normal ao esforzo a transmitir non será inferior a 4 veces a largura do botón; a distancia entre extremos de botóns non debe ser inferior a dúas veces a lonxitude destes.
- A distancia máxima entre botóns non debe ser superior ao valor necesario para impedir o empenamento local ou aboladura da peza.

Prohíbese terminantemente encher con soldadura os orificios practicados na estrutura para colocar parafusos provisionais de montaxe. Disporanse, por conseguinte, os ditos orificios de forma que non afecten a resistencia da estrutura.

As soldaduras en rañura, figura 59.5, formadas por cordóns en ángulo dados no interior de orificios circulares ou alongados, débense usar só para transmitir esforzos cortantes ou impedir o empenamento ou a separación de partes solapadas.

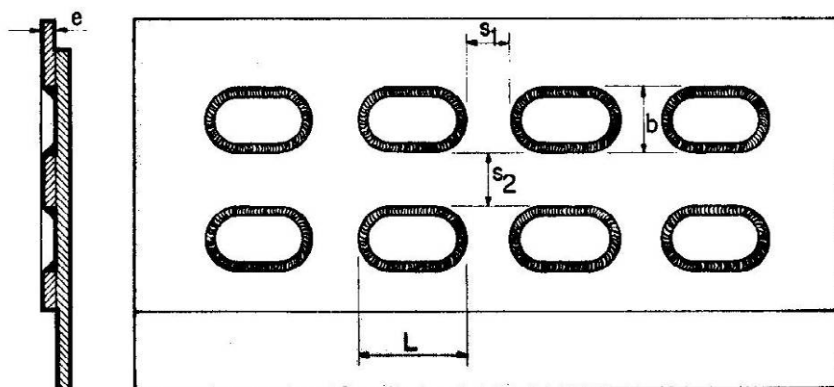


Figura 59.5

As dimensións da rañura cumprirán as seguintes limitacións:

- A largura b da rañura cumprirá $b \geq 4t$.

- A separación s_2 entre filas de rañuras cumprirá $2b \leq s_2 \leq 30t$.
- A separación entre rañuras, s_1 cumprirá $2b \leq s_1 \leq 30t$.
- A lonxitude total L dunha rañura cumprirá $L \leq 10t$.
- Os extremos das rañuras serán semicirculares, excepto cando se estendan ata o extremo da peza.

59.6. Rotura laminar

Evitaranse na medida do posible as tensións residuais dirixidas segundo o grosor das pezas a unir, que poden dar orixe a rotura laminar nas pezas a unir.

En especial, cando existan tensións de tracción, ben sexan residuais de soldadura ou debidas a forzas exteriores, dirixidas na dirección do grosor en pezas planas de máis de 15 mm de grosor, deberase estudar o procedemento de soldadura, as propiedades do metal de base na dirección do grosor e os detalles da unión, figura 59.6, para evitar o dito perigo.

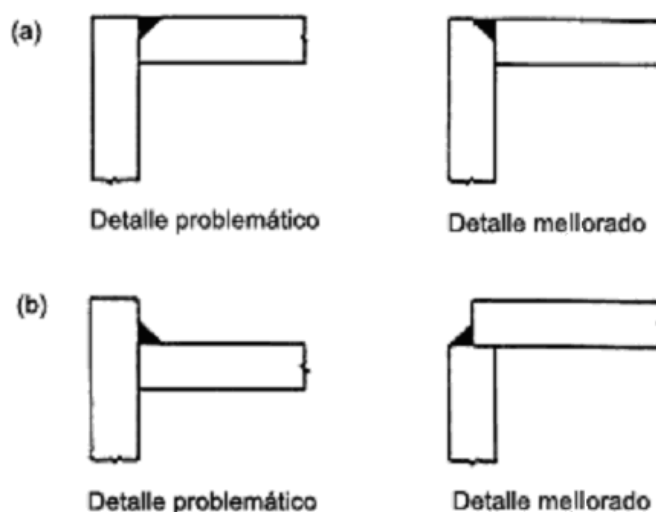


Figura 59.6

59.7. Grosor de garganta

O grosor de garganta a débese tomar igual á altura do maior triángulo que se poida inscribir na sección do metal de achega, medida normalmente ao lado exterior do dito triángulo, figura 59.7.a.

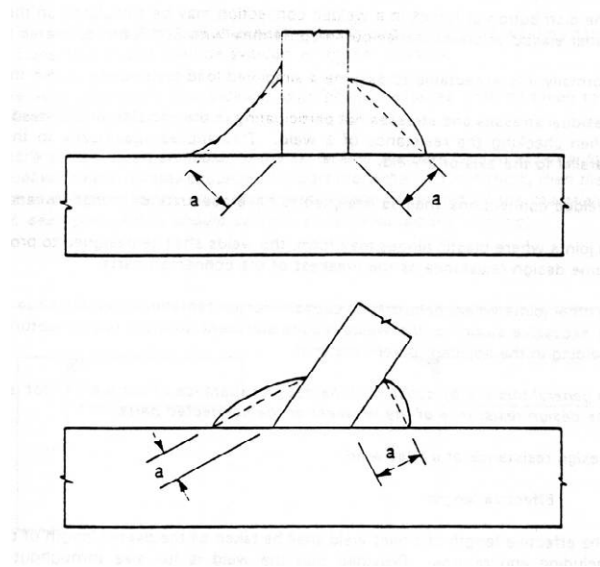


Figura 59.7.a

Cando o método de soldadura empregado permita conseguir unha penetración apreciable, pódese incluír esta penetración no valor do grosor de garganta, figura 59.7.b, sempre que se demostre mediante probas que esta penetración se pode conseguir dunha forma constante.

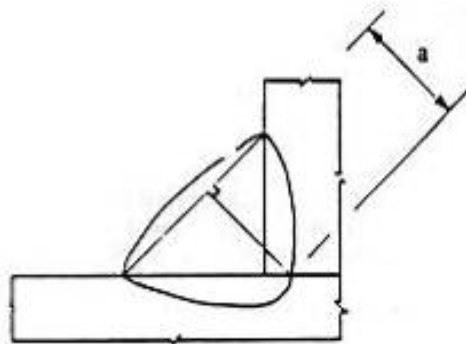


Figura 59.7.b

Cando o cordón se execute polo método de arco somerxido, o grosor de garganta pódese aumentar en 2 mm se $a > 10 \text{ mm}$ ou en $0,2 a$ se $a \leq 10 \text{ mm}$ sen necesidade de realizar probas.

Cando sexa preciso depositar un cordón de soldadura entre dúas superficies curvas, tales como as de redondos ou zonas de esquinas de perfís tubulares, ou entre unha superficie curva e outra plana, figura 59.7.c, o grosor de garganta deberase determinar a partir de soldaduras de proba executada sobre probetas da mesma sección que vaia ser usada en produción.

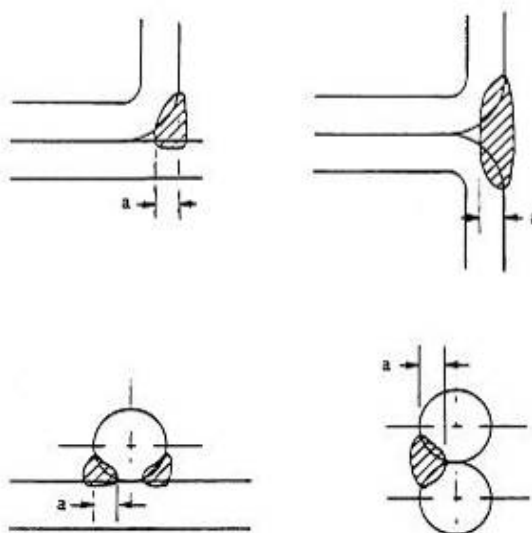


Figura 59.7.c

As probetas seccionaranse e medirase o grosor de garganta, repetíndose o proceso ata conseguir unha técnica de soldadura que garanta conseguir en produción o grosor de garganta desexado.

Denomínase plano de garganta o definido pola garganta e polo eixe do cordón, intersección dos dous planos a unir mediante o cordón de soldadura figura 59.8.

59.8. Resistencia de cordóns en ángulo

No que segue, estúdase un tramo de cordón de soldadura en ángulo de lonxitude o suficientemente pequena para poder supor que nel as tensións son uniformes.

Suporase que as forzas transmitidas polo dito tramo de cordón dan orixe ás tensións normais $\sigma_{//}$, que actúa sobre un plano normal ao eixe do cordón e que non afecta á resistencia do cordón, e σ_{\perp} , que actúa sobre o plano de garganta; e ás tensións tanxenciais $\tau_{//}$ e τ_{\perp} , que actúan sobre o plano de garganta en dirección paralela e perpendicular ao eixe do cordón, respectivamente, figura 59.8.

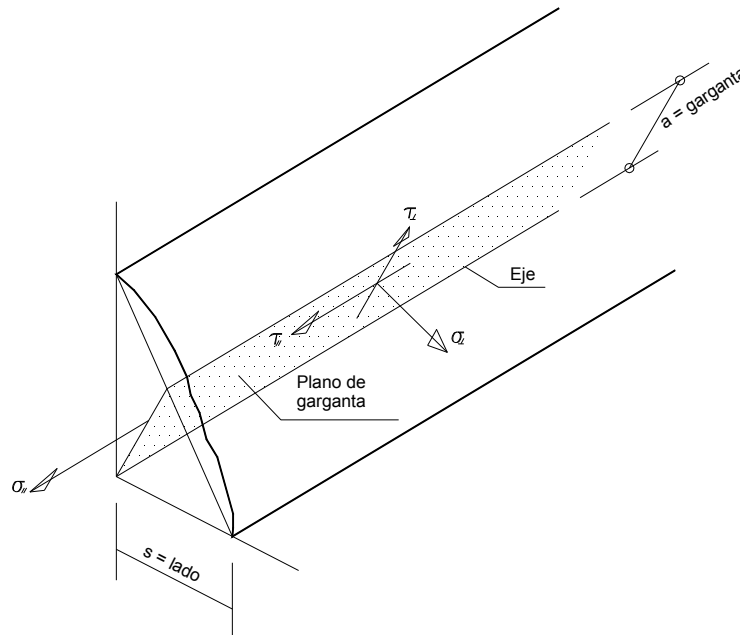


Figura 59.8

59.8.1. Lonxitude efectiva dun cordón de soldadura en ángulo

A lonxitude efectiva dun cordón de soldadura en ángulo é igual á lonxitude (incluíndo as prolongacións de esquina) na que se mantén o grosor de garganta nominal.

Non se considerarán efectivos para transmitir esforzos aqueles cordóns con lonxitudes inferiores a 30 mm ou a 6 veces o grosor de garganta.

A lonxitude efectiva dos cordóns de soldadura nas unións viga-soporte calcularase de acordo co disposto no número 62.1.1.

En unións a solapamento en que sexa $L_w \geq 150 a$, onde L_w é a lonxitude do cordón, a lonxitude efectiva $L_{w,ef}$ tomarase igual a $L_{w,ef} = \beta_1 L_w$, vindo dado β_1 por:

$$\beta_1 = 1,2 - \frac{0,2L_w}{150a} \leq 1$$

Non se aplicará esta redución cando a distribución de tensións ao longo da soldadura sexa igual á distribución de tensións no metal de base contiguo, como, por exemplo, no caso da soldadura de unión ala-alma en vigas armadas de chapa.

Para cordóns en ángulo de máis de 1.700 mm de lonxitude que unan rixidizadores transversais a elementos de chapa tomarase $L_{w,ef} = \beta_2 L_w$ sendo:

$$0,6 \leq \beta_2 = 1,1 - \frac{L_w}{17000} \leq 1,0$$

e estando dado L_w en mm.

59.8.2. Resistencia

A resistencia do cordón é suficiente se se cumpren simultaneamente as dúas condicións seguintes:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Onde f_u é a resistencia a tracción do aceiro das pezas a soldar; β_w o factor de correlación, que depende do tipo de aceiro das pezas a soldar, e γ_{M2} o coeficiente de minoración de resistencia, $\gamma_{M2} = 1,25$.

Na táboa 59.8.2 indícanse os valores de β_w para os aceiros máis usuais.

Táboa 59.8.2 Coeficientes de correlación.

TIPO DE ACEIRO	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN, β_w
S 235	0,80
S 275	0,85
S 355	0,90
S 420	1,00
S 460	1,00

Se un cordón de grosor de garganta a e lonxitude L_w ten que transmitir unha forza F que forma un ángulo α co eixe do cordón, as condicións anteriores satisfízanse cando a tensión tanxencial media no cordón cumpre a condición:

$$\tau_w = \frac{F}{aL_w} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2} \sqrt{1 + 2 \cos^2 \alpha}}$$

Estase do lado da seguridade se se toma, para calquera valor de α :

$$\tau_w = \frac{F}{aL_w} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2} \sqrt{3}}$$

En unións ala-alma de vigas armadas que só transmitan tensións tanxenciais, realizadas con dous cordóns continuos de grosor de garganta a sobre unha alma de grosor t_w , as condicións anteriores cúmprense cando $a \geq 0,40 t_w$ para os aceiros amparados pola norma UNE-EN 10025 partes 2 e 5 e para os aceiros S275 e S355 de UNE-EN 10025, partes 3 e 4, ou cando $a \geq 0,55 t_w$ para os aceiros S420 e S460 de UNE-EN 10025, partes 3 e 4.

Cando unha peza plana de grosor t_f , sometida a esforzo axial, se una a outra normal a ela mediante dous cordóns en ángulo frontais da mesma lonxitude que a peza e de garganta a , consideraranse cumpridas as condicións anteriores cando sexa $a \geq 0,55 t_w$ para os aceiros amparados pola norma UNE-EN 10025 partes 2 e 5 e para os aceiros S275 e S355 de UNE-EN 10025, partes 3 e 4.

59.9. Resistencia de cordóns a tope

59.9.1. Resistencia de cordóns de penetración completa

Cumpridas as condicións impostas no número 59.1 desta instrución, a resistencia dun cordón de soldadura de penetración completa, sen defectos, é igual ou superior á do metal de base contiguo máis débil, polo que non precisa ser calculado.

59.9.2. Resistencia de cordóns de penetración parcial

A resistencia dun cordón de soldadura a tope de penetración parcial, sen defectos, é igual á dun cordón en ángulo do mesmo grosor de garganta e comprobarase polo tanto segundo se indicou no número 59.8 anterior.

O grosor de garganta a considerar será igual á penetración que se poida conseguir permanentemente, o que se debe verificar mediante as oportunas probas.

Cando a preparación de bordos é en V, U ou J, pódese tomar sen necesidade de realizar probas como valor do grosor de garganta, figura 59.9.2.a, o da profundidade da preparación de bordos menos 2 mm. Pódese tomar un valor superior se así se demostra mediante as oportunas probas.

En unións en T, figura 59.9.2.b, en que existan dous cordóns a tope de penetración parcial reforzados con dous cordóns de ángulo, pódese supor que a unión equivale a unha soldadura a tope de penetración completa se a suma dos grosos nominais de garganta é igual ou maior que o grosor da peza a unir e se o grosor sen soldar non é superior a $t/5$ cun valor máximo de 3 mm, onde t é o grosor da peza.

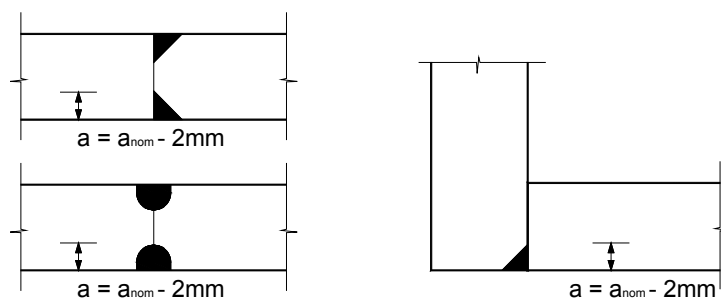


Figura 59.9.2.a

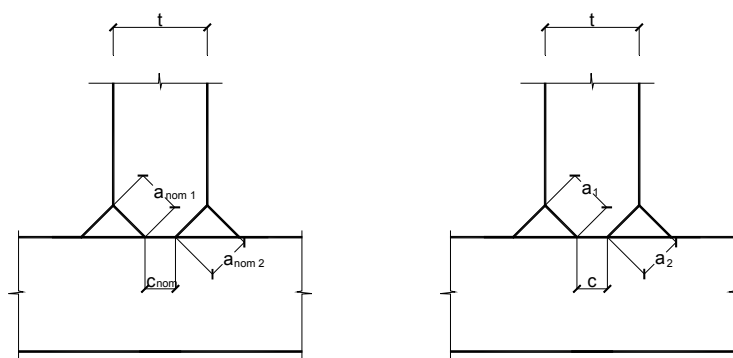


Figura 59.9.2.b

Se non se cumpre algunha das condicións anteriores, o grosor de garganta determinarase de acordo co indicado nos números 59.7 e 59.8.

Non se empregarán este tipo de cordóns en unións solicitadas a fatiga, nin cando deban transmitir esforzos de tracción normais ao seu eixe.

59.10. Resistencia de soldaduras de botón ou en rañura

A resistencia dunha soldadura en botón ou en rañura considerárase aceptable de se cumprir a condición:

$$\tau_w = \frac{F_{w,Sd}}{A_w} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2} \sqrt{3}}$$

Onde τ_w é a tensión tanxencial media na soldadura, $F_{w,Ed}$ o esforzo de cálculo a transmitir e A_w é igual á área do orificio se a soldadura é en botón ou ao produto aL_w se a soldadura é en rañura; neste caso, a é o grosor de garganta e L_w a lonxitude do cordón, medida a unha distancia igual a $a/2$ do bordo interior da rañura.

Os demais símbolos teñen o mesmo significado que no número 59.8.

59.11. Repartición de esforzos entre os cordóns dunha unión

Os esforzos que actúan sobre a unión determinaranse de acordo co disposto nos capítulos II, Bases de cálculo e IV, Análise estrutural, e no número 56.2 desta instrución.

A distribución dos ditos esforzos entre os distintos cordóns da unión pódese efectuar supondo un comportamento elástico da unión ou un comportamento plástico desta. En xeral, é aceptable considerar unha distribución de forzas simplificada dentro da unión, sempre que se cumpran as condicións impostas no número citado.

Non é preciso ter en conta as tensións residuais ou outras tensións que non interveñan na transmisión de esforzos entre as distintas pezas, tales como a tensión $\sigma_{//}$ sobre planos normais ao eixe do cordón.

Artigo 60 Unións entre elementos sometidos a esforzo axial

60.1. Unións planas centradas

Enténdese por unión plana centrada a realizada con axuda dunha serie de cordóns de soldadura coplanarios ou dun conxunto de parafusos que unen pezas sensiblemente coplanarias, destinadas a transmitir entre as pezas a unir unha forza $F_{w,Ed}$ contida no plano dos cordóns das pezas, e que pasa polo centro de gravidade dos cordóns ou parafusos.

60.1.1. Unións planas centradas soldadas

O método de cálculo que se indica a continuación pódese facer extensivo a unións en que os cordóns non estean nun mesmo plano e a unións en que, estando todos os cordóns no mesmo plano, a forza $F_{w,Ed}$ non estea contida neste, sempre que pase polo centro de gravidade dos cordóns, figura 60.1.1.

Se non se desexa efectuar unha análise máis exacta tendo en conta a resistencia de cada cordón en función da súa orientación respecto á forza $F_{w,Ed}$, pódese supor unha repartición de esforzos proporcional ás áreas de garganta dos distintos cordóns, polo que a unión será segura se se cumpre que:

$$\frac{F_{w,Ed}}{\sum a_i L_{wi}} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2} \sqrt{3}}$$

Onde a_i e L_{wi} son os grosos de garganta e as lonxitudes dos distintos cordóns que forman a unión. Na determinación de cada valor de L_{wi} terase en conta o disposto no número 59.8.1.

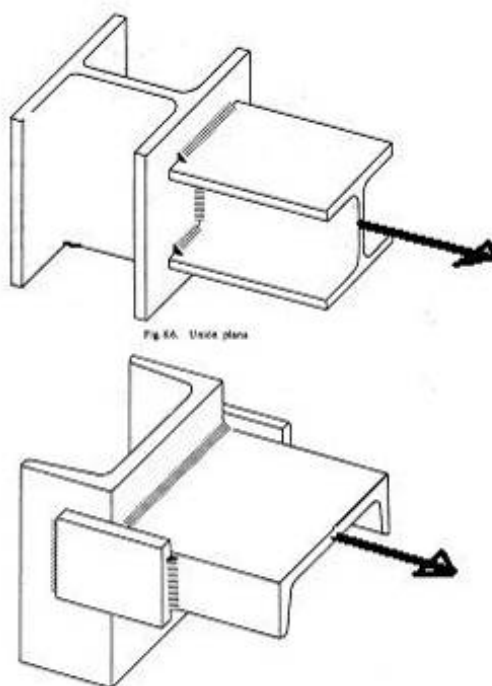


Figura 60.1.1

60.1.2. Unións planas centradas aparafusadas

Son aquelas unións en que a forza a transmitir pasa polo centro de gravidade do grupo de parafusos encargados de transmitila.

Poderase supor repartición uniforme entre todos os parafusos da unión sempre que a lonxitude L_j desta, medida na dirección da forza a transmitir entre centros de parafusos extremos, non sexa superior a $15d$. Neste caso, a resistencia de cálculo da unión será:

$$N_{Rd} = n F_{Rd}$$

sendo n o número de parafusos e F_{Rd} a resistencia dun deles, determinada, en función da categoría da unión, segundo o disposto no artigo 58.

Cando a lonxitude da unión sexa superior a $15d$, a súa resistencia vén dada por:

$$N_{Rd} = \beta n F_{Rd}$$

Onde β é un coeficiente corrector que vén dado por:

$$\beta = 1 - \frac{L_j - 15d}{200d}$$

con $0,75 \leq \beta \leq 1$; e L_j definido na figura 60.1.2.

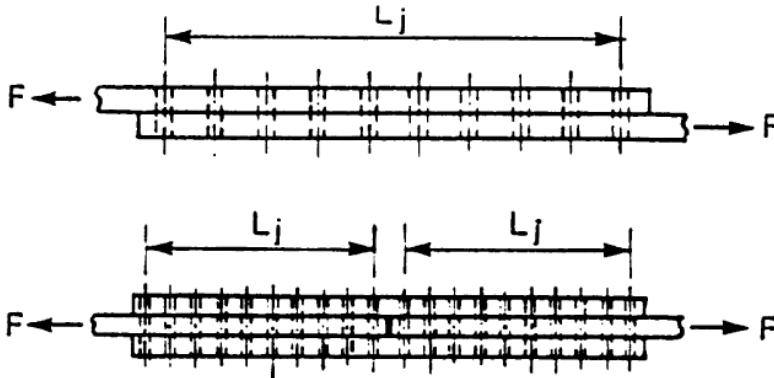


Figura 60.1.2

Non se aplicará esta redución cando a distribución de tensións ao longo da unión sexa igual á distribución de tensións nas pezas contiguas, como, por exemplo, no caso de unións longas con dobre casquete de angular, número 61.3.

60.2. Unións planas excéntricas

Son unións planas, soldadas ou aparafusadas, nas que a forza a transmitir $F_{w,Ed}$ pasa a unha certa distancia ℓ do centro de gravidade do grupo de cordóns de soldadura ou dos parafusos (figura 60.2).

Se o estudo da unión se realiza por métodos plásticos, suporase que unha das pezas que se vai unir se move con respecto á outra xirando arredor dun certo centro instantáneo de rotación, figura 60.2, a determinar.

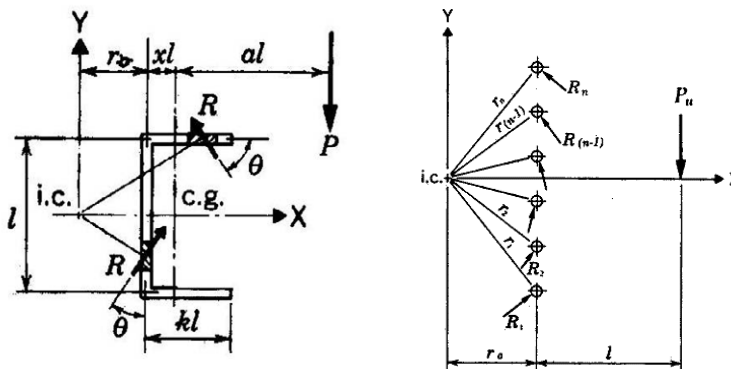


Figura 60.2

A deformación en cada punto dos cordóns de soldadura ou en cada parafuso suporase proporcional á lonxitude do raio vector que une o punto co centro instantáneo de rotación e normal a el. A tensión media en cada punto τ_w pódese determinar a partir da bibliografía especializada. A posición do centro instantáneo de rotación determinarase impondo as condicións de equilibrio.

60.2.1. Unións planas excéntricas soldadas

A causa do dito xiro, a tensión tanxencial media τ_w nun punto calquera dos cordóns de soldadura é proporcional á lonxitude do raio vector que une o punto co centro instantáneo de rotación e normal a el.

Sendo I_p o momento de inercia polar da área dos cordóns respecto ao seu centro de gravidade:

$$I_p = \int_A (y^2 + z^2) dA$$

as compoñentes τ_{wz} e τ_{wy} veñen dadas por:

$$\tau_{wz} = \frac{M_{Ed} y}{I_p}; \quad \tau_{wy} = \frac{M_{Ed} z}{I_p}$$

Estas compoñentes deberanse sumar vectorialmente ás orixinadas por $F_{w,Ed}$ suposta actuando no centro de gravidade dos cordóns. A unión será segura se no punto máis desfavorable, que frecuentemente é o máis afastado do centro de gravidade dos cordóns, se cumpre a condición:

$$|\tau_{w,\max}| \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2} \sqrt{3}}$$

60.2.2. Unións planas excéntricas aparafusadas

Da mesma forma, o xiro relativo entre as pezas a unir orixina un esforzo en cada parafuso $F_{i,Ed}$, proporcional á lonxitude do raio vector que une o punto co centro instantáneo de rotación e normal a el.

Sexa:

$$I'_p = \sum_{i=1}^n (y_i^2 + z_i^2)$$

a suma dos cadrados das lonxitudes dos n raios vectores. As compoñentes $F_{iy,Ed}$ e $F_{iz,Ed}$ do esforzo $F_{i,Ed}$ en cada parafuso ocasionado polo momento M_{Ed} veñen dadas por:

$$F_{iy,Ed} = \frac{M_{Ed} z_i}{I'_p}; \quad F_{iz,Ed} = \frac{M_{Ed} y_i}{I'_p}$$

Onde z_i e y_i son as coordenadas do eixe do parafuso correspondente.

Estas compoñentes deberanse sumar vectorialmente ás orixinadas por F_{Ed} suposta actuando no centro de gravidade dos parafusos. A unión será segura se no parafuso máis desfavorable, que frecuentemente é o máis afastado do centro de gravidade do conxunto de todos eles, se cumpre a condición:

$$F_{Ed} \leq F_{Rd}$$

Onde F_{Rd} é a resistencia do parafuso, calculada de acordo co disposto no artigo 58.

60.3. Unións con cartelas

As cartelas son pezas de chapa que se utilizan para facilitar a unión dos montantes e diagonais aos cordóns nos nós de estruturas trianguladas. Non é habitual usalas cando as barras da estrutura son perfís tubulares.

A unión das diagonais ou montantes á cartela ou cartelas realizarase mediante soldadura. Procurarase que o eixe de cada barra coincida co eixe dos elementos resistentes da unión da dita barra, ou soldadura, á cartela ou cartelas. En caso contrario, terase en conta a excentricidade existente para a comprobación da unión e da propia barra.

Cando o cordón de estrutura triangulada de tipo Warren é un perfil dobre T ou H coa alma no plano da estrutura, figura 60.3.a, a unión da cartela ao dito cordón está sometida en xeral a unha forza H igual á diferenza entre os esforzos axiais a un lado e a outro do nó, $H = N_1 - N_2$ e a un momento $M = H e$, sendo e a distancia da soldadura de unión cartela-perfil ao centro de gravidade deste.

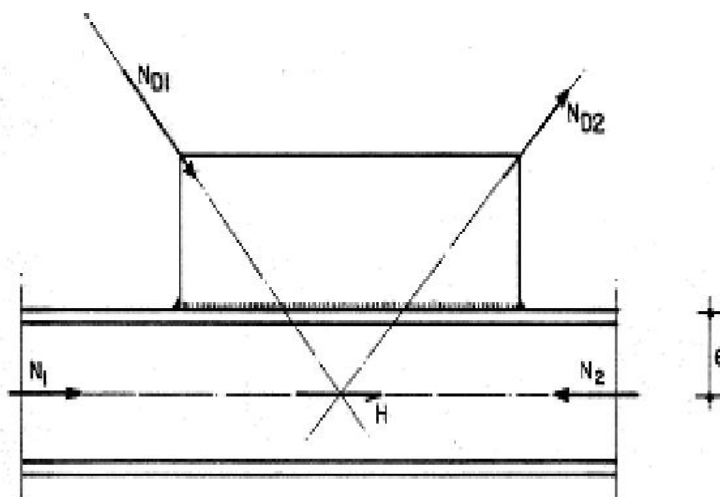


Figura 60.3.a

En nós de celosía tipo Pratt, figura 60.3.b, pódese supor que a forza na diagonal se equilibra con forzas horizontais e verticais nos lados das cartelas unidas ao montante e ao cordón, elixidas de maneira que se cumpran as condicións de equilibrio e tales que os cordóns de soldadura existentes entre cartela e pezas sexan capaces de transmitir.

Obtéñense resultados razoables supondo que as ditas forzas pasan polos puntos *B* e *D* teóricos de intersección dos bordos da cartela, supostos prolongados, cos eixes do montante e do cordón; polo centro *A* do lado máis longo da cartela e que se cortan sobre o eixe da diagonal, punto *C*.

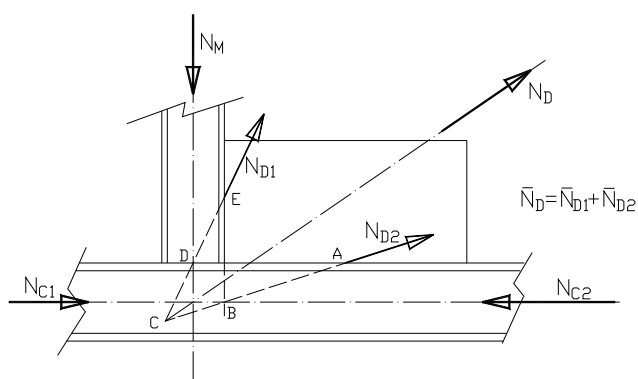


Figura 60.3.b

Cando, a causa da forma da sección das diagonais e montantes, I, U ou H, sexa preciso empregar unha cartela dobre e non se dea continuidade á alma da diagonal ou montante, terase en conta este feito tomando como sección de cálculo da diagonal ou montante para as comprobacións locais no nó o valor, figura 60.3.c.

$$A_{ef} = A \left(1 - \frac{x}{L_w} \right)$$

Esta redución de área non se terá en conta para a comprobación xeral da peza fronte á inestabilidade.

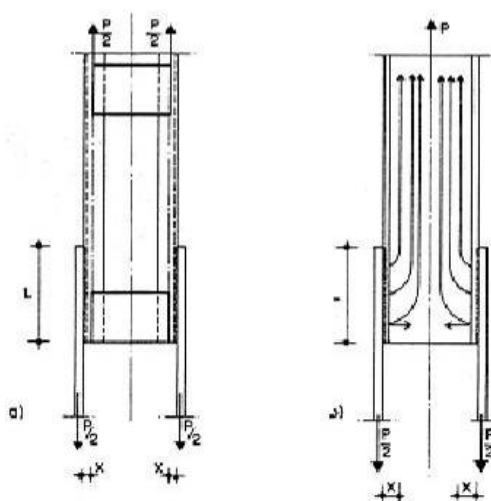


Figura 60.3.c

A mesma expresión pódese utilizar para ter en conta a excentricidade que se produce se a diagonal ou montante están formados por dous perfís apareados. Neste caso será obrigatorio colocar unha presilla no extremo da peza situado entre as cartelas.

O grosor da cartela t será tal que se cumpra, figura 60.3.d:

$$\frac{F_{c,Ed}}{t(b+L)} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

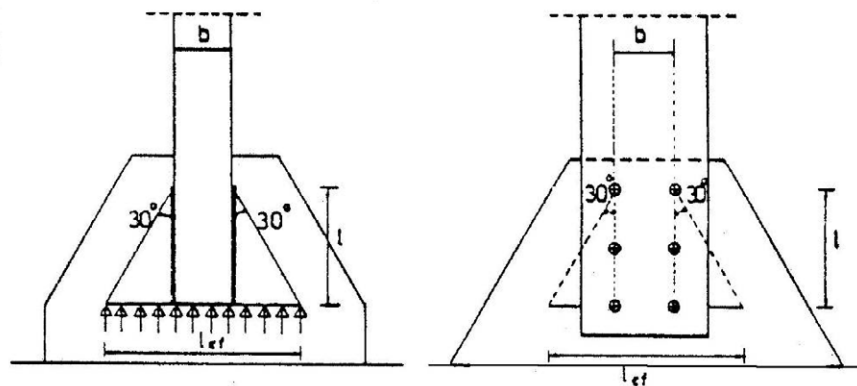


Figura 60.3.d

Na expresión anterior é $F_{c,Ed}$ o esforzo transmitido á cartela, b a largura da peza en dirección normal ao esforzo $F_{c,Ed}$, L a lonxitude dos cordóns de soldadura, medida na dirección do esforzo $F_{c,Ed}$, f_y o límite elástico do aceiro da cartela e γ_{M0} o coeficiente de minoración de resistencias.

Artigo 61 Unións entre elementos sometidos a flexión e cortante

61.1. Empalmes con cubrexuntas

Os empalmes con cubrexuntas realízanse case exclusivamente con unións aparafusadas. O seu uso en unións soldadas autorízase exclusivamente para traballos de reparación ou de reforzo.

Son unións entre pezas de perfís iguais ou similares, cos eixes en prolongación ou formando un ángulo o suficientemente pequeno para que as forzas de desvío sexan desprezables, realizados con axuda de pezas rectangulares de chapa, ás que se denomina cubrexuntas, aparafusadas ás dúas pezas a unir.

En consecuencia, un empalme con cubrexuntas consta de dous grupos de unións, o formado polas unións dunha das pezas aos cubrexuntas e o formado polas unións destes á outra peza.

As unións dos cubrexuntas ás pezas poden ser de calquera das categorías A, B ou C, aínda que o habitual é que se proxecten como de categoría C.

Cada parte, ala ou alma, das pezas a unir disporá das súas propias cubrexuntas; os das alas poderán ser simples, dispostos por unha soa cara, ou dobres, dispostos en ambas as caras desta; os da alma serán dobres, salvo xustificación especial. As partes que, excepcionalmente, non dispoñan de cubrexuntas, non se considerarán na comprobación da resistencia da peza nas proximidades do empalme.

O centro de gravidade da sección dos cubrexuntas que serven a unha peza deberá coincidir co da sección desta, e, salvo estudo detallado que o xustifique, a súa área e os seus momentos de inercia deberán ser iguais ou lixeiramente superiores.

Admitirase, calquera que sexa a categoría das unións a empregar, que a unión é ríxida e que na sección de empalme existan os mesmos esforzos que habería se as dúas pezas a unir formasen unha peza única. Para que sexa ríxida, exíxese que non se produzan xiros relativos debido a posibles desprazamentos das chapas e xogo nos orificios dos parafusos, por iso se recomenda que estas unións sexan de categoría C.

Estes esforzos repartiranse entre as distintas partes da peza, e transmitiranse a través das unións aparafusadas cos cubrexuntas correspondentes, de acordo cos seguintes criterios:

- O esforzo axial N_{Ed} a transmitir entre as pezas a unir repartirase entre as unións de cada un dos grupos proporcionalmente á sección da parte da peza correspondente.

- O momento flector M_{Ed} a transmitir entre as pezas a unir repartirase entre as unións de cada un dos grupos proporcionalmente ao momento de inercia da parte da peza correspondente respecto ao eixe oportuno da peza total. Como alternativa, pódese supor transmitido totalmente polas unións de alas, sempre que estas alas sexan capaces de transmitir o momento sen colaboración da alma.
- O esforzo cortante V_{Ed} a transmitir entre as pezas a unir repartirase entre as unións de cada un dos grupos en función da distribución de tensións tanxenciais que o dito esforzo cortante ocasiona na peza. En seccións en I, H ou en U, admitirase que é resistido exclusivamente polas unións da alma.
- Terase en conta o momento flector que o cortante, que actúa na sección de empalme, ocasiona no centro de gravidade das unións sobre as que actúa, situado a certa distancia da dita sección de empalme.

Como consecuencia dos esforzos repartidos, cada unha das unións de alas debe ser capaz de resistir un esforzo axial N_{Edf} , que se admitirá que se reparte uniformemente entre todos os parafusos da unión. O valor de N_{Edf} vén dado por:

$$N_{Edf} = N_{Ed} \frac{A_f}{A} + M_{Ed} \frac{I_f}{I} \frac{1}{h}$$

Onde N_{Ed} e M_{Ed} son os esforzos na sección de empalme, A_f a área dunha ala, I_f o momento de inercia do conxunto de ambas as alas respecto ao eixe de inercia da peza, A e I a área e o momento de inercia da peza e h o brazo de panca do momento. Se as unións de ala se realizan con dobre cubrexunta, h será igual ao canto da peza menos o grosor da ala; se a unión se realiza con cubrexuntas a un só lado das alas, tomarase para h a distancia entre planos de unión de cubrexuntas con alas, figura 61.1.

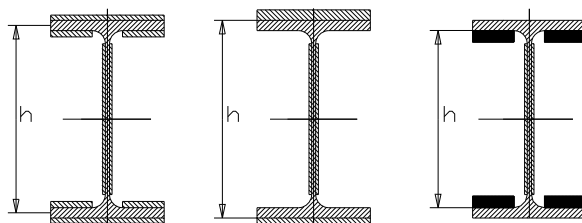


Figura 61.1

As unións das almas aos cubrexuntas estarán sometidas a:

- Un esforzo axial N_{Edw} , dirixido segundo a directriz da peza, que se suporá repartido uniformemente entre todos os parafusos da unión; o valor de N_{Edw} é:

$$N_{Edw} = N_{Ed} \frac{A_w}{A}$$

Onde N_{Ed} é o esforzo axial na sección de empalme, A_w a área da alma e A a área da peza.

- Un esforzo cortante V_{Ed} , dirixido en dirección normal á directriz da peza, que se reparte uniformemente entre todos os parafusos da unión.
- Un momento M_{Edw} ocasionado polo flector na sección de empalme e pola excentricidade do cortante, de valor:

$$M_{Edw} = M_{Ed} \frac{I_w}{I} + V_{Ed} d$$

Onde M_{Ed} e V_{Ed} son o momento flector e o esforzo cortante na sección de empalme, I_w o momento de inercia da alma e da distancia entre a sección de empalme e o centro de gravidade da área dos parafusos da unión dos cubrexuntas a unha das pezas.

Para a determinación do esforzo que este momento M_{Edw} ocasiona en cada parafuso, pódense empregar métodos elásticos ou plásticos, sempre que se cumpran as condicións impostas no número 58.10.

No caso de que se empregue o método elástico, aplicarase o disposto no número 60.2.

61.2. Empalmes con chapa frontal

O empalme de vigas mediante chapa frontal, figura 61.2.a, deberase deseñar como unha unión rixida, e na sección de empalme suporase que existen os mesmos esforzos que habería se as dúas pezas a unir fosen unha peza única.

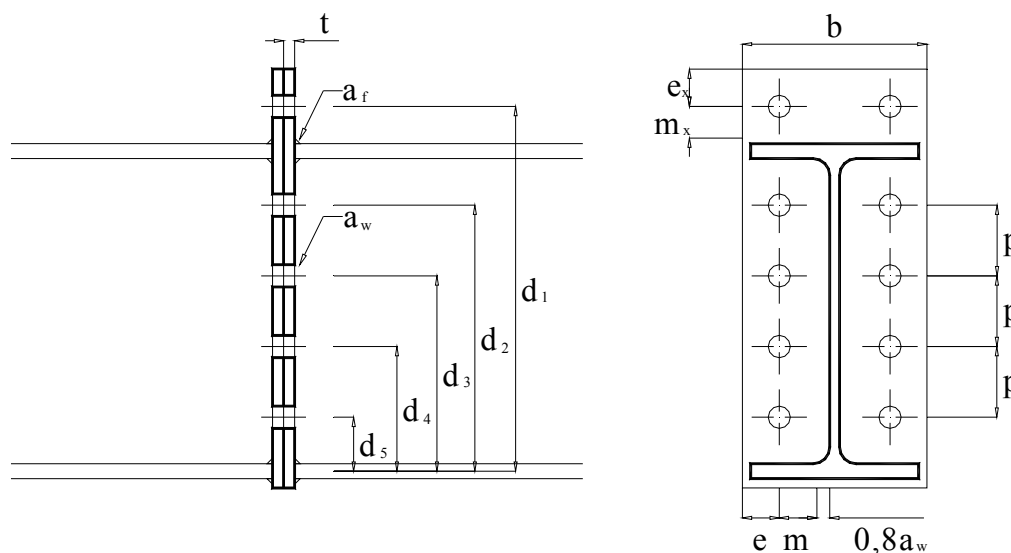


Figura 61.2.a

Recoméndase que o grosor da chapa frontal sexa igual ou superior ao diámetro dos parafusos.

Recoméndase que as distancias dos parafusos ao perfil sexan o máis pequenas posible, sempre que permitan a correcta colocación e apertamento dos parafusos ($m_x \approx m \approx 2d$, sendo d o diámetro dos parafusos).

Para efectos de resistir esforzos axiais ou momentos flectores, só se considerarán eficaces dúas columnas de parafusos, unha a cada lado da alma do perfil e precisamente as máis próximas a ela, salvo que se empreguen chapas frontais de fortes grosos ou convenientemente rixidizadas e se realice un estudo detallado da unión. De non se tomaren as precaucións indicadas, as demais columnas que se dispoñan só se considerarán eficaces para efectos de resistir esforzos cortantes.

A unión soldada das vigas ás chapas frontais realizarase de forma que sexa tan resistente como a propia viga; para iso, basta con ter en conta o disposto no número 59.8. Terase en conta a compatibilidade destas gargantas co grosor da chapa frontal.

Non se recomenda, salvo estudo detallado, o emprego deste tipo de unións en pezas en que sexan determinantes as solicitacións de fatiga.

Para modelizar a resistencia da chapa frontal á flexión (xunto cos parafusos) e a alma da viga á tracción, pódese empregar un casquete en T equivalente á tracción. O casquete en T equivalente tamén se pode utilizar para outros compoñentes básicos das unións aparafusadas viga-soporte (que se describen máis adiante), tales como:

- Ala do piar en flexión.
- Alma do piar a tracción.

Cando se utilice o método do casquete en T equivalente para modelizar un grupo de filas de parafusos, cómpre dividir o grupo en filas de parafusos separadas e usar un casquete en T equivalente para modelizar cada fila de parafusos.

Cando se utilice o método do casquete en T equivalente para modelizar un grupo de filas de parafusos, deberanse satisfacer as seguintes condicións:

- a) A forza en cada fila de parafusos non deberá superar a resistencia de cálculo determinada considerando só esa fila individual de parafusos.
- b) A forza total sobre cada grupo de filas de parafusos, consistente en dúas ou máis filas de parafusos adxacentes dentro do mesmo grupo de parafusos, non deberá superar a resistencia de cálculo dese grupo de filas de parafusos.

Cando se determine a resistencia de cálculo á tracción dun compoñente básico representado pola ala dun casquete en T equivalente, deberanse calcular os seguintes parámetros:

- a) A resistencia de cálculo dunha fila de parafusos individual, determinada considerando só esa fila de parafusos.
- b) A contribución de cada fila de parafusos á resistencia de cálculo de dúas ou máis filas de parafusos adxacentes dentro dun grupo de parafusos, determinada considerando só esas filas de parafusos.

Existen tres mecanismos de esgotamento ou modos de fallo para cada casquete en T equivalente. Para cada un destes tres modos de fallo determinarase unha resistencia á tracción de cálculo, $F_{T,i,Rd}$, con $i = 1, 2$ ou 3 e de acordo coas expresións da táboa 61.2.a.

En casos en que se poidan desenvolver forzas de panca, véxase a táboa 61.2.a, a resistencia de cálculo da ala dun casquete en T equivalente $F_{T,Rd}$ deberase tomar como o valor máis pequeno dos tres modos de fallo posibles 1, 2 e 3.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

En casos en que non se poidan desenvolver forzas de panca, a resistencia de cálculo da ala dun casquete en T equivalente $F_{T,Rd}$ deberase tomar como o valor máis pequeno dos dous modos de fallo posibles segundo a táboa 61.2.a.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1-2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

As lonxitudes eficaces para a chapa frontal tomaranse da táboa 61.2.b. e os parámetros m , e e e_{min} veñen definidos na figura 61.2.b.

No caso dunha fila de parafusos individual $\sum \ell_{eff}$, deberase tomar igual á lonxitude eficaz ℓ_{eff} tabulada na táboa 61.2.b para esa fila de parafusos tomada como unha fila de parafusos individual.

No caso dun grupo de filas de parafusos $\sum \ell_{eff}$, deberase tomar como a suma de todas as lonxitudes eficaces ℓ_{eff} tabuladas na táboa 61.2.b para cada fila de parafusos correspondente tomada como parte dun grupo de parafusos.

Táboa 61.2.a. Resistencia de cálculo $F_{T,Rd}$ da ala do casquete en T

	Pódense desenvolver forzas de panca, é dicir $L_b \leq L_b^*$.	Sen forzas de panca.
Modo 1 (sen chapas de reforzo).	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$	$F_{T,1-2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$
Modo 1 (con chapas de reforzo).	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd} + 2M_{bp,Rd}}{m}$	
Modo 2	$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n\Sigma F_{t,Rd}}{m + n}$	
Modo 3	$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd}$	

Modo 1: Plastificación completa da chapa frontal ou da ala.

Modo 2: Fallo dos parafusos con plastificación da chapa frontal ou da ala.

Modo 3: Fallo dos parafusos a tracción.

L_b Lonxitude de alongamento dos parafusos, tomada igual á lonxitude de apertadura (grosor total do material e arandelas) e mais a semisuma da altura da cabeza do parafuso e a altura da torca ou:

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

$F_{T,Rd}$ Resistencia de cálculo a tracción da ala dun casquete en T.

Q Forza de panca.

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

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

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

$$n = e_{min} \quad \text{pero} \quad n \leq 1,25m$$

$F_{t,Rd}$ Resistencia de cálculo a tracción dun parafuso, véxase o número 58.7.

$\sum F_{t,Rd}$ Valor total de $F_{t,Rd}$ para todos os parafusos do casquete en T equivalente.

$\sum \ell_{eff,1}$ Valor de $\sum \ell_{eff}$ para o modo 1.

$\sum \ell_{eff,2}$ Valor de $\sum \ell_{eff}$ para o modo 2.

e_{min} , m e t_f son como se indica na figura 61.2.b.

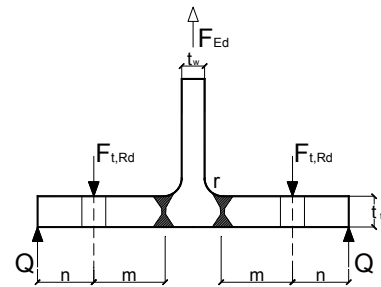
$f_{y,bp}$ Límite elástico das chapas de reforzo.

t_{bp} Grosor das chapas de reforzo.

$$e_w = d_w / 4$$

d_w | Diámetro da arandela ou a largura da cabeza do parafuso ou da torca, segundo corresponda.

n_b | Número de filas de parafusos (con 2 parafusos por fila).



NOTA 1: En unións aparafusadas viga-piar ou empalmes de vigas, pódese adoptar a hipótese de que se desenvolverán forzas de panca.

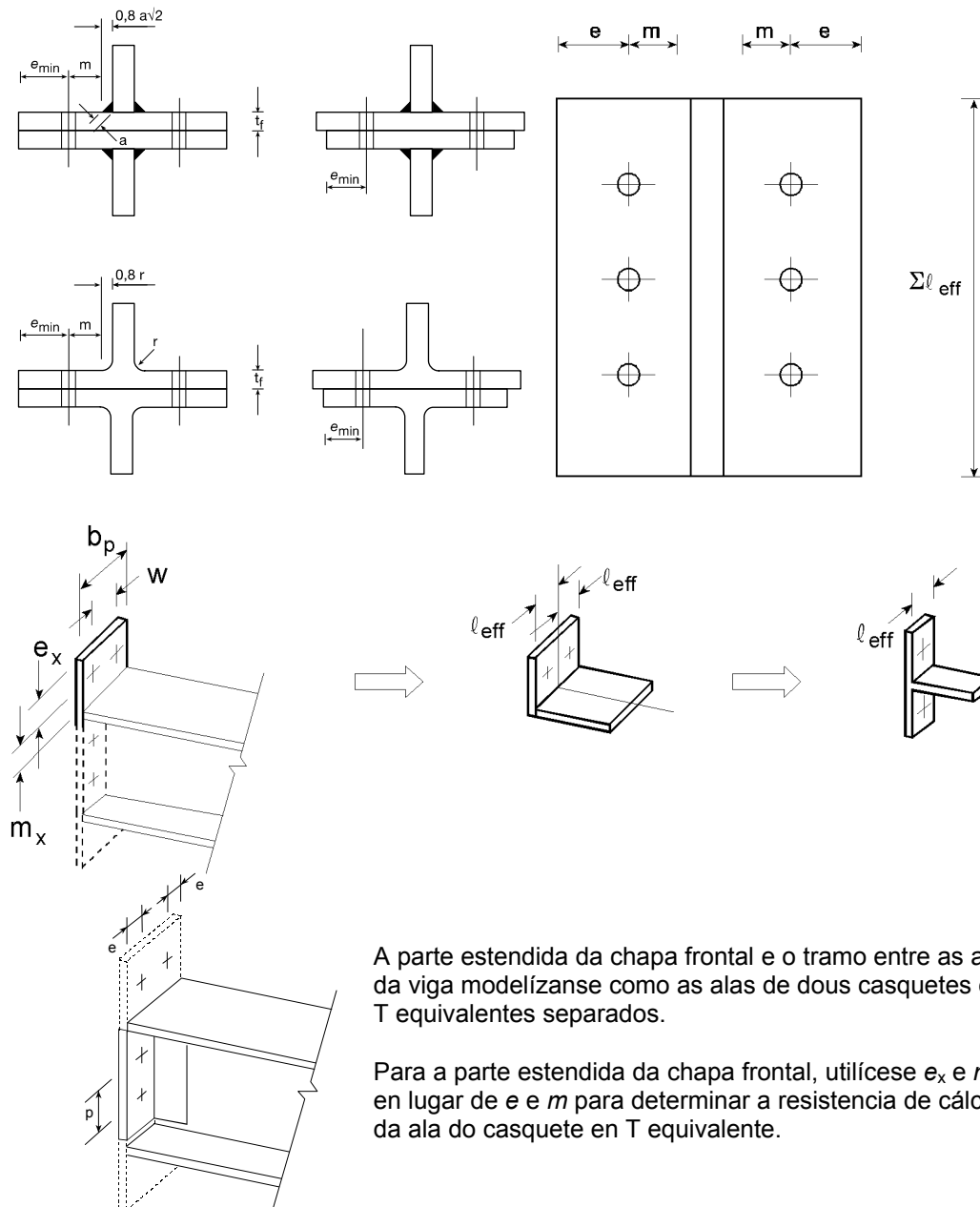


Figura 61.2.b. Modelización dunha chapa frontal estendida como casquetes en T equivalentes separados

Táboa 61.2.b. Lonxitudes eficaces para unha chapa frontal

Posición da fila de parafusos.	Fila de parafusos considerada individualmente.		Fila de parafusos considerada como parte dun grupo de filas de parafusos.	
	Patróns circulares $l_{\text{eff,cp}}$	Patróns non circulares $l_{\text{eff,nc}}$	Patróns circulares $l_{\text{eff,cp}}$	Patróns non circulares $l_{\text{eff,nc}}$
Fila de parafusos fóra da ala a tracción da viga.	O menor de: $2\pi m_x$ $\pi m_x + w$ $\pi m_x + 2e$	O menor de: $4m_x + 1,25e_x$ $e + 2m_x + 0,625e_x$ $0,5b_p$ $0,5w + 2m_x + 0,625e_x$	—	—
Primeira fila de parafusos debaixo da ala a tracción da viga.	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$
Outra fila de parafusos interior.	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Outra fila de parafusos exterior.	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$\pi m + p$	$2m + 0,625e + 0,5p$
Modo 1:	$l_{\text{eff},1} = l_{\text{eff,nc}}$ pero $l_{\text{eff},1} \leq l_{\text{eff,cp}}$		$\sum l_{\text{eff},1} = \sum l_{\text{eff,nc}}$ pero $\sum l_{\text{eff},1} \leq \sum l_{\text{eff,cp}}$	
Modo 2:	$l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff,nc}}$		$\sum l_{\text{eff},2} = \sum l_{\text{eff,nc}}$	
α obtense da figura 61.2.c.				

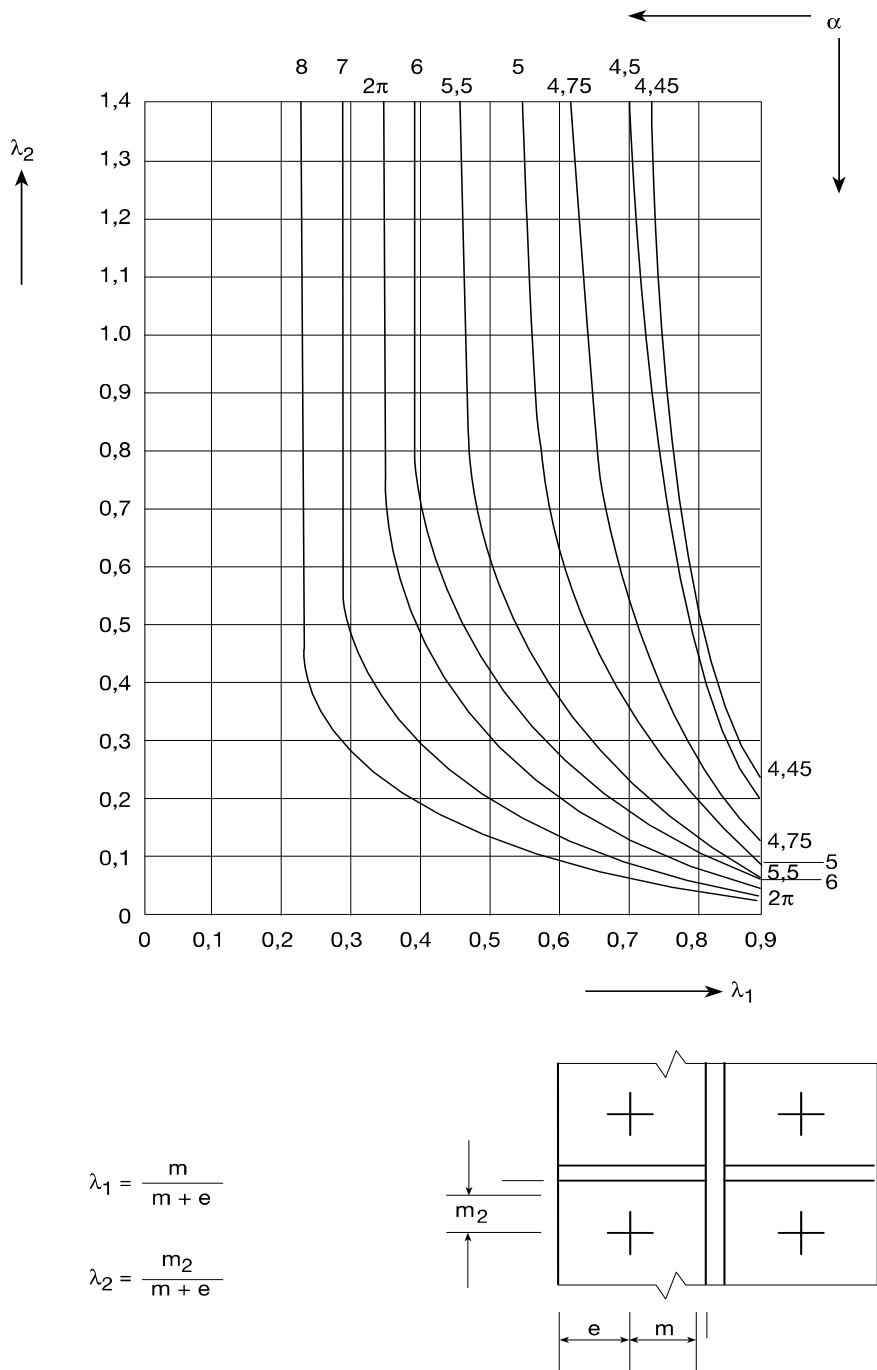


Figura 61.2.c. Valores de α para alas rixidizadas de piares e chapas frontais

61.2.1. Momento resistente da unión

Se a sección de empalme está sometida en xeral a un esforzo axial N_{Ed} , positivo se é de tracción, un cortante V_{Ed} e un momento flector M_{Ed} , a comprobación da unión realizarase segundo se indica a continuación:

- Determinarase o valor de $F_{T,Rd}$ para cada un dos casquetes en T de acordo co indicado neste artigo.
- O momento $M_{j,Rd}$ que pode resistir a unión vén dado por:

$$M_{j,Rd} = \sum (F_{tr,Rd,i} d_i)$$

Onde a distancia d_i está definida na figura 61.2.a.

- Para que a unión sexa segura, deberase cumprir que $M_{Ed} \leq M_{j,Rd}$.
- O método dado neste número para determinar o momento resistente de cálculo dunha unión $M_{j,Rd}$ non ten en conta ningún esforzo axial coexistente N_{Ed} no elemento conectado. Polo tanto, non deberían ser utilizados se o esforzo axial no elemento conectado supera o 5% da resistencia plástica de cálculo $N_{pl,Rd}$ da súa sección transversal.
- Se o esforzo axial N_{Ed} na viga conectada supera o 5% da resistencia de cálculo, $N_{pl,Rd}$, pódese empregar o seguinte método conservador:

$$\frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} + \frac{N_{j,Ed}}{N_{j,Rd}} \leq 1,0$$

onde:

- $M_{j,Rd}$ Momento resistente de cálculo da unión, supondo que non actúa ningún esforzo axial.
- $N_{j,Rd}$ Esforzo axial resistente de cálculo da unión, supondo que non existe ningún momento aplicado.
- A resistencia de cálculo á tracción eficaz $F_{tr,Rd}$ dunha fila de parafusos r , como fila de parafusos individual, deberase tomar como o menor valor da resistencia de cálculo á tracción para unha fila de parafusos individual dos seguintes compoñentes básicos:

- Chapa frontal en flexión: $F_{T,ep,Rd}$
- Alma da viga en tracción: $F_{t,wb,Rd}$

Nunha unión aparafusada con chapa frontal, a resistencia de cálculo á tracción da alma da viga deberase obter a partir de:

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

A largura eficaz $b_{eff,t,wb}$ da alma da viga a tracción deberase tomar igual á lonxitude eficaz do casquete en T equivalente que representa a chapa frontal en flexión, obtida segundo a táboa 61.2.b, para unha fila de parafusos individual ou un grupo de parafusos.

- A resistencia de cálculo a tracción eficaz $F_{tr,Rd}$ da fila de parafusos r deberá, se fose necesario, ser reducida por debaixo do valor obtido anteriormente para asegurar que a suma das resistencias de cálculo das filas de parafusos precedentes, incluíndo a fila de parafusos r que forma parte do mesmo grupo de filas de parafusos, non supera a resistencia de cálculo do dito grupo en conxunto. Isto deberase comprobar para os seguintes compoñentes básicos:

- A chapa frontal en flexión: $F_{T,ep,Rd}$

- A alma da viga en tracción: $F_{t,wb,Rd}$

- A resistencia de cálculo á tracción eficaz $F_{tr,Rd}$ da fila de parafusos r deberá, se fose necesario, ser reducida por debaixo do valor obtido no punto anterior para asegurar que, cando se teñen en conta todas as filas de parafusos precedentes, incluíndo a fila de parafusos r , se cumpra que a resistencia de cálculo total $\sum F_{T,Rd}$ non supera a resistencia de cálculo da ala e a alma da viga a compresión $F_{c,fb,Rd}$ dada por:

$$F_{c,fb,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_{fb})$$

onde:

- h Canto da viga conectada.

- $M_{c,Rd}$ Momento resistente de cálculo da sección transversal da viga, reducido se é necesario para ter en conta o cortante. Para unha viga reforzada cun cartabón, $M_{c,Rd}$ pódese calcular desprezando a ala intermedia.

- t_{fb} Grosor da ala da viga conectada.

Se o canto da viga, incluíndo a cartela, supera os 600 mm, a contribución da alma da viga á resistencia de cálculo a compresión deberase limitar ao 20%.

- O esforzo cortante V_{Ed} que actúa sobre a unión suporase resistido polos parafusos traballando como pertencentes a unha unión de categorías A, B ou C.

61.3. Unións mediante dobre casquete de angular

A unión con dobre casquete de angular, figura 61.3, pódese supor que é unha articulación, tanto se se destina a unir unha viga a un soporte como se se destina a unir

unha viga a unha viga mestra ou carreira perpendicular a ela. En xeral o seu uso é recomendable sempre que se queira dispor dunha unión articulada no extremo dunha viga.

O único esforzo a considerar é a reacción V_{Ed} de apoio da viga no soporte ou carreira, que se suporá actuando na cara de contacto dos casquetes co soporte ou carreira.

Se se pretende que a unión sexa articulada, a unión da viga aos casquetes de angular, como a destes ao soporte ou á carreira, pode ser aparafusada de categoría A ou soldada.

En caso de realizar a unión con parafusos, estes disporanse na liña de gramil dos angulares. Se na unión dos casquetes á alma da viga se dispoñen n parafusos traballando a dobre cortante e na unión dos casquetes ao soporte ou carreira se dispoñen $2n$ parafusos idénticos aos anteriores traballando a simple cortante, só é preciso comprobar a primeira das ditas unións, xa que a segunda traballa en condicións máis favorables.

Para non diminuír a flexibilidade da unión, se a unión dos casquetes ao soporte ou carreira se realiza mediante soldadura, só se deberá soldar sobre o lado vertical dos casquetes, salvo as prolongacións dos cordóns realizadas de acordo co disposto no número 59.3.3. En cambio, a soldadura dos casquetes á alma da viga realizarase con tres cordóns en cada casquete, un vertical e dous horizontais.

En réxime elástico, o esforzo F_{Ed} no parafuso máis solicitado vén dado por:

$$F_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{n} \sqrt{1 + \left(\frac{6w}{b(n+1)} \right)^2}$$

onde (figura 61.3) w é o gramil do angular e b a distancia entre parafusos.

En caso de que a unión dos casquetes ao soporte ou carreira se realice mediante soldadura, bastará comprobar que:

$$\frac{V_{Ed}}{2ha} \leq \frac{f_u}{\beta \gamma_{M2} \sqrt{3}}$$

A unión soldada dos casquetes á alma da viga comprobarase de acordo co disposto no número 60.2.1.

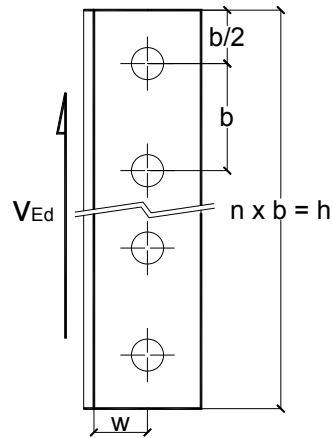


Figura 61.3

61.4. Unións mediante soldadura

Inclúense neste número outros tipos de unións articuladas de vigas a soportes ou carreiras, realizadas mediante soldadura.

61.4.1. Unións de vigas mediante soldadura directa da alma

A unión dunha viga a outra viga ou a un soporte, figura 61.4, utilizando unicamente cordóns de soldadura dados na alma da viga, pódese considerar, para efectos de cálculo, como unha articulación que só transmite un esforzo cortante V_{Ed} .

Recoméndase empregar para os dous cordóns desta unión o máximo grosor de garganta a compatible co grosor de alma t_w , $a = 0,7t_w$, para que a lonxitude L_w destes sexa a menor posible:

$$L_w = \frac{V_{Ed} \beta_w \gamma_{M2} \sqrt{3}}{2a_w f_u} = \frac{1,24 V_{Ed} \beta_w \gamma_{M2}}{t_w f_u}$$

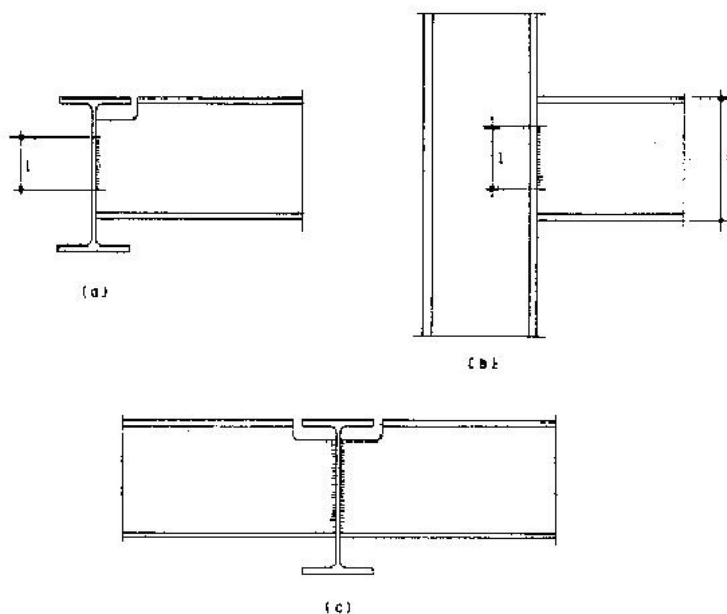


Figura 61.4

Para evitar superar a deformación de rotura nos extremos dos cordóns de soldadura, prohibese o uso deste tipo de unión cando resulte ser necesaria unha lonxitude $L_w > 14 t_w$.

A prohibición anterior non é aplicable cando a viga que recibe a unión sexa o suficientemente flexible como para permitir, sen coacción apreciable, o xiro do extremo da viga apoiada, tal como no caso (a) da figura 61.4.

61.5. Apoio sobre casquete non rixidizado

Este tipo de unión, figura 61.5, recoméndase como articulación en extremo de vigas ou viguetas na súa unión a soportes ou carreiras cando a reacción a transmitir, V_{Ed} , non é moi grande.

O casquete de angular ten unha lonxitude b medido en dirección normal á directriz da viga, e está soldado ao soporte ou carreira cun cordón de garganta a e lonxitude b dado sobre a zona do vértice do angular. O cordón que se aplique sobre o bordo inferior da ala non se considerará para efectos resistentes.

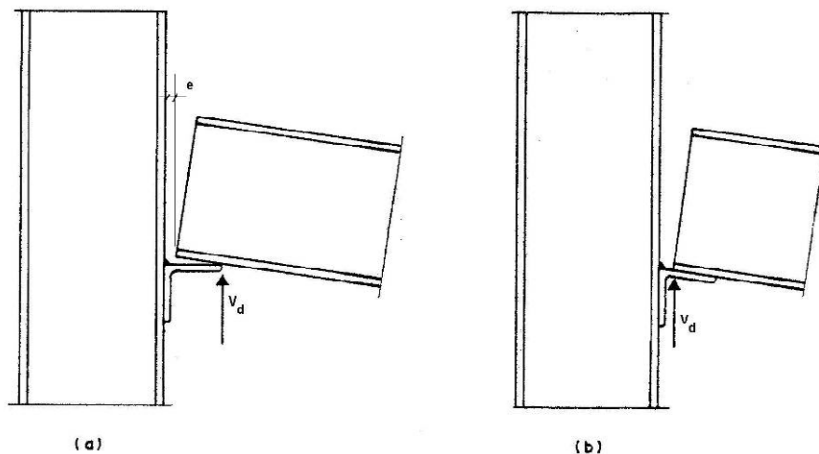


Figura 61.5

A distancia e libre entre o extremo da viga e a cara do soporte ou carreira debe ser inferior á suma do grosor do angular e mais o 50% do valor do raio de acordo deste.

Neste tipo de unións, a reacción pasa polo extremo da viga debido á débil rixidez a flexión da ala do casquete, salvo que se empreguen casquetes de grandes dimensións.

Para que a unión sexa segura, a reacción a transmitir V_{Ed} debe ser menor ou igual ao valor mínimo de entre os tres seguintes:

- Resistencia da alma da viga a esmagamento local:

$$V_{Rd1} = 2,5(t_f + r)t_w f_y$$

Onde t_f , t_w e r son os grosos de ala e alma da viga e o raio de acordo ala-alma desta, e f_y o seu límite elástico.

- Resistencia do cordón de soldadura:

$$V_{Rd2} = b a \frac{f_u}{\beta \sqrt{3} \gamma_{M2}}$$

- Resistencia a cortante da ala do angular:

$$V_{Rd3} = b t \frac{f_y}{\sqrt{3}}$$

Onde t é o grosor da ala do angular e f_y o seu límite elástico.

61.6. Apoio sobre casquete rixidizado

Cando a reacción a transmitir ten valores elevados, ou cando a viga e o soporte non están no mesmo plano, pódese recorrer ao emprego de casquetes rixidizados, figura 61.6.a.

Sexa V_{Ed} a reacción a transmitir e d a distancia desta á cara do soporte. Se a viga e o soporte son coplanarios, suporase que pasa polo extremo do casquete.

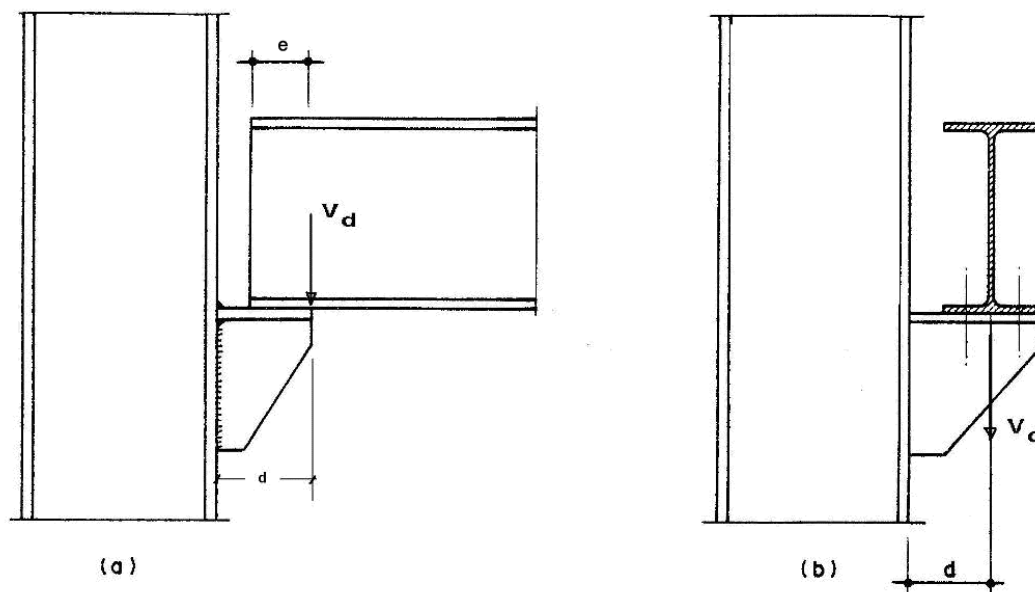


Figura 61.6.a

Para que a unión sexa segura, a reacción a transmitir V_{Ed} debe ser menor ou igual ao valor mínimo de entre os seguintes:

- Resistencia da alma da viga ao esmagamento local:

$$V_{Rd1} = 5(t_f + r)t_w f_y$$

Onde t_f , t_w e r son os grosos de ala e alma da viga e o raio de acordo ala-alma desta, e f_y o seu límite elástico. Se a distancia e do punto de paso da reacción ao extremo da viga é inferior a $2,5(t_f + r)$, tomarase na expresión anterior o valor $2e$ na vez de $5(t_f + r)$.

- Resistencia do rixidizador á aboladura:

$$V_{Rd2} = C_E \frac{M_{plRd}}{d}$$

sendo:

$$M_{plRd} = \frac{t c^2 f_y}{4}$$

Momento plástico da sección do rixidizador coa notación indicada na figura 61.6.b, de grosor t , canto útil c , medido normalmente ao seu bordo libre, e límite elástico f_y (véxase a figura 61.6.b).

$$C_E = 0,14 \bar{\lambda}^2 - 1,07 \bar{\lambda} + 2,3$$

Coefficiente de escuadra.

$$\bar{\lambda} = 0,805 \frac{c}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

Esvelteza adimensional do rixidizador.

- Resistencia da soldadura 1 (Figura 61.6.b):

$$V_{Rd,w1} = \frac{2a_1 L \sin \theta f_u}{\beta_w \sqrt{(2 + 3 \tan^2 \theta)} \gamma_{M2}}$$

- Resistencia da soldadura 2 (Figura 61.6.b):

$$V_{Rd,w2} = \frac{2a_2 L \cos \theta f_u}{\beta_w \sqrt{(3 + 2 \tan^2 \theta)} \gamma_{M2}}$$

- Resistencia da soldadura 3 (Figura 61.6.b):

$$V_{Rd,w3} = \frac{\sqrt{2} b a_3 f_u}{\beta_w \tan \theta \gamma_{M2}}$$

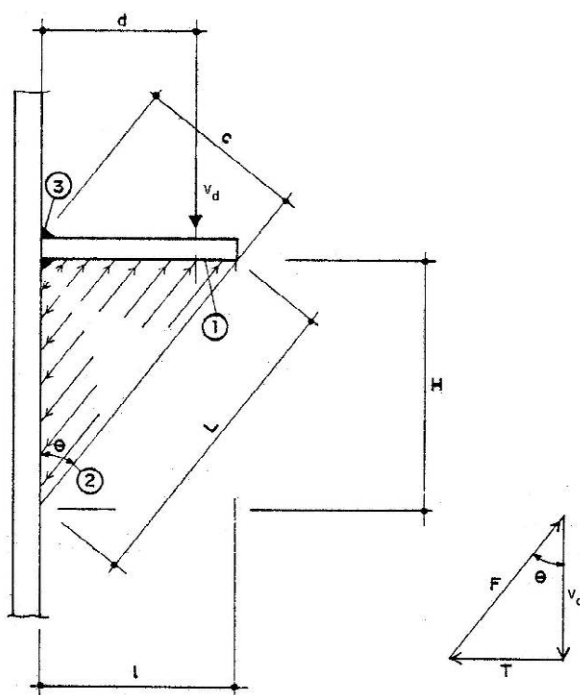


Figura 61.6.b

Artigo 62 Unións viga-soporte

As unións entre vigas de perfil en dobre T, laminadas ou armadas e soportes de sección en dobre T ou H pódense realizar soldando directamente as alas da viga ás do piar, ou mediante chapas frontais, soldadas á viga e aparafusadas ás alas do piar.

Non se cobren expresamente neste número aquelas unións en que as vigas ataquen a alma do soporte ou con soportes de seccións diferentes ás indicadas, que se deberán resolver aplicando os principios xerais expostos nos artigos anteriores e no artigo 64 en caso de que o soporte sexa de sección tubular.

62.1. Unións viga-soporte soldadas

62.1.1. Largura eficaz de ala e soldadura.

Cando a viga se solde a un soporte que non dispoña de rixidizadores en prolongación das alas da viga, figura 62.1.1, considerarase que a largura eficaz b_{ef} da ala da viga e a lonxitude eficaz dos cordóns de soldadura que unen a ala traccionada da viga á ala do soporte, tomaranse iguais ao menor dos seguintes valores:

$$b_b, b_c, t_{wc} + 2r_c + 7 \frac{f_{yc}}{f_{yb}} \frac{t_{fc}^2}{t_{fb}} \text{ ou } t_{wc} + 2r_c + 7t_{fc}$$

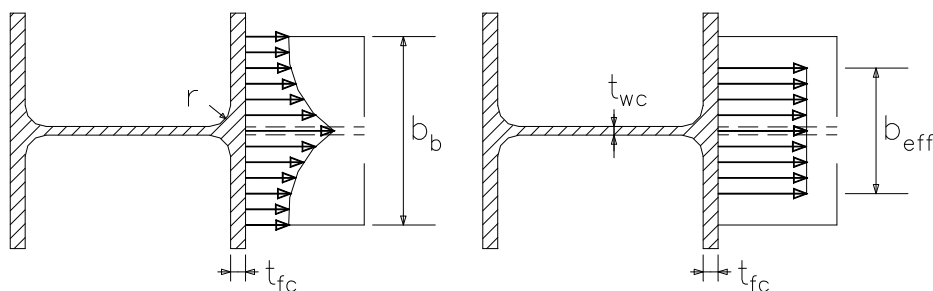


Figura 62.1.1

Nas expresións anteriores, b_b e b_c son o largo das alas da viga e do soporte, r_c o raio de acordo ala-alma do soporte, suposto que este sexa laminado, t_{fc} e t_{fb} os grosos da ala do soporte e da ala da viga, e f_{yc} e f_{yb} os límites elásticos dos aceiros da ala do soporte e da ala da viga, respectivamente.

Se o soporte é armado de chapa, substituirase nas expresións anteriores r_c por $\sqrt{2}a_c$, sendo a_c o grosor de garganta dos cordóns de unión ala-alma do soporte.

Cando resulte que $b_{ef} \leq b_b \frac{f_{yb}}{f_{ub}}$, deberase colocar unha parella de rixidizadores no soporte, en prolongación da ala da viga e cunha sección conxunta igual ou superior á da dita ala.

As soldaduras de unión das alas da viga á do soporte deseñaranse para que sexan capaces de resistir os esforzos que se determinasen de acordo co disposto no número 56.1, aínda que se recomenda que sexan capaces de resistir tanto como a ala da viga, $f_{yb}t_{fb}b_b/\gamma_{M0}$, para o que basta elixir a_b de acordo co indicado no número 59.8.

Na comprobación da resistencia da unión da ala traccionada da viga á ala do soporte, se este non se rixidizou, tomarase como lonxitude dos cordóns a largura eficaz da ala, b_{ef} , na vez da largura real, que pode ser maior.

As soldaduras de unión da alma da viga á ala do soporte dimensionaranse para resistir todo o esforzo cortante V_{Ed} e a parte do momento flector M_{Ed} que non fose resistido polas alas.

62.1.2. Resistencia do soporte. Zonas traccionada e comprimida non rixidizadas

Se non se dispoñen rixidizadores en prolongación das alas da viga, o máximo esforzo de tracción que pode resistir a zona traccionada, figura 62.1.2.a, vén dado polo menor da resistencia da ala e alma do soporte, que se dan a continuación:

$$- \text{ Resistencia da ala do soporte: } F_{t,fc,Rd} = \frac{f_{yb} t_{fb} b_{ef}}{\gamma_{M0}}$$

Onde o significado das variables foi explicado no número 62.1.1.

$$- \text{ Resistencia da alma do soporte: } F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega f_{yc} t_{wc} h_{ef}}{\gamma_{M0}}$$

Onde f_{yc} é o límite elástico do aceiro da alma do soporte e t_{wc} o seu grosor; γ_{M0} é o coeficiente de minoración de resistencia e h_{ef} a altura eficaz da alma, que vén dada por:

$$h_{ef} = t_{fb} + 2\sqrt{2}a_b + 5(t_{fc} + r_c) \quad \text{para soportes laminados e por:}$$

$$h_{ef} = t_{fb} + 2\sqrt{2}a_b + 5(t_{fc} + \sqrt{2}a_c) \quad \text{para soportes armados.}$$

Nas expresións anteriores, a_b e a_c son os grosos de garganta dos cordóns de soldadura de unión da ala da viga á ala do soporte e de unión ala-alma do soporte respectivamente. O significado dos restantes símbolos é o mesmo dos números anteriores.

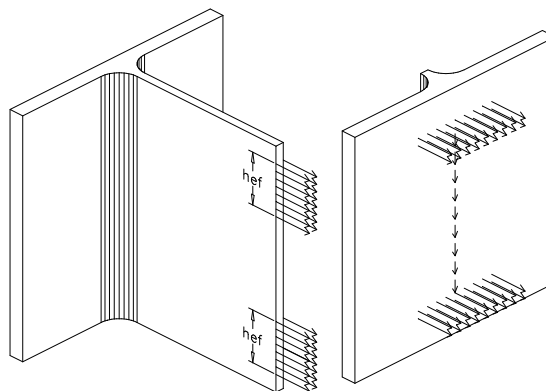


Figura 62.1.2.a

O máximo esforzo de compresión que pode resistir a zona comprimida vén dado pola resistencia a compresión da alma do soporte. Se non está rixidizada, vén dado por:

$$F_{c,wc,Rd} = \frac{\omega k_{wc} \rho f_{yc} t_{wc} h_{ef}}{\gamma_{M1}}$$

Nas expresións anteriores ω é un factor que ten en conta a interacción co cortante na alma do piar. O seu valor depende da relación $M_{b1,Ed}/M_{b2,Ed}$ entre os momentos a un lado e ao outro do soporte. De existiren momentos iguais en valor e signo a ambos os lados (co convenio da figura 62.1.2.b), tomarase $\omega = 1,0$. De existiren momentos do mesmo signo pero de valores diferentes, ou un dos dous é de valor nulo, tomarase:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \left(\frac{h_{ef} t_{wc}}{A_{vc}} \right)^2}}$$

Onde h_c é o canto do soporte e A_{vc} é a área a cortante do piar. Se os momentos a ambos os lados do soporte son de signos contrarios, tomarase:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{1 + 5,2 \left(\frac{h_{ef} t_{wc}}{A_{vc}} \right)^2}}$$

O factor k_{wc} ten en conta a influencia da máxima tensión de compresión $\sigma_{n,Ed}$ existente na alma do soporte, orixinada polo esforzo axial e o momento flector de cálculo a que estea sometido o soporte na súa unión á viga. O seu valor vén dado por:

$$k_{wc} = 1,70 - \frac{\sigma_{n,Ed}}{f_{yc}}$$

Se $\sigma_{n,Ed} \leq 0,7 f_{yc}$, tomarase $k_{wc} = 1,0$

O factor ρ ten en conta a posible aboladura da alma do soporte. Sendo:

$$\bar{\lambda}_p = 0,932 \sqrt{\frac{h_{ef} h_1 f_{yc}}{E t_{wc}^2}} \quad \text{Esvelteza adimensional da alma do soporte.}$$

h_1 Altura da súa parte recta.

f_{yc} Límite elástico.

ρ , vale:

$$\rho = 1$$

$$\text{Se } \bar{\lambda}_p \leq 0,72$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,22}{\bar{\lambda}_p^2} \quad \text{Se } \bar{\lambda}_p > 0,72$$

Os demais símbolos teñen o mesmo significado que anteriormente.

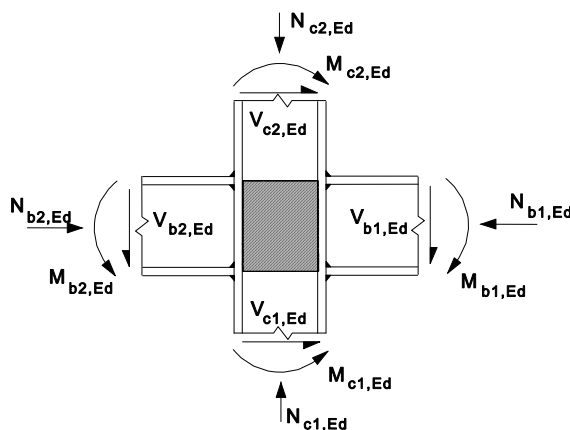


Figura 62.1.2.b

62.1.3. Resistencia do soporte. Zonas traccionada e comprimida rixidizadas

A resistencia das zonas traccionada e comprimida dun soporte cando se reforzaron con rixidizadores tomarase igual á resistencia da ala da viga se os rixidizadores cumpren as seguintes condicións:

- A área do par de rixidizadores dunha zona, na que se pode incluír a porción de alma do soporte comprendida entre os dous rixidizadores do par, A_r , non debe ser menor que a da ala da viga A_{fb} , $A_r \geq A_{fb}$.
- Se o aceiro co que se fabrican os rixidizadores é de menor límite elástico que o da viga, será preciso comprobar a súa capacidade para resistir as forzas aplicadas.
- As soldaduras entre o rixidizador e a ala do soporte débense dimensionar para resistir as forzas transmitidas pola ala da viga.
- As soldaduras entre o rixidizador e a alma do soporte débense dimensionar para resistir as forzas que sexa preciso transmitir á dita alma, que serán iguais a $F_{Ed} - F_{Rd}$, cuxos valores se definiron no número anterior. En ningún caso o grosor de garganta dos cordóns será inferior ao menor dos valores $0,4t_{wc}$ ou $0,4t_r$, sendo t_r o grosor dos rixidizadores.

62.1.4. Resistencia do soporte. Zona a cortante

Os métodos de deseño dados neste número son válidos sempre que a esvelteza da alma piar satisfaga a condición $d_{wc}/t_w \leq 69\epsilon$, onde d_{wc} é o canto da alma do piar.

Para unha unión a un só lado, ou para unha unión a ambos os lados onde os cantos das vigas sexan similares, a resistencia plástica de cálculo a cortante $V_{wp,Rd}$ da alma dun piar sen rixidizar, sometida a un esforzo cortante de cálculo $V_{wp,Ed}$, débese obter utilizando:

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

Onde A_{vc} é a área a cortante do piar.

O esforzo cortante resultante $V_{wp,Ed}$ na alma deberase obter usando:

$$V_{wp,Ed} = (M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed})/z - (V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed})/2$$

onde z é o brazo de panca, $M_{b1,Ed}$ e $M_{b2,Ed}$ os momentos flectores internos e $V_{b1,Ed}$ e $V_{b2,Ed}$ os esforzos cortantes aplicados nas unións polos elementos conectados (véxase a figura 62.1.2.b).

Se o esforzo cortante de cálculo $V_{wp,Ed}$ é maior que a resistencia plástica de cálculo a cortante $V_{wp,Rd}$, deberase reforzar a alma do soporte, ben mediante unha parella de rixidizadores oblicuos, figura 62.1.4.a, ou ben mediante chapas de reforzo de alma, figura 62.1.4.b.

Cando a alma do piar se reforce engadindo unha chapa, a área a cortante A_{vc} poderase incrementar ata $b_s t_{wc}$. Se se engade outra chapa de reforzo ao outro lado da alma, non se poderá incrementar máis a área a cortante.

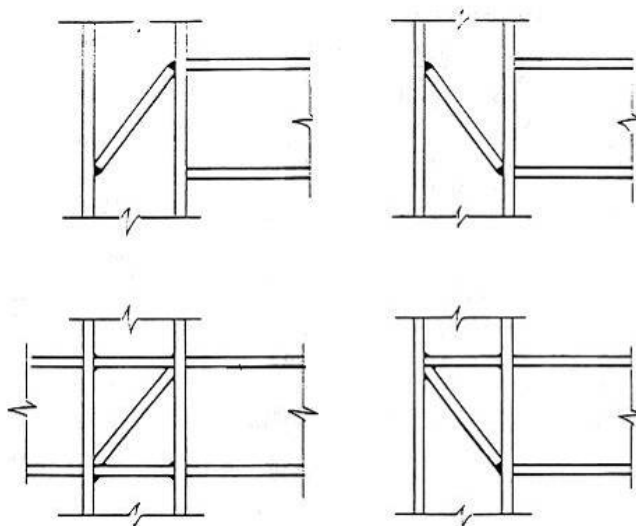


Figura 62.1.4.a

De se reforzar cunha parella de rixidizadores en diagonal de lonxitude d , figura 62.1.4.a, a área da sección transversal da parella de rixidizadores debe cumprir a seguinte relación:

$$A_d = \frac{d}{\sqrt{3}} \left(\frac{\sqrt{3} \gamma_{M0} (M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed})}{f_y (h_c - 2t_{fc}) (h_b - t_{fb})} - t_{wc} \right)$$

62.1.5. Momento resistente da unión

O momento $M_{j,Rd}$ que pode resistir a unión vén dado por (figura 62.1.5):

$$M_{j,Rd} = F_{Rd} z$$

onde:

$$z = h - t_{fb}$$

h Canto da viga.

t_{fb} Grosor da ala da viga.

F_{Rd} É a menor das resistencias da zona de tracción e a zona de compresión.

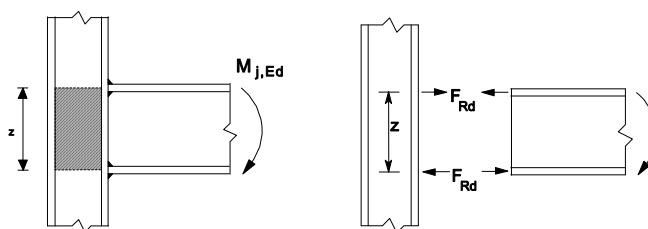


Figura 62.1.5

62.2. Unións viga-soporte aparafusadas

A unión viga-soporte aparafusada realízase habitualmente con chapas frontais. Presenta características parecidas ao empalme de vigas con chapa frontal, número 61.2.

O grosor da ala do soporte é, con certa frecuencia, menor que o grosor da chapa frontal soldada á viga; por outro lado, a resistencia e a rixidez da dita ala dependen en gran medida da presenza ou ausencia de rixidizadores situados en prolongación das alas da viga, polo que a comprobación deste tipo de unións se efectuará de acordo cos números seguintes.

A resistencia á tracción de cálculo dos parafusos no lado viga determinarase de acordo co disposto no número 61.2 anterior. Para o lado do soporte, a resistencia á tracción dos parafusos determinarase de forma análoga á do lado viga, baseándose no casquete en T equivalente, considerando os tres posibles modos de fallo, pero tomando como lonxitudes efectivas as dadas no número 62.2.1.

A resistencia das zonas traccionada, comprimida e a cortante do lado do soporte determinarase segundo os números 62.1.2, 62.1.3, e 62.1.4, pero, no caso da alma do piar a tracción, h_{ef} tomarase igual a lonxitude efectiva do casquete en T equivalente que representa a ala do piar, véxase 62.2.1.

62.2.1. Resistencia do lado soporte

A resistencia á tracción de cálculo de cada fila ou grupo de parafusos no lado soporte determinarase de acordo cos modos de fallo expostos no número 61.2, pero tomando como largos eficaces os que se indican nas táboas 62.2.1.a e b, dependendo de se o piar posúe rixidizadores transversais ou non. As dimensións de m e e_{min} veñen definidas na figura 62.2.1.a, e e_1 é a distancia, medida na dirección do eixe do piar, desde a fila de parafusos superior ao extremo do piar.

A modelización da ala rixidizada dun piar como casquetes en T pódese ver na figura 62.2.1.b.

Táboa 62.2.1.a. Lonxitudes eficaces para unha ala de piar sen rixidizar

Posición da fila de parafusos	Fila de parafusos considerada individualmente		Fila de parafusos considerada como parte dun grupo de filas de parafusos	
	Patróns circulares $l_{eff,cp}$	Patróns non circulares $l_{eff,nc}$	Patróns circulares $l_{eff,cp}$	Patróns non circulares $l_{eff,nc}$
Fila de parafusos interior	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Fila de parafusos exterior	O menor de: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	O menor de: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e_1$	O menor de: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	O menor de: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e_1 + 0,5p$
Modo 1:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ pero $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$		$\sum l_{eff,1} = \sum l_{eff,nc}$ pero $\sum l_{eff,1} \leq \sum l_{eff,cp}$	
Modo 2:	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$		$\sum l_{eff,2} = \sum l_{eff,nc}$	

Táboa 62.2.1.b. Lonxitudes eficaces para a ala rixidizada dun piar

Posición da fila de parafusos	Fila de parafusos considerada individualmente		Fila de parafusos considerada como parte dun grupo de filas de parafusos	
	Patróns circulares $l_{eff,cp}$	Patróns non circulares $l_{eff,nc}$	Patróns circulares $l_{eff,cp}$	Patróns non circulares $l_{eff,nc}$
Fila de parafusos adxacente a un rixidizador	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$
Outra fila de parafusos interior	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Outra fila de parafusos exterior	O menor de: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	O menor de: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e_1$	O menor de: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	O menor de: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e_1 + 0,5p$
Fila de parafusos exterior adxacente a un rixidizador	O menor de: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	$e_1 + \alpha m - (2m + 0,625e)$	non relevante	non relevante
Para o modo 1:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ pero $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$		$\sum l_{eff,1} = \sum l_{eff,nc}$ pero $\sum l_{eff,1} \leq \sum l_{eff,cp}$	
Para o modo 2:	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$		$\sum l_{eff,2} = \sum l_{eff,nc}$	

α obtense a partir da figura 61.2.c.

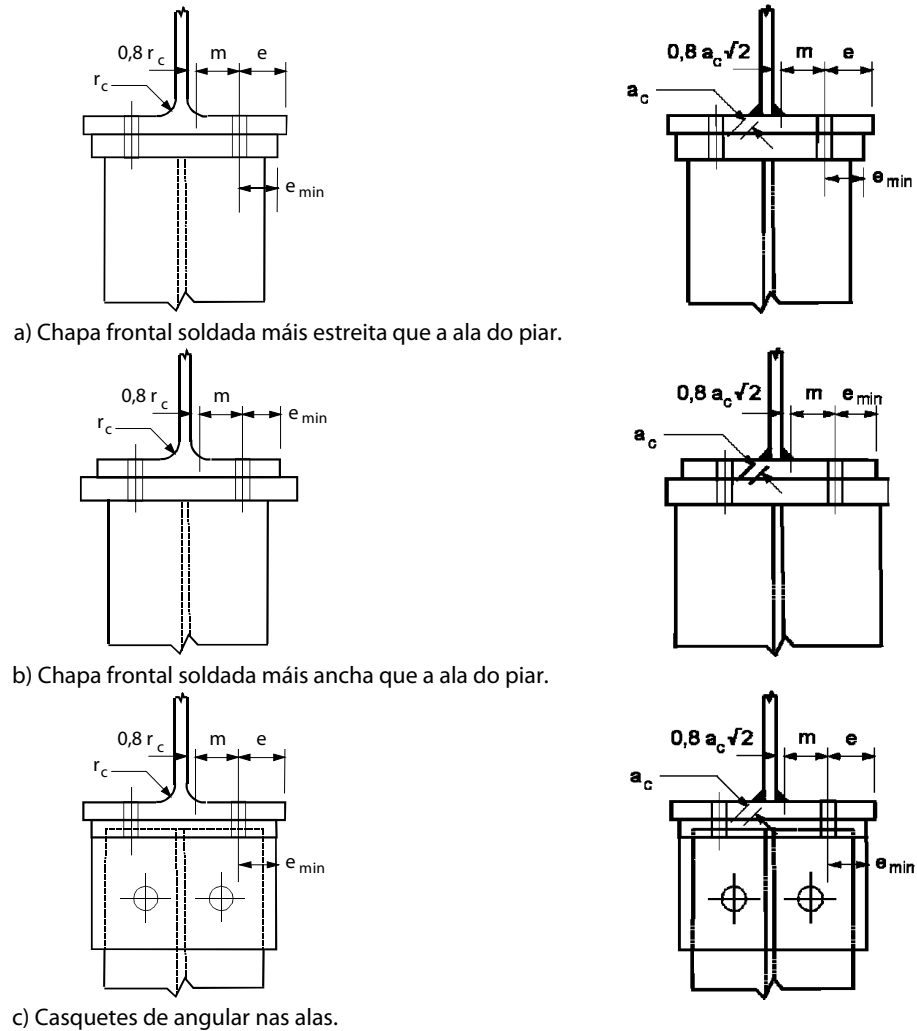
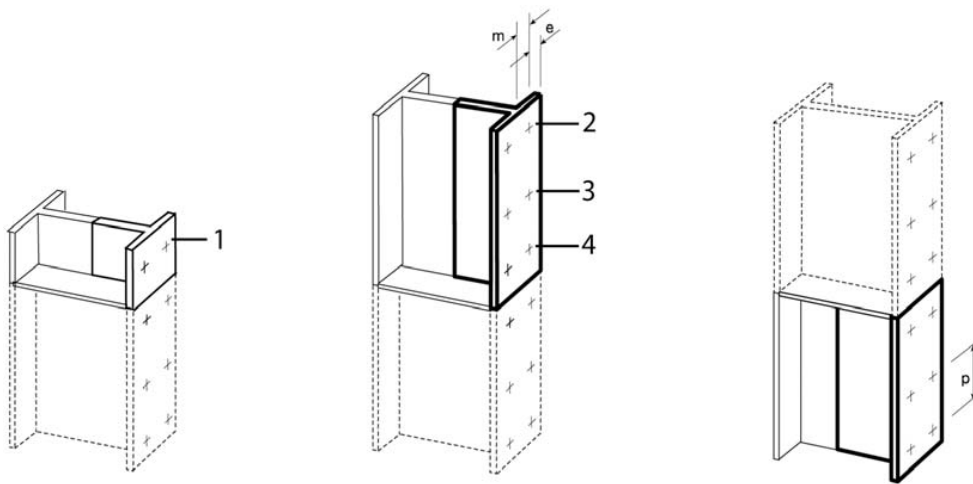


Figura 62.2.1.a. Definicións de e , e_{\min} , r_c e m

Unha vez determinados os valores anteriores, tomarase como valor de F_{Rd} para cada fila de parafusos o menor de entre os determinados para o lado viga e o lado soporte.

A resistencia da unión $M_{j,Rd}$ comprobarase de acordo co disposto no número 62.2.2.



- 1 Fila de parafusos exterior adxacente a un rixidizador.
 2 Fila de parafusos exterior.
 3 Fila de parafusos interior.
 4 Fila de parafusos adxacente a un rixidizador.

Figura 62.2.1.b

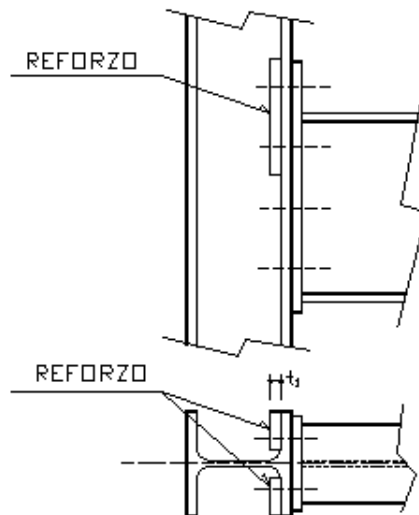


Figura 62.2.1.c

En certos casos en que non sexa preciso rixidizar o soporte pero a resistencia á tracción de cálculo dos parafusos no lado soporte é insuficiente, pode resultar económico reforzar a ala deste con dúas chapas de reforzo, de grosor t_1 , suxeitas unicamente cos parafusos de unión á viga, figura 62.2.1.c.

Cando se utilicen chapas de reforzo, a resistencia de cálculo do casquete en T $F_{T,Rd}$ deberase determinar utilizando o método dado na táboa 61.2.a.

62.2.2. *Momento resistente da unión*

Se a unión está sometida en xeral a un esforzo axial N_{Ed} , positivo se é de tracción, un cortante V_{Ed} e un momento flector M_{Ed} , a comprobación da unión realizarase segundo se indica a continuación.

- Determinarase o valor de $F_{T,Rd}$ para cada un dos casquetes en T de acordo co indicado no número 61.2.
- O momento $M_{j,Rd}$ que pode resistir a unión vén dado por:

$$M_{j,Rd} = \sum (F_{tr,Rd,i} d_i)$$

onde d_i vén definido na figura 61.2.a.

- Para que a unión sexa segura, deberase cumprir que $M_{Ed} \leq M_{j,Rd}$.
- O método dado neste número para determinar o momento resistente de cálculo dunha unión $M_{j,Rd}$ non ten en conta ningún esforzo axial coexistente N_{Ed} no elemento conectado. Polo tanto, non deberían ser utilizados se o esforzo axial no elemento conectado supera o 5% da resistencia plástica de cálculo $N_{pl,Rd}$ da súa sección transversal.
- Se o esforzo axial N_{Ed} na viga conectada supera o 5% da resistencia de cálculo, $N_{pl,Rd}$, pódese empregar o seguinte método conservador:

$$\frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} + \frac{N_{j,Ed}}{N_{j,Rd}} \leq 1,0$$

sendo:

$M_{j,Rd}$ Momento resistente de cálculo da unión, supondo que non actúa ningún esforzo axial.

$N_{j,Rd}$ Esforzo axial resistente de cálculo da unión, supondo que non existe ningún momento aplicado.

- A resistencia de cálculo a tracción eficaz $F_{tr,Rd}$ dunha fila de parafusos r , como fila de parafusos individual, deberase tomar como o menor valor da resistencia de cálculo a tracción para unha fila de parafusos individual dos seguintes compoñentes básicos:

- Alma do piar a tracción $F_{t,wc,Rd}$ (definida no número 62.1.2).
- Ala do piar a flexión $F_{T,fc,Rd}$ (definida en número 62.2.1).
- Chapa frontal a flexión $F_{T,ep,Rd}$ (definida no número 61.2).
- Alma da viga á tracción $F_{t,wb,Rd}$ (definida no número 61.2.1).

- A resistencia de cálculo á tracción eficaz $F_{tr,Rd}$ da fila de parafusos r deberá, se fose necesario, ser reducida para asegurar que, cando se teñen en conta todas as filas de parafusos precedentes, incluíndo a fila de parafusos r , se cumpran as seguintes condicións:

- A resistencia de cálculo total $\sum F_{t,Rd} \leq V_{wp,Rd} / \beta$ (con β segundo o punto 62.3).
- A resistencia de cálculo total $\sum F_{t,Rd}$ non supera o menor de:
 - A resistencia de cálculo da alma do piar a compresión $F_{c,wc,Rd}$ (véxase o número 62.1.2).
 - A resistencia de cálculo da ala e a alma da viga a compresión $F_{c,fb,Rd}$ (véxase o número 61.2.1).

- A resistencia de cálculo á tracción eficaz $F_{tr,Rd}$ da fila de parafusos r deberá, se fose necesario, ser reducida para asegurar que a suma das resistencias de cálculo das filas de parafusos precedentes, incluíndo a fila de parafusos r que forma parte do mesmo grupo de filas de parafusos, non supera a resistencia de cálculo do dito grupo en conxunto. Isto deberíase comprobar para os seguintes compoñentes básicos:

- A alma do piar a tracción $F_{t,wc,Rd}$
- A ala do piar a flexión $F_{T,fc,Rd}$
- A chapa frontal a flexión $F_{T,ep,Rd}$
- A alma da viga a tracción $F_{t,wb,Rd}$

- O esforzo cortante V_{Ed} que actúa sobre a unión suporase resistido polos parafusos traballando de acordo coa categoría de unión que corresponda: A, B ou C.

62.3. Rixidez da unión

Será preciso determinar a rixidez S_j da unión segundo se indica deseguido, e comprobarase, de acordo co disposto en 57.4, se se verifica a hipótese de que é rixida. En caso de que a citada hipótese resultase non ser certa, será preciso volver a determinar os esforzos considerando a rixidez S_j da unión.

A rixidez rotacional inicial dunha unión viga-soporte vén dada pola seguinte expresión, sempre que o esforzo axial N_{Ed} no elemento conectado non supere o 5% da resistencia de cálculo $N_{pt,Rd}$ da súa sección transversal:

$$S_{j,ini} = \frac{Ez^2}{\sum \frac{1}{k_i}}$$

onde:

z Brazo de panca da unión. Para unións soldadas, z será a mostrada no número 62.1.5. Para unións aparafusadas, z será igual á z_{eq} definida máis adiante. De forma aproximada, para unións con chapa frontal estendida aparafusada, z pódese tomar como a distancia desde o centro de compresión ao punto intermedio entre as dúas filas de parafusos a tracción máis afastadas.

k_i Rixidez de cada compoñente básico, que se definen a continuación:

a) Rixidez da alma do piar a cortante:

$$k_{wv} = 0,38 \frac{A_{vc}}{\beta z}$$

Se a alma do piar se atopa rixidizada con rixidizadores oblicuos $k_{wv} = \infty$

b) Rixidez da alma do piar a tracción:

$$k_{wt} = 0,7 \frac{h_{ef} t_{wc}}{d_c}$$

Se a alma do piar se atopa rixidizada $k_{wt} = \infty$

c) Rixidez da alma do piar a compresión:

$$k_{wc} = 0,7 \frac{h_{ef} t_{wc}}{d_c}$$

Se a alma do piar se atopa rixidizada $k_{wc} = \infty$

d) Rixidez da ala do piar a flexión, correspondente a unha fila de parafusos:

$$k_f = 0,9 \frac{b_{ef,f} t_{fc}^3}{m^3}$$

e) Rixidez da chapa frontal a flexión, correspondente a unha fila de parafusos:

$$k_p = 0,9 \frac{b_{ef,p} t_p^3}{m^3}$$

f) Rixidez dunha fila de parafusos a tracción:

$$k_b = 1,6 \frac{A_s}{L_b}$$

En todo o anterior:

A_{vc} Área a cortante do piar.

β Parámetro de transformación, función dos momentos das vigas (véxase a figura 62.1.2.b).

$$\text{Para a unión dereita: } \beta_1 = \left| 1 - \left(M_{b2,Ed} / M_{b1,Ed} \right) \right| \leq 2$$

$$\text{Para a unión esquerda: } \beta_2 = \left| 1 - \left(M_{b1,Ed} / M_{b2,Ed} \right) \right| \leq 2$$

h_{ef} Largo eficaz da alma do piar. Defínese no número 62.1.2 para a alma do piar a compresión e alma a tracción en uniónns soldadas e no número 62.2.1 para a alma do piar a tracción en uniónns aparafusadas.

t_{wc} e t_{fc} Grosor da alma e da ala do piar respectivamente.

d_c Parte recta da alma do piar, $d_c = h_c - 2(t_{fc} - r_c)$

t_p Grosor da chapa frontal.

A_s Área resistente dos parafusos traccionados (véxase a táboa 58.7).

L_b Lonxitude de apertadura dos parafusos, distancia desde a metade do grosor da torca á metade do grosor da cabeza.

$b_{ef,f}$ Largo eficaz da ala do piar a flexión. Tomarase a menor das lonxitudes eficaces (individualmente ou como parte dun grupo de parafusos) para a fila de parafusos dada no número 62.2.1 para alas sen rixidizar e rixidizadas.

$b_{ef,p}$ Largo eficaz da chapa frontal a flexión. Tomarase a menor das lonxitudes eficaces (individualmente ou como parte dun grupo de filas de parafusos) dadas para a fila de parafusos no número 61.2.

m Defínese de forma xeral na figura 61.2.a e 61.2.b, pero para unha fila de parafusos situada na parte estendida dunha chapa frontal estendida $m = m_x$, onde m_x é como se define na figura 61.2.b.

Para unións con chapas frontais con dúas ou máis filas de parafusos a tracción, os compoñentes básicos relacionados con todas estas filas de parafusos deberán estar representados por un só coeficiente de rixidez equivalente k_{eq} determinado a partir de:

$$k_{eq} = \frac{\sum_r k_{eff,r} h_r}{z_{eq}} \quad \text{con} \quad k_{eff,r} = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{k_{i,r}}}$$

onde:

h_r Distancia entre a fila de parafusos r e o centro de compresión.

$k_{eff,r}$ Coeficiente de rixidez efectivo para a fila de parafusos r considerando os coeficientes de rixidez $k_{i,r}$ para os compoñentes básicos i (para o caso de unións viga-piar son a alma a tracción do piar, a ala en flexión do piar, a chapa frontal en flexión e os parafusos a tracción e para o caso de empalmes de vigas con chapa frontal aparafusada son as chapas frontais en flexión e os parafusos en tracción).

z_{eq} Brazo de panca equivalente, de valor:

$$z_{eq} = \frac{\sum_r k_{eff,r} h_r^2}{\sum_r k_{eff,r} h_r}$$

Como simplificación, nunha unión aparafusada con chapa frontal con máis dunha fila de parafusos a tracción, a contribución de calquera fila de parafusos pódese desprezar, sempre que tamén se desprezen as contribucións do resto de filas de parafusos máis próximas ao centro de compresión. O número de filas de parafusos consideradas non ten que ser necesariamente o mesmo que para a determinación do momento resistido de cálculo.

62.4. Capacidade de rotación da unión

62.4.1. *Xeral*

Se a análise global da estrutura se realiza por métodos plásticos e na unión se prevé a formación dunha rótula plástica, será preciso comprobar se a unión ten capacidade de rotación suficiente.

As cláusulas dos seguintes números (64.4.2 e 64.4.3) só son válidas para aceiros S235, S275 e S355 e para unións nas cales a forza axial N_{Ed} no elemento que se une non supere o 5% da resistencia plástica de deseño $N_{pl,Rd}$ da sección transversal.

A capacidade de rotación da unión non necesita ser comprobada sempre que o momento resistente da unión $M_{j,Rd}$ sexa polo menos 1,2 veces o momento plástico resistente $M_{pl,Rd}$ do elemento que se conecta.

62.4.2. *Unións soldadas*

Unha unión viga-soporte soldada, deseñada de acordo co indicado nos números anteriores, non rixidizada, ten unha capacidade de rotación $\Phi_{Cd} = 0,015$ rad.

Unha unión viga-soporte soldada de resistencia completa ten suficiente capacidade de rotación para que sexa posible efectuar a análise da estrutura en réxime plástico.

Unha unión viga-soporte soldada na cal o momento que é capaz de resistir está limitado pola resistencia da zona de cortante, ten suficiente capacidade de rotación para que sexa posible efectuar a análise da estrutura en réxime plástico.

Unha unión viga-soporte soldada que teña rixidizada a zona de tracción ten suficiente capacidade de rotación para que sexa posible efectuar a análise da estrutura en réxime plástico, aínda que non sexa de resistencia completa.

Nunha unión viga-soporte soldada que teña rixidizada a zona de compresión pero non a de tracción, e na que o momento que é capaz de resistir non está limitado pola resistencia da zona de cortante, a capacidade de rotación tomarase igual a:

$$\Phi_{Cd} = 0,025 \frac{h_c}{h_b}$$

62.4.3. *Unións aparafusadas*

Unha unión viga-piar en que o momento resistente da unión está gobernado pola resistencia da alma do piar a cortante pódese asumir que ten capacidade de rotación suficiente para a análise plástica, sempre que $d_{wc} / t_w \leq 69\varepsilon$, onde d_{wc} é o canto da alma do piar.

Unha unión con chapa frontal aparafusada ou con angulares de ala pódese asumir que ten capacidade de rotación suficiente para a análise plástica sempre que se cumpran as dúas condicións seguintes:

- O momento resistente da unión está gobernado ben pola resistencia da ala do piar a flexión ou ben pola resistencia da chapa frontal ou angular da ala a flexión, é dicir, que na determinación da resistencia á tracción de cálculo F_{Rd} en todos os parafusos traccionados resulte determinante o modo 1 de fallo, ben no lado viga ou ben no lado soporte.
- O grosor t da ala do piar, a chapa frontal ou o angular cumpre a seguinte condición:

$$t \leq 0,36d \sqrt{f_{ub} / f_y}$$

Unha unión aparafusada cuxo momento resistente de cálculo $M_{j,Rd}$ estea gobernado pola resistencia de cálculo dos seus parafusos a cortante, non se deberá considerar coa capacidade de rotación suficiente para unha análise global plástica.

Artigo 63 Unións híbridas con parafusos e soldadura

63.1. Tipos de parafusos

Cando na mesma unión entre dúas pezas deban colaborar cordóns de soldadura e parafusos na transmisión do cortante, o medio de unión que posúa a maior rixidez débese deseñar para soportar a totalidade da carga.

Como excepción, nas unións con parafusos pretensados de clase 8.8 ou 10.9 en unións traballando a rozamento en estado límite último (categoría C), pódese asumir que estes comparten a carga coas soldaduras sempre que o par de apertamento dos parafusos se efectúe despois de ter completado a soldadura.

A resistencia da unión será igual á suma da resistencia achegada pola soldadura e polos parafusos, calculada de acordo co disposto nos números 59.8, 59.9 e 58.8 respectivamente.

63.2. Execución da unión

Os parafusos de alta resistencia non se apertarán ata ter terminado a execución das soldaduras para evitar que sexan solicitados polas tensións residuais de soldadura.

63.3. Reforzos

Cando sexa preciso reforzar unha unión aparafusada ou remachada existente, poderanse empregar cordóns de soldadura no dito reforzo, sempre que se calculen para que sexan capaces de resistir todos os esforzos ocasionados polas cargas permanentes que o propio reforzo introduza, e todas as sobrecargas que poidan actuar despois de efectuado o citado reforzo.

Os esforzos ocasionados polas cargas permanentes existentes antes da execución do reforzo deberán ser resistidos polos medios de unión existentes.

Artigo 64 Unións entre pezas de sección tubular

64.1. Ámbito de aplicación

Neste artigo danse as regras oportunas para calcular a resistencia estática de unións realizadas entre barras de sección oca, circular ou rectangular ou entre barras deste tipo e barras laminadas en quente de sección en H ou en U, que, en xeral, forman parte de estruturas ou pezas en celosía ou de tipo Vierendeel, planas ou espaciais.

A resistencia á fatiga destas unións estudarase de acordo co disposto no capítulo XI, Fatiga, desta instrución.

Estas regras son válidas tanto para tubos terminados en quente segundo UNE-EN 10210 como para tubos conformados en frío segundo UNE-EN 10219.

Para pezas fabricadas con aceiros S420 ou S460, a resistencia calculada de acordo coas regras indicadas nos números seguintes débese reducir multiplicándoa por un factor de 0,9.

O grosor mínimo de calquera barra non será inferior a 2,5 mm. Cando o grosor na zona de nó sexa superior a 25,0 mm, o aceiro do cordón na dita zona debe ser do tipo Z.

Tomarase o valor $\gamma_{M5} = 1,00$ para o coeficiente parcial de seguridade γ_{M5} neste tipo de unións.

O ángulo θ entre barras contiguas debe satisfacer a condición $\theta \geq 30^\circ$.

Dado que as expresións que dan a resistencia destas unións se deduciron principalmente a partir da análise dunha ampla base de resultados experimentais, o seu campo de aplicación queda estritamente limitado ao que se indica neste artigo, non sendo válido extrapolalas a disposicións ou dimensións non expresamente admitidas nestes, xa que a dita extrapolación pode conducir a obter resultados inseguros.

64.2. Definicións e notación

As unións estudadas neste artigo poden ser de calquera das clases que se indican a continuación, aínda que se recomenda o emprego preferente das indicadas en primeiro lugar:

- Unións directas mediante soldadura entre tubos ou entre tubos e barras en H ou U laminadas en quente, sen modificar a sección transversal de ningunha barra.
- Unións directas mediante soldadura entre tubos ou entre tubos e barras en H ou U laminadas en quente, modificando mediante esmagamento a sección transversal dalgunha das barras de sección oca circular incidentes na unión.
- Unións con cartelas soldadas, sen modificación da sección transversal de ningunha das barras implicadas.

No que segue, e especialmente para unións directas, denomínase:

SHC, barra de sección oca circular.

SHR, barra de sección oca rectangular ou cadrada.

Cordón, barra principal que non comeza nin acaba no nó en que se realiza a unión, senón que é continua neste. Prohíbese terminantemente perforala para que outras barras penetren no seu interior, aínda que se autoriza que o fagan as cartelas de nó, en caso de que se empreguen.

Diagonal, barra secundaria que comeza ou acaba no nó, e que forma un ángulo $\theta \neq 90^\circ$ co cordón correspondente.

Montante, barra secundaria que comeza ou acaba no nó, e que forma un ángulo $\theta = 90^\circ$ co cordón correspondente.

Unión plana, unión en que os eixes de todas as barras que interveñen nesta están situados no mesmo plano.

Unión espacial, unión en que os eixes de todas as barras que interveñen nesta non están situados no mesmo plano.

Unión en T, unión plana entre un cordón e un montante, na cal os esforzos no montante se equilibran mediante cortantes e flectores no cordón, figura 64.2.a.

Unión en Y, unión plana entre un cordón e unha diagonal, na que os esforzos nesta se equilibran mediante cortantes e flectores no cordón, figura 64.2.a.

Unión en X, unión plana entre un cordón e dúas diagonais ou dous montantes dispostos en prolongación, na que os esforzos nas diagonais ou montantes se equilibran entre si, pasando a través do cordón, figura 64.2.a.

Unión en K, unión plana entre un cordón e dúas diagonais, na que os esforzos nesta se equilibran mediante esforzos axiais no cordón, figuras 64.2.a. En xeral, corresponde a celosías tipo Warren. Poden ser dos tipos con separación ou con solapamento.

Unión en N, unión plana entre un cordón, unha diagonal e un montante, na que os esforzos na diagonal e no montante se equilibran mediante esforzos axiais no cordón, figuras 64.2.a. En xeral, corresponde a celosías tipo Howe ou Pratt. Poden ser dos tipos con separación ou con solapamento.

Unión en KT, unión plana entre un cordón, dúas diagonais e un montante, na que os esforzos nas diagonais e no montante se equilibran mediante esforzos axiais no cordón, figuras 64.2.a. En xeral, corresponde a celosías tipo Warren con montantes. Poden ser dos tipos con separación ou con solapamento.

Unión en DK, unión plana entre un cordón e dous pares de diagonais que atacan o cordón simetricamente respecto ao eixe deste, figura 64.2.a. O esforzo en cada diagonal equilibrase co da diagonal en prolongación, pasando a través do cordón. Poden ser dos tipos con separación ou con solapamento.

Unión en DY, unión plana entre un cordón e dúas diagonais que atacan o cordón simetricamente respecto ao eixe deste, figura 64.2.a. Os esforzos nas diagonais equilíbranse mediante esforzos axiais no cordón.

Unión en TT, unión espacial entre un cordón e dous montantes. O plano definido polos dous montantes é perpendicular ao cordón, figura 64.2.a. O esforzo nos montantes equilíbrase mediante cortantes e flectores no cordón.

Unión en XX, unión espacial entre un cordón e dous pares de montantes. Dentro de cada par, os dous montantes están en prolongación. Os planos definidos polo cordón e cada un dos dous pares de montantes son perpendiculares entre si, figura 64.2.a. O esforzo en cada montante equilíbrase co do montante en prolongación, pasando a través do cordón.

Unión en KK, unión espacial entre un cordón e dous pares de diagonais. Os planos definidos polo cordón e cada un dos dous pares de forman un certo ángulo entre si, figura 64.2.a. O esforzo nas diagonais equilíbrase mediante cortantes e flectores no cordón.

Punteira e talón, vértices dos ángulos máis obtuso e máis agudo, respectivamente, na unión dunha diagonal ou montante ao cordón.

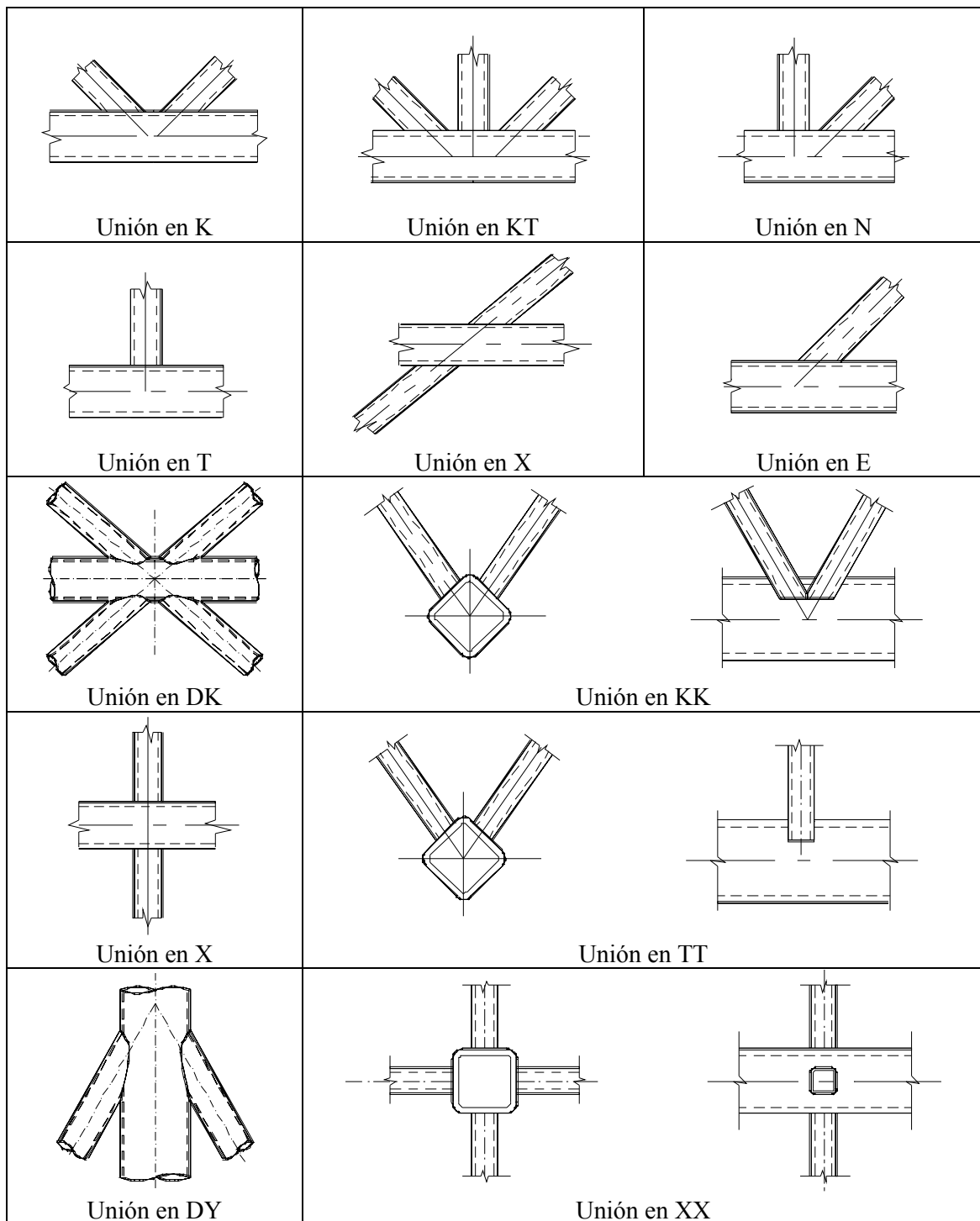


Figura 64.2.a

Unión con separación, unión tipo K, N ou similares, en que os pés de dúas diagonais ou montantes contiguas non se tocan (figura 64.2.b).

Unión con solapamento, unión tipo K, N ou similares, en que os pés de dúas diagonais ou montantes contiguas penetrarían un dentro da outra (figura 64.2.c). A barra con maior produto t_f , ou máis ancha, barra solapada, débese levar ata o cordón; a outra barra, barra solapante, débese cortar coa solapada e co cordón.

d , diámetro dunha barra, figura 64.2.b.

b , h , dimensións transversais dunha barra, en dirección normal ao plano da unión e no plano da unión respectivamente, figura 64.2.c.

t , grosor dunha barra.

Subíndices:

0, referente ao cordón.

i , referente a diagonais ou montantes ($i = 1, 2$ ou 3).

f , referente a un perfil.

p , referente a unha chapa.

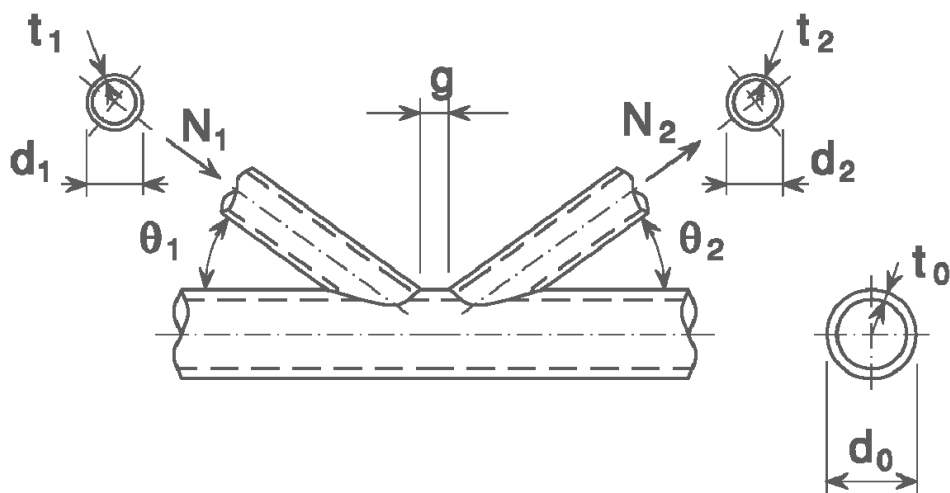


Figura 64.2.b

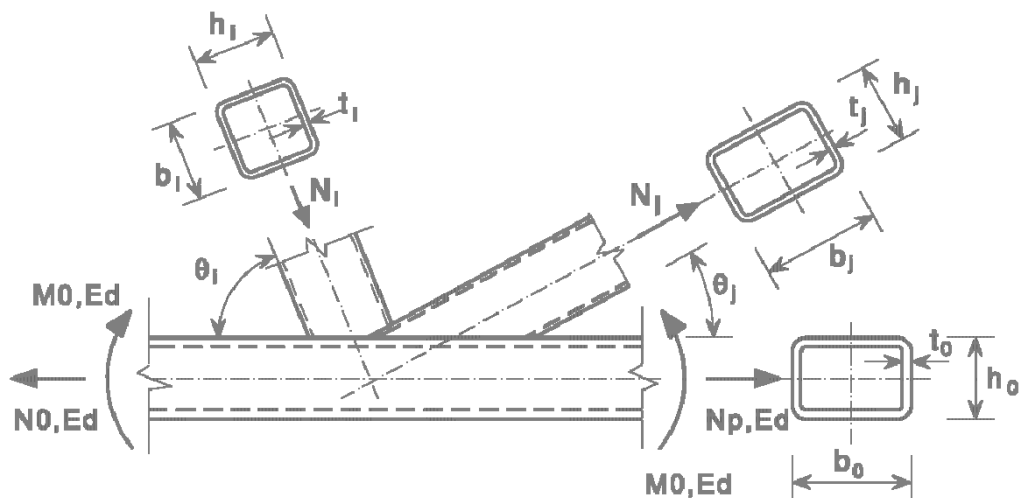


Figura 64.2.c

g , separación entre os pés de dúas diagonais ou montantes contiguas en unións K, N ou similares, medida ao longo da cara do cordón no plano da unión e sen considerar o grosor da soldadura, figura 64.2.d. En todos os casos se debe cumprir:

$$g \geq t_1 + t_2,$$

sendo t_1 e t_2 os grosos das diagonais ou montantes contiguas.

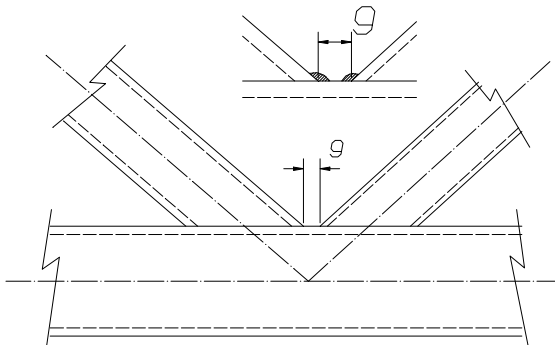


Figura 64.2.d

p , en unións K, N ou similares, lonxitude da intersección da diagonal ou montante solapada co cordón, medida ao longo da cara deste no plano da unión, figura 64.2.e.

q , en unións K, N ou similares, lonxitude teórica de solapamento, medida ao longo da cara do cordón no plano da unión, figura 64.2.e.

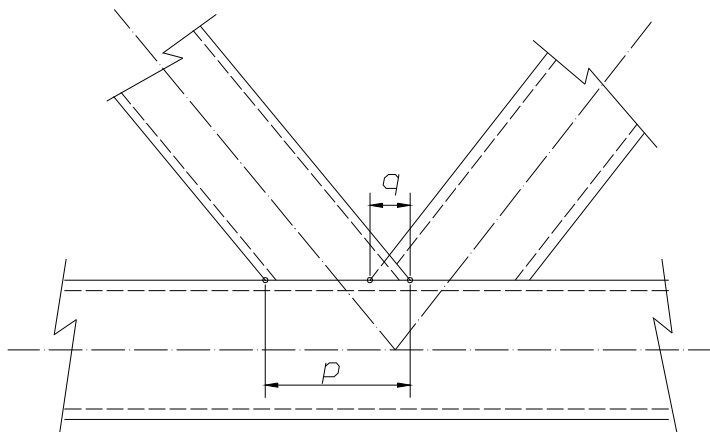


Figura 64.2.e

e , excentricidade no nó, positiva se o punto de corte das diagonais ou montantes se atopa en distinto lado, respecto ao eixe do cordón, que as propias diagonais ou montantes, e negativa en caso contrario, figuras 64.2.f.a e 64.2.f.b

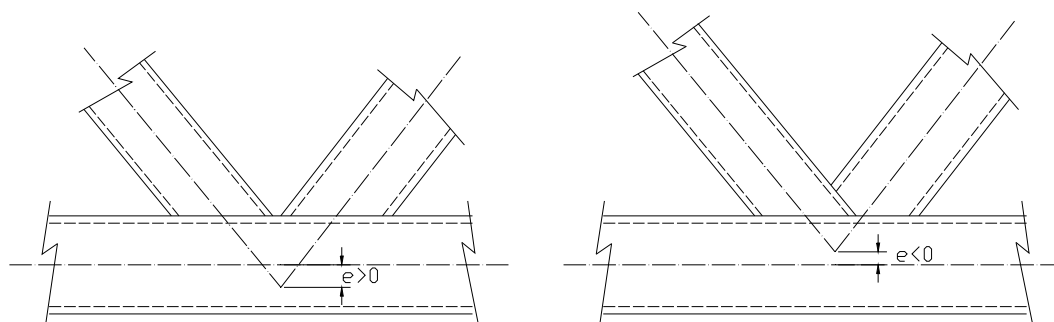


Figura 64.2.f.a

Figura 64.2.f.b

Na comprobación dos cordóns sometidos a compresión, é preceptivo considerar os momentos derivados da existencia de excentricidades. Se o cordón está traccionado e a excentricidade se mantén dentro do rango:

$$-0,55 \leq \frac{e}{d_0} \leq 0,25 \text{ ou } -0,55 \leq \frac{e}{h_0} \leq 0,25$$

Os momentos flectores resultantes pódense ignorar no cálculo do nó e do propio cordón.

β , relación de dimensións entre unha diagonal ou montante e o cordón correspondente. Segundo os distintos tipos de unións, tomaranse os valores seguintes:

Para unións en T, E ou X:

$$\beta = \frac{d_1}{d_0}; \beta = \frac{d_1}{b_0} \text{ ou } \beta = \frac{b_1}{b_0}$$

Para unións en K ou en N:

$$\beta = \frac{d_1 + d_2}{2d_0}; \beta = \frac{d_1 + d_2}{2b_0} \text{ ou } \beta = \frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4d_0}$$

Para unións en KT:

$$\beta = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3d_0}; \beta = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3b_0} \text{ ou } \beta = \frac{b_1 + b_2 + b_3 + h_1 + h_2 + h_3}{6b_0}$$

γ , relación entre a dimensión dun cordón e o dobre do seu grosor. En función do tipo de barra, será:

$$\gamma = \frac{d_0}{2t_0}; \gamma = \frac{b_0}{2t_0} \text{ ou } \gamma = \frac{b_0}{2t_f}$$

η , relación entre a altura dunha diagonal ou montante e o diámetro ou a largura do cordón correspondente:

$$\eta = \frac{h_i}{d_0} \text{ ou } \eta = \frac{h_i}{b_0}$$

λ_{ov} , relación de solapamento en tanto por cento:

$$\lambda_{ov} = 100 \frac{q}{p} \text{ (véxase a figura 64.2.e)}$$

$\lambda_{ov,lim}$ relación de solapamento límite ou crítico.

Para garantir a adecuada transferencia de esforzos entre as dúas barras, débese cumprir a condición:

$$\lambda_{ov} \geq 25\%$$

$N_{0,Ed}$, $M_{0,Ed}$, esforzos de cálculo, axial e flector respectivamente, no cordón.

$N_{i,Ed}$, esforzo axial de cálculo na diagonal ou montante i .

A_0 , $W_{el,0}$: sección e módulo resistente elástico do cordón.

$$N_{p,Ed} = N_{0,Ed} - \sum_{i>0} N_{i,Ed} \cos \theta_i$$

$N_{p,Ed}$ é o valor do esforzo axial descontando as compoñentes das diagonais ou montantes paralelas ao eixe do cordón.

$$\sigma_{0,Ed} = \frac{N_{0,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}}$$

$$\sigma_{p,Ed} = \frac{N_{p,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}}$$

$$n = \frac{\sigma_{0,Ed}}{f_{y,0}} \text{ (en cordóns de sección rectangular ou cadrada);}$$

$$n_p = \frac{\sigma_{p,Ed}}{f_{y,0}} \text{ (en cordóns de sección circular).}$$

64.3. Soldaduras

Nas unións directas entre barras, as unións realizaranse mediante soldadura. Así mesmo, realizaranse mediante soldadura as unións das cartelas aos cordóns e a unión das diagonais ou montantes ás cartelas.

En unións directas entre barras, a soldadura efectuarase ao longo de todo o perímetro de contacto da diagonal ou montante co cordón. Como excepción, nas unións con solapamento, a parte solapada non necesita ser soldada, sempre que as compoñentes normais ao cordón dos esforzos axiais nas outras dúas barras que concorran no nó non difiran entre si en máis dun 20% da maior das ditas compoñentes. En caso contrario, a barra máis solicitada será a pasante, e soldarase por completo ao cordón antes de ser solapada pola outra diagonal ou montante.

A dita soldadura pode ser a tope, con penetración parcial, en ángulo ou unha combinación entre elas. En calquera caso, a resistencia da soldadura non debe ser inferior á da barra, diagonal ou montante, unida ao cordón ou a outra diagonal ou montante. En zonas concretas pouco solicitadas, poderase admitir unha resistencia inferior da soldadura sempre que o autor do proxecto xustifique explicitamente que as soldaduras teñen unha resistencia suficiente, tanto para permitir distribucións non uniformes de tensións como para asegurar a capacidade de deformación necesaria para permitir a redistribución das flexións secundarias.

Suporase cumprida esa condición cando a soldadura sexa de penetración completa ou cando a súa garganta "a" sexa polo menos igual ao grosor t_f da barra a unir. Para estes efectos, enténdese que "a" é a garganta eficaz que resulta ao descontar do grosor de garganta executado o que corresponda en función da folgura que exista entre a diagonal ou montante e o cordón, segundo se indica na figura 64.3.a. En calquera caso, a folgura deberá ser sempre inferior a 3 mm, conforme o exposto nas figuras 64.3.b e 64.3.c.

No caso de soldaduras en ángulo, ou con penetración parcial, o plan de control de execución do proxecto deberá incluír a homologación dos procedementos de soldadura, segundo UNE-EN ISO 15614-1 ou UNE-EN ISO 15613, de cantas unións tipo que, pola diferente xeometría de diámetros, grosos, número e ángulos de elementos que conflúan no nó, graos de separación ou solapamento, etc., así o requiran. En particular, os ditos procedementos deberán definir explicitamente:

- A acreditación das folguras máximas ao longo de perímetro da unión.
- Os puntos de inicio e fin de cada pasada e o número de pasadas necesarias para garantir o grosor de proxecto da garganta eficaz da soldadura en ángulo ao longo de todo o perímetro da unión, o que exige un número de pasadas variable entre as zonas de punteira, talón e laterais da unión.
- A acreditación da xeometría exterior da unión, unha vez terminada, para garantir que se conseguiu o grosor de proxecto da garganta eficaz ao longo de todo o perímetro.

A garganta en soldaduras efectuadas entre bordos curvos medirase segundo se indica na figura 64.3.a.

Detalles para soldaduras tipo indícanse nas figuras 64.3.b e 64.3.c para perfís tubulares rectangulares e circulares, respectivamente. Recomendacións máis detalladas indícanse na norma EN 1090-2.

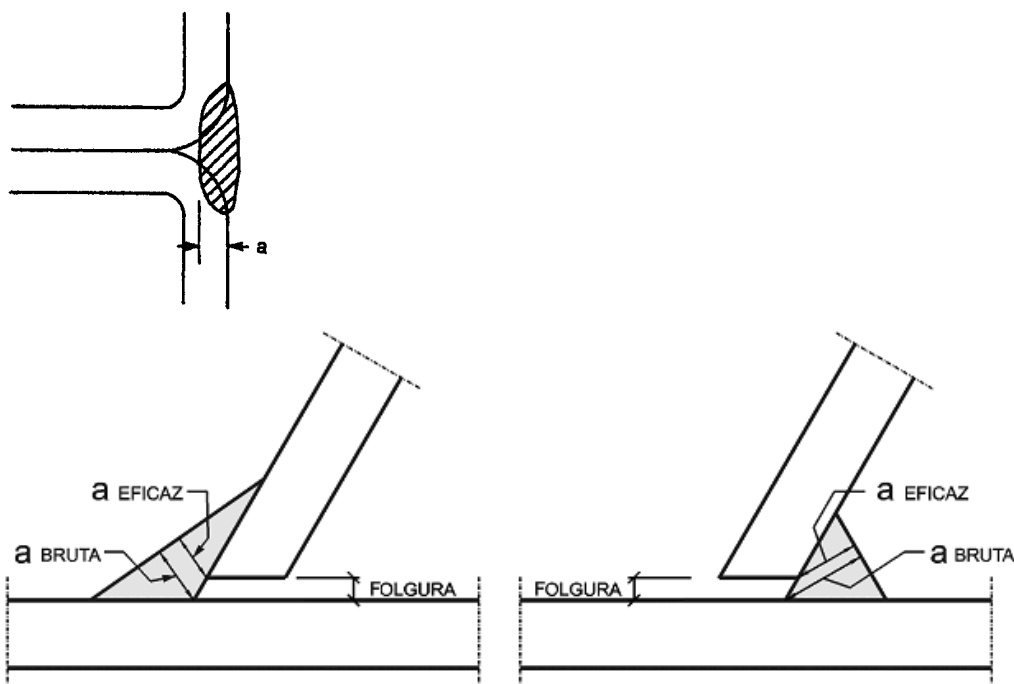


Figura 64.3.a. Gargantas eficaces nalgunhas unións tubulares

As cartelas e as súas unións soldadas aos cordóns dimensionaranse para resistiren os esforzos resultantes dos transmitidos a esta polas diagonais ou montantes que concorran nela, determinados de acordo co disposto no número 60.3.

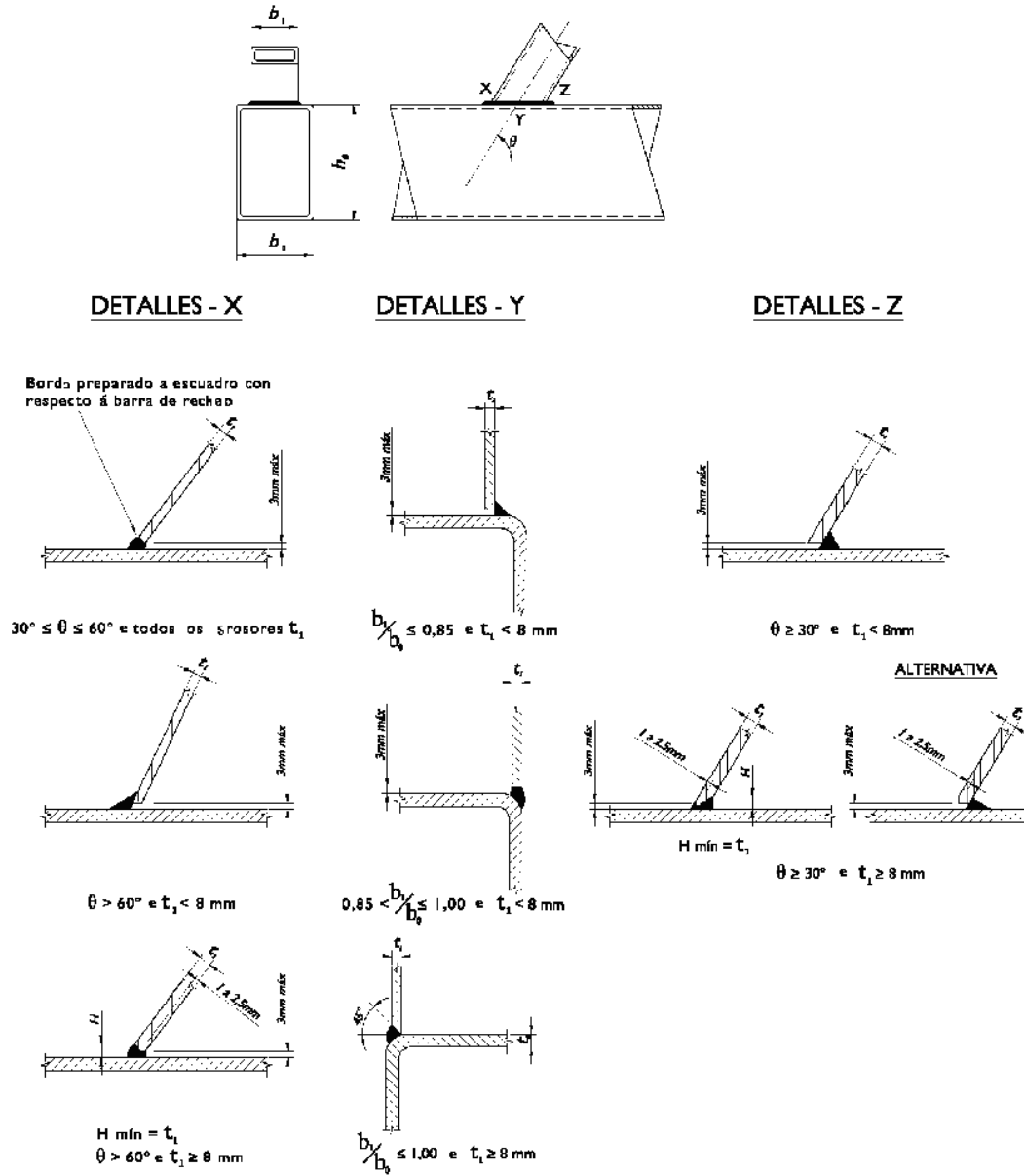


Figura 64.3.b. Detalles construtivos de soldaduras tipo para perfis tubulares rectangulares

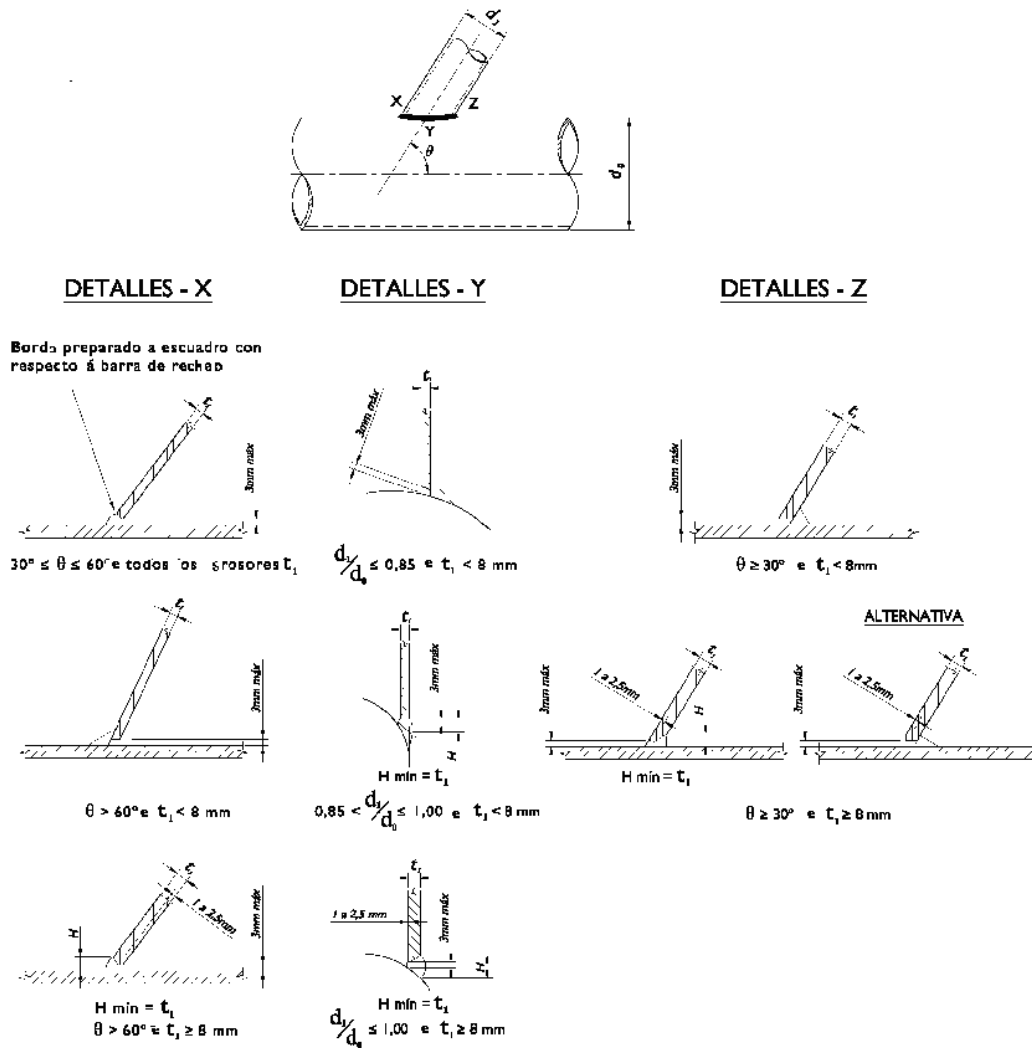


Figura 64.3.c. Detalles constructivos para soldaduras tipo para perfís tubulares circulares

64.4. Fabricación

Nas unións directas, o extremo das diagonais ou montantes cortarase de forma que se adapte ao cordón. Prohíbese expresamente perforar este para permitir o paso das diagonais ou montantes.

Recoméndase efectuar o dito corte con máquinas automáticas. En caso de non dispor delas, autorízase o emprego de cortes planos, simples, dobres ou triplos, figura 64.4.a, sempre que se cumpran as limitacións seguintes, figura 64.4.b.

$$g_1 \leq t_1; g_1 \leq t_0; g_2 \leq 3 \text{ mm}$$

Onde g_1 é a distancia desde a cara exterior da diagonal ou montante á cara do cordón e g_2 é a distancia desde a cara interior da diagonal ou montante á cara do cordón.

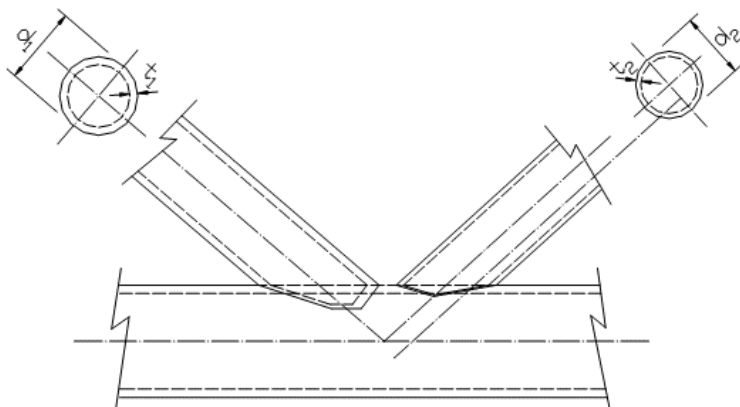


Figura 64.4.a

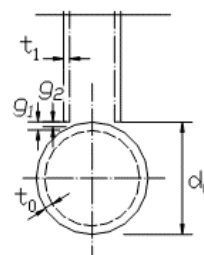


Figura 64.4.b

64.5. Modos de esgotamento de unións entre perfís ocas

O esforzo de cálculo de unións entre barras con seccións ocas ou entre barras de seccións ocas con barras de sección aberta determinarase estudando os distintos modos de esgotamento da unión que se indican seguidamente.

Nos números seguintes e no anexo 9 danse fórmulas para calcular esa resistencia para determinados modos de esgotamento. Para determinar a resistencia de cálculo para outros modos de esgotamento, deberanse aplicar os métodos xerais previstos nesta instrución.

Aínda que en xeral a resistencia dunha unión correctamente soldada é maior en tracción que en compresión, as resistencias de cálculo que se dan están baseadas na resistencia de unións comprimidas, para evitar posibles deformacións locais excesivas ou capacidades de rotación reducidas ou insuficientes.

Os posibles modos de esgotamento que se deben estudar en xeral son os seguintes:

- a) Esgotamento da cara do cordón, por esgotamento plástico da dita cara ou da totalidade da sección do propio cordón.

- b) Esgotamento da alma ou das superficies laterais do cordón, por plastificación, esmagamento ou aboladura baixo a diagonal ou montante comprimida.
- c) Esgotamento do cordón por cortante.
- d) Punzonamento por cortante da cara do cordón, por iniciación de gretas que levan á separación da diagonal ou montante traccionada do cordón.
- e) Esgotamento dunha diagonal ou montante por largo eficaz insuficiente.
- f) Esgotamento por empenamento local dunha diagonal ou montante ou dun cordón de sección oca, cerca da unión.

Os distintos tipos de esgotamento para unións con perfís SHC, SHR e perfís de sección aberta móstranse nas figuras A-9-1, A-9-2 e A-9-3 do anexo 9.

O esforzo de cálculo dunha diagonal ou montante non será superior nin á resistencia da propia barra, calculada de acordo cos principios xerais contidos nesta instrución, nin á menor das resistencias das súas unións extremas, calculadas de acordo co disposto neste artigo.

64.6. Unións soldadas entre perfís ocos de sección circular SHC

64.6.1. Xeneralidades

A resistencia de cálculo dunha unión entre barras ocas de sección circular cumprirá as condicións impostas nos números 64.6.2 se a unión é plana, ou 64.6.3 se é espacial.

Para unións que cumpran as condicións xeométricas que se indican na táboa 64.6.1, só será preciso comprobar o esgotamento da cara do cordón e o punzonamento por cortante deste. A resistencia de cálculo será a menor das obtidas para os dous posibles mecanismos de esgotamento.

Para unións que non cumpran as condicións xeométricas que se indican na táboa 64.6.1, será preciso comprobar todos os mecanismos de fallos indicados no número 64.5 anterior. Ademais, será preciso ter en conta os momentos secundarios causados pola rixidez rotacional do propio nó, polo que non serán válidos neste caso modelos de cálculo que consideren articulados os extremos das diagonais ou montantes.

Táboa 64.6.1. Condicións xeométricas para unións entre barras ocas de sección circular

Razón de diámetros		$0.2 \leq d_i/d_0 \leq 1,0$
Cordóns	Tracción	$10 \leq d_0/t_0 \leq 50$ (en xeral) Excepto: $10 \leq d_0/t_0 \leq 40$ (para unións en X)
	Compresión	Clase 1 ou 2 e $10 \leq d_0/t_0 \leq 50$ (en xeral), Excepto: $10 \leq d_0/t_0 \leq 40$ (para unións en X)
Montantes e Diagonais	Tracción	$d_i/t_i \leq 50$
	Compresión	Clase 1 ou 2
Solapamento		$25\% \leq \lambda_{ov} \leq \lambda_{ov,lim}$ (véxase a nota máis abaixo)
Separación		$g \geq t_1 + t_2$
<p>Nota: A unión entre os montantes ou diagonais co cordón deberá ser comprobada a cortante se se cumpre algunha das seguintes condicións:</p> <ol style="list-style-type: none"> Se o solapamento excede $\lambda_{ov,lim} = 60\%$ e a cara oculta do montante ou diagonal solapado non está soldada. Se o solapamento excede $\lambda_{ov,lim} = 80\%$ e a cara oculta do montante ou diagonal solapado está soldada. Se os montantes ou diagonais son tubulares rectangulares con $h_i < b_i$ e/ou $h_j < b_j$ 		

64.6.2. Unións planas

En unións cuxas diagonais ou montantes se encontren sometidas unicamente a esforzos axiais, o esforzo axial de cálculo $N_{i,Ed}$ non debe ser superior á resistencia de cálculo da unión, $N_{i,Rd}$, obtida das táboas A-9-1, A-9-2 ou A-9-3 do anexo 9.

As unións en que as diagonais ou montantes se encontren sometidas a esforzo axial e momento flector deberán cumprir:

$$\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} + \left[\frac{M_{ip,i,Ed}}{M_{ip,i,Rd}} \right]^2 + \frac{|M_{op,i,Ed}|}{M_{op,i,Rd}} \leq 1,0$$

onde:

$N_{i,Ed}$, $M_{ip,i,Ed}$, $M_{op,i,Ed}$ son, respectivamente, o esforzo axial de cálculo, o momento flector de cálculo no plano da unión e o momento flector de cálculo no plano normal ao da unión. Estes momentos flectores determinaranse no punto de intersección do eixe da diagonal ou montante coa cara do cordón.

$N_{i,Rd}$, $M_{ip,i,Rd}$, $M_{op,i,Rd}$ son as resistencias da unión a esforzo axial, a momento flector no plano da unión e a momento flector no plano normal ao da unión, obtidas das táboas A-9-1, A-9-2, A-9-3 ou A-9-4 do anexo 9.

As unións dos tipos DY, KT, DX e DK deben cumprir os requisitos adicionais recollidos na táboa A-9-5 do anexo 9.

Os valores do parámetro k_g usado na táboa A-9-1 do anexo 9 para unións do tipo K, N e KT danse na figura A-9-4.

64.6.3. Unións espaciais

A resistencia da unión de cada diagonal ou montante ao cordón correspondente nunha unión espacial é igual á da mesma unión suposta plana (número 64.6.2), pero multiplicada por un factor de redución μ dado na táboa A-9-6 do anexo 9 e considerando o valor adecuado do parámetro k_p indicado na táboa correspondente.

64.7. Unións soldadas entre diagonais ou montantes SHC ou SHR e cordóns SHR

64.7.1. Xeneralidades

A resistencia de cálculo dunha unión entre diagonais ou montantes SHC ou SHR e cordóns SHR cumprirá as condicións impostas nos números 64.7.2 se a unión é plana, ou 64.7.3 se é espacial.

Para unións que cumpran as condicións xeométricas que se indican na táboa 64.7.1, só será preciso comprobar o modo de esgotamento indicado na táboa aplicable do anexo 9. A resistencia de cálculo será a menor das obtidas para os posibles mecanismos de esgotamento.

Táboa 64.7.1. Condicións xeométricas para unións entre diagonais ou montantes SHC ou SHR e cordóns SHR

Tipo de unión	Parámetros da unión [$i = 1$ ou 2 , $j =$ diagonal ou montante solapada]					
	b_i/b_0 ou d_i/b_0	b_i/t_i e h_i/t_i ou d_i/t_i		h_0/b_0 e h_i/b_i	b_0/t_0 e h_0/t_0	Separación ou solapamento b_i/b_j
		Compresión	Tracción			
T, E ou X	$b_i/b_0 \geq 0,25$	$b_i/t_i \leq 35$ e $h_i/t_i \leq 35$			≤ 35 e Clase 1 ou 2	–
K con separación N con separación	$b_i/b_0 \geq 0,35$ e $\geq 0,1 + 0,01 b_0/t_0$	Clase 1 ou 2	$b_i/t_i \leq 35$ e $h_i/t_i \leq 35$	$\geq 0,5$ pero $\leq 2,0$	≤ 35 e Clase 1 ou 2	$g/b_0 \geq 0,5(1 - \beta)$ pero $\leq 1,5(1 - \beta)$ 1) e como mínimo $g \geq t_1 + t_2$
K con solapamento N con solapamento	$b_i/b_0 \geq 0,25$	Clase 1			Clase 1 ou 2	$25\% \leq \lambda_{ov} \leq \lambda_{ov,lim}^{2)}$ e $b_i/b_j \leq 0,75$
Diagonal ou montante circular	$d_i/b_0 \geq 0,4$ pero $\leq 0,8$	Clase 1	$d_i/t_i \leq 50$	Como as anteriores, pero con d_i substituíndo a b_i e d_j substituíndo a b_j .		

1) se $g/b_0 > 1,5(1 - \beta)$ e $g > t_1 + t_2$, tratarase a unión como dúas unións T ou E independentes.
2) $\lambda_{ov,lim} = 60\%$ se a parte oculta non está soldada ao cordón e 80% se a parte oculta está soldada ao cordón. Se o recubrimento supera o valor $\lambda_{ov,lim}$ ou se as diagonais ou montantes son seccións rectangulares con $h_i < b_i$ e/ou $h_j < b_j$, a unión entre as diagonais ou montantes e a cara do cordón debe ser comprobada a cortante.

Para unións que non cumpran as condicións xeométricas que se indican na táboa 64.7.1, será preciso comprobar todos os mecanismos de fallo indicados no número 64.5 anterior. Ademais, será preciso ter en conta os momentos secundarios causados pola rixidez rotacional do propio nó, polo que non serán válidos neste caso modelos de cálculo que consideren articulados os extremos das diagonais ou montantes.

64.7.2. Unións planas

64.7.2.1. Unións non reforzadas

En unións en que as diagonais ou montantes se encontren sometidas soamente a esforzos axiais, o esforzo axial de cálculo $N_{i,Ed}$ non deberá superar a resistencia de cálculo da unión $N_{i,Rd}$ obtida segundo os casos seguintes:

- a) Para unións soldadas entre diagonais ou montantes de sección cadrada ou circular e cordóns de sección cadrada, cando se cumpran as condicións xeométricas da táboa 64.7.1 e se cumpran as condicións adicionais dadas na táboa 64.7.2, a resistencia de cálculo pódese determinar a partir das expresións dadas na táboa A-9-7.

- b) Para as unións que cumpran as condicións xeométricas da táboa 64.7.1, soamente é necesario comprobar o esgotamento da cara do cordón e o esgotamento da diagonal ou montante con largura eficaz reducida. A resistencia de cálculo da unión será o valor mínimo resultante destes dous criterios.

(NOTA: A resistencia de cálculo para unións de diagonais ou montantes de sección tubular a cordóns de sección cadrada dadas na táboa A-9-7 simplificáronse, omitindo aqueles criterios de fallo que non son críticos para unións que se atopan dentro do rango de validez da táboa 64.7.2.).

A resistencia de cálculo de calquera unión soldada non reforzada entre diagonais ou montantes SHC ou SHR, e cordóns SHR, que cumpran as condicións xeométricas da táboa 64.7.1, pódese determinar usando as expresións dadas nas táboas A-9-8, A-9-9 e A-9-10 segundo corresponda. Para unións reforzadas, véxase 64.7.2.2.

Táboa 64.7.2. Condicións adicionais para o uso da táboa 64.7.1.

Tipo de diagonal ou montante	Tipo de unión	Parámetros de unión	
Perfil tubular cadrado	en T, E ou X	$b_1/b_0 \leq 0,85$	$b_0/t_0 \geq 10$
	en K ou en N con separación	$0,6 \leq \frac{b_1 + b_2}{2b_1} \leq 1,3$	$b_0/t_0 \geq 15$
Perfil tubular circular	en T, E ou X		$b_0/t_0 \geq 10$
	en K ou en N con separación	$0,6 \leq \frac{d_1 + d_2}{2d_1} \leq 1,3$	$b_0/t_0 \geq 15$

As unións en que as diagonais ou montantes se encontren sometidas a esforzo axial e momento flector deberán cumprir:

$$\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} + \frac{M_{ip,i,Ed}}{M_{ip,i,Rd}} + \frac{M_{op,i,Ed}}{M_{op,i,Rd}} \leq 1,0$$

onde:

$N_{i,Ed}$, $M_{ip,i,Ed}$, $M_{op,i,Ed}$ son, respectivamente, o esforzo axial de cálculo, o momento flector de cálculo no plano da unión e o momento flector de cálculo no plano normal ao da unión. Estes momentos flectores determinaranse no punto de intersección do eixe da diagonal ou montante coa cara do cordón.

$N_{i,Rd}$, $M_{ip,i,Rd}$, $M_{op,i,Rd}$ son as resistencias da unión a esforzo axial, a momento flector no plano da unión e a momento flector no plano normal ao da unión, obtidas das táboas A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-10 ou A-9-11 do anexo 9. Para unións reforzadas, véxase o número 64.7.2.2.

Os tipos especiais de unións soldadas incluídos nas táboas A-9-12 e A-9-13 deberán cumprir os criterios de cálculo especificados para cada tipo de unión nesas táboas.

64.7.2.2. Unións reforzadas

Pódense utilizar diferentes tipos de reforzo nas unións. O tipo apropiado dependerá do modo de esgotamento que, en ausencia do reforzo, domine a resistencia de cálculo da unión.

As placas de reforzo de ala pódense utilizar para aumentar a resistencia da unión fronte ao esgotamento da cara do cordón, punzonamento por cortante ou esgotamento da diagonal ou montante por largo eficaz insuficiente. Pódese utilizar un par de placas laterais para reforzar unha unión fronte ao esgotamento da cara lateral do cordón ou esgotamento do cordón por cortante.

A resistencia de cálculo de unións reforzadas deberase determinar utilizando as táboas A-9-14 e A-9-15.

64.7.3. *Unións espaciais*

Deben respectar os criterios de deseño para unións planas.

A resistencia da unión de cada diagonal ou montante ao cordón correspondente nunha unión espacial é igual á da mesma unión suposta plana (número 64.7.2), pero multiplicada por un factor de redución μ dado na táboa A-9-16 do anexo 9 e considerando o valor adecuado do parámetro k_n indicado na táboa correspondente.

64.8. **Unións soldadas entre diagonais ou montantes SHC ou SHR e cordóns de sección en I ou H**

Para as unións soldadas entre diagonais ou montantes de sección tubular e cordóns de sección en I ou H que cumpran as condicións xeométricas da táboa 64.8, a resistencia de cálculo determinarase mediante as expresións dadas na táboa A-9-17 ou A-9-18 segundo corresponda.

Táboa 64.8: Condicións xeométricas para unións soldadas entre diagonais ou montantes SHC ou SHR e cordóns de sección en I ou H

Tipo de unión	Parámetros da unión [$j = 1$ ou 2 , $j =$ diagonal ou montante solapada]					
	d_w/t_w	b_i/t_i ande h_i/t_i ou d_i/t_i		h_i/b_i	b_o/t_f	b_i/b_j
		Compresión	Tracción			
X	Clase 1 e $d_w \leq 400$ mm	Clase 1 ou 2 e $h_i/t_i \leq 35$ $b_i/t_i \leq 35$ $d_i/t_i \leq 50$	$h_i/t_i \leq 35$ $b_i/t_i \leq 35$ $d_i/t_i \leq 50$	$\geq 0,5$ pero $\leq 2,0$	Clase 1 ou 2	–
T ou Y K con separación N con separación (véxase nota)	Clase 1 ou 2 e $d_w \leq 400$ mm			1,0		–
K con solapamento N con solapamento				$\geq 0,5$ pero $\leq 2,0$		$\geq 0,75$

Nota: A unión entre os montantes ou diagonais co cordón deberá ser comprobada a cortante de se cumprir algunha das seguintes condicións:

- Se o solapamento excede $\lambda_{ov,lim} = 60\%$ e a cara oculta do montante ou diagonal solapado non está soldada.
- Se o solapamento excede $\lambda_{ov,lim} = 80\%$ e a cara oculta do montante ou diagonal solapado está soldada.
- Se os montantes ou diagonais son tubulares rectangulares con $h_i < b_i$ e/o $h_j < b_j$.

Para unións que cumpran as condicións xeométricas da táboa 64.8, só será preciso considerar os criterios de cálculo recollidos na táboa correspondente. A resistencia de cálculo da unión será a menor das obtidas entre todos os criterios aplicables.

Para unións que non cumpran as condicións xeométricas que se indican na táboa 64.8, será preciso comprobar todos os mecanismos de fallos indicados no número 64.5. Ademais, será preciso ter en conta os momentos secundarios causados pola rixidez rotacional do propio nó.

En unións en que as **diagonais ou montantes** se encontren sometidas soamente a esforzos axiais, o esforzo axial de cálculo $N_{i,Ed}$ non deberá superar a resistencia de cálculo da unión $N_{i,Rd}$ obtida a partir da táboa A-9-17.

As unións en que as diagonais ou montantes se encontren sometidas a esforzo axial e momento flector deberán cumprir:

$$\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} + \frac{M_{ip,i,Ed}}{M_{ip,i,Rd}} \leq 1,0$$

onde:

$M_{ip,i,Ed}$ e $M_{ip,i,Rd}$ son os momentos de cálculo e momento resistente no plano. Estes momentos flectores determinaranse no punto de intersección do eixe da diagonal ou montante coa cara do cordón. O momento resistente $M_{ip,i,Rd}$ obterase a partir da táboa A-9-18.

De se utilizaren rixidizadores no cordón (véxase a figura 64.8), entón a resistencia da diagonal ou montante $N_{i,Rd}$ para unións en T, X, Y, K con espazamento e en N con espazamento (táboa A-9-17) determinarase da seguinte maneira:

$$N_{i,Rd} = 2 f_{yi} t_i (b_{eff} + b_{eff,s})$$

onde:

$$b_{eff} = t_w + 2r + 7 t_i f_{y0} / f_{yi} \text{ pero } \leq b_i + h_i - 2t_i$$

$$b_{eff,s} = t_s + 2a + 7 t_i f_{y0} / f_{yi} \text{ pero } \leq b_i + h_i - 2t_i$$

$$b_{eff} + b_{eff,s} \leq b_i + h_i - 2t_i$$

sendo:

a Garganta da soldadura do rixidizador, '2*a*' convértese en '*a*' de se usaren soldaduras en ángulo a cada lado do rixidizador;

s Refírese ao rixidizador.

O rixidizador deberá ter un grosor non inferior ao da alma da sección en I.

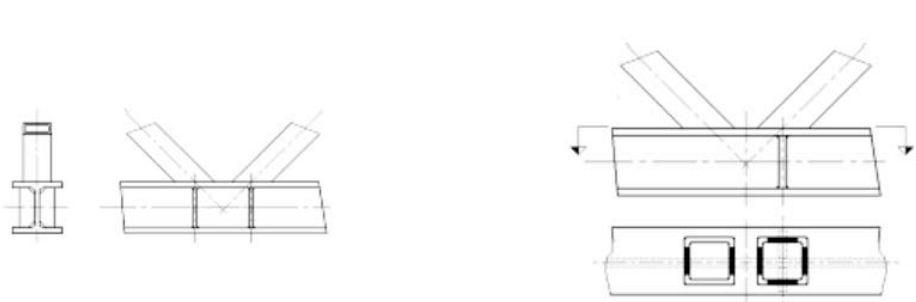


Figura 64.8. Perímetro efectivo da diagonal ou montante sen (esquerda) e con (dereita) rixidizadores

64.9. Unións soldadas entre diagonais ou montantes SHC ou SHR e cordóns de sección en U

Para as unións soldadas entre diagonais ou montantes de sección tubular e cordóns de sección en U que cumpran as condicións xeométricas da táboa 64.9, a resistencia de cálculo determinarase mediante as expresións dadas na táboa A-9-19.

Táboa 64.9. Condicións xeométricas para unións soldadas entre diagonais ou montantes SHC ou SHR e cordóns de sección en U

Tipo de unión	Parámetros da unión [$i = 1$ ou 2 , $j =$ diagonal ou montante solapada]					
	b_i/b_0	b_i/t_i e h_i/t_i ou d_i/t_i		h_i/b_i	b_0/t_0	Separación ou solapamento b_i/b_j
		Compresión	Tracción			
K con separación N con separación	$\geq 0,4$ e $b_0 \leq 400$ mm	Clase 1 ou 2 e $h_i/t_i \leq 35$ $b_i/t_i \leq 35$ $d_i/t_i \leq 50$	$h_i/t_i \leq 35$ $b_i/t_i \leq 35$ $d_i/t_i \leq 50$	$\geq 0,5$ pero $\leq 2,0$	Clase 1 ou 2	$0,5(1-\beta^*) \leq g/b_0^*$ $\leq 1,5(1-\beta^*)$ ¹⁾ e $g \geq t_1 + t_2$
K con solapamento N con solapamento	$\geq 0,25$ e $b_0 \leq 400$ mm					$25\% \leq \lambda_{ov} \leq \lambda_{ov,lim}$ 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 só se aplica cando $\beta \leq 0,85$.
²⁾ A unión entre os montantes ou diagonais co cordón deberá ser comprobada a cortante de se cumprir algunha das seguintes condicións:
a) Se o solapamento excede $\lambda_{ov,lim} = 60\%$ e a cara oculta do montante ou diagonal solapado non está soldada.
b) Se o solapamento excede $\lambda_{ov,lim} = 80\%$ e a cara oculta do montante ou diagonal solapado está soldada.
c) Se os montantes ou diagonais son tubulares rectangulares con $h_i < b_i$ e/o $h_j < b_j$.

Deberanse ter en conta os momentos secundarios nas unións causados pola súa rixidez.

En unións con separación, a resistencia de cálculo a esforzo axial do cordón $N_{0,Rd}$ deberase determinar tendo en conta o esforzo cortante transmitido polas diagonais ou montantes ao cordón, desprezando o momento secundario asociado. A comprobación farase de acordo co exposto no capítulo IX.

Artigo 65 Unións á cimentación

65.1. Xeneralidades

Os apoios da estrutura deberán materializar, o máis perfectamente posible, as condicións de vinculación previstas no cálculo.

Os aparellos de apoio proxectaranse de forma que:

- Poidan transmitir á cimentación os esforzos previstos no cálculo sen provocar nela solicitacións que non poida resistir adecuadamente.
- Permitan os movementos previstos nos cálculos sen orixinar solicitacións non previstas nestes.
- Poida realizarse sen dificultade a inspección e o mantemento destes.

As cimentacións, pola súa vez, dimensionaranse para que sexan capaces de lle transmitiren ao terreo os esforzos que reciban da estrutura de forma que este poida resistilos sen que experimente asentos ou movementos que invaliden as condicións de sustentación previstas no cálculo da estrutura.

No plan de conservación da estrutura indicarse a maneira de cambiar aqueles aparellos de apoio en que esta operación poida ser necesaria.

As zonas próximas a estes aparellos deseñaranse de maneira que sexan capaces de resistiren os esforzos a que poidan estar sometidas durante a dita operación de cambio.

65.2. Placas de base

As placas de base son o aparello de apoio empregado con máis frecuencia para unir un soporte á súa cimentación.

A unión dun soporte á súa cimentación mediante unha placa de base poderase considerar como unión ríxida ou encastramento perfecto se cumpre as condicións establecidas no número 65.2.5. Se non se desexa que existan flexións no extremo do soporte, unión articulada, deberase intercalar un bulón ou dispositivo similar entre a placa e o soporte.

A placa de base dimensionarase para poder transmitir os esforzos axiais de tracción ou compresión, esforzos cortantes e momentos flectores e torsores determinados no cálculo.

65.2.1. Transmisión de tensións tanxenciais

As tensións tanxenciais orixinadas polos esforzos cortantes e o posible momento torsor pódense transmitir á cimentación mediante:

- Rozamento. Sendo $N_{c,Ed}$ o valor absoluto do esforzo de compresión de cálculo, no que se incluíra o posible esforzo de pretensado dos pernos de ancoraxe, o máximo cortante que pode ser transmitido por rozamento é:

$$V_{Rd} = C_{f,d} N_{c,Ed} \geq V_{Ed,ef} = \sqrt{V_{y,Ed}^2 + V_{z,Ed}^2} + \frac{M_{x,Ed}}{0,25b}$$

Onde b é a menor dimensión da placa de base, $V_{y,Ed}$ e $V_{z,Ed}$ son as compoñentes do esforzo cortante de cálculo e $M_{x,Ed}$ o torsor de cálculo concomitante con $N_{c,Ed}$.

O coeficiente de rozamento $C_{f,d}$ entre a placa de base e o formigón tomará o valor $C_{f,d} = 0,20$ para argamasa de cemento e area. Para outros tipos de argamasa, o coeficiente de fricción determinarase de acordo co anexo D da norma UNE-EN 1990.

- Mediante conectadores dalgún dos tipos admitidos nas Recomendacións para o proxecto de pontes mixtas en estradas, RPX-95, da Dirección Xeral de Estradas, e calculados de acordo con esta.
- Mediante os pernos de ancoraxe que se dispoñan. Non se recomenda este método se os pernos deben resistir tamén traccións importantes.

O proxectista poderá considerar conxuntamente a resistencia por rozamento e a dos pernos de ancoraxe para resistir a totalidade do esforzo cortante e torsor.

Cando se empreguen pernos de ancoraxe para transmitir os esforzos cortantes, teranse en conta as seguintes condicións:

- Os orificios dispostos na placa de base para o paso dos pernos poden ter a folgura que indique o proxectista para facilitar a montaxe destas, pero neste caso disporanse sobre eles arandelas con trades estándar soldadas á placa de base cunha soldadura de resistencia suficiente para transmitir o esforzo cortante que deba absorber o perno.
- A resistencia do perno a cortante e a esmagamento contra a placa de base ou contra a arandela de fixación será a mínima entre as determinadas de acordo co disposto nos artigos 58.6 e 58.7, e a obtida pola seguinte fórmula:

$$F_{V2,Rd} = \frac{\alpha_b f_{yb} A_s}{\gamma_{M2}},$$

Onde $\alpha_b = 0,44 - 0,0003f_{yb}$, sendo f_{yb} o límite elástico do aceiro do perno (en N/mm^2), limitado entre $235 \text{ N/mm}^2 \leq f_{yb} \leq 640 \text{ N/mm}^2$.

- A resistencia a esmagamento contra o formigón calcularase de acordo co disposto no artigo 7.3.2.1 das Recomendacións RPX-95 para o proxecto de pontes mixtas en estradas, RPX-95.

65.2.2. Transmisión de esforzos de compresión

Admítase que as compresións orixinadas polo esforzo axial e polos momentos flectores se transmiten desde os elementos comprimidos do soporte á cimentación, repartíndose a través da placa de base.

Suporase unha distribución de esforzos en equilibrio cos do axial e o momento flector do soporte no arranque, acorde co número 56.2. Como simplificación, pódense empregar os criterios da figura 65.2.2.a.

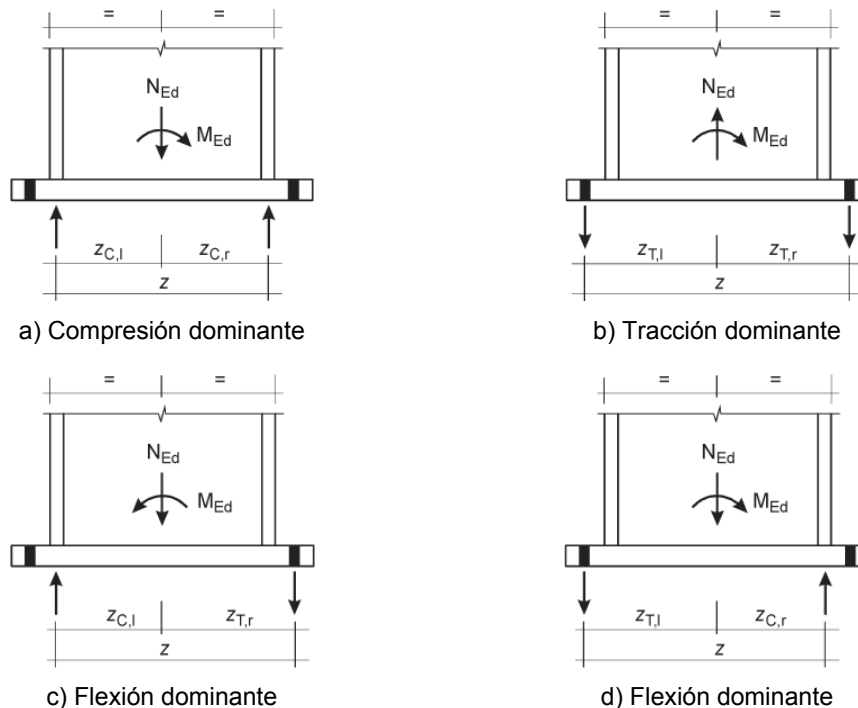


Figura 65.2.2.a

A resistencia da zona a compresión determinarase como:

$$F_{C,Rd} = f_{jd} A_0,$$

Onde f_{jd} é a resistencia máxima do formigón e A_0 é a superficie de repartición máxima a compresión, parámetros ambos definidos a continuación.

A superficie de repartición máxima a compresión estará delimitada por liñas paralelas ás caras dos perfís do soporte, a unha distancia máxima (figura 65.2.2.b).

$$c = t \sqrt{\frac{f_y}{3f_{jd}\gamma_{M0}}}$$

Onde f_y é o límite elástico do aceiro da placa de base e t é o seu grosor.

A resistencia máxima do formigón vén dada por:

$$f_{jd} = \frac{\beta_j F_{Rdu}}{A'_0}$$

Onde β_j é un coeficiente que se pode tomar igual a 2/3 se a argamasa de nivelación situado entre a placa e o formigón da cimentación ten unha resistencia polo menos igual a $0,2f_{ck}$ e un grosor non maior a 0,2 veces a menor dimensión da placa; A'_0 é unha aproximación á superficie de repartición máxima a compresión, e F_{Rdu} é a forza máxima de compresión concentrada que pode actuar sobre o formigón segundo a Instrución EHE (tomando A'_0 como superficie restrinxida en que se aplica a forza).

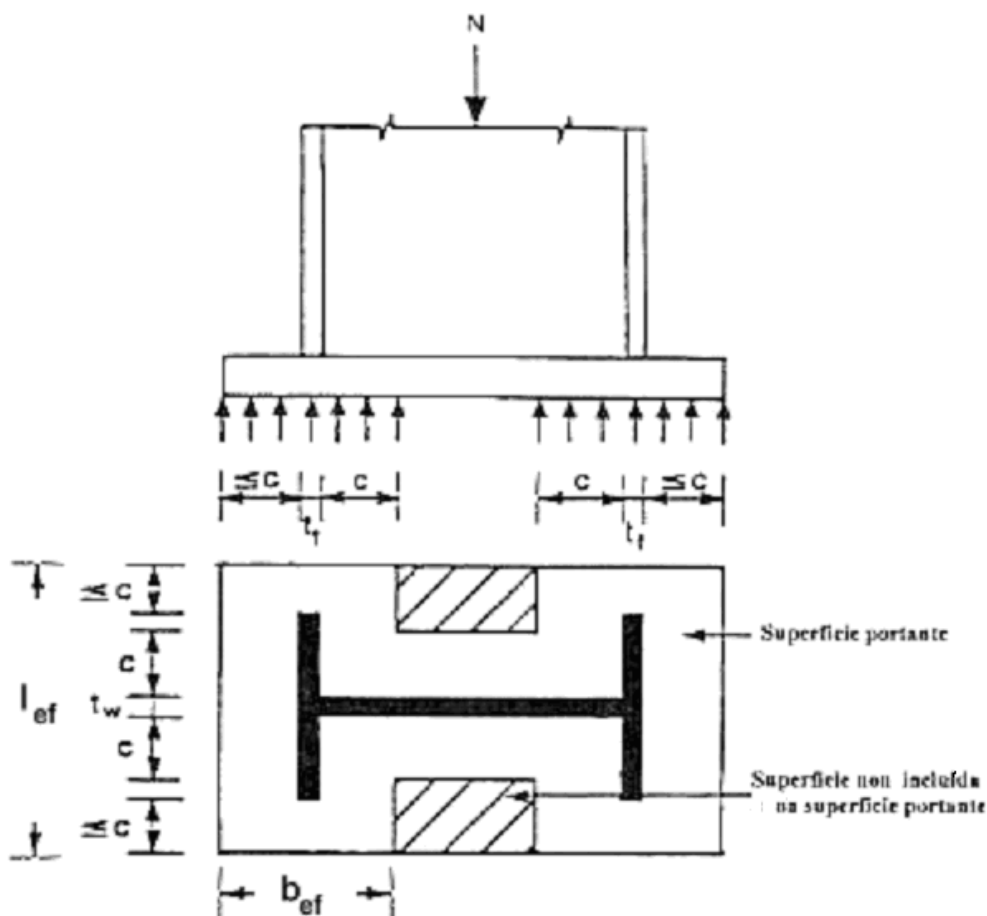


Figura 65.2.2.b

65.2.3. Transmisión de esforzos de tracción

As traccións, debidas ao esforzo axial e aos momentos flectores, deberán ser resistidas polos pernos de ancoraxe. Recoméndase que os pernos se aparafusen á placa. Colocarase sempre unha arandela entre a torca e a placa de base.

Rematada a montaxe da estrutura e apertadas as torcas, inmobilizaranse, preferentemente mediante a colocación dunha contratorca ou picado da rosca. Prohíbese empregar puntos de soldadura para este mester.

A resistencia á tracción dun perno de ancoraxe determinarase de acordo co disposto no artigo 58.7. Tomarase como resistencia a cortante do perno a mínima obtida segundo o número 65.2.1. En caso de que os pernos se solden á placa, o material destes deberá ser soldable e a soldadura de unión será de resistencia completa, figura 65.2.3.a. Para esta situación, adoptaranse as medidas oportunas para evitar a aparición da rotura laminar.

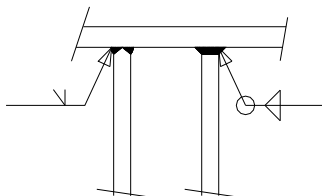
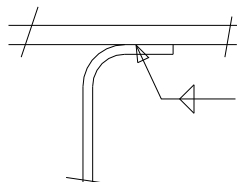


Figura 65.2.3.a

Evitarase soldar un perno á placa de base mediante cordóns en ángulo dados sobre unha patilla formada no extremo deste a soldar á placa, figura 65.2.3.b.



NON

Figura 65.2.3.b. Detalle que cómpre evitar para a soldadura do perno á placa base

Autorízase o pretensado dos pernos se son da calidade adecuada para iso. O esforzo de pretensado será fixado polo proxectista, pero non superará o valor N_0 indicado no número 58.8. Recoméndase esta solución no caso de estruturas sometidas a efectos dinámicos, impactos ou cargas de fatiga.

A transferencia ao formigón da tracción dun perno de ancoraxe pódese confiar á adherencia, caso en que o perno rematará en patilla normal e a súa lonxitude estará de acordo co disposto na Instrución EHE-08, ou a unha placa de extremo, suxeita ao perno mediante torca e contratorca.

Neste caso, deberá ser:

$$\frac{T_{Sd}}{A_{pl}} \leq f_j$$

onde T_{Ed} é a tracción no perno, A_{pl} a superficie da placa e f_j o valor da presión contra o formigón; na súa determinación tomarase, na vez do grosor da zapata, h , a profundidade da placa L .

A transmisión ao formigón efectuarase mediante tensións tanxenciais na superficie lateral dun tronco de cono ou pirámide, segundo a placa sexa circular ou cadrada, que se estende desde a placa ata a superficie da zapata cun semiángulo no vértice de 10° .

A comprobación das ditas tensións tanxenciais efectuarase segundo o disposto na Instrución EHE-08.

65.2.4. Transmisión de esforzos de flexión

A resistencia da placa de base e dos pernos de ancoraxe a flexión comprobarase segundo o disposto no número 61.2, asimilándoa a unha unión con chapa frontal. Neste caso, para definir a superficie de compresión, tomarase a distancia c (véxase a figura 65.2.2.b) antes definida en lugar de k na zona da ala a compresión, e a distancia c a ambos os lados da zona da alma a compresión.

65.2.5. Rixidez da placa de base

As bases consideraranse rixidas nos casos seguintes:

Para pórticos intranslacionais, de se cumprir calquera das tres condicións seguintes:

$$\lambda_0 \leq 0,5$$

$$0,5 < \lambda_0 < 3,93 \text{ y } S_j \geq \frac{7(2\lambda_0 - 1)E I_c}{L_c}$$

$$\lambda_0 > 3,93 \text{ y } S_j \geq \frac{48E I_c}{L_c}$$

$$\text{En calquera outro caso, se } S_j \geq \frac{30E I_c}{L_c}$$

Nas expresións anteriores λ_0 é a esvelteza do piar considerándoo biarticulado, I_c e L_c son as súas correspondentes momentos de inercia e lonxitude, e S_j a rixidez rotacional correspondente á placa de base.

A rixidez rotacional da placa base vén dada pola seguinte expresión:

$$S_{j,ini} = \frac{Ez^2}{\sum \frac{1}{k_j}},$$

Onde k_j é a rixidez de cada compoñente básico (indicados a continuación) e z o brazo de panca (véxase a figura 65.2.2.a).

A rixidez da placa a flexión vén dada por:

$$k_p = 0,85 \frac{b_{ef} t^3}{m^3}$$

Onde b_{ef} é o largo eficaz segundo o artigo 61.2 (establecendo a analogía da placa coas unións de chapa frontal), t é o grosor da placa de base e m a distancia correspondente do parafuso á liña de formación da rótula plástica correspondente.

A rixidez de cada fila de pernos é:

$$k_{at} = 1,6 \frac{A_s}{L_b}$$

Onde A_s é a área resistente do perno e L_b a súa lonxitude.

Pódense producir esforzos de panca na placa se:

$$L_b \leq \frac{8,8m^3 A_s}{b_{ef} t^3}.$$

Nese caso, tomarase o factor 0,425 en lugar de 0,85 para a rixidez da placa a flexión e tomarase o valor 2,0 en lugar de 1,6 para a da fila de pernos.

A rixidez proporcionada polo formigón e placa de base a compresión calcúlase como:

$$k_c = \frac{E_c \sqrt{b_{ef} \ell_{ef}}}{1,275E},$$

Onde b_{ef} e ℓ_{ef} son as dimensións eficaces da rexión de formigón baixo unha ala comprimida do piar (figura 65.2.2.b).

65.3. Outros métodos de unión de soportes á cimentación

A unión dun soporte á cimentación pódese realizar embebendo unha certa lonxitude do soporte na cimentación, figura 65.3.

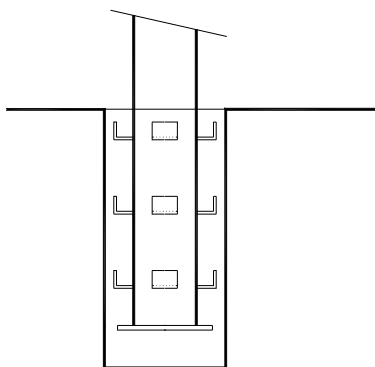


Figura 65.3

Neste caso, a transmisión do esforzo axial, sexa de tracción ou de compresión, farase mediante conectores dispostos no fuste do soporte; no formigón disporanse as armaduras precisas para transmitilo desde a argamasa de recheo ao propio formigón.

O esforzo cortante e os momentos flectores transmitiranse mediante pares de forzas que compriman o fuste contra a cimentación, elixidas de maneira que:

- En ningún punto a presión do fuste contra o formigón sexa superior á resistencia de cálculo deste, f_{cd} .
- O fuste poida resistir os esforzos orixinados polas ditas forzas.

Artigo 66 Elementos de apoio

66.1. Dispositivos de apoio de neopreno

Os aparellos de apoio de neopreno utilízanse para materializar unha articulación con posibilidade de desprazamento no extremo dunha viga, permitindo desprazamentos simultáneos en dúas direccións e absorción de cargas verticais e horizontais.

O apoio pódese realizar só con placas de neopreno (neopreno sen armar); non obstante, recoméndase que se intercalen chapas de aceiro entre placas de neopreno (neopreno armado) para coaccionar a expansión lateral e reducir o asentamento vertical do apoio.

As dimensións do apoio de neopreno deberán cumprir as seguintes condicións:

Condición de estabilidade. Para evitar o empenamento, deberase cumprir:

$$e_n \leq 0,2 b$$

Onde e_n é o grosor total de neopreno (sen incluír o grosor das chapas de aceiro) e b é a dimensión menor en planta do apoio.

Condición de forma. Para limitar o acurtamento vertical, deberase cumprir:

$$\text{Forma rectangular: } \frac{ab}{t(a+b)} > 12$$

$$\text{Forma de tira: } \frac{a}{t} > 12$$

$$\text{Forma circular: } \frac{d}{t} > 12$$

Onde a é a dimensión maior en planta do apoio; d é o diámetro do apoio circular; e t é o grosor de cada unha das capas de neopreno.

Condición de presión de contacto. As dimensións en planta do apoio deberán cumprir:

$$\frac{N_{\max}}{\sigma_n} \leq ab \leq \frac{N_{\min}}{3}$$

onde:

a e b se deben introducir en mm,

N_{\max} e N_{\min} son as reaccións verticais máxima e mínima en N,

σ_n é a tensión admisible a compresión do neopreno en N/mm². Salvo datos subministrados polo fabricante, pódense tomar os seguintes valores:

$\sigma_n = 3$ N/mm² para neopreno sen armar e $\sigma_n = 5$ N/mm² para neopreno armado.

A condición $ab \leq \frac{N_{\min}}{3}$ pódese incumprir se se encaixa o apoio de neopreno nunha ou ambas as pezas a unir.

Condición de distorsión angular. A distorsión angular γ debe cumprir a seguinte condición:

$$\gamma = \frac{\delta}{e_n} \leq 0,5$$

Onde δ é o desprazamento relativo entre a cara superior e inferior do apoio.

Como consecuencia, a forza horizontal H que poderá transmitir o apoio virá limitada pola seguinte expresión:

$$H = \frac{\delta G a b}{e_n} \leq 0,5 G a b$$

Onde G é o módulo de elasticidade transversal do neopreno. En ausencia de datos do fabricante, pódese tomar 1 N/mm^2 para cargas de longa duración e 2 N/mm^2 para cargas instantáneas.

66.2. Dispositivos de apoio metálicos

Os aparellos de apoio metálicos utilízanse para materializar unha articulación con ou sen posibilidade de desprazamento no extremo dunha viga.

Cando se trate de transmitir unicamente reaccións de compresión e o aparello de apoio estea constituído por unha parella de placas, unha unida á estrutura e outra á cimentación, deberanse ter en conta no seu dimensionamento as seguintes consideracións:

- As placas deberán ser rectangulares, cunha relación de dimensións comprendida entre 1:1 e 2:3.
- O seu centro coincidirá co punto de paso da reacción F_{Ed} .
- Terase en conta o efecto do rozamento entre placas, para o que se suporá $\mu = 0,3$.
- Cando exista a posibilidade de que a reacción poida ser de tracción ou, aínda cando sendo de compresión, o seu valor sexa pequeno, disporanse os dispositivos adecuados para impedir a separación de ambas as placas. Os ditos dispositivos deberán permitir o desprazamento das placas no seu plano de contacto se así se previu nas condicións de vinculación da peza.
- A presión de contacto da placa contra o formigón non superará o valor f_j definido no número 65.2.2.
- A presión de contacto entre placas metálicas non superará o valor $0,80f_y$.

Cando o apoio estea constituído por unha esfera descansando entre placas planas, a reacción $F_{Ed,ser}$ en estado límite de servizo, expresada en kN, cumprirá que:

$$F_{Sd,ser} \leq 1,74 f_y \left(\frac{r}{E} \right)^2$$

sendo f_y o menor límite elástico da esfera ou das placas, en N/mm^2 ; r o raio da esfera en mm e E o módulo de elasticidade do aceiro en N/mm^2 .

Cando o apoio estea constituído por un cilindro de lonxitude ℓ descansando entre placas planas, a reacción $F_{Ed,ser}$ en estado límite de servizo, expresada en kN, cumprirá que:

$$F_{Sd,ser} \leq 0,062 f_y^2 \frac{r \ell}{E}$$

sendo f_y o menor límite elástico do cilindro ou das placas, en N/mm^2 e r o raio do cilindro en mm.

Nas expresións anteriores, cando o límite elástico do aceiro sexa igual ou superior a 500 N/mm^2 , tomarase para este un valor reducido, $f_{y,red} = 0,12 f_y + 440$ (en N/mm^2). Se non se coñece o límite elástico, pero se coñece a dureza Vickers HV segundo ISO 4964, pódese tomar $f_{y,red} = 0,273 HV + 440$ (en N/mm^2).

Para as superficies cilíndricas que sufrisen un tratamento de endurecemento superficial ou a aplicación dun revestimento especial, poderase utilizar o límite elástico ou a dureza da capa superficial se o seu grosor é superior a:

$$25r \frac{f_y}{E} \text{ ou } 55r \frac{HV}{E}$$

respectivamente. Nestas expresións entrarase con r en mm e con f_y e E en N/mm^2 .

Non será preciso, en xeral, comprobar o estado límite último nas rótulas esféricas ou cilíndricas.

As rótulas e rodetes fábranse habitualmente en aceiros ao cromo martensíticos de alta resistencia, temperados, de acordo con UNE-EN 10088-1. No certificado que obrigatoriamente deberá subministrarse o fabricante figurarán, ademais das características mecánicas, o modo de fabricación, o tratamento térmico, a dureza e, cando así se acordase, a tenacidade do material.

Comprobarase a seguridade á rotura fráxil cando o aceiro empregado teña un límite elástico superior a 1000 N/mm^2 ou a dureza HV sexa superior a 450.

CAPÍTULO XV

ELEMENTOS ESTRUCTURAIS

Artigo 67 Vigas

Neste artigo considérase incluída a comprobación de calquera elemento prismático que cumpra a relación $L/h > 5$, sometido a esforzos axiais, de flexión simple ou de torsión, ou a calquera combinación deles.

Dentro deste artigo considéranse os tipos de vigas de alma chea e vigas de alma alixeirada. As denominadas vigas de celosía trátanse no artigo 72, relativo a estruturas trianguladas.

67.1. Vigas de alma chea

Considéranse como vigas de alma chea aquelas vigas, laminadas ou soldadas, de alma opaca, con sección transversal constante ou variable lonxitudinalmente.

Para as vigas de alma chea deberanse realizar as pertinentes comprobacións fronte aos estados límite de servizo (capítulo X) e os estados límite últimos (capítulo IX).

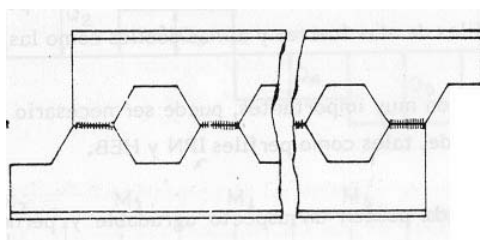
67.2. Vigas de alma alixeirada

Considéranse como vigas de alma alixeirada aquelas vigas cuxa alma presenta uns alixeiramentos dispostos ao longo dela, iguais entre si, e cunha separación igual entre eles.

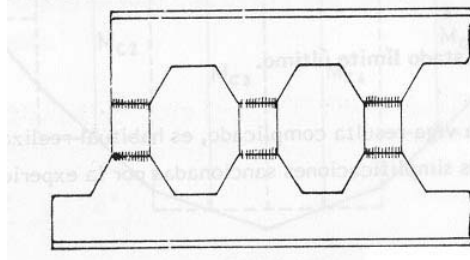
67.2.1. Tipos de vigas de alma alixeirada.

Pódense considerar os seguintes tipos de vigas alixeiradas:

- Vigas alveoladas (alvéolos hexagonais ou circulares)



b) Vigas alveoladas peraltadas



67.2.1.1. Comprobación en estado límite último.

Deberase comprobar a sección de máximo alixeiramento sometida a flexión e cortante, así como aquela sección na cal a interacción do esforzo cortante e do momento flector sexa máis desfavorable, ocasionando así a máxima tensión normal lonxitudinal. Ademais, a zona de unión entre ambas as partes da viga alveolada debe ser capaz de resistir o esforzo cortante (rasante) a que se ve sometida.

67.2.1.2. Comprobación en estado límite de servizo.

Para a comprobación do estado límite de deformacións débense ter en conta as dúas compoñentes de frecha debidas a flexión f_M e a cortante f_V .

O valor da compoñente de frecha de flexión f_M pode obterse, de forma simplificada e conservadora, considerando como inercia da sección o valor da inercia da sección na zona en que o alixeiramento é máximo e por tanto a inercia é mínima I_{min} .

Tamén se pode considerar para o cálculo da dita frecha f_M un valor medio da inercia I_M dos dous tipos de seccións, a de alixeiramento máximo e a de alixeiramento mínimo.

O valor da frecha debida a cortante f_V obtense tendo en conta a área equivalente a cortante da sección A_e .

Artigo 68 Tramas

Considéranse como tramas aquelas estruturas planas formadas por elementos dispostos en dúas direccións, perpendiculares entre si, e con cargas normais ao plano medio da estrutura.

Pode existir unha dirección predominante, dirección segundo a cal se disporán as vigas principais, sendo os elementos estruturais dispostos segundo a dirección perpendicular, vigas secundarias, os encargados da repartición transversal das cargas. O cálculo de esforzos realizarase como unha grella.

Para as vigas secundarias, pode realizarse un cálculo simplificado dos esforzos, utilizando un método de repartición transversal das cargas aplicadas, coa finalidade de obter as cargas a considerar para o cálculo e comprobación das vigas principais.

Unha vez obtidos os esforzos nas vigas que conforman a trama, realizarase a comprobación delas fronte aos correspondentes estados límite últimos e de servizo, de acordo co indicado no artigo 67.

Artigo 69 Forxados

Consideraranse como forxados de aceiro aqueles forxados cuxos elementos resistentes sexan de aceiro.

Xeralmente estes forxados serán forxados unidireccionais formados por viguetas de aceiro con pezas de entrevigado non resistentes, cerámicas ou de formigón.

As viguetas comprobaranse como vigas de aceiro, tendo en conta o artigo 67.

No caso de forxados en edificación industrial que teñan que soportar grandes cargas, o entrevigado pode ser de pezas de aceiro, formando unha trama plana na que, segundo as dúas direccións, as vigas poden presentar dimensións similares. A súa comprobación indícase no artigo 68.

No caso de forxados de cuberta inclinada, con viguetas (correas) apoiadas sobre vigas principais ou cimbras, é necesario ter en conta que, se a alma da correa non está nun plano vertical, aparece unha flexión no plano perpendicular á alma, cuxa importancia depende da inclinación da cuberta.

En todo caso, as correas comprobaranse tendo en conta o indicado no artigo 67.

Artigo 70 Soportes

Neste artigo preséntase a comprobación de elementos estruturais de aceiro sometidos, de forma predominante, a esforzo axial de compresión. Os soportes poden ser simples e compostos.

Enténdense como soportes simples aqueles soportes que están constituídos por un único perfil, ou por dous ou máis perfís principais en contacto ou enlazados entre si mediante forros de chapa cunha distancia s entre enlaces, medida de centro a centro, que verifique que $s \leq 15i_{\min}$, sendo i_{\min} o raio de xiro mínimo dun dos perfís que constitúe o soporte en cuestión ou, de ser o caso, do cordón, de maneira máis xenérica. Nestas condicións, para efectos prácticos, a comprobación destes soportes poderá levarse a cabo como se se tratase dun soporte constituído por un único perfil.

Enténdense como soportes compostos aqueles soportes constituídos por dous ou máis perfís simples enlazados entre si. Os elementos de enlace poden ser presillas ou celosía. Os soportes compostos comprobaranse considerando a súa deformabilidade a cortante, de acordo co exposto en 70.5 e no artigo 71.

Considéranse neste artigo:

- Soportes de sección constante.

- Soportes de sección variable.
- Soportes sometidos a esforzo axial variable continuo.
- Soportes sometidos a cargas puntuais segundo a súa directriz.
- Soportes de sección composta.

70.1. Soportes de sección constante

Considéranse neste artigo aqueles soportes cuxa sección transversal se mantén constante ao longo da súa directriz, independentemente da forma desta.

As seccións transversais poden ser abertas ou pechadas e atendendo ás súas características de simetría poden ser de dobre simetría, de simetría simple e de simetría puntual.

Para a comprobación do soporte a compresión terase en conta o número 35.1.

No caso de existir esforzos de compresión e de flexión terase en conta o indicado nos números 35.2 e 35.3.

No caso de que o centro de gravidade e o centro de esforzos cortantes da sección non coincidan, deberase ter en conta a posibilidade de empenamento por flexión e torsión e será de aplicación o exposto no número 35.1.4.

No caso de que o centro de esforzos cortantes coincida co centro de gravidade, e a sección transversal teña débil rixidez torsional, deberase considerar a posibilidade de empenamento por torsión pura, só cando o raio de xiro polar sexa maior que o raio de xiro a torsión, e entón será de aplicación o exposto en 35.1.4.

70.2. Soportes de sección variable

Considérase neste número o caso de soportes constituídos por un único perfil ou por varios perfís ou chapas enlazados entre si de maneira continua, cuxa sección transversal é lixeiramente variable ao longo da súa directriz.

A comprobación destes soportes fronte a empenamento pode levarse a cabo determinando o valor dun raio de xiro equivalente, obtido en función da variación da inercia e da propia forma en cómo varía a sección transversal ao longo da súa directriz.

70.3. Soportes sometidos a esforzo axial variable continuo

No caso de soportes de sección constante solicitados por un esforzo axial variable ao longo da súa directriz, pode considerarse para a comprobación a empenamento unha lonxitude de empenamento tal que o seu coeficiente β se determinará en función dos valores máximo e mínimo do esforzo axial e da forma en como varíe o dito esforzo axial ao longo da súa directriz.

70.4. Soportes sometidos a cargas puntuais segundo a súa directriz

No caso de soportes de sección constante con cargas puntuais aplicadas ao longo da súa directriz, a comprobación a empenamento pode realizarse adoptando un coeficiente β de empenamento que será función da posición relativa de introdución da carga, ou das cargas puntuais, e das propias condicións de vinculación do soporte. No caso xeral de aplicación de n cargas puntuais ao longo da directriz, o coeficiente β de empenamento pode obterse mediante a seguinte expresión:

$$\beta = \sqrt{\sum_1^n (\alpha_i \beta_i^2)}$$

sendo:

$$\alpha_i = \frac{P_i}{\sum_1^n P_i}$$

O coeficiente β_i é o coeficiente de empenamento correspondente á carga P_i , como se esta actuase illadamente.

70.5. Soportes de sección composta

Considéranse soportes de sección composta aqueles soportes constituídos por dous ou máis perfís, enlazados entre si por medio de perfís ou chapas coa finalidade de asegurar a colaboración resistente conxunta entre os perfís principais.

Os enlaces poden deseñarse mediante unha celosía con montantes e diagonais; estase entón en presenza dun soporte composto triangulado.

No caso de que os enlaces se deseñen unicamente a través de montantes e estes sexan chapas, estase entón en presenza dun soporte composto empresillado.

No caso en que os elementos de enlace estean dispostos cunha separación entre si inferior a $15i_{\min}$, sendo i_{\min} o raio de xiro mínimo dun dos perfís principais, considerarase, para os efectos de comprobación, que o soporte está constituído por un único perfil, coas características mecánicas do conxunto dos perfís principais.

Para a comprobación dos soportes compostos seguirase o exposto no artigo 71.

Artigo 71 Elementos compostos

71.1. Xeneralidades

Denomínanse elementos compostos aqueles elementos estruturais (soportes, apoamentos, etc.) constituídos por dous ou máis perfís simples, paralelos á súa directriz, unidos de forma descontínua e modular, por medio dunha estrutura de celosía (diagonais, ou diagonais e montantes) ou por medio de elementos normais á directriz (presillas), coa finalidade de asegurar un traballo resistente solidario entre todos os perfís que constitúen o elemento estrutural composto.

Para asegurar a transmisión de esforzos é necesario ademais dispor nos extremos do elemento composto presillas unidas ás placas extremas -de base e cabeza- deste.

Os elementos de unión dos perfís principais, ben sexan diagonais e montantes, ou presillas, dividirán o elemento en tramos iguais entre si, de lonxitude a , sendo o número dos ditos tramos nun mesmo elemento estrutural igual ou maior que tres.

A lonxitude a de todo tramo en que se divide o elemento non debe ser superior a $50 i_{\min}$, sendo i_{\min} o raio de xiro mínimo dun dos perfís principais (ou cordóns principais).

Os elementos de unión, presillas e/ou diagonais e montantes deben comprobarse para resistir os esforzos indicados en 71.2.3.

Os elementos de unión, presillas e/ou diagonais e montantes, únense aos perfís principais mediante o emprego de parafusos ou soldadura, debendo comprobarse estas unións para resistir os esforzos indicados en 71.2.3.

Os sistemas de elementos de unión da celosía en caras opostas dun elemento composto con dous planos de triangulación deben adoptar a mesma disposición, é dicir, un sistema debe ser sombra do outro.

Se se utilizan como elementos de unión diagonais, o ángulo que forman estas cos perfís principais estará comprendido habitualmente entre 30° e 60° .

Cando se dispoñan planos paralelos de presillas, estas deben disporse opostas (un plano de presillas debe ser sombra do outro).

Así mesmo, cando existan cargas aplicadas en puntos intermedios do elemento en cuestión, tamén se disporán neses puntos presillas.

As comprobacións que se presentan nos números seguintes parten da hipótese de que o elemento composto ten os seus extremos articulados e neles se impide o desprazamento lateral. Así mesmo, considérase unha imperfección no centro do elemento composto de valor $e_0 = L/500$.

71.2. Comprobación a empenamento de elementos compostos

71.2.1. Xeneralidades

Para a comprobación de elementos compostos a compresión diferenciarase entre elementos compostos triangulados e elementos compostos empresillados.

Por outra parte, terase en conta a existencia de dous posibles planos de empenamento, o que comporta comprobacións diferentes. Denomínase eixe de inercia material o eixe principal que pasa polo baricentro das seccións de todos os perfís que compoñen o elemento. O eixe principal que non cumpre esta condición denomínase eixe de inercia libre.

71.2.2. *Comprobación a empenamento nun plano perpendicular ao eixe de inercia material*

Cando se realice a comprobación a empenamento dun elemento composto nun plano perpendicular a un eixe de inercia material (empenamento por flexión arredor do eixe de inercia material), aquela levarase a cabo como se se tratase dun elemento simple coas características da sección transversal correspondentes ao elemento composto.

71.2.3. *Comprobación a empenamento nun plano perpendicular ao eixe de inercia libre*

O tramo de perfil simple (de cordón, en xeral) comprendido entre dous enlaces consecutivos débese comprobar considerando un esforzo axial de cálculo $N_{\text{cor,Ed}}$ cuxo valor depende do tipo de enlace.

O valor de cálculo do esforzo axial de compresión sobre o cordón $N_{\text{cor,Ed}}$, para o caso de dous cordóns idénticos, é:

$$N_{\text{cor,Ed}} = 0,5N_{\text{Ed}} + \frac{M_{\text{Ed}}h_0A_{\text{cor}}}{2I_{\text{ef}}}$$

Onde M_{Ed} é o valor de cálculo do máximo momento flector no centro do elemento composto, considerando os efectos de segunda orde.

$$M_{\text{Ed}} = \frac{N_{\text{Ed}}e_0 + M_{\text{Ed}}^I}{1 - \frac{N_{\text{Ed}}}{N_{\text{cr}}} - \frac{N_{\text{Ed}}}{S_v}}$$

sendo:

$N_{\text{cr}} = \frac{\pi^2EI_{\text{ef}}}{L^2}$ Esforzo axial crítico elástico efectivo do elemento composto.

N_{Ed} Valor de cálculo do esforzo axial de compresión no centro do elemento composto.

M_{Ed}^I Valor de cálculo do máximo momento flector no centro do elemento composto, sen considerar efectos de segunda orde.

h_0 Distancia entre centros de gravidade dos cordóns do elemento composto.

A_{cor} Área da sección transversal dun cordón.

e_0 Imperfección xeométrica, que se adopta igual a $L/500$.

I_{ef} Inercia efectiva do elemento composto, cuxo valor pode obterse nos números seguintes 71.2.3.1 (elementos triangulados) e 71.2.3.2 (elementos empresillados).

S_v Rixidez a cortante da triangulación utilizada para o enlace ou do panel empresillado; a dita rixidez depende da tipoloxía de enlace utilizada e o seu valor pode obterse nos números seguintes 71.2.3.1 (elementos triangulados) e 71.2.3.2 (elementos empresillados).

As comprobacións dos elementos de enlace das triangulacións (elementos triangulados) ou dos paneis empresillados (determinación dos momentos flectores e esforzos cortantes nos cordóns e presillas dos elementos empresillados) deberán realizarse para o panel extremo, considerando que actúa un esforzo cortante de valor

$$V_{Ed} = \pi \frac{M_{Ed}}{L}$$

Onde M_{Ed} e L teñen o mesmo significado que en parágrafos anteriores.

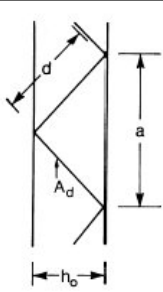
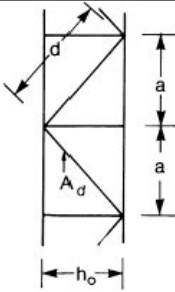
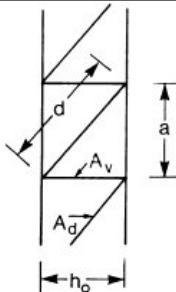
Para os cordóns sometidos a compresión, o valor de cálculo do esforzo axial de compresión $N_{cor,Ed}$, obtido tal como se expuxo anteriormente, deberá verificar que:

$$N_{cor,Ed} \leq N_{b,Rd}$$

Onde $N_{b,Rd}$ é a resistencia de cálculo a empenamento do cordón comprimido, tomando como lonxitude de empenamento a da figura 71.2.3.1.b

71.2.3.1. Elementos triangulados

Na figura 71.2.3.1.a preséntanse valores da rixidez a cortante S_v para determinadas xeometrías de enlace habitualmente utilizadas en elementos triangulados. No caso de que a tipoloxía do enlace adoptado non se encontre entre os da figura, pódese obter o valor de S_v tendo en conta que é o valor da rixidez a esforzo cortante do enlace ou, o que é o mesmo, o valor do cortante necesario para producir unha deformación por cortante unidade.

Sistema de triangulación			
S_v	$\frac{nEA_d a h_0^2}{2d^3}$	$\frac{nEA_d a h_0^2}{d^3}$	$\frac{nEA_d a h_0^2}{d^3 \left[1 + \frac{A_d h_0^3}{A_v d^3} \right]}$

n é o número de planos de triangulación

A_d e A_v son as áreas da sección transversal das diagonais e montantes respectivamente

Figura 71.2.3.1.a. Valor da rixidez a cortante S_v de elementos triangulados

A inercia efectiva I_{ef} do elemento triangulado pode tomarse igual a:

$$I_{ef} = 0,5h_0^2 A_{cor}$$

Para determinar a resistencia de cálculo a empenamento $N_{b,Rd}$ do cordón comprimido, adoptarase como lonxitude de empenamento a que se mostra na figura 71.2.3.1.b.

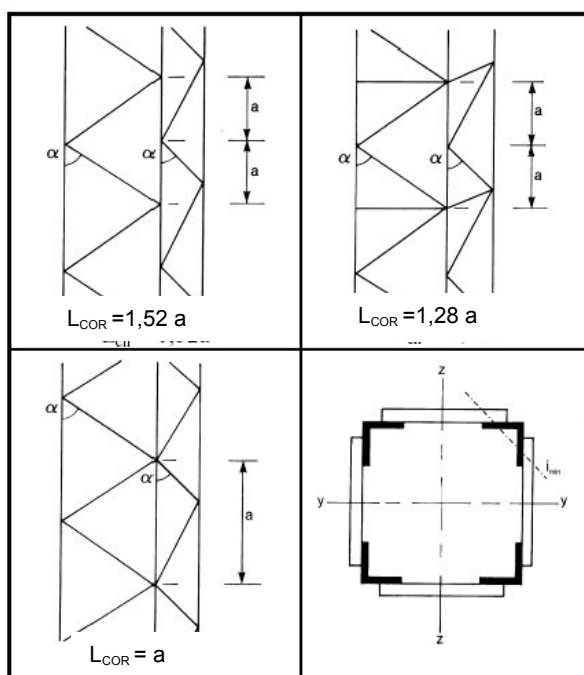


Figura 71.2.3.1.b. Triangulacións en catro caras. Lonxitude de empenamento do cordón, L_{COR}

71.2.3.2. Elementos empresillados

Os cordóns e as presillas, e as unións destas aos cordóns, deben ser comprobados fronte aos esforzos que se inducen no panel extremo e en centro luz do elemento empresillado. Para buscar unha maior simplicidade, poden combinarse simultaneamente o máximo esforzo axial de cálculo do cordón, $N_{cor,Ed}$, co máximo esforzo cortante V_{Ed} (ver figura 71.2.3.2).

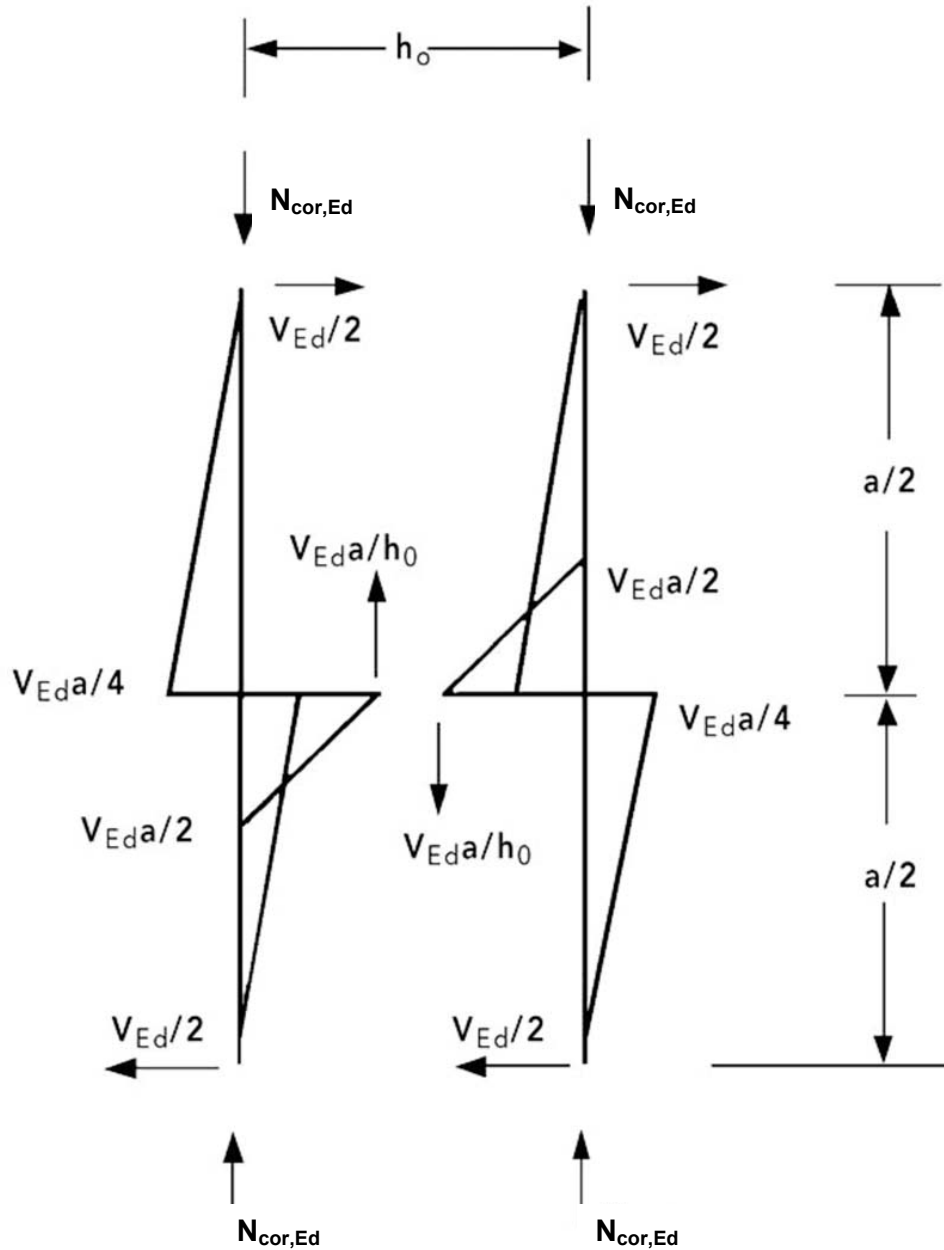


Figura 71.2.3.2. Momentos e forzas nun panel extremo dun elemento empesillado

A lonxitude de empenamento do cordón é a distancia a entre presillas.

A rixidez a cortante dun elemento composto empresillado pode obterse mediante a seguinte expresión:

$$S_v = \frac{24EI_{\text{cor}}}{a^2 \left[1 + \frac{2I_{\text{cor}} h_0}{nI_p a} \right]} \leq \frac{2\pi^2 EI_{\text{cor}}}{a^2}$$

A inercia efectiva do elemento empresillado pode obterse mediante a seguinte expresión

$$I_{\text{ef}} = 0,5h_0^2 A_{\text{cor}} + 2\mu I_{\text{cor}}$$

sendo:

I_{cor} Inercia do cordón no plano.

I_p Inercia da presilla no plano.

n Número de planos de presillas.

μ Factor de eficiencia que se obtén da táboa 71.2.3.2.

Táboa 71.2.3.2. Factor de eficiencia μ

Criterio	Factor de eficiencia μ
$\lambda \geq 150$	0
$75 < \lambda < 150$	$\mu = 2 - \frac{\lambda}{75}$
$\lambda \leq 75$	1,0
sendo $\lambda = \frac{L}{i_0}$; $i_0 = \sqrt{\frac{I_1}{2A_{\text{cor}}}}$; $I_1 = 0,5h_0^2 A_{\text{cor}} + 2I_{\text{cor}}$	

Artigo 72 Estruturas trianguladas

72.1. Xeneralidades

As estruturas trianguladas, comunmente denominadas celosías, empréganse con frecuencia na construción en aceiro, tanto en elementos lixeiros (celosías lixeiras) para cubrición de naves ou espazos de luces medias ou grandes como en elementos xa máis pesados, como en pontes. Cando a estrutura triangulada presenta pendente a dúas augas e se utilizan normalmente como sostén da cubrición dunha nave de calquera tipo, a dita estrutura denomínase cimbra. Cando a estrutura triangulada ten os seus cordóns superior e inferior paralelos, a dita estrutura denomínase viga mestra triangulada ou viga mestra de

celosía; este tipo de estruturas utilízase en forxados de edificios de luces medias ou importantes, en naves de cuberta plana e en pontes.

A xeometría das estruturas trianguladas pode ser moi variada así como os diferentes perfís ou seccións de elementos que constitúen as barras da estrutura, podendo ser esta unha estrutura plana ou espacial.

En función do tipo de enlace entre nós das estruturas trianguladas, estas poden clasificarse en estruturas de nós articulados e estruturas de nós ríxidos. A dita clasificación inflúe potencialmente no proceso de cálculo a seguir para a determinación de esforzos.

O alcance deste artigo pode ser moi amplo, aínda que aquí se quere resaltar a importancia dos elementos comprimidos no proxecto e comprobación deste tipo de estruturas.

72.1.1. Determinación de esforzos

No caso de estruturas de nós ríxidos, sometidas a cargas predominantemente estáticas, nas que a triangulación sexa regular e que os ángulos que formen os elementos entre si non sexan moi agudos ($\alpha \leq 30^\circ$), poderase considerar para a determinación de esforzos que aqueles están articulados nos seus extremos, considerando que os posibles esforzos inducidos pola propia rixidez dos nós son desprezables.

A anterior simplificación non é de aplicación cando existen elementos de gran rixidez ou a estrutura é hiperestática. No dito caso será necesario realizar un cálculo rigoroso para determinar os esforzos nos elementos.

72.2. Comprobación dos elementos

Para a comprobación dos elementos das estruturas trianguladas seguirase o mesmo procedemento que para calquera elemento prismático, segundo se especifica no capítulo IX.

Para a comprobación dos elementos sometidos a compresión, ou a compresión e flexión, adoptaranse as lonxitudes de empenamento que se indican a continuación nos seguintes números.

72.3. Lonxitude de empenamento dos elementos no plano da estrutura

En xeral, a lonxitude de empenamento dos elementos dos cordóns comprimidos, das diagonais e montantes tomarase igual á lonxitude real deles.

No caso de que as unións de montantes e diagonais aos cordóns da cimbra ou viga mestra proporcionen un encastramento adecuado, é dicir, exerzan unha certa coacción ao xiro no plano da estrutura, poderase adoptar como lonxitude de empenamento das ditas diagonais e montantes $0,9 L$, sendo L a lonxitude real entre nós deles. Exceptúase o caso de que as ditas diagonais ou montantes estean dimensionados con angulares.

Considérase que unha unión ten un encastramento adecuado cando é soldada ou no caso de que sexa aparafusada, cando esta se realice, ao menos, con dous parafusos.

No caso de montantes e diagonais comprimidas, dimensionados con angulares e suxeitos por unha soa cara aos elementos ou barras principais (por exemplo, angulares de celosía en elementos compostos, suxeitos ás canas), a súa comprobación rigorosa é complexa. Debido á xeometría do angular, pódese producir un empenamento por flexión e torsión e ademais vense sometidos a compresión excéntrica. Por outra parte, tampouco é sinxelo determinar con precisión a lonxitude de empenamento a considerar. Estes efectos poden terse en conta de maneira simplificada considerando unha esvelteza eficaz λ_{ef} do seguinte valor:

Empenamento arredor do eixe de mínima inercia v-v:

$$\lambda_{ef,v} = 0,35 + 0,70 \lambda_v$$

Empenamento arredor dos eixes y-y, z-z, paralelos ás alas:

$$\lambda_{ef,y} = 0,40 + 0,70 \lambda_y$$

$$\lambda_{ef,z} = 0,40 + 0,70 \lambda_z$$

72.4. Lonxitude de empenamento dos elementos na dirección perpendicular ao plano da estrutura

Débese diferenciar entre que exista arriostamento transversal perpendicular ao plano da estrutura do cordón comprimido ou non.

72.4.1. Cordón comprimido con arriostamento transversal.

Para a comprobación do cordón comprimido considérase como lonxitude de empenamento a distancia entre dous arriostamentos consecutivos.

Se entre os arriostamentos existe un nó intermedio, de forma que o tramo do cordón comprimido se encontra sometido a dous esforzos de compresión, un en cada tramo, N_1 e N_2 , sendo $N_1 > N_2$, a lonxitude de empenamento obtérase multiplicando a distancia entre arriostamentos por un coeficiente β de valor:

$$0,75 + 0,25 N_2 / N_1$$

Se entre os arriostamentos existen varios nós intermedios de forma que ao longo do tramo considerado existe unha variación do esforzo axial aplicado no dito tramo do cordón comprimido, o cálculo da lonxitude de empenamento pode realizarse tendo en conta o número 70.4 (soportes sometidos a cargas puntuais segundo a súa directriz).

72.4.2. Cordón comprimido sen arriostamento transversal.

No caso de non existir arriostamento do cordón comprimido, pode tomarse como lonxitude de empenamento a lonxitude de todo o cordón. Como existirán nós intermedios que provocan unha variación do esforzo axial ao longo do cordón, a lonxitude de empenamento poderás estimarse tendo en conta o que se di no número 70.4.

Se se quere levar a cabo unha avaliación máis precisa da lonxitude de empenamento do cordón comprimido, será necesario ter en conta a rixidez transversal dos montantes e as diagonais e as súas condicións de unión.

72.4.3. Montantes e diagonais

Os montantes e as diagonais calcularanse cunha lonxitude de empenamento igual á lonxitude real da peza.

No caso de montantes de celosías con triangulación en K no que os dous tramos do montante están sometidos a esforzos axiais N_1 e N_2 , sendo $N_1 > N_2$, o montante comprobarase a empenamento para o esforzo axial máximo de compresión N_1 , considerando un coeficiente β de empenamento de valor

$$0,75 + 0,25 N_2 / N_1 \geq 0,5$$

No caso de que unha diagonal de lonxitude d sometida a un esforzo axial de compresión N se cruzamento con outra diagonal de lonxitude d_t sometida a un esforzo axial de tracción N_t , tendo o punto de cruzamento condicións de unión, aquela comprobarase a empenamento considerando o seguinte coeficiente β

$$\sqrt{1 - 0,75 \frac{N_t \cdot d}{N \cdot d_t}} \geq 0,5$$

72.5. Unións

As unións dos elementos ou pezas que concorren nun nó poden ser soldadas ou aparafusadas. As unións poden realizarse a tope ou por medio de cartelas.

No caso de estruturas trianguladas espaciais de perfís tubulares (mallas espaciais) as unións poden realizarse a través de pezas especiais ás que se aparafusan os elementos que concorren no nó.

A comprobación das unións levarase a cabo conforme o exposto no capítulo XIV. En particular, para a comprobación de unións de elementos de sección tubular aplicarase o exposto no artigo 64 e no anexo 9, e o exposto tamén no capítulo XI, relativo á comprobación de unións tubulares fronte a fatiga.

Artigo 73 Estruturas lixeiras

73.1. Xeneralidades

O obxecto deste artigo consiste en establecer regras particulares para o deseño e cálculo de estruturas de aceiro lixeiras constituídas por perfís e chapas conformadas en frío. Por razón do reducido grosor e da súa elaboración este tipo de pezas ten unhas características diferentes dos perfís e chapas laminados en quente, como son:

- Modificación parcial do límite elástico.
- Maior influencia dos fenómenos de inestabilidade.
- Maior influencia das tolerancias dimensionais.

- d) Posible variación de dimensións transversais.
- e) Medios de unión específicos.
- f) Frecuente utilización de métodos de deseño baseados en ensaios.
- g) Maior influencia da protección anticorrosiva.
- h) Efecto das cargas provisionais de construción e mantemento.

Neste artigo trátanse os aspectos máis importantes, sinalando as referencias oportunas ao resto do articulado desta instrución.

Este artigo non é de aplicación ás seccións ocas conformadas en frío fabricadas segundo a norma de produto UNE-EN 10219, para os cales se debe aplicar o resto do articulado desta instrución

73.2. Ámbito de aplicación

Este artigo é aplicable a perfís e chapas conformadas en frío a partir de aceiro, galvanizado ou non, fabricado de acordo coas normas indicadas nas listas adxuntas, onde se especifica o límite elástico básico e a resistencia última a tracción, en N/mm^2 que debe ser usado nos cálculos.

UNE-EN 10025-2. Produtos laminados en quente de aceiro estrutural. Parte 2: condicións técnicas de subministración de aceiros estruturais non aliados

S 235 235 360

S 275 275 430

S 355 355 490

UNE-EN 10025-3. Produtos laminados en quente de aceiro estrutural. Parte 3: aceiros estruturais soldables de gran fino normalizados e laminados normalizados.

S 275 N / NL 275 370

S 355 N / NL 355 470

S 420 N / NL 420 520

S 460 N / NL 460 540

UNE-EN 10025-4. Produtos laminados en quente de aceiro estrutural. Parte 4: aceiros estruturais de laminado termomecánico soldables de gran fino.

S 275 M / ML 275 360

S 355 M / ML 355 450

S 420 M / ML 420 500

S 460 M / ML 460 530

UNE-EN 10346. Chapas e bandas de aceiro estrutural recubertas en continuo por inmersión en quente.

S 220 GD+Z 220 300

S 250 GD+Z 250 330

S 280 GD+Z 280 360

S 320 GD+Z 320 390

S 350 GD+Z 350 420

UNE-EN 10149-2. Produtos planos laminados en quente de aceiro de alto límite elástico para conformación en frío. Parte 2: aceiros en estado de laminado termomecánico.

S 315 MC 315 390

S 355 MC 355 430

S 420 MC 420 480

S 460 MC 460 520

UNE-EN 10149-3. Produtos planos laminados en quente de aceiro de alto límite elástico para conformación en frío. Parte 3: aceiros en estado de normalizado ou laminado de normalización.

S 260 NC 260 370

S 315 NC 315 430

S 355 NC 355 470

S 420 NC 420 530

UNE-EN 10268. Produtos planos laminados en frío de alto límite elástico para conformación en frío.

HC 260 LA 240 340

HC 300 LA 280 370

HC 340 LA 320 400

HC 380 LA 360 430

HC 420 LA 400 460

UNE-EN 10346. Bandas (chapas e bobinas) de aceiro de alto límite elástico, galvanizadas en continuo por inmersión en quente para conformación en frío.

HX 260 LAD 265 350

HX 300 LAD 300 380

HX 340 LAD 340 410

HX 380 LAD 380 440

HX 420 LAD 420 470

UNE-EN 10346. Bandas (chapas e bobinas) de aceiro recubertas en continuo de aliaxes cinc-aluminio (ZA), por inmersión en quente. Condicións técnicas de subministración.

S 220 GD+ZA 220 300

S 250 GD+ZA 250 330

S 280 GD+ZA 280 360

S 320 GD+ZA 320 390

S 350 GD+ZA 350 420

UNE-EN 10346. Chapas e bandas de aceiro baixo en carbono, galvanizadas en continuo por inmersión en quente para conformación en frío.

DX 51 D+Z 140 270

DX 52 D+Z 140 270

DX 53 D+Z 140 270

No caso de utilizar aceiro con resistencia última a tracción superior a 550 N/mm², a resistencia e ductilidade das unións deberá ser xustificada mediante ensaio.

Os límites de aplicación en canto a grosos de cálculo están determinados polo rango usado nos ensaios dos que se dispón de resultados fiables. A menos que se utilice un deseño baseado na dita modalidade, os grosos límite serán 0,45 mm e 15 mm.

Outra limitación de grosos pode vir imposta polos medios de unión utilizados.

73.3. Grosor de cálculo

No grosor de cálculo debe terse en conta a gran influencia que pode ter o revestimento protector e as tolerancias de subministración. No caso de que esta sexa igual ou inferior a un 5%, o grosor de cálculo obtérase deducindo do nominal exclusivamente o grosor de galvanizado t_{mc}

$$t_{cor} = t_{nom} - t_{mc}$$

Se a tolerancia de grosor é superior ao 5%, debe corrixirse o valor anterior.

$$t_{cor} = (t_{nom} - t_{mc})(100 - tol)/95$$

73.4. Modificación do límite elástico

Debido ao proceso de deformación en frío nas esquinas e pregamentos prodúcese un aumento das características mecánicas do aceiro. Esta vantaxe pódese ter en conta nalgúns casos utilizando un límite elástico medio f_{ya} :

$$f_{ya} = f_{yb} + (f_u - f_{yb})knt^2 / A_g$$

co límite superior:

$$f_{ya} < (f_u + f_{yb})/2$$

sendo:

A_g Área bruta da sección.

k Coeficiente experimental, 5 para conformación con rolos e 7 para outros métodos de pregamento.

n Número de pregas da sección de 90°.

O límite elástico medio f_{ya} pode utilizarse na comprobación tensional das seccións. Para as comprobacións fronte a cargas concentradas, empenamento e aboladura por cortante obrigatoriamente usarase o límite elástico básico f_{yb} , igual que nas fórmulas que prevén interacción de esforzos.

Cando se someta o material a un recocido posterior ou ben a un tratamento térmico tal que se supere a temperatura de 580 °C durante máis dunha hora, deberase utilizar o límite elástico básico f_{yb} .

73.5. Terminoloxía e dimensións

As pezas son de sección uniforme formada por elementos planos e acordos curvos de pequeno raio. A denominación obedece á consideración da estabilidade que pode ofrecer un elemento sometido a tensións de compresión no sentido do eixe da peza:

- Elemento non rixidizado: elemento plano unido soamente nun bordo a outro elemento plano.
- Elemento rixidizado: elemento plano unido en ambos os bordos a outros elementos ou a rixidizadores.

- c) Elemento multirixidizado: elemento rixidizado que ademais dispón de rixidizadores intermedios.
- d) Subelemento: fracción dun elemento multirixidizado comprendida entre rixidizadores ou bordos.

Para aumentar a capacidade dos elementos comprimidos dispóñense rixidizadores lonxitudinais, tanto intermedios como de bordo, con obxecto de incrementar a tensión crítica de abladura. Estes rixidizadores poden ser rectos ou de labio, ou ben estar constituídos por varias pregas. Neste artigo non se inclúen os rixidizadores transversais.

As características das seccións (área, momentos de inercia, raios de xiro, etc.) determinaranse de acordo cos métodos convencionais da resistencia de materiais. Pode simplificarse a obtención das ditas características utilizando o chamado método lineal, no que o material da sección se considera concentrado ao longo da liña central da sección, de forma que todos os elementos son substituídos por elementos rectos ou curvos, introducindo o grosor de cálculo despois de realizar o cálculo correspondente a esa liña central. Neste caso desprezase a inercia de elementos planos con relación ao eixe paralelo a si mesmo. Este método permite a consideración precisa da lonxitude de cada elemento plano para calcular a súa esvelteza adimensional e o seu longo eficaz conseguinte. Os elementos curvos non serán obxecto de redución.

Cando o raio interior dunha prega sexa inferior a cinco veces o grosor e a unha décima parte da lonxitude do elemento plano contiguo, pódese considerar que a sección está formada por ángulos vivos, sen acordos, e tomar a lonxitude dos elementos planos como a proxección correspondente aos puntos medios das esquinas. Este método é lixeiramente conservador xa que atribúe aos elementos planos maior lonxitude da real.

A lonxitude de cada elemento plano denomínase largo recto b_p .



Figura 73.5. Largo recto b_p

73.6. Relacións largo / grosor

A aplicación das expresións deste artigo está limitada ás relacións largo/grosor que se indican na figura adxunta, que representa o campo de existencia de ensaios nos que se basean as fórmulas de cálculo.

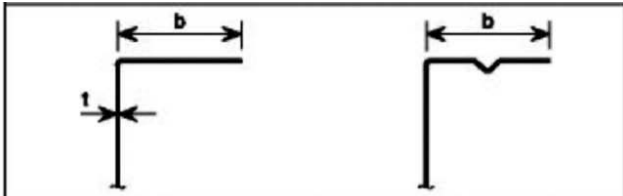
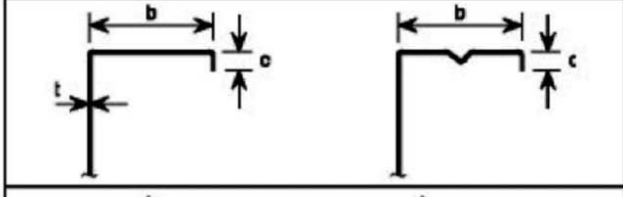
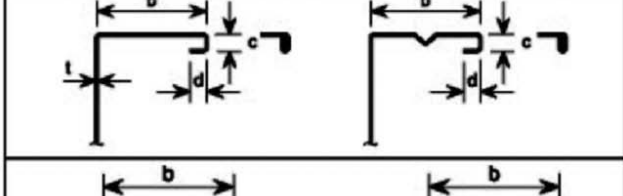
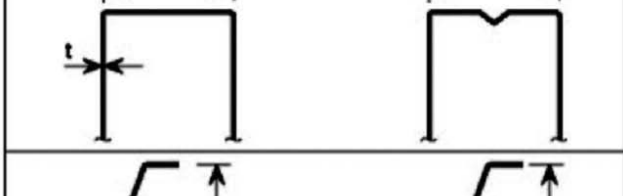
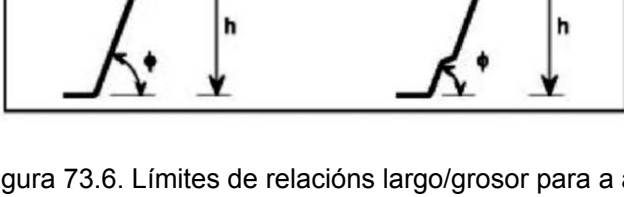
	$b/t \leq 50$
	$b/t \leq 60$ $c/t \leq 50$
	$b/t \leq 90$ $c/t \leq 60$ $d/t \leq 50$
	$b/t \leq 500$
	$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ $h/t \leq 500 \text{sen} \phi$

Figura 73.6. Límites de relacións largo/grosor para a aplicación das expresións de cálculo deste artigo

Os rixidizadores deberán dispor dunha rixidez suficiente para evitar a súa propia abolladura, o cal implica limitacións á súa lonxitude libre; polo contrario, por exixencia da rixidez que deben achegar ao elemento contiguo requiren superar unha dimensión mínima. As limitacións seguintes teñen eses obxectivos:

$$0,2 \leq c/b \leq 0,6$$

$$0,1 \leq d/b \leq 0,3$$

73.7. Empenadura de alas

En elementos sometidos a flexión de alas largas en comparación ao canto existe a tendencia destas a curvarse cara á fibra neutra. Esta distorsión pode desprezarse sempre que a súa magnitude non supere o 5% do canto.



Figura 73.7. Empenadura de alas (u)

Para calcular a empenadura pode utilizarse a seguinte expresión:

$$u = 2 \frac{\sigma_a^2 b_s^4}{E^2 t^2 z}$$

onde:

b_s Semilargo de ala en seccións pechadas ou omegas, largo en seccións Z ou C.

t Grosor.

z Distancia á liña neutra.

σ_a Tensión media na ala, calculada coa sección bruta.

73.8. Distribución de tensións non uniforme en alas

Debido á restrición de deformación por tensións tanxenciais que se produce en alas de vigas de reducidas relacións luz/largo, créase unha alteración da distribución uniforme de tensións normais nelas. Este fenómeno é o descrito como “arrastre de cortante” no artigo 21, no que se establecen as fórmulas adecuadas para avaliar os seus efectos.

Con obxecto de ter en conta de forma simplificada o incremento de tensión no caso de cargas concentradas ou repartidas, tomarase un largura reducida de ala, tanto traccionada como comprimida, de acordo coa seguinte táboa.

Táboa 73.8. Largo eficaz por arrastre por cortante

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

73.9. Aboladura por tensións normais

73.9.1. Introducción

Nas estruturas lixeiras o efecto das tensións de compresión pode reducir a rixidez e capacidade resistente ao provocar a aboladura, tanto local como de distorsión das seccións. O efecto da aboladura debida a tensións normais pódese ter en conta utilizando a denominada largura reducida nos elementos planos comprimidos de acordo coas regras que se indican máis adiante.

O comportamento dos elementos planos que conforman unha sección está determinado pola resistencia poscrítica, que implica unha redistribución de tensións normais susceptible de ser asimilada a unha tensión máxima uniforme $\sigma_{\text{com,Ed}}$ aplicada nunha largura reducida b_p , produto do rendemento ρ polo largo recto b_p .

73.9.2. Esvelteza de chapa

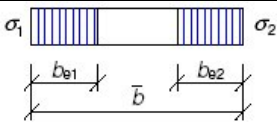
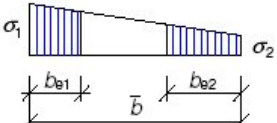
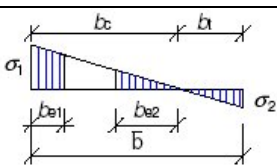
A consideración de largos reducidos determina unhas características xeométricas novas que son función dos esforzos actuantes. Por tanto, neste tipo de estruturas existe unha dependencia entre os esforzos e a xeometría unha vez que a magnitude das tensións de compresión supera uns determinados límites.

Para caracterizar un elemento defínese a denominada esvelteza relativa de chapa $\bar{\lambda}_p$ calculada para unha tensión de compresión igual ao límite elástico f_{yb} , que depende da súa tensión crítica ideal de aboladura σ_{cr} .

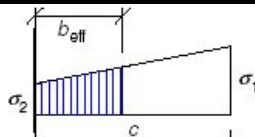
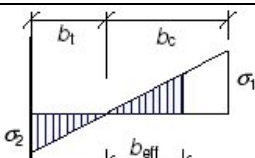
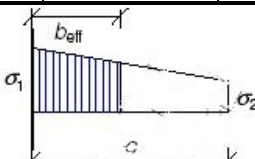
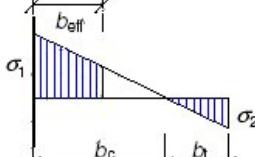
$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{cr}}} = \frac{b_p}{t} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)f_{yb}}{\pi^2 E k_\sigma}} \cong 1,052 \frac{b_p}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E k_\sigma}} \cong \frac{b_p/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}}$$

O coeficiente k_σ de aboladura pode obterse nas táboas 73.9.2.a e 73.9.2.b.

Táboa 73.9.2.a. Paneis interiores comprimidos. Largura reducida

Distribución de tensións (compresión positiva)				Largura reducida (b_{ef})		
				$\psi = 1:$ $b_{ef} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = 0,5b_{ef}$ $b_{e2} = 0,5b_{ef}$		
				$1 > \psi \geq 0:$ $b_{ef} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2}{5 - \psi} b_{ef}$ $b_{e2} = b_{ef} - b_{e1}$		
				$\psi < 0:$ $b_{ef} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$ $b_{e1} = 0,4b_{ef}$ $b_{e2} = 0,6b_{ef}$		
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Coefficiente de abladura k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$	23,9	$5,98(1 - \psi)^2$

Táboa 73.9.2.b. Paneis comprimidos cun bordo libre. Largura reducida

Distribución de tensións (compresión positiva)		Largura reducida (b_{ef})			
		$1 > \psi \geq 0 :$ $b_{ef} = \rho c$			
		$\psi < 0 :$ $b_{ef} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	0	-1	$1 > \psi > -3$	
Coefficiente de aboladura k_σ	0,43	0,57	0,85	$0,57 - 0,21\psi + 0,07\psi^2$	
		$1 > \psi \geq 0 :$ $b_{ef} = \rho c$			
		$\psi < 0 :$ $b_{ef} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1
Coefficiente de aboladura k_σ	0,43	$0,578 / (\psi + 0,34)$	1,70	$1,7 - 5\psi + 17,1\psi^2$	23,8

No caso de que a tensión máxima $\sigma_{com,Ed}$ sexa inferior a f_{yb} / γ_{M0} , utilizarase a esvelteza de chapa reducida:

$$\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\frac{\sigma_{com,Ed}}{f_{yb} / \gamma_{M0}}}$$

Para o estado de servizo, onde a tensión de compresión máxima é $\sigma_{com,Ed,ser}$, a esvelteza a utilizar será:

$$\bar{\lambda}_{p,ser} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\frac{\sigma_{com,Ed,ser}}{f_{yb}}}$$

Nestas fórmulas, que permiten determinar o coeficiente de aboladura e, por conseguinte, a esvelteza relativa de chapa (ver número 20.7), a relación de tensións ψ debe ser considerada de forma realista, é dicir, debe corresponder coa definitiva distribución de

tensións que se dá no conxunto de elementos que forman a sección unha vez que se aplicou a redución a largos eficaces. Non obstante, en alas pode admitirse que se mantén a dita relación igual que na sección inicial sen redución; para almas deberá procederse por iteración.

73.9.3. *Largura reducida*

En elementos rixidizados o coeficiente ρ , para o caso máis xeral, vale:

$$\text{Para } \bar{\lambda}_{p,\text{red}} \leq 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055\psi} \quad \rho = 1,00$$

$$\text{Para } \bar{\lambda}_{p,\text{red}} > 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055\psi} \quad \rho = \frac{1 - 0,055(3 + \psi) / \bar{\lambda}_{p,\text{red}}}{\bar{\lambda}_{p,\text{red}}} + 0,18 \frac{(\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_{p,\text{red}})}{(\bar{\lambda}_p - 0,6)}$$

En elementos non rixidizados:

$$\text{Para } \bar{\lambda}_{p,\text{red}} \leq 0,748 \quad \rho = 1,00$$

$$\text{Para } \bar{\lambda}_{p,\text{red}} > 0,748 \quad \rho = \frac{1 - 0,188 / \bar{\lambda}_{p,\text{red}}}{\bar{\lambda}_{p,\text{red}}} + 0,18 \frac{(\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_{p,\text{red}})}{(\bar{\lambda}_p - 0,6)}$$

Cando se trata de obter as características xeométricas en estado límite de servizo, nestas fórmulas substituirase a esvelteza de chapa reducida $\lambda_{p,\text{red}}$ por $\lambda_{p,\text{ser}}$.

Unha simplificación razoablemente conservadora consiste en calcular as características xeométricas correspondentes aos casos extremos de axial e flector con tensión máxima igual ao límite elástico f_{yb} . Este recurso utilizarase nas comprobacións para estado límite último con interacción axial-flector. Os valores obtidos serán:

A_{ef} , área efectiva calculada para tensión uniforme f_{yb} por axial.

W_{ef} , módulo resistente calculado para a máxima tensión de compresión f_{yb} por flexión.

Deberá terse en conta o efecto de modificación do centro de gravidade que pode darse ao obter A_{ef} , como nas seccións do tipo indicado nas figuras adxuntas:

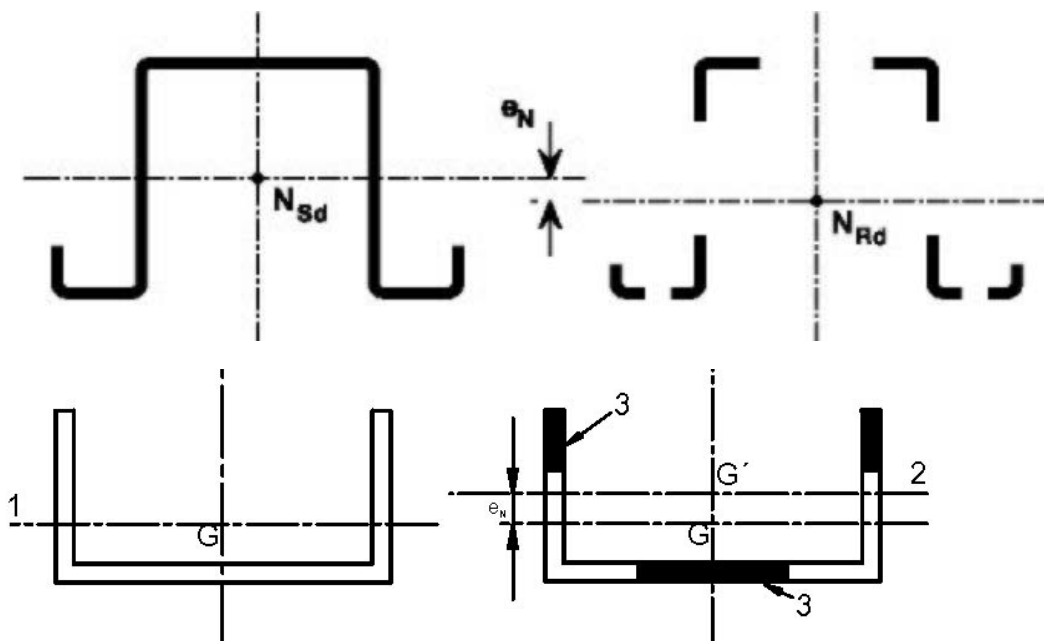


Figura 73.9.3. Variación da posición do eixe baricéntrico da sección

73.10. Aboladura por tensións tanxenciais.

O efecto da aboladura por tensións tanxenciais terase en conta mediante a limitación da capacidade a cortante das almas das seccións por medio da denominada resistencia á aboladura por tensión tanxencial f_{bv} .

Esta resistencia baséase no método poscrítico simple e prescinde da existencia de rixidizadores transversais. A fórmula da capacidade a cortante dunha alma é:

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\text{sen}\phi} t f_{bv}}{\gamma_{M0}}$$

sendo:

h_w Distancia entre puntos medios extremos da alma, medida en vertical.

ϕ Ángulo entre alma e alas.

t Grosor de cálculo.

O valor de f_{bv} depende da esvelteza a cortante da alma $\bar{\lambda}_w$ de acordo coa seguinte táboa 73.10, onde na segunda columna se prevé o caso de que existan dispositivos que eviten a distorsión local, tales como forras de correas.

Táboa 73.10. Valores de f_{bv} para o cálculo da resistencia a abladura por cortante
 $V_{b,Rd}$

Esvelteza relativa da alma	Alma sen rixidización no apoio	Alma con rixidización no apoio
$\bar{\lambda}_w \leq 0,83$	$0,58 f_{yb}$	$0,58 f_{yb}$
$0,83 < \bar{\lambda}_w < 1,40$	$0,48 f_{yb} / \bar{\lambda}_w$	$0,48 f_{yb} / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,40$	$0,67 f_{yb} / \bar{\lambda}_w^2$	$0,48 f_{yb} / \bar{\lambda}_w$

A esvelteza a cortante da alma $\bar{\lambda}_w$ obterase, segundo o caso, mediante as seguintes expresións:

Para almas sen rixidización lonxitudinal intermedia:

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{s_w}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}}$$

equivalente á expresión xeral, considerando que a tensión tanxencial de inicio de plastificación é a correspondente ao criterio de von Mises $0,58 f_{yb}$ e que o coeficiente de abladura por cortante k_τ é 5,34, ao non existir rixidización transversal, $\bar{\lambda}_w = \sqrt{0,58 f_{yb} / \tau_{cr}}$

Para almas con rixidización lonxitudinal intermedia, cumpríndose a seguinte condición

$\bar{\lambda}_w \geq 0,346 \frac{s_p}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}}$, utilizarase a seguinte expresión:

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{s_d}{t} \sqrt{\frac{5,34 f_{yb}}{k_\tau E}}$$

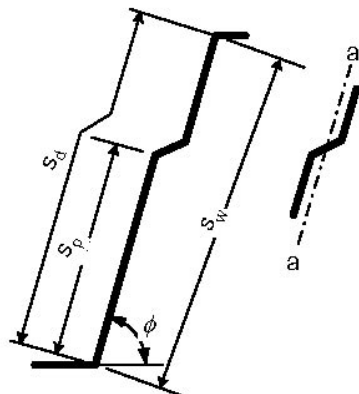


Figura 73.10. Datos xeométricos para o cálculo da esvelteza relativa da alma, con rixidización lonxitudinal intermedia

Nesta expresión, o coeficiente de aboladura k_τ pode ser calculado mediante a seguinte expresión:

$$k_\tau = 5,34 + \frac{2,10}{t} \left(\frac{\sum I_s}{s_d} \right)^{1/3}$$

sendo:

- I_s Momento de inercia do rixidizador arredor do eixe a-a (figura 73.10).
- s_{de} Lonxitude de desenvolvemento da alma.
- s_p Lonxitude recta da maior fracción de alma.
- s_w Lonxitude recta total da alma.

73.11. Estado límite último

73.11.1. Resistencia de seccións

As estruturas lixeiras poden ser comprobadas cos criterios aplicables do capítulo IX, onde se recolle a interacción de esforzos, coas características xeométricas correspondentes á sección reducida para a máxima tensión de compresión $\sigma_{com,Ed}$. No caso de que a sección resulte de clase 3 a flexión no plano correspondente ao seu eixe principal pode aplicarse o número 73.11.2. Tamén pode utilizarse o seguinte criterio de limitación de tensións:

$$\sigma_{tot,Ed} \leq f_{ya} / \gamma_{M0}$$

$$\tau_{\text{tot,Ed}} \leq \frac{f_{ya} / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}}$$

$$\sqrt{(\sigma_{\text{tot,Ed}}^2 + 3\tau_{\text{tot,Ed}}^2)} \leq 1,1 \frac{f_{ya}}{\gamma_{M0}}$$

sendo:

$\sigma_{\text{tot,Ed}}$ Suma de tensións normais.

$\tau_{\text{tot,Ed}}$ Suma de tensións tanxenciais.

Ambas as tensións se calcularán na fibra máis desfavorable considerando todos os esforzos que actúen na sección en cuestión:

$$\sigma_{\text{tot,Ed}} = \sigma_{N,Ed} + \sigma_{M_y,Ed} + \sigma_{M_z,Ed} + \sigma_{w,Ed}$$

$$\tau_{\text{tot,Ed}} = \tau_{V_y,Ed} + \tau_{V_z,Ed} + \tau_{t,Ed} + \tau_{w,Ed}$$

onde:

$\sigma_{N,Ed}$ Tensión normal debida ao axial, usando a sección reducida.

$\sigma_{M_y,Ed}$ Tensión normal debida ao flector $M_{y,Ed}$, usando a sección reducida.

$\sigma_{M_z,Ed}$ Tensión normal debida ao flector $M_{z,Ed}$, usando a sección reducida.

$\sigma_{w,Ed}$ Tensión normal por torsión de empenamento, usando a sección bruta.

$\tau_{V_y,Ed}$ Tensión tanxencial debida ao cortante $V_{y,Ed}$, usando a sección bruta.

$\tau_{V_z,Ed}$ Tensión tanxencial debida ao cortante $V_{z,Ed}$, usando a sección bruta.

$\tau_{t,Ed}$ Tensión tanxencial debida a torsión uniforme, coa sección bruta.

$\tau_{w,Ed}$ Tensión tanxencial debida a torsión de empenamento, coa sección bruta.

A menos que se demostre mediante ensaio, non se admite a redistribución plástica de esforzos flectores entre diferentes seccións dunha peza.

Naqueles casos nos que a flexión produce o inicio de plastificación na fibra traccionada antes que na fibra comprimida, pódese utilizar a reserva plástica da zona traccionada, sen ningunha limitación da deformación ε , establecendo o equilibrio coa zona comprimida, onde se alcanza f_{yb} na fibra extrema.



Figura 73.11.1. Distribución plástica de tensións na parte traccionada

73.11.2. Resistencia de seccións de clase 3.

Nas comprobacións de resistencia pódese utilizar unha resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ mellorada cando a maior esveltez λ dos elementos constitutivos da sección é tal que determina que a sección pertence á clase 3.

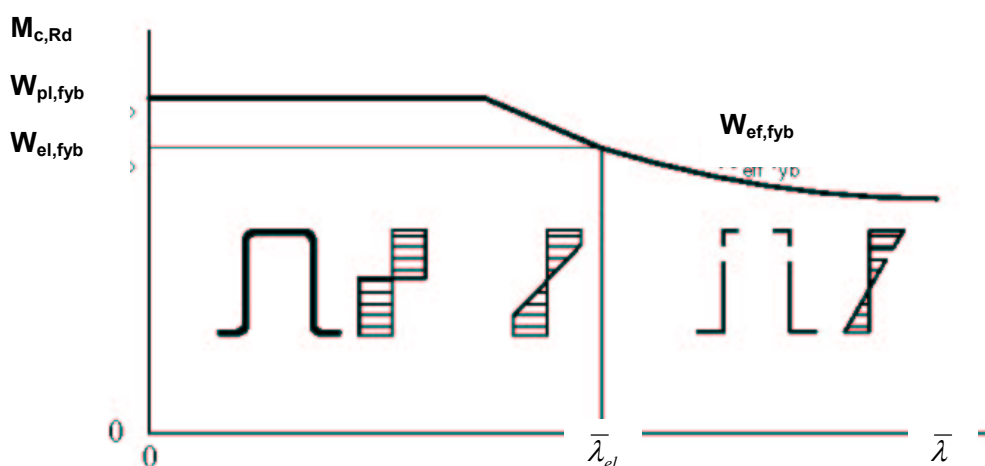


Figura 73.11.2. Resistencia de cálculo a flexión de seccións de clase 3

$$M_{c,Rd} = f_{yb} [W_{el} + (W_{pl} - W_{el}) 4(1 - \bar{\lambda} / \bar{\lambda}_{el})] / \gamma_{M0} \leq M_{pl,Rd} = W_{pl} f_{yb} / \gamma_{M0}$$

Nesta expresión $\bar{\lambda}$ é a esveltez do elemento de maior relación $\bar{\lambda} / \bar{\lambda}_{el}$, que debe ser calculada coa tensión correspondente a f_{yb} , é dicir, equivale a $\bar{\lambda}_p$.

A esveltez $\bar{\lambda}_{el}$ a partir da cal se realiza a interpolación será:

$$\bar{\lambda}_{el} = 0,5 + \sqrt{0,25 - 0,055(3 + \psi)}$$

para elementos planos con dous bordos rixidizados. Para elementos en beiril con bordo libre sen rixidizar, $\bar{\lambda}_{el} = 0,673$. Para elementos rixidizados no seu bordo libre ou nun punto intermedio, $\bar{\lambda}_{el} = 0,65$, incluíndo neste caso as alas comprimidas de correas.

73.11.3. Resistencia a empenamento

Os elementos de estruturas lixeiras comprobaranse a empenamento coas fórmulas correspondentes do artigo 35, de acordo coa súa clasificación. Para as seccións que sexan de clase 4 utilizaranse as características xeométricas A_{ef} e W_{ef} calculadas seguindo as indicacións anteriores.

Dado o reducido grosor deste tipo de seccións a estabilidade torsional adoita ser escasa, polo que debe comprobarse o empenamento por torsión e por torsión e flexión en seccións particularmente proclives ao dito fenómeno, como son aquelas cuxo centro de gravidade non coincide co centro de esforzos cortantes e que se indican na figura 73.11.3.

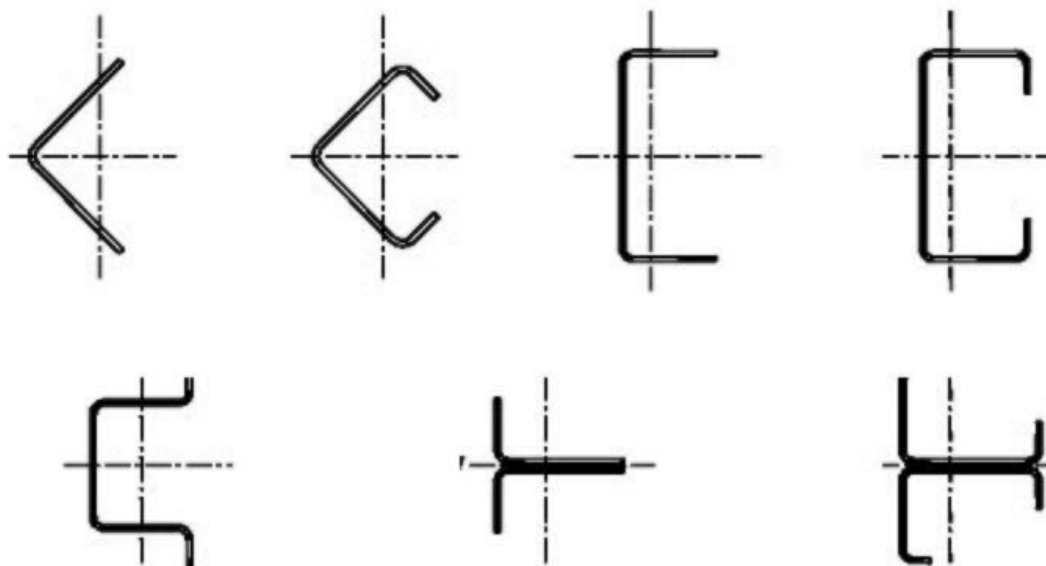


Figura 73.11.3. Seccións transversais proclives ao empenamento por torsión e flexión

No número 73.11.4 establécense as curvas de empenamento a considerar, de acordo co tipo de sección transversal. A esvelteza adimensional do elemento debe obterse considerando o esforzo axial crítico elástico menor N_{cr} .

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{ef} f_y}{N_{cr}}}$$

sendo: $N_{cr} = \min (N_{cr,F}, N_{cr,T}, N_{cr,TF})$

onde:

$N_{cr,F}$ Esfuerzo axial crítico elástico de empenamento por flexión.

$N_{cr,T}$ Esfuerzo axial crítico elástico de empenamento por torsión.

$N_{cr,TF}$ Esfuerzo axial crítico elástico de empenamento por flexión e torsión.

Para a obtención destes valores aplicarase o indicado nos números 35.1.3 e 35.1.4.

Naquelas estruturas de fachadas ou cubertas nas que as correas están fixadas a chapas perfiladas, mediante parafusos rosca chapa nunha das súas alas, poderase considerar que se obtén un arriostamento continuo dela cando se verifique que:

$$S \leq S_{ch}$$

sendo S a rixidez requirida a cortante da correa, a cal pode determinarse mediante a seguinte expresión:

$$S = \left(EI_w \frac{\pi^2}{L^2} + GI_t + EI_z \frac{\pi^2}{L^2} 0,25h^2 \right) \frac{70}{h^2}, \text{ h, altura da correa}$$

e S_{ch} a rixidez que proporciona a chapa de grosor t , altura do nervio h_w , separación entre correas s e b_{fal} a lonxitude total, non interrompida, da aba (é dicir, un múltiplo da separación s), a cal pode determinarse mediante a seguinte expresión:

$$S_{ch} = 1000 \sqrt{t^3} \left(50 + 10 \sqrt[3]{b_{fal}} \right) \frac{s}{h_w} \text{ (en N), (todas as dimensións en mm)}$$

No caso de que as fixacións se establezan en nervios alternados a rixidez da chapa redúcese a unha quinta parte.

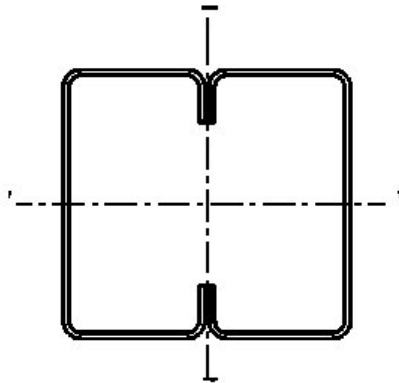
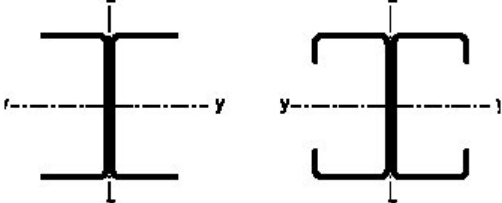
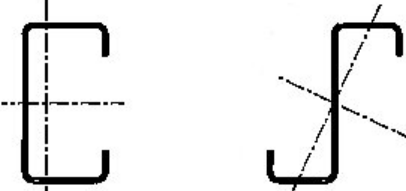
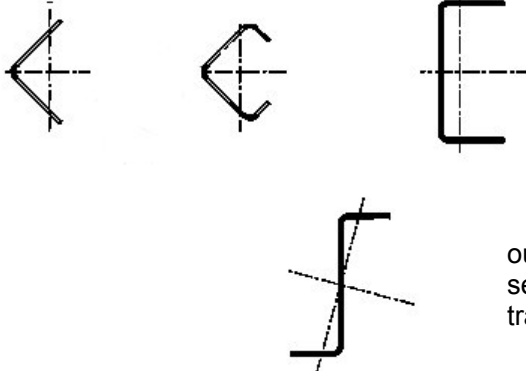
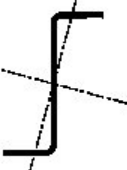
A comprobación da inestabilidade de elementos sometidos a flexocompresión pode levarse a cabo mediante a seguinte fórmula de interacción:

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \right)^{0,8} + \left(\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \right)^{0,8} \leq 1$$

73.11.4. Curvas de empenamento

Na táboa 73.11.4 danse as curvas de empenamento a aplicar en función do tipo de sección que se considere.

Táboa 73.11.4. Curvas de empenamento para seccións transversais lixeiras

Tipo de sección transversal	Empe- namento arredor do eixe	Curva de empe- namento
	Se se utiliza f_{yb}	calquera b
	Se se utiliza $f_{ya}^{*)}$	calquera c
	y-y z-z	a b
	calquera	b
	calquera	c
	ou outra sección transversal	

*) O límite elástico medio mellorado f_{ya} non debería utilizarse a menos que A_{ef} (área reducida) = A_g (área bruta)

73.12. Estado límite de servizo

73.12.1. Xeral

Na comprobación do estado límite de servizo son aplicables os requisitos xerais coas particularidades adicionais que se indican neste número.

As propiedades xeométricas da sección reducida eficaz obtéranse de acordo co punto 73.9.3. Dado que estas varían coa tensión a partir de valores de $\bar{\lambda}_{p,ser} \geq 0,673$, os elementos pasan a ter unha xeometría e inercia variables, podendo considerarse de maneira simplificada un momento de inercia ficticio obtido de acordo coa seguinte expresión:

$$I_{fic} = I_g - \frac{\sigma_g}{\sigma} (I_g - I_{\sigma,ef})$$

onde:

- I_g Momento de inercia da sección bruta.
- σ_g Tensión de compresión máxima en servizo calculada con I_g .
- σ Máxima tensión de compresión $\sigma_{com,E,ser}$ no vano.
- $I_{\sigma,ef}$ Momento de inercia da sección eficaz correspondente a σ .

73.12.2. Deformacións plásticas.

En estruturas onde se admita a análise global baseada en ensaios pódese producir unha redistribución plástica en estado de servizo que debe ser considerada. Para tal efecto a comprobación de apoios interiores de vigas continuas co flector e a reacción non debe exceder 0,9 o valor da resistencia de deseño.

73.12.3. Frechas.

As frechas en correas e cerramentos deben estar limitadas para non afectar negativamente a estanquidade, illamento ou aspecto estético da construción.

Para a súa determinación utilizarase o cálculo lineal con propiedades xeométricas realistas, que poden obterse coa simplificación indicada en 73.12.1. En sistemas continuos de correas con solapamentos ou manguitos debe preverse o aumento de deformación debido a corremento de parafusos en unións.

Como límite de frecha para sobrecarga variable de curta duración pode admitirse un valor de $l/200$ da luz do vano.

73.13. Unións

73.13.1. Xeneralidades

Neste número trátanse as unións de perfís e chapas conformadas en frío de aceiro, galvanizado ou non, así como os seus empalmes e conexións mutuas para formar elementos compostos.

Os principios xerais son os establecidos nos números do capítulo XIV, ampliándose aquí o alcance a grosos inferiores a 4 mm.

No caso de utilizar aceiro de resistencia última a tracción superior a 550 N/mm², a resistencia e ductilidade das unións deberá ser xustificada mediante ensaio.

Os medios de unión que se prevén nesta instrución, para os cales se ofrecen fórmulas de cálculo, son fixacións mecánicas (parafusos rosca chapa e parafusos convencionais) e soldaduras (por puntos, de resistencia ou de fusión, e por arco eléctrico). Outros medios de unión poden ser utilizados con valores da súa capacidade resistente baseados en ensaios, cumprindo os requisitos de EN 1993-1-3.

Dado que neste tipo de estruturas a estabilidade local é determinante no deseño imponse garantir que as unións de elementos sometidos a compresión se realicen a través da parte efectiva da sección, tendo en conta as posibles excentricidades locais.

A capacidade resistente das unións e empalmes a tracción debe ser, como mínimo, a metade da correspondente á da sección neta. No caso de deseño sismorresistente o requisito de ductilidade obriga a que sexa un 20% superior ao da sección neta.

Nos elementos sometidos a compresión, independentemente da magnitude do esforzo, a unión debe ser capaz de resistir a capacidade a empenamento deles. Deste modo asegúrase que no esgotamento fallará antes o elemento que a unión ou empalme.

73.13.2. Esforzos nas unións e empalmes

Un recurso equivalente á determinación de esforzos de segunda orde, que se engaden aos que actúan sobre unha unión ou empalme, consiste en considerar o efecto dun esforzo flector adicional ΔM_{Ed} e dun esforzo cortante adicional ΔV_{Ed} , obtidos coas seguintes fórmulas:

$$\Delta M_{Ed} = N_{Ed} \left(\frac{1}{\chi} - 1 \right) \frac{W_{ef}}{A_{ef}}$$

$$\Delta V_{Ed} = \frac{\pi}{L} N_{Ed} \left(\frac{1}{\chi} - 1 \right) \frac{W_{ef}}{A_{ef}}$$

sendo:

A_{ef}, W_{ef}	Valores da sección reducida do elemento.
L	Lonxitude.
χ	Coefficiente de redución por empenamento no plano de empenamento máis desfavorable.
N_{Ed}	Esfuerzo axial de cálculo.

73.13.3. Unións con fixacións mecánicas.

As unións mediante parafusos rosca chapas cumprirán a norma UNE-EN ISO 10666 “Parafusos autotradeantes e autorroscantes. Características mecánicas e funcionais” e o resto de normas específicas aplicable á súa xeometría particular (hexagonais, abelanados, de cabeza abombada etc. en UNE-EN ISO 15480 a 15483). Os parafusos convencionais cumprirán os requisitos do artigo 29.

A disposición de elementos de fixación debe ser tal que permita a montaxe e o mantemento posterior, así como acorde coas distancias mutuas e a bordos que se indican nas fórmulas de cálculo.

Un principio xeral nestas unións é que a rotura debe ser dúctil, é dicir, que a capacidade a cortante do parafuso é superior á correspondente a calquera outro modo de fallo.

73.13.3.1. Parafusos rosca chapa

Este tipo de unión utilízase frecuentemente para fixar as chapas de cuberta ou fachada ás correas, para conectar as ditas chapas entre si en bordos lonxitudinais e en solapamentos transversais (perpendicular ao sentido do grecado). Tamén serve para conectar barras simples entre si, formando pezas compostas.

A gama de diámetros adoita variar entre 3 e 8 mm. Tanto nos autorroscantes como nos autotradeantes se deben seguir as instrucións de montaxe do fabricante en canto a colocación. O par de apertamento aplicado debe ser lixeiramente superior ao necesario para formar o roscado e inferior ao de rotura por torsión da cabeza do parafuso. O dito par de formación de roscado deberá ser inferior aos dous terzos do correspondente a rotura de espiras de rosca e de cabeza do parafuso a torsión.

As distancias a bordo libre e_1 e mutua entre fixacións en ambos os sentidos p_1 e p_2 debe ser superior a tres diámetros nominais. No sentido transversal a distancia e_2 mínima ao bordo é de vez e media o diámetro.

Un caso frecuente de carga é o correspondente a succión de vento que solicita a tracción as fixacións entre chapas e correas. Para que sexa válido aplicar as fórmulas que se citan máis adiante é necesario que a chapa máis fina teña un grosor comprendido entre 0,5 e 1,5 mm, debendo ser o da chapa máis grossa superior a 0,9 mm en todo caso.

A cabeza do parafuso debe situarse sempre en contacto coa chapa máis fina. Deben estar dotados dunha arandela de rixidez suficiente como para mobilizar a capacidade resistente da unión fronte a dous tipos clásicos de fallo:

- Por extracción ou arranque da parte roscada, por exemplo nunha fixación sobre correa onde fende o roscado nesta última (pull-out)
- Por perforación ou punzonado da chapa en contacto coa cabeza do parafuso, por exemplo o despegamento con rotura da chapa fixada ás correas arredor da cabeza ou arandela do parafuso (pull through)

A capacidade a extracción $F_{o,Rd}$ depende do paso de rosca en relación co grosor de chapa afectada t_{sup} :

$$\text{Para } \frac{t_{sup}}{s} < 1 \quad F_{o,Rd} = 0,45dt_{sup}f_{u,sup} / \gamma_{M2}$$

$$\text{Para } \frac{t_{sup}}{s} \geq 1 \quad F_{o,Rd} = 0,65dt_{sup}f_{u,sup} / \gamma_{M2}$$

A capacidade a perforación é función do diámetro da cabeza do parafuso ou da arandela d_w , do grosor t da chapa afectada e da natureza do esforzo.

$$\text{Para accións estáticas:} \quad F_{p,Rd} = d_w t f_u / \gamma_{M2}$$

$$\text{Para accións que inclúen vento:} \quad F_{p,Rd} = 0,5d_w t f_u / \gamma_{M2}$$

No caso de cubertas debe proxectarse unha disposición o máis uniforme e regular posible, ben que nos bordos de beirís e testeira é recomendable dobrar o número de fixacións ao longo dun décimo da dimensión en cuestión para prever efectos de amplificación local do vento. Outra regra de boa práctica é realizar os solapamentos transversais de chapa de cuberta sobre unha correa dobrada ou con ala superior sobreabundante.

A colocación das fixacións só é válida para efectos estruturais se se sitúan na parte baixa ou val da onda. As fixacións en crista só poden considerarse por razóns de estanquidade. No caso de dispor unha fixación non centrada, en metade do largo do val, debe reducirse a capacidade de perforación nun 10 % e se se colocan dúas fixacións por onda cada unha delas reducirase un 30 % (ver figura 73.13.3.1).

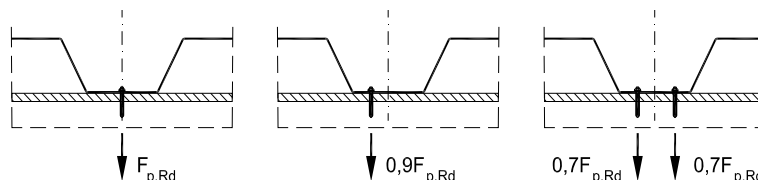


Figura 73.13.3.1. Redución da resistencia ao arrancamento segundo a posición das fixacións

A resistencia a tracción do propio parafuso $F_{t,Rd}$ estará garantida polo fabricante e debe superar a de extracción $F_{o,Rd}$ e perforación $F_{p,Rd}$. É recomendable que a resistencia a extracción supere a de perforación para evitar arrancamentos bruscos no caso de cubertas sometidas a cargas ascendentes.

Para esforzos cortantes, no plano da chapa, a resistencia fronte a esmagamento da fixación contra a chapa depende da relación de grososres:

a) Cando ambos os grososres son iguais :

$$F_{b,Rd} = \alpha f_u d t / \gamma_{M2} \quad \text{sendo } \alpha = 3,2(t/d)^{0,5} \leq 2,1$$

- b) Se o maior grosor t_1 é tal que $t_1 \geq 2,5t$, sendo t inferior a 1mm, aplícase o caso anterior.
- c) Se o maior grosor t_1 é tal que $t_1 \geq 2,5t$, pero $t \geq 1\text{mm}$, tómase directamente para o valor de $\alpha = 2,1$
- d) Para casos intermedios, onde $t < t_1 < 2,5t$, α obtense por interpolación.

A resistencia a cortante do propio parafuso $F_{v,Rd}$, garantida polo fabricante, debe ser un 20% superior á de esmagamento $F_{b,Rd}$.

A suma de resistencias individuais de parafusos debe superar tamén nun 20% a correspondente á rotura por sección neta $F_{n,Rd}$.

$$F_{n,Rd} = A_{\text{net}} f_u / \gamma_{M2}$$

En bandas e pletinas sometidas a tracción é recomendable que o valor anterior non resulte inferior á capacidade elástica da sección bruta para provocar a plastificación da barra antes de que fallen as unións.

$$F_y = A f_y / \gamma_{M0}$$

No caso de esforzos simultáneos de tracción e cortante aplicarase a expresión:

$$\left(\frac{F_{t,Ed}}{\min(F_{p,Rd}, F_{o,Rd})} \right) + \left(\frac{F_{v,Rd}}{\min(F_{b,Rd}, F_{n,Rd})} \right) \leq 1$$

73.13.3.2. Parafusos convencionais.

As unións mediante parafusos utilízanse frecuentemente para fixar as correas de fachada ou cuberta aos topes e para empalmar correas formando sistemas de vigas continuas. Outra aplicación dáse na unión de puntos de correas próximos aos apoios sobre linteis, mediante contratesoiras ou puntais inclinados que entregan na ala inferior dos linteis para evitar o empenamento lateral desta.

O grosor da chapa máis fina debe ser inferior a 3 mm e igual ou superior a 0,75 mm; o grosor da chapa máis grossa t_1 non ten influencia.

As distancias mutuas entre parafusos deben ser superiores a tres diámetros tanto na dirección do esforzo como en dirección transversal. Para o bordo frontal e_1 exíxese un diámetro, para bordos laterais e_2 diámetro e medio.

Nestas unións adóitase dar unha folgura entre o diámetro nominal d e o do orificio d_0 que facilite a montaxe. Pódense utilizar parafusos a partir de métrica M6, ben que un diámetro vantaxoso é M16, con orificio $d_0=18$ mm para correas en C e Z.

A calidade do material do parafuso pode ser de 4.6 a 10.9, pero non pode contarse co efecto de pretensado dos parafusos de alta resistencia.

O cálculo do parafuso a tracción e cortante réxese polo establecido no capítulo XIV. Utilizando conxuntos estándar de torcas e arandelas, non é previsible que se produzan fenómenos de rotura por perforación (pull through).

A resistencia fronte a esforzos cortantes debe ser comprobada para evitar o esmagamento da chapa ou a rotura por sección neta. Esta última sofre unha redución comparativamente máis desfavorable que nos parafusos rosca chapa.

A resistencia a esmagamento da chapa vale:

$$F_{b,Rd} = 2,5\alpha_b k_t f_u dt / \gamma_{M2}$$

sendo:

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d}, 1\right)$$

$$k_t = (0,8t + 1,5) / 2,5 \quad \text{para} \quad 0,75 \leq t \leq 1,25$$

$$k_t = 1 \quad \text{para} \quad t > 1,25$$

$$F_{n,Rd} = \left(1 + 3r \left(\frac{d_0}{u} - 0,3 \right) \right) \frac{A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

sendo:

r = número de parafusos na sección / número total de parafusos.

$$u = \min(2e_2, p_2)$$

Onde as variables recollidas nas fórmulas teñen o mesmo significado que no capítulo XIV.

73.13.4. Unións por puntos de soldadura

As unións entre elementos, galvanizados ou non, de grosor máximo ata 4 mm, poden ser executadas mediante soldadura por puntos, sempre que o grosor mínimo non supere os 3 mm.

Pódese utilizar soldadura por fusión ou por resistencia. A menos que se realicen ensaios previos de produción, o diámetro de cálculo dun punto de soldadura será:

Para soldadura por fusión $d_s = 0,5t + 5$ (en mm)

Para soldadura por resistencia $d_s = 5t^{0,5}$ (en mm)

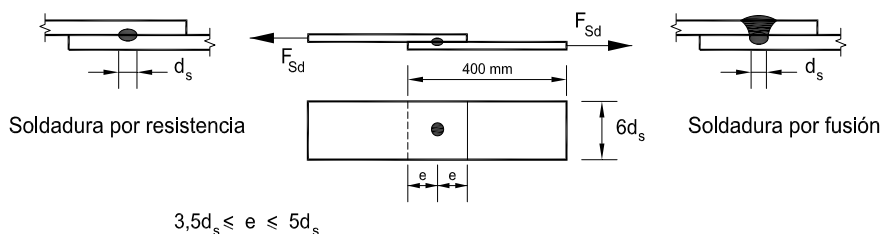


Figura 73.13.4. Probeta para ensaio de soldadura por puntos

A distancia entre o último punto de soldadura e o bordo frontal e_1 estará comprendida entre dúas e seis veces o diámetro de cálculo d_s . A distancia entre unha fila de puntos e o bordo paralelo e_2 debe ser inferior a catro veces o diámetro de cálculo d_s .

As distancias mutuas entre puntos debe ser superior a tres diámetros e inferior a 8 para p_1 e a seis diámetros para p_2 .

Este tipo de unión soamente é adecuado para transmitir esforzos no plano das chapas. A capacidade a cortante de cada punto $F_{v,Rd}$ debe superar nun 25 % as de fendadura ou esmagamento e a suma de todos eles tamén debe ser un 25% superior á capacidade resistente da sección neta $F_{n,Rd}$.

- a) Cortante: $F_{v,Rd} = (\pi/4)d_s^2 f_u / \gamma_{M2}$
- b) Sección neta: $F_{net,Rd} = A_{net} f_u / \gamma_{M2}$
- c) Fallo do extremo: $F_{e,Rd} = 1,4 t e_1 f_u / \gamma_{M2}$
- d) Esmagamento e fendedura cando $t \leq t_1 \leq 2,5 t$: $F_{tb,Rd} = 2,7 \sqrt{t} d_s f_u / \gamma_{M2}$

Se $t_1 > 2,5t$, aplica a mesma fórmula, cos seguintes límites superiores:

$$F_{tb,Rd} < 0,7 d_s^2 f_u / \gamma_{M2}$$

$$F_{tb,Rd} < 3,1 d_s t f_u / \gamma_{M2}$$

73.13.5. Unións por solapamento

As unións entre elementos de grosor máximo 4 mm pódense executar mediante o procedemento de arco eléctrico de acordo cos requisitos deste número. O grosor de garganta debe ser elixido de forma que a resistencia da unión quede determinada polo grosor da chapa máis fina. Se se toma un grosor de garganta igual ao grosor da chapa máis fina considérase que o requisito anterior se cumpre automaticamente.

73.13.5.1. Soldadura ao arco de cordóns de ángulo

A resistencia dos cordóns en ángulo laterais, paralelos á dirección do esforzo, depende da separación entre eles, coincidente co largo b da pletina ou banda soldada.

Se a lonxitude do cordón é tal que $L_{w,s} \leq b$:

$$F_{w,Rd} = t L_{w,s} \left(0,9 - 0,45 \frac{L_{w,s}}{b} \right) \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Se a lonxitude do cordón é $L_{w,s} > b$:

$$F_{w,Rd} = 0,45 t b f_u / \gamma_{M2}$$

Para un cordón frontal e con $L_{w,s} \leq b$:

$$F_{w,Rd} = t L_{w,e} \left(1 - 0,30 \frac{L_{w,e}}{b} \right) \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \text{ sendo } L_{w,e} \text{ a lonxitude do cordón frontal extremo.}$$

Nun conxunto de cordóns laterais e frontais debe determinarse previamente o centro de gravidade e referir a el os esforzos que transmite o elemento. As lonxitudes efectivas dos cordóns coincidirán coa xeométrica, incluíndo os remates de esquina, sen redución por principio ou final de soldadura.

Os cordóns de soldadura de lonxitude inferior a 8 veces o grosor da chapa máis fina non terán a consideración de cordóns estruturais.

73.13.5.2. Soldadura de arco de puntos

Igual que na soldadura de puntos, por fusión ou resistencia, tratada en 73.13.4, só se permite a transmisión de esforzos cortantes, no plano da chapa. O grosor suma de chapas non debe ser superior a 4 mm e o diámetro de cálculo na zona da unión d_s non debe ser inferior a 10 mm.

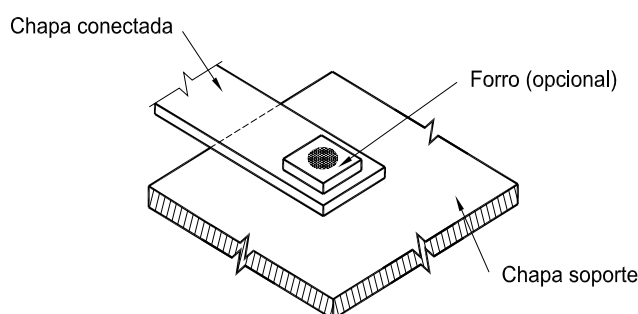


Figura 73.13.5.2.a. Soldadura de arco por puntos con forro

As fórmulas a aplicar dependen da área de contacto entre chapas e da área lateral perimetral, ao longo do bordo, caracterizada polo denominado diámetro perimetral d_p . Ambos os valores se obterán a partir do diámetro superficial d_w , que se obtén na chapa ou forro de soldadura máis exterior.

$$d_p = d_w - t \quad \text{para dúas chapas}$$

$$d_p = d_w - 2 \sum t \quad \text{para varias chapas}$$

$$d_s = 0,7d_w - 1,5 \sum t > 0,55d_w$$

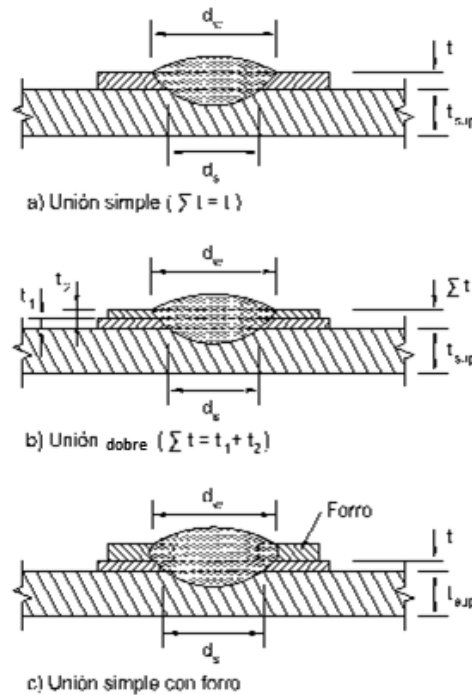


Figura 73.13.5.2.b. Posicións de soldadura de arco por puntos

A distancia a bordos libres extremos do último punto de soldadura debe ser suficiente para evitar o esmagamento local, comprobándose entón que:

$$e_{\min} \geq 2,1 \frac{F_{w,Ed}}{t \frac{f_u}{\gamma_{M2}}}$$

sendo $F_{w,Ed}$ o cortante de cálculo sobre o punto de soldadura, que debe ser inferior a:

$$F_{w,Rd} = 0,625(\pi/4)d_s^2 f_{uw} / \gamma_{M2}$$

sendo f_{uw} a resistencia última do material do electrodo.

O valor de $F_{w,Rd}$ está limitado pola resistencia perimetral segundo os seguintes casos:

$$\text{a) se } \frac{d_p}{\sum t} \leq 18 \sqrt{\frac{420}{f_u}} : \quad F_{w,Rd} = 1,5 d_p \sum t f_u / \gamma_{M2}$$

$$\text{b) se } 18 \sqrt{\frac{420}{f_u}} < \frac{d_p}{\sum t} < 30 \sqrt{\frac{420}{f_u}} : \quad F_{w,Rd} = 27 \sqrt{\frac{420}{f_u}} (\sum t)^2 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$c) \text{ se } \frac{d_p}{\sum t} \geq 30 \sqrt{\frac{420}{f_u}} : \quad F_{w,Rd} = 0,9d_p \sum t f_u / \gamma_{M2}$$

As soldaduras alongadas de tipo rañura de lonxitude L_w teñen unha capacidade limitada polo mínimo das fórmulas seguintes:

$$\text{No contacto de chapas:} \quad F_{w,Rd} = \left(\left(\frac{\pi}{4} \right) d_s^2 + L_w d_s \right) 0,625 \frac{f_{uw}}{\gamma_{M2}}$$

$$\text{Na superficie perimetral:} \quad F_{w,Rd} = (0,5L_w + 1,67d_s) \sum t \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Artigo 74 Mallas

74.1. Estructuras tubulares

Os perfís tubulares fábrícanse con aceiros similares aos utilizados para outros tipos de perfís de aceiro, polo que en principio non existe diferenza ningunha entre eles; as propiedades mecánicas e resistentes danse segundo parámetros estandarizados. N capítulo VI, nos números 28.2 e 28.3 preséntanse os perfís ocos laminados en quente e conformados en frío, respectivamente. No referente á análise estrutural, aplica todo o recollido no capítulo V, e o recollido neste mesmcapítulo, naquilo que atinxe á análise de estruturas trianguladas ou de celosía. Así mesmo, o dimensionamento e comprobación de elementos estruturais de sección tubular lévase a cabo mediante a consideración dos estados límite últimos, recollidos no capítulo IX, e dos estados límite de servizo, recollidos no capítulo X.

Por outra parte, cando se proxectan mallas, en xeral, ou estruturas tubulares, xa sexan espaciais ou planas, é importante ter en conta o comportamento dos nós desde un principio. N artigo 64 desta instrución ofrécese os principios e regras que permiten levar a cabo un dimensionamento adecuado das unións entre elementos de sección tubular. Así mesmo, no capítulo XI recóllense os detalles construtivos de unións en estruturas tubulares susceptibles de ser analizados fronte a fatiga.

TÍTULO 6.º EXECUCIÓN**CAPÍTULO XVI****FABRICACIÓN EN TALLER****Artigo 75 Fabricación en taller****75.1. Xeneralidades**

Este capítulo, e no ámbito desta instrución, establece os requisitos mínimos de execución adecuados ao nivel previsto de seguridade, que proporcionan os criterios de proxecto desta instrución.

Con carácter xeral este capítulo é aplicable a toda estrutura sometida a cargas predominantemente estáticas. Para estruturas solicitadas a fatiga requírense niveis superiores de execución acordes así mesmo coa clasificación dos correspondentes detalles construtivos.

O prego de prescricións técnicas particulares incluírá todos os requisitos de fabricación, montaxe e materiais necesarios para garantir o nivel de seguridade do proxecto, podendo conter indicacións complementarias sen reducir as exixencias tecnolóxicas nin invalidando os valores mínimos de calidade establecidos nesta instrución.

Entre as estruturas que merecen unha execución máis coidadosa encóntranse as que, de acordo co número 6.2, pertencen ás clases de execución 4 e 3.

75.2. Planos de taller

O construtor, baseándose nos planos de proxecto, realizará os planos de taller para definir completamente todos os elementos da estrutura de aceiro, debendo comprobar en obra as cotas de implantación e a compatibilidade co resto da construción.

75.2.1. Contido

Os planos de taller conterán en forma completa:

- As dimensións necesarias para definir inequivocamente todos os elementos da estrutura.
- As contrafrechas das vigas cando estean previstas.
- A disposición das unións, incluso as provisionais.

- O diámetro dos orificios dos parafusos, con indicación da forma de mecanización. Clase e diámetro dos parafusos.
- A forma e dimensións das unións soldadas, preparación de bordos, procedemento e posición de soldadura, material de achega e orde de execución se é este necesario.
- As indicacións sobre mecanización ou tratamento dos elementos que o precisen.
- Os elementos auxiliares (lingüetas, modelos, gálibos de armado, orificios, etc.) para fixación, volteo, enderezamento ou izado dos elementos metálicos principais, indicando posición e conexión a outros elementos, así como o posible saneamento posterior á súa eliminación.
- A posición e raio de orificios para o cruzamento de soldaduras.

Todo plano de taller levará indicados os perfís, clase de aceiro, pesos e marcas de cada un dos elementos da estrutura representados nel.

75.2.2. Revisión e modificacións

O construtor, antes de comenazar a execución en taller, entregará dúas copias dos planos de taller á dirección facultativa, que os revisará e devolverá unha copia autorizada asinada na que, se se precisan, sinalará as correccións que deben efectuarse. Neste caso, o construtor entregará novas copias dos planos de taller corrixidos para a súa aplicación definitiva.

Se o proxecto se modifica durante a execución dos traballos, os planos de taller rectificaranse para que a obra terminada quede exactamente definida por estes planos.

Se durante a execución for necesario introducir modificacións de detalle respecto ao definido nos planos de taller, faranse coa aprobación da dirección facultativa e incluíranse nos planos.

75.3. Preparación do material

Previamente ao inicio da fabricación deberanse recepcionar os materiais de acordo co establecido polos capítulos VI e XXI, para evitar calquera rexeitamento posterior atribuíble ao material que poida entrar en conflito coa execución.

Deberanse eliminar mediante métodos apropiados os defectos superficiais dos produtos como rebarbas, fisuras e, no caso de que así o indique o tratamento de protección, a cascarilla de laminación. Se esta acción der lugar á detección de defectos ocultos na recepción de material, tales como inclusións, sopraduras, minguas fóra de tolerancia, etc. procederase a reconsiderar a dita recepción, caso de que non resulte factible a corrección.

75.3.1. Marcación, manipulación e almacenamento

En todas as fases de fabricación as pezas deberán ser identificadas cunha marcación adecuada, duradeira e distinguible, acorde co sistema de representación utilizado nos planos de taller.

A marcación permitirá o seguimento dos diferentes elementos da estrutura para facilitar os controis establecidos no capítulo XXI e o eventual almacenamento previo á montaxe.

A marcación deberá ser realizada preferiblemente mediante pintura. Para elementos non sometidos a solicitacións de fatiga ou a fortes tensións de tracción, como poden ser os de clases de execución 2 e 1, a dirección facultativa poderá autorizar a marcación mediante prensa ou troquel.

No almacenamento coidarase especialmente que os elementos non se vexan afectados por acumulacións de auga, nin estean en contacto directo co terreo e manteranse as condicións de durabilidade do artigo 31 e do número 79.2.

Así mesmo, tomaranse as precaucións pertinentes para o almacenamento dos elementos auxiliares tales como parafusos, electrodos, pinturas, etc., para os que se seguirán as instrucións dadas polo seu fabricante.

75.3.2. Enderezamento

Previamente á execución doutras actividades debe asegurarse o cumprimento das tolerancias do capítulo XVIII polo cal cabe a posibilidade de que sexa necesario corrixir as desviacións mediante enderezamento.

Para iso utilizaranse prensas ou máquinas de rolos para chapas e perfís. Para perfís lixeiros de gran esvelteza pode tamén utilizarse o estiramento.

Se o enderezamento non puiden ser realizado en frío mediante os procedementos indicados realizarase segundo o indicado no número 75.3.4.

75.3.3. Corte

O corte debe realizarse por medio, entre outros, de serra, cizalla ou oxicorte. Sempre que o acabado quede libre de irregularidades e non se produzan endurecementos locais superiores a 380HV10, non será necesario unha mecanización posterior.

O equipamento utilizado no corte debe ser revisado periodicamente de modo que se garanta a magnitude máxima das irregularidades.

Son preferibles os procedementos de serra, plasma e oxicorte automático fronte aos de cizalla e oxicorte manual. Nas clases de execución 4 e 3 non se utilizará este último procedemento a menos que vaia seguido de mecanización. O autor do proxecto ou a dirección facultativa poderán establecer o método de corte a empregar nas clases 2 e 1.

Con autorización expresa da dirección facultativa, a cizalla pode ser utilizada ata grosos de 25 mm, aínda que procederá á mecanización obrigatoria en pezas de calquera grosor de clase de execución 4 e nas de clase 3 de grosor superior a 15 mm. A eliminación de rebarbas e partes danadas é obrigatoria a menos que sexan fundidas nunha operación de soldadura posterior.

Os cortes das chapas e perfís realizaranse de maneira que non queden ángulos entrantes con aresta viva a fin de evitar o efecto de entalla. Os ángulos entrantes redondearanse na súa aresta cun raio mínimo de 5 mm. No caso de estruturas de clase de execución 4 e 3 o raio mínimo será 8 mm.

75.3.4. Conformación

Esta operación pode realizarse por dobradura ou pregamento ata que se obteña a forma requirida tanto en frío como en quente, sempre que as características do material non queden por debaixo das especificadas no proxecto.

Cando se realice o pregamento ou curvatura en frío respectaranse os raios mínimos recomendados en UNE-EN 10025. Caso de non cumprirse as táboas da dita norma e sempre que non se supere na fibra máis traccionada un alongamento igual á cuarta parte do de rotura do material deberase redactar un procedemento específico no que se indique o tratamento térmico a aplicar e as medidas de control oportunas. Non se permite a conformación en quente de aceiros con tratamento termomecánico (UNE-EN 10025-3 e UNE-EN 10025-4), nin tampouco dos temperados, a menos que se cumpran os requisitos de UNE-EN 10025-6:2007+A1.

Para a conformación en quente deberanse seguir as indicacións do subministrador, especialmente no caso de aceiros de gran fino. A duración e velocidade tanto do traballo mecánico como do arrefriamento deben ser adecuadas para evitar a deterioración da tenacidade e resistencia do aceiro. En particular, prohíbese calquera manipulación no intervalo de cor azul (de 250 °C a 380 °C). A operación de pregamento ou curvatura levarase a cabo a temperatura de roxo cereixa claro (de 950 °C a 1050 °C) e interromperase se baixa a roxo sombra (arredor de 700 °C.) A determinación da temperatura de traballo deberá ser constatada de forma eficaz.

Observando as limitacións anteriores pode realizarse a corrección de forma mediante a aplicación controlada de calor por soprete.

Calquera proceso de conformación será obxecto dun procedemento elaborado polo construtor, que deberá ser aprobado pola dirección facultativa. Esta poderá establecer os ensaios ou procedementos de control oportunos para garantir a adecuación do proceso, especialmente se se recorre á aplicación de calor por soprete en estruturas de clase de execución 3 e 4.

75.3.5. Perforación

Os orificios para parafusos poden realizarse mediante tradeadura ou punzonadura. A perforación pode facerse a diámetro definitivo ou a diámetro reducido en 2 mm, mediante un escareado posterior.

Só se admite a punzonadura a diámetro definitivo no caso de que non se dean cargas de fatiga. O grosor do material será inferior a 25 mm e o diámetro do orificio non superará o dito grosor.

En pezas sometidas a cargas de fatiga, clase de execución 4, os orificios executaranse con trade.

Cando se trate de orificios para parafusos de cabeza abelanada o ángulo de abelanadura debe ser idéntico ao da cabeza daqueles.

Os orificios abertos poderán ser punzonados dunha vez ou ben tradeados con dous orificios, pero requiren un posterior acabado para asegurar o desprazamento do parafuso ao longo do óvalo no caso de que se prevea o dito corremento; ademais mecanizarse.

Sempre que sexa posible, recoméndase tradear á vez os orificios das dúas pezas dunha mesma unión.

As rebarbas deben eliminarse dos orificios antes do armado, excepto cando os orificios están tradeados nunha soa operación a través dos elementos unidos firmemente entre si que non necesitan separarse despois da tradeadura.

O prego de prescricións técnicas particulares debe indicar se a estrutura pertence total ou parcialmente a algunha clase de execución das sinaladas no número 6.2, como de fabricación máis coidadosa. Nese caso deberanse corrixir os bordos de orificios que alcancen unha dureza local superior a 380HV10 para as clases 4 e 3.

75.4. Ensamblaxe previa en taller

Esta operación consiste en presentar os elementos elaborados en taller e proceder á súa ensamblaxe previa á montaxe en obra. Deberase obter unha coincidencia de unións dentro das tolerancias aplicables do artigo 80, sen forzar ou danar os elementos.

Deberase comprobar o axuste das superficies de apoio por contacto en canto a dimensións, ortogonalidade e planeidade.

Cumprindo as tolerancias aplicables é aceptable utilizar a mecanización por serra das superficies de contacto.

Os orificios desaliñados ou non coincidentes pódense corrixir mediante escareado se caen dentro dos límites definidos no número 76.2; en caso contrario, rexeitaranse os elementos afectados. Para evitar estes inconvenientes recoméndase o uso de modelos patrón ou a tradeadura conxunta.

En unións con soldaduras a tope deberase comprobar que as tolerancias xeométricas entre as preparacións de bordo están dentro das exixencias aplicables aos tipos de soldadura previstos.

En todas as unións ou pezas provisionais utilizadas no armado en taller se adoptarán as adecuadas medidas de seguridade e se aplicarán os criterios desta instrución coma se se tratase de elementos definitivos a instalar en obra.

Observaranse todos os requisitos relativos a contrafrechas ou axustes previos indicados no prego de prescricións técnicas particulares.

Cando por razóns de espazo non sexa posible a ensamblaxe de certos tramos en taller, poderán elaborarse modelos patrón para conseguir a adecuada ensamblaxe das pezas adxacentes.

Artigo 76 Fixación con elementos mecánicos

76.1. Xeneralidades

Nesta instrución prevense diferentes posibilidades en canto a disposicións construtivas que permiten unha execución razoable e acorde cos requisitos de calidade e seguridade da estrutura en cada caso concreto.

A execución de unións mediante parafusos deberá ter en conta as características específicas do deseño cuxos requisitos se establecen no artigo 58 e as dos materiais utilizados que se conteñen no artigo 29. Polo tanto, os diámetros de orificios, separacións mutuas e a bordos, sistemas de apertamento e estado de superficies, entre outros datos, deben constar no prego de prescricións técnicas particulares e é recomendable que ademais figuren nos planos.

O construtor debe recoñecer a clasificación das unións aparafusadas a realizar, de acordo co número 58.2, de modo que poida elaborar os planos de taller coas disposicións construtivas que permiten cumprir as hipóteses consideradas no cálculo.

76.2. Situación e tamaño dos orificios

O diámetro dos orificios en relación co dos parafusos debe ser apropiado aos principios indicados no número anterior. Para as placas base e de testa que aloxan pernos de ancoraxe en formigón aplícanse outras disposicións non recollidas aquí.

As folguras nominais, que sumadas ao diámetro do parafuso proporcionan o do orificio son:

- a) Orificios redondos normais.
 - 1 mm para parafusos M12 e M14.
 - 2 mm para parafusos M16 a M24.
 - 3 mm para parafusos M27 e maiores.
- b) Orificios redondos sobredimensionados en unións resistentes por rozamento.
 - 3 mm para parafusos M12.
 - 4 mm para parafusos M14 a M22.
 - 6 mm para parafusos M24.
 - 8 mm para parafusos M27 e maiores.
- c) Orificios abertos curtos, sentido lonxitudinal en unións resistentes ao desprazamento normal.
 - 4 mm para parafusos M12 e M14.
 - 6 mm para parafusos M16 a M22.
 - 8 mm para parafusos M24.
 - 10 mm para parafusos M27 e maiores.

Para os orificios abertos, no sentido curto, as folguras serán idénticas ás de orificio redondo.

Os parafusos calibrados colocaranse en orificios cunha folgura de 0,3 mm.

Nas unións resistentes ao desprazamento poden disporse folguras superiores ás indicadas no sentido lonxitudinal sempre que non se supere en dúas veces e media o diámetro nominal do parafuso.

En unións ao exterior os orificios abertos deberán quedar cubertos por tapaxuntas ou arandelas de dimensións adecuadas cuxos orificios serán de folgura normal.

As distancias entre eixes de parafusos e destes aos bordos deberán cumprir cos valores mínimos establecidos no proxecto e tamén cos máximos, especialmente se a unión foi concibida para permitir redistribución plástica de esforzos en parafusos e a súa capacidade está determinada pola resistencia a esmagamento.

76.3. Utilización de parafusos

A menos que figure explicitamente no prego de prescricións técnicas particulares que se considerou o cortante na parte roscada, a lonxitude dos parafusos deberase determinar de maneira que coa suma de grosos de chapas e arandelas o plano de cizalladura quede fóra da parte roscada da espiga.

Nese caso pódense utilizar parafusos roscados ata a cabeza. O anterior non é aplicable aos parafusos calibrados.

Despois do apertamento, a espiga con rosca debe sobresaír da torca ao menos un filete. Nos parafusos sen pretensado tamén debe quedar polo menos un filete ao outro extremo da torca, é dicir, dentro da unión. En parafusos pretensados este último requisito será de catro filetes como mínimo.

Os parafusos non se soldarán a menos que se estableza un procedemento cualificado de soldadura segundo UNE-EN ISO 15609-1 e conste explicitamente no prego de prescricións técnicas particulares.

76.4. Utilización de torcas

As torcas serán adecuadas ao tipo de parafuso utilizado, especialmente no caso de que sexan pretensados de acordo coas táboas do artigo 29.

Deberán poder desprazarse sen dificultade sobre o parafuso previamente á súa instalación. A súa designación debe quedar accesible, de modo que a cara en que conste a súa identificación resulte visible para a posterior inspección.

En estruturas sometidas a vibracións tomaranse medidas especiais para evitar a perda da rosca e a eventual saída do parafuso. Neste caso os parafusos de eixe vertical terán a súa cabeza na parte superior da unión. As torcas de parafusos sen pretensar deberán estar dotadas de contratorcas ou outro medio mecánico eficaz. En parafusos pretensados non é necesario utilizar contratorcas.

Con respecto á soldadura de torcas é de aplicación o indicado para os parafusos no número anterior.

76.5. Utilización de arandelas

Independentemente da súa calidade, os parafusos non pretensados non requiren o emprego de arandelas, a menos que se trate de superficies con recubrimentos de gran grosor, onde haxa que evitar danos locais.

Mediante o uso de arandelas pode lograrse o requisito de manter a parte roscada fóra do orificio en parafusos calibrados, ou ben fóra do plano de cizalladura se así o require o prego de prescricións técnicas particulares para parafusos non pretensados ou pretensados.

En superficies inclinadas utilizaranse arandelas de grosor variable ou en cuña en todos os casos. Para parafusos pretensados é obrigatorio o uso de arandelas baixo a parte que vaia xirar no apertamento, cabeza de parafuso ou torca. É recomendable facer extensivo este requisito á parte fixa, especialmente no suposto indicado anteriormente para os parafusos non pretensados de protexer os recubrimentos. As arandelas planas ou achafranadas a utilizar con parafusos pretensados deberán cumprir con UNE-EN 14399-5 e UNE-EN 14399-6.

Se se empregan arandelas indicadoras do pretensado do parafuso, estas instalaranse cos resaltos en contacto coa parte que non xire no apertamento. En todo caso, observaranse as instrucións do fabricante, que deberán estar detalladas no prego de prescricións técnicas particulares.

76.6. Apertamento de parafusos sen pretensar

Os parafusos de unións non pretensadas apertaranse ata a condición de contacto axustado dos compoñentes arredor da zona de cada parafuso. É admisible que queden folguras locais de 2 mm separadas da zona onde se dispoñen os parafusos. Para non superar ese límite é aconsellable proceder a un apertamento progresivo de parafusos desde os máis interiores cara a fóra.

Non é necesario un valor de par de apertamento determinado para lograr a condición de contacto axustado, considérase que é o correspondente ao proporcionado por un operario utilizando unha chave normal sen prolongador, equivalente ao punto en que unha chave pneumática empeza a impactar.

Cando se supere o límite de folgura de 2 mm ou menos, se así o indica o prego de prescricións técnicas particulares, poden interperse cuñas ou forros, ou ben galgas en forma de peite abarcando aos parafusos.

Nas unións non pretensadas pódese utilizar calquera dos tipos de parafusos indicados no artigo 29. Nesta clase de unións inclúense as placas bases con pernos de ancoraxe en formigón.

76.7. Apertamento de parafusos pretensados

Nas unións con parafusos pretensados soamente se usarán os tipos 8.8 e 10.9 de acordo co artigo 29. Estas unións considéranse resistentes ao desprazamento e sonlles aplicables os requisitos do número correspondente.

A folgura máxima entre superficies de contacto está limitado a 1 mm. Nos casos en que a dita folgura supere ese valor e non alcance un superior a 2 mm en ambientes corrosivos e 4 mm en ambientes interiores, cabe a posibilidade de utilizar o sistema de axuste a base de forros.

O pretensado dos parafusos iníciarase unha vez obtida a condición de contacto axustado e realízase de forma ordenada e progresiva. Salvo indicación contraria do prego de prescricións técnicas particulares, considérase que o esforzo de pretensado que debe obterse na espiga do parafuso é o 70% da resistencia a tracción do parafuso f_{ub} multiplicada pola área resistente A_s :

$$N_0 = 0,7 f_{ub} A_s$$

Táboa 76.7. Esforzo de pretensado mínimo, N_0 (kN)

Diámetro do parafuso (mm)								
	12	16	20	22	24	27	30	36
Tipo de parafuso 8.8	47	88	137	170	198	257	314	458
Tipo de parafuso 10.9	59	110	172	212	247	321	393	572

Este esforzo de pretensado pode obterse con un dos seguintes métodos:

- Chave dinamométrica.
- Arandela con indicación directa de tensión.
- Método combinado.

76.7.1. Método da chave dinamométrica

O par torsor aplicado aos parafusos induce un esforzo de pretensado na espiga do parafuso que depende do diámetro deste e dun coeficiente que resume as características do rozamento entre os compoñentes da parte que xira.

As chaves dinamométricas terán unha precisión que evite un erro superior ao 4% na aplicación do par torsor. Deberán ser verificadas diariamente ao alongamento da montaxe.

Cun estado de subministración de torca e parafuso lixeiramente engraxados o par torsor vale orientativamente:

$$M_t = 0.18 \text{ de } N_0$$

O par torsor será o recomendado polo fabricante do conxunto parafuso e torca, de acordo coa clasificación que establece a norma UNE-EN 14399-1. Será aplicado sen modificar as condicións de subministración (é práctica habitual en parafusaría galvanizada a utilización de lubricantes a base de bisulfuro de molibdeno ou cera de abellas para reducir a magnitude do coeficiente de rozamento interno ata valores similares aos dos parafusos sen galvanizar).

Se non se dispón de tal recomendación procederase seguindo un dos dous procedementos seguintes:

- a) O par torsor determinarase a partir dos denominados valores k , indicados polo fabricante, aplicando as fórmulas do artigo 8.5.2 da norma EN 1090-2.
- b) O par torsor determinarase mediante ensaio segundo anexo H de EN 1090-2.

Para asegurar que se obtén o esforzo N_0 procederase, a partir da condición de contacto axustado cun apertamento progresivo cun mínimo de dúas fases:

- Aplicación do 75% de M_t .
- Apertamento ata completar un 110 % de M_t

Non é aconsellable superar ese valor xa que se o rozamento na rosca é inferior ao indicado pode propiciarse a rotura do parafuso.

Pódese utilizar un valor do par torsor obtido mediante ensaio segundo UNE-EN 14399-2.

76.7.2. Método da arandela con indicación directa de tensión

Este método consiste en utilizar arandelas especiais, de acordo coa norma EN 14399-9, que se dispoñen baixo a parte fixa. Cando se aplica un xiro á parte oposta indúcese un esforzo de pretensado na espiga do parafuso que actúa sobre uns resaltes ou protuberancias existentes na arandela. Ao alcanzar o valor prescrito os ditos resaltes achátanse e prodúcese o contacto directo contra a torca ou cabeza do parafuso eliminándose a folgura que ocupaban.

Deben observarse as indicacións do fabricante e seguir os requisitos do anexo J da norma EN 1090-2 con respecto a planeidade e medias de folgas.

76.7.3. Método combinado

A partir da condición de contacto axustado aplícase un 75% do par torsor. Seguidamente procédese a marcar a posición das torcas e aplícase un xiro complementario dado de acordo con ensaios previos, realizados segundo UNE-EN 14399-2.

Para unións con superficies planas, pode utilizarse a seguinte táboa en función do grosor total, incluíndo arandelas e forros.

Táboa 76.7.3. Xiro complementario en función do grosor da unión

Grosor da unión	Xiro complementario
$t < 2d$	60 graos
$2d \leq t < 6d$	90 graos
$6d \leq t < 10d$	120 graos

76.8. Superficies de contacto en unións resistentes ao desprazamento

Neste tipo de unións o pretensado dos parafusos implica un estado de compresión das superficies unidas que, afectado polo coeficiente de rozamento entre elas, se opón ao desprazamento relativo mutuo. O estado final desas superficies determina o seu coeficiente de rozamento.

No prego de prescricións técnicas particulares debe indicarse cal é a clase de superficie a obter, especialmente se no deseño se utilizan valores altos do coeficiente de rozamento. As superficies deben estar limpas e exentas de graxa. Non é aceptable limpeza con sobrete.

Na táboa adxunta indícanse os tratamentos superficiais e o coeficiente de rozamento respectivo. Nos dous primeiros casos o chorreado ou granallado implica que debe obterse o grao Sa 2 ½ segundo UNE-EN ISO 8504-1.

No caso de que as superficies de contacto non fosen protexidas por unha imprimación en taller e se difira a montaxe delas debe eliminarse a incipiente oxidación, ou calquera outra contaminación, mediante un cepillo de pugas de aceiro suave.

Táboa 76.8. Valores do coeficiente de rozamento en función do tratamento superficial

Clase	Tratamento	Coeficiente μ
A	A1- Chorreado ou granallado sen picaduras de corrosión.	0,50
	A2 - Chorreado ou granallado e metalizado por pulverización con aluminio.	0,50
	A3 - Chorreado ou granallado metalizados por pulverización A base de zinc, con ensaio de desprazamento.	0,50
B	Chorreado ou granallado con imprimación de pintura de silicato alcalino de zinc ata un grosor de 80 micras.	0,40
C	Limpeza por cepillado ou flamexadura con eliminación de toda a cascarilla ou ferruxe.	0,30
D	Sen tratamento.	0,20

No caso de superficies de contacto de aceiro galvanizado con tratamento superficial de cepillado con cepillo de arame considerárase clase C. As superficies galvanizadas sen tratamento son de clase D.

En casos non recollidos nesta táboa, ou para afinar o deseño, pode recorrerse á determinación mediante ensaio, seguindo as directrices do anexo G da norma EN 1090-2.

76.9. Fixacións especiais.

Dentro deste número inclúense os elementos de unión de estrutura de aceiro a formigón nas súas tres modalidades:

- Pernos embebidos en formigón.
- Pernos ancorados en trades recheas de argamasa.
- Pernos ancorados mecanicamente, tipo expansión ou cuña.

Ademais de cumprir os requisitos propios de ancoraxe por adherencia ou forma deberán satisfacer todos os requisitos propios de parafusos desta instrución, de acordo co seu material e montaxe, excepto os que fan referencia a diámetros de orificios.

Outros sistemas ou métodos de unión non recollidos nesta instrución poderán ser utilizados se así figura no prego de prescricións técnicas particulares cando se dispoña de suficiente experiencia e estean amparados por outras normas e sempre baixo a responsabilidade do autor do proxecto ou a dirección facultativa.

76.10. Utilización de tipos especiais de parafusos

76.10.1. Parafusos de cabeza abelanada

Os parafusos de cabeza abelanada deben quedar con esta a nivel coa superficie da chapa máis exterior. Poden utilizarse pretensados ou sen pretensar e sonlles aplicables todos os números anteriores.

As dimensións do abelanado e as súas tolerancias deben ser detalladas en cada caso. A profundidade do abelanado será 2 mm menor que o grosor nominal da chapa externa.

Caso de que esta operación afecte máis de dúas chapas, aquela deberá ser executada con ambas firmemente unidas.

76.10.2. Parafusos calibrados e bulóns

Os parafusos calibrados e os bulóns ou pasadores en rótulas ou articulacións considéranse tipos especiais de parafusos nesta instrución.

As súas características mecánicas deben cumprir o número 29.2 e a súa tolerancia será a correspondente á clase H13 de UNE-EN 20286-2 (ISO 286-2) para a espiga.

Os orificios executaranse cunha pretrade de 3 mm menos e escareados a diámetro definitivo cando se realicen in situ. Se se trata dunha unión con varias chapas estas deben ser escareadas de forma simultánea cunha firme suxeición durante a operación. O escareado debe realizarse cun fuso fixo.

A tolerancia para parafusos calibrados e bulóns en orificios será de clase H11 segundo UNE-EN 20286-2 (ISO 286-2). Se un bulón ou pasador non require a condición de calibrado, aplicaráselle a folgura definida no número 76.2.

A rosca non quedará incluída no interior da unión no caso de parafusos calibrados. Nos bulóns ou pasadores non é obrigatorio este requisito pero evitarase que exista zona roscada nos planos de cizalladura.

A instalación realizarase cun lixeiro golpeo e sen danar a rosca.

76.10.3. Parafusos de inxección

Os parafusos de inxección son tipos especiais de parafusos que dispoñen dunha perforación en cabeza por onde se inxecta resina para reencher toda a folgura existente entre a súa espiga e o orificio.

Son adecuados para substituír remaches ou outros parafusos sen modificar o orificio existente. Coa inxección de resina proporciónase resistencia ao esmagamento. Poden ser utilizados pretensados ou non.

A súa utilización será conforme o establecido no anexo J de EN 1090-2.

Artigo 77 Soldadura

77.1. Introducción

Os requisitos de calidade para a soldadura que se deben aplicar en cada clase de execución segundo UNE-EN ISO 3834 serán os recollidos na táboa 77.1.

Táboa 77.1. Requisitos de calidade para a soldadura en función da clase de execución

Clase de execución 1	Parte 4, requisitos elementais
Clase de execución 2	Parte 3, requisitos estándar
Clases de execución 3 e 4	Parte 2, requisitos completos

77.2. Plan de soldadura

Deberase dispor dun plan de soldadura aplicable aos aceiros definidos no capítulo VI que incluíra precaucións adecuadas fronte ao risco de rotura laminar en caso de que se transmitan tensións de tracción no sentido perpendicular ao grosor do material.

O plan de soldadura incluíra os aspectos seguintes que sexan pertinentes:

- Detalle da unión.
- Tamaño e tipo da unión.
- Especificacións tales como tipo de electrodo e prequentamento.
- Secuencia de soldadura, limitacións á soldadura descontínua ou comprobacións intermedias.
- Calquera xiro ou volteo da peza necesarias para a soldadura.
- Detalle de fixacións provisionais.
- Disposicións fronte a rotura laminar.
- Referencia ao plan de inspección e ensaios.
- Todos os requisitos para identificación de soldaduras.

77.3. Proceso de soldadura

Todo proceso de soldadura a aplicar ás unións deberá estar incluído entre a seguinte relación e ser acorde coa definición indicada en UNE-EN ISO 4063.

111. Soldadura por arco con electrodo revestido.
114. Soldadura por arco con arame tubular autoprotexido.
121. Soldadura por arco somerxido con arame electrodo macizo.
122. Soldadura por arco somerxido con banda electrodo.

- 131. Soldadura por arco con arame electrodo macizo e gas inerte; soldadura MIG.
- 135. Soldadura por arco con arame electrodo macizo e gas activo; soldadura MAG.
- 136. Soldadura por arco con arame tubular recheo de fundente e protección de gas activo; soldadura MAG.
- 141. Soldadura por arco con gas inerte e electrodo consumible macizo; soldadura TIG.
- 783. Soldadura de espárragos por arco inducido con férula cerámica ou gas de protección.
- 784. Soldadura de espárragos por arco inducido de ciclo curto.

Calquera outro procedemento deberá constar explicitamente no prego de prescricións técnicas.

77.4. Cualificación do proceso de soldadura

77.4.1. Procedemento de soldadura

A soldadura deberá executarse de acordo cun procedemento cualificado segundo UNE-EN ISO 15609-1. O método para cualificar o dito procedemento será calquera dos establecidos nas diferentes partes de UNE-EN ISO 15609-1, a menos que o prego de prescricións técnicas particulares especifique algún método diferente que, en todo caso, deberá detallar. Se o prego de prescricións técnicas así o indica, procederase á cualificación do procedemento de soldadura por medio de ensaios previos de acordo con UNE-EN ISO 15614-1.

Para procesos automáticos con chapas que levan incorporada a imprimación de taller e para soldadura con penetración profunda realizada nunha soa pasada é obrigatoria a citada cualificación mediante ensaio previo á produción. No caso de chapas con imprimación deben realizarse co maior grosor de capa aceptado. Se un procedemento cualificado mediante ensaio non foi utilizado durante un periodo superior a tres anos deberá procederse a inspeccionar unha mostra a escala real dunha proba de produción para aceptar o dito procedemento.

Cando se utilicen electrodos de gran penetración ou cando se solde por ambas as caras sen toma de raíz deberá ensaiarse unha probeta mediante ensaio destrutivo cada seis meses ademais do preceptivo ensaio de cualificación do procedemento.

77.4.2. Cualificación de soldadores

Os soldadores deberán estar cualificados segundo UNE-EN 287-1; en particular, os soldadores que executen cordóns en ángulo deberán ter sido cualificados mediante ensaios adecuados de cordóns en ángulo.

A documentación acreditativa da cualificación por exame dos soldadores deberá archivarase e quedar dispoñible para verificación. A devandita cualificación acorde con UNE-EN 287-1, ou segundo EN 1418 para operadores de soldadura, deberá estar certificada por un organismo acreditado a xuízo da dirección facultativa.

77.4.3. Coordinación da soldadura

Para asegurar que se dedica unha atención apropiada ao proceso de soldadura deberá contarse cun especialista, denominado coordinador de soldadura, mentres duren as actividades relacionadas con el nas estruturas correspondentes a clases 4, 3 e 2.

O coordinador de soldadura debe ter capacitación profesional e experiencia acorde co proceso de soldadura do que é responsable, segundo indica UNE-EN ISO 14731.

77.5. Preparación e execución da soldadura

77.5.1. Preparación de bordos

A preparación de bordos das pezas a unir con soldadura a tope ten por obxecto asegurar a penetración completa adaptándose ás diferentes condicións de tipo técnico e económico existentes en cada caso concreto. A superficie das pezas e os bordos propiamente ditos estarán exentos de fisuras e entalladuras visibles.

As superficies a soldar estarán secas e libres de calquera material que poida afectar negativamente a calidade da soldadura. A imprimación pode admitirse se o procedemento de soldadura foi cualificado con ela.

A preparación de bordos forma parte do proceso de soldadura. A elección do tipo adecuado é responsabilidade do coordinador de soldadura. En UNE-EN ISO 9692-1 indícanse os tipos máis recomendables para varios procesos.

As desviacións de forma e axuste entre caras deben ser inferiores ás admisibles indicadas no proceso de soldadura particular. Calquera corrección de defecto debido a entalladura ou erro na xeometría da xunta mediante recarga de soldadura debe estar pervista no proceso de soldadura. En todo caso, a zona afectada debe ser puída quedando a súa superficie lisa e a nivel co resto da peza. En clases de execución 3 e 4 debe puírse sempre a superficie de corte.

77.5.2. Almacenamento de consumibles

O material de achega, electrodos ou fío deberá ser almacenado e manipulado de acordo coas instrucións do fabricante, especialmente os de revestimento básico susceptibles de deterioración pola humidade. Calquera defecto ou dano en forma de fisuración ou escamación do revestimento de oxidación do fío implicará o rexeitamento. UNE-EN ISO 3834 inclúe un punto no que desenvolve a actividade de almacenamento de consumibles e material base.

77.5.3. Protección contra a intemperie

Tanto as pezas a soldar como o soldador deberán estar protexidos do vento, neve e chuva, especialmente cando o proceso de soldadura se realice con protección de gas. En xeral, é recomendable que todas as actividades de soldadura se leven a cabo en taller. As superficies a soldar deben manterse secas e libres de condensación.

77.5.4. Montaxe para a soldadura

As pezas a soldar deberán estar aliñadas e correctamente posicionadas mantendo a súa inmovilidade durante a soldadura. Para iso poden utilizarse soldaduras de punteo entre elas ou ben dispositivos externos tales como modelos patrón ou gálibos de armados con medios adecuados de fixación.

Deberase ter en conta a contracción lonxitudinal e transversal que experimentan as soldaduras durante o arrefriamento. Para tal fin, a citada posición relativa inicial entre pezas debe ser tal que o resultado final cumpra coas tolerancias dimensionais do capítulo XVIII. En todo caso, pode recorrerse ao enderezamento que se indica no número 77.5.13.

Para a fixación durante a montaxe debe evitarse a unión aos gálibos de armado ou outras pezas exteriores mediante soldadura de punteo xa que pode dar lugar a tensións residuais por deformación coartada durante o arrefriamento. Non deben realizarse soldaduras adicionais, tradeaduras ou rebaixas que non estean definidos nos planos.

O feito de facer compatible as tolerancias dimensionais co plan de soldadura de conxuntos de elementos pode obrigar a establecer secuencias de execución nas que algunhas barras de arriostados ou secundarias sexan montadas en último lugar.

77.5.5. Prequentamento

O prequentamento das superficies dos elementos a unir ten por obxecto modificar o tempo de arrefriamento de modo que se reduza a probabilidade de formación de compoñentes fráxiles no material de chegada e na zona afectada pola calor do material base. O prequentamento pode resultar necesario con grandes grosores ou con aceiros de alto contido de carbono equivalente. En todo caso deberá constar como parte do plan de soldadura, se así se require. A súa definición será responsabilidade do coordinador de soldadura.

A extensión do prequentamento alcanzará polo menos 75 mm a cada lado dos elementos a unir. Tamén se debe considerar a conveniencia do prequentamento nas unións de soldaduras de punteo e provisionais especialmente no caso de elementos de grosores moi diferentes entre si.

O valor 380HV10 de dureza superficial na zona afectada pola calor é un límite superior por encima do cal se incrementa o risco de rotura fráxil. Nos ensaios de procesos de soldadura hai que evitar ese valor. Nalgúns procesos, como o 783 "Soldadura de espárragos por arco inducido con férula cerámica ou gas de protección" e o 784 "Soldadura de espárragos por arco inducido de ciclo curto" da norma UNE-EN ISO 4063, pode superarse ese valor, se así se fai constar no prego de prescricións técnicas particulares.

77.5.6. Unións temporais

Se por facilidade construtiva ou de montaxe é necesario recorrer a unións provisionais mediante soldaduras de punteo, estas situaranse de modo que poidan ser eliminadas posteriormente sen danar a peza definitiva.

Todas as soldaduras de unións provisionais se executarán de acordo con instrucións específicas. No caso de que deban ser eliminadas mediante corte ou cicelado, a superficie do metal base debe quedar lisa.

Unha vez eliminadas as unións provisionais deberá procederse á inspección das zonas afectadas para garantir a inexistencia de defectos.

Esta última precaución será especialmente necesaria no caso de estruturas sometidas a cargas de fatiga. Neste caso é obrigatoria a eliminación das unións provisionais en estruturas de clase 4 e 3.

77.5.7. Soldaduras de punteo

Como medio de fixación de elementos entre si para manter a posición durante a soldadura pódense utilizar este tipo de soldaduras. A lonxitude mínima debe ser o menor valor entre catro veces o grosor da parte máis grosa e 50 mm.

En procesos automáticos as condicións de execución destas soldaduras estarán previstas no procedemento de soldadura. Se fosen formar parte dunha soldadura definitiva a súa forma será a apropiada para tal fin. Nos procedementos manuais, os soldadores que executen este tipo de soldaduras tamén deberán estar cualificados segundo se indica en 77.4.2, a menos que non queden englobados na soldadura definitiva.

Nese caso as ditas soldaduras deberán ser eliminadas.

77.5.8. Soldaduras en ángulo

Os elementos a unir mediante cordóns de soldadura en ángulo deberán estar en contacto o máis estreito posible.

O grosor de garganta e a lonxitude do cordón non deberán ser inferiores aos indicados no proxecto tendo en conta o uso de electrodos de gran penetración ou o caso de penetración parcial segundo sexa o detalle indicado.

77.5.9. Soldaduras a tope

77.5.9.1. Xeneralidades

O acabado da superficie de cordóns de soldaduras a tope debe ser tal que garanta unha soldadura sa que manteña o grosor de garganta considerado.

O prego de prescricións técnicas particulares debe indicar cando é necesario recorrer a pezas adicionais de prolongación do cordón para garantir que no extremo exterior dun cordón se mantén o grosor de garganta evitando os cráteres producidos polo cebado e o corte de aceiro. Estas pezas adicionais pódense utilizar para eventuais ensaios destrutivos.

Unha vez executadas as soldaduras tanto as pezas adicionais de prolongación como calquera outro elemento complementario serán eliminadas.

Se se require unha superficie lisa deberá eliminarse calquera sobre-grosor ou bombeo no acabado da superficie dos cordóns a tope. Isto pode resultar necesario por motivos estéticos ou para atenuar o efecto de cargas de fatiga.

77.5.9.2. Soldaduras por un só lado

As soldaduras de penetración completa por unha soa cara poden realizarse indistintamente con ou sen chapa dorsal (chapa de respaldo). A dita chapa dorsal pode consistir nunha placa de respaldo permanente só en caso de que o prego de prescricións técnicas particulares así o permita e os requisitos correspondentes consten no proceso de soldadura homologado para o efecto.

A chapa dorsal debe estar fixada estreitamente ao metal base e debe ser continua ao longo do cordón de soldadura. No caso de que a chapa dorsal sexa de cobre deberá quitarse ao final da soldadura tendo a precaución ao longo dela de non cebar o arco nela para que non se produzan inclusións de cobre que poidan inducir fisuras.

As soldaduras con só unha cara accesible realizadas con chapa dorsal teñen o inconveniente de que poden producirse efectos de entalladura na zona da raíz polo que non son aptas para cargas de fatiga. Aínda que a soldadura se efectúe por unha soa cara, como nas preparacións de bordo en V e U, é recomendable depositar un cordón dorsal de raíz (cordón de respaldo) previo saneamento dela.

77.5.9.3. Toma de raíz

En todas as soldaduras a tope en clases de execución 4 e 3 de penetración completa con caras accesibles deberá sanearse a raíz antes de depositar o cordón de cerramento ou o primeiro cordón da cara dorsal. Este saneamento poderá ser realizado utilizando o rañurado por arco-aire sobrete ou burilado con útiles redondeados e esmerilado.

Deberá practicarse ata a suficiente profundidade para garantir a penetración dentro do metal san de achega depositado previamente. O saneamento debe conseguir un contorno en forma de U coas súas caras facilmente accesibles para o cordón de toma de raíz.

77.5.10. Soldaduras de rañura

As soldaduras de rañura utilízanse para unir chapas mediante cordóns en ángulo depositados nos bordos de ollais practicados na máis exterior. A disposición e dimensións dos ditos ollais deberán figurar nos planos do proxecto.

A forma das rañuras pode ser cadrada, ovalada ou circular. O largo recomendable non debe ser superior a dúas veces o grosor da chapa nin superior a sete veces o dito grosor coa limitación razoable en canto a número de ollais, separacións mutuas e aos bordos que permita unha fácil execución da soldadura.

Non é recomendable utilizar este tipo de unión en estruturas sometidas a cargas dinámicas ou de fatiga (clases 4 e 3).

A menos que o indique explicitamente o prego de prescricións técnicas particulares, non debe reencherse con soldadura todo o oco libre despois de realizado o cordón en ángulo do contorno. Este tipo de remate denominado soldadura de tapón é, se cabe, máis prexudicial fronte a cargas dinámicas ou de fatiga e soamente debe realizarse logo de inspeccionar o cordón en ángulo do contorno.

77.5.11. Soldadura de conectadores

Os conectadores (espárragos) cumprirán a UNE-EN ISO 13918 e situaranse en zonas libres de ferruxe, cascarilla de laminación e graxa e caso de que a superficie estea pintada levantarase e eliminarse completamente a menos que o procedemento de soldadura fose cualificado con ese sistema de protección particular.

Os conectadores poden soldarse a través de chapa perfilada de aceiro conformada en frío nas vigas cumprindo os seguintes requisitos:

- As chapas perfiladas non galvanizadas terán un grosor nominal inferior a 1,5 mm.
- As chapas perfiladas galvanizadas terán un grosor nominal inferior a 1,25 mm e un grosor nominal de galvanizado en cada cara non superior a 30 micras.
- As zonas onde se solden os conectadores, mesmo baixo chapas perfiladas e entre elas, deben estar secas e libres de eventuais condensacións.
- As chapas deben estar nun contacto o máis estreito posible coas vigas no momento da soldadura. O procedemento de soldadura deberá estar cualificado para unha folgura límite máxima. Non son aceptables folguras que superen 2 mm en ningún caso.
- A menos que o procedemento de soldadura prevexa esa opción, non se aceptará practicar a soldadura en zonas de solapamento de chapas ou afectando o bordo dunha delas.
- Os conectadores situaranse concentrados no seo dunha chapa ou ben alternativamente a cada lado se no centro do seo discorre un pequeno nervio rixidizador.

77.5.12. Tratamento post-soldadura

En estruturas sometidas a cargas de fatiga pode resultar vantaxoso aplicar procedementos de atenuación de tensións residuais mediante tratamentos térmicos. Nese caso o construtor deberá demostrar no plan de soldadura que o tratamento proposto está de acordo co prego de prescricións técnicas particulares.

77.5.13. Enderezamento

Para cumprir coas tolerancias ou por motivos estéticos pode recorrerse a corrixir as distorsións, tanto en frío mediante prensa ou máquinas de rolo, como en quente con chama por medio de aplicación local de calor. Neste caso deberase establecer previamente a temperatura máxima que alcanzará o aceiro e o procedemento de arrefriamento.

77.5.14. Execución en taller de soldaduras.

Debe evitarse a proxección de chispas erráticas por cebado do arco e en caso de que se produza nas clases 4 e 3 debe puírse a superficie afectada e inspeccionala. Así mesmo, deberá evitarse a proxección e salpicaduras de soldadura e eliminalas en caso de que se produzan. En cada pasada deben eliminarse a escoura e os defectos que se aprecien na superficie antes de proceder á seguinte.

No plan de soldadura débese recoller como proceder para reparar soldaduras defectuosas e o rectificando e puidura de acabado superficial das soldaduras.

77.6. Criterios de aceptación de soldaduras

Os elementos constituídos por soldaduras deben cumprir os requisitos de tolerancias indicados no artigo 80.

A menos que o prego de prescricións técnicas particulares indique outra cosa, os criterios de aceptación de soldaduras basearanse en UNE-EN ISO 5817. Os niveis de calidade da dita norma son D (moderado), C (intermedio) e B (elevado) e dependen da gravidade e extensión dos defectos detectados. Para cada clase de execución establécense os seguintes niveis, recollidos na táboa 77.6.a.

Táboa 77.6.a. Niveis de calidade das soldaduras para as diferentes clases de execución

Clase 1	Nivel D
Clase 2	Nivel C, en xeral, e nivel D para os defectos de mordedura (5011, 5012), solapamento (506), cebado do arco (601) e rechupe de cráter aberto (2025)
Clase 3	Nivel B
Clase 4	Nivel B e requisitos complementarios

Os requisitos complementarios para a clase 4 de execución indícanse na táboa 77.6.b; débense ao feito de que para esta clase de execución é necesario ter en conta aspectos relacionados coa fatiga. Para tableiros de ponte debe aplicarse ademais un conxunto de requisitos máis severos, tanto nas soldaduras executadas en taller como en obra. En EN 1090-2 establécense os ditos requisitos.

Táboa 77.6.b. Requisitos complementarios para a clase de execución 4

Tipo de defecto	Límite do defecto
Mordedura (5011 e 5012)	Non permitido
Exceso de sobregrosor (502)	< 2 mm
Ángulo de sobregrosor (505)	< 165°
Poros internos ou sopraduras (2011 a 2014)	< 0,1 do grosor de garganta; máx. 2 mm
Inclusión sólida (300)	Largo inferior a 0,1 do grosor de garganta; máx. 1 mm Longo inferior ao grosor de garganta; máx. 10 mm
Falta de aliñamento (507)	< 0,05 t; máx. 2 mm
Rechupe de raíz (515)	Non permitido

No caso de que se supere algunha das anteriores limitacións, deberase proceder a unha avaliación particular. Terase en conta a función e nivel tensional do elemento afectado e as características do defecto (tipo, tamaño, situación) para decidir se a soldadura pode ser aceptada ou ben hai que proceder á súa reparación. Pode recorrerse a unha avaliación mediante cálculo para xulgar a aceptación dun defecto.

CAPÍTULO XVII

EXECUCIÓN EN OBRA

Artigo 78 Montaxe

78.1. Condicións da localización

O montaxe da estrutura comezará cando se cumpran os requisitos do plan de seguridade, que entre outros debe considerar os seguintes aspectos:

- Zonas de aparcamento para vehículos, maquinaria en xeral e almacenamentos.
- Acceso e circulación no interior da obra.
- Instalación de guindastres fixos.
- Preparación do terreo de localización en canto a condicións de solo, drenaxe superficial e estabilidade de noiros, se procede.
- Comprobación de servizos afectados, incluíndo condutos subterráneos, cables aéreos ou calquera outro condicionante físico.
- Comprobación de que as pezas de maiores dimensións e peso poden ser subministradas a pé de obra.
- Zonas contiguas afectadas pola montaxe.
- Condicións climáticas e ambientais.
- Comprobación das condicións do terreo que permitan prever ou corrixir eventuais movementos, tales como asentos de bases de piares ou xiro de paramentos de muros durante a execución da obra.

As actividades previas ou posteriores á montaxe deben dispor así mesmo dun plan de seguridade compatible, sexa cal sexa a súa natureza (escavación, formigonado, acabamentos, cubrición, sollados, instalacións, etc). A coordinación entre as diferentes actividades deberá ter en conta especialmente:

- A dispoñibilidade de servizos comúns.
- O valor de cargas de construción nas distintas fases da obra incluíndo zona de posibles almacenamentos.
- As fases de formigonado en forxados.

O programa de montaxe elaborarao o construtor e deberá ser aprobado pola dirección facultativa antes do inicio dos traballos. Non obstante, o prego de prescricións técnicas particulares deberá incluír un método de montaxe preliminar adecuado ás características resistentes da estrutura nas súas distintas fases que servirá de orientación ao construtor para a redacción do programa de montaxe definitivo.

Este programa preliminar deberá ter en conta:

- A situación de nós e empalmes.
- Lonxitudes máximas de barras.
- A secuencia de montaxe.
- A estabilidade provisional, incluíndo apeos e arriostamentos.
- Condicións para a retirada de apeos e arriostamentos.
- Pezas con reducida estabilidade lateral e fronte a torsión durante a montaxe que requiren izado e manipulación especial.
- Execución de bases de piares e apoios en canto a retacado con argamasa de placas base.
- Contrafrechas e axustes en xuntas de dilatación.
- A utilización de chapa perfilada como contribución á estabilidade.
- A posibilidade de que as cargas de execución superen as correspondentes ao deseño.

Na redacción do programa de montaxe definitivo, o construtor pode modificar as indicacións do programa preliminar e introducir outros métodos ou sistemas non previstos nel, sempre e cando se xustifique mediante cálculo ou referencias de obra similares ante a dirección facultativa. En todo caso, deberase asegurar a compatibilidade co resto de prescricións do prego de prescricións técnicas particulares e a ausencia de desviacións económicas sobre o orzamento que implica a adopción de tal programa.

No programa, ademais dos requisitos xa enumerados anteriormente, detallaranse os puntos seguintes:

- Descrición de fases, con tempos de actividade e datas a orixe de inicio e final de cada unha, incluíndo a necesaria coordinación coa elaboración en taller e o transporte a obra.
- Equipamento en cada fase, incluíndo guindastres.
- Persoal, especificando a súa cualificación profesional.

- Precaucións especiais fronte ás condicións climáticas que poden darse durante a montaxe.

Este documento deberá ser coherente co plan de seguridade e hixiene. Deberá incluír a montaxe en branco realizada en taller para asegurar a ensamblaxe de pezas se así está previsto e calquera elemento construtivo auxiliar necesario para a montaxe, como cimbras, apeos ou arriostados provisionais.

78.3. Soportes

78.3.1. Implantación e colocación

Todas as cimentacións, tanto zapatas como lousas ou macizos de apoio, deben ter sido inspeccionadas previamente, incluíndo os pernos de ancoraxe embebidos nelas, para garantir que a súa posición e aliñamentos están de acordo cos planos.

É recomendable que os pernos embebidos estean dotados dunha certa liberdade que permita un lixeiro desprazamento deles para facilitar a súa inserción nas placas base de soportes. Para tal efecto, poden disporse encaixamentos ou manguitos na parte superior da cimentación de largo tres veces superior ao diámetro dos pernos que aloxen.

Debe coidarse que a posición ao longo da montaxe dos soportes non sufra modificacións que excedan as tolerancias (ver artigo 80).

Tanto os propios pernos de ancoraxe como as forras ou cuñas de nivelación de placas base deben ser capaces de soportar a estrutura montada, previamente ao retacado con argamasa de nivelación. No caso de que os elementos provisionais queden embebidos, debe asegurarse que dispoñen dunha durabilidade igual á da estrutura e de que quedan cun recubrimento mínimo de 25 mm.

78.3.2. Formigonado

O formigonado do espazo entre a placa base e o cemento debe efectuarse con cemento ou con argamasas especiais sen retracción. É recomendable que o grosor mínimo sexa de 25 mm e así mesmo que permita o recheo facilmente e poida ofrecer espazo suficiente para colocar e manipular as cuñas ou torcas inferiores de nivelación.

O recheo de argamasa debe realizarse o antes posible unha vez que os piares e vigas inmediatas superiores estean correctamente en vertical e aliñados. O material non debe mesturarse ou utilizarse con temperaturas inferiores a 0° C salvo instrución do seu fabricante. En todo caso, debe obterse unha fluidez adecuada para reencher completamente todo o espazo.

Previamente terase eliminado calquera resto de graxa, xeo ou sucidade. Nas placas base cuxa dimensión mínima supere 400 mm é recomendable dispor orificios de venteo de 50 mm para facilitar a penetración do produto.

No caso de soportes encastrados en zapatas con receptáculos tipo cáliz, o formigón ou argamasa de recheo debe ser dunha resistencia característica non inferior á do cemento. Na colocación inicial o formigonado debe cubrir dous terzos da lonxitude de encastramento. Non se deberá someter a ningunha carga adicional ata que o formigón non alcance a metade da súa resistencia característica. A execución definitiva completárase co formigonado do último terzo.

78.4. Execución da montaxe

78.4.1. Planos de montaxe

Os planos de montaxe da estrutura elaboraranse a partir dos planos de taller. Neles deberá constar as plantas e alzados a unha escala tal que poidan apreciarse as marcas de montaxe identificadoras de cada elemento.

Nos planos de montaxe indicaranse os elementos e as súas unións así como calquera tolerancia especial. Os planos correspondentes á cimentación deben detallar a posición e orientación das placas base e de calquera outro elemento en contacto directo co formigón.

Deberán constar as cotas de cada planta. Nas placas base constarán o número, tipo, diámetro e posición dos pernos de ancoraxe, así como a folgura a reencher con argamasa de nivelación.

Calquera elemento provisional, como arriostados, escaleiras de obra ou accesos temporais, deberá estar incluído nos planos de montaxe.

Os planos de montaxe deben indicar o peso e centro de gravidade de calquera elemento ou subconxunto estrutural que supere 50 kN.

78.4.2. Marcación

Os métodos de marcación cumprirán o establecido no número 75.3.1. Naqueles casos en que non se deduza a súa orientación ou poida inducir a erro provocando unha inversión de esforzos na peza ou subconxunto estrutural deberase marcar a orientación neles (interior/exterior; arriba/abaixo; superior/inferior; etc).

En producións seriadas, con compoñentes idénticos en todos os aspectos, pódese repetir a marca de montaxe.

78.4.3. Manipulación e almacenamento en montaxe

A manipulación e almacenamento en obra debe realizarse de maneira que se minimice o risco de dano aos elementos. Deberase prestar especial atención ao lingado nas operacións de descarga e izado.

Deberán repararse os danos que poida sufrir calquera elemento que afecte as súas tolerancias, acabamento de protección ou as súas unións.

A parafusaría, elementos de fixación, cubrición e auxiliares deberán estar embalados e identificados adecuadamente.

78.4.4. Montaxe de proba

En estruturas complexas, ou ben cando se desexe asegurar unha correcta e axustada montaxe en obra, o prego de prescricións técnicas particulares pode exixir a realización de montaxes en branco en taller de acordo co número 75.4. No programa de montaxe definitivo que se indica no número 78.2 o construtor poderá incluír a montaxe en branco para avaliar o tempo ou duración de operacións de montaxe complicadas.

78.4.5. Métodos de montaxe

A montaxe da estrutura realizarase de acordo coas indicacións contidas no programa de montaxe indicado en 78.2. Ao longo de todo o proceso deberá estar garantida a resistencia e estabilidade da obra.

En edificios é recomendable iniciar a montaxe por núcleos ríxidos que fagan intranslacional todo o conxunto, conferindo estabilidade ás pezas que se montan posteriormente.

Os pernos de ancoraxe en base de piares non encastrados non deben considerarse eficaces para evitar a envorcadura a menos que se comprobe mediante cálculo.

Debe preverse o efecto das cargas de execución incluíndo peso de persoal e equipamento durante a montaxe así como a acción do vento sobre a estrutura non completa.

Os arriostamentos ou rixidización provisional deberán manterse ata que a montaxe estea o suficientemente avanzada, de modo que poidan ser retirados sen comprometer a seguridade.

Cabe a posibilidade en edificios ou estruturas de gran altura que sexa necesario liberar os arriostamentos do efecto das cargas gravitatorias a medida que avanza a construción. Nestes casos, que deben estar explicitamente indicados no prego de prescricións técnicas particulares e considerados no cálculo da estrutura, poderá procederse liberando cada vez unicamente un recadro e recorrendo a outro arriostado provisional alternativo se é necesario.

Ás unións dos elementos provisionais de montaxe éelles aplicable o prego de prescricións técnicas particulares. Tales unións deben realizarse de forma que non limiten nin a resistencia nin a capacidade de servizo da estrutura definitiva.

En caso de que a montaxe implique a rodadura, ou outro tipo de translación da estrutura ou de parte dela, ata a súa posición definitiva deberán tomarse as medidas pertinentes para conseguir a freada controlada dela e preferiblemente para poder actuar no sentido de inverter a dirección do desprazamento se é necesario.

As ancoraxes provisionais deberán estar aseguradas contra calquera posible afrouxamento involuntario.

O construtor será responsable de que ningunha parte da estrutura sexa sobretensionada ou distorsionada por almacenamento de materiais ou cargas de montaxe ao longo da construción.

78.4.6. Aliñamentos

Cada parte da estrutura debe quedar aliñada, nivelada e axustada tan pronto como sexa posible unha vez que foi montada; a execución das súas unións debe realizarse inmediatamente despois.

Se as ditas unións son definitivas deberá asegurarse que a súa execución non compromete o axuste, nivelación e verticalidade de elementos posteriores.

No aliñamento e axuste da estrutura poden empregarse torcas de nivelación, cuñas e forros. Cando exista o risco de desprazamento as cuñas poderán soldarse, o material destas será de aceiro e o grosor mínimo será de 4 mm cando se empreguen no exterior.

Cando non sexa posible corrixir os erros de montaxe ou axuste mediante cuñas en forma de calzos ou forros, deberase modificar adecuadamente a fabricación dos elementos consignando os cambios introducidos nos planos de montaxe.

Debe prestarse especial atención en non forzar o axuste se isto implica introducir esforzos nas barras non considerados no cálculo da estrutura.

Para facilitar a montaxe debe considerarse a posibilidade de dispor orificios sobredimensionados ou abertos.

Artigo 79 Tratamento de protección

79.1. Xeneralidades.

Este artigo aplicarase tanto ás estruturas tratadas en taller como en obra. O prego de prescricións técnicas particulares debe definir o sistema de protección contra a corrosión e os requisitos adicionais para obter unhas condicións de servizo acordes coa vida útil da estrutura (ver número 5.1) e o plan de mantemento (ver artigo 94), tendo en conta o nivel de corrosión atmosférica e grao de exposición dos diferentes compoñentes.

O deseño en canto a tipo de elementos e detalle de unións debe evitar zonas onde poida depositarse humidade e sucidade tanto en elementos interiores como naqueles directamente expostos ao exterior.

Deberase coidar especialmente a drenaxe das cubertas e fachadas de modo que a estrutura quede o máis protexida posible.

O prego de prescricións técnicas particulares preverá cun adecuado sistema de protección daqueles elementos que queden ao exterior.

Deberá considerarse conxuntamente o tratamento de protección fronte a incendio (ver capítulo XII) xa que os requisitos daquel poden determinar un grao de defensa fronte á corrosión moi superior ao estritamente necesario, especialmente no caso de pinturas intumescentes e argamasas proxectadas.

No caso de aplicarse pintura, o prego de prescricións técnicas particulares deberá definir o sistema de tratamento detallando como mínimo os seguintes aspectos:

- Preparación das superficies.

- Tipo e grosor da capa de imprimación anticorrosiva.
- Tipo e grosor de capas intermedias.
- Tipo e grosor de capas de acabado e retoques.

No orzamento do proxecto, deberá constar claramente se no prezo da estrutura de aceiro está incluído o sistema de protección.

Nese caso, a definición de prezos unitarios debe citar o sistema de protección específico de cada partida (especialmente, en obras onde a preparación e imprimación se aplica en taller).

Para as capas de pintura aplicadas en obra, cabe a posibilidade de valoralas de acordo coa súa área, en lugar de referilas ao peso total de aceiro; neste caso avaliarase segundo a superficie específica de cada sección.

79.2. Preparación das superficies

A superficie dos elementos que deba ser pintada limparase e prepararse de forma adecuada ao tratamento de pintura correspondente. En principio, deben eliminarse a sucidade, cascarilla de laminación, restos de escoura de soldaduras e tamén a graxa e a humidade superficial. De existiren revestimentos anteriores, deben ser igualmente eliminados.

A norma aplicable é UNE-EN ISO 8504-1, e UNE-EN ISO 8504-2 para o chorreado e UNE-EN ISO 8504-3 para a limpeza mecánica e manual.

Os métodos de preparación deberán obter o grao de rugosidade definido no prego de acordo con UNE-EN ISO 8503, partes 1 a 5. As instalacións de chorreado fixas deberán inspeccionarse periodicamente. Para facilitar a inspección é necesario coñecer o estado inicial da superficie de acordo con UNE-EN ISO 8501-1.

A preparación das superficies en obra debe ser realizada en condicións ambientais tales que non prexudiquen a calidade do acabado. Por tanto, non se realizarán en tempo chuvioso, con humidade superior ao 85% e temperaturas baixas que poidan producir condensacións. A temperatura do substrato a pintar deberá estar 3 °C por encima da do punto de orballo do ambiente. Deberanse tomar as precaucións oportunas para non danar outras superficies.

A preparación das superficies en taller cando se realice mediante métodos abrasivos debe ir seguida dunha escrupulosa eliminación de po, de acordo con UNE-EN ISO 8502-3 e da aplicación dunha imprimación de secado rápido que non altere as fases seguintes.

79.3. Métodos de protección

79.3.1. Metalización

Neste método a protección conséguese mediante proxección de cinc ou aluminio pulverizado, realizado segundo UNE-EN ISO 2063.

As superficies metalizadas deben ser tratadas cunha imprimación anticorrosiva especial, de natureza selante e tapaporos para evitar a formación de ampolas antes de revestirse de pintura.

79.3.2. Galvanización en quente

A protección mediante galvanización en quente consiste na formación dun recubrimento de cinc ou aliaxes de cinc-ferro por inmersión das pezas e elementos fabricados con ferro e aceiro nun baño de cinc fundido a unha temperatura de 450 °C. A norma que rexe estes recubrimentos é UNE-EN ISO 1461.

Cando se deseñe un elemento que vaia protexerse mediante galvanización en quente, é importante ter en conta algúns requisitos como poden ser as dimensións dos ditos elementos, que deben adecuarse ao tamaño dos crisóis de galvanización, aínda que nalgúns casos nos que o tamaño da peza sexa maior que o dos baños dispoñibles poden somerxerse parcialmente e despois darlles a volta para introducir a parte non tratada.

A preparación superficial dos elementos a galvanizar debe incluír a limpeza de todos os contaminantes superficiais que non poidan ser eliminados mediante a decapaxe, como é o caso das graxas, pinturas, escouras de soldadura, etc.

En UNE-EN ISO 14713 (anexo A) relaciónanse detalladamente as diferentes cuestións de deseño que se deben ter en conta para obter un recubrimento adecuado e de calidade.

No caso de que teñan que soldarse elementos que xa fosen galvanizados ou restaurar aqueles que teñan pequenos defectos de galvanización, existe a posibilidade de restaurar a zona afectada do recubrimento mediante proxección térmica de cinc (segundo UNE-EN ISO 2063) ou mediante unha pintura rica en cinc de elevado contido en cinc metálico na película seca (mínimo 80% en masa). Os tipos de pintura máis adecuados para esta finalidade son os que teñen ligantes epoxídicos, de poliuretano (1 compoñente) de secado ao aire e de silicato de etilo (1 compoñente) de secado ao aire.

No caso de que o sistema protector especifique un pintado posterior das superficies galvanizadas, é necesario que estas estean adecuadamente tratadas mediante desengraxamento e un posterior tratamento de imprimación para asegurar a ancoraxe das pinturas, segundo UNE-EN ISO 12944-4. Por último, aplícanse capas bases e de acabado en función da agresividade do medio, de acordo con UNE-EN ISO 12944-5 (Táboa A9).

Como complemento da galvanización pódense usar pinturas en po de polimerización en forno de acordo coas normas: UNE-EN 13438 e UNE-EN 15773.

Os elementos realizados a base de chapa galvanizada por procedemento en continuo (grosos de ata 3 mm) (segundo UNE-EN 10346) deben especificarse nun grosor ou masa do recubrimento adecuado á categoría de corrosividade ambiental, segundo UNE-EN ISO 14713.

79.3.3. *Pintado*

A pintura debe ser aplicada de acordo coa folla de datos do fabricante do produto.

Deberase comprobar previamente que o estado da superficie é o previsto na fase anterior, é dicir, tanto o grao de limpeza e rugosidade para unha capa de imprimación como o curado, compatibilidade e natureza da capa previa para capas posteriores.

As distintas pinturas que constitúen un sistema de pintado deben ser compatibles entre si.

É recomendable utilizar produtos dun mesmo fabricante.

No plan de obra deben establecerse as fases de aplicación da protección considerando adecuadamente o resto das actividades. No caso de realizarse o pintado en obra os elementos deberán ser imprimados en taller cun grosor mínimo que impida a oxidación incipiente antes da montaxe ante a eventualidade dun almacenamento prolongado.

Para facilitar o control é aconsellable que cada capa teña unha cor ou matiz diferenciados, segundo UNE 48103.

Unha vez executada e retocada a superficie debe respectarse estritamente o período de secado e endurecemento que aconselle o fabricante fronte a un eventual contacto con auga.

79.4. Requisitos especiais

As fraccións de elementos que vaian quedar embebidas en formigón non necesitan protección a partir de 30 mm por debaixo do nivel deste, sempre que, pola súa vez, a superficie de formigón estea a salvo de procesos de carbonatación. Unicamente requiren un cepillado de eliminación de cascarilla de laminación, sucidade e graxa. Caso de vir con imprimación desde taller, non necesitan ningunha operación adicional.

As superficies que vaian transmitir esforzos por rozamento e as que aloxen parafusos pretensados deberán satisfacer os requisitos propios das superficies de contacto indicadas en 76.8.

Deberá evitarse o dano ou contaminación destas superficies durante o transporte e montaxe mediante unha adecuada cobertura de protección impermeable.

As inspeccións de unións aparafusadas débense realizar antes da aplicación da pintura en obra.

As unións mediante soldadura deberanse realizar en franxas sen pintura de 150 mm de largo, ou ben con capa de imprimación compatible. A soldadura e a parte adxacente deberá pintarse unha vez que se eliminase completamente a escoura e se aceptase a unión.

Debe preverse a dificultade de pintado de elementos inaccesibles e proceder á súa execución antes da montaxe.

As superficies de aceiros autopatinables, resistentes á corrosión atmosférica por autooxidación, deben ofrecer un aspecto aceptable tras a súa exposición á intemperie. Para iso pode ser necesaria a súa limpeza por chorreado mediante auga a presión para garantir unha textura similar e unha cor homoxénea. Hai que ter en conta que o mecanismo de autoprotección que se desenvolve neste tipo de aceiros só ten lugar en ciclos alternados secos e húmidos e sempre que non exista polución atmosférica ácida ou salina. No deseño adoptaranse os detalles construtivos necesarios para evitar que as escorreduras de óxido, por

efecto da auga de chuvia, poidan afectar o resto da construción. Debe terse en conta que non é posible aplicar sobre este tipo de aceiros os mesmos sistemas de protección pasiva contra incendios que nos aceiros de UNE-EN 10025.

No prego de prescricións técnicas particulares debe indicarse se os perfís pechados ou tubulares requiren tratamento interno ou non. No caso de que a estanquidade quede asegurada polas soldaduras estruturais ou ben mediante soldaduras de selaxe de extremos, considerarase que o espazo interior queda protexido, unha vez aceptadas as ditas soldaduras. Para as soldaduras de selaxe soamente se require inspección visual. Deben tomarse precaucións especiais de estanquidade nos elementos de fixación que atravesen elementos en caixón ou tubulares selados.

Os perfís pechados ou tubulares quedan igualmente protexidos polas súas superficies internas cando se protexen mediante galvanización en quente, o que, por outra parte, pode facer innecesaria a selaxe dos seus extremos.

79.5. Protección de elementos de fixación

Os elementos de fixación e ancoraxe deberán subministrarse cunha protección adecuada á clase de exposición ambiental.

A protección máis adecuada para os elementos de fixación que vaian utilizarse con estruturas protexidas mediante galvanización en quente ou proxección térmica de cinc é tamén a galvanización en quente, segundo UNE-EN ISO 1068, con obxecto de garantir a ausencia na unión de posibles fenómenos de corrosión por pares galvánicos.

Calquera protección suplementaria a aplicar en obra levarase a cabo unha vez inspeccionada a unión. Os pernos de ancoraxe non requiren ningún tratamento a menos que así o indique o prego de prescricións técnicas particulares.

CAPÍTULO XVIII

TOLERANCIAS

Artigo 80 Tolerancias

As tolerancias clasifícanse en:

- Tolerancias normais
- Tolerancias especiais

As tolerancias normais son as que se especifican nesta instrución. As desviacións admitidas indicadas non deben ser superadas en ningún caso xa que comprometerían a resistencia e estabilidade da estrutura; teñen a consideración de tolerancias esenciais.

Nas táboas que se inclúen máis adiante detállanse, dentro do recadro das máximas desviacións permitidas, outras máis estritas cuxa observancia permite pasar de 1,05 a 1,00 os coeficientes parciais de resistencia γ_{M0} e γ_{M1} en todo tipo de estrutura excepto en pontes.

As tolerancias especiais son máis severas e aplícanse a aqueles casos en que hai que cumprir requisitos de axuste, acabado, aspecto estético ou condicións de operación. En casos especiais de montaxe ou para aumentar a seguridade ou a aptitude ao servizo dos compoñentes estruturais, poden ser necesarias tolerancias especiais.

No prego de prescricións técnicas particulares deberanse indicar as tolerancias de proxecto. No caso de tolerancias especiais é necesario explicitar a qué elementos se aplican.

80.1. Tolerancias normais. Xeneralidades

As tolerancias normais quedan recollidas nas táboas deste capítulo. Debe entenderse que se trata de requisitos para a aceptación final da estrutura; por tanto, os compoñentes prefabricados que se montan en obra teñen as súas tolerancias de fabricación subordinadas á comprobación final da estrutura executada.

Se se superan os límites de desviación permitida (o valor da tolerancia), darase lugar a unha non-conformidade a tratar segundo os capítulos XIX a XXII do título 8º Control desta instrución.

Admítese a xustificación dunha desviación non corrixida de tolerancias esenciais mediante recálculo da estrutura incluíndo explicitamente o valor da desviación.

As tolerancias sobre medidas ou dimensións e sobre a forma de produtos planos de aceiro obtidos por conformación en frío indícanse en UNE-EN 10131:2007.

As desviacións permitidas para as seccións rectas dos compoñentes estruturais acabados en quente serán as que se especifican nas normas seguintes: UNE-EN 10024, UNE-EN 10034, UNE-EN 10051, UNE-EN 10056-2, UNE-EN 10079, UNE-EN 10279, UNE 36559, UNE-EN 10210-2.

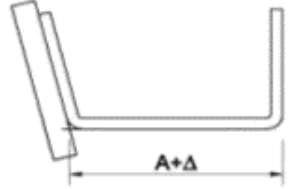
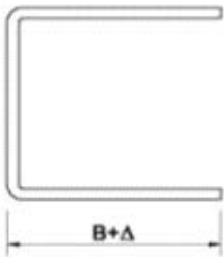
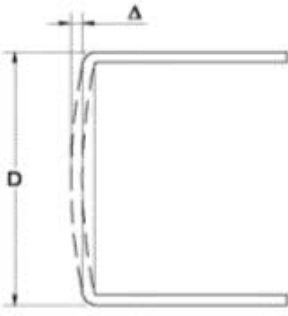
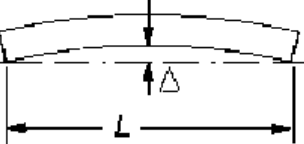
As desviacións permitidas para as seccións rectas dos compoñentes estruturais conformados en frío serán as que se especifican na norma UNE-EN 10219-2.

80.2. Tolerancias normais. Fabricación

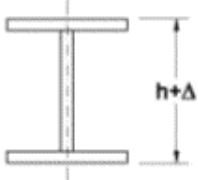

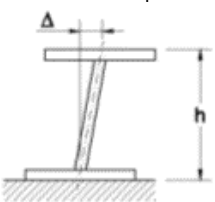
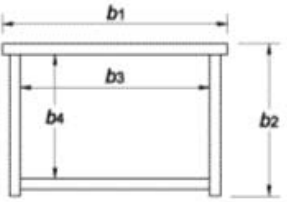
Cando se engaden produtos estándar a un compoñente aplícanse as tolerancias máis estritas ao conxunto. Cada produto individualmente debe cumprir coa súa propia norma aplicable:

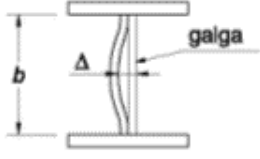
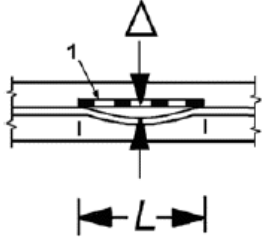
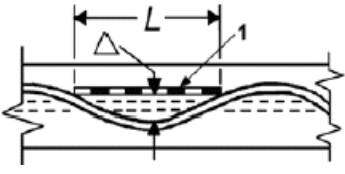
- a) No caso de seccións armadas soldando perfís laminados, as propias do perfil.
- b) En perfís conformados en frío é a norma UNE-EN 10162. Para fabricación en prensa aplícase o recollido na táboa 80.2.a.
- c) Compoñentes fabricados, nas táboas 80.2.b e 80.2.c.
- d) As láminas de revolución de acordo coas clases de execución específicas para este tipo de estruturas segundo EN 1993-1-6, teñen tolerancias que se indican no anexo D de EN 1090-2.
- e) Para a posición de orificios para parafusos, tanto individualmente como en grupo, a desviación admisible é de 2 mm.
- f) Para chapas nervadas conformadas en frío, na táboa 80.2.d.

Táboa 80.2.a. Tolerancias de fabricación para perfís conformados en frío

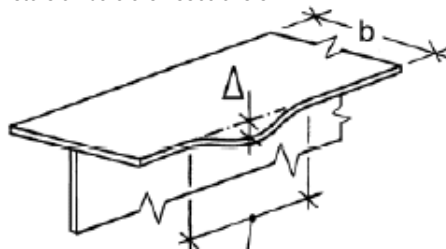
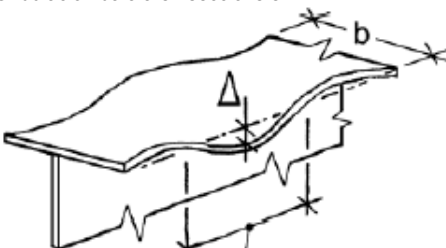
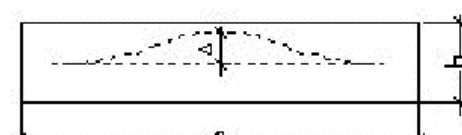
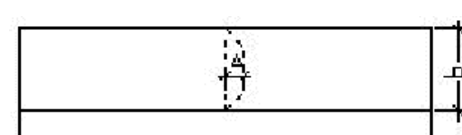
No	Descrición	Parámetro	Desviación admisible
1	Elementos interiores 	Largo A entre esquinas	$-\Delta = A/50$ (obsérvese o signo negativo) Desviación máis estrita: $ \Delta = A/80$
2	Elementos exteriores "alas voadas" 	Largo B entre esquina e bordo libre	$-\Delta = B/80$ (obsérvese o signo negativo) Desviación máis estrita: $ \Delta = B/100$
3	Planeidade 	Desviación cóncava ou convexa	$ \Delta = D/50$ Desviación máis estrita: $ \Delta = D/80$
4	Rectitude de pezas comprimidas 	Excentricidade Δ	$ \Delta = L/750$ Desviación máis estrita: $ \Delta = L/1000$

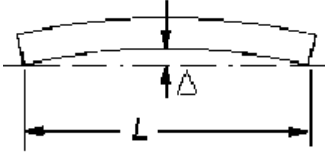
Táboa 80.2.b. Tolerancias de fabricación para perfís armados

No	Descrición	Parámetro	Desviación admisible
1	Canto 	Canto total h:	$-\Delta = h/50$ (obsérvese o signo negativo) Desviación máis estrita : $-\Delta = h/100$
2	Largura 	Largo de alas: b1 ou b2	$-\Delta = b/100$ (obsérvese o signo negativo) Desviación máis estrita : $-\Delta = h/150$
3	Perpendicularidade en apoios 	Excentricidade total da alma para elementos sen rixidizadores en apoios	$ \Delta = h/200$ pero $ \Delta \geq t_w$ Desviación máis estrita: $ \Delta = h/300$
4	Largura 	Dimensións externas ou internas sendo $b = b1, b2, b3$ ou $b4$	$-\Delta = b/100$ (obsérvese o signo negativo) Desviación máis estrita: $-\Delta = b/150$

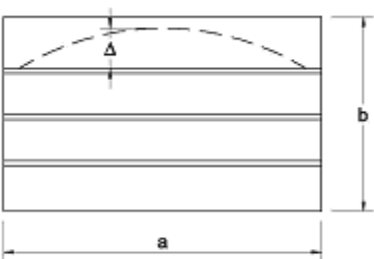
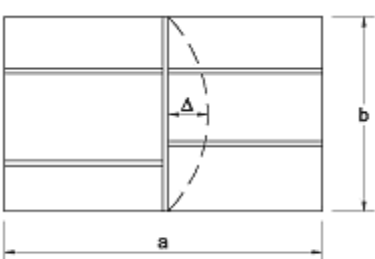

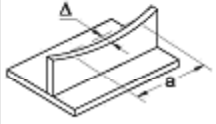
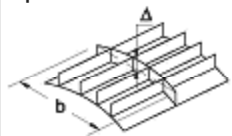
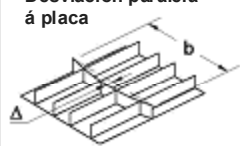
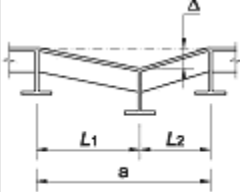
5	<p>Curvatura de alma en apoios</p> 	<p>Desviación en calquera dirección nunha distancia igual á altura de alma b</p>	<p>$\Delta = b/100$ pero $\Delta \geq t_w$ Desviación máis estrita : $\Delta = b/150$</p>
6	<p>Distorsión da alma</p> 	<p>Desviación Δ na lonxitude de referencia L igual á altura da alma b</p>	<p>$\Delta = b/100$ pero $\Delta \geq t_w$ Desviación máis estrita : $\Delta = b/100$</p>
7	<p>Ondulación da alma</p> 	<p>Desviación Δ na lonxitude de referencia L igual á altura de alma b</p>	<p>$\Delta = b/100$ pero $\Delta \geq t_w$ Desviación máis estrita: $\Delta = b/150$</p>
<p>NOTA: as notacións do tipo $\Delta = b/100$ pero $\Delta \geq t_w$ significan que debe adoptarse o maior dos dous valores</p>			

Táboa 80.2.b (continuación). Tolerancias de fabricación para perfís armados

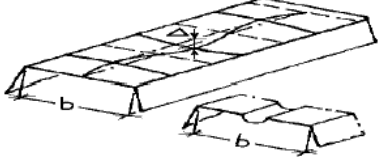
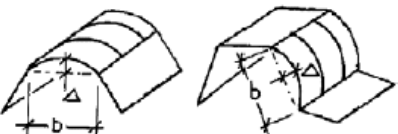
No	Descrición	Parámetro	Desviación admisible
8	Distorsión da ala en seccións en I 	Desviación Δ na lonxitude de referencia L igual ao largo de ala b	$ \Delta = b/100$ Non se require desviación máis estrita.
9	Ondulación da ala en seccións en I 	Desviación Δ na lonxitude de referencia L igual ao largo de ala b	$ \Delta = b/100$ Non se require desviación máis estrita.
10	Imperfeccións perpendiculares ao plano entre almas ou rixidizadores en seccións caixón (caso xeral) 	Desviación Δ na dirección perpendicular ao plano da chapa Se $a \leq 2b$ Se $a > 2b$	$ \Delta = a/250$ $ \Delta = b/125$ Non se require desviación máis estrita.
11	Imperfeccións perpendiculares ao plano entre almas ou rixidizadores en seccións caixón (caso especial con compresión na dirección transversal) 	Desviación Δ na dirección perpendicular ao plano da chapa Se $b \leq 2a$ Se $b > 2a$	$ \Delta = b/250$ $ \Delta = a/125$ Non se require desviación máis estrita.

12	Rectitude de pezas comprimidas 	Excentricidade Δ	$ \Delta = L/750$ Desviación máis estrita: $ \Delta = L/1000$
----	---	-------------------------	---

Táboa 80.2.c. Tolerancias de fabricación para paneis rixidizados

Nº	Descrición	Parámetro	Desviación admisible
		 <p>Rixidizadores lonxitudinais</p>	
		 <p>Rixidizadores transversais</p>	
1	Planeidade de rixidizadores lonxitudinais	Desviación perpendicular á placa 	$ \Delta = a/400$ Desviación máis estrita: $a/500$
2		Desviación paralela á placa 	$ \Delta = a/400$ Desviación máis estrita: $a/500$
3	Planeidade de rixidizadores transversais en paneis dobremente rixidizados	Desviación perpendicular á placa 	$ \Delta = a/400$ $ \Delta = b/400$ Desviación máis estrita: $a/500$
4		Desviación paralela á placa 	$ \Delta = b/400$
5	Aliñación de vigas ou rixidizadores transversais	Desnivel relativo entre rixidizadores contiguos 	$ \Delta = a/400$ Desviación máis estrita: $a/500$

Táboa 80.2d. Tolerancias de fabricación para chapas nervadas conformadas en frío

No	Descrición	Parámetro	Desviación admisible
1	Planeidade de alas ou almas rixidizadas ou non 	Desviación Δ respecto ao elemento plano	$ \Delta \leq b/50$ Desviación máis estrita: $ \Delta = b/80$
2	Curvatura de alas ou alma 	Desviación Δ respecto á forma da alma ou da ala sobre o longo curvo b	$ \Delta \leq b/50$ Desviación máis estrita: $ \Delta = b/80$

80.3. Tolerancias normais. Montaxe

As desviacións de elementos montados deben medirse con relación a unha rede de puntos fixos previamente establecidos.

Para o centro dun grupo de pernos de ancoraxe ou outro tipo de base de soporte non se permite unha desviación superior a ± 6 mm.

O centro dun piar ou columna non pode desviarse máis de ± 5 mm da súa posición teórica en planta.

É aconsellable dispor os orificios para pernos na placa base con suficiente folgura (abertos ou de maior diámetro) para facilitar o cumprimento dese requisito. Nese caso, deben usarse arandelas maiores.

O nivel das placas base non pode desviarse máis de ± 5 mm.

As tolerancias de montaxe de piares danse nas táboas 80.3.a e 80.3.b.

A media aritmética de 6 piares contiguos nun edificio de varias plantas debe cumprir o recollido na táboa 80.3.b en ambas as direccións (pórticos ortogonais).

Nun grupo de 6 piares que cumpran esa tolerancia pódese admitir unha desviación individual de $h/100$.

A desviación entre liñas de piares adxacentes estará dentro da tolerancia de ± 5 mm de dimensión teórica.

Ese engrellado teórico implantarase antes de que se inicie a montaxe.

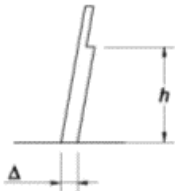
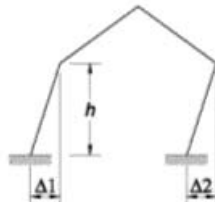
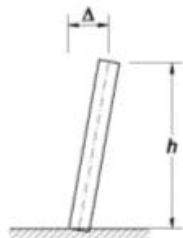

Cando estea previsto que os grupos de pernos vaian desprazados ou desaliñados das liñas teóricas, a desviación de ± 6 mm aplícase aos desprazamentos con respecto á cuadrícula de piares establecida.

A lonxitude que sobresaia dun perno de ancoraxe (na súa posición de axuste óptimo se é regulable) estará vertical ata dentro de 1 mm en 20 mm. Un requisito similar aplicarase a un conxunto de pernos horizontais e a outros ángulos.

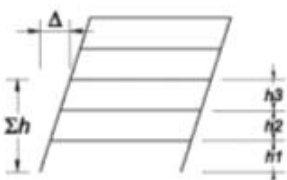
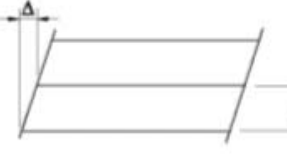
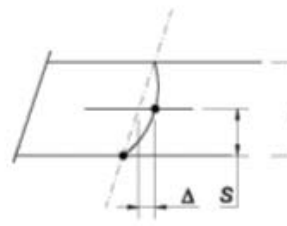
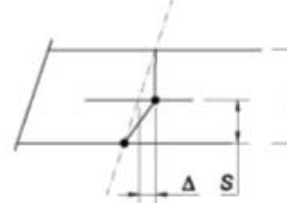
Os orificios das placas de asento e das placas de fixación dimensionaranse considerando folguras coherentes coas desviacións admitidas para os pernos.

Os piares adxacentes aos fosos de ascensores poden requirir tolerancias especiais.

Táboa 80.3.a. Tolerancias de montaxe de piares en pórticos dunha altura

No	Descrición	Parámetro	Desviación admisible
1	<p>Inclinación dun piar que soporta un camiño de rodadura</p> 	Derrubamento desde apoio de carril a pé	$ \Delta = h/1000$ Non se require desviación máis estricta.
2	<p>Inclinación de piares de pórticos sen pontes guindastre</p> 	<p>Inclinación máis desfavorable dos piares de cada pórtico</p> $\Delta = (\Delta_1 + \Delta_2)/2$	$ \Delta = h/500$ Non se require desviación máis estricta.
3	<p>Inclinación por planta</p> 	Derrubamento	$ \Delta = h/300$ Desviación máis estricta: $ \Delta = h/500$
4	<p>Rectitude do piar</p> 	Desviación Δ	$ \Delta = h/750$ Desviación máis estricta: $ \Delta = h/1000$

Táboa 80.3.b. Tolerancias de montaxe en piares de pórticos de varias plantas

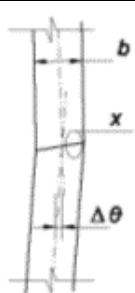
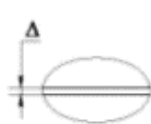
No	Descrición	Parámetro	Desviación admisible
1	Inclinação en conxunto 	Derrubamento de piares en relación á súa base	$ \Delta = \Sigma h / (300 \cdot \sqrt{n})$ Non se require desviación máis estrita.
2	Inclinação dun piar entre niveis de forxados contiguos 	Derrubamento en relación ao pé	$ \Delta = h/500$ Non se require desviación máis estrita.
3	Rectitude de piar entre pisos 	Excentricidade máxima con relación á directriz	$ \Delta = h/750$ Desviación máis estrita: $ \Delta = h/1000$
4	Rectitude de piar con empalme entre pisos 	Excentricidade no empalme con relación á directriz	$ \Delta = h/750$ Desviación máis estrita: $ \Delta = h/1000$

80.3.1. Apoios de contacto total

Cando se especifique un apoio de contacto total, as superficies disporanse de tal modo que cando o apoio e as barras de contacto estean aliñadas localmente dentro dunha desviación angular de 1 sobre 1000, a folgura máxima entre as superficies de contacto non excederá de 1 mm localmente e tampouco excederá de 0,5 mm sobre os dous terzos, como mínimo, da área de contacto segundo se mostra na táboa 80.3.1.a.

Cando a magnitude da folgura supere os límites especificados, pero sexa menor que 6 mm, poderán utilizarse cuñas ou calzos para reducir a dita folgura aos límites de desviación admitida. As cuñas estarán fabricadas a partir de lamias ou pletinas de aceiro suave (de baixo contido de carbono).

Táboa 80.3.1.a Tolerancias de montaxe para apoios de contacto total

No	Descrición	Parámetro	Desviación admisible
1		Desviación angular sendo h a altura de piso	$ \Delta\theta = h/500$ Non se require desviación máis estrita.
2		Folgura en x	$ \Delta = 0.5 \text{ mm}$ sobre os dous terzos da área de contacto cun máximo local de 1 mm Non se require desviación máis estrita.

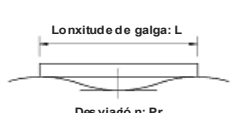
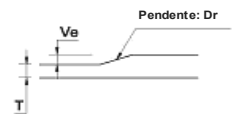
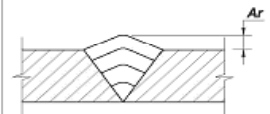
80.3. Tolerancias normais para pontes

Os soportes / piares de pontes deben cumprir cunha tolerancia $\pm 5 \text{ mm}$ en vertical e en planta.

As almas de vigas principais deben cumprir unha tolerancia en verticalidade de canto/300.

Outras tolerancias específicas de pontes recóllense na táboa 80.4.

Táboa 80.4. Tolerancias de montaxe para pontes

Nº	Descrición	Parámetro	Desviación admisible
1	Luz entre apoios	Desviación Δ da distancia entre apoios consecutivos medida nas alas superiores	$\Delta = \pm 30 D/10000$
2	Nivel de apoios en alzado	Desviación Δ sobre vabres teóricos de apoios $D \leq 20$ m : $D > 20$ m :	$ \Delta = D/1000$ $ \Delta = D/2000 + 10$ mm ≤ 35 mm
3	Axuste de taboleiros ortótopos de grosor T despois da montaxe  	Diferenza de nivel: $T \leq 10$ mm : 10 mm $< T < 70$ mm : $T > 70$ mm : Pendente: $T \leq 10$ mm : 10 mm $< T < 70$ mm : $T > 70$ mm : Planidade en calquera dirección: $T \leq 10$ mm : $T > 70$ mm : Ca so xeral: Lonxitudinalmente:	$L \leq 20$ m : $L > 20$ m : $Dr = 0\%$ $Dr = 9\%$ $Dr = 10\%$ $Pr = 3$ mm en 1 m $Pr = 4$ mm en 3 m $Pr = 5$ mm en 5 m $Pr = 5$ mm en 3 m $Pr = 18$ mm en 3 m
4	Soldadura de placa do taboleiro 	Sobregrosor Ar :	$Ar = +1 / -0$ mm

NOTA: os valores para Pr poden ser interpolados entre

10 mm $< T \leq 70$ mm :

80.4. Tolerancias especiais

Para as tolerancias especiais recoméndase seguir as denominadas tolerancias suplementarias do anexo D de EN 1090-2, onde se establecen dous niveis ou clases para fabricación e montaxe.

Debe indicarse a que compoñentes se aplica, xa que se pode utilizar para un elemento único ou ben a un conxunto.

Naqueles casos en que se cita o anexo D sen especificar a clase de tolerancia, entenderase que é clase de tolerancia 1, menos severa que clase 2.

Un exemplo de aplicación de clase 2 de tolerancia é a montaxe dunha fachada acristalada, con obxecto de reducir as folguras e mellorar o axuste.

Hai que ter en conta ao especificar a clase de tolerancia suplementaria (sobre todo a 2) que as vigas e linteis de pórticos traslacionais poden ter frechas e correntos relativamente grandes.

Excepto no caso de barras sometidas a esforzos dinámicos unha tolerancia aplicable pode ser o cincocentosavo da súa lonxitude.

TÍTULO 7.º CONTROL**CAPÍTULO XIX****BASES XERAIS DO CONTROL****Artigo 81 Criterios xerais do control**

A dirección facultativa, en representación da propiedade, deberá efectuar as comprobacións de control suficientes que lle permitan asumir a conformidade da estrutura en relación cos requisitos para os que foi concibida e proxectada.

Cando a propiedade decida a realización dun control do proxecto da estrutura, poderá comprobar a súa conformidade de acordo co indicado no artigo 85.

Durante a execución das obras, a dirección facultativa realizará os controis seguintes:

- Control da conformidade dos produtos que se subministren a aquela, de acordo co capítulo XXI.
- Control da execución da estrutura, de acordo co capítulo XXII.

Esta Instrución establece unha serie de comprobacións que permiten desenvolver os controis anteriores. Non obstante, a dirección facultativa poderá tamén optar por:

- Outras alternativas de control sempre que, baixo a súa supervisión e responsabilidade, considere que son equivalentes e non supoñan unha diminución das garantías para o usuario.
- Un sistema de control equivalente que mellore as garantías mínimas para o usuario establecidas polo articulado, por exemplo mediante o emprego de materiais e produtos en posesión de distintivos de calidade oficialmente recoñecidos conforme o indicado no anexo 10, aos cales se lles poderán aplicar as consideracións especiais establecidas para eles nesta instrución.

En calquera caso, debe entenderse que as decisións derivadas do control están condicionadas ao bo funcionamento da estrutura durante o seu período de vida útil definido no proxecto.

Sempre que a lexislación aplicable o permita, o custo do control de recepción incluído no proxecto deberá considerarse de forma independente no orzamento da obra.

81.1. Definicións

Para os efectos das actividades de control previstas por esta instrución, defínense como:

- Partida: cantidade de produto da mesma designación e procedencia contido nunha mesma unidade de transporte (contedor, camión, etc.) e que se recibe na obra ou no lugar destinado para a súa recepción.
- Remesa: conxunto de produtos (elementos semi ou totalmente prefabricados) da mesma procedencia, identificados individualmente, contidos nunha mesma unidade de transporte (contedor, camión, etc.) e que se reciben no lugar onde se efectúa a recepción.
- Almacenamento: cantidade de produto, procedente dunha ou varias partidas ou remesas, que se almacena conxuntamente tras a súa entrada na obra, ata a súa utilización definitiva.
- Lote de produto: cantidade de produto que se somete a recepción no seu conxunto.
- Lote de execución: parte da obra cuxa execución se somete a aceptación no seu conxunto.
- Unidade de inspección: conxunto das actividades, correspondentes a un mesmo proceso de execución, que é sometido a control para a recepción dun lote de execución.

81.2. Axentes do control da calidade

81.2.1. Dirección facultativa

A dirección facultativa, en uso das súas atribucións e actuando en nome da propiedade, terá as seguintes obrigas respecto ao control:

- Aprobará un programa de control de calidade para a obra, que desenvolva o plan de control incluído no proxecto, e
- Velará polo desenvolvemento e validará as actividades de control nos seguintes casos:
 - Control de recepción dos produtos que se coloquen na obra,
 - control da execución, e
 - de ser o caso, control de recepción de produtos que cheguen á obra para seren transformados nas instalacións propias desta.

A dirección facultativa poderá requirir tamén a xustificación adicional da conformidade dos produtos empregados en calquera instalación industrial que subministre produtos á obra. Así mesmo, poderá decidir a realización de comprobacións, tomas de mostras, ensaios ou inspeccións sobre os ditos produtos antes de seren transformados, con obxecto de evitar, de ser o caso, o sobrecusto que comporta efectuar as ditas comprobacións sobre os elementos xa transformados.

No ámbito da edificación, de acordo co artigo 13 da Lei 38/1999, do 5 de novembro, de ordenación da edificación, estas serán obrigas do director da execución.

81.2.2. Laboratorios e entidades de control de calidade

A propiedade encomendará a realización dos ensaios de control a un laboratorio que sexa conforme co establecido no número 81.2.2.1. Así mesmo, poderá encomendar a entidades de control de calidade outras actividades de asistencia técnica relativas ao control de proxecto ou dos produtos empregados na obra, de conformidade co indicado no número 81.2.2.2. De ser o caso, a toma de mostras poderá ser encomendada a calquera dos axentes a que se refire este número, sempre que se dispoña da correspondente acreditación, salvo que esta non sexa exigible de acordo coa regulamentación específica aplicable.

Os laboratorios e entidades de control de calidade deberán poder demostrar a súa independencia respecto ao resto dos axentes involucrados na obra. Previamente ao inicio desta, entregarán á propiedade unha declaración, asinada por persoa física, que avale a referida independencia e que deberá ser incorporada pola dirección facultativa á documentación final da obra.

81.2.2.1. Laboratorios de control

Os ensaios que se efectúen para comprobar a conformidade dos produtos á súa recepción na obra en cumprimento desta instrución, serán encomendados a laboratorios privados ou públicos con capacidade suficiente e independentes do resto dos axentes que interveñen na obra. Esta independencia non será condición necesaria no caso de laboratorios pertencentes á propiedade.

Os laboratorios privados deberán xustificar a súa capacidade para os ensaios correspondentes mediante a súa acreditación obtida conforme o Regulamento (CE) nº 765/2008 do Parlamento Europeo e do Consello, do 9 de xullo de 2008, e, no non previsto no dito regulamento, sempre que non contraveña este, terase en conta o Real decreto 2200/1995, do 28 de decembro, ou ben, mediante o establecido no Real decreto 410/2010, do 31 de marzo.

Poderán empregarse tamén laboratorios de control con capacidade suficiente e pertencentes a calquera centro directivo das administracións públicas con competencias no ámbito da edificación ou da obra pública.

No caso de que un laboratorio non puiden realizar cos seus medios algún dos ensaios establecidos para o control, poderá subcontratarlo a un segundo laboratorio, logo de aprobación da dirección facultativa, sempre que este último poida demostrar unha independencia e unha capacidade suficiente de acordo co indicado neste artigo. No caso de laboratorios situados en obra, deberán estar ligados a laboratorios que poidan demostrar a súa capacidade e independencia conforme o indicado nos parágrafos anteriores deste número, que os deberán integrar nos seus correspondentes sistemas de calidade.

81.2.2.2. Entidades de control de calidade

O control de recepción dos produtos, o control de execución e, de ser o caso, o control de proxecto, poderán ser realizados coa asistencia técnica de entidades de control de calidade con capacidade suficiente e independentes do resto dos axentes que interveñen na obra. Esta independencia non será condición necesaria no caso de entidades de control de calidade pertencentes á propiedade.

No caso de obras de edificación, as entidades de control de calidade serán aquelas ás que fai referencia o artigo 14 da Lei 38/1999, de ordenación da edificación. Estas entidades poderán xustificar a súa capacidade mediante a acreditación que outorgan as administracións autonómicas para os ámbitos de control que se establecen nesta instrución.

Poderá empregarse tamén unha entidade pública de control de calidade, con capacidade suficiente e pertencente a calquera centro directivo das administracións públicas con competencias no ámbito da edificación ou da obra pública.

Artigo 82 Condicións para a conformidade da estrutura

A execución da estrutura levarase a cabo segundo o proxecto e as modificacións autorizadas e documentadas pola dirección facultativa. Durante a execución da estrutura elaborárase a documentación que regulamentariamente sexa exixible e nela incluírase, sen prexuízo do que establezan outras regulamentacións, a documentación a que fai referencia o articulado desta instrución.

En todas as actividades ligadas ao control de recepción, poderá estar presente un representante do axente responsable da actividade ou produto controlado (autor do proxecto, subministrador do material ou produto, construtor, etc.). No caso da toma de mostras, cada representante obterá unha copia da correspondente acta. Cando se produza calquera incidencia na recepción derivada de resultados de ensaio non conformes, o subministrador ou, de ser o caso, o construtor, poderá solicitar unha copia do correspondente informe do laboratorio de control, que lle será facilitada pola propiedade.

82.1. Plan e programa de control

O proxecto de execución de calquera estrutura de aceiro deberá incluír na súa memoria un anexo cun plan de control que identifique calquera comprobación que puiden derivar del, así como a valoración do custo total do control, que se reflectirá como un capítulo independente no orzamento do proxecto.

Antes de iniciar as actividades de control na obra, a dirección facultativa aprobará un programa de control, preparado de acordo co plan de control definido no proxecto, e considerando o plan do construtor. O programa de control terá en conta, cando menos, os seguintes aspectos:

- A identificación de produtos e procesos obxecto de control, definindo os correspondentes lotes de control e unidades de inspección, describindo para cada caso as comprobacións a realizar e os criterios a seguir no caso de non conformidade,
- a previsión de medios materiais e humanos destinados ao control, con identificación, de ser o caso, das actividades que poidan subcontratarse,
- a programación do control, en función do procedemento de autocontrol do construtor e o plan de obra previsto para a execución por este,
- a designación da persoa encargada das tomas de mostras, de ser o caso, e
- o sistema de documentación do control que se empregará durante a obra.

82.2. Conformidade do proxecto

O control do proxecto ten por obxecto comprobar a súa conformidade con esta instrución e co resto da regulamentación que lle sexa aplicable, así como comprobar o seu grao de definición, a calidade daquel e todos os aspectos que poidan incidir na calidade final da estrutura proxectada.

A propiedade poderá decidir a realización do control do proxecto coa asistencia técnica dunha entidade de control de calidade segundo o número 81.2.2.2.

82.3. Conformidade dos produtos

O control de recepción dos produtos ten por obxecto comprobar que as súas características técnicas cumpren o exixido no proxecto.

No caso de produtos que deban dispor de marcación CE segundo a Directiva 89/106/CEE, poderá comprobarse a súa conformidade mediante a verificación de que os valores declarados nos documentos que acompañan a citada marcación CE permiten deducir o cumprimento das especificacións indicadas no proxecto e, no seu defecto, nesta instrución.

Noutros casos, o control de recepción dos produtos comprenderá:

- O control da documentación das subministracións que chegan á obra, realizado de acordo co número 82.3.1,
- de ser o caso, o control mediante distintivos de calidade, segundo o número 82.3.2 e,

- de ser o caso, o control mediante ensaios, conforme co número 82.3.3.

O capítulo XXI desta instrución recolle uns criterios para comprobar a conformidade con esta instrución dos produtos que se reciben na obra.

A dirección facultativa poderá dispor en calquera momento a realización de comprobacións ou ensaios adicionais sobre as remesas ou as partidas de produtos subministrados á obra ou sobre os empregados para a elaboración deles.

82.3.1. Control documental das subministracións

Os subministradores entregarán ao construtor, quen llos facilitará á dirección facultativa, calquera documento de identificación do produto exixido pola regulamentación aplicable ou, de ser o caso, polo proxecto ou pola dirección facultativa. Sen prexuízo do establecido adicionalmente para cada produto noutros artigos desta instrución, facilitaranse, cando menos, os seguintes documentos:

Antes da subministración:

- Os documentos de conformidade ou autorizacións administrativas exixidas regulamentariamente, incluída cando proceda a documentación correspondente á marcación CE dos produtos, de acordo co Real decreto 1630/1992, do 29 de decembro, pola que se ditan disposicións para a libre circulación dos produtos de construción, en aplicación da Directiva 89/106/CEE,
- de ser o caso, declaración do subministrador asinada por persoa física con poder de representación suficiente na que conste que, na data dela, o produto está en posesión dun distintivo de calidade oficialmente recoñecido.

Durante a subministración:

- As follas de subministración de cada partida ou remesa.

Despois da subministración:

- O certificado de garantía do produto subministrado, asinado por persoa física con poder de representación suficiente.

82.3.2. Control de recepción mediante distintivos de calidade

Os subministradores entregarán ao construtor, quen lla facilitará á dirección facultativa, unha copia compulsada por persoa física dos certificados que avalen que os produtos subministrados están en posesión dun distintivo de calidade oficialmente recoñecido, de acordo co establecido no artigo 84.

Antes do inicio da subministración, a dirección facultativa valorará, de acordo co indicado no proxecto e o establecido por esta instrución, se a documentación achegada é suficiente para a aceptación do produto subministrado ou, de ser o caso, qué comprobacións deben efectuarse.

82.3.3. Control de recepción mediante ensaios

Para verificar o cumprimento das exixencias desta instrución pode ser necesario, en determinados casos, realizar ensaios segundo o establecido nesta instrución, ou ben segundo o especificado no proxecto ou ordenado pola dirección facultativa.

No caso de efectuarse ensaios, os laboratorios de control facilitarán os seus resultados acompañados da incerteza de medida para un determinado nivel de confianza, así como a información relativa ás datas, tanto a de entrada da mostra no laboratorio como a de realización dos ensaios.

As entidades e os laboratorios de control entregarán os resultados da súa actividade ao axente autor do encargo e, en todo caso, á dirección facultativa.

82.4. Conformidade dos procesos de execución

Durante a construción da estrutura, a dirección facultativa controlará a execución de cada parte desta, verificando a súa implantación, os produtos que se utilicen e a correcta execución e disposición dos elementos construtivos. Efectuará calquera comprobación adicional que coide necesaria para comprobar a conformidade co indicado no proxecto, a regulamentación aplicable e as ordes da propia dirección facultativa. Comprobará que se adoptaron as medidas necesarias para asegurar a compatibilidade entre os diferentes produtos, elementos e sistemas construtivos.

O control da execución comprenderá:

- A comprobación do control de produción do construtor, segundo 82.4.1, e
- a realización de inspeccións dos procesos durante a execución, segundo 82.4.2.

82.4.1. Control da execución mediante comprobación do control de produción do construtor

O construtor ten a obriga de definir e desenvolver un sistema de seguimento, que permita comprobar a conformidade da execución. Para iso, elaborará un plan de autocontrol que inclúa todas as actividades e procesos da obra e incorpore, tendo en conta as particularidades desta, o programa previsto para a súa execución e que deberá ser aprobado pola dirección facultativa antes do inicio dos traballos.

Os resultados de todas as comprobacións realizadas no autocontrol deberán rexistrarse nun soporte, físico ou electrónico, que deberá estar á disposición da dirección facultativa. Cada rexistro deberá estar asinado pola persoa física que fose designada polo construtor para o autocontrol de cada actividade.

Durante a obra, o construtor deberá manter á disposición da dirección facultativa un rexistro permanentemente actualizado, onde se reflectan as designacións das persoas responsables de efectuar en cada momento o autocontrol relativo a cada proceso de execución. Unha vez finalizada a obra, o dito rexistro incorporárase á documentación final desta.

Ademais, en función do nivel de control da execución, o construtor definirá un sistema de xestión dos almacenamentos suficiente para conseguir a rastrexabilidade requirida dos produtos e elementos que se colocan na obra.

82.4.2. Control da execución mediante inspección dos procesos

A dirección facultativa, coa asistencia técnica dunha entidade de control de ser o caso, comprobará o cumprimento das exixencias básicas desta instrución, efectuando as inspeccións puntuais dos procesos de execución que sexan necesarias, segundo o especificado en proxecto, o establecido por esta instrución ou o ordenado pola dirección facultativa.

82.5. Comprobación da conformidade da estrutura terminada

Unha vez finalizada a estrutura, no seu conxunto ou algunha das súas fases, a dirección facultativa velará para que se realicen as comprobacións e probas de carga exixidas de ser o caso pola regulamentación vixente que lle for aplicable, ademais das que poida establecer voluntariamente o proxecto ou decidir a propia dirección facultativa, determinando a validez, de ser o caso, dos resultados obtidos.

Artigo 83 Documentación e rastrexabilidade

Todas as actividades relacionadas co control establecido por esta instrución documentadas nos correspondentes rexistros, físicos ou electrónicos, que permitan dispor das evidencias documentais de todas as comprobacións, actas de ensaio e partes de inspección que se levasen a cabo deberán ser incluídas, unha vez finalizada a obra, na documentación final desta.

Os rexistros estarán asinados pola persoa física responsable de levar a cabo a actividade de control e, no caso de estar presente, pola persoa representante do subministrador do produto ou da actividade controlada.

As follas de subministración estarán asinadas, en representación do subministrador, por persoa física con capacidade suficiente.

No caso de procedementos electrónicos, a sinatura deberá axustarse ao establecido na Lei 59/2003, do 19 de decembro.

A conformidade da estrutura con esta instrución require da consecución dunha rastrexabilidade adecuada entre os produtos que se incorporan á obra con carácter permanente e calquera outro produto que se empregase, de ser o caso, para a súa elaboración.

Cando o proxecto estableza un control de execución intenso para a estrutura, a conformidade con esta instrución require ademais a consecución dunha rastrexabilidade dos subministradores e das partidas ou remesas dos produtos con cada elemento estrutural executado na obra. Neste caso, e co fin de lograr esta rastrexabilidade, o construtor deberá introducir no ámbito da súa actividade un sistema de xestión dos almacenamentos, preferiblemente mediante procedementos electrónicos.

Artigo 84 Niveis de garantía e distintivos de calidade

A conformidade dos produtos respecto ás exixencias definidas por esta instrución, require que satisfagan cun nivel de garantía suficiente un conxunto de especificacións.

De forma voluntaria, poden dispor dun nivel de garantía superior ao mínimo requirido, mediante a incorporación de sistemas (como, por exemplo, os distintivos de calidade) que avalen, mediante as correspondentes auditorías, inspeccións e ensaios, que os seus sistemas de calidade e os seus controis de produción cumpren as exixencias requiridas en tales sistemas de garantía superior.

Para os efectos desta instrución, os ditos niveis de garantía adicionais e superiores aos mínimos regulamentarios poden demostrarse por calquera dos seguintes procedementos:

- a) Mediante a posesión dun distintivo de calidade oficialmente recoñecido, segundo o indicado no anexo 10 desta instrución.
- b) No caso de produtos fabricados na propia obra, mediante un sistema equivalente validado e supervisado pola dirección facultativa, que garanta que se cumpren unhas garantías equivalentes ás que se exixen no anexo 10 para o caso dos distintivos de calidade oficialmente recoñecidos.

Esta instrución prevé a aplicación de certas consideracións especiais na recepción para aqueles produtos que presenten un nivel de garantía superior mediante calquera dos dous procedementos mencionados no parágrafo anterior.

O control de recepción pode ter en conta as garantías asociadas á posesión dun distintivo, sempre que este cumpra unhas determinadas condicións. Así, no caso dos produtos que non teñan marcación CE segundo a Directiva 89/106/CEE, esta instrución permite aplicar unhas consideracións especiais na súa recepción, cando ostenten un distintivo de calidade de carácter voluntario que estea oficialmente recoñecido por un centro directivo con competencias no ámbito da edificación ou da obra pública e pertencente á Administración pública de calquera Estado membro da Unión Europea ou de calquera dos Estados asinantes do Acordo sobre o Espazo Económico Europeo.

O disposto no parágrafo anterior será tamén de aplicación aos produtos de construción fabricados ou comercializados legalmente nun Estado que teña un acordo de asociación alfandegueira coa Unión Europea, cando ese acordo recoñeza a eses produtos o mesmo tratamento que aos fabricados ou comercializados nun Estado membro da Unión Europea. Nestes casos o nivel de equivalencia constatarase mediante a aplicación, para estes efectos, dos procedementos establecidos na mencionada directiva.

Para os efectos da conformidade respecto ás exigencias básicas desta instrución, os distintivos de calidade deberán cumprir, para o seu recoñecemento oficial, as condicións establecidas no anexo 10.

Os distintivos de calidade que fosen obxecto de recoñecemento ou, de ser o caso, renovación ou anulación, poderán inscribirse no rexistro específico que se crea na Secretaría Xeral Técnica do Ministerio de Fomento, Subdirección Xeral de Normativa e Estudos Técnicos, que resolverá a súa inclusión, de ser o caso, na página WEB da Comisión Interministerial Permanente de Estruturas de Aceiro (www.fomento.es/cpa), para a súa difusión e xeral coñecemento.

CAPÍTULO XX

CONTROL DE CALIDAD DO PROXECTO

No ámbito de aplicación desta instrución, poderán utilizarse produtos de construción que estean fabricados ou comercializados legalmente nos Estados membro da Unión Europea e nos Estados asinantes do Acordo sobre o Espazo Económico Europeo e sempre que os ditos produtos, cumprindo a normativa de calquera Estado membro da Unión Europea, aseguren en canto á seguridade e o uso a que están destinados un nivel equivalente ao que exige esta instrución.

O dito nivel de equivalencia acreditarase conforme o establecido no artigo 4.2 ou, de ser o caso, no artigo 16 da Directiva 89/106/CEE do Consello, do 21 de decembro de 1988, relativa á aproximación das disposicións legais, regulamentarias e administrativas dos Estados membros sobre os produtos de construción.

O disposto nos parágrafos anteriores será tamén de aplicación aos produtos de construción fabricados ou comercializados legalmente nun Estado que teña un acordo de asociación alfandegueira coa Unión Europea, cando ese acordo recoñeza a eses produtos o mesmo tratamento que aos fabricados ou comercializados nun Estado membro da Unión Europea. Nestes casos o nivel de equivalencia constatarase mediante a aplicación, para estes efectos, dos procedementos establecidos na mencionada directiva.

Artigo 85 Control de proxecto

85.1. Xeneralidades

A propiedade poderá decidir a realización dun control de proxecto a cargo dunha entidade de control de calidade daquelas a que se refire o número 81.2.2 co obxecto de comprobar:

- Que as obras a que se refire o proxecto están suficientemente definidas para a súa execución, e
- que se cumpren as exigencias relativas á seguridade, funcionalidade, durabilidade e protección do medio ambiente establecidas por esta instrución, así como as establecidas pola regulamentación vixente que lles sexa aplicable.

No caso de obras promovidas polas administracións públicas, o control do proxecto será realizado, de ser o caso, sen prexuízo do establecido ao respecto polo Real decreto lexislativo 2/2000, do 16 de xuño, polo que se aproba o texto refundido da Lei de contratos das administracións públicas, así como pola regulamentación que o desenvolve.

Cando a propiedade decida realizar o control do proxecto, isto non suporá en ningún caso a alteración das atribucións e responsabilidades do autor do proxecto.

85.2. Niveis do control de proxecto

Cando a propiedade decida a realización do control de proxecto, elixirá un dos seguintes niveis:

- Control a nivel normal.
- Control a nivel intenso.

A entidade de control identificará os aspectos que deben comprobarse e desenvolverá unha pauta de control adaptada segundo o tipo de obra.

A frecuencia de comprobación, segundo o nivel de control adoptado, non debe ser menor que o indicado na táboa 85.2.

Táboa 85.2. Frecuencia de comprobación dos elementos segundo o nivel de control adoptado

Tipo de elemento	Nivel de control		Observacións
	normal	intenso	
Elementos de contención e estacadas	10%	20%	Ao menos 3 seccións diferentes
Piars e machóns de ponte	15%	30%	Mínimo 3 tramos
Vigas mestras	10%	20%	Mínimo 3 vigas mestras de ao menos dous vanos
Zunchos	10%	20%	Mínimo dous zunchos
Taboleiros	10%	20%	Mínimo dous vanos
Arcos e bóvedas	10%	20%	Mínimo un tramo
Brochais	10%	20%	Mínimo 3 brochais
Escaleiras	10%	20%	Ao menos dous tramos
Elementos superficiais e forxados	15%	30%	Ao menos 3 recadros
Elementos singulares	15%	30%	Ao menos 1 por tipo

Nota: Non obstante o anterior, comprobarase o 100% dos elementos sometidos a torsión principal e, en xeral, os elementos que sexan susceptibles de roturas fráxiles ou que conteñan nós complexos, transicións complicadas en xeometría, etc.

85.3. Documentación do control de proxecto

Calquera que sexa o nivel de control aplicado, a entidade de control entregará á propiedade un informe escrito e asinado por persoa física, con indicación da súa cualificación e cargo dentro da entidade, no cal, congruentemente coa pauta de control adoptada, se reflectirán, cando menos, os seguintes aspectos:

- Propiedade peticionaria.
- Identificación da entidade de control de calidade ou organismo que o subscribe.
- Identificación precisa do proxecto obxecto de control.
- Identificación do nivel de control adoptado.
- Plan de control de acordo coas pautas adoptadas.
- Comprobacións realizadas.
- Resultados obtidos.
- Relación de non conformidades detectadas, indicando se estas se refiren á adecuada definición do proxecto para a execución ou se afectan a seguridade, funcionalidade ou durabilidade.
- Valoración das non conformidades.
- Conclusións e, en particular, conclusión explícita sobre a existencia de reservas que puidesen provocar incidencias indesexables se se procedese a licitar as obras ou a executar estas.

A propiedade, á vista do informe anterior, tomará as decisións oportunas e previas á licitación ou, de ser o caso, á execución das obras. No caso da existencia de non conformidades, antes da toma de decisións a propiedade comunicará o contido do informe de control ao autor do proxecto, quen procederá a:

- Reparar, de ser o caso, as non conformidades detectadas no control de proxecto; ou
- presentar un informe escrito, asinado polo autor do proxecto, no que se ratifiquen e xustifiquen as solucións e definicións adoptadas nel, achegando calquera documentación complementaria que se considere necesaria.

CAPÍTULO XXI

CONTROL DA CONFORMIDADE DOS PRODUTOS

Artigo 86 Xeneralidades

A dirección facultativa, en nome da propiedade, ten a obriga de comprobar a conformidade co establecido no proxecto, dos produtos que se reciben na obra e, en particular, daqueles que se incorporan a ela con carácter permanente.

As actividades relacionadas con este control deberán reflectirse no programa de control e serán conformes co indicado en 82.1.

Artigo 87 Criterios xerais para a comprobación da conformidade dos produtos

No caso de que os materiais e produtos dispoñan de marcación CE segundo a Directiva 89/106/CEE, poderá comprobarse a súa conformidade mediante a verificación documental de que os valores declarados nos documentos que acompañan a citada marcación CE permiten deducir o cumprimento das especificacións recollidas no proxecto.

A dirección facultativa, no uso das súas atribucións, poderá dispor en calquera momento a realización de comprobacións ou ensaios sobre os materiais e produtos que se empreguen na obra.

No caso de produtos que non dispoñan de marcación CE, a comprobación da súa conformidade comprenderá:

- Un control documental,
- de ser o caso, un control mediante distintivos de calidade ou procedementos que garantan un nivel de garantía adicional equivalente, conforme o indicado no artigo 84, e
- de ser o caso, un control experimental, mediante a realización de ensaios.

Sen prexuízo do establecido ao respecto nesta instrución, o prego de prescricións técnicas particulares poderá fixar os ensaios que considere pertinentes.

87.1. Control documental

Con carácter xeral, a subministración dos materiais recollidos neste artigo deberá cumprir as exigencias documentais recollidas en 82.3.1.

Sempre que se produza un cambio no subministrador dos materiais recollidos neste artigo, será preceptivo presentar a documentación correspondente ao novo produto.

87.2. Inspección das instalacións

A dirección facultativa valorará a conveniencia de efectuar unha visita de inspección ás instalacións de fabricación dos produtos incluídos no ámbito deste artigo. A dita visita realizarase preferiblemente antes do inicio da subministración e terá como obxecto comprobar a idoneidade para a fabricación e a implantación dun control de produción conforme coa lexislación vixente e con esta instrución.

De igual modo, poderá realizar ensaios aos materiais subministrados, a fin de garantir a conformidade coas especificacións requiridas.

87.3. Toma de mostras e realización dos ensaios

No caso de que for necesaria a realización de ensaios para a recepción, estes deberán ser efectuados por un laboratorio de control conforme o indicado en 81.2.2.1.

Cando a toma de mostras non se efectúe directamente na obra ou na instalación onde se recibe o material, deberá facerse a través dunha entidade de control de calidade, ou, de ser o caso, mediante un laboratorio de ensaio conforme 81.2.2.1.

Artigo 88 Criterios específicos para a comprobación da conformidade dos produtos

88.1. Produtos de aceiro

88.1.1. Comprobación da conformidade

A conformidade dos produtos de aceiro co establecido no proxecto comprobarase durante a súa recepción en obra e incluírá a comprobación das súas características mecánicas e xeométricas.

Os produtos de aceiro deben dispor de marcación CE conforme coa Directiva 89/106/CEE polo que, de acordo co indicado en 82.3, a súa conformidade poderá ser suficientemente comprobada mediante a verificación de que as categorías ou valores declarados na documentación que acompaña a citada marcación CE permiten deducir o cumprimento das especificacións do proxecto.

88.1.2. Toma de mostras

A dirección facultativa, por si mesma, a través dunha entidade de control ou un laboratorio de control, efectuará a toma de mostras na instalación onde se encontren os produtos de aceiro. Salvo circunstancias excepcionais, a toma de mostras efectuarase no taller antes da montaxe dos elementos.

Poderán estar presentes durante a toma os representantes da dirección facultativa, do construtor e do subministrador dos elementos.

A entidade de control de calidade velará pola representatividade da mostra, e non aceptará, en ningún caso, que se tomen mostras sobre produtos que non se correspondan cos planos do proxecto, nin sobre produtos especificamente destinados á realización de ensaios. Una vez extraídas as mostras, procederase, de ser o caso, á substitución das partes dos elementos que fosen alteradas durante a toma.

A entidade de control de calidade redactará unha acta para cada toma de mostras, que subscribirán todas as partes presentes, quedando cunha copia dela. A súa redacción obedecerá a un modelo de acta, aprobado pola dirección facultativa ao comezo da obra.

O tamaño das mostras deberá ser suficiente para a realización da totalidade das comprobacións e ensaios que se pretendan realizar. Todas as mostras se trasladarán para o seu ensaio ao laboratorio de control tras ser debidamente precintadas e identificadas.

88.1.3. Realización dos ensaios

Calquera ensaio sobre os produtos de aceiro que decida o autor do proxecto ou a dirección facultativa deberá efectuarse de acordo coas indicacións destes. No caso do autor do proxecto, reflectirá as ditas indicacións no correspondente prego de prescricións técnicas particulares.

88.2. Control dos medios de unión

88.2.1. Control dos parafusos, torcas, arandelas e bulóns

88.2.1.1. Especificacións

Os parafusos, torcas e arandelas e bulóns incluídos nos números 29.2, 29.3 e 29.4 desta instrución, deberán cumprir os requisitos establecidos para o efecto nos respectivos números. Noutros casos, deberán cumprir as especificacións que se establezan para o efecto no respectivo prego de prescricións técnicas particulares.

88.2.1.2. Ensaio

Considerarase un lote de parafusos, torcas, arandelas, por cada un dos graos e clases de parafuso que se empreguen na obra.

O control das características dos parafusos, torcas e arandelas efectuarase por atributos (dimensións e características mecánicas, ademais das características funcionais do conxunto) sobre, cando menos, dez mostras, mediante os ensaios establecidos nesta instrución ou, de ser o caso, polo prego de prescricións técnicas particulares.

Os ensaios dos parafusos deberanse realizar segundo a norma UNE-EN ISO 898-1, as torcas segundo ISO 898-2, e para as arandelas a norma de produto aplicable.

88.2.1.3. Criterios de aceptación ou rexeitamento

Procederase á aceptación dos parafusos, torcas, arandelas e bulóns cando, unha vez realizados os ensaios, non se produza ningún incumprimento das especificacións exixidas. En caso contrario, procederase a rexeitar o lote.

88.2.2. Control do material de achega para as soldaduras

88.2.2.1. Especificacións

O material de achega utilizado para a realización das soldaduras deberá cumprir as exixencias de aptitude ao procedemento de soldadura e de compatibilidade co aceiro do produto de base que define o número 29.5 desta instrución.

88.2.2.2. Ensaio

No caso de que a subministración do material vaia acompañada dun certificado de garantía do fabricante, específico para a obra e asinado por persoa física, a dirección facultativa poderá eximir da realización dos correspondentes ensaios.

A realización de ensaios, de ser o caso, efectuarase mediante os procedementos establecidos en UNE-EN ISO 15792-1, así como os que se recollan especificamente para o efecto no correspondente prego de prescricións técnicas particulares.

88.2.2.3. Criterios de aceptación ou rexeitamento

En xeral, a presentación á dirección facultativa do certificado de garantía a que fai referencia o número 88.2.2 permitirá a aceptación do correspondente lote. No caso de efectuarse ensaios para comprobar a conformidade do lote, seguiranse os criterios establecidos para o efecto no prego de prescricións técnicas particulares da obra.

88.3. Control dos sistemas de protección

88.3.1. Especificacións

Os sistemas de protección deberán cumprir as prescricións establecidas nos números 30.3 e 30.4 en función da clase de exposición a que vaia estar sometido o elemento estrutural.

Toda subministración de material deberá ir acompañada dun certificado de garantía do fabricante, específico para a obra e asinado por persoa física,

88.3.2. Ensaio

Os ensaios efectuaranse sobre probetas que cumpran as seguintes condicións:

- Que sexan do mesmo tipo de aceiro que o que se vaia empregar na obra;
- de ser o caso, que teña o mesmo recubrimento de cinc que se vaia utilizar,
- que presente un tamaño mínimo de 150x70 mm²,
- que presente un grosor non inferior a 2 mm e compatible co ensaio que se pretenda efectuar,
- que cumpran as condicións de preparación e estado superficial prescritas en UNE-EN ISO 12944-6.
- para superficies galvanizadas en quente aplicarase UNE-EN ISO 1461.
- para superficies sometidas a metalización con cinc, UNE-EN ISO 2063.

O número de probetas a ensaiar será, cando menos, de tres por cada conxunto de sistema de protección e tipo de aceiro empregado na obra.

Os ensaios sobre os sistemas de pintura efectuaranse de acordo cos métodos definidos no número 30.3 desta instrución.

En canto á galvanización en quente, no caso de que a subministración do material vaia acompañada dun certificado de garantía do galvanizador, específico para a obra e asinado por persoa física, a dirección facultativa poderá eximir da realización dos correspondentes ensaios. A realización de ensaios, de ser o caso, efectuarase mediante os procedementos establecidos en UNE-EN ISO 1461, así como os que se recollan especificamente para o efecto no correspondente prego de prescricións técnicas particulares. Para as superficies sometidas a metalización con cinc, os ensaios realizaranse conforme o indicado na norma UNE-EN ISO 2063.

No caso de que o produto de protección estea en posesión dun distintivo de calidade oficialmente recoñecido, a dirección facultativa poderá eximir da realización dos correspondentes ensaios.

88.3.3. Criterios de aceptación ou rexeitamento

A posesión dun distintivo de calidade oficialmente recoñecido pode entenderse, en xeral, como suficiente para avalar a conformidade do sistema de protección subministrado sen efectuar ensaios específicos, salvo criterio en contra da dirección facultativa.

No caso de recorrer á realización dalgún ensaio sobre os sistemas de pintura, considerarase que este é conforme coas especificacións cando:

- Antes do ensaio, a clasificación obtida pola probeta de acordo con UNE-EN ISO 2409 é 0 ou 1. Cando o grosor da película seca do sistema de protección é maior que 250 μm , este requisito debe substituírse pola inexistencia de desprendemento da pintura do substrato no ensaio de adherencia segundo UNE-EN ISO 4624, a menos que os valores da tracción sexan maiores ou iguais a 5 MPa.
- Despois do ensaio, coa duración en horas indicadas en 30.3, segundo o caso, para a clase de exposición e grao de durabilidade exixidos, a probeta non presenta defectos segundo os métodos de avaliación establecidos nas partes 2 a 5 de UNE-EN ISO 4628, e a clasificación obtida de acordo con UNE-EN ISO 2409 sexa 0 ó 1. Cando o grosor da película seca do sistema de pintura é maior que 250 μm , empregárase a mesma substitución deste último requisito que a indicada na alínea a). A avaliación da condición tras o ensaio segundo UNE-EN ISO 2409 ou segundo o ensaio substitutivo efectuarase tras 24 horas de reacondicionamento da probeta.

Considérase que a probeta non presenta defectos, segundo o caso, cando cumpre os seguintes requisitos:

- Aplicando UNE-EN ISO 4628-2, cando se presente ampolamento 0 (S0).
- Aplicando UNE-EN ISO 4628-3, cando se presente óxido Ri 0.
- Aplicando UNE-EN ISO 4628-4, cando se presente fendedura 0 (S0).
- Aplicando UNE-EN ISO 4628-5, cando se presente escamación 0 (S0).

Ademais, deberá comprobarse que, unha vez efectuado un envellecemento artificial, conforme a UNE-EN ISO 9227, non existe ningún avance de corrosión do substrato, a partir da incisión, que sexa superior a 1mm, determinado de acordo con UNE-EN ISO 12944.

Na avaliación de defectos anteriormente citada non se terán en conta aqueles que se produzan a menos de 10 mm dos bordos da probeta.

En canto á galvanización en quente e á metalización con cinc, en xeral a presentación á dirección facultativa do certificado de garantía a que fai referencia o número 88.3.2 permitirá a aceptación do correspondente lote. No caso de efectuarse ensaios para comprobar a conformidade do lote, seguiranse os criterios establecidos para o efecto no prego de prescricións técnicas particulares da obra.

CAPÍTULO XXII

CONTROL DA EXECUCIÓN

Artigo 89 Criterios xerais para o control de execución

89.1. Organización do control

O control da execución, establecido como preceptivo por esta instrución, ten por obxecto comprobar que os procesos realizados durante a construción da estrutura se organizan e desenvolven de forma que a dirección facultativa poida asumir a súa conformidade respecto ao proxecto, de acordo co indicado nesta instrución.

O construtor elaborará o plan de obra e o procedemento de autocontrol da execución da estrutura. Este último terá en conta as particularidades concretas da obra, relativas a medios, procesos e actividades, e desenvolverá o seguimento da execución, de maneira que permita á dirección facultativa comprobar a conformidade coas especificacións do proxecto e o establecido nesta instrución. Para iso, os resultados de todas as comprobacións realizadas serán documentados polo construtor, nos rexistros de autocontrol. Ademais, efectuará unha xestión dos almacenamentos que lle permita manter e xustificar a rastrexabilidade das partidas e remesas recibidas na obra, de acordo co nivel de control establecido polo proxecto para a estrutura.

A dirección facultativa, en representación da propiedade, ten a obriga de efectuar o control da execución, comprobando os rexistros do autocontrol do construtor e efectuando unha serie de inspeccións puntuais, de acordo co establecido nesta instrución. Para iso, poderá contar coa asistencia técnica dunha entidade de control de calidade, de acordo co número 81.2.2.

89.2. Programación do control de execución.

Antes de iniciar a execución da estrutura, a dirección facultativa deberá aprobar o programa de control, que desenvolve o plan de control definido no proxecto, tendo en conta o plan de obra presentado polo construtor para a construción da estrutura, así como o procedemento de autocontrol, conforme o indicado no número 82.1 desta instrución.

A programación do control da execución identificará, entre outros aspectos, os seguintes:

- Niveis de control.
- Lotes de execución.
- Unidades de inspección.
- Frecuencias de comprobación.

89.3. Niveis de control da execución

Para os efectos desta instrución, considéranse dous niveis de control:

- a) Control de execución a nivel normal
- b) Control de execución a nivel intenso

O control a nivel intenso só será aplicable cando o construtor estea en posesión dun sistema da calidade certificado conforme a UNE-EN ISO 9001.

89.4. Lotes de execución

O programa de control aprobado pola dirección facultativa terá en conta unha división da obra en lotes de execución, coherentes co desenvolvemento previsto no plan de obra para a execución desta e conformes cos seguintes criterios:

- a) Corresponderanse con partes sucesivas no proceso de montaxe en taller e de execución da obra,
- b) non se mesturarán elementos de tipoloxía estrutural distinta, que pertenzan a columnas diferentes na táboa 89.4,
- c) o tamaño do lote non será superior ao indicado, en función do tipo de elementos, na táboa 89.4.

Táboa 89.4. Tamaño dos lotes

Tipo de obra	Elementos verticais	Elementos horizontais
Edificios	– Vigas e piares correspondentes a 500 m ² de superficie, sen superar as dúas plantas	– Vigas, elementos superficiais e forxados correspondentes a 250 m ² de planta
Pontes	– 200 m ³ de machóns, sen superar os 10 m de lonxitude de machón, – dous estribos	– 500 m ³ de taboleiro sen superar os 30 m lineais, nin un tramo ou unha doela
Chemineas, torres, depósitos	– Alzados correspondentes a 500 m ² de superficie ou a 10 m de altura	– Elementos horizontais correspondentes a 250 m ²

89.5. Unidades de inspección

Para cada lote de execución, identificarase a totalidade dos procesos e actividades susceptibles de ser inspeccionadas, de acordo co previsto nesta instrución.

Para os efectos desta instrución, enténdese por unidade de inspección a dimensión ou tamaño máximo dun proceso ou actividade comprobable, en xeral, nunha visita de inspección á obra. En función dos desenvolvementos de procesos e actividades previstos no plan de obra, en cada inspección á obra da dirección facultativa ou da entidade de control, poderá comprobarse un determinado número de unidades de inspección, as cales poden corresponder a un ou máis lotes de execución.

Para cada proceso ou actividade defínense as unidades de inspección correspondentes cuxa dimensión ou tamaño será conforme co indicado na táboa 89.5.

Táboa 89.5. Tamaño das unidades de inspección

Unidades de execución	Tamaño máximo da unidade de inspección
Control da xestión de almacenamentos	- Almacenamento ordenado por material, forma de subministración, fabricante e partida subministrada, de ser o caso
Revisión de planos de taller	- Planos correspondentes a unha remesa de elementos
Manipulación dos produtos de aceiro en taller	- Conxunto de produtos manipulados nunha xornada
Ensamblaxe de elementos en taller, incluída a comprobación de fixacións mecánicas	- Conxunto de elementos ensamblados nunha xornada
Soldaduras	- De acordo co establecido no articulado
Implantacións	- Nivel ou planta a executar
Formigonado de cimentacións	- Formigón vertido nunha xornada
Montaxe de elementos en obra, incluída a comprobación de fixacións mecánicas e soldaduras	- Conxunto de elementos ensamblados nunha xornada
Aplicación de tratamentos de protección	- Tratamento aplicado nunha xornada

No caso de obras de enxeñaría de pequena importancia, así como en obras de edificación sen especial complexidade estrutural (formadas por vigas, piares e forxados convencionais non pretensados, con luces de ata 6,00 metros e un número de niveis de forxado non superior a sete), a dirección facultativa poderá optar por aumentar ao dobre os tamaños máximos da unidade de inspección indicados na táboa 89.5.

89.6. Frecuencias de comprobación

A dirección facultativa levará a cabo o control da execución, mediante:

- A revisión do autocontrol do construtor para cada unidade de inspección,
- o control externo da execución de cada lote de execución, mediante a realización de inspeccións puntuais dos procesos ou actividades correspondentes a algunhas das unidades de inspección de cada lote, segundo o indicado neste artigo.

Para cada proceso ou actividade incluída nun lote, o construtor desenvolverá o seu autocontrol e a dirección facultativa procederá ao seu control externo, mediante a realización dun número de inspeccións que varía en función do nivel de control definido no programa de control e de acordo co indicado na táboa 89.6.

Táboa 89.6. Número de inspeccións en función do nivel de control

Procesos e actividades de execución	Número mínimo de actividades controladas externamente por unidade de inspección			
	Control normal		Control intenso	
	Autocontrol do construtor	Control externo	Autocontrol do construtor	Control externo
Control da xestión de almacenamentos	Totalidade	1	Totalidade	3
Revisión de planos de taller	1	1	1	1
Manipulación dos produtos de aceiro en taller	1	1	3	1
Ensamblaxe de elementos en taller, incluída a comprobación de fixacións mecánicas e soldaduras	10	2	20	4
Implantacións e xeometría	1	1	4	2
Formigonado de cimentacións	2	1	3	2
Montaxe de elementos en obra, incluída a comprobación de fixacións mecánicas e soldaduras	3	1	5	2
Aplicación de tratamentos de protección	5	2	10	3

Artigo 90 Comprobacións previas ao comezo da execución

Antes do inicio da execución de cada parte da obra, a dirección facultativa deberá constatar que existe un programa de control, tanto para os produtos como para a execución, que fose redactado especificamente para a obra, conforme o indicado polo proxecto e o establecido nesta instrución.

Calquera incumprimento dos requisitos previos establecidos provocará o aprazamento do inicio da obra ata que a dirección facultativa constate documentalmente que se reparou a causa que deu orixe ao citado incumprimento.

Artigo 91 Control da montaxe en taller

A conformidade dos procesos de montaxe en taller incluírá as características mecánicas dos produtos empregados, as características xeométricas dos elementos, así como calquera outra característica incluída no proxecto ou decidida pola dirección facultativa. As consideracións deste artigo son de aplicación independentemente de que o taller pertenza ou non ás instalacións propias da obra.

91.1. Comprobacións previas ao inicio da subministración

A dirección facultativa comprobará, antes do inicio da subministración, que o construtor comunicou o programa de obra, establecendo as datas límites para a recepción, de ser o caso, dos elementos elaborados en talleres situados fóra das instalacións da obra.

As comprobacións previas á subministración dos elementos fabricados en taller alleo á obra teñen por obxecto verificar a conformidade dos procesos e das instalacións que se pretenden empregar.

91.1.1. Comprobación documental previa á subministración

Ademais da documentación xeral a que fai referencia o número 82.3.1, que sexa aplicable aos elementos que se pretende subministrar á obra, o subministrador, ou de ser o caso o construtor, deberá presentar á dirección facultativa unha copia compulsada por persoa física da seguinte documentación:

- a) Se for o caso, documento que acredite que o proceso de montaxe en taller do elemento se encontra en posesión dun distintivo de calidade oficialmente recoñecido,
- b) Se for o caso, documento que acredite que os produtos de aceiro empregados na elaboración dos elementos se encontran en posesión dun distintivo de calidade oficialmente recoñecido,
- c) No caso de que se pretenda empregar procesos de soldadura, certificados de homologación de soldadores, segundo UNE-EN 287-1 e do proceso de soldadura segundo UNE-EN ISO 15614-1.

Ademais, previamente ao inicio da montaxe en taller, a dirección facultativa poderá revisar os planos de montaxe en taller que se preparasen especificamente para a obra. Esta revisión será preceptiva no caso de que o taller forme parte das instalacións da obra.

Cando se produza un cambio de taller de montaxe, será preceptivo presentar novamente a documentación correspondente.

91.1.2. Comprobación das instalacións

A dirección facultativa valorará a conveniencia de efectuar, directamente ou a través dunha entidade de control de calidade, e preferiblemente antes do inicio da subministración, unha visita de inspección ao taller de montaxe, co obxecto de comprobar a súa idoneidade para elaborar os elementos que se requiren para a obra. En particular, atenderase ao cumprimento das exixencias establecidas no capítulo XVIII desta instrución.

Estas inspeccións serán preceptivas no caso de instalacións que pertencen á obra, nas que se comprobará que se delimitou un espazo suficiente para os labores de montaxe, espazos predeterminados para o almacenamento dos produtos de aceiro e espazo fixo para a maquinaria, así como recintos específicos para xuntar os elementos antes da súa entrega á obra.

A dirección facultativa poderá pedir a información que poña de manifesto a existencia dun control de produción no taller, conforme co indicado nesta instrución e correctamente documentado, mediante o rexistro das súas comprobacións e resultados de ensaio nos correspondentes documentos de autocontrol, que incluírán ao menos todas as características especificadas por esta instrución.

91.2. Control durante a subministración

91.2.1. Control documental durante a subministración

A dirección facultativa deberá comprobar que cada remesa de elementos que se subministre á obra desde un taller vai acompañada da correspondente folla de subministración.

Así mesmo, deberá comprobar a coherencia entre as características dos elementos subministrados e os da documentación dos produtos de aceiro, declarada polo fabricante e facilitada polo subministrador da armadura. No caso de detectarse algún problema de rastrexabilidade, procederase ao rexeitamento dos elementos afectados por el.

Para elementos elaborados en talleres propios da obra, comprobarase que o construtor mantén un rexistro de fabricación no que se recolle, para cada partida de elementos fabricados, a mesma información que nas follas de subministración a que fai referencia este número.

A dirección facultativa aceptará a documentación da remesa de elementos, tras comprobar que é conforme co especificado no proxecto.

91.2.2. Comprobacións experimentais durante a subministración

91.2.2.1. Control das operacións de corte

Previamente ao inicio da actividade, para cada tipo de elemento a cortar e para cada material fabricaranse, cando menos, catro probetas, por parte do control externo da entidade de control:

- Unha consistirá nun corte recto do elemento de maior grosor.
- Outra, do elemento de menor grosor
- Unha dun corte en ángulo entrante con raio mínimo de acordo e sobre un elemento de grosor representativo
- Unha última dun corte en curva sobre un elemento de grosor representativo.

As probetas terán unha dimensión tal que permitan cortes de, cando menos, 200 mm de lonxitude.

A calidade de cada corte será a correspondente á clase da estrutura e a dos cortes curvados será similar á dos rectos.

Se os resultados da inspección dos bordos cortados foren non conformes, a dirección facultativa rexeitará o proceso, e o construtor deberao modificar definindo un novo procedemento, debendo procederse a iniciar un novo proceso de comprobación.

No caso de procedementos de corte que poidan producir incrementos locais da dureza do material (cortes con chama, cizallado), deberá controlarse esta nos bordos, para o que a entidade de control actuará segundo se indica:

- Fabricaranse catro probetas do material máis susceptible ao endurecemento de entre todos os que vaian ser ensaiados.
- En cada unha das catro probetas mediranse as durezas en catro puntos elixidos de entre aqueles nos que se supoña maior incremento. A medida realizarase conforme a UNE-EN ISO 6507-1.
- O maior dos valores medidos non excederá 380 HV 10.

Se os resultados das medidas son non conformes, modificarase o proceso de corte e repetirase o ensaio só para aqueles casos en que non houbo conformidade.

Este número non cobre a comprobación de durezas nos cortes que vaian ser soldados, os cales serán ensaiados conforme o procedemento específico de soldadura.

Ademais, deberán comprobarse periodicamente os medios e procedementos de tradeadura, para o cal a entidade de control deberá:

- Fabricar oito probetas para cada procedemento a ensaiar, cubrindo o rango de calidades dos materiais, diámetros de orificios e grosos do material.
- Medir o diámetro dos orificios en cada extremo do grosor tradeado utilizando patróns (pasa/non pasa). O valor medido cumprirá as tolerancias correspondentes á clase.

Se os resultados das medidas son non conformes, modificarase o proceso de tradeadura e repetirase o ensaio só para aqueles casos en que non houbo conformidade.

91.2.2.2. Control dimensional dos elementos

Deberase comprobar que os elementos elaborados no taller presentan as dimensións reflectidas nos planos de taller, considerando as tolerancias indicadas no prego de prescricións técnicas particulares do proxecto.

Os medios de medida deberán estar incluídos en ISO 7976, partes 1 e 2. Pola súa parte, a precisión da medida axustarase ao indicado en ISO 17123.

As medidas referiranse con respecto ás contrafrechas especificadas en proxecto, e corrixiranse para ter en conta as posibles deformacións por temperatura ou peso propio.

O taller disporá dos elementos necesarios (mesas de medida, bastidores, etc.) para a correcta execución das medidas.

No caso de aparición de non conformidades, corríxanse mediante algún dos medios especificados nesta instrución, de isto ser posible. Noutro caso, estudarase a posibilidade de modificar a xeometría do resto da estrutura de forma que se compense a non conformidade, en cuxo caso o dito procedemento deberá ser aprobado previamente pola dirección facultativa.

91.2.2.3. Comprobación da cualificación do persoal para a soldadura

Os soldadores deberán estar en posesión da cualificación adecuada, conforme o establecido en 77.4.2. A este respecto, serán admitidos os certificados que posúan os soldadores, sempre que estes sexan empregados fixos do taller, salvo decisión contraria da dirección facultativa.

A dirección facultativa poderá establecer calquera comprobación adicional sobre a cualificación dos soldadores, independentemente do lugar onde desenvolvan a súa actividade (taller ou obra).

O taller mecánico manterá ao día os correspondentes rexistros de identificación dos seus soldadores de forma satisfactoria, nos que debe figurar:

- Nº de ficha,
- copia de homologación e
- marca persoal.

Esta documentación estará en todo momento á disposición da dirección facultativa e da entidade de control de calidade.

Cada soldador identificará o seu propio traballo con marcas persoais que non serán transferibles.

Toda soldadura executada por un soldador non cualificado será rexeitada, procedéndose ao seu levantamento. En caso de que isto puider producir efectos perniciosos, a xuízo da dirección facultativa, o conxunto soldado será rexeitado e repostado polo construtor da estrutura de aceiro.

91.2.2.4. Control do procedemento de soldadura

Antes de iniciarse a fabricación en taller, o autocontrol do construtor incluírá cantas probas e ensaios sexan necesarios para a comprobación dos distintos métodos de soldadura a tope e en ángulo, ata determinar as características de soldadura máis adecuadas.

Comprobarase ademais que todos os procesos de soldadura, levantamento desta e reparación de zonas por soldadura, son obxecto dun procedemento por escrito, con indicación, entre outros, das características de materiais de achega, as preparacións de bordo, incluíndo temperaturas de prequentamento entre pasadas e calor de achega.

A soldadura deberá realizarse conforme o indicado no número 77.4.1. As cualificacións serán efectuadas pola entidade de control de calidade que leve a cabo o control externo. Esta entidade certificará por escrito que coas cualificacións quedan cubertos todos os procesos de soldadura a efectuar na obra en concreto.

No caso de grosos de ala superiores a 30 mm, cualificarase tamén o procedemento de soldadura en ángulo alas-alma e de unión de platabandas, de modo que se asegure que non existe excesiva achega de calor que baixe as características de resiliencia da zona soldada, material base e zona de transición, prequentado se é necesario.

91.2.2.5. Comprobación da execución das soldaduras

Con anterioridade á realización da soldadura procederase á inspección das pezas a unir conforme a UNE-EN 970. No caso de seccións ocas a inspección centrarase:

- Nas partes centrais do talón e dos flancos, se se trata de seccións circulares, e
- nas catro esquinas, no caso de seccións cadradas ou rectangulares.

As inspeccións, tanto se pertencen ao plan de autocontrol como se son parte das inspeccións do control externo, serán realizadas por un inspector de soldadura de nivel 2, conforme a norma UNE 14618, ou por calquera outra persoa coa suficiente cualificación técnica que sexa autorizada pola dirección facultativa. En todo caso, a dirección facultativa poderá exixir a certificación do inspector de soldadura.

De todos os controis que se efectúen, rexistrarase o seu correspondente protocolo de inspección, onde ademais da descrición se xuntarán fichas de control de soldadura que incluírán os resultados do ensaio e a posición exacta do dito control.

Autocontrolaranse todos os cordóns. Calquera ensaio realizarase unha vez transcorridas ao menos 16 horas desde a deposición do cordón. Este prazo alongarase ata 40 horas cando exista risco de fisuración en frío. En particular:

- Materiais de grosor superior a 40 mm.
- Aceiros de calidade superior a S355.
- Cordóns moi embridados.
- Aceiros de resistencia á corrosión mellorada

As soldaduras que ao longo do proceso de fabricación resulten inaccesibles deberán inspeccionarse antes de que isto ocorra.

Cando un elemento ou unha zona deste fose deformado para corrixir desviacións xeométricas resultantes da fabricación, todas as soldaduras situadas nas zonas afectadas serán inspeccionadas e, se proceder, ensaiadas, como se non o tivesen sido con anterioridade.

O autocontrol das soldaduras incluírá unha serie de comprobacións que serán, como mínimo:

- Unha inspección visual, preceptiva para todos os cordóns, e
- unhas comprobacións adicionais, para clases de execución diferentes de C1, mediante a realización de ensaios non destrutivos, cuxa frecuencia debe ser función da clase de execución, de acordo coa táboa 91.2.2.5.

Táboa 91.2.2.5. Frecuencias de ensaio

Tipo de soldadura		Ensaio			
		Soldaduras en taller		Soldaduras en obra	
		C.E. 4 e 3	C.E. 2	C.E. 4 e 3	C.E. 2
Cordóns de forza	Cordóns a tope sometidos a tensións de tracción ($k \geq 0,8$)	100 %	50 %	100 %	100 %
	$0,3 < k < 0,8$	50 %	20 %	100 %	50 %
	$k \leq 0,3$	10 %	5 %	20 %	10 %
	Cordóns a tope sometidos a tensións de compresión	10 %	5 %	20 %	10 %
	Cordóns de ángulo.	20 %	10 %	20 %	10 %
	Cordóns lonxitudinais	10 %	5 %	20 %	10 %
Unións de atado	Rixidizadores, correas, etc.	5 %			

K: coeficiente de utilización
C.E. Clase de execución

Se do autocontrol derivar algunha non conformidade, rexeitarase o lote e incrementarase a frecuencia de ensaios, respecto da indicada na táboa 91.2.2.5

A inspección visual dos cordóns desenvolverase unha vez completadas todas as soldaduras dunha área de inspección e previamente á realización de calquera ensaio.

A inspección visual incluirá:

- A existencia e situación de todos os cordóns.
- A inspección dos cordóns conforme a UNE-EN 970.
- Zonas de cebado e cerramento.

A inspección da forma e superficie dos cordóns dos nós entre seccións ocas prestará atención especial aos seguintes aspectos:

- No caso de seccións circulares, ás partes centrais do talón e dos flancos
- No caso de seccións cadradas ou rectangulares, ás catro esquinas
- A aceptación dos cordóns na inspección visual efectuarase segundo o que establece o número 77.6 desta instrución.

Realizaranse os seguintes ensaios non destrutivos segundo os principios xerais establecidos en UNE-EN12062 e conforme as especificacións particulares de cada método de ensaio:

- Líquidos penetrantes (LP), segundo UNE-EN 1289.
- Partículas magnéticas (PM), segundo UNE-EN 1290.
- Ultrasóns (US), segundo UNE-EN 1714.
- Radiografías (RX), segundo UNE-EN 12517.

Cando se localice algunha imperfección “admisible” non será precisa a súa reparación, pero inspeccionarase un tramo adicional do mesmo cordón. Se se encontra unha imperfección non admisible repararanse todos os defectos.

Se a imperfección é “non admisible” será necesaria unha reparación, segundo un procedemento establecido. A dita reparación non afectará unicamente a imperfección non admisible, senón tamén todas aquelas admisibles que se detectasen con anterioridade. Adicionalmente, incrementarase o nivel de control para as soldaduras dese soldador na porcentaxe adicional indicada no correspondente plan de autocontrol.

Se un terzo dos soldadores ten un incremento do seu nivel de control comunicarase á dirección facultativa para que aumente o nivel de control externo levado a cabo pola entidade de control e tome as medidas oportunas.

Todas as soldaduras se inspeccionarán visualmente. Realizaranse ensaios adicionais nos puntos onde se sospeite que poden existir defectos.

As radiografías poderán substituírse por ultrasóns en soldaduras de difícil acceso e, en xeral, sempre que así o indique a dirección facultativa. Os procedementos LP e PM son intercambiabes, sendo preferible a realización deste último.

En todos os puntos onde existan cruzamentos de cordóns de soldadura se realizará unha radiografía adicional.

En xeral, o autocontrol realizará unha inspección mediante partículas magnéticas ou no seu defecto líquidos penetrantes, dun 15% do total da lonxitude das soldaduras en ángulo, cos criterios de aceptación fixados nas normas xa referidas. Esta inspección será posterior á visual e realizada polo mesmo inspector, que seleccionará estas soldaduras, e sempre comprenderá os extremos (inicios e finais) de cordóns.

Cando a porosidade superficial sexa excesiva a xuízo da dirección facultativa, será obrigatorio realizar unha inspección do interior do cordón.

Así mesmo, en xeral, realizarase unha inspección radiográfica e ultrasónica das soldaduras a tope, tanto de chapas en continuación como de unións en T, cando estas sexan a tope. Cando coexistan a inspección visual e a realización de ensaios non destrutivos nunha mesma costura, simultanearanse ambos cando isto sexa posible.

- Nas inspeccións radiográficas que se realicen, as unións cualificadas con 1 ou 2 de acordo coa norma UNE-EN 12517 serán admisibles.
- As soldaduras con cualificacións 3, 4 ou 5 levantaránse para proceder á súa nova execución. Excepcionalmente, as cualificadas con 3 poderán admitirse en función da amplitude do defecto, posición e características da unión, solicitudes, etc.
- As deformacións provocadas polas soldaduras serán corrixidas por calor, non adoptando en ningún caso temperaturas de quentamento superiores a 900 °C.
- Non se empregará auga ou calquera outro proceso para arrefriar bruscamente.
- Se durante a inspección visual das soldaduras se detectase algún defecto, este será corrixido conforme o criterio que figura na táboa que segue:

Descrición do defecto	Corrección
Fisuras	Saneamento das fisuras e novo cordón
Poros e rebordamentos	Soldar de novo despois de sanear con arco-aire. Lonxitude mínima de saneamento 40 mm
Mordeduras	Saneamento e posterior depósito de material de achega, lonxitude mínima de saneamento 40 mm
Concavidades e convexidades non previstas	Puidura
Outros defectos: entallas e estrías superficiais con posterior depósito de material; fendeduras de límite de achega, etc.	Puidura ou saneamento por arco-aire

91.2.2.6. Control de soldaduras reparadas

No caso de estruturas de clases 1, 2 ou 3, o control das soldaduras reparadas efectuarase conforme os procedementos homologados.

Os cordóns reparados inspeccionaranse e ensaiaranse de novo coma se fosen novos.

91.2.2.7. Control de unións aparafusadas

O plan de autocontrol do construtor deberá considerar, de ser o caso, a comprobación das unións mediante fixación con elementos mecánicos, ás que se refire o artigo 76 desta instrución.

As ditas comprobacións deberán incluír as correspondentes á aplicación dos pares de apertamento adecuados, de acordo co especificado no proxecto e nesta instrución. No caso de parafusos pretensados comprobarase que o esforzo aplicado é superior ao mínimo establecido.

Os criterios de aceptación ou rexeitamento serán os definidos para o efecto nesta instrución.

O plan de autocontrol deberá fixar a frecuencia das comprobacións, que pode establecerse, en principio, no 100% das unións entre elementos principais (vigas, piares, chapas, etc.) e o 25% das unións en elementos secundarios (rixidizadores, triangulacións secundarias, etc.).

91.2.2.8. Control do armado en taller

Antes de iniciarse a fabricación, o construtor propondrá, por escrito e cos planos necesarios, a secuencia de armado e soldadura, que a xuízo dos seus coñecementos e experiencia considere óptimas, en función da máxima redución de tensións residuais e deformacións previsibles. Estas secuencias someteranse á dirección facultativa para a súa aprobación.

No armado previo de taller comprobarase que a disposición e dimensións de cada elemento se axustan ás indicadas nos planos de taller. Rectifícaranse ou rexeitaranse todas as pezas que non permitan o acoplamento mutuo, sen forzalas, na posición que deban ter, unha vez efectuadas as unións definitivas.

En cada unha das pezas preparadas en taller porase con pintura ou lapis grosso a marca de identificación con que foi designada nos planos de taller para o armado dos distintos elementos.

Así mesmo, cada un dos elementos terminados en taller levará a marca de identificación necesaria (realizada con pintura) para determinar a súa posición relativa no conxunto da obra. Adicionalmente, procederase a troquelar a peza armada co obxecto de garantir a rastrexabilidade dos produtos ata a obra.

A dirección facultativa efectuará as visitas e inspeccións que considere oportunas para comprobar o proceso de montaxe. Por outra parte, a entidade de control efectuará tamén as inspeccións que estableza o correspondente plan de inspección externa.

O autocontrol incluírá, ao menos, as seguintes comprobacións:

- Identificación dos elementos.
- Situación dos eixes de simetría.
- Situación das zonas de suxeición aos elementos contiguos.
- Paralelismo de alas e platabandas.
- Perpendicularidade de alas e almas.
- Abolamento, rectitude e planeidade de alas e almas.
- Contrafrechas.

O control do armado realizarase cunha mostraxe cubrindo as seguintes porcentaxes: 100% e 25%, segundo se trate de elementos principais ou secundarios, respectivamente.

91.3. Comprobación da conformidade da montaxe.

91.3.1. Comprobacións previas á montaxe

Previamente ao inicio da montaxe en obra, a dirección facultativa comprobará a correspondencia co proxecto dos elementos elaborados en taller, así como a conformidade da documentación subministrada con eles.

Así mesmo, o construtor deberá elaborar a documentación de montaxe que deberá ser aprobada pola dirección facultativa, previamente ao inicio das operacións de obra. Como mínimo, aquela constará dos seguintes documentos, recollidos nos números que a continuación se indican:

91.3.1.1. Memoria de montaxe

A memoria de montaxe incluírá o cálculo das tolerancias de posicionamento de cada compoñente de forma coherente co sistema xeral de tolerancias (en especial no que á implantación de placas base se refire), a descrición das ayudas á montaxe (casquillos provisionais de apoio, lingüetas de izado, elementos de guiado, etc.), definición das unións en obra, medios de protección de soldaduras, procedementos de apertamento de parafusos, etc.

Así mesmo, incluírá un número específico relativo ás comprobacións de seguridade durante a montaxe, comprobando ademais que, como consecuencia do proceso de montaxe, non se xeran solicitacións permanentes sobre a estrutura que sexan diferentes ás consideradas no proxecto.

91.3.1.2. Planos de montaxe

Comprobarase que recollen en forma esquemática a posición e movementos das pezas durante a montaxe, os medios de izado, os apontoamentos provisionais e, en xeral, toda a información necesaria para o correcto manexo das pezas.

91.3.1.3. Programa de inspección

Deberá indicar os procedementos de autocontrol do construtor, especificando os elementos aos que se aplica cada inspección, o tipo (visual, mediante ensaios non destrutivos, etc.) e nivel, os medios de inspección, as decisións derivadas de cada un dos resultados posibles, etc.

91.3.2. Comprobacións durante a montaxe

Durante as operacións de montaxe comprobarase a conformidade de todas aquelas operacións que se leven a cabo, mediante a aplicación de criterios análogos aos establecidos por esta instrución para a montaxe en taller.

En particular, comprobarase que cada operación se efectúa na orde e coas ferramentas especificadas, que o persoal encargado de cada operación posúe a cualificación adecuada, que se mantén o adecuado sistema de trazado que permita identificar o orixe de cada incumprimento, etc.

CAPÍTULO XXIII

MANTEMENTO

Artigo 92 Recomendacións de deseño

92.1. Detalles

Os procesos de corrosión do aceiro vense potenciados se se producen en zonas de difícil acceso ou de acumulación de auga ou doutras materias. Para paliar, ou evitar na medida en que isto sexa posible, un agravamento das consecuencias estruturais ou funcionais é conveniente que, na fase de deseño, se respeten as regras de boa práctica referidas nos números 31.2 e 31.3.

En estruturas de edificación evítase, na medida do posible, dispor baixantes ou canos adosados ou adxacentes a piares de aceiro. Esta prescripción poderá ser soslaidada se a estrutura de aceiro queda vista e é accesible para a súa inspección ou mantemento.

En todo caso, nas zonas de cóbados, “tes” ou cambios de orientación de conducións de auga que se sitúen en proximidades dalgún piar ou viga de aceiro, disporase un elemento illante entre o elemento de aceiro e a tubaxe. Disporanse, así mesmo, as caídas e pendentes de tal forma que, en caso dunha eventual fuga ou rotura da condución, a auga sexa conducida afastándose da estrutura de aceiro.

92.2. Accesibilidade

Deberase intentar que non existan zonas inaccesibles ou de difícil acceso con vistas a ser repintadas adecuadamente. Así, é conveniente deixar na estrutura ganchos, pasadores ou outros elementos de fixación que permitan a instalación de estadas ou outros medios de acceso para poder acometer operacións de mantemento durante o servizo da obra.

É conveniente que todas as superficies da estrutura que dispoñan dalgún tratamento de protección anticorrosión sexan visibles e que sexan accesibles cuns medios que teñan suficiente seguridade. Ademais, deberá existir o espazo adecuado para que o operario poida traballar en condicións de seguridade suficientes. Na táboa 92.2.a indícanse as distancias típicas mínimas requiridas para que poidan ser empregadas adecuadamente as ferramentas habitualmente utilizadas en traballos de protección anticorrosiva.

Táboa 92.2.a. Requisitos dimensionais para operacións de mantemento

OPERACIÓN	Lonxitude da ferramenta D_2 (mm)	Distancia da ferramenta ao paramento D_1 (mm)	Ángulo de operación α (°)
Preparación de superficies mediante chorreado	800	200-400	60-90
Limpeza con ferramentas mecánicas (lixado)	100-350	--	--
Limpeza con ferramentas manuais (cepillado)		--	--
Pulverización mecánica	100	--	--
Aplicación de pinturas	300	--	90
- Pulverizada	200-300	200-300	90
- Con brocha		--	45-90
- Con rolo		--	10-90

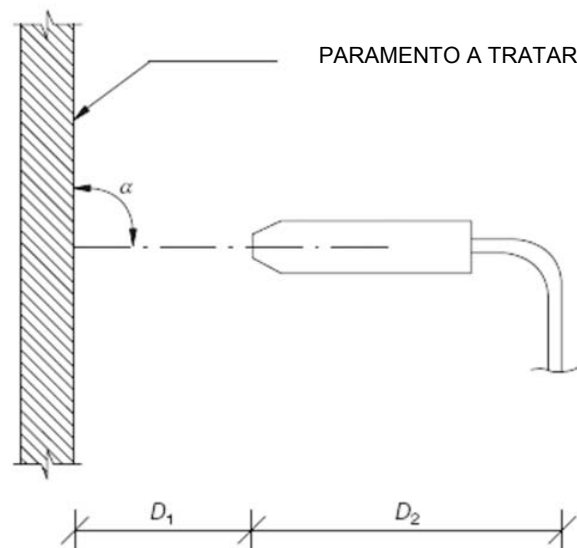


Figura 92.2.a. Disposición das ferramentas de mantemento

Para posibilitar a realización dos traballos de preparación de superficies e de pintado deberase evitar, sempre que sexa posible, deixar espazos de dimensións reducidas entre pezas próximas. Deberase intentar que o operario de mantemento sexa capaz de ver e de alcanzar coa ferramenta a superficie a tratar. Nas figuras 92.2.b e 92.2.c danse os criterios mínimos de accesibilidade visual da superficie e de accesibilidade física para alcanzar a superficie que deben ser respectadas. No caso de que non se alcancen as dimensións mínimas propostas, deberase considerar a superficie como inaccesible, para efectos de aplicación dos sobregrosos indicados no número 31.2.2.1.

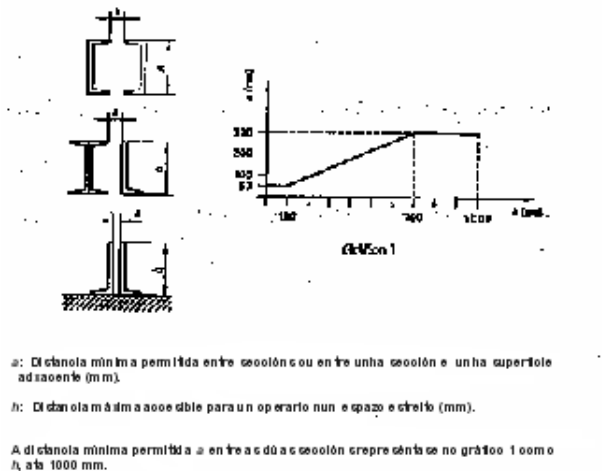
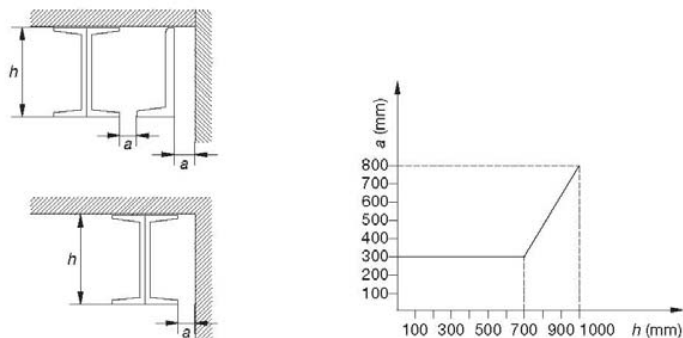


Figura 92.2.b. Distancias mínimas entre pezas próximas (1)



A distancia mínima permitida a entre a sección e a superficie adxacente represéntase no gráfico 2.

Nota 1. Se o operario debe alcanzar distancias maiores de 1000 mm, no gráfico debería estar, preferiblemente, a 800 mm como mínimo.

Nota 2. Cando o proxectista non poida cumprir coas recomendacións arriba sinaladas será necesario tomar medidas especiais.

Figura 92.2.c. Distancias mínimas entre pezas próximas (2)

En moitas ocasións, as estruturas de edificación compostas por piares e vigas de aceiro non son accesibles e, en moitos casos, nin sequera visibles. Compréndese que nestes casos os labores de inspección e de mantemento se ven dificultados en gran medida. Por iso, para evitar agravamentos de calquera patoloxía estrutural producida pola corrosión, é fundamental eliminar ou, ao menos, limitar aqueles condicionantes que xeran problemas de corrosión. Por iso, respectaranse nestes casos con escrupulosidade as prescricións expostas nos números 31.2, 31.3 e 92.1.

Artigo 93 Plan de inspección e mantemento

Para estruturas clase 4 ou 3 (ver número 6.2.3) será obrigatorio incluír no proxecto un “plan de inspección e mantemento” que defina os labores a levar a cabo sobre a parte de aceiro da estrutura tendentes a manter a súa capacidade estrutural e funcional en niveis razoables ao longo da súa vida útil.

O plan de inspección e mantemento deberá conter a definición precisa de, ao menos, os seguintes elementos ou operacións relativas á conservación:

- Descrición da estrutura.
- Estimación da vida útil de cada elemento estrutural.
- Descrición dos puntos críticos máis característicos de cada elemento.

- Periodicidade das inspeccións recomendadas.
- Criterios de inspección.
- Medios auxiliares necesarios para o acceso ás diferentes zonas da estrutura.
- Definición do tratamento de protección proposto para superficies inaccesibles.
- Definición da pintura de protección ou outro tipo de sistema proposto para superficies expostas que sufran máis deterioración.
- Calendario de repintado ou outras accións de mantemento da estrutura.

Artigo 94 Memoria de construción

Toda obra debe ser inspeccionada en tres etapas diferentes:

- Durante a execución (fase de control de calidade).
- Ao finalizar a obra, antes da súa posta en servizo.
- Posteriormente, ao longo da súa vida útil.

No que respecta ao mantemento, é un feito constatado que algúns problemas xurdidos durante a fase de servizo teñen a súa orixe en fallos de deseño ou en incidencias xurdidas durante a construción. É, por iso, fundamental que as ditas circunstancias queden recollidas nun documento que sirva de base para actuacións posteriores.

Sobre a base do dito, para estruturas clase 4 ou 3 (ver número 6.2.3) será obrigatorio realizar unha inspección "fin de obra" en que se revise o estado de todos os elementos estruturais con vistas ao seu futuro mantemento. As deterioracións detectadas e as correspondentes medidas correctoras adoptadas reflectiranse nun documento ex profeso redactado para o efecto a modo de "memoria de construción" ou "informe fin de obra".

Ademais, para estruturas clase 4 ou 3 (ver número 6.2.3), no citado documento definiranse, adicionalmente, as especificacións relativas ao tratamento de protección utilizado, con vistas a posteriores intervencións. En concreto, definiranse, polo menos, os seguintes aspectos:

- Vida útil esperada do sistema de protección empregado, tanto para superficies expostas como para superficies inaccesibles (pintura, galvanización en quente, metalización con cinc).
- Descrición do tratamento de protección empregado describindo, tanto para superficies expostas como para superficies inaccesibles, os seguintes aspectos, que no caso de pintura serán:
 - Tipo de preparación.
 - Número de capas.
 - Dotación e grosor de cada capa.

- Produtos empregados en cada capa.
- Datos de identificación da casa subministradora da pintura.
- Datos de identificación da empresa aplicadora.

Como anexo a este “informe fin de obra” incluírase o “plan de inspección e mantemento” referido no artigo 93.

O “informe fin de obra” deberá ser posto á disposición do responsable da explotación da estrutura.

Anexo 1: Notacións e unidades

A1.1 Notación

Os termos e vocábulos utilizados nesta instrución teñen o significado normalmente asignado no ámbito do aceiro estrutural. En calquera caso, en xeral, estes defínense cando aparecen por primeira vez dentro da instrución.

A1.1.1 Maiúsculas romanas

Termo	Definición	Número
A	valor da acción accidental. Área. Largo entre esquinas en perfís conformados en frío. Porcentaxe de produtos de aceiro en posesión de distintivo de calidade oficialmente recoñecido;	9.2, 22.3.2, 24.3.1, 34.2, 34.3, 34.5, 34.7.2.1, 34.7.2.2, 35.1.1, 35.1.2, 35.1.4, 35.3, 46.3, 56.1, 60.2.1, 60.3, 61.1, 80.2, A11.4.3.1, A11.4.3.4.
A ₀	sección do cordón. Superficie de repartición máxima a compresión nunha placa de base;	64.2, 65.2.2, A-9-9, A-9-17, A-9-19
A'₀	superficie restrinxida na que se aplica a forza da placa de base á cimentación;	65.2.2
A ₁	área da sección transversal do elemento 1;	A-9-2, A-9-3
A _c	área bruta para elementos planos rixidizados sometidos a compresión uniforme. Sección bruta da zona comprimida da placa rixidizada exceptuando as partes dos subpaneis soportadas por un panel de placa adxacente;	A6.4.1, A6.4.2
A _{c,ef}	área da sección reducida da ala esvelta comprimida, con ou sen rixidizadores, fronte a aboladura. Área da sección reducida da zona comprimida do panel rixidizado;	21.5, 34.1.2.5, A6.4.1, A6.4.4
A* _{c,ef}	área da sección reducida da zona comprimida do panel rixidizado para os casos en que a influencia do arrastre por cortante sexa significativa;	A6.4.1

Termo	Definición	Número
$A_{c,ef,loc}$	suma da áreas reducidas de todos os rixidizadores e os subpaneis que se encontran, totalmente ou en parte, na zona comprimida. Área reducida da placa rixidizada, exceptuando as partes dos subpaneis soportadas por un panel de placa adxacente, calculada tendo en conta a posible aboladura dos diferentes subpaneis e/ou dos elementos planos de rixidización;	A6.4.1, A6.4.2
A_{cor}	área da sección transversal do cordón;	71.2.3, 71.2.3.1, 71.2.3.2
A_d	área da sección transversal da diagonal. Área da diagonal da celosía;	18.2.5, 62.1.4, 71.2.3.1, A3.3.1
A_e	área equivalente a cortante da sección;	67.2.1.2
$A_{E,k}$	valor característico da acción sísmica;	13.2
A_{ef}	área reducida ou da sección transversal eficaz, segundo o caso. Área da sección reducida eficaz obtida baixo a actuación dun esforzo axial de compresión;	21.5, 22.3.5, 34.1.2.5, 34.3, 34.7.2.3, 35.1.1, 35.1.2, 35.1.4, 35.3, 35.7.1, 35.7.2, 60.3, 73.9.3, 73.11.3, 73.11.4, A6.2, A6.5
$A_{ef,f}$	área reducida da ala comprimida;	35.2.3
$A_{ef,w,c}$	área reducida da parte comprimida da alma;	35.2.3
A_f	área bruta da ala traccionada. Área dunha ala. Superficie de solo do sector de incendio;	34.4, 34.5, 35.5.2.2, 61.1, A8.4.2, A8.5
$A_{f,net}$	área neta da ala traccionada;	34.4
A_{fb}	área do par de rixidizadores dunha zona traccionada ou comprimida dun soporte;	62.1.3
$A_{fc,ef}$	área reducida da ala comprimida;	35.8
A_{fi}	superficie do sector de incendio se a carga de lume está uniformemente distribuída;	A8.4.6
A_g	área bruta da sección do perfil ou estrutura lixeira de aceiro;	73.4, 73.11.4
A_h	superficie das aberturas horizontais da cuberta;	A8.5

Termo	Definición	Número
A_i	área da sección transversal un cordón ($i=1,2,\dots$). Área da sección parcial i -ésima dunha partición da sección tal que a temperatura de cada unha poida asimilarse a un valor uniforme no seu interior (θ_i), en cada instante do proceso. Área do trapecio que constitúe a sección transversal da viga caixón. Parámetro;	18.2.5, 35.3, A3.3.1, A11.4.1
A_j	superficie do elemento de cerramento j , excluídas as aberturas;	A8.6.1
A_k	valor característico da acción accidental.	13.2
A_L	área perimetral exposta dun elemento de aceiro por unidade de lonxitude;	48.1
A_m	área da sección transversal dun montante. Área exposta dun elemento de aceiro por unidade de lonxitude;	18.2.5, 48.1
A_{net}	sección transversal neta:	34.2, 58.2, 58.5.2, 73.13.4
A_{nt}	área neta da zona sometida a tracción para efectos de resistencia a fendedura;	58.5.1
A_{nv}	área neta da zona sometida a cortante para efectos de resistencia a fendedura;	58.5.1
A_p	área da superficie interna do revestimento por unidade de lonxitude do elemento. Sección bruta da placa;	48.2, A6.4.2.1
A_{pl}	superficie da placa de base;	65.2.3
A_r	porción de área da alma do soporte comprendida entre dous rixidizadores do par. Sobregrosor de soldadura de placa do taboleiro da ponte;	62.1.3
A_s	sección transversal dun rixidizador para efectos do cálculo da resistencia fronte a empenamento. Área da sección resistente a tracción do parafuso ou perno;	35.9.1, 58.6, 58.7, 58.8, 61.2, 62.3, 65.2.1, 65.2.5, 76.7
A_{sl}	área dos rixidizadores lonxitudinais situados dentro dunha largura b_0 da ala. Suma da sección bruta de todos os rixidizadores lonxitudinais considerados individualmente;	21.4, A6.4.2.1

Termo	Definición	Número
$A_{sl,1}$	sección bruta da columna equivalente sobre leito elástico para o cálculo da tensión crítica de aboladura en placas. Área bruta da sección transversal do rixidizador e das partes adxacentes da placa;	A6.4.2.2, A6.4.3
$A_{sl,ef}$	suma das áreas reducidas de todos os rixidizadores lonxitudinais con área bruta A_{sl} que se encontran na zona comprimida. Área da sección reducida debido á aboladura da placa;	A6.4.1, A6.4.3
A_v	área a cortante. Área da sección transversal do montante. Superficie da aberturas. Superficie das aberturas verticais da fachada;	34.5, 46.4, 71.2.3.1, A8.4.6, A8.5, A8.6.1, A-9-9
A_{vc}	área a cortante do piar;	62.1.2, 62.1.4, 62.3
A_w	área da alma. Área do orificio para unha soldadura en botón;	34.5, 34.7.1, 35.8, 56.1, 59.10
B	largura do taboleiro. Largo entre esquina e bordo libre en perfís conformados en frío;	38.4, 80.2
B_D	bimomento distorsional que solicita a viga ao longo do eixe lonxitudinal z;	A3.3.1
B_{Ed}	bimomento de torsión de empenamento;	34.6
$B_{p,Rd}$	resistencia a punzonamento da peza baixo a torca ou baixo a cabeza do parafuso;	58.7
C_1	factor corrector para a lei de momentos flectores;	35.3
C_d	valor límite admisible para o estado límite a comprobar (deformacións, vibracións, etc.);	8.1.3,
C.E.	clase de execución;	91.2.2.5
C_E	coeficiente de escuadra;	61.6
CEV	valor do carbono equivalente;	26.5.5, 27.1, 27.2.1, 27.2.3, 27.2.2, 27.3, 59.3.2
$C_{f,d}$	coeficiente de rozamento entre a placa de base e o formigón;	65.2.1
C_{LT}	coeficiente;	35.3
$C_{mi,0}$	coeficiente;	35.3
C_{mLT}	factor de momento uniforme equivalente;	35.3
C_{my}	factor de momento uniforme equivalente;	35.3
C_{mz}	factor de momento uniforme equivalente;	35.3

Termo	Definición	Número
C_{yy}	coeficiente;	35.3
C_{yz}	coeficiente;	35.3
C_{zy}	coeficiente;	35.3
C_{zz}	coeficiente;	35.3
D	desviación cóncava o convexa de la planeidad en un perfil conformado en frío. Diámetro del fuego;	80.2, A8.6.2
D_1	longitud de la herramienta;	92.2
D_2	distancia de la herramienta al paramento;	92.2
D_d	dano acumulado polo detalle como resultado dos ciclos de carga;	42.3, 42.6
D_r	pendente existente entre tableiros ortótropos para pontes, despois da montaxe;	80.4
E	módulo de elasticidade lonxitudinal do aceiro;	18.2.4, 18.2.5, 20.3, 26.2, 26.3, 26.5.2, 32.4, 35.3, 35.5.2.1, 35.6, 35.8, 57.4, 61.6, 62.1.2, 62.3, 65.2.5, 66.2, 71.2.3, 71.2.3.1, 71.2.3.2, 73.7, 73.9.2, 73.10, 73.11.3, A6.4.2.1, A6.4.3, A7.2.1, A3.3.1, A5.2, A-9-8
E_a	módulo de elasticidade do aceiro a 20 °C;	45.1
$E_{a,\theta}$	módulo de elasticidade na fase lineal do diagrama tensión-deformación para a temperatura θ_a ;	45.1
E_c	módulo de elasticidade entre o formigón e a placa de base a compresión;	65.2.5
E_d	valor de cálculo do efecto das accións. Módulo de elasticidade do aceiro;	8.1.2, 8.1.3,
$E_{d,desestab}$	valor de cálculo do efecto das accións desestabilizadoras;	8.1.2, Artº 33
$E_{d,estab}$	valor de cálculo do efecto das accións estabilizadoras;	8.1.2, Artº 33
$E_{fi,d}$	Efectos da acción de incendio definida en 43.2, conxuntamente coas accións mecánicas concomitantes especificadas no art. 44º, cos coeficientes parciais de seguridade indicados nel;	Art. 46º, 46.8.1, Art. 47º, A8.5
E_g	enerxía interna do gas;	A8.7.1

Termo	Definición	Número
$EI\eta''_{cr}$	momento flector debido á deformada η_{cr} na sección transversal crítica;	22.3.5
E_s	módulo de elasticidade lonxitudinal;	32.2
F	Forza. Factor de proporcionalidade;	59.8.2, A3.3.3
$F_{b,Ed,ser}$	esfuerzo de esmagamento nun bulón desmontable en estado límite de servizo;	58.9
$F_{b,Rd}$	resistencia a esmagamento da peza na zona contigua ao parafuso;	58.6, 58.9, 58.10
$F_{b,Rd,ser}$	resistencia a esmagamento dun bulón desmontable en estado límite de servizo;	58.9
$F_{c,Ed}$	esfuerzo transmitido á cartela;	60.3
$F_{c,fb,Rd}$	resistencia de cálculo da ala e a alma da viga a compresión;	61.2.1, 62.2.2
$F_{c,Rd}$	resistencia da zona de compresión orixinada polos esforzos que se transmiten desde os elementos comprimidos do soporte á cimentación a través da placa de base;	65.2.2
$F_{c,wc,Rd}$	máximo esforzo de compresión que pode resistir a zona comprimida no soporte;	62.1.2, 62.2.2
$F_{ch,Rd}$	resistencia a tracción do conxunto chapa-parafuso en unións con chapa frontal e con parafusos de alta resistencia pretensados;	58.7
F_{cr}	Carga crítica de inestabilidade elástica para un certo modo de inestabilidade lateral nunha estrutura intranslacional, baixo a configuración da combinación de accións a considerar. Carga transversal crítica de aboladura local da alma fronte a carga concentrada;	23.2, 35.6
F_d	valor de cálculo dunha acción F .	Art. 12
$F_{e,Rd}$	resistencia por fallo no extremo dun punto de soldadura nunha soldadura por resistencia;	73.13.4
F_{Ed}	valor de cálculo da forza transversal aplicada. Carga de cálculo que actúa sobre a estrutura para a combinación de accións. Valor de cálculo da reacción de compresión do apoio;	21.6, 23.2, 35.6, 35.7.2, 58.3, 58.9, 58.10, 59.3.4, 60.2.2, 61.3, 62.1.3, 66.2
$F_{Ed,ser}$	valor de cálculo da reacción de compresión do apoio en estado límite de servizo;	66.2

Termo	Definición	Número
$F_{H,Ed}$	valor de cálculo da forza horizontal, estimada no nivel inferior de cada planta, resultante das cargas horizontais que actúan por encima do dito nivel, incluíndo os efectos das imperfeccións;	23.2.1
$F_{i,Ed}$	esfuerzo en cada parafuso orixinado polo xiro relativo entre as pezas a unir nunha unión plana excéntrica aparafusada;	60.2.2, 60.2.2
F_k	valor característico dunha acción. Forza puntual;	Art. 11
$F_{net,Rd}$	resistencia por sección neta dun punto de soldadura nunha soldadura por resistencia;	73.13.4
F_{Rd}	valor da resistencia da alma fronte a cargas transversais concentradas;	35.6, 58.10, 60.1.2, 60.2.2, 62.1.3, 62.1.5, 62.2.1, 62.4.3
F_{Rdu}	forza máxima de compresión concentrada que pode actuar sobre o formigón segundo a Instrución EHE;	65.2.2
F_s	carga puntual;	35.6
$F_{s,Ed}$	esfuerzo a transmitir polo parafuso;	58.2
$F_{s,Rd}$	resistencia a desprazamento dun parafuso de alta resistencia pretensado;	Artigo 39º, 58.2, 58.8
$F_{s,Sd}$	solicitudión de cálculo en servizo do parafuso;	Artigo 39º
$F_{t,Ed}$	esfuerzo de tracción nun parafuso en dirección ao seu eixe;	58.7, 58.7.1, 58.8
$F_{T,ep,Rd}$	resistencia de cálculo a tracción para unha fila de parafusos individual dunha chapa frontal en flexión;	61.2.1, 62.2.2
$F_{t,fc,Rd}$	resistencia da ala do soporte;	62.1.2, 62.2.2
$F_{T,i,Rd}$	resistencia a tracción de cálculo para un casquillo en T equivalente;	61.2
$F_{t,Rd}$	resistencia de cálculo a tracción dun parafuso;	58.7, 58.7.1, 61.2
$F_{T,Rd}$	resistencia de cálculo da ala dun casquillo en T equivalente;	61.2, 61.2.1, 62.2.1, 62.2.2
$F_{t,wb,Rd}$	resistencia de cálculo a tracción para unha fila de parafusos individual da alma da viga en tracción;	61.2.1, 62.2.2
$F_{t,wc,Rd}$	resistencia da alma do soporte;	62.1.2, 62.2.2

Termo	Definición	Número
$F_{tb,Rd}$	resistencia a esmagamento e fendedura dun punto de soldadura nunha soldadura por resistencia;	73.13.4
$F_{tr,Rd}$	resistencia de cálculo a tracción eficaz dunha fila de parafusos r;	61.2.1, 62.2.2
$F_{v,Ed}$	valor de cálculo da forza vertical, estimada no nivel inferior de cada planta, resultante das cargas verticais que actúan por encima do dito nivel. Esforzo de cálculo que solicita un parafuso en dirección normal ao seu eixe;	23.2.1, 58.6, 58.7.1, 58.9
$F_{v,Rd}$	resistencia a cortante do parafuso ou punto de soldadura nunha soldadura por resistencia;	58.6, 58.7, 58.9, 58.10, 73.13.4
$F_{V2,Rd}$	resistencia do perno a cortante e a esmagamento contra a placa de base ou contra a arandela de fixación;	65.2.1
$F_{w,Ed}$	esforzo de cálculo a transmitir nunha soldadura de botón ou en rañura. Cortante de cálculo sobre o cordón ou punto de soldadura en unións por solapamento executadas con soldadura ao arco;	59.10, 60.1, 60.1.1, 60.2.1, 73.13.5.1, 73.13.5.2
$F_{w,Rd}$	resistencia a cortante do cordón ou punto de soldadura en unións por solapamento executadas con soldadura ao arco;	73.13.5.1, 73.13.5.2
$F_{w,Sd}$	resistencia dunha soldadura de botón ou en rañura;	59.10
G	valor da acción permanente. Módulo de elasticidade transversal do aceiro. Centro de gravidade da sección bruta. Módulo de elasticidade transversal do neopreno;	9.2, 18.2.4, 18.2.5, 20.7, 32.4, 66.1, 73.11.3, A3.3.3
G^*	valor da acción permanente de valor non constante;	9.2,
G'	centro de gravidade da sección reducida;	20.7
G_{kj}	valor característico das accións permanentes.	13.2
$G_{k,j}^*$	valor característico das accións permanentes de valor non constante.	13.2
H	altitude (metros sobre o nivel do mar). Altura do edificio. Forza horizontal. Diferenza entre os esforzos axiais a un lado e a outro do nó. Forza horizontal que é capaz de transmitir o apoio. Altura do sector de incendio. Distancia entre o foco de lume e o teito;	Art. 11º, 37.1, 37.2.2, 50.2, 60.3, 66.1, A8.5, A8.6.2

Termo	Definición	Número
H_{Ed}	valor de cálculo da resultante das accións horizontais totais, na base do edificio, correspondentes á combinación de accións considerada;	22.3.1
H_i	altura dunha planta do edificio;	37.1, 37.2.2
H_{td}	valor de cálculo da forza transversal equivalente aos defectos iniciais de verticalidade en elementos comprimidos;	22.3.3
H_u	potencial calorífico neto do material;	A8.4.4, A8.4.6
H_{u0}	potencial calorífico neto do material seco;	A8.4.4
H_{ui}	potencial calorífico neto;	A8.4.2
HV	dureza Vickers;	66.2, 77.5.5
I	momento de inercia da sección transversal;	34.5, 35.3, 61.1, 73.11.3, A5.2
ICES-EA	índice de contribución da estrutura de aceiro á sostibilidade;	A11.1, A11.3, A11.5, A11.6.1, A11.6.2
ISMA-EA	índice de sensibilidade medioambiental da estrutura de aceiro;	A11.1, A11.3, A11.4, A11.4.1, A11.5
I_b	momento de inercia da viga conectada na unión. Inercia ao empenamento distorsional da sección nunha viga caixón unicelular simétrica;	57.4, A3.3.1
I_c	momento de inercia do piar conectado na unión;	57.4, 65.2.5
I_{cor}	inercia do cordón no plano;	71.2.3.2
I_{ef}	momento de inercia da sección reducida. Inercia efectiva do elemento composto;	20.7, 71.2.3, 71.2.3.1, 71.2.3.2, A6.2
$I_{ef,f}$	momento de inercia da ala comprimida reducida arredor do eixe débil da sección;	35.2.3
I_f	momento de inercia do conxunto de ambas as alas respecto ao eixe de inercia da peza;	61.1
I_i	momento de inercia da sección transversal dun cordón ($i=1,2$);	18.2.5
I_m	momento de inercia da sección transversal dun montante;	18.2.5
$I_{mín}$	inercia mínima;	67.2.1.2
I_{net}	momento de inercia da sección neta do rixidizador transversal;	A7.2.4

Termo	Definición	Número
I_p	momento de inercia polar da área dos cordóns respecto ao seu centro de gravidade. Inercia da presilla no plano. Inercia a flexión da placa. Momento de inercia polar do rixidizador, considerado illadamente, arredor do bordo fixado á chapa rixidizada;	60.2.1, 71.2.3.2, A6.4.2.1, A7.2.1
I_{sl}	momento de inercia da rixidización lonxitudinal con respecto ao eixe z-z. Momento de inercia da chapa rixidizada;	35.5.2.1, 35.9.3.3, A6.4.2.1
$I_{sl,1}$	momento de inercia da sección bruta da columna arredor do eixe que pasa polo seu centro de gravidade e que é paralelo ao plano da chapa. Inercia da sección transversal bruta do rixidizador lonxitudinal e das partes adxacentes da chapa, respecto ao eixe de flexión que ocasiona unha deformación do rixidizador fóra do plano da chapa;	A6.4.2.2, A6.4.3
I_{st}	momento de inercia do rixidizador transversal;	A7.2.1
I_T	módulo de torsión uniforme do rixidizador considerado illadamente;	A7.2.1
I_t	inercia de torsión de St. Venant;	18.2.4, 73.11.3
I_w	inercia de empenamento. Momento de inercia do elemento do marco correspondente á alma do caixón;	18.2.4, 34.6, 61.1
l_y	lonxitude efectiva de carga;	35.6, 35.7.2
K	coeficiente de rixidez efectiva da viga;	A5.2
K_i	parámetro;	A11.4.1
K_1, K_2	coeficientes de rixidez para os tramos lonxitudinais adxacentes ao soporte;	A5.2
K_b	valor medio de I_y/L_b para todas as vigas do teito piso;	57.4
K_c	valor medio de I_y/L_c dos piares do teito piso. Coeficiente de rixidez do piar I/L ;	57.4, A5.2
K_D	constante de rixidez do diafragma;	A3.3.1
$K_{i,j}$	coeficiente de rixidez efectiva da viga (con $i=1,2$ e $j=1,2$);	A5.2
K_v	resiliencia;	26.2

Termo	Definición	Número
L	luz. Lonxitudinal. Lonxitude da cartela. Lonxitude do elemento. Lonxitude dos cordóns de soldadura. Lonxitude total dunha rañura. Profundidade da placa de base. Lonxitude de galga;	21.1, 22.3.2, 22.4, 27.2.2, 27.2.4, 34.1.2.5, 35.3, 37.2.1, 37.2.2, 37.3.1, 37.3.2, 40.2, 42.6, 45.1, 46.3, 59.3.6, 60.3, 61.6, 65.2.3, Art. 67º, 71.1, 71.2.3, 71.2.3.2, 72.3, 73.8, 73.11.3, 80.2, 80.4, A5.2
L ₁	distancia libre entre extremos de cordóns parciais en cordóns descontinuos, da mesma ou distinta cara, en pezas traccionadas. Distancia entre rixidizadores contiguos;	59.3.4, 80.2
L ₂	distancia libre entre extremos de cordóns parciais en cordóns descontinuos, da mesma ou distinta cara, en pezas comprimidas ou a cortante. Distancia entre rixidizadores contiguos;	59.3.4, 80.2
L _b	lonxitude da viga conectada na unión. Lonxitude de alongamento dos parafusos. Lonxitude de apertamento dos parafusos, distancia desde a metade do grosor da torca á metade do grosor da cabeza. Lonxitude do perno. Lonxitude da diagonal da celosía;	57.4, 62.3, 65.2.5, A3.3.1
L _c	lonxitude de piar conectado na unión;	57.4, 65.2.5
L _{cor}	lonxitude de empenamento do cordón;	71.2.3.1
L _{cr}	lonxitude de empenamento no plano de empenamento por flexión considerado;	35.1.3, A5.1, A5.2
L _f	lonxitude das chamas dun lume localizado;	A8.6.2
L _{fi}	lonxitude de empenamento en situación de incendio;	46.3
L _h	lonxitude horizontal das chamas;	A8.6.2
L _j	lonxitude da unión, medida na dirección da forza a transmitir entre centros de parafusos extremos;	60.1.2
L _p	lonxitude da diagonal xeométrica da sección transversal do caixón;	A3.3.1
L _w	lonxitude de cada cordón parcial en cordóns descontinuos;	59.3.4, 59.8.1, 59.8.2, 59.10, 60.3, 61.4, 73.13.5.2
L _{w,e}	lonxitude do cordón en ángulo frontal extremo, paralelo á dirección do esforzo;	73.13.5.1
L _{w,s}	lonxitude do cordón en ángulo lateral, paralelo á dirección do esforzo;	73.13.5.1

Termo	Definición	Número
L_{we}	lonxitude de cada cordón parcial en cordóns discontinuos nos extremos das pezas a unir;	59.3.4
L_{wef}	lonxitude efectiva dun cordón de soldadura en ángulo;	59.8.1
L_{wi}	lonxitude dun cordón de soldadura na unión;	60.1.1
M	momento flector;	20.7, 57.2, 60.3
$M_{0,Ed}$	valor de cálculo do momento flector no cordón;	64.2
$M_{b,fi,t,Rd}$	resistencia de cálculo a flexión fronte a empenamento lateral dun elemento con sección de clase 1,2 ou 3, cunha temperatura máxima do aceiro na ala comprimida da sección ($\theta_{a,com}$) nun instante dado (t) do proceso de incendio;	46.5
$M_{b,Rd}$	resistencia de cálculo a flexión fronte a empenamento lateral;	35.2.1, 73.11.3
$M_{b,V,Rd}$	resistencia de cálculo a empenamento lateral dun elemento non arriostado lateralmente solicitado a flexión arredor do eixe forte a temperatura ambiente, incluíndo de ser o caso a redución por efecto do esforzo cortante;	46.5
$M_{b1,Ed}$	momento de cálculo a un lado do soporte;	62.1.2, 62.1.4, 62.3
$M_{b2,Ed}$	momento de cálculo ao outro lado do soporte;	62.1.2, 62.1.4, 62.3
$M_{c,Rd}$	resistencia de cálculo da sección a flexión;	34.4, 34.7.2.1, 35.2.3, 62.1.2, 73.11.2
$M_{c,T,Rd}$	resistencia de cálculo dunha sección sometida a flexión e torsión;	34.6
M_{cr}	momento flector crítico elástico de empenamento lateral;	35.2.2. 35.2.2.1
M_{Ed}	valor de cálculo do momento flector. Valor de cálculo do máximo momento flector no centro do elemento composto, considerando os efectos de segunda orde;	34.4, 34.7.2.1, 34.7.2.2, 34.7.2.3, 35.2.1, 35.2.2.1, 35.2.2.2, 35.7.1, 35.7.2, 53.2, 56.1, 57.3, 57.5, 58.9, 60.2.1, 60.2.2, 61.1, 61.2.1, 62.1.1, 62.2.2, 65.2.1, 71.2.3, 73.11.3, A6.5, A-9-13
M'_{Ed}	valor de cálculo do máximo momento flector no centro do elemento composto, sen considerar efectos de segunda orde;	71.2.3
$M_{Ed,1}$	valor de cálculo do momento flector no elemento 1;	A-9-2, A-9-3

Termo	Definición	Número
$M_{Ed,ser}$	momento flector que solicita a un bulón desmontable en estado límite de servizo;	58.9
M_{Edw}	valor do momento flector de cálculo orixinado polo flector na sección de empalme e pola excentricidade do cortante nun empalme con cobrexuntas;	61.1
M_{el}	momento elástico da sección da peza;	56.1
$M_{f,Rd}$	resistencia de cálculo a flexión da sección transversal considerando exclusivamente a sección reducida das alas;	35.5.2.2, 35.7.1
$M_{f,Rk}$	resistencia característica a flexión da sección transversal considerando exclusivamente a sección reducida das alas;	35.5.2.2
$M_{fi,Ed}$	valor de cálculo do momento flector en situación de incendio;	46.4, 46.6
$M_{fi,t,Rd}$	valor de cálculo do momento flector resistido para o instante (t) do proceso de incendio;	46.4
$M_{fi,\theta,Rd}$	resistencia de cálculo a flexión dunha sección de clase 1, 2 ou 3 co empenamento lateral coaccionado, e cunha temperatura uniforme ($\theta_{a,t}$);	46.4
M_i	momento flector na sección para a carga "i" illada para o cálculo do coeficiente Ψ_{el}	21.3.3
$M_{i,Ed}$	valor de cálculo do momento flector en cada parafuso da unión plana excéntrica aparafusada;	60.2.2
$M_{ip,1,Rd}$	valor de cálculo da resistencia a flexión da unión, expresada en termos do momento flector interno do elemento 1 no plano da unión;	A-9-3, A-9-4, A-9-10, A-9-11, A-9-18
$M_{ip,i,Ed}$	momento flector de cálculo no plano da unión;	64.6.2, 64.7.2.1, 64.8
$M_{ip,i,Rd}$	resistencia da unión a momento flector no plano da unión;	64.6.2, 64.7.2.1, 64.8
$M_{j,Ed}$	valor de cálculo do momento flector na unión;	57.5, 62.2.2
$M_{j,Rd}$	momento flector de cálculo que resiste a unión;	61.2.1, 62.1.5, 62.2.1, 62.2.2, 62.4.1, 62.4.3
$M_{k,i}$	cantidade de material combustible;	A8.4.3
$M_{N,Rd}$	resistencia plástica da sección reducida, debido á existencia do esforzo axial N_{Ed} ;	34.7.2.1, 35.7.1

Termo	Definición	Número
$M_{op,1,Rd}$	valor de cálculo da resistencia a flexión da unión, expresada en termos do momento flector interno do elemento 1 fóra do plano da unión;	A-9-2, A-9-3, A-9-4, A-9-11
$M_{op,i,Ed}$	momento flector de cálculo no plano normal ao da unión;	64.6.2, 64.7.2.1
$M_{op,i,Rd}$	resistencia da unión a momento flector no plano normal ao da unión;	64.6.2, 64.7.2.1
M_{pl}	momento plástico da sección da peza;	56.1
$M_{pl,Rd}$	valor de cálculo da resistencia plástica a flexión;	35.3, 35.7.1, 53.2, 57.3, 61.2, 61.6, 62.4.1, 73.11.2
M_{Rd}	momento último no diagrama momento-rotación para a unión sometida a momento flector;	57.2, 57.3, 57.5, 58.9
$M_{Rd,ser}$	resistencia a flexión dun bulón desmontable en estado límite de servizo;	58.9
M_{Rk}	resistencia característica a flexión da sección transversal crítica;	22.3.5, 35.3
M_t	momento torsor aplicado ao parafuso;	76.7.1
$M_{V,Rd}$	momento último da sección solicitada en flexión simple a temperatura ambiente, incluíndo de ser o caso a redución por efecto do esforzo cortante;	46.4
$M_{x,Ed}$	momento torsor de cálculo concomitante con $N_{c,Ed}$;	65.2.1
$M_{y,Ed}$	valor de cálculo do momento flector máximo existente entre puntos de arriostamento. Valor de cálculo do momento flector máximo ao longo do elemento arredor do eixe y-y;	35.2.3, 35.3
$M_{y,V,Rd}$	resistencia plástica de cálculo a flexión, para seccións en dobre T con alas iguais e sometidas a flexión arredor do eixe principal de inercia da sección, considerando a interacción co esforzo cortante e o esforzo torsor;	34.7.1
$M_{z,Ed}$	valor de cálculo do momento flector máximo ao longo do elemento arredor do eixe z-z;	35.3
N	esforzo normal. Número de determinacións;	20.7, 41.1, 48.4, 59.3.5, 60.3, 65.2.2, 72.4.3, A5.2, A6.6
N_0	esforzo de pretensado de cálculo no parafuso;	58.2, 58.8, 65.2.3, 76.7, 76.7.1
$N_{0,Ed}$	esforzo de cálculo axial no cordón;	64.2, A-9-5, A-9-6, A-9-16

Termo	Definición	Número
$N_{0,Rd}$	resistencia de cálculo a esforzo axial no cordón;	A-9-9, A-9-17, A-9-19
N_1	esforzo axial de compresión aplicado nun tramo do cordón;	72.4.1
N_1	esforzo axial aplicado no elemento 1;	A-9-1, A-9-3, A-9-5, A-9-6, A-9-7, A-9-10, A-9-12, A-9-14, A-9-15, A-9-19
$N_{1,Ed}$	esforzo axial de cálculo no elemento 1;	A-9-5, A-9-6, A-9-12, A-9-16
$N_{1,Rd}$	resistencia de cálculo a esforzo axial no elemento 1;	A-9-1, A-9-2, A-9-3, A-9-5, A-9-7, A-9-10, A-9-12, A-9-17
N_2	esforzo axial de compresión aplicado no outro tramo do cordón. Esforzo axial aplicado no elemento 2;	72.4.3, A-9-1, A-9-5, A-9-6, A-9-7, A-9-12, A-9-15, A-9-16, A-9-17
$N_{2,Ed}$	esforzo axial de cálculo no elemento 2;	A-9-5, A-9-6, A-9-12, A-9-16
$N_{2,Rd}$	resistencia de cálculo a esforzo axial no elemento 2;	A-9-1, A-9-5, A-9-12
N_3	esforzo axial aplicado no elemento 3;	A-9-5, A-9-12
$N_{3,Ed}$	esforzo axial de cálculo no elemento 3;	A-9-9
$N_{b,fi,t,Rd}$	resistencia de cálculo a empenamento dun elemento solicitado a compresión cuxa sección, de área A, é de clase 1,2 ou 3;	46.3
$N_{b,Rd}$	resistencia a empenamento de cálculo do elemento comprimido;	35.1.1, 71.2.3, 71.2.3.1, 73.11.3
$N_{c,Ed}$	valor absoluto do esforzo de compresión de cálculo transmitido pola placa de base á cimentación;	65.2.1
$N_{c,Rd}$	resistencia de cálculo da sección a compresión;	34.2
$N_{c,Sd}$	valor absoluto do esforzo de compresión de cálculo transmitido pola placa de base á cimentación, incluíndo o posible esforzo de pretensado dos pernos de ancoraxe;	65.2.1
$N_{cor,Ed}$	valor de cálculo do esforzo axial de compresión sobre o cordón comprendido entre dous enlaces consecutivos;	71.2.3, 71.2.3.2
N_{cr}	esforzo axial crítico elástico para o modo de empenamento considerado. Esforzo axial crítico elástico efectivo do elemento composto;	22.3.2, 24.3.1, 35.1.2, 35.1.3, 35.1.4, 35.3, 41.1, 71.2.3, 73.11.3, A5.2
$N_{cr,F}$	esforzo axial crítico elástico de empenamento por flexión;	73.11.3

Termo	Definición	Número
$N_{cr,T}$	esfuerzo axial crítico elástico de empenamento por torsión;	35.1.4, 35.3, 73.11.3
$N_{cr,TF}$	esfuerzo axial crítico elástico de empenamento por torsión e flexión;	35.1.4, 73.11.3
N_E	esfuerzo axial crítico elástico (carga crítica de empenamento de Euler) do elemento de rixidización;	40.1, A5.2
N_{Ed}	valor de cálculo do esforzo axial de compresión no elemento considerado. Valor de cálculo do esforzo axial de compresión no centro do elemento composto;	22.3.1, 22.3.2, 22.3.3, 22.4.1, 24.3.1, 34.1.2.4, 34.2, 34.3, 34.7.2.1, 34.7.2.2, 34.7.2.3, 35.1.1, 35.1.2, 35.3, 35.5.2.2, 35.7.1, 35.7.2, 53.2, 56.1, 58.5.1, 61.1, 61.2.1, 62.2.2, 62.3, 62.4.1, 65.2.2, 71.2.3, 73.11.3, A6.5, A7.2.1, A-19-3
$N_{Ed,1}$	valor de cálculo do esforzo axial de compresión no elemento 1;	A-9-2, A-9-3
N_{Edf}	esfuerzo axial resistido por cada unha das unións de alas nun empalme con cobrexuntas;	61.1
N_{Edw}	esfuerzo axial dirixido segundo a directriz da peza repartido uniformemente entre todos os parafusos da unión nun empalme con cobrexuntas;	61.1
$N_{Ef,Rd}$	resistencia á fendedura;	58.5.1
$N_{fi,Ed}$	valor de cálculo do esforzo axial en situación de incendio;	46.4, 46.6
$N_{fi,t,Rd}$	resistencia de cálculo dunha sección solicitada en tracción pura e cunha distribución non homoxénea de temperatura nun instante dado (t) do proceso de incendio;	46.2
N_i	esfuerzo axial de compresión aplicado no elemento i da unión;	A-9-7, A-9-8
$N_{i,Ed}$	esfuerzo axial de cálculo na diagonal ou montante i;	64.2, 64.6.2, 64.7.2.1, 64.8, A-9-5, A-9-13
$N_{i,Rd}$	resistencia de cálculo da unión a esforzo axial;	64.6.2, 64.7.2.1, 64.8, A-9-1, A-9-5, A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-13, A-9-14, A-9-15, A-9-17, A-9-19
N_j	esfuerzo axial de compresión aplicado no elemento j da unión;	A-9-7, A-9-17
$N_{j,Ed}$	valor de cálculo do esforzo axial na unión;	61.2.1, 62.2.2

Termo	Definición	Número
$N_{j,Rd}$	esfuerzo axial resistente de cálculo na unión, supoñendo que non existe ningún momento aplicado;	61.2.1, 62.2.2
$N_{máx}$	reacción vertical máxima no apoio en N;	66.1
$N_{mín}$	reacción vertical mínima no apoio en N;	66.1
$N_{net,Rd}$	resistencia de cálculo a tracción da área neta;	34.2
N_p	esfuerzo axial plástico da sección da peza;	56.1
$N_{p,Ed}$	valor do esforzo axial descontando as compoñentes das diagonais ou montantes paralelas ao eixe do cordón;	64.2
$N_{pl,0,Rd}$	resistencia plástica de cálculo da sección no cordón;	A-9-5, A-9-6, A-9-16
$N_{pl,Rd}$	resistencia plástica de cálculo da sección bruta;	34.2, 34.7.2.1, 46.2, 53.2, 61.2.1, 62.2.2, 62.3, 62.4.1, A-9-13
N_{Rd}	resistencia de cálculo da unión;	60.1.2
N_{RK}	resistencia característica a esforzo axial da sección transversal crítica;	22.3.5, 35.3
N_t	esfuerzo axial de tracción na diagonal de lonxitude d_t ;	72.4.3
$N_{t,Rd}$	resistencia de cálculo da sección a tracción;	34.2
$N_{u,Rd}$	resistencia última de cálculo da sección transversal neta;	34.2, 58.5.2
$N_{x,Ed}$	esfuerzo axial de cálculo para unha unión en x;	A-9-5
\tilde{N}	número de ciclos de fallo de cada carreira de tensión;	42.6
\tilde{N}_σ	número de veces sucesivas que debe aplicarse a carreira de tensións normais Δ_σ para esgotar a resistencia a fatiga do detalle segundo a curva S-N correspondente, minorada mediante o coeficiente Y_{Mf} ;	42.3
\tilde{N}_τ	número de veces sucesivas que debe aplicarse a carreira de tensións tanxenciais Δ_τ para esgotar a resistencia a fatiga do detalle segundo a curva S-N correspondente, minorada mediante o coeficiente Y_{Mf} ;	42.3
O	coeficiente de aberturas;	A8.5, A8.6.1

Termo	Definición	Número
O_{lim}	coeficiente de aberturas límite;	A8.6.1
P_i	carga puntual individual. Valor que toma a función representativa para cada indicador;	70.4, A11.4.1, A11.4.3.1, A11.4.3.2, A11.4.3.3, A11.4.3.4, A11.4.3.5, A11.4.3.6
P_k	porcentaxe de humidade característica máxima dos materiais de protección admitido nos cálculos. Carga gravitatoria total por encima da planta;	45.2, 48.2, 50.2
P_r	desviación no axuste de taboleiros ortótropos na montaxe de pontes;	80.4
Q	valor da acción variable. Forza de panca. Velocidade de liberación do calor;	9.2, 61.2, A8.4.6, A8.6, A8.6.2, A8.7.1
Q_c	compoñente de convección da velocidade de liberación de calor;	A8.6.2
$Q_{fi,k}$	carga de lume característica;	A8.4.2
Q_H^*	factor adimensional de liberación de calor;	A8.6.2
Q_k	valor característico da acción variable;	42.3
$Q_{k,1}$	valor característico da acción variable determinante.	13.2, Art. 44°
$Q_{máx}$	valor máximo da velocidade de liberación de calor;	A8.4.6
Q_{rad}	perda de enerxía a través das aberturas;	A8.7.1
Q_{wall}	perda de enerxía polas superficies de contorno;	A8.7.1
R_d	valor de cálculo da resposta da estrutura;	8.1.2, 15.2
R_D	reaccións nos resortes obtidas no modelo de viga equivalente, para o dimensionamento dos diafragmas;	A3.3.3
$R_{D,rixido}$	reaccións nos resortes obtidas no modelo de viga equivalente suprimindo apoios de rixidez infinita nas seccións onde se sitúan os diafragmas;	A3.3.3
$R_{fi,d,0}$	valor de $R_{fi,d,t}$ para $t=0$, é dicir, a temperatura ambiente;	46.8.1, Art. 47°
$R_{fi,d,t}$	resistencia respectiva, supoñendo o elemento sometido á distribución de temperaturas (θ) no instante (t) do proceso de incendio;	Art. 46°, 46.8.1, A8.5

Termo	Definición	Número
RHR _f	Máxima velocidade de xeración de calor producido en 1 m ² de lume, no caso de lume controlado polo combustible;	A8.4.6
R _k	valor característico da resposta da estrutura;	15.2
S	momento estático da área da sección transversal por encima do punto considerado. Carreira de tensións. Factor de sección expresado en m ⁻¹ . Rixidez requirida a cortante da correa;	34.5, 42.5, 48.1, 48.4, 56.1, 73.11.3
S _{ch}	rixidez que proporciona a chapa;	73.11.3
S _D	solicitacións reais sobre os distintos elementos que constitúen o diafragma;	A3.3.3
S _{D,rixido}	solicitacións obtidas na hipótese de diafragmas totalmente rixidos;	A3.3.3
S _j	rixidez a rotación da unión;	57.2, 57.5, 65.2.5
S _{j,ini}	rixidez a rotación inicial da unión;	57.2, 57.4, 57.5, 62.3, 65.2.5
S _p	factor de sección do elemento protexido en m ¹ ;	48.2, 48.4
S _v	rixidez a cortante de triangulación utilizada para o enlace ou do panel empresillado;	71.2.3, 71.2.3.1, 71.2.3.2
T	grosor de taboleiros ortótropos para pontes. Temperatura;	80.4, A8.7.1
T _{c,Rd}	resistencia de cálculo da sección a torsión;	34.6
T _{Ed}	valor de cálculo do esforzo torsor. Valor de cálculo do esforzo de tracción no perno;	34.6, 65.2.3
T _o	temperatura mínima de servizo a considerar no lugar de colocación da estrutura;	32.3
T _{ref}	temperatura de referencia no aceiro;	32.3
T _{t,Ed}	compoñente do esforzo torsor correspondente á torsión uniforme de Saint-Venant;	34.6
T _{w,Ed}	compoñente do esforzo torsor correspondente á torsión de empenamento;	34.6
V	volume de aceiro do elemento por unidade de lonxitude en m ³ /m;	48.1, 48.2

Termo	Definición	Número
$V_{0,Ed}$	valor de cálculo do esforzo cortante no cordón;	A-9-5, A-9-6, A-9-16
$V_{b,Rd}$	resistencia de cálculo fronte a aboladura da alma;	35.5.2, 73.10
$V_{bf,Rd}$	contribución das alas á resistencia fronte a aboladura por cortante do elemento;	35.5.2, 35.5.2.2
$V_{bw,Rd}$	contribución da alma á resistencia fronte a aboladura por cortante do elemento;	35.5.2, 35.7.1
V_c	velocidade de cálculo do vento;	38.4
$V_{c,Rd}$	resistencia de cálculo da sección a cortante;	34.5, 46.4
$V_{c1,Ed}$	esforzo cortante aplicado na unión polos elementos conectados;	62.1.4
$V_{c2,Ed}$	esforzo cortante aplicado na unión polos elementos conectados;	62.1.4
V_{Ed}	valor de cálculo das accións verticais totais, na base do edificio, para a combinación de accións considerada. Valor de cálculo do esforzo cortante;	22.3.1, 34.5, 34.6, 34.7.1, 34.7.3, 35.5.2, 35.7.1, 35.9.3.3, 35.9.3.5, 53.2, 56.1, 61.1, 61.2.1, 61.3, 61.4, 61.5, 61.6, 62.1.1, 62.2.2, 71.2.3, 71.2.3.2, A7.2.4, A-9-19
$V_{Ed,G}$	esforzos cortantes debidos ás accións non sísmicas;	53.2
$V_{fi,Ed}$	valor de cálculo do esforzo cortante en situación de incendio;	46.4
$V_{fi,t,Rd}$	resistencia de cálculo dunha sección de clase 1,2 ó 3 solicitada a cortante, nun instante dado (t) do proceso de incendio;	46.4
V_i	coeficiente;	A11.4.1
V_k	cortante combinado correspondente á planta;	50.2
V_p	cortante plástico da sección da peza;	56.1
$V_{pl,0,Rd}$	resistencia plástica a cortante de cálculo no cordón;	A-9-5, A-9-6, A-9-16
$V_{pl,Rd}$	resistencia plástica de cálculo a cortante;	34.5, 34.7.1, 34.7.3, 53.2, A-9-19
$V_{pl,T,Rd}$	resistencia de cálculo da sección fronte a esforzo cortante e momento torsor;	34.6, 34.7.1
V_R	máximo cortante que pode ser transmitido por rozamento pola placa de base á cimentación do soporte;	65.2.1

Termo	Definición	Número
$V_{Rd,w}$	resistencia da soldadura;	61.6
V_{Rd1}	resistencia da alma da viga a esmagamento local;	61.5, 61.6
V_{Rd2}	resistencia do cordón de soldadura do casquillo de angular;	61.5, 61.6
V_{Rd3}	resistencia a cortante da ala do casquillo de angular;	61.5
$V_{wp,Ed}$	esfuerzo a cortante de cálculo na alma dun piar sen rixidizar;	62.1.4
$V_{wp,Rd}$	resistencia plástica de cálculo a cortante da alma dun piar sen rixidizar;	62.1.4, 62.2.2
$V_{y,Ed}$	compoñente do esforzo cortante de cálculo segundo o eixe y;	65.2.1
$V_{z,Ed}$	compoñente do esforzo cortante de cálculo segundo o eixe z;	65.2.1
W	módulo resistente. Largura da peza a unir;	35.2.1, 35.2.3, 35.3, 56.1, 59.3.6
W_{ef}	módulo resistente da sección reducida;	20.7, 34.7.2.3, 35.3, 73.9.3, 73.11.3, A6.2, A6.4.1, A6.5
$W_{ef,min}$	módulo resistente elástico mínimo da sección transversal reducida;	22.3.5, 34.4
W_{el}	módulo resistente elástico a flexión;	34.7.2.2, 35.3, 58.9, 73.11.2, A5.2
$W_{el,0}$	módulo resistente elástico do cordón;	64.2
$W_{el,1}$	módulo resistente elástico da sección do elemento 1;	A-9-2, A-9-3
$W_{el,min}$	módulo resistente elástico mínimo da sección;	22.3.5, 34.4
W_{pl}	módulo resistente plástico da sección;	22.3.5, 34.4, 34.7.1, 35.3, 73.11.2
$W_{pl,1}$	módulo resistente plástico da sección do elemento 1;	A-9-11
Z	estrición expresada en porcentaxe;	26.2, 26.5.2

A1.1.2 Minúsculas romanas

Termo	Definición	Número
a	valor dos datos xeométricos. Dimensión. Coeficiente. Distancia entre rixidizadores transversais. Grosor de garganta de soldadura. Dimensión maior en planta do apoio de neopreno. Distancia mínima permitida entre seccións ou entre unha sección e unha superficie adxacente. Lonxitude da chapa con ou sen rixidizadores. Distancia entre rixidizadores transversais. Coeficiente de contribución social da estrutura á sostibilidade	16.1, 18.2.5, 34.7.2.1, 35.5.2.1, 35.5.2.2, 35.6, 35.9.3.3, 59.7, 59.8.2, 59.9.2, 59.10, 61.2, 61.3, 61.4, 61.5, 61.6, 64.3, 64.8, 66.1, 71.2.3.1, 71.2.3.2, 80.2, 92.2, A6.3, A6.4.2.1, A6.4.2.2, A6.4.3, A6.5, A11.5
a_1, a_2	lonxitudes dos paneis adxacentes ao rixidizador transversal;	A7.2.1
a_1, a_2, \dots, a_5	coeficientes individuais de contribución social da estrutura á sostibilidade;	A11.5, A11.6.1
a_b	grosor de garganta da unión das alas da viga á do soporte;	62.1.1, 62.1.2
a_c	grosor de garganta dos cordóns da unión ala-alma do soporte. Lonxitude de empenamento da columna equivalente;	62.1.1, 62.1.2, 62.2.1
a_d	valor de cálculo de datos xeométricos;	16.1
a_f	coeficiente;	34.7.2.1
a_i	grosor de garganta dun dos cordóns de soldadura na unión;	60.1.1
a_k	valor característico de datos xeométricos;	16.1
a_{LT}	coeficiente;	35.3
a_{nom}	valor nominal de datos xeométricos;	16.1
a_{st}	área da sección transversal bruta, por unidade de lonxitude, dos rixidizadores situados na zona de afección da carga baixo a platabanda, para o caso da aplicación de cargas localizadas no plano da alma dunha sección;	21.6
a_w	coeficiente;	34.7.2.1

Termo	Definición	Número
b	dimensión. Largura da sección. Dobre da altura do panel (ou subpanel) comprimida. Largura do cordón de soldadura. Largura da rañura. Distancia entre parafusos. Menor dimensión da placa de base. Dimensión menor en planta do apoio de neopreno. Largo da pletina ou banda soldada. Largura da chapa con ou sen rixidizadores. Coeficiente. Coeficiente de contribución da estrutura á sostibilidade por extensión da vida útil;	18.2.5, 20.7, 21.4, 34.5, 35.1.2, 35.2.2, 35.2.2.1, 40.2, 42.6, 48.1, 48.2, 58.9, 59.3.4, 59.5, 60.3, 61.3, 61.5, 65.2.1, 66.1, 73.5, 73.6, 73.13.5.1, 80.2, 80.3, A6.3, A6.4.2.1, A6.4.2.2, A6.5, A7.2.1, A8.5, A8.6.1, A11.5
b ₀	largura da zona voada de elementos lineais para efectos do arrastre por cortante. Largura do perfil rectangular oco. Largura do cordón. Largo da chapa entre rixidizadores lonxitudinais;	21.1, 21.3.2, 21.3.5, 21.4, 21.5, 34.1.2.5, 42.6, 64.2, 64.7.1, 64.7.2.1, 64.8, 64.9, A7.2.3, A-9-7, A-9-9, A-9-10, A-9-11, A-9-12, A-9-13, A-9-14, A-9-15, A-9-17, A-9-18, A-9-19
b ₁	lonxitude da segunda peza a unir na unión en ángulo. Largura do perfil oco da diagonal ou montante 1. Largura da ala. Dimensión. Distancia entre rixidizadores ou entre o rixidizador e o bordo da chapa ou columna equivalente;	59.3.4, 64.7.2.1, 64.9, 80.2, A6.4.1, A6.4.2.1, A6.4.2.2, A-9-2, A-9-3, A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-10, A-9-11, A-9-12, A-9-17, A-9-18, A-9-19
b _{1e}	largura eficaz para alas exteriores a efectos do arrastre por cortante;	21.3, 21.4
b ₂	largura do perfil oco da diagonal ou montante 2. Largura da ala. Dimensión. Distancia entre rixidizadores ou entre o rixidizador e o bordo da chapa ou columna equivalente;	64.7.2.1, 80.2, A6.4.1, A6.4.2.1, A6.4.2.2, A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-12, A-9-17, A-9-19
b ₃	dimensión. Distancia entre rixidizadores ou entre o rixidizador e o bordo da chapa. Largura do perfil oco da diagonal ou montante 3;	80.2, A6.4.1, A-9-12
b ₄	dimensión;	80.2
b _b	largo das alas da viga;	62.1.1
b _c	largo das alas do soporte. Largo da parte comprimida do elemento ou subpanel;	62.1.1, A6.4.2.1, A6.4.2.2, A6.4.3
b _{c,loc}	Largo da parte comprimida de cada subpanel;	A6.4.1
b _e	largura eficaz para alas interiores para efectos do arrastre por cortante;	21.3, 21.4, 21.6
b _{e,f}	largo eficaz da ala do piar a flexión;	62.1.1, 62.3

Termo	Definición	Número
$b_{e,ov}$	largura eficaz da barra de recheo que recobre na conexión a barra de recheo recuberta;	A-9-7, A-9-17, A-9-19
$b_{e,p}$	largo eficaz da chapa frontal a flexión. Largura eficaz a punzonamento;	62.3, A-9-8, A-9-9, A-9-10
b_{ef}	largura eficaz da ala da viga. Largo eficaz da rexión de formigón baixo unha ala comprimida do piar. Largura reducida en paneis interiores comprimidos;	62.1.1, 62.1.2, 65.2.2, 65.2.5, 73.9.2
b_{eff}	largura eficaz da barra de recheo na conexión ao cordón;	64.8, A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-10, A-9-11, A-9-18, A-9-19
$b_{eff,t,wb}$	largura eficaz da alma da viga a tracción nunha unión aparafusada con chapa frontal;	61.2.1
b_f	largura da ala que conduce á resistencia máis baixa fronte á abolladura por cortante;	35.5.2.2, 35.6
b_{fal}	lonxitude total, non interrompida, da aba na estrutura de fachada ou cuberta;	73.11.3
b_g	lonxitude do rixidizador transversal entre alas;	A7.2.4
b_i	largura da diagonal ou montante i;	64.2, 64.6.1, 64.7.1, 64.7.2.1, 64.8, 64.9, A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-10, A-9-14, A-9-17, A-9-18, A-9-19
b_j	largura da diagonal ou montante j;	64.2, 64.6.1, 64.7.1, 64.8, 64.9, A-9-7, A-9-17, A-9-19
b_p	largura recta, lonxitude de cada elemento plano en pezas de sección uniforme formadas por elementos planos e acordos curvos de pequeno raio. Largura da placa;	73.5, 73.9.1, 73.9.2, A-9-14, A-9-15
b_s	semilargo de ala en seccións pechadas ou omegas, largo en seccións Z ou C, para elementos sometidos a flexión de alas largas en comparación co canto;	73.7, 73.8
b_w	largura eficaz da alma do cordón;	A-9-17, A-9-18
c	largura ou lonxitude dunha parte da sección transversal. Distancia da ancoraxe do campo diagonal de traccións. Dimensión. Folgura. Canto útil. Calor específica;	20.3, 35.5.2.2, 35.6, 48.2, 58.9, 59.9.2, 61.6, 65.2.2, 65.2.4, 73.6, A8.5, A8.6.1, A8.7.1

Termo	Definición	Número
c_a	calor específica en $J/(kg^\circ K)$, variable coa temperatura (θ_a);	45.1, 48.1
c_p	calor específica convencional;	45.2, 48.3
c_{pd}	valor de cálculo da calor específica do revestimento;	48.2, 48.3
c_{pk}	valor característico da calor específica do revestimento;	48.3
d	dimensión. Diámetro nominal do parafuso, bulón ou elemento de fixación. Distancia. Lonxitude da diagonal. Diámetro dunha barra. Diámetro do apoio de neopreno circular;	18.2.5, 20.3, 29.3, 29.4, 42.6, 58.3, 58.6, 58.9, 60.1.2, 61.1, 61.2, 61.2.1, 61.6, 62.1.4, 62.2.2, 62.4.3, 64.2, 64.4, 66.1, 71.2.3.1, 72.4.3, 73.6, 76.7.1, 76.7.3
d_0	diámetro do orificio. Diámetro do perfil circular oco. Nas unións soldadas entre perfís ocos de sección circular SHC, diámetro do cordón;	34.1.2.2, 42.6, 58.4, 58.5.2, 58.6, 58.9, 64.2, 64.4, 64.6.1, A-9-1, A-9-2, A-9-3, A-9-4, A-9-5
d_1	diámetro do perfil oco da diagonal ou montante 1;	64.7.2.1, A-9-1, A-9-4, A-9-5, A-9-7, A-9-9, A-9-15, A-9-17, A-9-19
d_2	diámetro do perfil oco da diagonal ou montante 2;	64.7.2.1, A-9-1, A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-15
d_3	diámetro do perfil oco da diagonal ou montante 3;	A-9-5
d_c	parte recta da alma dun piar;	62.3
d_i	diámetro do perfil oco da diagonal ou montante i;	64.6.1, 64.7.1, 64.8, 64.9, A-9-1
d_j	diámetro do perfil oco da diagonal ou montante j;	64.7.1
d_k	desprazamento relativo entre a cabeza e pé dos soportes da planta considerada;	50.2
d_{LT}	coeficiente;	35.3
d_m	menor diámetro medido entre os círculos circunscrito e inscrito á torca ou á cabeza;	58.7
d_p	grosor do material de protección. Diámetro perimetral nunha soldadura de arco por puntos;	48.2, 48.4, 73.13.5.1

Termo	Definición	Número
d_s	diámetro de cálculo dun punto de soldadura;	73.13.4
d_t	lonxitude da diagonal sometida a un esforzo axial de tracción N_t ;	72.4.3
d_w	diámetro da arandela ou da rañura da cabeza do parafuso ou torca, segundo corresponda. Canto da alma dun cordón de sección I ou H. Diámetro superficial nunha soldadura de arco por puntos;	61.2, 64.8, 73.13.5.2
d_{wc}	canto da alma do piar;	62.1.4, 62.4.3
e	distancia entre centros de rixidizadores. Distancia. Grosor. Distancia da soldadura de unión cartela-perfil ao centro de gravidade deste. Excentricidade no nó. Maior das distancias existentes entre o centro de gravidade da sección reducida do rixidizador e da parte correspondente de placa colaborante e o centro de gravidade da placa ou o centro de gravidade da sección bruta do rixidizador exclusivamente. Distancia máxima desde a cara inferior da ala do rixidizador transversal ao eixe neutro da sección neta do rixidizador + chapa;	35.9.3.1, 58.3, 59.5, 60.3, 61.2, 61.5, 62.2.1, 64.2, 73.13.4, A6.4.2.1, A6.4.3, A7.2.4
e_0	amplitude da imperfección (frecha do arco) dun elemento;	22.3.2, 22.3.3, 22.3.4.1, 22.3.4.2, 22.3.5, 22.4, 22.4.1, 22.5, 71.1, 71.2.3
e'_0	escalado aplicado ao conxunto da deformada do modo crítico de empenamento global que permite obter a excentricidade inicial e_0 ;	22.3, 22.3.5, 22.4
$e_{0/p}$	excentricidade de empenamento;	42.6
e_1	distancia desde o centro do orificio do elemento de fixación ata o extremo adxacente de calquera elemento, medido na dirección de transferencia da carga. Distancia, medida na dirección do eixe do piar, desde a fila de parafusos superior ao extremo do piar;	42.6, 58.4, 58.6, 62.2.1, 73.13.4
e_2	distancia de bordo desde o centro do orificio do elemento de fixación ata o bordo adxacente de calquera elemento, medido perpendicularmente á dirección de transferencia de carga;	42.6, 58.4, 58.5.2, 58.6, 73.13.4
$e_{máx}$	máxima distancia da fibra externa do rixidizador ao centro de gravidade deste;	A7.2.1
e_n	grosor total do neopreno no apoio;	66.1

Termo	Definición	Número
e_N	desprazamento do centro de gravidade da área da sección reducida con respecto ao centro de gravidade da sección transversal bruta. Excentricidade da posición do eixe neutro da sección reducida eficaz respecto do eixe neutro da sección bruta baixo a actuación dun esforzo axial de compresión;	20.7, 34.1.2.4, 34.7.2.3, 35.3, 35.7.1, 35.7.2, A6.5
f	coeficiente de modificación para χ_{LT} ;	35.2.2.1
f_0	frecuencia do primeiro modo de vibración vertical, considerando unicamente as cargas permanentes;	38.3
$f_{0,2p,\theta}$	resistencia de cálculo en situación de incendio correspondente a unha deformación do 0,2 %.	46.7
f_b	resistencia a empenamento da cara lateral do cordón;	A-9-8
f_{bv}	resistencia á abolladura por tensión tanxencial;	73.10
f_{ck}	resistencia característica do formigón da cimentación;	65.2.2
f_d	presión do fuste contra o formigón na unión do soporte á cimentación;	65.3
f_j	valor da presión contra o formigón da placa de base;	65.2.3, 66.2
f_{jd}	resistencia máxima do formigón da cimentación do soporte;	65.2.2
f_M	compoñente da frecha debida a flexión;	67.2.1.2
$f_{p,\theta}$	límite de proporcionalidade para a temperatura (θ_a);	45.1
f_r	frecuencia fundamental de torsión da estrutura;	38.4
f_u	carga unitaria máxima a tracción ou resistencia á tracción;	26.2, 26.3, 26.5.2, 27.1, 27.2.1, 27.2.2, 27.2.3, 27.2.4, 27.3, 34.2, 34.4, 58.5.1, 58.5.2, 58.6, 58.7, 59.8.2, 59.10, 60.1.1, 61.3, 61.4, 61.5, 61.6, 73.4, 73.13.4, 73.13.5.1, 73.13.5.2
f_{ub}	resistencia á tracción do aceiro utilizable en parafusos e bulóns;	29.2, 29.4, 58.6, 58.7, 58.8, 65.2.1

Termo	Definición	Número
f_{ub}	resistencia última a tracción en parafusos ou bulóns;	58.1, 58.6, 58.7, 62.1.1, 62.4.3, 76.7
f_{up}	resistencia a tracción do aceiro do bulón;	58.9
f_{uw}	resistencia última do material do electrodo;	73.13.5.2
f_v	compoñente da frecha debida a cortante;	67.2.1.2
f_y	límite elástico;	20.3, 22.3.2, 24.3.1, 26.2, 26.3, 26.5.2, 27.1, 27.2.1, 27.2.2, 27.2.3, 27.2.4, 27.3, 32.2, 32.3, 34.1.1, 34.2, 34.3, 34.4, 34.6, 34.7.1, 34.7.2.1, 34.7.2.2, 34.7.2.3, 34.7.3, 35.1.1, 35.1.2, 35.1.3, 35.1.4, 35.2.1, 35.2.3, 35.3, 35.5.1, 35.7.1, 35.7.2, 41.2, 42.3, 45.1, 46.1, 46.2, 46.3, 46.5, 46.7, 56.1, 58.2, 58.5.1, 58.9, 60.2.1, 60.3, 61.2, 61.5, 61.6, 62.1.4, 62.4.3, 64.2, 65.2.2, 66.2, A3.3.1, A3.2.2, A5.2, A6.4.2, A6.4.3, A6.5, A7.2.1
$f_{y,0}$	límite elástico do aceiro do cordón;	64.2, 64.8
$f_{y,red}$	valor reducido do límite elástico do aceiro;	66.2
$f_{y,\theta}$	límite elástico efectivo para a temperatura (θ_a);	45.1
f_{y0}	límite elástico do aceiro do cordón;	A-9-1, A-9-2, A-9-3, A-9-4, A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-10, A-9-11, A-9-17, A-9-18, A-9-19
f_{y1}	límite elástico do aceiro da diagonal ou montante 1;	A-9-10, A-9-11, A-9-17, A-9-18
f_{ya}	límite elástico medio do aceiro do perfil ou da chapa conformada en frío;	73.4, 73.11.1, 73.11.4
f_{yb}	límite elástico do aceiro utilizable en parafusos e bulóns. Límite elástico do aceiro da ala da viga. Límite elástico básico do aceiro do perfil ou da chapa conformada en frío;	29.2, 29.4, 46.7, 58.1, 62.1.1, 65.2.1, 73.4, 73.9.2, 73.9.3, 73.10, 73.11.1, 73.11.4
f_{ybp}	límite elástico das chapas de reforzo;	61.2

Termo	Definición	Número
f_{yc}	límite elástico do aceiro da ala do soporte;	62.1.1, 62.1.2
f_{yf}	límite elástico do aceiro das alas. Límite elástico do aceiro da ala comprimida;	35.5.2.2, 35.6, 35.8
f_{yi}	límite elástico do aceiro da diagonal ou montante i;	64.8, A-9-7, A-9-9, A-9-17, A-9-19
f_{yj}	límite elástico do aceiro da diagonal ou montante j;	A-9-7, A-9-8
f_{yk}	límite elástico característico do aceiro;	32.1, A7.2.4, A-9-11
f_{yp}	límite elástico do aceiro do bulón. Límite elástico do aceiro da chapa;	58.9, A-9-14
f_{yw}	límite elástico do aceiro da alma;	35.5.2, 35.5.2.1, 35.5.2.2, 35.6, 35.7.2, 35.9.3.3, 35.9.3.5
f_{ywb}	límite elástico do aceiro da alma da viga a tracción nunha unión aparafusada con chapa frontal;	64.2.1
f_{ywc}	límite elástico do aceiro da alma do piar sen rixidizar;	62.1.4
g	espazamento entre as barras de recheo dunha unión en K ou N, medido sobre a cara de conexión do cordón, entre barras de recheo adxacentes, excluindo as soldaduras (valores negativos de g representan un recubrimento q);	42.6, 64.2, 64.6.1, 64.7.1, 64.8, A-9-1, A-9-6, A-9-9, A-9-15
g_1	distancia desde a cara exterior da diagonal ou montante á cara do cordón;	64.4
g_2	distancia desde a cara interior da diagonal ou montante á cara do cordón;	64.4
h	dimensión. Altura. Altura da estrutura. Canto da sección. Altura real do soporte. Distancia. Grosor da zapata. Altura da correa. Altura entre plantas. Distancia máxima accesible para un operario nun espazo estreito;	20.3, 22.3.1, 34.5, 34.7.2.1, 35.1.2, 35.2.2, 35.2.2.1, 35.2.3, 37.2.2, 48.2, 61.1, 61.2.1, 61.3, 62.1.5, 65.2.3, Art. 67º, 73.5, 73.6, 73.11.3, 80.2, 80.3, 92.2
h_0	canto do perfil rectangular oco. Canto do cordón. Distancia entre os centros de gravidade dos cordóns do elemento composto;	42.6, 64.2, 64.7.1, 71.2.3, 71.2.3.1, 71.2.3.2, A-9-8, A-9-9, A-9-10, A-9-13, A-9-18, A-9-19

Termo	Definición	Número
h_1	altura da parte recta da alma do soporte. Altura entre plantas. Canto da diagonal ou montante 1;	62.1.2, 80.3, A-9-2, A-9-3, A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-10, A-9-11, A-9-12, A-9-15, A-9-17, A-9-18, A-9-19
h_2	altura entre plantas. Canto da diagonal ou montante 2;	80.3, A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-12, A-9-15, A-9-17, A-9-19
h_3	altura entre plantas. Canto da diagonal ou montante 3;	80.3, A-9-12
h_b	canto da viga;	62.4.2
h_c	canto do soporte;	62.1.4, 62.4.2
h_{ef}	altura eficaz da alma;	62.1.2, 62.2, 62.3
h_{eq}	media ponderada de altura das aberturas de todos os muros;	A8.6.1, A8.4.6
h_i	canto da diagonal ou montante i;	64.2, 64.6.1, 64.7.1, 64.8, 64.9, A-9-7, A-9-8, A-9-14, A-9-17, A-9-18, A-9-19
h_j	canto da diagonal ou montante j;	64.2, 64.6.1, 64.8, A-9-7, A-9-17, A-9-19
h_k	altura entre plantas;	50.2
h_p	altura da planta considerada;	23.2.1
h_r	distancia entre a fila de parafusos r e o centro de compresión;	62.3
h_s	altura do rixidizador incluíndo o grosor da chapa;	A7.2.4
h_w	altura da alma. Distancia entre puntos medios extremos da alma, medida en vertical para perfís ou chapas conformados en frío. Altura do nervio;	34.5, 34.7.1, 34.7.2.1, 35.5.1, 35.5.2, 35.5.2.1, 35.5.2.2, 35.6, 35.7.1, 35.8, 35.9.3.1, 35.9.3.3, 35.9.3.5, 35.9.4, 73.10, 73.11.3, A6.4.2.1
\dot{h}	fluxo de calor recibido por radiación na unidade de superficie exposta ao lume á altura do teito;	A8.6.2
$\dot{h}_1,$ $\dot{h}_2 \dots$	fluxos térmicos recibidos por unidade de superficie exposta ao lume á altura do teito para diferentes lumes localizados separados;	A8.6.2

Termo	Definición	Número
\dot{h}_{net}	fluxo neto de calor que incide sobre a unidade de superficie exposta ao lume do elemento;	A8.2.2, A8.6.2, A8.7.1
$\dot{h}_{\text{net,c}}$	compoñente de convección do fluxo térmico por unidade de superficie;	A8.2.2
$\dot{h}_{\text{net,d}}$	fluxo neto de calor por unidade de área, en W/m^2 ;	48.1
$\dot{h}_{\text{net,r}}$	compoñente de radiación do fluxo neto de calor por unidade de superficie;	A8.2.2
\dot{h}_{tot}	fluxo térmico total calculado como suma de \dot{h}_1 , \dot{h}_2 ..., etc.;	A8.6.2
i	raio de xiro;	35.1.3, 61.2, 62.3, A6.4.3
$i_{f,z}$	raio de xiro da ala comprimida equivalente respecto ao eixe débil da sección;	35.2.3
$i_{\text{mín}}$	raio de xiro mínimo;	Art. 70º, 70.5, 71.1
k	coeficiente. Coeficiente de utilización;	35.8, 57.4, 73.4, 91.2.2.5, A8.6.1
$k_{0,2p,\theta}$	cociente entre a resistencia a temperatura elevada e o límite elástico a 20 °C;	46.7
k_1	factor de maioración das carreiras de tensión nominais en estruturas trianguladas para ter en conta o efecto dos momentos flectores secundarios. Factor de adaptación para distribucións de temperatura non uniformes na sección transversal;	42.5, 46.4
k_2	factor de adaptación para distribucións de temperatura non uniformes ao longo da viga;	46.4
k_{at}	rixidez de cada fila de pernos na base;	65.2.5
k_b	rixidez dunha fila de parafusos a tracción. Factor de conversión;	62.3, A8.5
k_c	factor de corrección;	A8.5
k_c	coeficiente de corrección da esvelteza para considerar a distribución de momentos entre puntos de arriostamento. Rixidez proporcionada polo formigón e a placa de base a compresión;	35.2.2.1, 35.2.3, 65.2.5

Termo	Definición	Número
$k_{E,\theta}$	cociente entre o módulo de elasticidade na fase lineal do diagrama tensión-deformación, para a temperatura (θ_a) e o módulo de elasticidade a 20 °C;	45.1, 46.3, 46.6
$k_{eff,r}$	coeficiente de rixidez efectivo para a fila de parafusos r;	62.3
k_{eq}	coeficiente de rixidez equivalente;	62.3
k_F	coeficiente de aboladura;	35.6
k_f	rixidez da ala do piar a flexión, correspondente a unha fila de parafusos;	62.3
k_{fl}	factor de corrección;	35.2.3
k_g	coeficiente;	64.6.2, A-9-1
k_h	coeficiente redutor para a altura h da estrutura	22.3.1
k_j	rixidez de cada compoñente básico;	62.3
k_m	coeficiente;	22.3.1, 22.4, 22.4.1, A-9-10
k_n	coeficiente;	64.7.3, A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-11
k_p	rixidez da chapa frontal a flexión, correspondente a unha fila de parafusos. Coeficiente. Rixidez da placa de base a flexión;	62.3, 64.6.3, 65.2.5, A-9-1, A-9-2, A-9-3, A-9-4,
$k_{p,\theta}$	cociente entre o límite de proporcionalidade para a temperatura (θ_a) e o límite elástico a 20 °C;	45.1
k_s	factor de minoración da resistencia a fatiga por efecto do tamaño. Factor empregado para o cálculo da resistencia a desprazamento dun parafuso;	42.6, 58.8
k_{sh}	coeficiente para o cálculo de temperaturas no aceiro en elementos sen protección;	48.1
k_{wc}	rixidez da alma do piar a compresión;	62.3
k_{wc}	coeficiente que ten en conta a máxima tensión de compresión $\sigma_{n,Ed}$ existente na alma do soporte, orixinada polo esforzo axial e o momento flector de cálculo a que estea sometido o soporte na súa unión á viga;	62.1.2

Termo	Definición	Número
k_{wt}	rixidez da alma do piar a tracción;	62.3
k_{wv}	rixidez da alma do piar a cortante;	62.3
k_{zz}	coeficiente de interacción;	35.3
k_{zy}	coeficiente de interacción;	35.3
k_y	coeficiente adimensional;	22.3.5
$k_{y,\theta}$	cociente entre o límite elástico efectivo para a temperatura (θ_a) e o límite elástico a 20 °C;	45.1, 46.2, 46.3, 46.4, 46.6
$k_{y,\theta,com}$, $k_{E,\theta,com}$	coeficientes de corrección obtidos en 45.1 coa temperatura máxima da zona comprimida da sección ($\theta_{a,com}$) no instante (t) do proceso de incendio considerado;	46.5
$k_{y,\theta,i}$	cociente entre o límite elástico efectivo para a temperatura (θ_a) e o límite elástico a 20 °C para a partición dunha sección en elementos de área A_i ;	46.2
$k_{y,\theta,v}$	valor que corresponde a θ_v ;	46.4
k_{yy}	coeficiente de interacción;	35.3
k_{yz}	coeficiente de interacción;	35.3
k_σ	coeficiente de aboladura do panel. Coeficiente de empenamento transversal ou de empenamento;	20.7, 40.2, 73.9.2
$k_{\sigma,p}$	coeficiente de aboladura do panel rixidizado;	A6.4.2.1
k_τ	coeficiente de aboladura por cortante;	35.5.1, 35.5.2.1, 35.9.3.3, 40.2, 73.10
l	lonxitude;	22.3.4.1, 22.3.4.2, 42.6, 60.2, 66.2, A7.2.4
l_{eff}	lonxitude eficaz da rexión de formigón baixo unha ala comprimida do piar;	65.2.2, 65.2.5
l_{eff}	lonxitude eficaz da soldadura en ángulo ou dunha unión aparafusada;	61.2, 62.2.1
l_o	lonxitude de empenamento;	22.3.4.2
l_p	lonxitude da placa de ala;	A-9-14, A-9-15
l_y	lonxitude efectiva de carga;	35.6

Termo	Definición	Número
m	número de aliñamentos de elemento comprimidos no plano de empenamento considerado. Masa por unidade de lonxitude da estrutura en Kg/m. Inversa da pendente da curva de resistencia a fatiga. Distancia. Distancia correspondente do parafuso á liña de formación da rótula plástica correspondente. Coeficiente de combustión;	22.3.1, 38.4, 42.2, 58.4, 61.2, 62.2.1, 62.3, 65.2.5, A8.4.1, A8.4.5, A8.4.6, A8.7.1
m(z)	lei de distribución de momentos torsores exteriores ao longo do eixe lonxitudinal da viga caixón unicelular simétrica;	A3.3.1
m ₁	coeficiente adimensional;	35.6
m ₂	coeficiente adimensional;	35.6
\dot{m}	velocidade de variación de masa de gas;	A8.7.1
\dot{m}_{fi}	masa dos produtos xerados pola pirólise na unidade de tempo;	A8.7.1
m _i	parámetro;	A11.4.1
\dot{m}_{in}	masa de aire que entra polas aberturas na unidade de tempo;	A8.7.1
\dot{m}_{out}	masa de gas que sae polas aberturas na unidade de tempo;	A8.7.1
n	número enteiro. Coeficiente. Número de orificios estendidos en calquera diagonal ou liña de zig-zag a través do elemento ou parte del. Número de parafusos da unión. Distancia. Número de planos de triangulación. Número de planos de presillas. Número de pregamentos da sección de 90°. Valor $(\sigma_{0,Ed} / f_{y,0}) / \gamma_{M5}$ utilizado para cordóns SHR;	21.1, 21.6, 34.1.2.2, 34.7.2.1, 58.5.1, 58.6, 58.8, 60.1.2, 60.2.2, 61.2, 61.3, 70.4, 71.2.3.1, 71.2.3.2, 73.4, 80.3, A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-10, A-9-11
n _b	número de filas de parafusos;	61.2
n _i	número de ciclos de carga (i = 1, 2...n). Parámetro;	42.6, A11.4.1
n _p	valor $(\sigma_{p,Ed} / f_{y,0}) / \gamma_{M5}$ utilizado para cordóns SHC;	A-9-1, A-9-2, A-9-3, A-9-4
n _{pl}	coeficiente;	35.3

Termo	Definición	Número
p	distancia entre centros de dous orificios consecutivos medida perpendicularmente ao eixe do elemento. En xuntas K, N ou similares, lonxitude da intersección da diagonal ou montante solapada co cordón, medida ao longo da cara deste no plano da unión;	34.1.2.2, 64.2
p(z)	carga vertical aplicada segundo o eixe lonxitudinal da viga caixón;	A3.3.1
p ₁	distancia entre os centros dos elementos de fixación en liña coa dirección da transmisión da carga;	42.6, 58.4, 58.6, 73.13.4
p _{i,1} a p _{i,4}	porcentaxes;	A11.4.3.1 a A11.4.3.4
p _{i,5}	coeficiente;	A11.4.3.5
p ₂	distancia entre filas adxacentes de elementos de fixación medida en dirección perpendicular á dirección de transmisión da carga;	42.6, 58.4, 58.6, 73.13.4
q	forza equivalente de estabilización por unidade de lonxitude. En xuntas K, N ou similares, lonxitude teórica de solapamento, medida ao longo da cara do cordón no plano da unión. Carga lateral uniformemente repartida;	22.4.1, 42.6, 64.2, A7.2.1, A-9-1
q _{fd}	valor de cálculo da carga de lume;	A8.4.1, A8.6.1
q _{fk}	Densidade de carga de lume característica por unidade de superficie de solo;	A8.4.1
q _{td}	valor de cálculo do sistema de forzas transversais equivalente á curvatura inicial en elementos comprimidos. Valor de cálculo da densidade de carga ao lume referida á superficie total A _t do contorno do sector;	22.3.3, A8.6.1
r	raio de acordo. Raio de curvatura da ala comprimida. Raio de xiro máxico. Referencia a unha fila de parafusos. Raio da esfera do apoio. Distancia horizontal entre o eixe vertical do lume e o punto do teito para o que se calcula o fluxo de calor;	34.5, 35.8, 38.4, 42.6, 61.2, 61.2.1, 61.5, 61.6, 62.3, 66.2, A8.6.2, A-9-17, A-9-18
r ₀	raio de acordo ala-alma do cordón de sección I ou H;	64.9
r _c	raio de acordo ala-alma do soporte, suposto que este sexa laminado;	62.1.1, 62.1.2, 62.2.1

Termo	Definición	Número
$r_{p,ef}$	resistividade térmica efectiva;	45.2, 48.4
$r_{p,ef,d}$	resistencia térmica efectiva de cálculo do revestimento;	Art. 47º, 48.2, 48.3
$r_{p,ef,k}$	resistencia térmica efectiva característica do revestimento;	Art. 47º, 48.2, 48.3, 48.4
s	lonxitude do arco. Distancia entre centros de dous orificios consecutivos medida paralelamente ao eixe do elemento. Valor obtido como $s=S_p/r_{p,ef}$. Lonxitude do lado nunha sección do cordón dunha soldadura en ángulo. Distancia entre enlaces en soportes simples unidos entre se mediante forros de chapa. Separación entre correas. Distancia. Grosor da capa directamente exposta ao lume;	22.3.4.1, 34.1.2.2, 48.4, 59.8, Art. 70º, 73.11.3, A7.2.1, A8.6.1
s_1	separación entre rañuras;	59.5
s_2	separación entre filas de rañuras;	59.5
s_d	lonxitude de desenvolvemento da alma en perfís e chapas conformados en frío;	73.10
s_e	lonxitude da zona de difusión da carga localizada na sección de contacto ala-alma, para o caso da aplicación de cargas localizadas no plano da alma dunha sección;	21.6
s_{lim}	grosor límite;	A8.6.1
s_p	lonxitude recta da maior fracción da alma en perfís e chapas conformados en frío;	73.10
s_s	lonxitude da zona de aplicación da carga localizada sobre a platabanda da ala, para o caso da aplicación de cargas localizadas no plano da alma dunha sección. Lonxitude da ala sobre a que se aplica a carga;	21.6, 35.6
s_w	lonxitude recta total da alma en perfís e chapas conformados en frío;	73.10

Termo	Definición	Número
t	grosor do elemento. Tempo de incendio. Grosor da peza máis delgada a unir. Grosor de cada unha das capas de neopreno do apoio;	18.2.5, 20.7, 21.4, 27.1, 27.2.1, 27.2.2, 27.2.3, 27.2.4, 28.1, 32.3, 32.3, 34.1.2.2, 34.1.2.5, 34.5, 34.7.2.1, 35.9.1, 40.2, 42.6, Art. 46º, 46.3, 46.4, 46.5, 46.6, 46.8, 46.8.1, 46.8.2, Art. 47º, 48.1, 48.4, 58.4, 58.5.2, 58.6, 58.7, 59.3.4, 59.3.6, 59.5, 59.9.2, 60.3, 61.2, 61.5, 61.6, 62.4.3, 64.2, 65.2.2, 65.2.5, 66.1, 73.4, 73.6, 73.7, 73.9.2, 73.10, 73.11.3, 73.13.4, 73.13.5.1, 73.13.5.2, 76.7.3, A3.2.2, A3.3.1, A6.4.1, A6.4.2.1, A6.4.2.2, A6.4.3, A8.3.1, A8.3.2, A8.3.3, A8.4.6, A8.5, A8.6.1, A8.7.1, A-9-13
t ₀	grosor do perfil oco. Grosor do perfil oco do cordón;	42.6, 64.2, 64.4, 64.6.1, 64.7.2.1, A-9-1, A-9-2, A-9-3, A-9-4, A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-10, A-9-11, A-9-14, A-9-15, A-9-19
t ₁	grosor da segunda peza a unir na unión en ángulo. Grosor da chapa de reforzo. Grosor da diagonal ou montante 1;	59.3.4, 62.2.1, 64.2, 64.4, 64.6.1, 64.7.1, 64.9, 73.13.4, A-9-1, A-9-2, A-9-9, A-9-10, A-9-11, A-9-15, A-9-17, A-9-18
t ₂	grosor da diagonal ou montante 2. Grosor do forro;	64.2, 64.6.1, 64.7.1, 64.9, 73.13.5.2, A-9-1, A-9-9, A-9-15, A-9-17
t _a	grosor do aceiro nun tubo pequeno en relación ao seu perímetro;	48.1
t _{bp}	grosor das chapas de reforzo;	61.2
t _c	grosor do reforzo do cordón;	42.6
t _{cor}	grosor de cálculo do perfil ou estrutura lixeira de aceiro;	73.3
t _d	grosor da chapa do diafragma;	A3.3.3

Termo	Definición	Número
$t_{e,d}$	Tempo equivalente de exposición ao lume normalizado;	A8.2.1, A8.5
t_f	grosor do panel de chapa comprimida. Grosor da ala. Grosor do forro;	20.3, 34.5, 34.7.2.1, 35.1.2, 35.2.3, 35.5.2.2, 35.6, 48.1, 58.6, 59.8.2, 61.2, 61.5, 61.6, 64.2, 64.8, 65.2.2, A-9-17, A-9-18
t_{fb}	grosor da ala da viga conectada;	61.2.1, 62.1.2, 62.1.4, 62.1.5
t_{fc}	grosor da ala do soporte;	62.1.1, 62.1.2, 62.1.4, 62.3
$t_{fi,nom}$	duración expresada en minutos de lume normalizado;	A8.2.1, A8.5
$t_{fi,requ}$	Tempo de resistencia ante o lume normalizado exigible á estrutura;	Art. 46º, 48.3, 48.4, A8.1
t_g	vida útil realmente prevista no proxecto para a estrutura dentro dos rangos considerados nesta instrución;	A11.5
$t_{g,mín}$	valor da vida útil establecido no número 5.1 desta instrución	A11.5
t_i	grosor de parede do elemento i ($i = 1, 2$ ou 3). Grosor de parede do perfil oco da diagonal ou montante i ;	42.6, 64.6.1, 64.7.1, 64.8, 64.9, A-9-7, A-9-8, A-9-10, A-9-17, A-9-19, A-9-19
t_j	grosor de parede do perfil oco da diagonal ou montante j ;	A-9-7, A-9-17, A-9-19
t_{lim}	Tempo límite de desenvolvemento do lume;	A8.6.1
$t_{máx}$	Tempo correspondente á temperatura máxima;	A8.6.1
t_{mc}	grosor nominal do perfil ou estrutura lixeira de aceiro;	73.3
t_{min}	grosor mínimo da chapa. Grosor da peza máis delgada a unir;	58.7, 59.3.2, 59.3.7, A7.2.4
t_{nom}	grosor do galvanizado;	73.3, A8.1,
tol	tolerancia;	73.3
t_p	grosor da chapa frontal. Grosor da placa de ala;	62.3, A-9-13, A-9-14, A-9-15

Termo	Definición	Número
t_r	grosor dos rixidizadores;	62.1.3
t_{sup}	grosor de chapa afectada para efectos da capacidade de extracción dun parafuso rosca chapa. Grosor da chapa soporte nunha soldadura de arco por puntos;	73.13.3, 73.13.5.2
$t_{i,d}$	valor de cálculo da resistencia ao lume normalizado dos elementos;	A8.5
t_w	grosor da alma;	20.3, 21.6, 34.5, 34.7.1, 34.7.2.1, 35.1.2, 35.5.1, 35.5.2, 35.5.2.1, 35.5.2.2, 35.6, 35.7.2, 35.8, 35.9.3.1, 35.9.3.3, 35.9.3.5, 59.8.2, 61.2, 61.4, 61.5, 61.6, 62.1.3, 62.1.4, 62.4.3, 64.8, 64.9, 65.2.2, A-9-17, A-9-18, A-9-19
t_{wb}	grosor da alma da viga a tracción nunha unión aparafusada con chapa frontal;	61.2.1
t_{wc}	grosor da alma do soporte;	62.1.1, 62.1.2, 62.1.3, 62.1.4, 62.3
t_α	Tempo necesario para alcanzar unha velocidade de liberación de calor de 1MW.	A8.4.6
u	frecha horizontal total do edificio ou estrutura de altura H. Encorvamento de alas en elementos sometidos a flexión de alas largas en comparación co canto. Humidade do material, en porcentaxe do peso en estado seco;	37.1, 37.2.2, 73.7, A8.4.4
u_i	frecha horizontal, relativa entre cotas do forxado, de cada nivel ou planta de altura H_i ;	37.1, 37.2.2
w	gramil do perfil angular. Factor que ten en conta a interacción co cortante na alma do piar;	61.3, 62.1.2
w_0	imperfección inicial sinusoidal;	A7.2.1
w_1	frecha inicial baixo a totalidade das cargas permanentes actuando sobre a estrutura;	37.1
w_2	compoñente diferida da frecha baixo cargas permanentes;	37.1

Termo	Definición	Número
w_3	frecha debida á acción das sobrecargas, baixo a combinación de accións que resulte pertinente;	37.1
w_{activa}	frecha activa;	37.1, 37.2.1
w_c	contrafrecha de execución en taller do elemento estrutural;	37.1
w_{el}	frecha elástica;	A7.2.1
w_f	coeficiente de ventilación;	A8.5
$w_{máx}$	frecha total aparente descontando a contrafrecha;	37.1, 37.2.1
w_{tot}	frecha total;	37.1
z	distancia transversal entre a sección de estudo e a sección de contacto ala-alma, inmediata á aplicación da carga, para o caso da aplicación de cargas localizadas no plano da alma dunha sección. Brazo de panca. Distancia á liña neutra. Altura medida sobre o eixe das chamas;	21.6, 62.1.4, 62.1.5, 65.2.2, 65.2.5, 73.7, A8.6.2
z'	posición vertical do foco virtual de calor;	A8.6.2
z_0	orixe virtual do eixe das chamas;	A8.6.2
z_i	posición da resultante de tensións F_{z_i} (brazo mecánico da dita forza) na superficie elemental A_i ;	46.4

A1.1.3 Maiúsculas gregas

Termo	Definición	Número
Δ	diferenza. Incremento. Desviación (tolerancias). Excentricidade. Inclinación. Derrubamento. Folgura;	16.1, 20.7, 32.3, 80.2, 80.3, 80.3.1, 80.4
$\Delta 1$	inclinación;	80.3
$\Delta 2$	inclinación;	80.3
Δ_a	desviación na xeometría;	16.1
ΔL	dilatación inducida nun elemento de lonxitude L, en función da temperatura (θ_a);	45.1
ΔM	momento adicional	20.7. 34.3

Termo	Definición	Número
ΔM_{Ed}	momento flector adicional en seccións de clase 4 sometidas a esforzo axial de compresión debido ao desprazamento do eixe da área reducida A_{ef} respecto do da sección transversal bruta;	34.1.2.4, 35.3
ΔN_{st}	incremento do esforzo axial de compresión no rixidizador transversal con obxecto de ter en conta as forzas de desvío;	A7.2.1
Δt	incremento de tempo en segundos;	48.1, 48.2
$\Delta T_{\dot{\epsilon}}$	termo función da velocidade de deformación para a comprobación da tenacidade da fractura dun aceiro;	32.3
Δt_p	Tempo de retardo de materiais de protección cun contido permanente de humidade;	45.2, 48.2
ΔT_r	efecto da perda por radiación do aceiro para a comprobación da tenacidade da fractura;	32.3
$\Delta T_{\epsilon_{cf}}$	termo función da conformación en frío do aceiro para a comprobación da tenacidade da fractura;	32.3
$\Delta \theta_{a,t}$	incremento elemental da temperatura do aceiro;	48.1
$\Delta \theta_{g,t}$	Incremento de $\theta_{g,t}$ durante Δt ;	48.2
$\Delta \sigma$	carreira de tensións nominais normais;	42.2, 42.3, 42.6
$\Delta \sigma_{C,red}$	valor de referencia da resistencia a fatiga reducido;	42.2, 42.6
$\Delta \sigma_c; \Delta T_c$	valor da resistencia á fatiga referido a $N_c = 2$ millóns de ciclos;	42.2, 42.6
$\Delta \sigma_D; \Delta T_D$	límite de fatiga para carreiras de tensión para amplitude constante a un número de ciclos N_D ;	42.2, 42.6
$\Delta \sigma_i; \Delta T_i$	carreiras das compoñentes normal e tanxencial da tensión no i -ésimo ciclo de carga;	42.3
$\Delta \sigma_L; \Delta T_L$	limiar de dano para carreiras de tensión no ciclo número N_L ;	42.2, 42.6
$\Delta \tau$	carrera de tensións nominais tanxenciais;	42.2, 42.3, 42.6
Θ	ángulo entre a barra de recheo e o cordón;	42.6

Termo	Definición	Número
Θ_g	temperatura do gas na proximidade do elemento exposto ao lume;	A8.2.2, A8.2.3, A8.3.1, A8.3.2, A8.3.3, A8.6.1
Θ_m	temperatura da superficie do elemento;	A8.2.2, A8.6.2
$\Theta_{m\acute{a}x}$	temperatura máxima na fase de quentamento;	A8.6.1
Θ_r	temperatura efectiva de radiación do lume;	A8.2.2
Θ_z	temperatura do penacho ao longo do seu eixe vertical de simetría;	A8.6.2
ΣM_i	momento flector total que solicita a sección suma das cargas "i" consideradas illadamente;	21.3.3
Φ	ángulo. Valor para determinar o coeficiente de redución χ . Factor de forma;	22.4.1, 35.1.2, 46.3, 46.6, A8.2.2, A.8.6.2
Φ_{Cd}	Capacidade de rotación da unión. Capacidade de rotación nunha unión viga-soporte soldada, non rixidizada;	57.2, 62.4.2
Φ_{LT}	valor para determinar o coeficiente de redución χ_{LT} ;	35.2.2, 35.2.3, 35.2.2.1
$\Phi_{LT, \theta, com}$	valor para determinar o coeficiente de redución $\chi_{LT, fi}$;	46.5
Ψ	coeficiente adimensional de tensión ou deformación. Relación de momentos nos extremos do segmento;	20.3, 20.7, 35.2.2.1, 35.3, 73.9.2, 73.10, A6.4.2.1, A6.4.2.2
Ψ'_{el}	coeficiente redutor elástico da largura eficaz de alas con rixidizadores debido ao arrastre por cortante;	21.4, 21.5
Ψ'_{ult}	coeficiente redutor da largura eficaz de alas no rango elastoplástico debido ao arrastre por cortante, para alas traccionadas con rixidizadores lonxitudinais;	21.5
Ψ_1	coeficiente correspondente ao valor frecuente dunha acción variable;	42.3
$\Psi_{1,1} Q_{k,1}$	valor representativo frecuente da acción variable determinante;	13.2, Art. 44°
$\Psi_{2,i} Q_{k,i}$	valor representativo cuasi-permanente das accións variables que actúan simultaneamente coa acción variable determinante e a acción accidental, ou coa acción sísmica;	13.2, Art. 44°
Ψ_{el}	coeficiente redutor elástico da largura eficaz de alas debido ao arrastre por cortante;	21.3, 21.4
$\Psi_{el,i}$	coeficiente redutor elástico da largura eficaz correspondente á carga "i" considerada illadamente;	21.3.3

Termo	Definición	Número
Ψ_i	factor de redución das accións. Coeficiente;	Arts. 11º e 12º, A8.4.1, A8.4.3
$\Psi_{o,i} Q_{k,i}$	valor representativo da combinación de accións variables que actúan simultaneamente coa acción variable determinante;	13.2
Ψ_{ult}	coeficiente redutor da largura eficaz de alas no rango elastoplástico debido ao arrastre por cortante, para alas non rixidizadas;	21.5
Ω	dobre da área interna do trapecio que constitúe a sección transversal da viga caixón;	A3.3.1

A1.1.4 Minúsculas gregas

Termo	Definición	Número
α	parte dunha sección transversal comprimida. Coeficiente. Factor de imperfección. Ángulo. Ángulo de operación;	20.3, 20.7, 21.4, 22.3.5, 32.2, 32.4, 34.1.2.5, 34.7.2.1, 35.1.2, 35.5.2.1, 46.5, 46.6, 57.2, 58.6, 59.8.2, 61.2, 62.2.1, 71.2.3.1, 72.1.1, 92.2, A6.4.2.1, A6.4.3, A8.6.2
α_b	coeficiente;	65.2.1
α_c	coeficiente de transferencia térmica por convección para lume normalizado;	48.1, A8.2.2, A8.3.3, A8.4.6, A8.7
α_{cr}	coeficiente polo que resulta necesario multiplicar as cargas de cálculo para provocar a inestabilidade elástica do modelo de empenamento global da estrutura;	23.2, 23.2.1, 24.2, 24.3
α_e	coeficiente;	A6.4.3
α_h	coeficiente;	35.3
α_i	coeficiente;	70.4, A11.4.1
α_{LT}	coeficiente de imperfección;	35.2.2, 35.2.3, 35.2.2.1
α_s	coeficiente;	35.3

Termo	Definición	Número
α_u	coeficiente multiplicador de carga correspondente á situación de colapso;	50.2
α_y	coeficiente multiplicador de carga correspondente á situación de primeira plastificación;	50.2
α_θ	coeficiente de dilatación lineal;	45.1
β	coeficiente adimensional. Índice de fiabilidade. Ángulo. Relación de dimensións entre unha diagonal ou montante e o cordón correspondente. Coeficiente de empenamento. Cociente entre o diámetro ou a largura media das barras de recheo e o diámetro ou largura do cordón;	21.3.2, 32.2, 34.1.2.5, 34.7.2.1, 35.2.2.1, 58.6, 60.1.2, 61.5, 62.2.2, 62.3, 64.2, 64.7.1, 64.9, 70.3, 70.4, 72.4.1, 72.4.3, A5.2, A-9-1, A-9-2, A-9-3, A-9-4, A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-10, A-9-11
β'	coeficiente adimensional;	21.4, 34.1.2.5
β_1	coeficiente adimensional;	59.8.1, 62.3
β_2	coeficiente adimensional;	58.5.2, 59.8.1, 62.3
β_3	coeficiente adimensional;	58.5.2
β_{50}	índice de fiabilidade para un período de referencia de 50 anos;	5.1.1.1
$\beta_{A,c}$	coeficiente;	A6.4.2, A6.4.3
β_f	coeficiente adimensional;	58.6
β_i	coeficiente de empenamento correspondente á carga P_i , como se esta actuase illadamente. Coeficiente;	70.4, A11.4.1
β_j	coeficiente adimensional que depende das características da argamasa de nivelación colocada para o asento da placa de base;	65.2.2
β_w	coeficiente de correlación de aceiros;	59.8.2, 59.10, 60.1.1, 60.2.1, 61.4, 61.6
γ	densidade. Relación entre a dimensión dun cordón e o dobre do seu grosor. Distorsión angular. Coeficiente;	32.4, 64.2, 66.1, A6.4.2.1, A-9-1, A-9-4, A-9-9, A-9-17
γ_A	coeficiente parcial de seguridade da acción accidental.	12.1,

Termo	Definición	Número
γ_f	coeficiente parcial de seguridade para unha acción. Peso específico. Distorsión angular;	Art. 12º,
γ_{Ff}	coeficiente parcial de maioración para carreiras de tensión;	42.2, 42.3
γ_G	coeficiente parcial de seguridade da acción permanente.	12.1, 12.2
γ_{G^*}	coeficiente parcial de seguridade da acción permanente de valor non constante.	12.1, 12.2
γ_{i^*}	coeficiente;	A11.4.1
γ_M	coeficiente de minoración da resistencia dos materiais;	15.2, 32.1, 32.2, A11.4.3.3
γ_{M0}	coeficiente parcial para a resistencia das seccións transversais;	15.3, 34.1.1, 34.2, 34.3, 34.4, 34.5, 34.6, 34.7.1, 34.7.2.1, 34.7.2.2, 34.7.2.3, 35.5.2.2, 35.7.1, 35.7.2, 46.2, 46.4, 58.2, 58.5.1, 58.9, 60.3, 61.2, 61.2.1, 62.1.1, 62.1.2, 62.1.4, 65.2.2, 73.9.2, 73.10, 73.11.1, 73.11.2, A5.2, A6.3, A6.5, A7.2.4
γ_{M1}	coeficiente parcial para a resistencia de elementos estruturais fronte a inestabilidade;	15.3, 35.1.1, 35.2.1, 35.2.3, 35.3, 35.5.2, 35.7.2, 35.9.3.3, 35.9.3.5, 46.5, 62.1.2, A7.2.1
γ_{M2}	coeficiente parcial para a resistencia a rotura das seccións transversais en tracción. Idem para a resistencia das unións;	15.3, 34.2, 34.4, 58.5.1, 58.6, 58.7, 58.9, 59.8.2, 59.10, 60.1.1, 60.2.1, 61.3, 61.4, 61.5, 61.6, 65.2.1, 73.13.4, 73.13.5.1, 73.13.5.2
γ_{M3}	coeficiente parcial para a resistencia ao desprazamento de unións con parafusos pretensados;	15.3, 58.8
γ_{M5}	coeficiente parcial de seguridade para a resistencia nas unións entre pezas de sección tubular;	64.1, A-9-1, A-9-2, A-9-3, A-9-4, A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-10, A-9-11, A-9-14, A-9-17, A-9-18, A-9-19

Termo	Definición	Número
Y_{Mf}	coeficiente parcial para a resistencia a fatiga para as categorías de detalle $\Delta\sigma_c$; $\Delta\tau_c$, cando se utilizan como valor da resistencia a fatiga;	42.2, 42.4
Y_{Mfi}	coeficiente parcial para a resistencia do aceiro en situación de incendio;	45.1, 46.1, 46.3, 46.4, 46.5, Art. 47º
Y_p	coeficiente parcial considerando o sistema de protección fronte ao lume;	Art. 47º, 48.3, 48.4
Y_Q	coeficiente parcial de seguridade variable.	12.1, 12.2
Y_q	coeficiente parcial de seguridade que ten en conta as consecuencias previsibles de incendio;	A8.4.1, A8.5
δ	desprazamento relativo entre a cara superior e inferior do apoio. Coeficiente:	66.1, A6.4.2.1
$\delta_{H, Ed}$	desprazamento horizontal relativo do nivel superior da planta con relación ao seu nivel inferior;	23.2.1
δ_{ni}	coeficiente que toma en consideración as diferentes medidas activas de loita contra incendios i, espaxedores, detección, transmisión automática de alarma a bombeiros ($i=1, 2$ ou 3).	A8.4.1
δ_q	frecha do sistema de arriostamento no plano de estabilización;	22.4.1
δ_{q1}	coeficiente que toma en consideración o risco de inicio de incendio debido ao tipo de actividade;	A8.4.1
δ_{q2}	coeficiente que toma en consideración o risco de inicio de incendio debido ao tamaño do sector;	A8.4.1, A8.4.6
$ \delta_x $	frecha máxima local ao longo do elemento;	35.3
ε	deformación;	20.3, 32.2, 35.1.3, 35.2.3, 35.3, 35.5.1, 35.5.2.1, 35.5.2.2, 35.6, 35.9.1, 45.1, 46.1, 62.1.4, 62.4.3, 73.9.2, 73.11.1, A3.2.2, A3.3.1
$\varepsilon_{c, Ed}$	deformación máxima de compresión de cálculo no panel;	20.7
ε_{cf}	porcentaxe de deformación permanente producida pola conformación en frío do material;	32.3

Termo	Definición	Número
$\epsilon_{cm\acute{a}x}$	deformación unitaria máxima no bordo máis comprimido do panel;	19.5.1, 19.5.2
ϵ_{cr}	deformación crítica ideal de aboladura do panel;	19.5.1, 20.7
ϵ_{cu}	deformación límite para elementos comprimidos de aceiro;	19.5.1
ϵ_f	emisividade do lume;;	48.1, A8.2.2, A8.6.2
ϵ_m	emisividade da superficie do elemento;	A8.2.2, A8.6.2
$\epsilon_{m\acute{a}x}$	deformación baixo carga máxima;	26.3, 26.5.2
$\epsilon_{p,\theta}$	deformación correspondente ao límite de proporcionalidade para a temperatura (θ_a), $f_{p,\theta}$;	45.1
ϵ_{res}	emisividade resultante para superficies de aceiros ao carbono;	48.1
ϵ_{tu}	deformación límite para elementos traccionados de aceiro;	19.5.1
ϵ_u	deformación última;	26.3, 26.5.2
$\epsilon_{u,\theta}$	deformación última para a temperatura (θ_a) no diagrama tensión-deformación;	45.1
ϵ_y	deformación correspondente ao límite elástico do aceiro;	19.5.1, 20.3, 26.3
$\epsilon_{y,\theta}$	deformación correspondente ao límite elástico efectivo para a temperatura (θ_a), $f_{y,\theta}$;	45.1
$\dot{\epsilon}$	velocidade de deformación;	32.3
$\dot{\epsilon}_o$	valor de referencia da velocidade de deformación;	32.3
η	coeficiente que permite considerar a resistencia adicional que ofrece en réxime plástico o endurecemento por deformación do material. Parámetro. Relación entre o diámetro ou a largura media das barras de recheo e o diámetro ou a largura do cordón;	34.5, 35.5.1, 35.5.2.1, 35.9.3.5, 57.5, 64.2, A-9-2, A-9-3, A-9-10, A-9-11
η_0	grao de utilización;	46.8.1
η_1	coeficiente de distribución;	A5.2
η_2	coeficiente de distribución;	A5.2

Termo	Definición	Número
η_{cr}	forma da deformada do modo global de inestabilidade crítica elástica;	22.3.5
η_{inic}	amplitude da imperfección única do modo de inestabilidade crítica elástica;	22.3.5
θ	temperatura dun elemento. Coeficiente. Ángulo. ángulo entre a barra de recheo e o cordón;	Art. 46º, 46.2, 46.6, 48.3, 50.2, 61.6, 64.1, 64.2, A7.2.1, A-9-11, A-9-8, A-9-13
θ_a	temperatura alcanzada polo aceiro. Xiro no extremo próximo da viga;	45.1, 46.7, 48.4, A5.2
$\theta_{a,com}$	temperatura máxima do aceiro na ala comprimida da sección;	46.5
$\theta_{a,cr}$	valor crítico da temperatura de acordo con 46.8, 46.8.1 e 46.8.2	Art. 46º, 46.8, 46.8.1, 46.8.2
$\theta_{a,máx}$	temperatura máxima do aceiro na sección;	46.5
$\theta_{a,t}$	temperatura homoxénea alcanzada polo aceiro transcorrido un incendio normalizado de duración t;	Art. 46º, 46.3, 46.4, 46.8, 46.8.2, 48.1, 48.2, 48.4
θ_b	xiro no extremo afastado da viga;	A5.2
$\theta_{g,t}$	temperatura da masa gasosa;	48.1, 48.2
θ_i	ángulo entre a barra de recheo e o cordón (i=1, 2 ou 3). Temperatura dun elemento de área A_i resultado da partición dunha sección;	64.2, 46.2, A-9-1, A-9-4, A-9-5, A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-12, A-9-15, A-9-17, A-9-19,
$\theta_{m,t}$	temperatura superficial do elemento;	48.1
θ_v	temperatura media da sección eficaz a cortante (A_v) utilizada nos cálculos a temperatura ambiente, de acordo con 34.5;	46.4
κ	coeficiente;	A-9-13
λ	esvelteza. Conducividade térmica;	22.3.2, 71.2.3.2, 73.11.2, A8.6.1
λ_1	coeficiente;	61.2
λ_2	coeficiente;	61.2
λ_6	parámetro;	A11.4.3.6

Termo	Definición	Número
λ_a	condutividade térmica en W/(m ^o K), variable coa temperatura (θ_a);	45.1
λ_E	valor da esvelteza para determinar a esvelteza relativa;	35.1.3, 35.2.3
λ_{ef}	esvelteza eficaz;	72.3
$\lambda_{1i}, \lambda_{5i}$ λ_{2i}, \dots	parámetros;	A11.4.3.1, A11.3.4.3, A11.4.3.5
λ_o	esvelteza do piar considerándoo biarticulado;	65.2.5
λ_{ov}	relación de solapamento en tanto por cento;	64.2, 64.7.1, A-9-7, A-9-19
$\lambda_{ov,lim}$	relación de solapamento límite en tanto por cento;	64.6.1, 64.8
λ_p	condutividade térmica convencional en W/(m ^o K). Condutividade térmica do sistema de protección fronte ao lume;	45.2, 48.3
λ_{pk}	valor característico da condutividade térmica do sistema de protección fronte ao lume;	48.3
λ_v	esvelteza para o empenamento arredor do eixe de mínima inercia;	72.3
λ_y	esvelteza para o empenamento arredor do eixe y-y, paralelo ás alas;	72.3
λ_z	esvelteza para o empenamento arredor do eixe z-z, paralelo ás alas;	72.3
$\bar{\lambda}$	esvelteza relativa;	22.3.5, 24.3.1, 35.1.2, 35.3, 46.3, 61.6, 73.11.2, 73.11.3, anexo 4
$\bar{\lambda}_c$	esvelteza relativa da columna;	A6.4.3
$\bar{\lambda}_\theta$	esvelteza relativa empregada para os cálculos a temperatura ambiente, corrixida en función dos coeficientes $k_{y,\theta}$ e $k_{E,\theta}$ obtidos en 45.1 coa temperatura ($\theta_{a,t}$) no instante (t) do proceso de incendio considerado;	46.3
$\bar{\lambda}_{c0}$	esvelteza límite da ala comprimida equivalente;	35.2.3

Termo	Definición	Número
$\bar{\lambda}_f$	esvelteza adimensional da ala comprimida equivalente entre puntos de arriostamento;	35.2.3
$\bar{\lambda}_{LT}$	esvelteza adimensional para empenamento torsional ou a flexo-torsión;	35.2.2, 35.2.3, 35.2.2.1, 35.3, 46.5
$\bar{\lambda}_{LT,\theta,com}$	esvelteza adimensional empregada nos cálculos a temperatura ambiente, corrixida en función dos coeficientes $k_{y,\theta,com}$ e $k_{E,\theta,com}$;	46.5
$\bar{\lambda}_{LT,0}$	coeficiente para calcular o empenamento lateral en perfís laminados ou seccións soldadas equivalentes sometidos a flexión;	35.2.2.1, 35.2.3
$\bar{\lambda}_0$	esvelteza adimensional de empenamento lateral cando actúa un momento uniforme;	35.3
$\bar{\lambda}_p$	esvelteza relativa da chapa ou panel;	19.5.1, 62.1.2, 73.9.2, 73.11.2, A6.3, A6.4.2
$\bar{\lambda}_{p,red}$	esvelteza relativa da chapa ou panel na sección reducida;	20.7, 73.9.2, 73.9.3, A6.3
$\bar{\lambda}_T$	esvelteza relativa para empenamento torsional ou flexo-torsión;	35.1.4
$\bar{\lambda}_w$	esvelteza relativa da alma;	35.5.2.1, 35.9.3.3, 73.10
$\bar{\lambda}_{p,ser}$	esvelteza relativa da chapa ou panel na sección reducida para o estado límite de servizo;	73.9.2, 73.9.3
μ	coeficiente de comportamento por ductilidade. Coeficiente de rozamento. Factor de redución. Factor de eficiencia;	50.2, 64.6.3, 64.7.3, 66.2, 71.2.3.2, 76.8, A-9-6, A-9-16
ν	coeficiente de Poisson;	20.7, 32.4, 35.5.2.1, 73.9.2, A6.4.2.1, A6.4.2.2, A6.4.3
ξ	coeficiente;	A6.4.4
ρ	factor de redución do largo dos paneis comprimidos. Coeficiente. Masa específica do aire. Rendemento. Coeficiente de redución por abladura da placa ortótropa equivalente. Densidade;	19.5.1, 20.7, 34.7.1, 34.7.3, 62.1.2, 73.9.1, 73.9.2, A6.4.4, A8.5, A8.6.1
ρ_a	densidade do aceiro. Coeficiente;	48.1, 48.2, 73.9.3
ρ_c	coeficiente de redución de inestabilidade do panel;	A6.3, A6.4.1, A6.4.4

Termo	Definición	Número
ρ_{loc}	coeficiente de redución de cada panel calculado segundo A6.3 para ter en conta a aboladura local;	A6.4.1
ρ_p	densidade do material de protección;	45.2
ρ_{pd}	valor de cálculo da densidade do material de protección;	48.2
ρ_{pk}	valor característico da densidade do material de protección;	48.3
σ	tensión normal. Tensión admisible a compresión do neopreno de apoio. Constante de Stephan Boltzmann;	32.2, 45.1, 66.1, A8.2.2, A8.6.2
$\sigma_{//}$	tensións normais que actúan sobre un plano normal ao eixe do cordón;	59.8, 59.11
σ_{\perp}	tensións normais que actúan sobre o plano de garganta do cordón;	59.8, 59.8.2
σ_1	valor máximo da tensión normal no extremo do panel;	A6.4.2.1
σ_2	valor mínimo da tensión normal no outro extremo do panel;	A6.4.2.1
σ_a	tensión media da ala, calculada coa sección bruta;	73.7
$\sigma_{c,Ed}$	tensión máxima de compresión de cálculo;	20.3, 20.7, A6.3, A6.4.2.2
σ_{co}	tensión normal de comparación;	41.2
$\sigma_{co,Ed,ser}$	tensión normal de comparación no panel para a combinación de accións;	41.2
$\sigma_{com,Ed}$	tensión máxima uniforme en elementos planos;	73.9.1, 73.11.1
$\sigma_{com,Ed,ser}$	tensión de compresión máxima uniforme en elementos planos para o estado límite de servizo;	73.9.2
σ_{cr}	tensión normal crítica de aboladura da chapa ou panel. Tensión crítica elástica para empenamento por torsión do rixidizador;	20.7, 73.9.2, A7.2.1
$\sigma_{cr,c}$	tensión crítica elástica de empenamento de columna para unha chapa non rixidizada;	A6.4.3, A6.4.4, A7.2.1
$\sigma_{cr,i}$	tensión normal crítica ideal de aboladura do panel, suposto articulado nos seus bordos;	40.2

Termo	Definición	Número
$\sigma_{cr,p}$	tensión crítica de abladura da chapa equivalente en elementos planos rixidizados lonxitudinalmente;	A6.4.2, A6.4.2.2, A6.4.4, A7.2.1
$\sigma_{cr,sl}$	tensión crítica elástica de empenamento da columna equivalente;	A6.4.2.2, A6.4.3
$\sigma_{Dw}(Z,S)$	sobretensión debida á distorsión dunha viga caixón unicelular simétrica sometida a unha distribución de torsos exteriores $m(z)$ ao longo da súa lonxitude;	A3.3.1
σ_E	tensión crítica de Euler;	35.5.2.1, 40.2
$\sigma_{Ed,ser}$	compresión máxima no panel para a combinación de accións;	41.2
$\sigma_{H,ser}$	presión local de contacto entre bulón e peza en estado límite de servizo, cando o bulón debe ser desmontable;	58.9
$\sigma_{máx}$	tensión normal máxima;	21.3.5
$\sigma_{mín}$	tensión normal mínima;	21.3.5
$\sigma_{My,Ed}$	tensión normal debida ao flector $M_{y,Ed}$, usando a sección reducida;	73.11.1
$\sigma_{Mz,Ed}$	tensión normal debida ao flector $M_{z,Ed}$, usando a sección reducida;	73.11.1
$\sigma_{n,Ed}$	máxima tensión de compresión existente na alma do soporte;	62.1.2,
$\sigma_{N,Ed}$	tensión normal debida ao axial, usando a sección reducida;	73.11.1
$\sigma_{o,Ed}$	máxima tensión de compresión no cordón nunha unión;	64.2
$\sigma_{p,Ed}$	valor de $\sigma_{o,Ed}$ descontando a tensión debida ás compoñentes paralelas ao eixe do cordón dos esforzos axiais actuantes nas barras de recheo nesa unión;	64.2
σ_{ref}	nivel de tensión de referencia no aceiro;	32.3
$\sigma_{tot,Ed}$	suma de tensións normais;	73.11.1
$\sigma_{w,Ed}$	tensións normais lonxitudinais debidas ao bimomento B_{Ed} de torsión de empenamento;	34.6
$\sigma_{w,Ed}$	tensión normal debida á torsión de empenamento, usando a sección bruta;	73.11.1

Termo	Definición	Número
σ_x	tensión normal no punto considerado;	21.3.5
$\sigma_{x,Ed}$	valor de cálculo da tensión normal na dirección lonxitudinal no punto considerado;	34.1.1, 34.7.2.2, 34.7.2.3, A7.2.4
$\sigma_{x,Ed,ser}$	compresión máxima no panel para a combinación frecuente de accións;	40.2
$\sigma_{z,Ed}$	valor de cálculo da tensión normal en dirección transversal no punto considerado;	21.6, 34.1.1
τ	tensión tanxencial;	42.6
$\tau_{//}$	tensións tanxenciais que actúan sobre o plano de garganta en dirección paralela ao plano do cordón;	59.8, 59.8.2
τ_{\perp}	tensións tanxenciais que actúan sobre o plano de garganta en dirección perpendicular ao plano do cordón;	59.8, 59.8.2
τ_{cr}	tensión tanxencial crítica de aboladura;	35.5.2.1, 73.10
$\tau_{cr,i}$	tensión tanxencial crítica ideal de aboladura do panel, suposto articulado nos seus bordos;	40.2
τ_{Ed}	valor de cálculo da tensión tanxencial no punto considerado;	34.1.1, 34.5
$\tau_{Ed,ser}$	tensión tanxencial no panel para a combinación de accións;	40.2, 41.2
$\tau_{t,Ed}$	tensións tanxenciais debidas ao esforzo torsor $T_{t,Ed}$ de torsión uniforme;	34.6
$\tau_{t,Ed}$	tensión tanxencial debida a torsión uniforme, coa sección bruta;	73.11.1
$\tau_{tot,Ed}$	suma de tensións tanxenciais;	73.11.1
$\tau_{Vy,Ed}$	tensión tanxencial debida ao cortante $V_{y,Ed}$, usando a sección bruta;	73.11.1
$\tau_{Vz,Ed}$	tensión tanxencial debida ao cortante $V_{z,Ed}$, usando a sección bruta;	73.11.1
τ_w	tensión tanxencial media no cordón;	59.8.2, 59.10, 60.2, 60.2.1
$\tau_{w,Ed}$	tensión tanxencial debida a torsión de empenamento, coa sección bruta;	73.11.1
$\tau_{w,Ed}$	tensións tanxenciais debidas ao esforzo torsor $T_{w,Ed}$ de torsión de empenamento;	34.6
$\tau_{w,max}$	tensión tanxencial máxima no cordón;	60.2.1

Termo	Definición	Número
φ	relación de capacidades caloríficas totais do revestimento e do elemento de aceiro;	48.2, 48.4
ϕ	defecto lineal de verticalidade. Ángulo;	22.3.1, 22.3.3, 73.5, 73.6, 73.10, A-9-6, A-9-11, A-9-13, A-9-16
ϕ_0	valor de base da imperfección lateral;	22.3.1
χ	curvatura no diagrama M- χ . Coeficiente de redución para o modo de empenamento considerado. Coeficiente de redución da ala comprimida equivalente determinado con $\bar{\lambda}_F$;	19.5.1, 22.3.5, 35.1.1, 35.1.2, 35.2.3, 35.3, 35.5.2, anexo 4, A-9-8
χ_c	coeficiente de redución para a consideración do empenamento tipo columna;	A6.3, A6.4.1, A6.4.3, A6.4.4
χ_{el}	curvatura correspondente ao límite elástico;	19.5.1
χ_F	coeficiente de redución de abladura fronte a carga concentrada;	35.6, 35.7.2
χ_{LT}	coeficiente de redución para empenamento lateral;	35.2.1, 35.2.2, 35.2.2.1, 35.3
$\chi_{LT,fi}$	coeficiente de redución para empenamento lateral en situación de lume de cálculo;	46.5
$\chi_{LT,mod}$	coeficiente de redución modificado para empenamento lateral-torsional;	35.2.2.1
χ_u	curvatura última elastoplástica;	19.5.1
χ_w	coeficiente para a contribución da alma fronte a abladura por cortante;	35.5.2, 35.5.2.1, 35.7.1, 35.9.3.3, 35.9.3.5
χ_y	coeficiente de redución debido ao empenamento por flexión respecto ao eixe y-y;	35.3
χ_z	coeficiente de redución debido ao empenamento por flexión respecto ao eixe z-z;	35.3
ω	coordenada sectorial normalizada;	34.6

A1.2 Unidades e convención de signos

As unidades adoptadas nesta instrución corresponden ás do Sistema Internacional de Unidades de Medidas, S.I.

Anexo 2: Relación de normas UNE

O articulado desta instrución establece unha serie de comprobacións da conformidade dos produtos incluídos no seu ámbito que, en moitos casos, están referidos á normativa UNE, UNE-EN ou UNE-EN ISO.

A relación das versións correspondentes ás normas aplicables en cada caso, con referencia á súa data de aprobación, é a que se indica a continuación.

A2.1 Normas UNE

UNE 7475-1:1992	Materiais metálicos. Ensaio de flexión por choque sobre probeta Charpy. Parte 1: método de ensaio.
UNE 14618:2000	Inspectores de soldadura. Cualificación e certificación.
UNE 36521:1996	Produtos de aceiro. Sección en I con alas inclinadas (antigo IPN). Medidas.
UNE 36522:2001	Produtos de aceiro. Perfil U normal (UPN). Medidas.
UNE 36524:1994	Produtos de aceiro laminados en quente. Perfís HE de alas largas e caras paralelas. Medidas.
UNE 36524:1994 ERRATUM:1999	Produtos de aceiro laminados en quente. Perfís HE de alas largas e caras paralelas. Medidas.
UNE 36525:2001	Produtos de aceiro. Perfil U comercial. Medidas.
UNE 36526:1994	Produtos de aceiro laminados en quente. Perfís IPE. Medidas.
UNE 36559:1992	Chapas de aceiro laminadas en quente de grosor igual ou maior a 3 mm. Tolerancias dimensionais sobre a forma e sobre a masa.
UNE 48103:2002	Pinturas e vernices. Cores normalizadas.

A2.2 Normas UNE-EN

UNE-EN 287-1:2004.	Cualificación de soldadores. Soldadura por fusión. Parte 1. Aceiros.
UNE-EN 287-1:2004/A2:2006	Cualificación de soldadores. Soldadura por fusión. Parte 1. Aceiros.
UNE-EN 970:1997	Exame non destrutivo de soldaduras por fusión. Exame visual.
UNE-EN 1289:1998	Exame non destrutivo de soldaduras. Ensaio de soldaduras por líquidos penetrantes. Niveis de aceptación.
UNE-EN 1289:1998/1M:2002	Exame non destrutivo de unións soldadas. Ensaio mediante líquidos penetrantes de unións soldadas. Niveis de aceptación.
UNE-EN 1289:1998/A2:2006	Exame non destrutivo de unións soldadas. Ensaio mediante líquidos penetrantes de unións soldadas. Niveis de aceptación.
UNE-EN 1290:1998	Exame non destrutivo de unións soldadas. Exame de unións soldadas mediante partículas magnéticas.
UNE-EN 1290:1998/1M:2002	Exame non destrutivo de unións soldadas. Exame de unións soldadas mediante partículas magnéticas.
UNE-EN 1290:1998/A2:2006	Exame non destrutivo de unións soldadas. Exame de unións soldadas mediante partículas magnéticas.
UNE-EN 1363-1:2000	Ensaos de resistencia ao lume. Parte 1: requisitos xerais.
UNE-EN 1363-2:2000	Ensaos de resistencia ao lume. Parte 2: procedementos alternativos e adicionais.
UNE-EN 1714:1998	Exame non destrutivo de soldaduras. Exame ultrasónico de unións soldadas.
UNE-EN 1714:1998/1M:2002	Exame non destrutivo de soldaduras. Exame ultrasónico de unións soldadas.
UNE-EN 1714:1998/A2:2006	Exame non destrutivo de soldaduras. Exame ultrasónico de unións soldadas.
UNE-EN 1990:2003	Eurocódigos. Bases de cálculo de estruturas.
UNE-EN 10024:1995	Produtos de aceiro laminados en quente. Sección en I con alas inclinadas. Tolerancias dimensionais e de forma.

UNE-EN 10025-1:2006	Produtos laminados en quente de aceiros para estruturas. Parte 1: condicións técnicas xerais de subministración.
UNE-EN 10025-2:2006	Produtos laminados en quente de aceiros para estruturas. Parte 2: condicións técnicas de subministración dos aceiros estruturais non aliados.
UNE-EN 10025-3:2006	Produtos laminados en quente de aceiros para estruturas. Parte 3: condicións técnicas de subministración dos aceiros estruturais soldables de gran fino na condición de normalizado/laminado de normalización.
UNE-EN 10025-4:2007	Produtos laminados en quente de aceiros para estruturas. Parte 4: condicións técnicas de subministración dos aceiros estruturais soldables de gran fino laminados termomecánicamente.
UNE-EN 10025-5:2007	Produtos laminados en quente de aceiros para estruturas. Parte 5: condicións técnicas de subministración dos aceiros estruturais con resistencia mellorada á corrosión atmosférica.
UNE-EN 10025-6:2007 +A1:2009	Produtos laminados en quente de aceiros para estruturas. Parte 6: condicións técnicas de subministración dos produtos planos de aceiros estruturais de alto límite elástico na condición de temperado.
UNE-EN 10034:1994	Perfís I e H de aceiro estrutural. Tolerancias dimensionais e de forma.
UNE-EN 10051:1998	Chapas, bandas e cintas laminados en quente en continuo, de aceiro aliado e non aliado. Non recubertos. Tolerancias dimensionais e sobre a forma.
UNE-EN 10055:1996	Perfil T de aceiro con alas iguais e arestas redondeadas laminado en quente. Medidas e tolerancias dimensionais e de forma.
UNE-EN 10056-1:1999	Angulares de lados iguais e desiguais de aceiro estrutural. Parte 1: medidas.
UNE-EN 10056-2:1994	Angulares de lados iguais e desiguais de aceiro estrutural. Parte 2: tolerancias dimensionais e de forma.
UNE-EN 10058:2004	Barras rectangulares de aceiro laminadas en quente para usos xerais. Medidas e tolerancias dimensionais e de forma.
UNE-EN 10059:2004	Barras cadradas de aceiro laminadas en quente para usos xerais. Medidas e tolerancias dimensionais e de forma.
UNE-EN 10060:2004	Barras redondas de aceiro laminadas en quente para usos xerais. Medidas e tolerancias dimensionais e de forma.
UNE-EN 10061:2005	Barras hexagonais de aceiro laminadas en quente para usos xerais. Medidas e tolerancias dimensionais e de forma.
UNE-EN 10079:2008	Definición dos produtos de aceiro.
UNE-EN 10083-1:2008	Aceiros para temperado. Parte 1: condicións técnicas xerais de subministración.
UNE-EN 10088-1:2006	Aceiros inoxidables. Parte 1: relación de aceiros inoxidables.
UNE-EN 10131:2007	Produtos planos de aceiro laminados en frío non recubertos ou recubertos electroliticamente de cinc ou cinc-níquel, de aceiro de baixo contido en carbono e de aceiro de alto límite elástico para conformación en frío. Tolerancias dimensionais e de forma.
UNE-EN 10149-2:1996	Produtos planos laminados en quente de aceiro de alto límite elástico para conformación en frío. Parte 2: condicións de subministración para aceiros en estado de laminado termomecánico.
UNE-EN 10149-3:1996	Produtos planos laminados en quente de aceiro de alto límite elástico para conformación en frío. Parte 3: condicións de subministración para aceiros en estado de normalizado ou laminado de normalización.
UNE-EN 10149-3:1996 ERRATUM:2000	Produtos planos laminados en quente de aceiro de alto límite elástico para conformación en frío. Parte 3: condicións de subministración para aceiros en estado de normalizado ou laminado de normalización.
UNE-EN 10162:2005	Perfís de aceiro conformados en frío. Condicións técnicas de subministración. Tolerancias dimensionais e da sección transversal.

UNE-EN 10164:2007	Aceiros de construción con resistencia mellorada á deformación en dirección perpendicular á superficie do produto. Condicións técnicas de subministración.
UNE-EN 10210-1:2007	Perfis ocos para construción, acabamentos en quente, de aceiro non aliado e de gran fino. Parte 1: condicións técnicas de subministración.
UNE-EN 10210-2:2007	Perfis ocos para construción, acabamentos en quente, de aceiro non aliado e de gran fino. Parte 2: tolerancias, dimensións e propiedades de sección.
UNE-EN 10219-1: 2007	Perfis ocos para construción soldados, conformados en frío, de aceiro non aliado e de gran fino. Parte 1: condicións técnicas de subministración.
UNE-EN 10219-2: 2007	Perfis ocos para construción soldados, conformados en frío, de aceiro non aliado e de gran fino. Parte 2: tolerancias, dimensións e propiedades das sección.
UNE-EN 10268:2007	Produtos planos laminados en frío de alto límite elástico para conformación en frío. Condicións técnicas de subministración.
UNE-EN 10279:2001	Perfis en U de aceiro laminado en quente. Tolerancias dimensionais, de forma e da masa.
UNE-EN 10346:2010	Produtos planos de aceiro recubertos en continuo por inmersión en quente. Condicións técnicas de subministración.
UNE-EN 12062:1997	Exame non destrutivo de soldaduras. Regras xerais para os materiais metálicos.
UNE-EN 12062:1997/ 1M:2002	Exame non destrutivo de soldaduras. Regras xerais para os materiais metálicos.
UNE-EN 12517-1:2006	Ensaio non destrutivo de unións soldadas. Parte 1: ensaio radiográfico de unións soldadas en aceiro, níquel, titanio e as súas aliaxes. Niveis de aceptación.
UNE-EN 12517-2:2010	Ensaio non destrutivo de unións soldadas. Parte 2: ensaio radiográfico de unións soldadas en aluminio e aliaxes de aluminio. Niveis de aceptación.
UNE-EN 13438:2007	Pinturas e vernices. Recubrimentos orgánicos en po para produtos de aceiro galvanizado ou sherardizados, empregados na construción.
UNE-EN 14399-1:2009	Conxuntos de elementos de fixación estruturais de alta resistencia para precarga. Parte 1: requisitos xerais.
UNE-EN 14399-2:2009	Conxuntos de elementos de fixación estruturais de alta resistencia para precarga. Parte 2: ensaio de aptitude á precarga.
UNE-EN 14399-5:2009	Conxuntos de elementos de fixación estruturais de alta resistencia para precarga. Parte 5: arandelas planas.
UNE-EN 14399-6:2009	Conxuntos de elementos de fixación estruturais de alta resistencia para precarga. Parte 6: arandelas planas achafranadas.
UNE-EN 15048-1:2008	Unións aparafusadas estruturais sen precarga. Parte 1: requisitos xerais.
UNE-EN 15048-2:2008	Unións aparafusadas estruturais sen precarga. Parte 2: ensaio de aptitude.
UNE-EN 15773:2010	Aplicación industrial de recubrimentos orgánicos en po sobre artigos de aceiro galvanizados en quente ou sherardizados (sistemas dúplex). Especificacións, recomendacións e directrices.
UNE-EN 20286-2:1996	Sistemas ISO de tolerancias e axustes. Parte 2: táboas dos graos de tolerancias normalizados e das desviacións límite dos orificios e dos eixes (ISO 286-2:1988).
UNE-EN 45011:1998	Requisitos xerais para entidades que realizan a certificación de produto (Guía ISO/CEI 65:1996).

A2.3 Normas UNE-EN ISO

UNE-EN ISO 643:2004	Aceiro. Determinación micrográfica do tamaño do gran aparente. (ISO 643:2003).
UNE-EN ISO 1461:2010	Recubrimentos de galvanización en quente sobre pezas de ferro e aceiro. Especificacións e métodos de ensaio. (ISO 1461:2009).

UNE-EN ISO 1716:2002	Ensaio de reacción ao lume dos produtos de construción. Determinación do calor de combustión. (ISO 1716:2002).
UNE-EN ISO 2063:2005	Proxección térmica. Recubrimentos metálicos e outros recubrimentos inorgánicos. Cinc, aluminio e as súas aliaxes (ISO 2063:2005).
UNE-EN ISO 2409:2007	Pinturas e vernices. Ensaio de corte por enrejado. (ISO 2409:2007).
UNE-EN ISO 2812-1:2007	Pinturas e vernices. Determinación da resistencia a líquidos. Parte 1: inmersión en líquidos distintos á auga. (ISO 2812-1:2007).
UNE-EN ISO 2812-2:2007	Pinturas e vernices. Determinación da resistencia a líquidos. Parte 2: método de inmersión en auga. (ISO 2812-2:2007).
UNE-EN ISO 3834-1:2006	Requisitos de calidade para a soldadura por fusión de materiais metálicos. Parte 1: criterios para a selección do nivel apropiado dos requisitos de calidade (ISO 3834-1:2005).
UNE-EN ISO 4014:2001	Pernos de cabeza hexagonal. Produtos de clases A e B (ISO 4014: 1999).
UNE-EN ISO 4016:2001	Pernos de cabeza hexagonal. Produtos de clase C (ISO 4016: 1999).
UNE-EN ISO 4017:2001	Parafusos de cabeza hexagonal. Produtos de clases A e B (ISO 4017:1999).
UNE-EN ISO 4018:2001	Parafusos de cabeza hexagonal. Produtos de clase C (ISO 4018:1999).
UNE-EN ISO 4032:2001	Torcas hexagonais. Tipo 1. Produtos de clases A e B (ISO 4032:1999).
UNE-EN ISO 4033:2001	Torcas hexagonais. Tipo 2. Produtos de clases A e B (ISO 4033:1999).
UNE-EN ISO 4034:2001	Torcas hexagonais. Produto de clase C (ISO 4034: 1999).
UNE-EN ISO 4063:2010	Soldadura e técnicas conexas. Nomenclatura de procesos e números de referencia. (ISO 4063:2009).
UNE-EN ISO 4624:2003	Pinturas e vernices. Ensaio de adherencia por tracción. (ISO 4624: 2002).
UNE-EN ISO 4628-2:2004	Pinturas e vernices. Avaliación da degradación dos recubrimentos. Designación da intensidade, cantidade e tamaño dos tipos máis comúns de defectos. Parte 2: avaliación do grao de ampolamento. (ISO 4628-2:2003).
UNE-EN ISO 4628-3:2004	Pinturas e vernices. Avaliación da degradación dos recubrimentos. Designación da intensidade, cantidade e tamaño dos tipos máis comúns de defectos. Parte 3: avaliación do grao de oxidación. (ISO 4628-3:2003).
UNE-EN ISO 4628-4:2004	Pinturas e vernices. Avaliación da degradación dos recubrimentos. Designación da intensidade, cantidade e tamaño dos tipos máis comúns de defectos. Parte 4: avaliación do grao de fendedura. (ISO 4628-4:2003).
UNE-EN ISO 4628-5:2004	Pinturas e vernices. Avaliación da degradación dos recubrimentos. Designación da intensidade, cantidade e tamaño dos tipos máis comúns de defectos. Parte 5: avaliación do grao de escamación. (ISO 4628-5:2003).
UNE-EN ISO 5817:2009	Soldadura. Unións soldadas por fusión de aceiro, níquel, titanio e as súas aliaxes (excluída a soldadura por feixe de electróns). Niveis de calidade para as imperfeccións (ISO 5817:2003, versión corrixida: 2005, incluíndo Corrigendum Técnico 1:2006).
UNE-EN ISO 6270-1:2002	Pinturas e vernices. Determinación da resistencia á humidade. Parte 1: condensación continua (ISO 6270:1998).
UNE-EN ISO 6507-1:2006	Materiais metálicos. Ensaio de dureza Vickers. Parte 1: método de ensaio (ISO 6507-1:2005).
UNE-EN ISO 6520-1:2009	Soldadura e procesos afíns. Clasificación das imperfeccións xeométricas nas soldaduras de materiais metálicos. Parte 1: soldadura por fusión (ISO 6520-1:2007).
UNE-EN ISO 6892-1:2010	Materiais metálicos. Ensaio de tracción. Parte 1: método de ensaio a temperatura ambiente.(ISO 6892-1:2009)
UNE-EN ISO 7089:2000	Arandelas planas. Serie normal. Produto de clase A (ISO 7089:2000).
UNE-EN ISO 7090:2000	Arandelas planas achafranadas. Serie normal. Produto de clase A (ISO 7090:2000).
UNE-EN ISO 7091:2000	Arandelas planas. Serie normal. Produto de clase C (ISO 7091:2000).
UNE-EN ISO 7092:2000	Arandelas planas. Serie estreita. Produto de clase A (ISO 7092:2000).
UNE-EN ISO 7093-1:2000	Arandelas planas. Serie larga. Parte 1. Produto de clase A (ISO 7093-1:2000).

UNE-EN ISO 7093-2:2000	Arandelas planas. Serie larga. Parte 2. Produto de clase C (ISO 7093-2:2000).
UNE-EN ISO 7094:2000	Arandelas planas. Serie extralarga. Produto de clase C (ISO 7094:2000).
UNE-EN ISO 7438:2006	Materiais metálicos. Ensaio de dobradura. (ISO 7438:2005).
UNE-EN ISO 8501-1:2008	Preparación de substratos de aceiro previa á aplicación de pinturas e produtos relacionados. Avaliación visual da limpeza das superficies. Parte1: graos de óxido e de preparación dos substratos de aceiro non pintados despois de eliminar totalmente os recubrimentos anteriores (ISO 8501-1:2007).
UNE-EN ISO 8502-3:2000	Preparación de substratos de aceiro previa á aplicación de pinturas e produtos relacionados. Ensaio para a avaliación da limpeza das superficies. Parte 3: determinación do po sobre superficies de aceiro preparadas para ser pintadas (método da cinta adhesiva sensible á presión) (ISO 8502-3:1992).
UNE-EN ISO 8503-1:1996	Preparación de substratos de aceiro previa á aplicación de pinturas e produtos afíns. Características de rugosidade dos substratos de aceiro chorreados. Parte1: especificacións e definicións relativas ás mostras ISO de comparación táctil-visual para a avaliación de superficies preparadas mediante proxección de axentes abrasivos (ISO 8503-1:1988).
UNE-EN ISO 8503-2:1996	Preparación de substratos de aceiro previa á aplicación de pinturas e produtos afíns. Características de rugosidade dos substratos de aceiro chorreados. Parte 2: método para caracterizar un perfil de superficie de aceiro decapado por proxección de axentes abrasivos. Utilización de mostras ISO de comparación táctil-visual (ISO 8503-1:1988).
UNE-EN ISO 8503-3:1996	Preparación de substratos de aceiro previa á aplicación de pinturas e produtos afíns. Características de rugosidade dos substratos de aceiro chorreados. Parte 3: método de calibración das mostras ISO de comparación táctil-visual e de caracterización dun perfil de superficie. Utilización dun microscopio óptico (ISO 8503-3:1988).
UNE-EN ISO 8503-4:1996	Preparación de substratos de aceiro previa á aplicación de pinturas e produtos afíns. Características de rugosidade dos substratos de aceiro chorreados. Parte 4: método para a calibración das mostras ISO de comparación táctil-visual e de caracterización dun perfil de superficie. Utilización dun palpador (ISO 8503-4:1988).
UNE-EN ISO 8503-5:2006	Preparación de substratos de aceiro previa á aplicación de pinturas e produtos afíns. Características de rugosidade dos substratos de aceiro chorreados. Parte 5: método da cinta réplica para a determinación do perfil de superficie (ISO 8503-5:2003).
UNE-EN ISO 8504-2:2002	Preparación de substratos de aceiro previa á aplicación de pinturas e produtos relacionados. Métodos de preparación das superficies. Parte 2: limpeza por chorreado abrasivo (ISO 8504-2:2000).
UNE-EN ISO 8504-3:2002	Preparación de substratos de aceiro previa á aplicación de pinturas e produtos relacionados. Métodos de preparación das superficies. Parte 3: limpeza manual e con ferramentas motorizadas (ISO 8504-3:1993).
UNE-EN ISO 8504-1:2002	Preparación de substratos de aceiro previa á aplicación de pinturas e produtos relacionados. Métodos de preparación das superficies. Parte 1: principios xerais. (ISO 8504-1:2000).
UNE-EN ISO 9001:2008	Sistemas de xestión da calidade. Requisitos (ISO 9001:2008).
UNE-EN ISO 9227:2007	Ensaio de corrosión en atmosferas artificiais. Ensaio de néboa salina (ISO 9227:2006).
UNE-EN ISO 9692-1:2004	Soldadura e procesos afíns. Recomendacións para a preparación da unión. Parte 1: soldadura por arco con electrodos revestidos. Soldadura por arco protexido por gas e electrodo de achega, soldadura por chama, soldadura por arco con gas inerte e electrodo de volframio e soldadura por feixe de alta enerxía de aceiros (ISO 9692-1:2003).

UNE-EN ISO 10666:2000	Parafusos autotradeadores e autorroscantes. Características mecánicas e funcionais. (ISO 10666:1999).
UNE-EN ISO 10684:2006	Elementos de fixación. Recubrimentos por galvanización en quente (ISO 10684:2004).
UNE-EN ISO 10684:2006/ AC:2009	Elementos de fixación. Recubrimentos por galvanización en quente (ISO 10684:2004/Cor 1:2008).
UNE-EN ISO 12944-1:1999	Pinturas e vernices. Protección de estruturas de aceiro fronte á corrosión mediante sistemas de pinturas protectores. Parte 1: introdución xeral (ISO 12944-1:1998).
UNE-EN ISO 12944-2:1999	Pinturas e vernices. Protección de estruturas de aceiro fronte á corrosión. Mediante a aplicación de sistemas de pinturas protectores. Parte 2: clasificación de ambientes. (ISO 12944-2:1998).
UNE-EN ISO 12944-3:1999	Pinturas e vernices. Protección de estruturas de aceiro fronte á corrosión. Mediante a aplicación de sistemas de pinturas protectores. Parte 3: consideracións sobre o deseño. (ISO 12944-3:1998).
UNE-EN ISO 12944-4:1999	Pinturas e vernices. Protección de estruturas de aceiro fronte á corrosión mediante sistemas de pinturas protectores. Parte 1: tipos e preparación de superficies (ISO 12944-4:1998).
UNE-EN ISO 12944-5:2008	Pinturas e vernices. Protección de estruturas de aceiro fronte á corrosión. Mediante a aplicación de sistemas de pinturas protectores. Parte 5: sistemas de pinturas protectores. (ISO 12944-5:2008).
UNE-EN ISO 12944-6:1999	Pinturas e vernices. Protección de estruturas de aceiro fronte á corrosión. Mediante a aplicación de sistemas de pinturas protectores. Parte 6: ensaios de comportamento no laboratorio. (ISO 12944-6:1998).
UNE-EN ISO 13918:2009	Soldadura. Espárragos e férulas cerámicas para a soldadura por arco de espárragos (ISO 13918:2008).
UNE-EN ISO 13920:1997	Soldadura. Tolerancias xerais en construcións soldadas. Dimensións de lonxitudes e ángulos. Forma e posición. (ISO 13920:1996).
UNE-EN ISO 14713:2000	Protección fronte á corrosión das estruturas de ferro e aceiro. Recubrimentos de cinc e aluminio. Directrices (ISO 14713:1999).
UNE-EN ISO 14731:2008	Coordinación da soldadura. Tarefas e responsabilidades. (ISO 14731:2006)
UNE-EN ISO 15480:2000	Parafusos autotradeadores con parafuso de cabeza hexagonal de arandela, con rosca autorroscante. (ISO 15480:1999).
UNE-EN ISO 15481:2000	Parafusos autotradeadores con cabeza cilíndrica abombada larga de oco cruciforme, con rosca autorroscante (ISO 15481:1999).
UNE-EN ISO 15482:2000	Parafusos autotradeadores de cabeza abelanada de oco cruciforme, con rosca autorroscante (ISO 15482:1999).
UNE-EN ISO 15483:2000	Parafusos autotradeadores con cabeza abelanada, abombada e oco cruciforme, con rosca autorroscante (ISO 15483:1999).
UNE-EN ISO 15607:2004	Especificación e cualificación dos procedementos de soldadura para os materiais metálicos. Regras xerais (ISO 15607:2003).
UNE-EN ISO 15609-1:2005	Especificación e cualificación dos procedementos de soldadura para os materiais metálicos. Especificación do procedemento de soldadura. Parte 1: soldadura por arco. (ISO 15609-1:2004).
UNE-EN ISO 15613:2005	Especificación e cualificación de procedementos de soldadura para materiais metálicos. Cualificación mediante ensaios de soldadura anteriores á produción (ISO 15613:2004).
UNE-EN ISO 15614-1:2005	Especificación e cualificación dos procedementos de soldadura para os materiais metálicos. Ensaio de procedemento de soldadura. Parte 1: soldadura por arco e con gas de aceiros e soldadura por arco de níquel e as súas aliaxes (ISO 15614-1:2004).

UNE-EN ISO 15792-1 Consumibles para a soldadura. Métodos de ensaio. Parte 1: método de ensaio para probetas de ensaio de metal de soldadura en aceiro, níquel e aliaxes de níquel (ISO 15792-1:2000).

A2.4 Normas UNE-EN ISO/IEC

UNE-EN ISO/IEC 17021:2006 Avaliación da conformidade. Requisitos para os organismos que realizan a auditoría e a certificación de sistemas de xestión (ISO/IEC 17021:2006)

UNE-EN ISO/IEC 17025:2005 Avaliación da conformidade. Requisitos xerais para a competencia dos laboratorios de ensaio e de calibración.

UNE-EN ISO/IEC 17025:2005
ERRATUM:2006 Avaliación da conformidade. Requisitos xerais para a competencia dos laboratorios de ensaio e de calibración (ISO/IEC 17025:2005/Cor. 1:2006).

A2.5 Outras normas.

EN 1090-2:2008 Execución de estruturas de aceiro e aluminio. Parte 2: requisitos técnicos para a execución de estruturas de aceiro.

EN 1990 Eurocódigo 0: bases de cálculo de estruturas.

EN 1991 Eurocódigo 1: accións en estruturas.

EN 1993 Eurocódigo 3: cálculo de estruturas de aceiro.

EN 1993-1-3:2006 Eurocódigo 3: proxecto de estruturas de aceiro. Parte 1-3: regras xerais. Regras complementarias para produtos conformados en frío calibrados e para bandas.

EN 1993-1-3:2006/AC:2009 Eurocódigo 3: proxecto de estruturas de aceiro. Parte 1-3: regras xerais. Regras complementarias para produtos conformados en frío calibrados e para bandas.

EN 1993-1-6:2007 Eurocódigo 3: proxecto de estruturas de aceiro. Parte 1-6: resistencia e estabilidade de estruturas laminares.

EN 1993-1-6:2007/AC:2009 Eurocódigo 3: proxecto de estruturas de aceiro. Parte 1-6: resistencia e estabilidade de estruturas laminares.

EN 1993-1-8:2005 Eurocódigo 3: proxecto de estruturas de aceiro. Parte 1-8: deseño de unións.

EN 1993-1-8:2005/AC:2009 Eurocódigo 3: proxecto de estruturas de aceiro. Parte 1-8: deseño de unións.

EN 1993-2:2006 Eurocódigo 3: proxecto de estruturas de aceiro. Parte 2: pontes de aceiro.

EN 1994-2:2005 Eurocódigo 4: proxecto de estruturas mixtas de aceiro e formigón. Parte 2: regras xerais e regras para pontes.

EN 1997 Eurocódigo 7: cálculo xeotécnico.

EN 1998 Eurocódigo 8: cálculo de estruturas sismorresistentes.

EN 14399-9:2009 High-strength structural bolting assemblies for preloading - Part 9: system HR or HV - Direct tension indicators for bolt and nut assemblies.

ISO 7976-1:1989 Tolerances for building -- Methods of measurement of buildings and building products -- Part 1: methods and instruments.

ISO 7976-2:1989 Tolerances for building -- Methods of measurement of buildings and building products -- Part 2: position of measuring points.

ISO 9226:1992 Corrosión de metais e aliaxes. Corrosividade da atmosfera. Determinación da taxa de corrosión dos espécimes estándar para a avaliación de corrosividade.

ISO 17123 Optics and optical instruments - Field procedures for testing geodetic and surveying instruments.

UNE-ENV 1090-2:1999 Execución de estruturas de aceiro. Parte 2: regras suplementarias para chapas e pezas delgadas conformadas en frío.

UNE-ENV 13381-2:2004	Ensaio para determinar a contribución da resistencia ao lume dos elementos estruturais. Parte 2: membranas protectoras verticais.
UNE-ENV 13381-4:2005	Ensaio para determinar a contribución da resistencia ao lume dos elementos estruturais. Parte 4: protección aplicada a elementos de aceiro.
CEN/TS 13381-1:2005	Ensaio para determinar a contribución á resistencia ao lume dos elementos estruturais. Parte 1: membranas protectoras horizontais.

Anexo 3: Diafragmas

A3.1 Xeneralidades e ámbito de aplicación

A análise das vigas caixón pode realizarse con modelos tipo viga indeformable, que prescindan dos efectos da distorsión da sección transversal, sempre que, ademais dos diafragmas ríxidos situados nas seccións de apoio, se dispoñan diafragmas transversais intermedios modularmente espazados ao longo da viga que limiten os efectos da distorsión do caixón a valores sen relevancia no proxecto.

Este anexo inclúe as condicións que deben rexer o deseño destes diafragmas intermedios no ámbito das pontes mixtas de estrada cuxa sección transversal presente eixe vertical de simetría e se constitúa por unha sección caixón de aceiro unicelular aberta que se pecha superiormente pola lousa de formigón.

Así mesmo, propónse tamén neste anexo unha metodoloxía que permite cuantificar a incidencia da distorsión da sección transversal na resposta dunha viga caixón unicelular simétrica, cunha configuración de diafragmas dada ao longo da súa lonxitude. O método é aplicable con carácter xeral a estruturas sometidas a accións torsoras de relevancia e onde sexa preciso comprobar no proxecto os efectos da distorsión, sempre que se verifiquen as limitacións xeométricas que se establecen. A vantaxe do método proposto é que permite manter na análise unha metodoloxía de sección tipo viga indeformable, o cal é a práctica máis habitual no proxecto de vigas caixón, e engadir posteriormente, como un estado tensional e deformacional máis, a incidencia da distorsión en cada unha das hipóteses de carga que se consideren.

A3.2 Dimensionamento dos diafragmas en pontes de estrada

A3.2.1 Condicións xeométricas mínimas

A separación entre diafragmas consecutivos non será superior a catro veces o canto da sección metálica, e disporanse, ao menos, catro diafragmas intermedios por vano, ademais dos diafragmas ríxidos situados nas seccións de apoio.

As disposicións que figuran neste anexo son válidas para diafragmas de alma chea ou diafragmas en celosía de calquera dos tipos que se inclúen no número A3.3, sempre que, neste último caso, as diagonais non presenten unha inclinación coa horizontal inferior a $2.5H/1V$. Nos diafragmas de alma chea poderán situarse alixeiramentos que permitan a accesibilidade interior do caixón, sempre que as súas dimensións non perturbem de modo significativo a rixidez no seu plano do diafragma.

Tamén poden empregarse diafragmas tipo marco ríxido constituídos por rixidizadores soldados perimetralmente ás chapas principais do caixón. Non obstante, este tipo de diafragmas pode resultar sensiblemente menos eficaz para controlar os efectos da distorsión do caixón que os dous grupos anteriores, polo que a aplicación aos diafragmas tipo marco das disposicións e métodos incluídos neste anexo só é válida cando a rixidez obtida co marco sexa da mesma orde da que se obtería cun diafragma en celosía dimensionado cos criterios deste anexo.

Os diafragmas situaranse en planos sensiblemente normais á directriz do caixón. Desviacións superiores a 10° en planta e 5° en alzado entre o plano do diafragma e a directriz do caixón quedan fóra do alcance deste anexo.

A3.2.2 Dimensionamento resistente dos diafragmas

O dimensionamento xeral dos diafragmas realizarase por criterios resistentes para facer fronte ás solicitacións que actúan sobre eles. Deberán considerarse as solicitacións sobre os diafragmas orixinadas polos seguintes conceptos:

- a) Desenvolvemento na sección transversal dos fluxos de torsión uniforme que equilibran as accións torsoras exteriores que solicitan ao caixón, e ademais, no caso de pontes curvas, o torsor debido ao desvío en planta da flexión do taboleiro.
- b) Accións localizadas actuando directamente sobre algún elemento do diafragma, cando os diafragmas forman parte do sistema de transmisión de cargas procedentes da plataforma.
- c) Resistencia fronte ás accións transmitidas por eventuais sistemas laterais en ménsula, que poidan existir en pontes largas.
- d) Forzas de desvío impostas pola curvatura en alzado do caixón, ou cambios localizados ou graduais de pendente da ala inferior en pontes de canto variable.
- e) Transferencia dos esforzos localizados que se xeran en zonas singulares do taboleiro con algunha descontinuidade xeométrica, cambios bruscos na sección transversal ou calquera outra circunstancia que supoña a alteración brusca e localizada do réxime tensional do caixón.
- f) En caixóns trapeciais, recollida da compoñente horizontal que permite equilibrar as solicitacións derivadas das cargas exteriores aplicadas sobre a plataforma, xeralmente verticais, cos fluxos tensionais rasantes nos planos inclinados das almas.
- g) Esforzos xerados durante a montaxe da estrutura que poidan actuar sobre a sección caixón aberta, previamente ao peche desta coa lousa superior da sección mixta, e para os que debe materializarse no proxecto un mecanismo resistente adecuado. En particular deben considerarse:
 - Eventuais solicitacións torsoras que poidan introducirse previamente ao peche da sección, tanto de carácter permanente como transitorio durante os formigonados da lousa superior.
 - No caso de caixóns de forma trapecial, incidencia da inclinación das almas no equilibrio entre as cargas exteriores aplicadas e os fluxos rasantes da sección que as equilibran.
 - Coacción ao empenamento lateral dos cordóns comprimidos durante a montaxe.
 - Acción do vento sobre a sección aberta.
- h) Todas as solicitacións que se derivan das funcións típicas dos rixidizadores transversais convencionais en almas e alas, cando, como é habitual, nas seccións dos diafragmas estes cumpren simultaneamente as funcións propias da rixidización:
 - Controlar a abladura dos paneis de alma e alas sometidos a tensións normais e tanxenciais.
 - Limitar o empenamento dos rixidizadores comprimidos de almas e alas en zonas comprimidas.

- Recoller as forzas de desvío debidas á posible curvatura ou cambios de aliñamento das chapas de almas ou alas, e dos seus rixidizadores.
- Recoller as accións directamente aplicadas sobre as caras do caixón, ben procedentes da plataforma actuando sobre o elemento superior do diafragma, ou ben accións aplicadas directamente sobre os paneis de chapa, principalmente o vento.

Para cada unha das solicitacións descritas, e en función da tipoloxía do diafragma que corresponda, elaborárase o modelo de análise que permita a obtención dos esforzos que actúan sobre os distintos elementos do diafragma e o seu posterior dimensionamento, de acordo coas regras aplicables descritas no articulado desta instrución.

Como norma xeral, o modelo para a obtención dos esforzos no diafragma comprenderá unha rebanda ideal de sección caixón, presentando nas súas caras dorsal e frontal respectivamente as seccións transversais antes e despois do diafragma, sobre a que se introducirán as accións correspondentes a cada unha das solicitacións descritas na relación anterior, que actúan sobre o diafragma, así como a resultante de fluxos rasantes dorsal e frontal nas almas e alas do caixón que as equilibran, de modo que o sistema de accións introducidas resulte sempre autoequilibrado.

Cando a propia rixidez dos diafragmas incida de modo significativo nas solicitacións sobre eles, poderá considerarse a repartición das accións localizadas entre diafragmas sucesivos para obter as solicitacións de dimensionamento destes, sempre que a dita repartición quede xustificada no proxecto por medio do modelo correspondente. No entanto, salvo que esta xustificación estea incluída no proxecto, as accións directamente aplicadas sobre un diafragma deberán ser enteiramente resistidas por este, sen colaboración ningunha dos diafragmas adxacentes. Como excepción, admítase sen maior xustificación un repartición isostática entre diafragmas adxacentes dos efectos das accións situadas entre eles.

Nos números A3.3 e A3.4 inclúese unha metodoloxía de análise que permite considerar no proxecto a repartición entre diafragmas sucesivos das solicitacións procedentes da introdución na sección caixón dos fluxos de torsión uniforme correspondentes a accións localizadas, sempre que se cumpran as limitacións xeométricas alí expostas. Para as accións doutra orixe, o autor do proxecto deberá xustificar co modelo correspondente a eventual repartición entre os distintos diafragmas, de acordo coa natureza do problema a resolver e as características deformacionais tanto do caixón como dos propios diafragmas.

Unha vez obtidas as solicitacións sobre os distintos elementos que constitúen o diafragma, o seu dimensionamento realizarase en cada caso conforme o articulado desta instrución. Nos elementos lineais obtidos por soldadura dun rixidizador a un panel de chapa de alma ou ala, considerarase para as comprobacións resistentes a colaboración co rixidizador dunha porción de chapa de largura $15 \varepsilon t$ a cada lado deste, sendo t o grosor da chapa de alma ou ala e $\varepsilon = \sqrt{(235/f_y)}$, con f_y en N/mm^2 .

Cando a verificación en estados límites últimos considere a resistencia plástica, no caso das seccións de clases 1 ou 2, comprobarase tamén a ausencia de plastificacións locais en estado límite de servizo.

Así mesmo, nos elementos de carácter bidimensional (diafragmas de alma chea) serán tamén de aplicación as verificacións de aboladura baixo cargas de servizo establecidas nesta instrución.

A3.2.3 Rixidez necesaria dos diafragmas

Ademais dos controis resistentes descritos, os diafragmas deberán dimensionarse coa rixidez necesaria para soportar os esforzos derivados das solicitacións indicadas anteriormente, sen deformacións que poidan alterar significativamente a resposta global da ponte prevista no dimensionamento xeral ou as hipóteses que serviron de base para o propio deseño do diafragma.

Sempre que os diafragmas fosen dimensionados por condicións de resistencia de acordo co número anterior, o cumprimento das condicións xeométricas mínimas establecidas no articulado desta instrución para cada un dos elementos que constitúen un diafragma (esvelteces máximas en elementos lineais e planos, grosos mínimos de chapas, condicións xeométricas mínimas en elementos de celosías e rixidizadores, condicións mínimas xeométricas en unións, etc.) permite en xeral garantir a necesaria rixidez da resposta dos diafragmas, coas precaucións adicionais que se indican a continuación:

- a) Cando os elementos que constitúen un diafragma deban asumir, ademais, as funcións propias dos rixidizadores convencionais de almas ou alas, deberanse verificar así mesmo as condicións de rixidez que se exigen a estes elementos no articulado aplicable desta instrución.
- b) Cando a deformación do diafragma, ou dalgún elemento deste, poida afectar significativamente a verificación dalgún estado límite último ou de servizo, deberase considerar a incidencia da flexibilidade do diafragma na dita comprobación.
- c) No caso de pontes mixtas rectas de estrada con sección caixón simétrica unicelular, e salvo no relativo ao estado límite de fatiga, poden obviarse os efectos da distorsión do caixón, por insuficiente rixidez dos diafragmas, nas verificacións de ELU ou ELS, sempre que se cumpran simultaneamente as condicións seguintes:
 - Cada alma da sección transversal segue un único plano con inclinación respecto á vertical inferior a 45°.
 - A relación largo/luz do caixón non é superior a 0,40, considerando como largura, exclusivamente, a máxima separación entre almas.
 - A relación largo/canto do caixón non é superior a 8, coa mesma definición de largura.
 - Verifícanse as condicións de A3.2.1 en canto ao número, separación e orientación dos diafragmas.
 - Existen diafragmas ríxidos en todas as seccións de apoio.
 - Os diafragmas intermedios entre apoios dimensionáronse por condicións de resistencia de acordo co número anterior A3.2.2 e na hipótese dos diafragmas ríxidos, é dicir, sen considerar repartición ningunha entre diafragmas adxacentes das accións localizadas directamente aplicadas sobre un diafragma.
 - O caixón presenta xeometría constante ou cunha variación suave ao longo da directriz, salvo, ao sumo, nun certo número de seccións localizadas nas que se dispoñen diafragmas ríxidos, e suficientemente separadas entre si para permitir o desenvolvemento entre elas do réxime normal de tensións.
- d) Os diafragmas dimensionados de acordo cos condicións anteriores garanten unha sobretensión inferior aos 25N/mm² nas esquinas inferiores metálicas do caixón para o

tren de carga previsto na instrución sobre as accións a considerar no proxecto de pontes de estrada IAP-98. No resto da sección transversal a distribución tensional pode obterse da figura A3.2. No caso de que a comprobación a fatiga dos detalles correspondentes ás alas e almas do caixón poida resultar condicionante do seu dimensionamento, estas sobretensións deberán considerarse na verificación a fatiga correspondente, adecuadamente corrixidas para considerar a magnitude real do vehículo de fatiga que, de acordo coa normativa, debe considerarse na dita verificación, inferior ao tren de cargas aplicable ao control resistente. Non obstante, non é preciso considerar ningunha sobretensión nas alas inferiores en que se dispuxese dobre acción mixta ou nas alas superiores comprimidas conectadas á lousa superior.

Cando a verificación a fatiga resulte condicionante e a sobretensión distorsora máxima indicada determine a validez ou non dun determinado detalle, resulta recomendable a modificación dos detalles de proxecto, para mellorar a súa categoría ata obter un control a fatiga satisfactorio. Non obstante, dado que os 25 N/mm² de sobretensión distorsora indicados corresponden ao rango de caixóns coas xeometrías máis desfavorables dos considerados neste número, e coa máxima separación permitida entre diafragmas adxacentes, podería alternativamente realizarse un cálculo máis afinado da sobretensión distorsora, segundo se indica no método xeral do número A3.3.

A3.3 Cálculo xeral dos efectos da distorsión

A3.3.1 Cálculo da sobretensión distorsora

Para permitir coñecer con maior precisión os efectos da distorsión asociados a unha configuración de diafragmas dada, a metodoloxía que segue permite relacionar a configuración de diafragmas disposta ao longo da viga caixón, caracterizada pola separación entre diafragmas consecutivos e a rixidez destes, coa sobretensión distorsora e as deformacións que aparecen no caixón.

O método proposto é aplicable con carácter xeral a todo tipo de vigas caixón, xa sexan vigas de ponte, de estrada ou ferroviarias, ou de calquera outro tipo, sempre que se respecten as condicións xeométricas seguintes:

- A directriz do caixón é recta e sen oblicuidades nos apoios.
- A sección transversal que constitúe o caixón é unicelular simétrica, e constante ao longo da directriz.
- Tanto a relación canto/luz como a relación largo/luz do caixón non son superiores a 0,40, considerando como largura, exclusivamente, a máxima separación entre almas.

Non obstante, a aplicación xeral do método podería estenderse a xeometrías algo máis complexas:

- Caixóns con curvatura en planta.
- Caixóns con xeometría variable, sempre que a variación se desenvolva suavemente ao longo da directriz, e ao sumo existan cambios bruscos de xeometría en seccións localizadas nas que se dispoñen diafragmas ríxidos.
- Caixóns con oblicuidades nos apoios, nos que existen diafragmas ríxidos.

Nestes casos o método permite aproximar a incidencia da distorsión na resposta xeral do caixón, e pode constituír unha ferramenta adecuada para o proxecto sempre que a distorsión do caixón se limite a valores moderados, non resultando determinante da súa resposta resistente, e, en todo caso, se controle por medio de diafragmas ríxidos a distorsión localizada nas rexións singulares (zonas de apoios, oblicuidades, cambios en xeometría, etc.). Cando, polo contrario, se prevexa unha incidencia significativa da distorsión, deberán empregarse na análise técnicas máis elaboradas, de láminas pregadas ou elementos finitos, que permitan avaliar con maior rigor o comportamento lonxitudinal e transversal do caixón.

A metodoloxía de análise baséase na analogía existente entre a distorsión de vigas caixón con sección transversal unicelular simétrica sometidas a accións excéntricas e a flexión de elementos lineais sobre fundación elástica sometidos a cargas verticais. De acordo con esta analogía, a sobretensión debida á distorsión dunha viga caixón unicelular simétrica sometida a unha distribución de torsos exteriores $m(z)$ ao longo da súa lonxitude vén dada pola expresión:

$$\sigma_{Dw}(z,s) = \frac{B_D(z) \omega(s)}{I_b}$$

Na que:

I_b é a inercia ao empenamento distorsional da sección, que depende exclusivamente da xeometría da sección transversal, e vén dada pola expresión:

$$I_b = \frac{2 \frac{a_B}{a_T} [(\alpha_T + 2)(\alpha_B + 2) - 1]}{\left(1 + \frac{a_B}{a_T}\right) \left(3 + 3 \frac{a_B}{a_T} + \alpha_T + \alpha_B \frac{a_B}{a_T}\right)} \bar{I}_W$$

con: $\alpha_T = \frac{t_T (a_T + 2a_c)^3}{t_W d_W a_T^2}$ $\alpha_B = \frac{t_B a_B}{t_W d_W}$ $\bar{I}_W = 1/12 t_W d_W^3$

e a_T , a_B , a_c , t_T , t_B , t_W , d_W os valores que definen a xeometría da sección transversal segundo a figura seguinte:

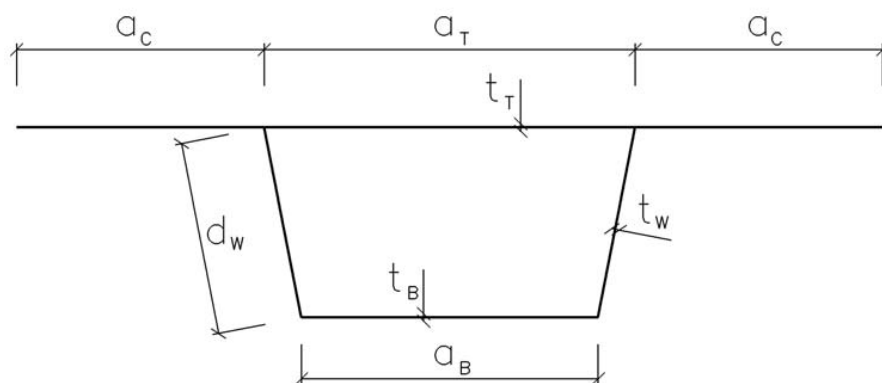


Figura A3.3.1.a

$\omega(s)$ é a distribución transversal das tensións normais na sección, e vén dada pola figura seguinte:

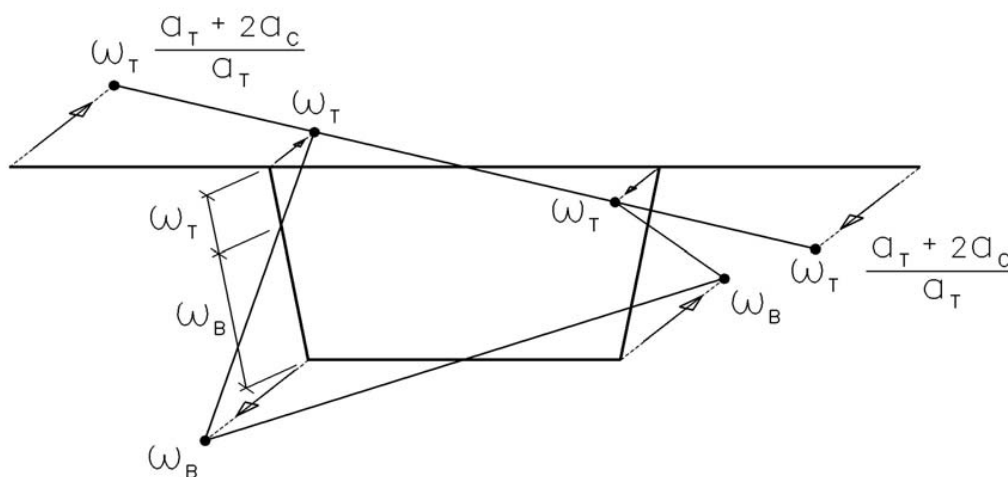


Figura A3.3.1.b

na que ω_T e ω_B veñen dadas polas expresións seguintes:

$$\omega_T = \frac{1 + (2 + \alpha_B) \frac{a_B}{a_T}}{3 + \alpha_T + (3 + \alpha_B) \frac{a_B}{a_T}} d_w \quad \omega_B = d_w - \omega_T$$

$B_D(z)$ é o bimomento distorsional que solicita a viga, función da coordenada lonxitudinal da viga z , e que coincide coa lei de momentos flectores nunha viga equivalente definida como segue:

- A viga equivalente é recta e coa mesma lonxitude que a viga real. No caso de que o método se aplique a vigas curvas tomarase como lonxitude da viga equivalente a lonxitude desenvolta da viga curva.
- A inercia da viga vén dada pola inercia ao empenamento distorsional I_b antes definido. Cando o método se aplique a caixóns de xeometría non constante, I_b dispórase tamén variable ao longo da viga coa súa variación real.
- A viga sopórtase con vinculacións elásticas nos puntos onde se sitúan os diafragmas. A constante de rixidez K_D dos apoios depende do tipo de diafragma, e indícase máis adiante para os casos máis comúns.
- Nas seccións de apoio dispóñense vinculacións ríxidas, que deben materializarse na estrutura real con diafragmas ríxidos.
- Tamén debe disporse un diafragma ríxido nas seccións en que se presente un cambio brusco de xeometría do caixón, cando o método se aplica con carácter aproximado a este tipo de caixóns. Na viga equivalente este diafragma pode representarse coa constante de rixidez K_D correspondente á súa configuración, segundo se indica máis adiante. En xeral, este diafragma deberá disporse cunha rixidez sensiblemente superior ao resto dos diafragmas tipo adxacentes.
- A carga vertical $p(z)$ aplicada sobre a viga depende da xeometría do caixón e da distribución de torsos exteriores $m(z)$ aplicada sobre o caixón para a cal estudamos a distorsión, e vén dada pola expresión:

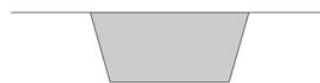
$$p(z) = m(z) \left(\frac{d_w}{a_T b} - \frac{d_w}{\Omega} \right)$$

Onde Ω é o dobre da área interna do trapecio que constitúe a sección transversal; e o resto de parámetros xeométricos defínense na figura anterior. No caso de que a viga presente curvatura en planta, ademais dos torsos exteriores que se introduzan sobre a viga $m(z)$ deberase incluír o torsor adicional que produce o desvío en planta das flexións na viga, obtido dividindo a lei de momentos flectores na viga polo raio de curvatura en cada punto.

A constante de rixidez K_D nas vinculacións elásticas representa a rixidez no seu plano do diafragma que se opón á deformación distorsora, e adopta os valores seguintes para as tipoloxías dos diafragmas considerados neste anexo:

Diafragma alma chea:

$$K_D = \frac{1}{4} G t_d f_d^2 \frac{L_p^2}{A_i} \quad \text{con} \quad f_d = \frac{2 \left(1 + \frac{a_T}{a_B} \right)}{\sqrt{1 + \left(\frac{a_T + a_B}{2b} \right)^2}}$$



onde, t_d é o grosor da chapa do diafragma, L_p a diagonal xeométrica da sección transversal do caixón, e A_i a área do trapecio que constitúe a sección transversal.

Cruz de Santo André con dúas barras colaborantes:

$$K_D = \frac{1}{2} EA_d \frac{f_d^2}{L_b} \text{ con } f_d = \frac{2 \left(1 + \frac{a_T}{a_B} \right)}{\sqrt{1 + \left(\frac{a_T + a_B}{2b} \right)^2}}$$



Onde A_d é a área da diagonal da celosía e L_b a súa lonxitude.

Diagonal simple ou Cruz de Santo André dimensionada só a tracción:

$$K_D = \frac{1}{4} EA_d \frac{f_d^2}{L_b} \text{ con } f_d = \frac{2 \left(1 + \frac{a_T}{a_B} \right)}{\sqrt{1 + \left(\frac{a_T + a_B}{2b} \right)^2}}$$



cos mesmos significados anteriores.

Celosía en V:

$$K_D = \frac{1}{4} \frac{EA_d f_d^2}{2L_b} \text{ con: } f_d = \frac{2b \left(1 + \frac{a_T}{a_B} \right)}{L_b}$$



ia

Onde A_d é a área da diagonal da celosía e L_b a súa lonxitude.

Celosía en V invertida:

$$K_D = \frac{1}{4} \frac{EA_d f_d^2}{2L_b} \quad \text{con: } f_d = \frac{2b \left(1 + \frac{a_T}{a_B}\right)}{L_b}$$

cos mesmos significados anteriores.



Figura A4.7

Dobre celosía en V:

$$K_D = \frac{EA_d}{L_b^3} b^2$$

Onde A_d é a área da diagonal da celosía e L_b a súa lonxitude.

Dobre celosía en V invertida:

$$K_D = \frac{1}{2} \frac{EA_d f_{aux,d}^2}{8L_b} \quad \text{con } f_{aux,d} = \frac{2b \left(1 + \frac{2a_T - a_B}{a_B}\right)}{L_b}$$

Onde A_d é a área da diagonal da celosía e L_b a súa lonxitude.

Diafragma tipo marco:

$$K_D = \frac{24 d_w}{a_B^2 b^2} C_1 C_2 EI_w$$



Onde I_w é o momento de inercia do elemento do marco correspondente á alma do caixón, obtido engadindo ao rixidizador da alma un largo colaborante a cada lado de $15 \varepsilon t$, con $\varepsilon = \sqrt{275/f_y}$, f_y en N/mm².

Os parámetros C_1 , C_2 , r_T , r_B son:

$$C_1 = \frac{(1 + \frac{a_B}{a_T})(2 + 2\frac{a_B}{a_T} + 2(\frac{a_B}{a_T})^2 + \alpha_T + \alpha_B(\frac{a_B}{a_T})^2)}{3 + 3\frac{a_B}{a_T} + \alpha_T + \alpha_B\frac{a_B}{a_T}}$$

$$C_2 = \frac{2 + 2\frac{a_B}{a_T} + 2(\frac{a_B}{a_T})^2 + r_T + r_B(\frac{a_B}{a_T})^2}{\frac{a_B}{a_T} [(r_T + 2)(r_B + 2) - 1]}$$

$$r_T = \frac{I_W b_T}{I_T d_W} \quad r_B = \frac{I_W b_B}{I_B d_W}$$

A tensión así obtida coincide coa sobretensión distorsora no caixón para o estado de cargas correspondente á distribución de torsosres introducida.

A3.3.2 Cálculo da deformación por distorsión

A frecha obtida na viga equivalente coincide co desprazamento da alma no seu plano debido á distorsión da sección transversal, o que deberá considerarse na verificación dos estados límite de servizo, cando resulte relevante.

A3.3.3 Interacción entre o dimensionamento dos diafragmas e o cálculo lonxitudinal

A metodoloxía xeral exposta en A3.3 permite tamén relacionar a resposta global do caixón co dimensionamento propio dos diafragmas, xa que as reaccións nos resortes elásticos do modelo de viga equivalente reflicten a repartición entre os distintos diafragmas das accións torsoras localizadas. As limitacións xeométricas para a aplicación do método descrito neste número son as mesmas xa enunciadas no número anterior.

As solicitacións reais S_D sobre os distintos elementos que constitúen o diafragma poden estimarse a partir das obtidas na hipótese de diafragmas totalmente ríxidos $S_{D,ríxido}$, do número a A3.2.2, por medio da expresión:

$$S_D = F S_{D,ríxido}$$

na que o factor de proporcionalidade F vén dado polo cociente:

$$F = \frac{R_D}{R_{D,rigido}}$$

é dicir, pola relación entre as reaccións nos resortes obtidas no modelo de viga equivalente e as que se obteñen no mesmo modelo supondo apoios de rixidez infinita nas seccións onde se sitúan os diafragmas.

O método permite, por tanto, optimizar o dimensionamento dos diafragmas para unhas solicitacións en xeral inferiores ás que se obteñen coa hipótese de máxima rixidez na estimación dos esforzos sobre os diafragmas.

Non obstante, sempre que os diafragmas se dimensionen considerando esta repartición flexible entre diafragmas sucesivos das solicitacións xeradas pola introdución de accións torsoras localizadas, deberán así mesmo considerarse os efectos da distorsión nos controis en estados límite de servizo (deformacións, plastificacións locais e aboladura) e no estado límite último de fatiga, superpondo directamente as sobretensións e deformacións distorsoras ás obtidas na análise do caixón como elemento tipo viga unidimensional.

En xeral, pode desprezarse a sobretensión distorsora nos controis en estados límite últimos, salvo fatiga, sempre que o seu valor maiorado non supere o 10% do límite elástico minorado do material.

Anexo 5: lonxitude de empenamento de elementos comprimidos

A5.1 Xeneralidades

A lonxitude de empenamento L_{cr} dun elemento comprimido é a lonxitude doutro elemento similar cos “extremos articulados” (extremos que non poden desprazarse lateralmente, pero que están libres para xirar no plano de empenamento) que teña a mesma resistencia ao empenamento.

En ausencia de máis información, e de forma conservadora, poderá adoptarse como lonxitude de empenamento a lonxitude teórica de empenamento para o empenamento elástico.

Poderá usarse unha lonxitude equivalente de empenamento para relacionar a resistencia a empenamento dun elemento sometido a esforzo axial non uniforme coa doutro elemento similar sometido a esforzo axial uniforme.

Tamén poderá usarse unha lonxitude equivalente de empenamento para relacionar a resistencia a empenamento dun elemento de sección transversal non constante coa doutro elemento uniforme sometido a condicións similares de esforzo e condicións de vinculación.

A5.2 Soportes de estruturas ou pórticos de edificios

A lonxitude de empenamento L_{cr} dun soporte dun pórtico intranslacional (modo de nós fixos) pode obterse da figura A5.2.a

A lonxitude de empenamento L_{cr} dun soporte dun pórtico translacional (modo de nós desprazables) pode obterse a partir da figura A5.2.b.

Para os modelos teóricos que se mostran na figura A5.2.c, os coeficientes de distribución η_1 e η_2 obtéñense de:

$$\eta_1 = K_c / (K_c + K_{11} + K_{12})$$

$$\eta_2 = K_c / (K_c + K_{21} + K_{22})$$

sendo:

K_c Coeficiente de rixidez do piar I/L .

K_{ij} Coeficiente de rixidez efectiva da viga.

Os ditos modelos poden adaptarse para o dimensionamento de soportes continuos, supondo que cada tramo lonxitudinal do soporte está solicitado ata o mesmo valor da relación (N/N_{cr}) . No caso xeral de que (N/N_{cr}) varíe, isto conduce a un valor conservador de L_{cr}/L para a lonxitude máis crítica do piar.

Para cada tramo lonxitudinal dun soporte continuo poderá considerarse a hipótese mencionada no parágrafo anterior, utilizando entón o modelo indicado na figura A5.2.d e obtendo os coeficientes de distribución η_1 e η_2 a partir de:

$$\eta_1 = (K_c + K_1) / (K_c + K_1 + K_{11} + K_{12})$$

$$\eta_2 = (K_c + K_2) / (K_c + K_2 + K_{21} + K_{22})$$

Onde K_1 e K_2 son os coeficientes de rixidez para os tramos lonxitudinais adxacentes do soporte.

Cando as vigas non se vexan sometidas a esforzos axiais, os seus coeficientes de rixidez efectiva poden determinarse de acordo coa táboa A5.2.a, sempre que se encontren en réxime elástico.

Táboa A5.2.a. Coeficiente de rixidez efectiva para unha viga

Condições de coacción ao xiro no extremo afastado da viga	Coeficiente de rixidez efectiva K da viga (sempre que esta permaneza en réxime elástico)
Empotrada no extremo afastado	1,0 I/L
Articulada no extremo afastado	0,75 I/L
Xiro igual ao do extremo próximo (curvatura dobre)	1,5 I/L
Xiro igual e oposto ao do extremo próximo (curvatura simple)	0,5 I/L
Caso xeral. Xiro θ_a no extremo próximo e θ_b no extremo afastado	$(1 + 0,5 \theta_b/\theta_a)$ I/L

Para pórticos de edificios con forxados de lousa de formigón, sempre que o pórtico ou estrutura sexa de trazado xeométrico regular e que a carga sexa uniforme, normalmente é suficientemente preciso supor que os coeficientes de rixidez efectiva das vigas son os que se indican na táboa A5.2.b.

Táboa A5.2.b. Coeficiente de rixidez efectiva para vigas dun pórtico de edificio con forxado de lousa de formigón

Condições de carga para a viga	Pórtico intranslacional	Pórtico translacional
Vigas que soportan directamente os forxados de lousa de formigón	1,0 I/L	1,0 I/L
Outras vigas con cargas directas	0,75 I/L	1,0 I/L
Vigas con só momentos nos extremos	0,5 I/L	1,5 I/L

Cando para o mesmo caso de carga, o valor de cálculo do momento flector en calquera das vigas supere o valor $W_{el}f_y / \gamma_{M0}$, deberá suporse que a viga está articulada no punto ou puntos correspondentes.

Cando unha viga teña unións nominalmente articuladas, deberá suporse que está articulada no punto ou puntos correspondentes.

Cando nunha viga se dispoñan unións semirríxidas, o seu coeficiente de rixidez efectiva deberá reducirse adecuadamente.

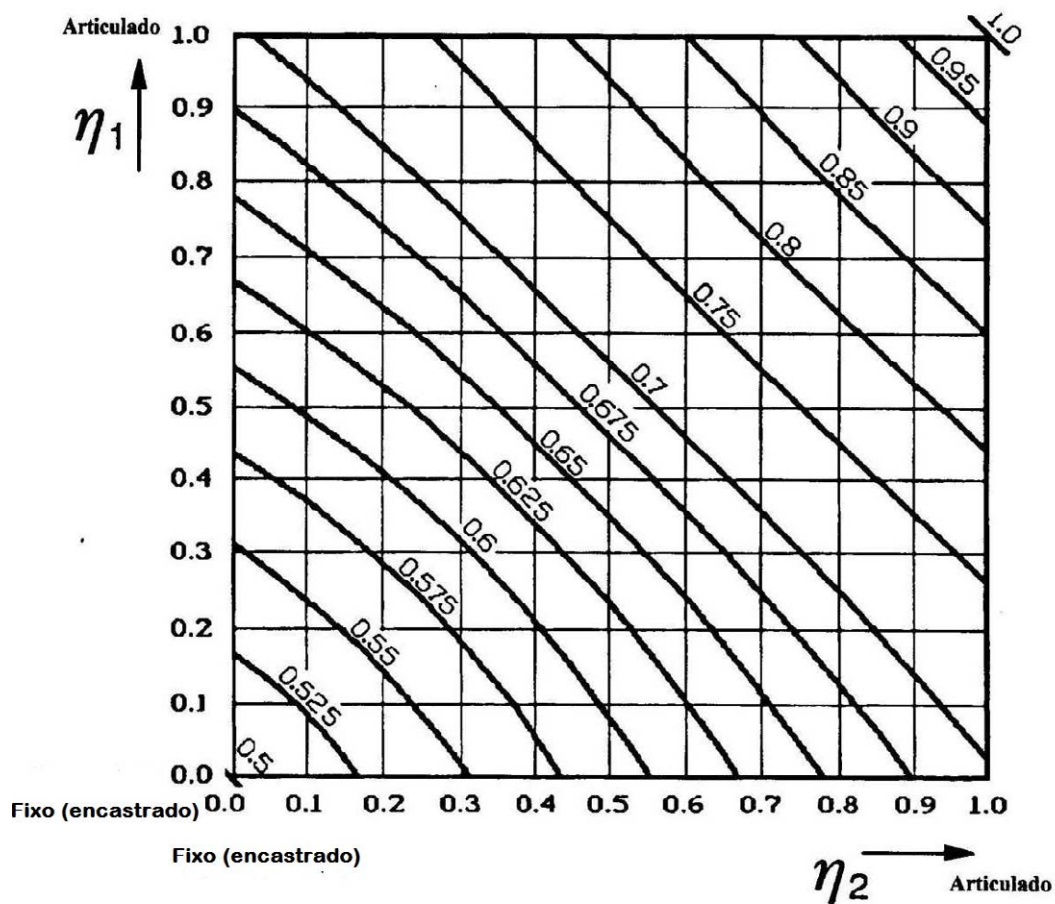


Figura A5.2.a. Relación L_{cr}/L de lonxitude de empenamento (coeficiente β) para un soporte de pórtico intranslacional (de nós fixos)

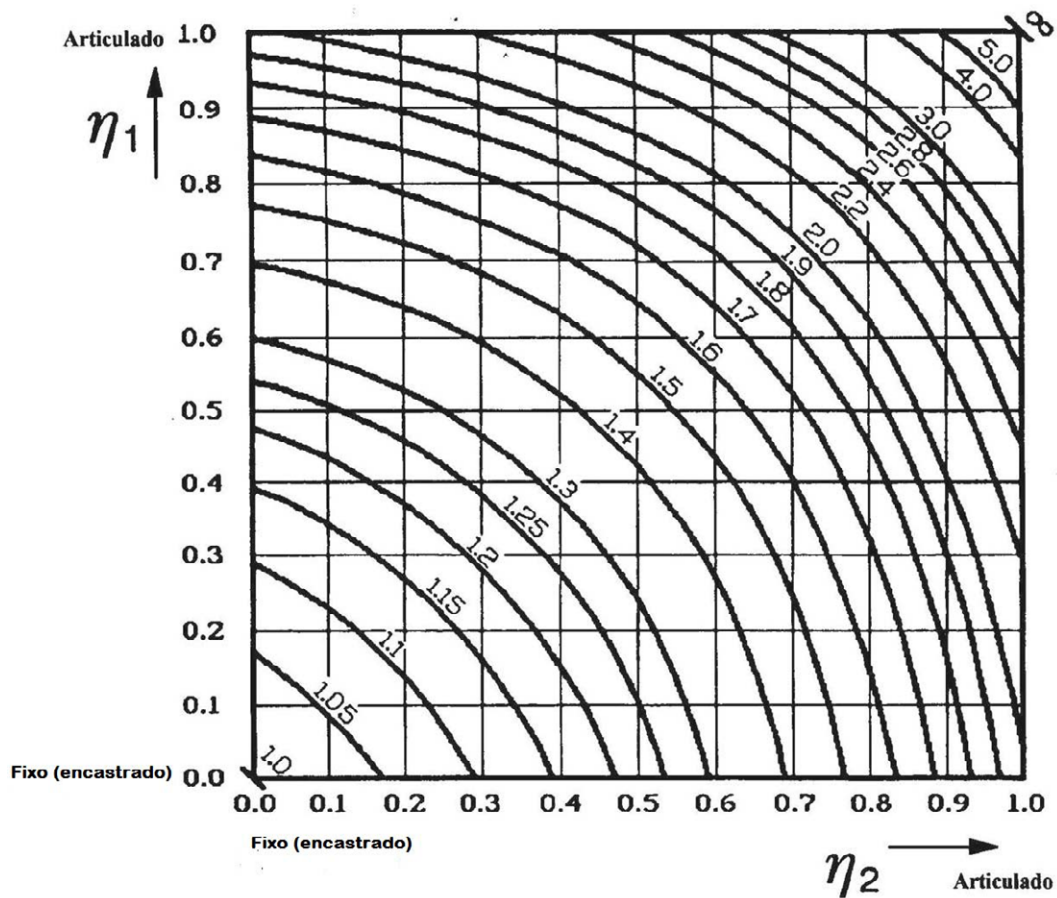
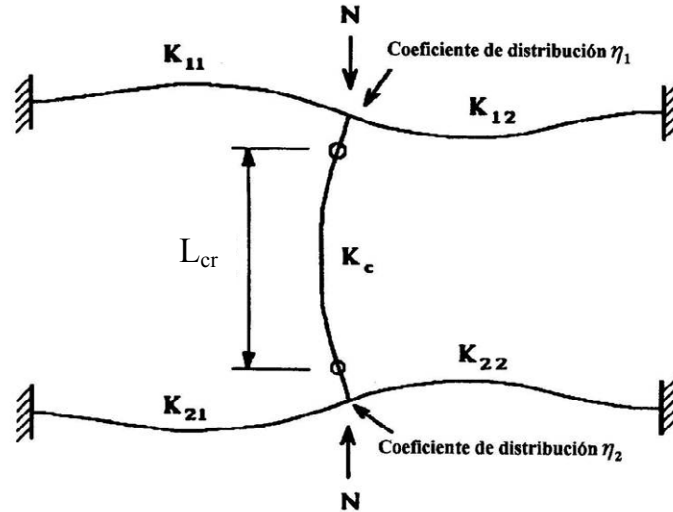
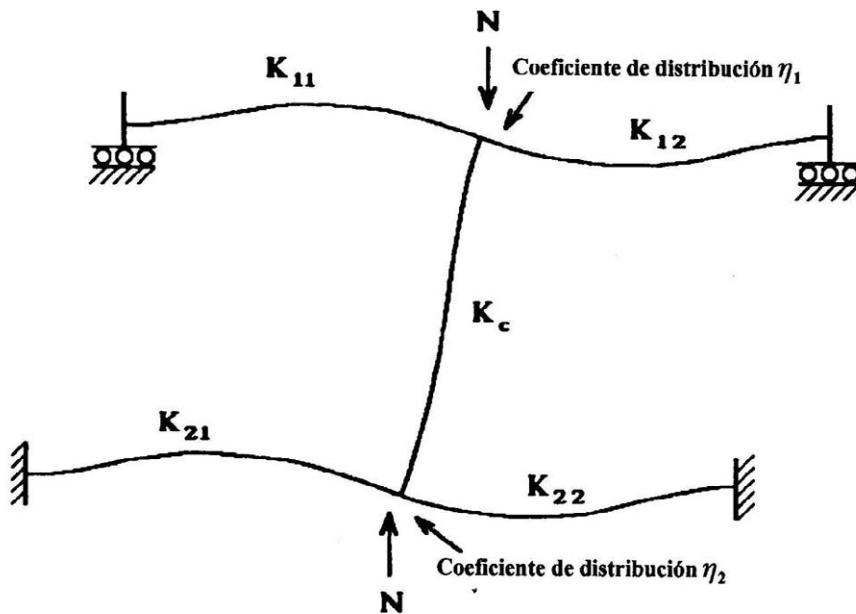


Figura A5.2.b. Relación L_{cr}/L de lonxitude de empenamento (coeficiente β) para un soporte de pórtico translacional (de nós desprazables)

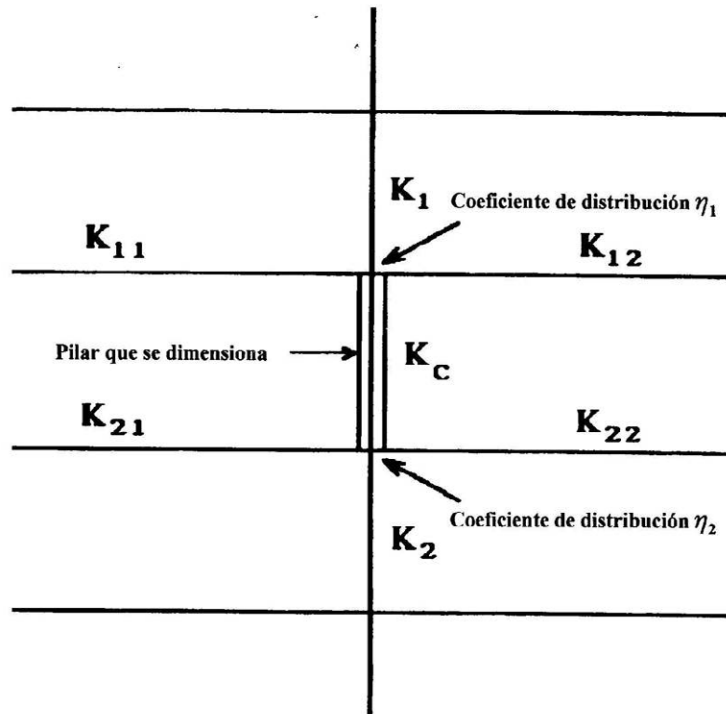


a) Modo intranlacional (empenamento con nós fixos)



b) Modo translacional (empenamento con nós desprazables)

Figura A5.2.c. Coeficientes de distribución para soportes



$$\eta_1 = \frac{K_c + K_1}{K_c + K_1 + K_{11} + K_{12}}$$

$$\eta_2 = \frac{K_c + K_2}{K_c + K_2 + K_{21} + K_{22}}$$

Figura A5.2.d. Coeficientes de distribución para soportes continuos

Cando as vigas se vexan solicitadas por esforzo axial, os seus coeficientes de rixidez efectiva deberanse axustar adecuadamente. Poden usarse para iso funcións de estabilidade. Dunha maneira alternativa simple, pode desprezarse o incremento do coeficiente de rixidez debido á existencia dun esforzo axial de tracción e considerar a influencia da existencia dun esforzo axial de compresión mediante a utilización das aproximacións conservadoras que se dan na táboa A5.2.c.

Táboa A5.2.c. Fórmulas aproximadas para coeficientes de rixidez de viga, reducidos debido á existencia de esforzo axial de compresión

Condições de coacción ao xiro no extremo afastado da viga	Coefficiente de rixidez efectiva K da viga (sempre que esta permaneza no rango elástico)
Encastrada no extremo afastado	1,0 I/L (1 - 0,4 N/N _E)
Articulada no extremo afastado	0,75 I/L (1 - 1,0 N/N _E)
Xiro igual ao do extremo próximo (curvatura dobre)	1,5 I/L (1 - 0,2 N/N _E)
Xiro igual e oposto ao do extremo próximo (curvatura simple)	0,5 I/L (1 - 1,0 N/N _E)

Nesta táboa, $N_E = \pi^2 EI/L^2$

As expresións empíricas que se dan a continuación poden empregarse como aproximacións conservadoras en lugar dos valores resultantes das figuras A5.2.a e A5.2.b:

a) Modo intranslacional (figura A5.2.a):

$$\frac{L_{cr}}{L} = 0,5 + 0,14(\eta_1 + \eta_2) + 0,055(\eta_1 + \eta_2)^2$$

b) Modo translacional (figura A5.2.b):

$$\frac{L_{cr}}{L} = \sqrt{\frac{1 - 0,2(\eta_1 + \eta_2) - 0,12\eta_1\eta_2}{1 - 0,8(\eta_1 + \eta_2) + 0,6\eta_1\eta_2}}$$

Anexo 6: elementos planos rixidizados lonxitudinalmente

A6.1 Xeneralidades

Este anexo ofrece un conxunto de regras para ter en conta en estado límite último os efectos da aboladura local en elementos planos rixidizados, ocasionados por tensións lonxitudinais, cando se cumpran as seguintes condicións:

- Os paneis son rectangulares e as alas son paralelas, ou case paralelas cun ángulo de inclinación límite de 10°.
- En caso de existir rixidizadores, estes están dispostos na dirección lonxitudinal e/ou transversal.
- Se existen orificios ou cortes, estes son de dimensións reducidas.
- Os elementos estruturais considerados son de sección transversal uniforme.
- Non se produce aboladura da alma inducida pola ala.

A6.2 Resistencia fronte a tensións lonxitudinais

A resistencia de elementos estruturais planos rixidizados sometidos a tensións lonxitudinais pode determinarse empregando as seccións reducidas dos elementos de placa en compresión que se utilizan para o cálculo das características seccionais dunha sección de clase 4 (A_{ef} , I_{ef} , W_{ef}), co fin de levar a cabo as comprobacións da resistencia das seccións e dos elementos fronte a empenamento e empenamento lateral, de acordo cos números 35.1 e 35.2 do capítulo IX.

As seccións reducidas poden determinarse sobre a do exposto no artigo 20°, e en particular no número 20.7 do capítulo V. Así mesmo, deberá considerarse a influencia do arrastre por cortante. As seccións reducidas, considerando ambos os efectos, obteranse de acordo co exposto nos números 21.5 e 34.1.2.5.

A6.3 Elementos planos de chapa sen rixidización lonxitudinal

As áreas reducidas de elementos planos comprimidos defínense nas táboas 20.7.a e 20.7.b do número 20.7 para o caso de elementos sen bordos libres (paneis interiores) e o caso de elementos cun bordo libre, respectivamente. Excepto para as comprobacións en estados límite últimos de elementos susceptibles de problemas de inestabilidade, tratados nos números 35.1 e 35.2, e 35.3 do capítulo IX, os largos reducidos dos paneis comprimidos de seccións transversais de clase 4 poden estimarse, de forma menos conservadora, a partir dun valor máis reducido da esvelteza de placa $\bar{\lambda}_p$, calculado este a partir dos valores da tensión ou deformación máxima no panel comprimido, obtidos estes considerando xa os largos reducidos de todos os paneis parcial ou totalmente comprimidos da sección transversal:

$$\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\frac{\sigma_{c,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}} < \bar{\lambda}_p$$

Nesta expresión $\sigma_{c,Ed}$ é o valor máximo da tensión de compresión de cálculo no elemento plano, determinado utilizando a área reducida da sección, tendo en conta todas as accións que actúan simultaneamente.

O procedemento descrito no parágrafo anterior resulta conservador e require un proceso de cálculo iterativo, tal como se expón no número 20.7 do capítulo V.

Para paneis de chapa con relacións de aspecto $a/b < 1$ (a é a distancia entre bordos cargados), pode ter lugar un empenamento tipo columna. Entón, a comprobación levarase a cabo de acordo co que se establece no número A6.4.4 deste anexo, utilizando o coeficiente de redución ρ_c de inestabilidade do panel (comportamento tipo placa e comportamento tipo empenamento de columna). Este é o caso de elementos planos de chapa entre rixidizadores transversais onde a inestabilidade da placa pode aproximarse ao empenamento tipo columna, requiríndose un coeficiente de redución ρ_c , próximo ao valor de χ_c para o empenamento de soportes (ver figuras A6.3.a e A6.3.b). Para chapas con rixidizadores lonxitudinais, o empenamento tipo columna tamén pode aparecer para relacións de aspecto a/b maior ou igual á unidade.



Figura A6.3. Empenamento tipo columna

A6.3 Elementos planos de chapa con rixidización lonxitudinal

A6.4.1 Consideracións xerais

Para elementos planos de chapa rixidizados lonxitudinalmente deberán considerarse as áreas das seccións reducidas dos diferentes subpaneis entre rixidizadores fronte a aboladura local e a área da sección reducida do panel rixidizado para a consideración da aboladura global.

A área reducida de cada subpanel deberá determinarse mediante un coeficiente de redución de acordo co exposto no número A6.3 (ver número 20.7), para así ter en conta a aboladura local. Procédese da mesma maneira cos subpaneis en que poden descomperse os propios rixidizadores lonxitudinais (non obstante, estes adoitan dimensionarse de forma que sexan de clase 1 ou 2, co que neles habitualmente o coeficiente de redución por aboladura local será igual á unidade).

O panel rixidizado, tendo en conta as posibles áreas reducidas dos rixidizadores, deberá comprobarse fronte a aboladura global (por exemplo, mediante a consideración do

dito panel como unha placa ortótropa equivalente), determinándose un coeficiente de redución ρ_c , correspondente á comprobación fronte á aboladura do panel, en conxunto.

A área da sección reducida da zona comprimida do panel rixidizado calcularase segundo a seguinte expresión:

$$A_{c,ef} = \rho_c \cdot A_{c,ef,loc} + \sum b_{bor,ef} t$$

Onde $A_{c,ef,loc}$ é a suma das áreas reducidas de todos os rixidizadores e os subpaneis que se encontran, totalmente ou en parte, na zona comprimida, exceptuando aquelas partes reducidas soportadas por un panel de chapa adxacente cun largo $b_{bor,ef}$, tal e como se mostra no exemplo da figura A6.4.1.

A área $A_{c,ef,loc}$ obtense da seguinte expresión:

$$A_{c,ef,loc} = A_{sl,ef} + \sum_c \rho_{loc} b_{c,loc} t$$

onde:

\sum_c Aplica ao longo de panel rixidizado que se encontra comprimido, exceptuando as partes correspondentes dos bordos $b_{bor,ef}$.

$A_{sl,ef}$ Suma das áreas reducidas de todos os rixidizadores lonxitudinais con área bruta A_{sl} que se encontran na zona comprimida, calculadas segundo o establecido no número A6.3 deste anexo (ver número 20.7).

$b_{c,loc}$ Largo da parte comprimida de cada subpanel.

ρ_{loc} Coeficiente de redución para cada subpanel calculado segundo A6.3 (ver número 20.7).

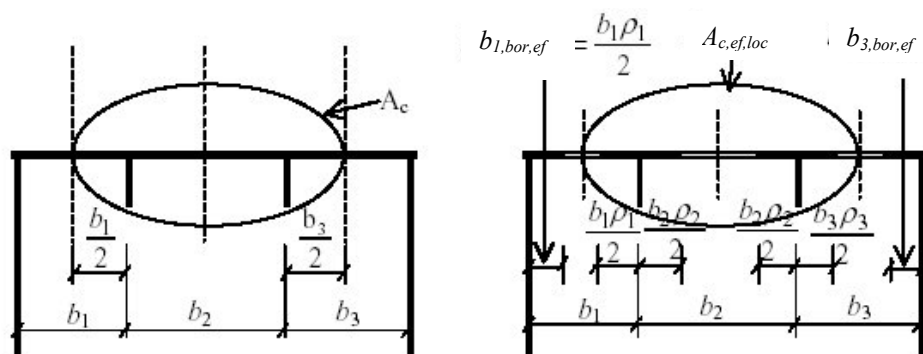


Figura A6.4.1. Definición da área bruta A_c e da área reducida $A_{c,ef,loc}$ para elementos planos rixidizados sometidos a compresión uniforme

Para a determinación do coeficiente de redución global ρ_c que teña en conta a inestabilidade do panel no seu conxunto, debe considerarse a posibilidade que se produza

o empenamento tipo columna, o cal determina un coeficiente de redución máis severo que o que poida provir da aboladura de placa.

O procedemento para levar a cabo esta comprobación e determinar ρ_c baséase nunha interpolación entre o coeficiente de redución ρ relativo á aboladura de placa e o coeficiente de redución χ_c para a consideración do empenamento tipo columna. A dita interpolación defínese máis adiante no número A6.4.4.

Naqueles casos en que a influencia do arrastre por cortante sexa significativa (ver números 21.5 e 34.1.2.5), a área da sección reducida eficaz definitiva $A_{c,ef}$ da zona comprimida da placa rixidizada debe tomarse como $A_{c,ef}^*$ de modo que se teña en conta o efecto do arrastre por cortante ademais dos efectos da aboladura da placa.

A área da sección eficaz da zona traccionada da placa rixidizada será igual á área da sección bruta da zona traccionada reducida polo efecto do arrastre por cortante, no caso de que este deba ser considerado.

O módulo resistente W_{ef} da sección reducida eficaz obtérase como o cociente entre a inercia da sección reducida eficaz e a distancia entre o centro de gravidade da dita sección e o plano medio da ala.

A6.4.2 Comportamento de placa

A esvelteza relativa de placa $\bar{\lambda}_p$ da placa equivalente defínese como:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\beta_{A,c} f_y}{\sigma_{cr,p}}}$$

sendo:

$$\beta_{A,c} = \frac{A_{c,ef,loc}}{A_c}$$

onde:

A_c Sección bruta da zona comprimida da placa rixidizada exceptuando as partes de subpaneis soportadas por un panel de placa adxacente (ver figura A6.4.1) (que deberá multiplicarse polo coeficiente de arrastre por cortante en caso de ser necesario).

$A_{c,ef,loc}$ Área reducida da mesma parte da placa, calculada tendo en conta a posible aboladura dos diferentes subpaneis e/ou dos elementos planos de rixidización.

O coeficiente de redución ρ para unha placa equivalente obtense da expresión dada para elementos planos sen rixidización (ver número 20.7 do capítulo V).

Para determinar o valor de $\bar{\lambda}_p$ a través da expresión anterior, debe coñecerse o valor da tensión $\sigma_{cr,p}$. Nos dous seguintes subapartados preséntanse respectivamente dous métodos diferentes para determinar o valor da dita tensión, cada un dos cales é particularmente aplicable a tipos específicos de paneis rixidizados.

A6.4.2.1 Rixidizadores lonxitudinais múltiples. Concepto de chapa ortótropa equivalente.

Os paneis de chapa rixidizados con máis de dous rixidizadores lonxitudinais poden ser considerados como chapas ortótropas. A idea básica consiste en distribuír a rixidez dos rixidizadores lonxitudinais a través do largo da chapa. Conceptualmente, isto leva a substituír a chapa rixidizada de forma discreta por unha chapa ortótropa equivalente. A tensión crítica de abladura da chapa equivalente pode obterse como:

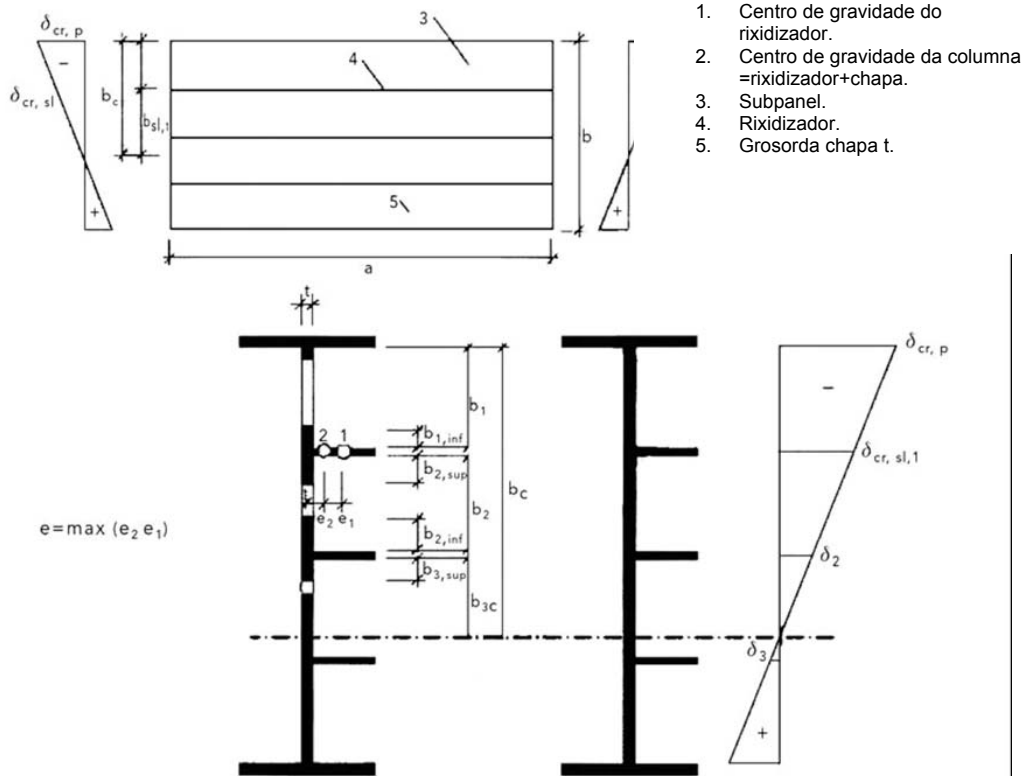
$$\sigma_{cr,p} = k_{\sigma,p} \sigma_E$$

onde:

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 E t^2}{12(1-\nu^2) b^2}$$

b Dimensión do panel sometido a tensións lonxitudinais (ver figura A6.4.2.1).

A tensión $\sigma_{cr,p}$ é a tensión crítica de abladura de chapa, no bordo do panel onde aparece a máxima tensión de compresión (ver figura A6.4.2.1).



	Largo para a área bruta	Largo reducido	Condición para Ψ_i
$b_{1,inf}$	$\frac{3 - \Psi_1}{5 - \Psi_1} b_1$	$\frac{3 - \Psi_1}{5 - \Psi_1} b_{1,ef}$	$\Psi_1 = \frac{\sigma_{cr,sl,1}}{\sigma_{cr,p}} > 0$
$b_{2,sup}$	$\frac{2}{5 - \Psi_2} b_2$	$\frac{2}{5 - \Psi_2} b_{2,ef}$	$\Psi_2 = \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr,sl,1}} > 0$
$b_{2,inf}$	$\frac{3 - \Psi_2}{5 - \Psi_2} b_2$	$\frac{3 - \Psi_2}{5 - \Psi_2} b_{2,ef}$	$\Psi_2 > 0$
$b_{3,sup}$	$0,4b_{3c}$	$0,4b_{3c,ef}$	$\Psi_3 = \frac{\sigma_3}{\sigma_2} < 0$

Figura A6.4.2.1. Notación utilizada para elementos planos rixidizados longitudinalmente.

O coeficiente $k_{\sigma,p}$ é o coeficiente de aboladura, obtido de acordo coa teoría da placa ortótropa, considerando os rixidizadores lonxitudinais distribuídos de maneira uniforme sobre a placa. O dito coeficiente de aboladura $k_{\sigma,p}$ do panel rixidizado pódese obter a partir de diagramas apropiados para rixidización distribuída ou para rixidizadores situados de maneira discreta, ou mediante simulación numérica.

No caso de comprobación dun panel de alma, o largo b da ecuación presentada anteriormente deberá substituírse polo canto da alma h_w .

Para chapas rixidizadas con polo menos tres rixidizadores lonxitudinais equiespazados, o coeficiente de aboladura da placa $k_{\sigma,p}$ (aboladura global do panel rixidizado) pode aproximarse mediante a seguinte expresión:

$$k_{\sigma,p} = \frac{2((1+\alpha^2)^2 + \gamma - 1)}{\alpha^2(\psi + 1)(1 + \delta)} \quad \text{Se } \alpha \leq \sqrt[4]{\gamma}$$

$$k_{\sigma,p} = \frac{4(1 + \sqrt{\gamma})}{(\psi + 1)(1 + \delta)} \quad \text{Se } \alpha > \sqrt[4]{\gamma}$$

con: $\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \geq 0,5$

$$\gamma = \frac{I_{sl}}{I_p}$$

$$\delta = \frac{A_{sl}}{A_p}$$

$$\alpha = \frac{a}{b} \geq 0,5$$

onde:

I_{sl} Momento de inercia da chapa rixidizada.

I_p Inercia a flexión da placa:

$$I_p = \frac{bt^3}{12(1-\nu^2)} = \frac{bt^3}{10,92}$$

A_{sl} Suma da sección bruta de todos os rixidizadores lonxitudinais considerados individualmente.

A_p Sección bruta da placa:

$$A_p = b \cdot t$$

σ_1 Valor máximo de tensión nun extremo do panel.

σ_2 Valor mínimo de tensión no outro extremo do panel.

a, b e t Dimensións que se definen na figura A6.4.2.1.

A6.4.2.2 Un ou dous rixidizadores na zona comprimida. Concepto de columna equivalente sobre leito elástico.

Este procedemento é de especial interese cando o número e a disposición dos rixidizadores lonxitudinais proveñen dunha distribución de tensións lonxitudinais directas non uniforme, como ocorre nun panel de alma. Para estas situacións súxírese un procedemento que ten en conta a natureza discreta da rixidización dunha maneira sinxela. A determinación da tensión crítica de aboladura non pode basearse agora no concepto de chapa ortótropa senón que o fará no estudo dunha columna descansando sobre leito elástico, o cal reflicte o efecto placa na dirección perpendicular á barra columna (ver figura A6.4.2.2.a). A tensión crítica elástica de empenamento da columna equivalente pode tomarse como unha aproximación ao valor da tensión $\sigma_{cr,p}$.

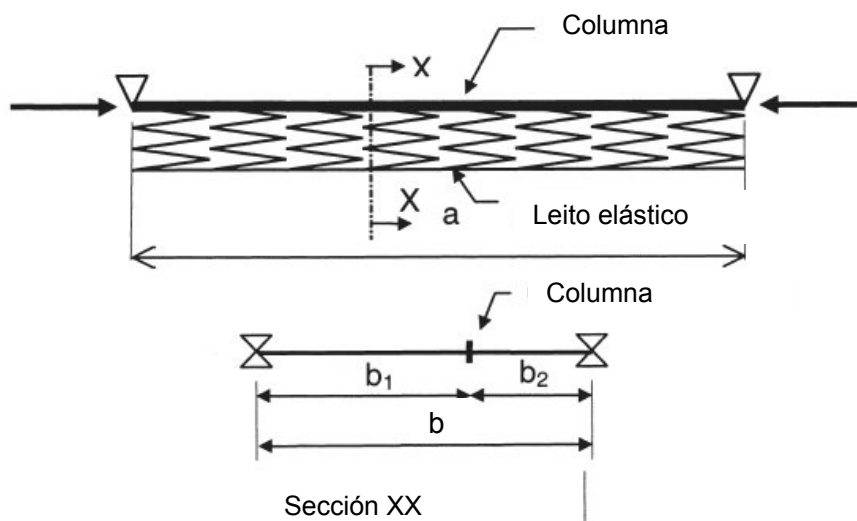


Figura A6.4.2.2.a. Modelo de columna sobre leito elástico

Caso dun rixidizador:

Cando a chapa rixidizada conteña un só rixidizador na zona comprimida, a localización da columna equivalente coincide coa do rixidizador lonxitudinal. De cara a acadar unha formulación simple, non se consideran os rixidizadores situados na zona traccionada do elemento.

Para o cálculo de $A_{sl,1}$ e $I_{sl,1}$ a sección bruta da columna debe tomarse igual á sección bruta do rixidizador considerando os tramos adxacentes da chapa do modo que se describe a continuación. No caso que o subpanel se encontre totalmente na zona comprimida, tomarase unha porcentaxe de $(3-\psi)/(5-\psi)$ do seu largo b_1 no bordo do panel con menor tensión e unha porcentaxe de $2/(5-\psi)$ para o bordo con maior tensión. No caso de producirse un cambio de signo na distribución de tensións (cambio de compresión a tracción) dentro do mesmo subpanel, tomarase como parte da columna unha porcentaxe do 0,4 do largo b_c da parte comprimida deste subpanel, tal como se mostra na figura A6.4.2.2.b.

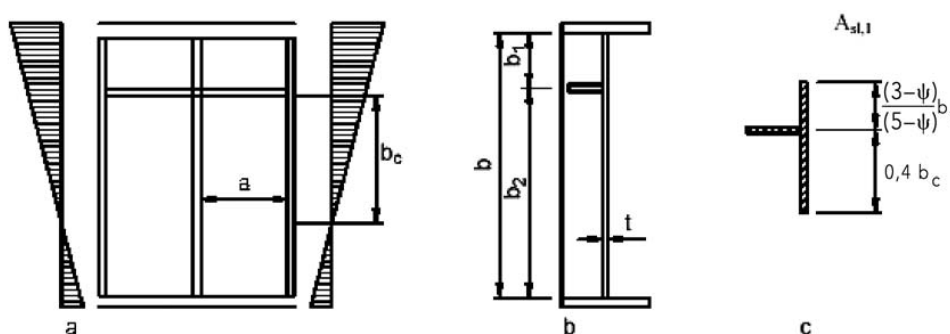


Figura A6.4.2.2.b. Notación para chapas rixidizadas cun único rixidizador na zona comprimida

A área da sección reducida da columna $A_{sl,1,ef}$ deberá tomarse como a área da sección reducida do rixidizador e das partes adxacentes da chapa tal e como se mostra na figura A6.4.2.1. A determinación da área da sección reducida é necesaria para o cálculo de β_A . A esvelteza dos elementos de chapa na columna pode determinarse de acordo co establecido no número 20.7, tomando $\sigma_{c,Ed}$ como a tensión máxima de compresión de cálculo para a sección bruta.

En ausencia de leito elástico a lonxitude de empenamento da columna equivalente sería igual á distancia entre rixidizadores transversais a . Debido ao efecto placa, a lonxitude de empenamento a_c da columna equivalente será máis pequena que a distancia a .

De acordo co modelo físico obtense que:

$$a_c = 4,334 \sqrt{\frac{I_{sl,1} b_1^2 b_2^2}{t^3 b}}$$

A tensión crítica elástica de empenamento da columna equivalente pode determinarse mediante as seguintes expresións:

$$\sigma_{cr,sl} = \frac{1,05 \cdot E \sqrt{I_{sl,1} t^3 b}}{A_{sl,1} b_1 b_2} \quad \text{Se } a \geq a_c$$

$$\sigma_{cr,sl} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{sl,1}}{A_{sl,1} \cdot a^2} + \frac{Et^3ba^2}{4\pi^2(1-\nu^2)A_{sl,1}b_1^2b_2^2} \quad \text{Se } a < a_c$$

onde:

$A_{sl,1}$ Sección bruta da columna obtida.

$I_{sl,1}$ Momento de inercia da sección bruta da columna arredor dun eixe que pasa polo seu centro de gravidade e que é paralelo ao plano da chapa.

b_1, b_2 Distancias dos bordos lonxitudinais ao rixidizador $b_1+b_2=b$ (ver figuras A6.4.2.2.a e A6.4.2.2.b).

Esta tensión pode ser tomada como unha estimación da tensión $\sigma_{cr,p}$.

Caso de dous rixidizadores:

Se a chapa rixidizada contén dous rixidizadores lonxitudinais na zona comprimida, aplicarase a metodoloxía presentada anteriormente tres veces, do modo que se indica a continuación (ver figura A6.4.2.2.c). Primeiramente asúmese que cada un dos rixidizadores empena mentres que o outro actúa como un soporte ríxido.

Posteriormente debe comprobarse o empenamento simultáneo de ambos os rixidizadores; para iso considérase un único rixidizador que agrupa o efecto de ambos da seguinte maneira:

- A área e o momento de inercia do rixidizador agrupado son a suma das áreas e e momentos de inercia dos rixidizadores considerados individualmente, calculados estes últimos como se expuxo anteriormente.
- O rixidizador agrupado sitúase na posición da resultante das forzas de cada un dos rixidizadores individuais.

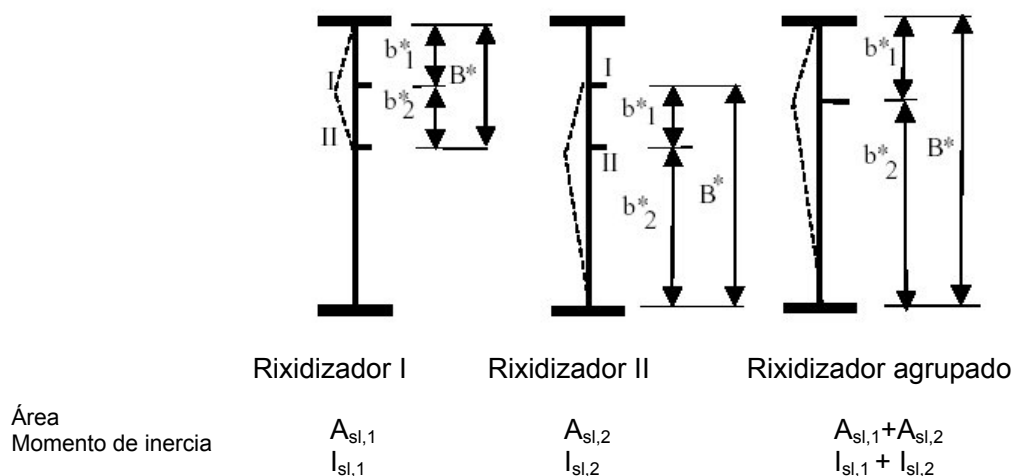


Figura A6.4.2.2.c. Procedemento para o caso de dous rixidizadores na zona comprimida.

Consideraranse as tres situacións amosadas na figura A6.4.2.2.c, tomando $b_1=b_1^*$, $b_2=b_2^*$ e $b = B^*=b_1^*+ b_2^*$.

Estudaranse os tres casos e como estimación do valor da tensión $\sigma_{cr,p}$ tomarase o menor dos tres valores obtidos de $\sigma_{cr,sl}$, obtidos estes coas expresións presentadas no número anterior, correspondente ao caso dun rixidizador.

A6.4.3 Comportamento tipo empenamento de columna

A tensión crítica elástica de empenamento $\sigma_{cr,c}$ dunha chapa non rixidizada (ver número A6.3) ou rixidizada (ver número A6.4) tomarase igual á tensión crítica de empenamento da placa sen considerar os soportes ao longo dos bordos lonxitudinais.

Para unha chapa non rixidizada, a tensión crítica elástica de empenamento de columna $\sigma_{cr,c}$ pode obterse a través da seguinte expresión:

$$\sigma_{cr,c} = \frac{\pi^2 E \cdot t^2}{12(1-\nu^2)a^2}$$

Para unha chapa rixidizada, a tensión $\sigma_{cr,c}$ pode determinarse a partir da tensión crítica de empenamento de columna $\sigma_{cr,sl}$ do rixidizador máis próximo ao bordo do panel sometido á maior tensión de compresión, segundo a seguinte expresión:

$$\sigma_{cr,sl} = \frac{\pi^2 E \cdot I_{sl,1}}{A_{sl,1} a^2}$$

onde:

$I_{sl,1}$ Inercia da sección transversal bruta do rixidizador lonxitudinal e das partes adxacentes da chapa, segundo se establece na figura A6.4.2.1, respecto ao eixe de flexión que ocasiona unha deformación do rixidizador fóra do plano da chapa.

$A_{sl,1}$ Área bruta da sección transversal do rixidizador e das partes adxacentes da placa, segundo se establece na figura A6.4.2.1.

A dita tensión $\sigma_{cr,sl}$ foi obtida considerando un estado de tensións de compresión uniforme, que non existe influencia ningunha dos soportes dos bordos extremos e que a lonxitude de empenamento é igual á lonxitude do panel rixidizado.

Cando a distribución de tensións non sexa uniforme, a tensión $\sigma_{cr,c}$ pode obterse como $\sigma_{cr,c} = \sigma_{cr,sl} \frac{b_c}{b_{sl,1}}$, onde $\sigma_{cr,c}$ é a tensión relativa ao bordo comprimido da chapa, e $b_{sl,1}$ e b_c son valores xeométricos obtidos da distribución de tensións utilizada para a extrapolación (ver figura A6.4.2.1).

A esvelteza relativa da columna $\bar{\lambda}_c$ defínese como segue:

$$\bar{\lambda}_c = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr,c}}} \quad \text{para chapas non rixidizadas}$$

$$\bar{\lambda}_c = \sqrt{\frac{\beta_{A,c} f_y}{\sigma_{cr,c}}} \quad \text{para chapas rixidizadas}$$

sendo:

$$\beta_{A,c} = \frac{A_{sl,1,ef}}{A_{sl,1}}$$

$A_{sl,1}$ Definiuse anteriormente.

$A_{sl,1,ef}$ Área da sección reducida debido á aboladura de placa (ver figura A6.4.2.1).

O coeficiente de redución χ_c obterase de acordo co recollido no número 35.1.2 do capítulo IX. Para chapas non rixidizadas tomarase un valor do coeficiente de imperfección $\alpha=0,21$, que corresponde á curva de empenamento a. No caso de chapas rixidizadas o valor de α deberá aumentarse para ter en conta a existencia de maiores imperfeccións iniciais neste tipo de elementos (soldadura da rixidización). Tomarase un valor α_e igual a:

$$\alpha_e = \alpha + \frac{0,09}{i/e}$$

sendo:

$\alpha=0,34$ (curva b) para rixidizadores de sección pechada.

$\alpha=0,49$ (curva c) para rixidizadores de sección aberta.

$$i = \sqrt{\frac{I_{sl,1}}{A_{sl,1}}}$$

$$e = \max(e_1, e_2)$$

Maior das distancias existentes entre o centro de gravidade da sección reducida do rixidizador e da parte correspondente de placa colaborante (centro de gravidade da columna) e o centro de gravidade da placa ou o centro de gravidade da sección bruta do rixidizador exclusivamente (ou do conxunto de rixidizadores exclusivamente, se hai rixidización a ambos os lados da chapa) (ver figura A6.4.2.1).

A6.4.4 Interpolación entre comportamento de placa e de empenamento de columna

O coeficiente final de redución global ρ_c obterase por interpolación entre os coeficientes ρ (punto A6.4.2) e χ_c (punto A6.4.3) mediante a seguinte expresión:

$$\rho_c = (\rho - \chi_c)\xi(2 - \xi) + \chi_c$$

sendo:

$$\xi = \frac{\sigma_{cr,p}}{\sigma_{cr,c}} - 1 \text{ onde: } 0 \leq \xi \leq 1$$

$\sigma_{cr,p}$ Tensión crítica de aboladura de placa (apartado A6.4.2).

$\sigma_{cr,c}$ Tensión crítica de empenamento de columna de acordo co establecido anteriormente (punto A6.4.3).

ρ Coeficiente de redución por aboladura da placa ortótropa equivalente (punto A6.4.2).

χ_c Coeficiente de redución por empenamento de columna (punto A6.4.3).

Coñecido ρ_c pode determinarse a área da sección reducida da zona comprimida do panel rixidizado $A_{c,ef}$ (ver número A6.4.1), e por conseguinte estase en condicións de coñecer a área da sección reducida dun elemento estrutural xenérico e o seu módulo resistente.

A6.4 Comprobación

A comprobación do elemento estrutural sometido a tensións directas lonxitudinais producidas por esforzo axial de compresión e flexión uniaxial levarase a cabo mediante a seguinte expresión:

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M0} f_y A_{ef}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} e_N}{\gamma_{M0} f_y W_{ef}} \leq 1,0$$

sendo:

A_{ef} Área da sección reducida eficaz obtida baixo a actuación dun esforzo axial de compresión.

e_N Excentricidade da posición do eixe neutro da sección reducida eficaz respecto do eixe neutro da sección bruta baixo a actuación dun esforzo axial de compresión.

M_{Ed} Momento flector de cálculo.

N_{Ed} Esforzo axial de cálculo.

W_{ef} Módulo resistente elástico da sección reducida eficaz obtido baixo a actuación dun momento flector.

γ_{M0} Coeficiente parcial para a resistencia.

No caso de que o elemento estea sometido a esforzo axial de compresión e a flexión biaxial, a expresión anterior queda da seguinte maneira:

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M0} f_y A_{ef}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{y,N}}{\gamma_{M0} f_y W_{y,ef}} + \frac{M_{x,Ed} + N_{Ed} e_{z,N}}{\gamma_{M0} f_y W_{z,ef}} \leq 1,0$$

A comprobación para a abladura de chapa levarase a cabo para as resultantes das tensións existentes a unha distancia $0,4a$ ó $0,5b$, a máis pequena das dúas, a partir do panel extremo onde as tensións sexan as maiores. Neste caso, deberá realizarse a comprobación da resistencia da sección bruta no extremo final do panel.

A6.5 Diagramas axial-deformación lonxitudinal (N- ε_{ap}) 'aparentes' para chapas comprimidas rixidizadas

Salvo en seccións de pequenas dimensións, as chapas de aceiro comprimidas utilízanse xeralmente dotadas de rixidizadores (lonxitudinais e transversais). Tal é o caso de seccións caixón solicitadas a flexión negativa.

Na maioría dos casos, a consecuencia dos fenómenos de segunda orde, non pode suporse que os ditos elementos permanezan indeformables transversalmente, nas fases elásticas e elastoplásticas do dominio postcrítico, ata valores das deformacións análogos aos que se consideran nos cálculos elastoplásticos en esgotamento das seccións (ver 19.5.1).

A resposta das chapas comprimidas rixidizadas, solicitadas por esforzos axiais monotonamente crecentes no seu plano, adopta unha forma progresivamente non lineal cun comportamento relativamente fráxil unha vez alcanzada a carga de inestabilidade, caracterizado por unha baixada significativamente brusca da rama descendente da súa curva resistencia-deformación.

A análise destes elementos pode abordarse mediante modelos de elementos finitos non lineais do conxunto da chapa de fondo e a trama de rixidizadores lonxitudinais e transversais, coas oportunas vinculacións laterais desta subestrutura ao resto da sección (almas e alas comprimidas). O modelo de elementos finitos deberá integrar a consideración das imperfeccións xeométricas equivalentes, asociadas ás formas dos modos críticos de inestabilidade do conxunto da chapa rixidizada, así como dos seus componentes (paneis de chapa entre rixidizadores), representativos da influencia na resposta non lineal das imperfeccións xeométricas de execución e dos efectos das tensións residuais.

Anexo 7: rixidización. Detalles

A7.1 Xeneralidades

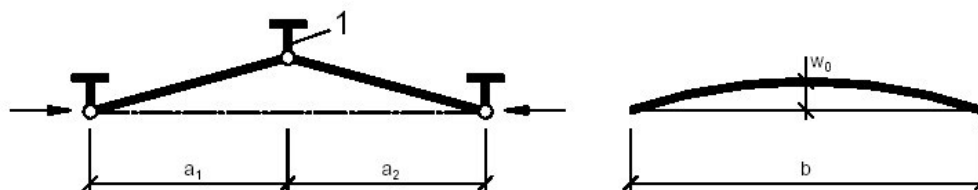
Neste anexo danse criterios de dimensionamento e comprobación de elementos rixidizados sometidos a tensións lonxitudinais, como complemento aos criterios xa dados para a aboladura e para cargas concentradas (números 35.4, 35.5, 35.6 e 35.7). Así mesmo, ofrécense criterios de proxecto adicionais aos que se recollen no número 35.9 e no anexo n.º 6, relativo á comprobación de chapas rixidizadas lonxitudinalmente sometidas a tensións lonxitudinais.

A7.2 Tensións lonxitudinais

A7.2.1 Requisitos mínimos para os rixidizadores transversais

Co fin de proporcionar un soporte ríxido para unha chapa con ou sen rixidizadores lonxitudinais, os rixidizadores transversais intermedios deberán satisfacer unha serie de requirimentos mínimos que se describen neste número.

O rixidizador transversal modelarase como un elemento simplemente apoiado cunha imperfección inicial sinusoidal w_0 de valor $s/300$, sendo s a menor das dimensións a_1 , a_2 ou b (ver figura A7.2.1), onde a_1 e a_2 son as lonxitudes dos paneis adxacentes ao rixidizador transversal que se estea considerando e b é a altura do rixidizador transversal entre os centros de gravidade das alas ou é a luz do propio rixidizador. Deberán terse en conta as excentricidades debidamente.



1. Rixidizador transversal

Figura A7.2.1. Rixidizador transversal.

O rixidizador transversal deberá soportar as forzas de desvío provenientes dos paneis comprimidos adxacentes baixo a hipótese de que os dous rixidizadores transversais adxacentes son ríxidos e se manteñen rectos baixo a acción conxunta de calquera carga externa e un esforzo axial, determinado neste segundo 35.9.3.3. Os paneis de chapa

comprimidos así como os rixidizadores lonxitudinais considéranse simplemente apoiados nos rixidizadores transversais.

Levando a cabo unha análise elástica en segunda orde, deberán satisfacerse os seguintes requisitos en estado límite último:

- A tensión máxima no rixidizador non debe superar f_y/γ_{M1}
- A frecha adicional non deberá ser superior a $b/300$ (ver figura A7.2.1).

En ausencia dunha forza axial no rixidizador transversal, pode asumirse que ambos os criterios son satisfeitos sempre que a inercia do rixidizador transversal I_{st} non sexa inferior a:

$$I_{st} = \frac{\sigma_m}{E} \left(\frac{b}{\pi} \right)^4 \left(1 + w_0 \frac{300}{b} u \right)$$

onde:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{cr,c}}{\sigma_{cr,p}} \frac{N_{Ed}}{b} \left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} \right)$$

$$u = \frac{\pi^2 E e_{max}}{f_y 300 b} \geq 1,0$$

e_{max} Máxima distancia da fibra extrema do rixidizador ao centro de gravidade deste.

N_{Ed} Máxima forza de compresión dos paneis adxacentes ao rixidizador, non sendo menor que o produto da tensión máxima de compresión pola metade da área reducida de compresión do panel, incluíndo os rixidizadores.

$\sigma_{cr,c}$, $\sigma_{cr,p}$ Defínense no anexo 6.

Se o rixidizador transversal se ve sometido a un esforzo axial de compresión, este deberá incrementarse nun valor $\Delta N_{st} = \sigma_m b^2 / \pi^2$ co obxectivo de ter en conta as forzas de desvío. Os requisitos presentados arriba seguen aplicando, pero non é necesario considerar ΔN_{st} ao calcular a distribución uniforme de tensións no rixidizador, ocasionada polo esforzo axial.

De maneira simplificada, en ausencia de esforzo axial, a comprobación dos requisitos anteriores poderá levarse a cabo mediante unha análise elástica de primeira orde, considerando a actuación adicional dunha carga lateral uniformemente repartida actuando na lonxitude b do rixidizador e de valor:

$$q = \frac{\pi}{4} \sigma_m (w_0 + w_{el})$$

onde:

σ_m Definiuse anteriormente dentro deste mesmo número.

w_0 Defínese na figura A7.2.1.

w_{el} Frecha elástica, que pode determinarse mediante un proceso iterativo ou ben tomarse igual ao máximo valor da frecha adicional citado anteriormente $b/300$.

A non ser que se leve a cabo unha análise avanzada, co fin de evitar o empenamento por torsión dos rixidizadores transversais de sección aberta, deberase satisfacer a seguinte condición:

$$\frac{I_t}{I_p} \geq 5,3 \frac{f_y}{E}$$

sendo:

I_p Inercia polar do rixidizador, considerado illadamente, arredor do bordo fixado á chapa rixidizada.

I_T Módulo de torsión uniforme do rixidizador considerado illado.

Cando se considere a rixidez de empenamento, os rixidizadores deberán satisfacer a anterior condición ou ben o seguinte criterio:

$$\sigma_{cr} \geq \theta \cdot f_y$$

sendo:

σ_{cr} Tensión crítica elástica para empenamento por torsión do rixidizador.

θ Parámetro para asegurar o comportamento de sección clase 3. Recoméndase un valor de θ igual a 6.

A7.2.2 Requisitos mínimos para os rixidizadores lonxitudinais

Os requisitos relacionados co empenamento por torsión formulados no número A7.2.1 para os rixidizadores transversais son tamén aplicables aos rixidizadores lonxitudinais.

Aqueles rixidizadores lonxitudinais descontinuos que non atravesan os rixidizadores transversais a través de aperturas feitas nestes ou que non están conectados a ambos os lados do rixidizador transversal:

- Deberán ser utilizados só en paneis de alma (é dicir, non se poderán dispor en alas).
- No deberán considerarse na análise global.
- No deberán considerarse no cálculo de tensións.
- Consideraranse no cálculo dos largos reducidos de subpaneis de alma.
- Consideraranse no cálculo das tensións críticas.

A comprobación resistente destes rixidizadores levarase a cabo segundo o establecido no anexo 6.

A7.2.3 Chapas soldadas

As chapas que presenten cambios no seu grosor soldaranse en zonas próximas a un rixidizador transversal, tal como se indica na figura A7.2.3. Os efectos da excentricidade non necesitan ser tidos en conta, a non ser que a distancia ao rixidizador da unión soldada sexa superior ao mínimo dos valores $b_0/2$ e 200 mm, onde b_0 é o largo de chapa entre rixidizadores lonxitudinais.

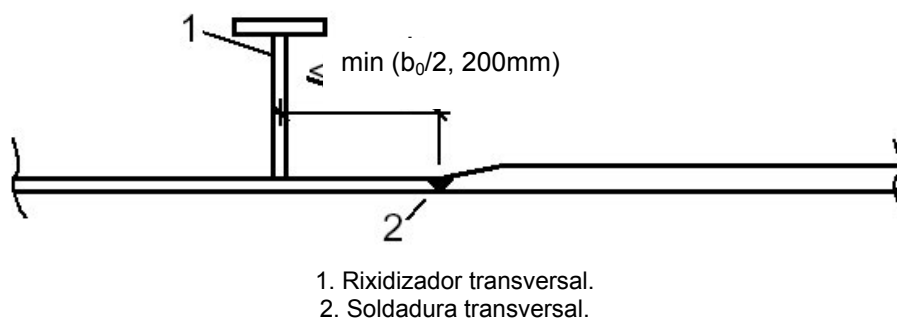


Figura A7.2.3. Chapas soldadas

A7.2.4 Orificios en rixidizadores

As dimensións dos orificios nos rixidizadores lonxitudinais deberán satisfacer as condicións que se describen na figura A7.2.4.a.

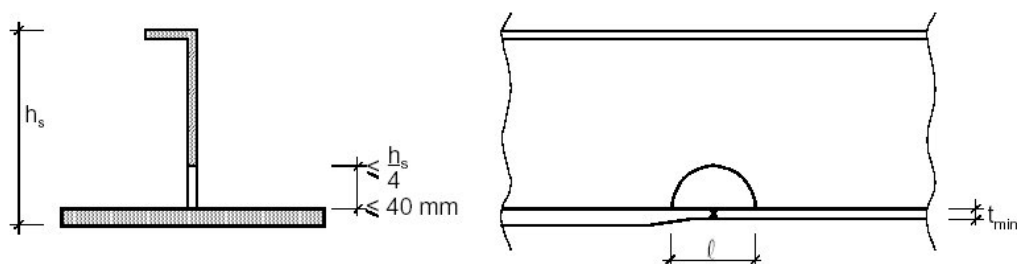


Figura A7.2.4.a. Orificios en rixidizadores lonxitudinais

A lonxitude l (ver figura A7.2.4.a) deberá cumprir:

- $l \leq 6 \cdot t_{\min}$ para rixidizadores planos comprimidos.
- $l \leq 8 \cdot t_{\min}$ para calquera outro tipo de rixidizadores en compresión.
- $l \leq 15 \cdot t_{\min}$ para rixidizadores non comprimidos.

Onde t_{\min} é o menor dos grosos das chapas a unir.

Os valores límite de l para rixidizadores en compresión poden incrementarse cun factor $\sqrt{\frac{\sigma_{x,Rd}}{\sigma_{x,Ed}}}$ cando $\sigma_{x,Ed} \leq \sigma_{x,Rd}$ e $l \leq 15 \cdot t_{\min}$

No caso dos rixidizadores transversais, os orificios deberán satisfacer as condicións que se presentan na seguinte figura A7.2.4.b.

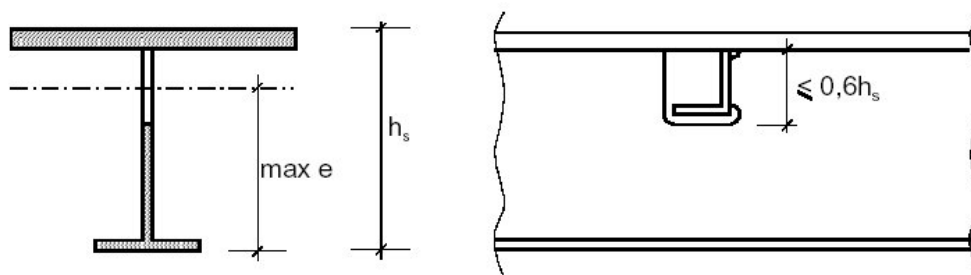


Figura A7.2.4.b. Orificios en rixidizadores transversais

A sección bruta de alma adxacente ao orificio deberá resistir un esforzo cortante de cálculo V_{Ed} de valor:

$$V_{Ed} = \frac{I_{net}}{\max e} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} \frac{\pi}{b_G}$$

sendo:

I_{net} Momento de inercia da sección neta do rixidizador transversal.

e Distancia máxima desde a cara inferior da ala ao eixe neutro da sección neta (ver figura A7.2.4.b).

b_G Lonxitude do rixidizador transversal entre alas.

Anexo 8: accións para a análise térmica

A8.1 Xeneralidades

O proceso completo de comprobación estrutural en situación de incendio pode desenvolverse en catro etapas:

1. Selección dos escenarios de incendio oportunos para o cálculo, a partir dunha estratexia global acorde coa normativa de seguridade contra incendios, para o edificio concreto obxecto do proxecto.
2. Determinación da acción de incendio de cálculo correspondente; defínese a acción de incendio de cálculo, ou, abreviadamente, “lume de cálculo” mediante a curva de incremento de temperatura dos gases do recinto de incendio en función do tempo, que se adopta para caracterizar a acción do incendio. Ao seleccionar o lume de cálculo pódese optar por un modelo matemático apropiado dun incendio real ou pola curva normalizada tempo-temperatura que representa o programa térmico dos fornos de ensaio.
3. Cálculo da evolución da temperatura no interior dos elementos estruturais como consecuencia da súa exposición ao lume de cálculo adoptado. Se se elixe un modelo de lume real, o cálculo debe abarcar toda a duración do incendio, coa fase de arrefriamento incluída. Se se opta polo lume normalizado, no que non hai fase de arrefriamento, o tempo de exposición ao lume preceptivo $t_{fi,requ}$ debe ser fixado seguindo as especificacións da normativa en vigor.
4. Cálculo do comportamento mecánico da estrutura exposta ao lume.

Neste anexo inclúese información destinada a facilitar a execución das dúas primeiras etapas anteditas, xa que os procedementos para a realización das dúas últimas son materia específica do articulado desta instrución e desenvólvense no seu capítulo XII.

Os lumes de cálculo contidos neste anexo corresponden a un “sector de incendio” determinado, definido como un recinto separado doutros que puidesen coexistir no mesmo volume de edificación, por elementos compartimentadores do grao e superficie útil que en cada caso estableza o Código técnico da edificación e, se foren de aplicación, os regulamentos das administracións autonómicas, ordenanzas municipais, etc., pertinentes. Salvo que se estipule o contrario, asignarase un lume de cálculo para cada escenario que se considerará afectando un único sector de incendio do edificio cada vez.

Por curva normalizada tempos-temperaturas ou, abreviadamente, “lume normalizado” enténdese o ensaio definido por UNE-EN 1363, caracterizado pola variación de temperatura co tempo dada en A8.3.1.

A8.2 Comprobación da estabilidade estrutural en situación de incendio

A8.2.1 Resistencia ao lume exixible á estrutura

Para a adopción da magnitude $t_{fi,nom}$ posteriormente indicada deberá respectarse o establecido nas regulamentacións que sexan de aplicación no ámbito das súas competencias.

Se estes regulamentos non dispoñen o contrario, o tempo de resistencia ante o lume normalizado exixible á estrutura $t_{fi,requ}$ poderá elixirse indistintamente polos dous procedementos que nesta instrución se concretan e se complementan nos termos seguintes:

- Acción nominal de incendio. Convencionalmente defínese pola duración, expresada en minutos de lume normalizado, denominada $t_{fi,nom}$ nesta instrución, cuxos valores deberán tomarse das táboas incluídas na sección 6 do CTE, no RSCIEI, ou, de ser o caso, nos restantes regulamentos mencionados no parágrafo anterior.
- Acción equivalente de incendio. Neste caso especifíase un criterio analítico concreto para a determinación do tempo equivalente de exposición ao lume. Este criterio desenvólvese en A8.5, onde se define e cuantifica o correspondente valor representativo da acción de incendio ($t_{e,d}$).

Con $t_{fi,requ} = t_{fi,nom}$, ou ben $t_{fi,requ} = \text{mínimo}(t_{fi,nom}, t_{e,d})$ cando o parágrafo b) sexa de aplicación segundo o xa expresado, pódese proceder á comprobación da seguridade da estrutura de aceiro ante o incendio, segundo os procedementos admitidos por esta instrución.

Tamén veñen recollidos neste anexo criterios teórico-experimentais para a fixación da resistencia ao lume exixible para as estruturas que, igual que os restantes criterios expostos explicitamente nesta instrución, corresponde ao autor do proxecto a elección duns ou outros.

A8.2.2 Accións térmicas. Fluxo neto de calor

As accións térmicas sobre a superficie dos elementos estruturais defínense polo fluxo neto de calor \dot{h}_{net} [W/m^2] que incide sobre a unidade de superficie exposta ao lume dos ditos elementos.

Debe determinarse considerando a transmisión de calor por convección e por radiación:

$$\dot{h}_{net} = \dot{h}_{net,c} + \dot{h}_{net,r} \quad [W/m^2] \quad (A8.2.1)$$

onde:

$h_{\text{net,c}}$ Compoñente de convección do fluxo térmico por unidade de superficie:

$$h_{\text{net,c}} = \alpha_c \cdot (\Theta_g - \Theta_m) \quad [\text{W/m}^2] \quad (\text{A8.2.2})$$

$h_{\text{net,r}}$ Compoñente de radiación do fluxo neto de calor por unidade de superficie:

$$h_{\text{net,r}} = \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot [(\Theta_r + 273)^4 - (\Theta_m + 273)^4] \quad [\text{W/m}^2] \quad (\text{A8.2.3})$$

sendo:

α_c Coeficiente de transferencia de calor por convección [$\text{W/m}^2 \text{K}$]. Os coeficientes α_c aplicables ás curvas nominais tempo-temperatura indícanse en A8.3 e para modelos de lume natural en A8.6 e A8.7.

Θ_g Temperatura do gas na proximidade do elemento exposto ao lume [$^{\circ}\text{C}$], definida polo lume de cálculo elixido.

Θ_m Temperatura da superficie do elemento [$^{\circ}\text{C}$]. Obtense como resultado da análise térmica do elemento conforme o capítulo XII relativo ao cálculo estrutural en situación de incendio.

Φ Factor de forma; se se carece de datos específicos debe adoptarse $\Phi = 1,0$. Para ter en conta os efectos de posición e de sombra pode adoptarse un valor menor.

ε_m Emisividade da superficie do elemento, adoptarase $\varepsilon_m = 0,7$.

ε_f Emisividade do lume; xeralmente adóptase $\varepsilon_f = 1,0$.

σ Constante de Stephan Boltzmann ($= 5,67 \cdot 10^{-8} [\text{W/m}^2 \text{K}^4]$).

Θ_r Temperatura efectiva de radiación do lume [$^{\circ}\text{C}$]. No caso de elementos totalmente rodeados polo lume, Θ_r pode asimilarse á temperatura do gas Θ_g arredor do elemento.

Na cara non exposta dos elementos separadores, o fluxo neto de calor h_{net} debe determinarse utilizando a ecuación (A8.2.1) sendo $\alpha_c = 4 [\text{W/m}^2 \text{K}]$.

Como coeficiente de transferencia de calor por convección debe adoptarse $\alpha_c = 9 [\text{W/m}^2 \text{K}]$ cando se supoña que inclúe os efectos de transferencia de calor por radiación.

A8.2.3 Temperatura dos gases no sector de incendio. “Lumes de cálculo”

As temperaturas dos gases do sector de incendio Θ_g poden adoptarse en forma de curvas nominais tempo-temperatura conforme a A8.3, ou segundo os modelos de lume natural indicados en A8.6 e A8.7.

Entre as curvas nominais tempo-temperatura, ademais da curva normalizada UNE-EN 1363, pode utilizarse a curva de lume exterior para caracterizar os incendios menos severos producidos en zonas exteriores adxacentes ao edificio, ou para medir os efectos sobre elementos exteriores das chamas saíndo polas ventás. Inclúese así mesmo unha curva específica para caracterizar un incendio nunha balsa contendo hidrocarburos.

Os modelos de lume real ou natural son modelos que, con maior ou menor complexidade, incorporan diversos parámetros físicos presentes no desenvolvemento dun incendio real; os modelos de lume simplificados fundaméntanse en parámetros físicos específicos cun campo de aplicación limitado. Os modelos avanzados de lume deben ter en conta as propiedades do gas e o intercambio de masa e de enerxía

A8.3 Curvas nominais tempo-temperatura

A8.3.1 Curva normalizada tempo-temperatura

A curva normalizada tempo-temperatura está definida por:

$$\Theta_g = 20 + 345 \log_{10} (8t + 1) \quad [^\circ\text{C}] \quad (\text{A8.3.1})$$

onde:

Θ_g	Temperatura do gas no sector de incendio	[$^\circ\text{C}$]
t	Tempo transcorrido	[min]

O coeficiente de transferencia de calor por convección é: $\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

A8.3.2 Curva de lume exterior

A curva de lume exterior está definida por:

$$\Theta_g = 660 (1 - 0,687 e^{-0,32t} - 0,313 e^{-3,8t}) + 20 \quad [^\circ\text{C}] \quad (\text{A8.3.2})$$

onde:

Θ_g	Temperatura do gas na proximidade do elemento	[$^\circ\text{C}$]
t	Tempo transcorrido	[min]

O coeficiente de transferencia de calor por convección é: $\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

A8.3.3 Curva de hidrocarburos

A curva tempo-temperatura de hidrocarburos está definida por:

$$\Theta_g = 1.080 (1 - 0,325 e^{-0,167t} - 0,675 e^{-2,5t}) + 20 \quad [^\circ\text{C}] \quad (\text{A8.3.3})$$

onde:

Θ_g	Temperatura do gas no sector de incendio	[$^\circ\text{C}$]
t	Tempo transcorrido	[min]

O coeficiente de transferencia de calor por convección é: $\alpha_c = 50 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

A8.4 Carga de lume

A “carga de lume” deberá abarcar todo o contido combustible do edificio e todos os elementos construtivos combustibles, incluídos os revestimentos e os acabamentos.

A determinación das cargas de lume pódese realizar:

a) A partir dunha clasificación nacional de cargas de lume segundo o tipo de actividade.

Neste caso distínguense e deben sumarse:

- As cargas de lume propias da actividade, dadas na clasificación;
- as cargas de lume debidas ao edificio (elementos construtivos, revestimentos e acabamentos) que normalmente non están incluídos na clasificación e que se determinan conforme os parágrafos seguintes que sexan de aplicación.

b) Mediante unha avaliación individual: as cargas de lume e a súa localización deberán avaliarse tendo en conta o uso previsto, o mobiliario e as instalacións, os cambios ao longo do tempo, as tendencias desfavorables e os posibles cambios de actividade que non impliquen normativamente a elaboración dun novo proxecto.

A8.4.1 Densidade de carga de lume. Valor de cálculo

A densidade de carga de lume utilizada nos diferentes escenarios de incendio debe ser un valor de cálculo baseado en medicións.

O valor de cálculo pode determinarse:

- A partir dunha clasificación nacional de densidades de cargas de lume de cálculo segundo o tipo de actividade;
- de maneira simplificada a partir da expresión (A8.4.1) desta epígrafe que ten en conta a probabilidade de activación e as medidas de loita contra incendios mediante coeficientes parciais de seguridade;
- de maneira específica para un proxecto particular, efectuando un estudo das cargas de lume de cada sector, representándoas polo seu valor característico, tendo en conta as condicións de combustión. A probabilidade de activación, as medidas activas de loita contra incendios, as condicións de evacuación e de actuación das brigadas de extinción, así como todas as medidas adicionais de seguridade e as posibles consecuencias do incendio deben incluírse mediante unha estratexia xeral de seguridade.

O coeficiente γ_q dado na táboa A8.5.c, que ten en conta as consecuencias previsibles do incendio, pode introducirse directamente no valor da carga de lume de cálculo determinada por calquera das tres vías anteditas, cando o procedemento de comprobación emprendido o utilice de forma explícita como no tempo equivalente de incendio normalizado, nas curvas paramétricas e nas curvas de incendios reais.

O valor de cálculo da carga de lume $q_{f,d}$ defínese por:

$$q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n \text{ [MJ/m}^2\text{]} \quad (\text{A8.4.1})$$

onde:

- $q_{f,k}$ Densidade de carga de lume característica por unidade de superficie de solo [MJ/m^2] (véxase, A8.4.2).
- $\bar{\delta}_{q1}$ Coeficiente que toma en consideración o risco de inicio do incendio debido ao tamaño do sector (véxase a táboa A8.4.1.a).
- $\bar{\delta}_{q2}$ Coeficiente que toma en consideración o risco de inicio do incendio debido ao tipo de actividade (véxase a táboa A8.4.1.a).
- $\bar{\delta}_n = \prod_{i=1}^3 \delta_{ni}$ Coeficiente que toma en consideración as diferentes medidas activas de loita contra incendios i (esparexedores, detección, transmisión automática de alarma a bombeiros). Estas medidas activas son xeralmente implantadas por razóns de protección das persoas (véxase a táboa A8.4.2.b).
- M Coeficiente que toma en consideración as características da combustión, representa a fracción de combustible que arde no incendio, en función da actividade e do tipo de carga de lume. Para mestura de materiais predominantemente celulósicos (madeira, papel, tecidos, pero non para almacenamento de celulosa) o coeficiente de combustión pode suporse $m = 0,8$. Noutros casos de mestura de materiais pode tomarse $m=1$. En situacións de almacenamento dun mesmo material como madeira, algodón, caucho, goma, linóleo, plásticos e fibras artificiais, a falta doutros datos pode tomarse o valor máis desfavorable $m=1,4$ (baixa densidade de material sobre gran superficie).

Táboa A8.4.1.a. Coeficientes $\bar{\delta}_{q1}$, $\bar{\delta}_{q2}$

Superficie de solo do sector A_f [m^2]	Risco de inicio do incendio $\bar{\delta}_{q1}$	Risco de inicio do incendio $\bar{\delta}_{q2}$	Tipos de actividade
20	1,00	0,78	Galería de arte, museo, piscina
25	1,10	1,00	Vivenda, administrativo, residencial, docente
250	1,50	1,25	Comercial, garaxe, hospitalario, pública concorrencia
2.500	1,90	1,25	Sectores de risco especial baixo
5.000	2,00	1,40	Sectores de risco especial medio
>10.000	2,13	1,60	Sectores de risco especial alto

Táboa A8.4.1.b. Coeficientes $\delta_{n,i}$

$\delta_{n,i}$ Función das medidas activas de loita contra incendios			
Extinción automática	Detección automática		
Sistema automático de extinción por auga	Detección e alarma automática	Transmisión automática da alarma aos bombeiros	
$\delta_{n,1}$	de calor $\delta_{n,2}$	de fume $\delta_{n,2}$	$\delta_{n,3}$
0,61	0,87		0,87

A aplicación da táboa A8.4.1.b require a verificación de que:

- Se cumpren as exixencias das normas europeas relativas a instalacións de espaxedores, detección e alarma.
- Todo sistema activo ou pasivo de protección contra incendios tomado en consideración no cálculo estará adecuadamente mantido.

A8.4.2 Densidade de carga de lume característica

A densidade de carga de lume característica $q_{f,k}$ por unidade de superficie defínese como:

$$q_{f,k} = Q_{fi,k} / A \quad [\text{MJ}/\text{m}^2] \quad (\text{A8.4.2})$$

onde:

$Q_{fi,k}$ Carga de lume característica.

A É, ou ben a superficie de solo (A_r) do sector de incendio ou do espazo de referencia, ou ben a superficie interior total da envolvente (A_t), resultando $q_{f,k}$ ou $q_{t,k}$ respectivamente.

A carga de lume característica defínese como:

$$Q_{fi,k} = \sum M_{k,i} \cdot H_{ui} \cdot \psi_i = \sum Q_{fi,k,i} \quad [\text{MJ}] \quad (\text{A8.4.3})$$

onde:

$M_{k,i}$ Cantidade de material combustible [kg].

H_{ui} Potencial calorífico neto [MJ/kg].

$[\psi_i]$ Coeficiente opcional que permite reducir as cargas de lume adecuadamente protexidas de acordo con A8.5.3.

Para estimar a cantidade de material combustible hai que diferenciar:

- As cargas de lume permanentes, cuxa variación non sexa previsible durante a vida útil dunha estrutura, que deberán considerarse conforme os valores obtidos dunha mostraxe a posteriori, se esta é factible, ou no seu defecto tomaranse iguais a valores nominais baseados nos elementos construtivos do proxecto.
- As cargas de lume variables, susceptibles de cambiar durante a vida útil da estrutura, para as que deberán adoptarse estimadores estatísticos dos valores que durante o 80% do tempo non serán superados.

A8.4.3 Cargas de lume protexidas

Non é necesario considerar as cargas de lume situadas dentro de contedores deseñados para resistir a exposición ao lume.

As cargas de lume situadas en contedores non combustibles e non concibidos especificamente para resistir a exposición ao lume, pero que se manteñan intactos durante ela, poden tomarse en consideración do seguinte modo:

- Á carga de lume maior, ou ao menos ao 10% de todas as cargas de lume protexidas, aplícaselles un coeficiente $\Psi_i = 1,0$.
- Se esta carga de lume mais as cargas de lume non protexidas non son suficientes para quentar as restantes cargas de lume por encima das súas temperaturas de ignición, ás restantes cargas de lume protexidas pódeseles aplicar un coeficiente $\Psi_i = 0$.
- Noutros casos, o valor do coeficiente Ψ_i debe determinarse individualmente.

A8.4.4 Potenciais caloríficos netos

Os potenciais caloríficos netos dos materiais deberán determinarse conforme a UNE-EN ISO 1716:2002.

A humidade contida nos materiais pode tomarse en consideración da seguinte forma:

$$H_u = H_{u0} (1 - 0,01 u) - 0,025 u \quad [\text{MJ/kg}] \quad (\text{A8.4.4})$$

onde:

u Humidade, en porcentaxe do peso en estado seco.

H_{u0} Potencial calorífico neto do material seco.

Na táboa A8.4.4 inclúese o potencial calorífico neto dalgúns sólidos, líquidos e gases.

Táboa A8.4.4 – Potencial calorífico neto Hu [MJ/kg] de materiais combustibles para calcular cargas de lume

Sólidos	
Madeira	17,5
Outros materiais celulósicos	20
* Tecido	
* Cortiza	
* Algodón	
* Papel, cartón	
* Seda	
* Palla	
* La	
Carbón	30
* Antracita	
* Carbón	
* Carbón de leña	
Produtos químicos	
Serie de parafinas	50
* Metano	
* Etano	
* Propano	
* Butano	
Serie de olefinas	45
* Etileno	
* Propileno	
* Butano	
Serie de aromáticos	40
* Benceno	
* Tolueno	
Alcosi	30
* Metanol	
* Etanol	
* Alcohol etílico	
Combustibles	45
* Gasolina, petróleo	
* Diésel	
Hidrocarburos plásticos	40
* Polietileno	
* Poliestireno	
* Polipropileno	
Outros produtos	
ABS (plástico)	35
Poliéster (plástico)	30
Polisocianurato e poliuretano (plástico)	25
Policloruro de vinilo, PVC (plástico)	20
Betume, asfalto	40
Coiro	20
Linóleo	20
Pneumático	30
NOTA: os valores que figuran nesta táboa non son aplicables para calcular o contido enerxético dos combustibles.	

A8.4.5 Clasificación das cargas de lume segundo o tipo de actividade

As densidades de cargas de lume variables para diversas edificacións clasificadas segundo a súa actividade, conforme a táboa A8.4.5, están referidas á superficie do solo de cada sector e deberán utilizarse como densidades de carga de lume características $q_{f,k}$ [MJ/m²].

Táboa A8.4.5 – Densidades de carga de lume $q_{f,k}$ [MJ/m²] para diferentes actividades

Actividade	Fractil 80%
Vivenda	650
Hospital (cuarto)	280
Hotel (cuarto)	280
Biblioteca	1.824
Oficina	520
Aula de escola	350
Centro comercial	730
Teatro (cine)	365
Transporte (espazo público)	122
Garaxe	280

A cargas de lume incluídas na táboa A8.4.5 son válidas para recintos normais nas actividades indicadas; zonas que non presenten acumulacións de carga de lume maiores que as propias do uso previsto no que se considera unha mestura de materiais predominantemente celulósicos (relacionados cun coeficiente de combustión $m=0,8$). Os recintos dedicados ao resto de actividades non incluídas na táboa como zonas especiais de almacenamento, actividades industriais, etc. considéranse segundo A8.4.2.

As cargas de lume debidas ao edificio (elementos construtivos, revestimentos e acabamentos) deberán determinarse segundo A8.4.2 e deberán engadirse ás densidades de carga de lume da táboa A8.4.5.

Por outra parte, no RSCIEI pódense encontrar valores medios de cargas de lume para diversas actividades e usos comerciais e de almacén. Multiplicando os ditos valores medios por 1,6 pode obterse o valor característico da carga de lume $q_{f,k}$ para incluír nos cálculos referidos neste anexo.

A8.4.6 Curvas de variación da velocidade de liberación de calor nun incendio

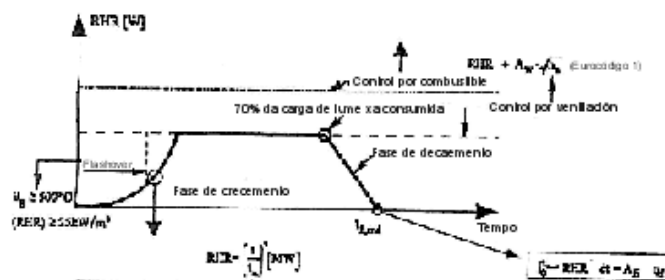


Figura A8.4.6. Curva de variación de xeración de calor. En abscisas represéntase o tempo t en segundos e en ordenadas a velocidade de liberación de calor Q (tamén chamado RHR) en W (J/s)

Na curva da figura, que representa a variación da velocidade de xeración de calor nun incendio en función do tempo transcorrido, distínguense tres fases: de crecemento, estacionaria e de arrefriamento.

A velocidade de liberación de calor (Q en W) na fase de crecemento pode definirse pola expresión:

$$Q = 10^6 \left(\frac{t}{t_\alpha} \right)^2 \quad (\text{A8.4.6})$$

onde:

t Tempo transcorrido en [s].

t_α Considérase constante para cada caso e representa o tempo necesario para alcanzar unha velocidade de liberación de calor de 1 MW. O seu valor para incendios en sectores dedicados a diferentes actividades indícase na táboa A8.4.6.

A curva da fase de crecemento do lume está limitada por unha liña horizontal que corresponde ao estado estacionario cun valor máximo de Q dado por:

$$Q_{\max} = RHR_f A_{fi}$$

onde:

A_{fi} Superficie do sector de incendio [m^2] se a carga de lume está uniformemente distribuída, aínda que pode ser menor en caso de lume localizado.

RHR_f Máxima velocidade de xeración de calor producida en 1 m^2 de lume, en caso de lume controlado polo combustible [kW/m^2] (véxase a táboa A8.4.6).

A liña horizontal, representativa do estado estacionario, está limitada pola fase de arrefriamento. Pódese supor que esta última constitúe un decrecemento lineal que comeza cando o 70% da carga de lume se consumiu e que se completa cando esta se consumiu totalmente.

Se o lume está controlado pola ventilación, o nivel da liña horizontal do estado estacionario debe reducirse en función da cantidade de oxíxeno dispoñible, xa sexa utilizando un programa informático baseado nun modelo dunha zona, ou ben utilizando a expresión aproximada seguinte:

$$Q_{\max} = 0,10 \cdot m \cdot H_u \cdot A_v \cdot \sqrt{h_{eq}} \quad [\text{MW}] \quad (\text{A8.4.7})$$

onde:

A_v Superficie das aberturas [m^2].

h_{eq} Altura media das aberturas [m].

H_u Potencial calorífico neto da madeira, igual a 17,5 MJ/kg.

m Coeficiente de combustión, tomado igual a 0,8.

Cando se reduce o valor máximo de velocidade de xeración de calor de acordo coa formulación anterior, correspondente ao caso de lume controlado pola ventilación, a fase do estado estacionario debe prolongarse para que se corresponda coa enerxía dispoñible, dada pola carga de lume.

Táboa A8.4.6 – Rapidez de desenvolvemento do lume e RHR_f para diferentes actividades

Máxima velocidade de xeración de calor RHR_f			
Actividade	Rapidez de desenvolvemento do lume	t_α [s]	RHR_f [kW/m^2]
Vivenda	Medio	300	250
Hospital (cuarto)	Medio	300	250
Hotel (cuarto)	Medio	300	250
Biblioteca	Rápido	150	500
Oficina	Medio	300	250
Aula de escola	Medio	300	250
Centro comercial	Rápido	150	250
Teatro (cine)	Rápido	150	500
Transporte (espazo público)	Lento	600	250

Os valores do coeficiente de rapidez de desenvolvemento do lume e de RHR_f indicados na táboa A8.4.6 son válidos cando o coeficiente δ_{q2} sexa igual a 1,0 (véxase a táboa A8.4.1.a).

Para un lume de propagación ultrarrápida, a t_α correspóndelle o valor 75 s.

A8.5 Tempo equivalente de exposición ao lume

A formulación dada nesta epígrafe depende do material estrutural. Non é aplicable a estruturas mixtas de aceiro e formigón, nin a estruturas de madeira. Pode utilizarse cando o cálculo dos elementos se fundamenta na exposición ao lume normalizado.

O tempo equivalente de exposición ao lume normalizado defínese por:

$$t_{e,de} = (q_{f,d} \cdot k_b \cdot w_f) k_c \text{ [min]} \quad (\text{A8.5.1})$$

onde:

$q_{f,d}$ Densidade de carga de lume de cálculo segundo A8.4 [MJ/m²].

k_b Factor de conversión relacionado coas propiedades térmicas dos materiais que forman o contorno do recinto de incendio.

w_f Coeficiente de ventilación logo definido (adimensional).

k_c Factor de corrección función do material que constitúe a estrutura, segundo a táboa A8.5.a.

Táboa A8.5.a – Factor de corrección k_c correspondente a diferentes materiais estruturais. (O é o coeficiente de aberturas definido en A8.6.1).

Material da sección	Factor de corrección k_c
Formigón armado	1,0
Aceiro protexido	1,0
Aceiro non protexido	13,7 · O

Cando non se realice unha avaliación detallada das propiedades térmicas do contorno, o factor de conversión k_b pode tomarse:

$$k_b = 0,07 \text{ [min} \cdot \text{m}^2/\text{MJ}] \quad (\text{A8.5.2})$$

Con maior precisión k_b pódese fixar en función das propiedades térmicas do contorno $b = \sqrt{(\rho \cdot c \cdot \lambda)}$ segundo a táboa A8.5.b.

Para determinar b e en caso de materiais dispostos en varias capas ou para paredes, solos ou teitos compostos por diferentes materiais, véxase a táboa A8.5.b.

Táboa A8.5.b. Factor de conversión k_b función das propiedades térmicas do contorno

$b = \sqrt{(\rho \cdot c \cdot \lambda)}$ [J/m ² s ^{1/2} K]	k_b [min · m ² /MJ]
$b > 2.500$	0,04
$720 \leq b \leq 2.500$	0,055
$b < 720$	0,07

O coeficiente de ventilación pode calcularse como:

$$w_f = (6,0 / H)^{0,3} [0,62 + 90 (0,4 - \alpha_v)^4 / (1 + b_v \alpha_h)] \geq 0,5 \quad (\text{A8.5.3})$$

onde:

$\alpha_v = A_v/A_f$ Relación entre a superficie das aberturas verticais da fachada (A_v) e a superficie de solo do sector de incendio (A_f), debendo observarse os límites $0,025 \leq \alpha_v \leq 0,25$.

$\alpha_h = A_h/A_f$ Relación entre a superficie das aberturas horizontais da cuberta (A_h) e a superficie de solo do sector de incendio (A_f).

$$b_v = 12,5 (1 + 10 \alpha_v - \alpha_v^2) \geq 10,0$$

H Altura do sector de incendio [m].

Para sectores de incendio pequenos ($A_f < 100 \text{ m}^2$) sen aberturas na cuberta, o factor w_f pode tamén calcularse como:

$$w_f = \text{ou }^{-1/2} \cdot A_f / A_t \text{ onde:}$$

O Coeficiente de aberturas conforme a A8.6.1.

O tempo de incendio normalizado a adoptar nos procedementos de comprobación "simplificados" do capítulo XII desta instrución é:

$t = t_{fi,requ} = t_{fi,nom}$, ou ben $t_{fi,requ} = \text{mínimo} (t_{fi,nom}, \gamma_q t_{e,d})$ cando o parágrafo b) de A8.2.1 sexa de aplicación, sendo:

γ_q Coeficiente parcial de seguridade que ten en conta as consecuencias previsibles do incendio, segundo a táboa A8.5.c que, se non se incluíu no valor de cálculo da densidade de carga de lume obtida segundo (A8.4.1) debe introducirse neste punto.

As dúas formulacións de comprobación da seguridade ante o incendio normalizado expostos no artigo 46º desta instrución (comprobación directa de solicitacións ou comprobación no dominio das temperaturas, baixo as condicións alí expresadas) admiten obviamente unha terceira formulación alternativa (comprobación de tempos equivalentes de incendio), na forma seguinte:

$$t_{fi,requ} < t_{fi,d}$$

onde:

$t_{fi,d}$ Valor de cálculo da resistencia ao lume normalizado dos elementos, ou duración del para o cal se alcanza o estado límite resistente dos elementos estruturais,

$E_{fi,d}/R_{fi,d,t} = 1$, conforme o capítulo XII desta instrución relativas ao cálculo en situación de incendio.

Táboa A8.5.c Valores de γ_q polas posibles consecuencias do incendio, segundo altura de evacuación do edificio.

Altura de evacuación	γ_q
Edificios con altura de evacuación descendente de máis de 28m ou ascendente de máis dunha planta	2,0
Edificios con altura de evacuación descendente entre 15 e 28m ou ascendente de máis de ata 2,8 m. Garaxes baixo outros usos	1,5
Edificios con altura de evacuación descendente de menos de 15 m	1,0

No caso de edificios en que non sexa admisible que poidan quedar fóra de servizo ou en que poida haber un número elevado de vítimas en caso de incendio, como nos hospitais, os valores indicados deben ser multiplicados por 1,5.

A8.6 Modelos de lume simplificados

Distínguense dous tipos:

- a) “Lumes de sector”, para os que se supón alcanzada unha distribución uniforme da temperatura, en función do tempo, no sector de incendio. As temperaturas do gas do recinto deben determinarse en función de parámetros físicos apropiados, considerando ao menos a densidade de carga de lume e as condicións de ventilación. Para elementos interiores aos sectores, ofrécese un método de cálculo da temperatura do gas do recinto en A8.6.1.

Para os elementos exteriores, a compoñente de radiación do fluxo de calor debe calcularse como a suma das achegas do sector de incendio e das chamas que saen polas aberturas.

- b) “Lumes localizados”, cando sexa improbable que se alcance a inflamación súbita xeneralizada (*flash-over*) dos materiais acumulados no sector de incendio. Nestes modelos de incendio, suponse unha distribución non uniforme de temperaturas. En A8.6.2 achégase un método de cálculo das accións térmicas dos lumes localizados. En A8.4.6 indícase un método para o cálculo da velocidade de liberación de calor Q .

Cando se utilicen estes modelos de lume simplificados, como coeficiente de transferencia de calor por convección debe adoptarse $\alpha_c = 35$ [W/m² K].

A8.6.1 Curvas paramétricas tempo-temperatura

As seguintes curvas tempo-temperatura son válidas para sectores de incendio cuxa superficie construída non exceda de 500 m², sen aberturas na cuberta e cunha altura máxima de 4 m. Sponse a combustión completa de toda a carga de lume.

Se ao aplicar o procedemento dado nesta epígrafe se introduce o valor de cálculo da densidade de carga de lume $q_{f,de}$ obtida segundo (A8.4.1) e non se tiveron en conta entón

ou por outros procedementos as consecuencias do derrubamento do edificio, debe multiplicarse o dito valor polo coeficiente parcial de seguridade γ_g dado na táboa A8.5.c.

Temperatura dos gases no sector

As curvas tempo-temperatura da fase de quentamento defínense por:

$$\Theta_g = 20 + 1.325 (1 - 0,324 e^{-0,2 t^*} - 0,204 e^{-1,7 t^*} - 0,472 e^{-19 t^*}) \quad (\text{A8.6.1})$$

onde:

$$\begin{aligned} \Theta_g & \text{ Temperatura dos gases no sector de incendio} && [^\circ\text{C}] \\ t^* & = t \cdot \Gamma && [\text{h}] \end{aligned} \quad (\text{A8.6.2})$$

con:

$$\begin{aligned} t & \text{ Tempo de incendio transcorrido} && [\text{h}] \\ \Gamma & = [O/b]^2 / (0,04 / 1.160)^2 && [-] \\ b & = \sqrt{(\rho c \lambda)} && \\ & \text{cos seguintes límites: } 100 \leq b \leq 2.200 && [\text{J/m}^2 \text{ s}^{1/2} \text{ K}] \end{aligned}$$

ρ Densidade dos elementos construtivos que conforman o contorno interior do sector de incendio [kg/m^3].

c Calor específico dos elementos da envolvente do sector de incendio [J/kg K].

λ Conducividade térmica dos elementos do contorno do sector de incendio [W/m K].

$$O \text{ Coeficiente de aberturas: } A_v \sqrt{h_{eq}} / A_t \quad [\text{m}^{1/2}]$$

cos seguintes límites: $0,02 \leq$ ou $\leq 0,20$

A_v Superficie total das aberturas verticais de todos os muros perimetrais do sector [m^2].

h_{eq} Media ponderada de altura das aberturas de todos os muros [m].

A_t Superficie total do contorno (muros, teito e solo, incluídas as aberturas) [m^2].

Para calcular o coeficiente b poden tomarse os valores a temperatura ambiente da densidade ρ , da calor específica c e da conducividade térmica λ dos elementos correspondentes.

En caso de $\Gamma = 1$, a ecuación (A8.6.1) aproxímase á curva normalizada tempo-temperatura.

Para un cerramento con varias capas de materiais, o parámetro $b = \sqrt{(\rho c \lambda)}$ debe introducirse da seguinte forma:

- Se $b_1 < b_2$, $b = b_1$ (A8.6.3)

- Se $b_1 > b_2$ calcúlase un grosor límite s_{lim} para o material exposto, conforme:

$$s_{lim} = \sqrt{\frac{3600 t_{max} \lambda_1}{c_1 \rho_1}} \text{ con } t_{max} \text{ dado pola ecuación (A.6.6.7) [m]} \quad (A8.6.4)$$

Se $s_1 > s_{lim}$ entón $b = b_1$ (A8.6.4a)

Se $s_1 < s_{lim}$ entón $b = \frac{s_1}{s_{lim}} b_1 + \left(1 - \frac{s_1}{s_{lim}}\right) b_2$ (A8.6.4b)

onde:

O índice 1 asígnase á capa directamente exposta ao lume, o índice 2 á capa seguinte, etc.

s_i Grosor da capa i .

$$b_i = \sqrt{(\rho_i c_i \lambda_i)}$$

ρ_i Densidade da mesma capa.

c_i É a súa calor específica.

λ_i É a súa condutividade térmica.

A media de diferentes coeficientes $b = \sqrt{(\rho c \lambda)}$ das paredes, teitos e solos debe efectuarse da forma seguinte:

$$b = (\sum (b_j A_j)) / (A_t - A_v) \quad (A8.6.5)$$

onde:

A_j Superficie do elemento de cerramento j , excluídas as aberturas.

b_j Propiedade térmica do elemento j conforme as ecuacións (A8.6.3) e (A8.6.4).

Tempo necesario para que os gases alcancen a temperatura máxima

A temperatura máxima Θ_{max} na fase de quentamento ten lugar para $t^* = t_{max}^*$ dado por:

$$t_{max}^* = t_{max} \cdot \Gamma \quad [h] \quad (A8.6.6)$$

$$\text{con } t_{max} = \max [(0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,de} / O); t_{lim}] \quad [h] \quad (A8.6.7)$$

onde:

$q_{t,d}$ Valor de cálculo da densidade de carga de lume referida á superficie total A_t do contorno do sector $q_{t,de} = q_{f,de} \cdot A_f / A_t$ [MJ/m²]. Débense observar os seguintes límites: $50 \leq q_{t,de} \leq 1.000$ [MJ/m²].

$q_{f,d}$ Valor de cálculo da densidade de carga de lume referida á superficie do solo do sector A_f [MJ/m²], multiplicada polo factor γ_q se se calculou con (A8.4.1).

t_{lim} en [h]. Para lumes de desenvolvemento lento, $t_{lim} = 25$ min; para lumes de desenvolvemento medio, $t_{lim} = 20$ min e para lumes de desenvolvemento rápido, $t_{lim} = 15$ min. Para máis detalles sobre a rapidez de desenvolvemento do lume, véxase A8.4.6.

Se t_{max} vén dado por $(0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,de} / O)$ o lume está controlado pola ventilación.

Cando o lume estea controlado polo combustible, o tempo t_{max} correspondente á temperatura máxima vén dado por t_{lim} , $t_{max} = t_{lim}$, a variable t^* da ecuación (A8.6.1) substitúese por:

$$t^* = t \cdot \Gamma_{lim} \text{ [h]} \quad (\text{A8.6.2b})$$

$$\text{con: } \Gamma_{lim} = [O_{lim} / b]^2 / (0,04 / 1.160)^2 \quad (\text{A8.6.8})$$

$$\text{onde: } O_{lim} = 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,de} / t_{lim} \quad (\text{A8.6.9})$$

Se $(O > 0,04$ e $q_{t,de} < 75$ e $b < 1.160)$, Γ_{lim} en (A8.6.8) ten que multiplicarse por k dado por:

$$k = 1 + \left(\frac{O - 0,04}{0,04} \right) \left(\frac{q_{t,d} - 75}{75} \right) \left(\frac{1160 - b}{1160} \right) \quad (\text{A8.6.10})$$

Fase de arrefriamento

As curvas tempo-temperatura na fase de arrefriamento veñen dadas por:

$$\Theta_g = \Theta_{max} - 625 (t^* - t^*_{max} \cdot x) \quad \text{para } t^*_{max} \leq 0,5 \quad (\text{A8.6.11a})$$

$$\Theta_g = \Theta_{max} - 250 (3 - t^*_{max} \cdot x) (t^* - t^*_{max} \cdot x) \quad \text{para } 0,5 < t^*_{max} < 2 \quad (\text{A8.6.11b})$$

$$\Theta_g = \Theta_{max} - 250 (t^* - t^*_{max} \cdot x) \quad \text{para } t^*_{max} \geq 2 \quad (\text{A8.6.11c})$$

onde: t^* vén dado por (A8.6.2a).

$$t^*_{max} = (0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,de} / O) \cdot \Gamma \quad (\text{A8.6.12})$$

$x = 1,0$ se $t_{max} > t_{lim}$, ou ben $x = t_{lim} \cdot \Gamma / t^*_{max}$ se $t_{max} = t_{lim}$

A8.6.2 Lumes localizados

A acción térmica dun lume localizado sobre un elemento estrutural debe calcularse mediante a expresión (A8.2.1), baseándose nun factor de forma Φ que teña en conta os efectos de posición e de sombra este factor mide a fracción da calor total emitida por radiación por unha superficie radiante que chega a unha determinada superficie receptora. Cando non se dispoña de datos concretos para o seu cálculo pódese adoptar o valor 1 que é o seu límite superior.

O fluxo de calor dun lume localizado sobre elementos estruturais horizontais situados por encima do incendio, pode determinarse aplicando o método que se ofrece nesta epígrafe. As regras dadas son válidas se se cumpren as seguintes condicións:

- O diámetro do lume está limitado por $D \leq 10$ m;
- a velocidade de liberación de calor do lume está limitada por $Q \leq 50$ MW.

Establécense 2 casos diferentes en función da altura relativa das chamas respecto do teito:

a) As chamas non alcanzan o teito tal como se define na figura A8.6.1

b) A altura das chamas alcanzou o teito segundo a figura A8.6.2.a.

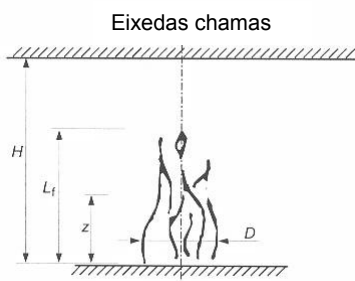


Figura A8.6.2.a.

A lonxitude das chamas L_f dun lume localizado vén dada por:

$$L_f = -1,02 D + 0,0148 Q^{2/5} \quad [\text{m}] \quad (\text{A8.6.13})$$

onde:

D "Diámetro do lume" [m] indicado na figura A8.6.1.

Q Velocidade de liberación de calor [W] do lume conforme a A8.4.6.

H Distancia [m] entre o foco de lume e o teito.

Caso a) (véxase a figura A8.6.2.a): cando as chamas non alcanzan o teito do sector de incendio ($L_f < H$) ou en caso dun lume ao aire libre, calcúlase:

A temperatura $\Theta_{(z)}$ do penacho ao longo do seu eixe vertical de simetría que vén dada por:

$$\Theta_{(z)} = 20 + 0,25 Q_c^{2/3} (z - z_0)^{-5/3} \leq 900 \quad [^\circ\text{C}] \quad (\text{A8.6.14})$$

onde:

Q_c Compoñente de convección da velocidade de liberación de calor [W] sendo por defecto $Q_c = 0,8 Q$

z Altura [m] medida sobre o eixe das chamas.

z_0 Orixe virtual do eixe que vén dado por:

$$z_0 = -1,02 D + 0,00524 Q^{2/5} \quad [\text{m}] \quad (\text{A8.6.15})$$

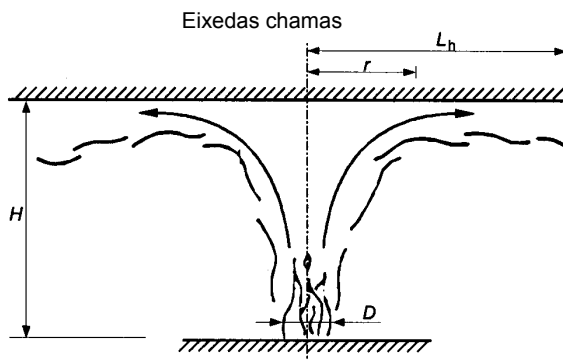


Figura A8.6.2.b.

Caso b) (véxase a figura A8.6.2.b). Cando as chamas alcanzan o teito ($L_f \geq H$), calcúlase:

O fluxo de calor h [W/m^2] recibido por radiación na unidade de superficie exposta ao lume á altura do teito que vén dado polas tres expresións en función do valor do parámetro y :

$$\begin{aligned} h &= 100.000 && \text{Se } e \leq 0,30 \\ h &= 136.000 - 121.000 y && \text{Se } 0,30 < e < 1,0 \\ h &= 15.000 y^{-3,7} && \text{Se } e \geq 1,0 \end{aligned} \quad (\text{A8.6.16})$$

$$\text{sendo: } y = \frac{r + H + z'}{L_h + H + z'} \quad [-]$$

onde:

r Distancia horizontal [m] entre o eixe vertical do lume e o punto do teito para o que se calcula o fluxo de calor.

H Distancia [m] entre o foco do lume e o teito.

L_h Lonxitude horizontal das chamas dada pola seguinte relación:

$$L_h = (2,9 H (Q_H^*)^{0,33}) - H \quad [m] \quad (A8.6.17)$$

Q_H^* Factor adimensional de liberación de calor, dado por:

$$Q_H^* = Q / (1,11 \cdot 10^6 \cdot H^{2,5}) \quad [-] \quad (A8.6.18)$$

z' Posición vertical do foco virtual de calor [m] e vén dada por:

$$z' = 2,4 D (Q_D^{*2/5} - Q_D^{*2/3}) \text{ cando } Q_D^* < 1,0 \quad (A8.6.19)$$

$$z' = 2,4 D (1,0 - Q_D^{*2/5}) \text{ cando } Q_D^* \geq 1,0$$

$$\text{sendo: } Q_D^* = Q / (1,11 \cdot 10^6 \cdot D^{2,5}) \quad [-] \quad (A8.6.20)$$

A acción térmica, representada polo fluxo neto de calor \dot{h}_{net} recibido pola unidade de superficie do elemento exposto ao lume á altura do teito, vén dado por:

$$\dot{h}_{net} = \dot{h} - \alpha \cdot (\Theta_m - 20) - \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot [(\Theta_m + 273)^4 - (293)^4] \quad [W/m^2] \quad (A8.6.21)$$

Onde os diversos coeficientes dependen das expresións (A8.2.2), (A8.2.3) e (A8.6.16).

Para obter os diferentes fluxos térmicos $\dot{h}_1, \dot{h}_2, \dots$ recibidos pola unidade de superficie exposta ao lume á altura do teito no caso de que existan varios lumes localizados separados, pode utilizarse a expresión (A8.6.16). Para o fluxo térmico total pode adoptarse:

$$\dot{h}_{tot} = \dot{h}_1 + \dot{h}_2 \dots \leq 100.000 \quad [W/m^2] \quad (A8.6.22)$$

A8.7 Modelos de lume avanzados

Excepto cando se dispoña de información máis detallada, débese adoptar o coeficiente de transferencia de calor por convección $\alpha_c = 35 [W/m^2 K]$.

A8.7.1 Modelos dunha zona

Débese aplicar un modelo dunha zona ás situacións posteriores á inflamación súbita xeneralizada (*flash-over*). A temperatura, a densidade, a enerxía interna e a presión do aire supóñense homoxéneas no sector de incendio considerado.

A temperatura pode calcularse tendo en conta:

- A resolución das ecuacións de conservación de masa e enerxía;
- o intercambio de masa entre o gas interior, o aire exterior (a través das aberturas) e o lume (velocidade de pirólise);
- o intercambio de enerxía entre o lume, o gas interior, as paredes e as aberturas.

A lei de gases perfectos a considerar é a seguinte:

$$P_{\text{int}} = \rho_g R T_g \quad [\text{N/m}^2] \quad (\text{A8.7.1})$$

O balance de masa dos gases do sector exprésase como:

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_{\text{in}} - \dot{m}_{\text{out}} + \dot{m}_{\text{fi}} \quad [\text{kg/s}] \quad (\text{A8.7.2})$$

onde:

$$\frac{dm}{dt} \quad \text{Perda de masa do gas no sector na unidade de tempo.}$$

$$\dot{m}_{\text{out}} \quad \text{Masa de gas que sae polas aberturas na unidade de tempo.}$$

$$\dot{m}_{\text{in}} \quad \text{Masa de aire que entra polas aberturas na unidade de tempo.}$$

$$\dot{m}_{\text{fi}} \quad \text{Masa dos produtos xerados pola pirólise na unidade de tempo.}$$

A perda de masa do gas e a masa de produtos xerados pola pirólise poden desprezarse. Por tanto:

$$\dot{m}_{\text{in}} = \dot{m}_{\text{out}} \quad (\text{A8.7.3})$$

Estes fluxos de masa poden calcularse a partir da presión estática debida á diferenza de densidade do aire a temperatura ambiente e a alta temperatura.

O balance enerxético dos gases no sector de incendio pode considerarse como:

$$\frac{dE_g}{dt} = Q - Q_{\text{out}} + Q_{\text{in}} - Q_{\text{wall}} - Q_{\text{rad}} \quad [\text{W}] \quad (\text{A8.7.4})$$

onde

$$E_g \quad \text{Enerxía interna do gas.} \quad [\text{J}]$$

$$Q \quad \text{Velocidade de liberación de calor do lume.} \quad [\text{W}]$$

$$Q_{\text{out}} = \dot{m}_{\text{out}} c T_f$$

$$Q_{\text{in}} = \dot{m}_{\text{in}} c T_{\text{amb}}$$

$Q_{\text{wall}} = (A_t - A_{h,v}) h_{\text{net}}$, perda de enerxía polas superficies do contorno.

$Q_{\text{rad}} = A_{h,v} \sigma T_f^4$, perda de enerxía por radiación a través das aberturas.

onde:

c Calor específica [J/kgK]

h_{net} Vén dado pola expresión (A8.2.1).

m Velocidade de variación de masa do gas [kg/s]

T Temperatura [K]

A8.7.2 Modelos de dúas zonas

Un modelo de dúas zonas baséase na hipótese de que os produtos de combustión se acumulan nunha capa baixo o teito, cunha superficie de separación horizontal. Defínense diferentes zonas: a capa superior, a capa inferior, o lume e o seu penacho, o aire exterior e as paredes.

Na capa superior, as características do gas pódense supor uniformes.

Os intercambios de masa, enerxía e substancia química poden calcularse entre as zonas citadas.

Nun determinado sector con carga de lume uniformemente distribuída, un modelo de dúas zonas pode converterse nun dunha zona nunha das situacións seguintes:

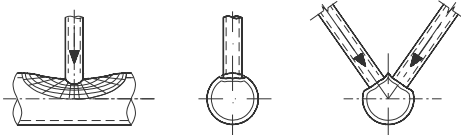
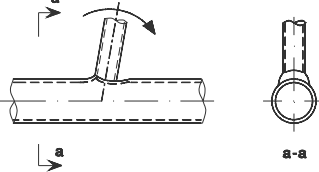
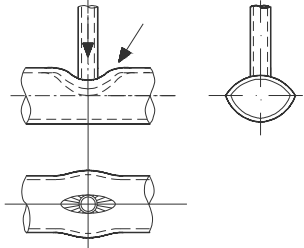
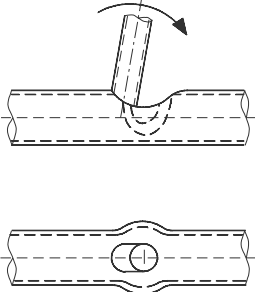
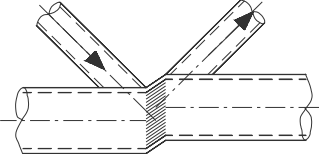
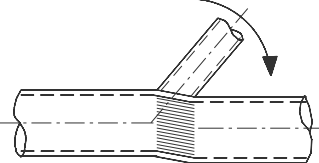
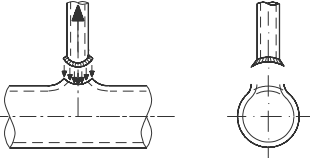
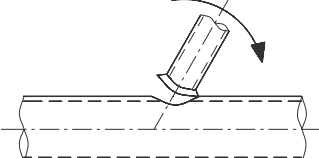
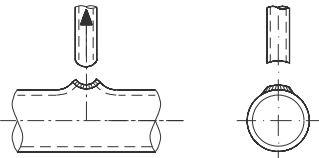
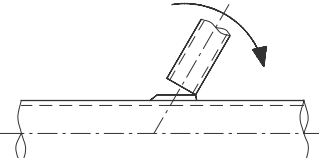
- Se a temperatura do gas da capa superior supera 500 °C,
- Se a altura da capa superior aumenta ata supor o 80% da altura do sector.

A8.7.3 Modelos informáticos de dinámica de fluídos

Pode utilizarse un modelo informático de dinámica de fluídos para resolver numericamente as ecuacións en derivadas parciais, dadas as variables termodinámicas e aerodinámicas para todos os puntos do sector. Estas ecuacións son a expresión matemática das leis de conservación da física:

- Consérvase a masa do fluído;
- a variación da cantidade de movemento de cada partícula de fluído é igual á suma das forzas exercidas sobre ela (segunda lei de Newton);
- a variación da enerxía é igual á suma da taxa de quentamento e a taxa de traballo realizado sobre cada partícula de fluído (primeira lei da termodinámica).

Anexo 9: Unións directas de perfís tubulares

Modo	Esfuerzo axial	Momento flector
a		
b		
c		
d		
e		

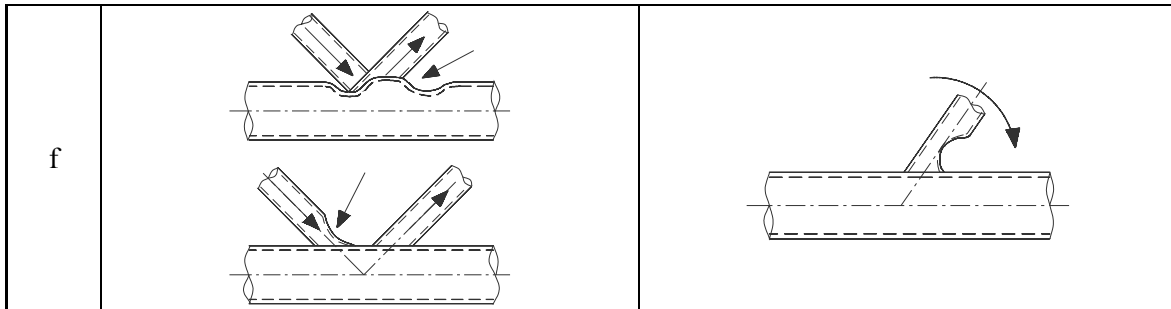


Figura A-9-1: Modos de esgotamento para unións entre perfís SHC

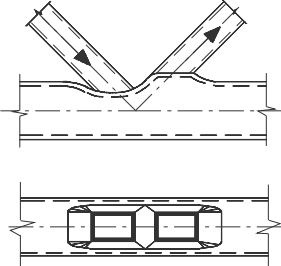
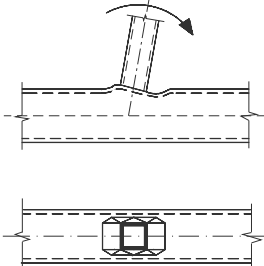
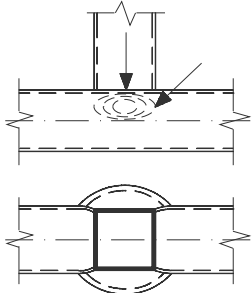
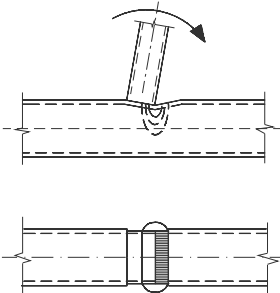
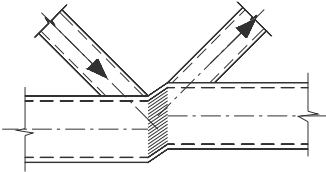
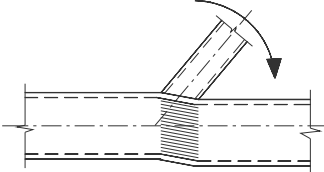
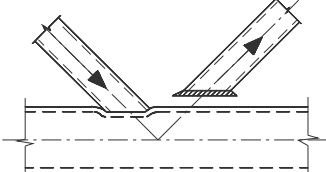
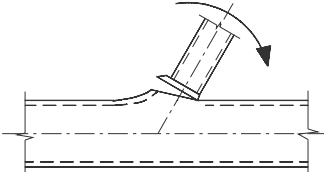
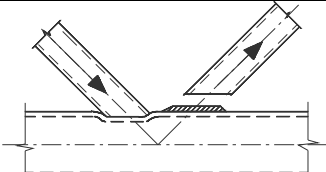
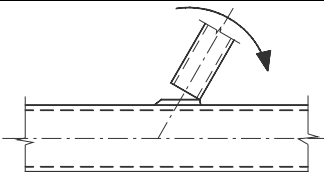
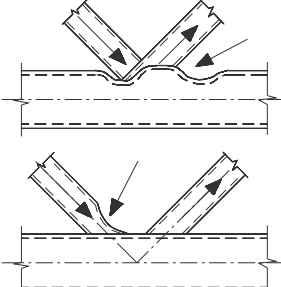
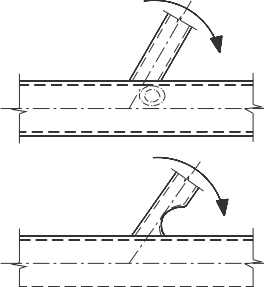
Modo	Esfuerzo axial	Momento flector
a		
b		
c		
d		
e		
f		

Figura A-9-2: Modos de esgotamento para unións entre diagonais ou montantes SHR e cordóns SHR

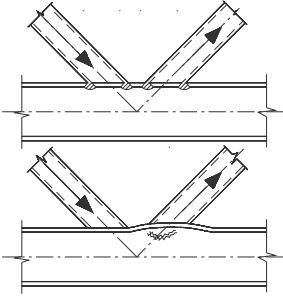
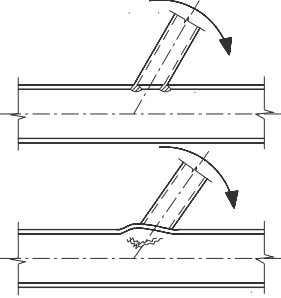
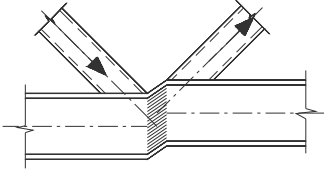
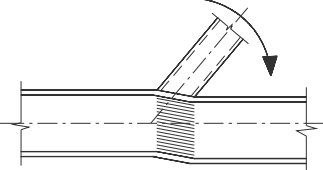
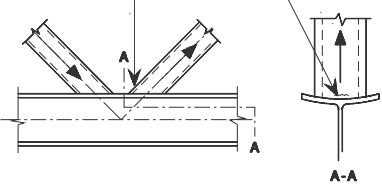
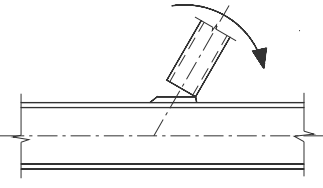
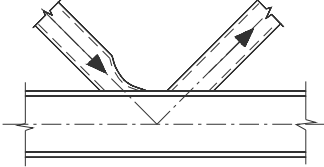
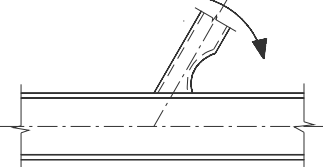
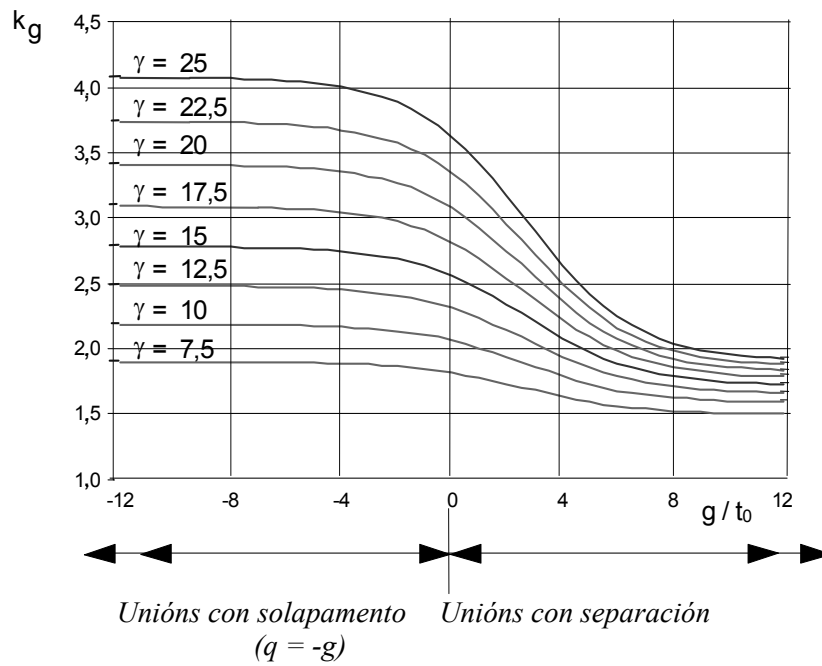
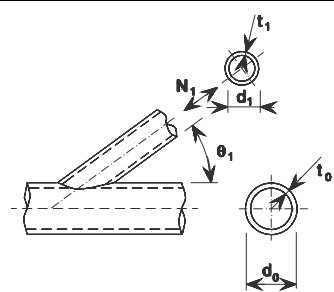
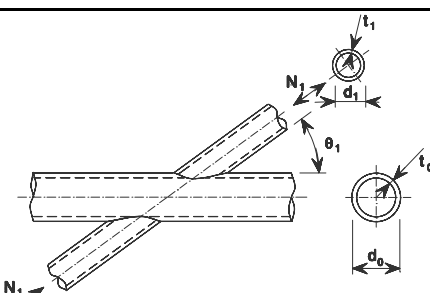
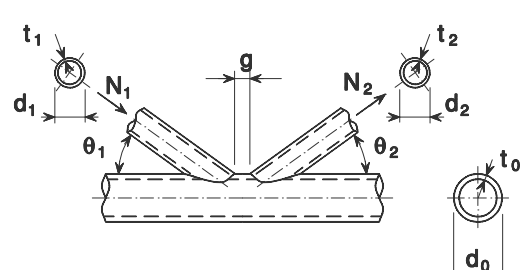
Modo	Esfuerzo axial	Momento flector
a	—	—
b		
c		
d	—	—
e		
f		

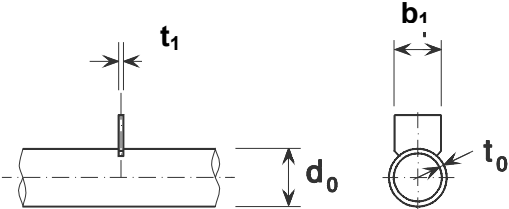
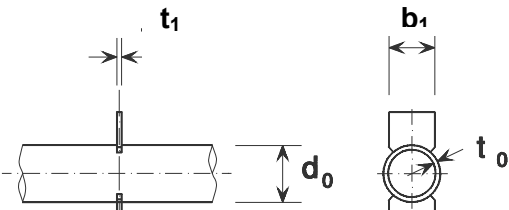
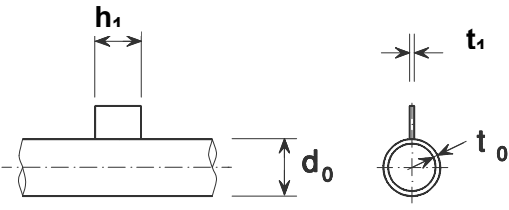
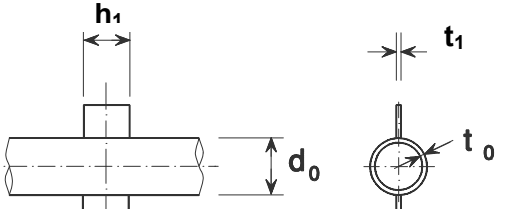
Figura A-9-3: Modos de esgotamento para unión entre diagonais ou montantes SHC ou SHR e cordóns de sección en I ou H

Figura A-9-4: Valores do coeficiente k_g para utilizar na táboa A-9-1

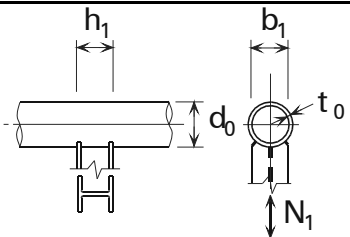
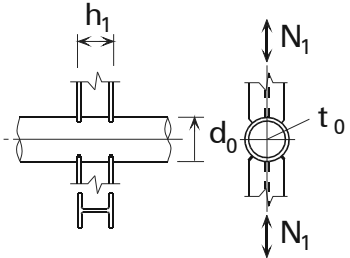
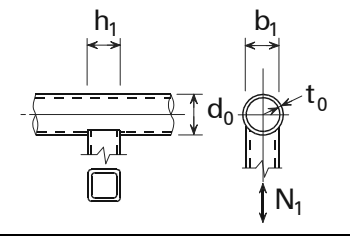
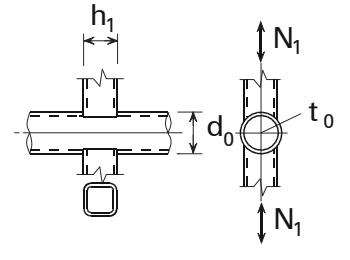
Táboa A-9-1: Resistencia de cálculo de unións soldadas entre diagonais ou montantes SHC e cordóns SHC

Esgotamento da cara do cordón - Unións en Y e T	
	$N_{1,Rd} = \frac{\gamma^{0,2} k_p f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} (2,8 + 14,2 \beta^2) / \gamma_{M5}$
Esgotamento da cara do cordón - Unións en X	
	$N_{1,Rd} = \frac{k_p f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} \frac{5,2}{(1 - 0,81 \beta)} / \gamma_{M5}$
Esgotamento da cara do cordón - Unións en K e N con separación ou solapamento	
	$N_{1,Rd} = \frac{k_g k_p f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} \left(1,8 + 10,2 \frac{d_1}{d_0} \right) / \gamma_{M5}$ $N_{2,Rd} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} N_{1,Rd}$
Esgotamento por punzonamento - Unións en K, N e KT con separación e unións en T, Y e X [i = 1, 2 ó 3]	
Cando $d_i \leq d_0 - 2t_0$: $N_{i,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \pi d_i \frac{1 + \sin \theta_i}{2 \sin^2 \theta_i} / \gamma_{M5}$	
Factores k_g e k_p	
$k_g = \gamma^{0,2} \left(1 + \frac{0,024 \gamma^{1,2}}{1 + \exp(0,5g/t_0 - 1,33)} \right)$ <p style="text-align: right;">(véxase figura A-9-4)</p>	
Para $n_p > 0$ (compresión): $k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p)$ pero $k_p \leq 1,0$ Para $n_p \leq 0$ (tracción): $k_p = 1,0$	

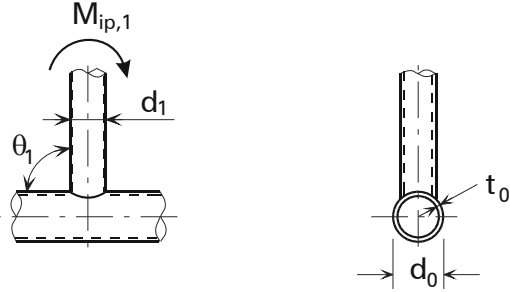
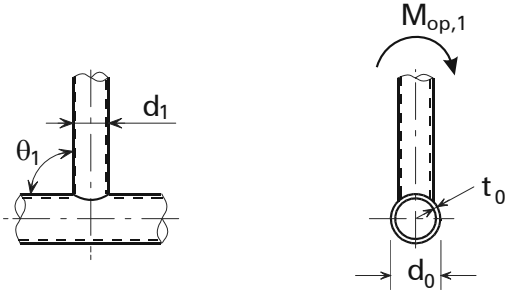
Táboa A-9-2: Resistencia de cálculo de unións soldadas entre placas e perfís SHC

Esgotamento da cara do cordón	
	$N_{1,Rd} = k_p f_{y0} t_0^2 (4 + 20\beta^2) / \gamma_{M5}$ $M_{1p,1,Rd} = 0$ $M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd}$
	$N_{1,Rd} = \frac{5k_p f_{y0} t_0^2}{1 - 0,81\beta} / \gamma_{M5}$ $M_{1p,1,Rd} = 0$ $M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd}$
	$N_{1,Rd} = 5k_p f_{y0} t_0^2 (1 + 0,25\eta) / \gamma_{M5}$ $M_{1p,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd}$ $M_{op,1,Rd} = 0$
	$N_{1,Rd} = 5k_p f_{y0} t_0^2 (1 + 0,25\eta) / \gamma_{M5}$ $M_{1p,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd}$ $M_{op,1,Rd} = 0$
Esgotamento por punzonamento	
$\sigma_{\max} t_1 = (N_{Ed,1} / A_1 + M_{Ed,1} / W_{el,1}) t_1 \leq 2t_0 (f_{y0} / \sqrt{3}) / \gamma_{M5}$	
Rango de validez	Factor k_p
Ademais dos límites dados na táboa 64.6.1:	Para $n_p > 0$ (compresión):
$\beta \geq 0,4$ y $\eta \leq 4$	$k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p)$ pero $k_p \leq 1,0$
onde $\beta = b_1 / d_0$ y $\eta = h_1 / d_0$	Para $n_p \leq 0$ (tracción): $k_p = 1,0$

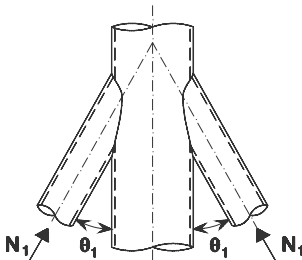
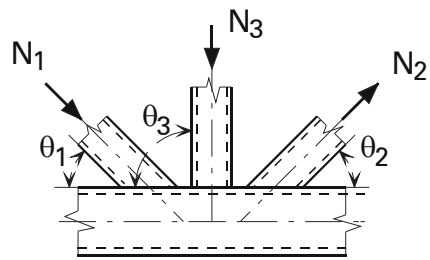
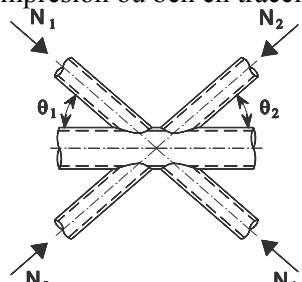
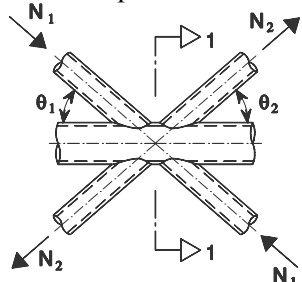
Táboa A-9-3: Resistencia de cálculo de unións soldadas entre diagonais ou montantes de sección en I, H ou SHR e perfís SHC

Esgotamento da cara do cordón	
	$N_{1,Rd} = k_p f_{y0} t_0^2 (4 + 20\beta^2)(1 + 0,25\eta) / \gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd} / (1 + 0,25\eta)$ $M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd}$
	$N_{1,Rd} = \frac{5k_p f_{y0} t_0^2}{1 - 0,81\beta} (1 + 0,25\eta) / \gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd} / (1 + 0,25\eta)$ $M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd}$
	$N_{1,Rd} = k_p f_{y0} t_0^2 (4 + 20\beta^2)(1 + 0,25\eta) / \gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd}$ $M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd}$
	$N_{1,Rd} = \frac{5k_p f_{y0} t_0^2}{1 - 0,81\beta} (1 + 0,25\eta) / \gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd}$ $M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd}$
Esgotamento por esforzo cortante e punzonamento	
Perfís I ou H con $\eta > 2$ (para carga axial de compresión e momentos fóra do plano) e seccións SHR :	
$\sigma_{\max} t_1 = (N_{Ed,1} / A_1 + M_{Ed,1} / W_{el,1}) t_1 \leq t_0 (f_{y0} / \sqrt{3}) / \gamma_{M5}$	
Resto de casos:	
$\sigma_{\max} t_1 = (N_{Ed,1} / A_1 + M_{Ed,1} / W_{el,1}) t_1 \leq 2t_0 (f_{y0} / \sqrt{3}) / \gamma_{M5}$	
Onde t_1 é o espesor da ala do perfil en I ou H transversal, ou do perfil tubular.	
Rango de validez	Factor k_p
Ademais dos límites dados na táboa 64.6.1:	Para $n_p > 0$ (compresión):
$\beta \geq 0,4$ y $\eta \leq 4$	$k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p)$ pero $k_p \leq 1,0$
onde $\beta = b_1 / d_0$ y $\eta = h_1 / d_0$	Para $n_p \leq 0$ (tracción): $k_p = 1,0$

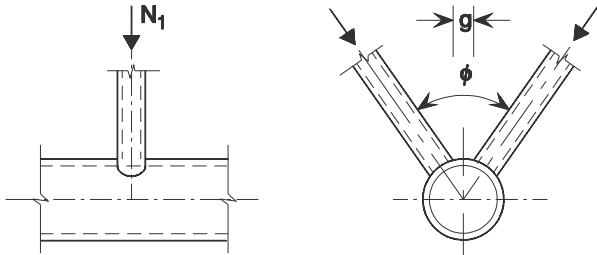
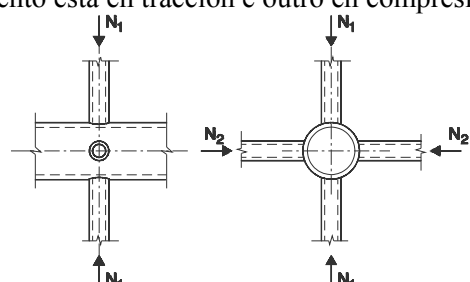
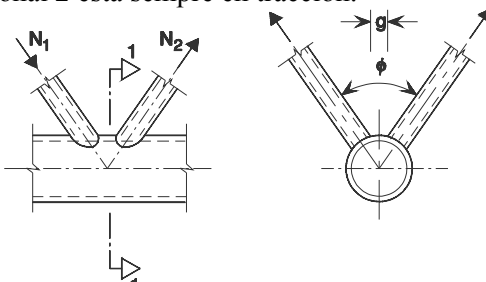
Táboa A-9-4: Momentos resistentes de cálculo en unións soldadas entre diagonais ou montantes SHC e cordóns SHC

Esgotamento da cara do cordón - Unións en T, X, e Y	
	$M_{ip,1,Rd} = 4,85 \frac{f_{y0} t_0^2 d_1}{\sin \theta_1} \sqrt{\gamma} \beta k_p / \gamma_{M5}$
Esgotamento da cara do cordón - Unións en K, N, T, X, e Y	
	$M_{op,1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0^2 d_1}{\sin \theta_1} \frac{2,7}{1 - 0,81\beta} k_p / \gamma_{M5}$
Esgotamento por punzonamento - Unións en K e N con separación e unións en T, X e Y	
Cando $d_1 \leq d_0 - 2t_0$:	
$M_{ip,1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0 d_1^2}{\sqrt{3}} \frac{1 + 3 \sin \theta_1}{4 \sin^2 \theta_1} / \gamma_{M5}$	
$M_{op,1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0 d_1^2}{\sqrt{3}} \frac{3 + \sin \theta_1}{4 \sin^2 \theta_1} / \gamma_{M5}$	
Factor k_p	
Para $n_p > 0$ (compresión): $k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p)$ pero $k_p \leq 1,0$ Para $n_p \leq 0$ (tracción): $k_p = 1,0$	

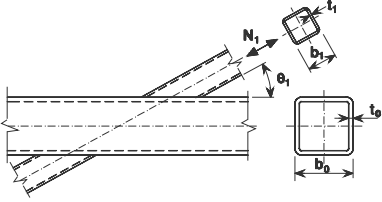
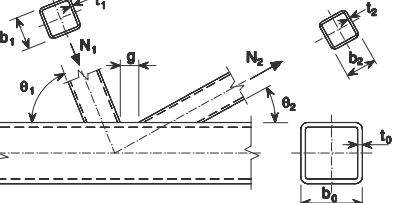
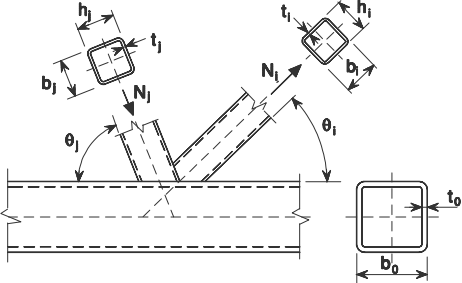
Táboa A-9-5: Criterios de cálculo para tipos especiais de unións soldadas entre diagonais ou montantes SHC e cordóns SHC

Tipo de unión	Criterios de cálculo
<p>Os esforzos poden ser de tracción ou de compresión, pero deberían actuar na mesma dirección en ambos os elementos.</p> 	$N_{1,Ed} \leq N_{1,Rd}$ <p>onde $N_{1,Rd}$ é o valor de $N_{1,Rd}$ para unha unión en X conforme a táboa A-9-1.</p>
<p>Elementos 1 e 3 están aquí en compresión e a diagonal 2 está aquí a tracción.</p> 	$N_{1,Ed} \sin \theta_1 + N_{3,Ed} \sin \theta_3 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$ $N_{2,Ed} \sin \theta_2 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$ <p>onde $N_{1,Rd}$ é o valor de $N_{1,Rd}$ para unha unión en K conforme a táboa A-9-1 pero con $\frac{d_1}{d_0}$ substituído por:</p> $\frac{d_1 + d_2 + d_3}{3d_0}$
<p>Todas as diagonais deberían estar sempre ou ben en compresión ou ben en tracción.</p> 	$N_{1,Ed} \sin \theta_1 + N_{2,Ed} \sin \theta_2 \leq N_{x,Rd} \sin \theta_x$ <p>onde $N_{x,Rd}$ é o valor de $N_{x,Rd}$ para unha unión en X conforme a táboa A-9-1, sendo $N_{x,Rd} \sin \theta_x$ o maior de:</p> $ N_{1,Rd} \sin \theta_1 \quad \text{e} \quad N_{2,Rd} \sin \theta_2 $
<p>A diagonal 1 está sempre en compresión e a diagonal 2 está sempre en tracción.</p> 	$N_{i,Ed} \leq N_{i,Rd}$ <p>onde $N_{i,Rd}$ é o valor de $N_{i,Rd}$ para unha unión en K conforme a táboa A-9-1. En unións con separación, na sección 1-1 do cordón debe cumprirse ademais:</p> $\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$

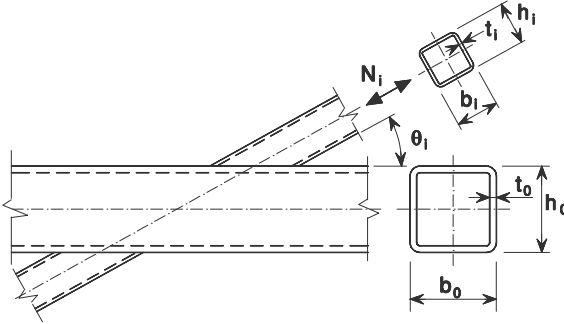
Táboa A-9-6: Factores de redución para unións espaciais

Tipo de unión	Factor de redución μ
Unión en TT	$60^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$
<p>A diagonal 1 pode estar ben en tracción ou ben en compresión.</p> 	$\mu = 1,0$
Unión en XX	
<p>Os montantes 1 e 2 poden estar ben en tracción ou ben en compresión. $N_{2,Ed}/N_{1,Ed}$ é negativo se un elemento está en tracción e outro en compresión.</p> 	$\mu = 1 + 0,33 N_{2,Ed} / N_{1,Ed}$ <p>tendo en conta o signo de $N_{1,Ed}$ e $N_{2,Ed}$</p> <p>onde: $N_{2,Ed} \leq N_{1,Ed}$</p>
Unión en KK	$60^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$
<p>A diagonal 1 está sempre en compresión e a diagonal 2 está sempre en tracción.</p> 	$\mu = 0,9$ <p>En unións con separación, na sección 1-1 do cordón debe cumprirse ademais:</p> $\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$

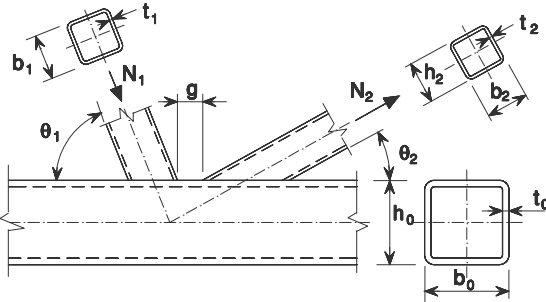
Táboa A-9-7: Resistencia de cálculo de unións soldadas entre perfís tubulares cadrados ou circulares

Tipo de unión	Resistencia de cálculo [$i = 1$ ó 2 , $j =$ diagonal ou montante solanada]
Unións en T, Y e X	Esgotamento da cara do cordón $\beta \leq 0,85$
	$N_{i,Rd} = \frac{k_n f_{y0} t_0^2}{(1 - \beta) \sin \theta_1} \left(\frac{2\beta}{\sin \theta_1} + 4\sqrt{1 - \beta} \right) / \gamma_{M5}$
Unións en K e N con separación	Esgotamento da cara do cordón $\beta \leq 1,0$
	$N_{i,Rd} = \frac{8,9\gamma^{0,5} k_n f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_i} \left(\frac{b_1 + b_2}{2b_0} \right) / \gamma_{M5}$
Unións en K e N con solapamento ^{*)}	Esgotamento da diagonal $25\% \leq \lambda_{ov} < 50\%$
A diagonal i ou a diagonal j poden estar ben en tracción ou ben en compresión, pero unha debería estar en tracción e a outra en compresión.	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i \left(b_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i \frac{\lambda_{ov}}{50} - 4t_i \right) / \gamma_{M5}$
	Esgotamento da diagonal $50\% \leq \lambda_{ov} < 80\%$
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i \left[b_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i \right] / \gamma_{M5}$
	Esgotamento da diagonal $\lambda_{ov} \geq 80\%$
$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i \left[b_i + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i \right] / \gamma_{M5}$	
Parámetros b_{eff} , $b_{e,ov}$ e k_n	
$b_{eff} = \frac{10}{b_0/t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{yi} t_i} b_i \text{ pero } b_{eff} \leq b_i$	Para $n > 0$ (compresión): $k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta}$ pero $k_n \leq 1,0$
$b_{e,ov} = \frac{10}{b_j/t_j} \frac{f_{yj} t_j}{f_{yi} t_i} b_i \text{ pero } b_{e,ov} \leq b_i$	
Para diagonais ou montantes de sección circular, multiplícanse as resistencias anteriores por $\pi/4$, substituíndo b_1 e h_1 por d_1 e b_2 e h_2 por d_2 .	
^{*)} Só é necesario comprobar a diagonal ou montante que solapa i . A eficiencia (é dicir, a resistencia de cálculo da unión dividida entre a resistencia plástica de cálculo da diagonal ou montante) da diagonal ou montante solapada j non debería considerarse superior á da diagonal ou montante que solapa. Ver tamén a táboa 64.7.1 do documento.	

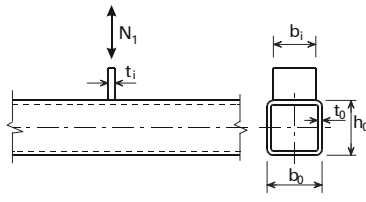
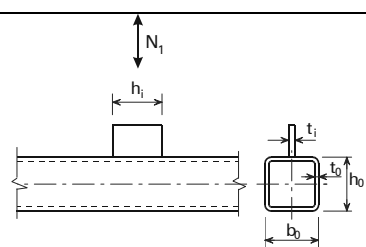
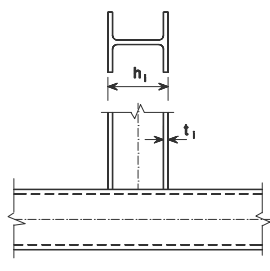
Táboa A-9-8: Resistencia de cálculo de unións soldadas en T, X e Y entre diagonais ou montantes SHR ou SHC e cordóns SHR

Tipo de unión	Resistencia de cálculo
	Esgotamento da cara do cordón $\beta \leq 0,85$
	$N_{1,Rd} = \frac{k_n f_{y0} t_0^2}{(1 - \beta) \sin \theta_1} \left(\frac{2\eta}{\sin \theta_1} + 4\sqrt{1 - \beta} \right) / \gamma_{M5}$
	Empenamento da cara lateral do cordón ¹⁾ $\beta = 1,0$ ²⁾
	$N_{1,Rd} = \frac{k_n f_b t_0}{\sin \theta_1} \left(\frac{2h_1}{\sin \theta_1} + 10t_0 \right) / \gamma_{M5}$
	Esgotamento da diagonal ou montante $\beta \geq 0,85$
	$N_{1,Rd} = f_{y1} t_1 (2h_1 - 4t_1 + 2b_{eff}) / \gamma_{M5}$
Punzonamento $0,85 \leq \beta \leq (1 - 1/\gamma)$	
	$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3} \sin \theta_1} \left(\frac{2h_1}{\sin \theta_1} + 2b_{e,p} \right) / \gamma_{M5}$
<p>¹⁾ Para unións en X con $\cos \theta_1 > h_1/h_0$ compróbase, ademais, a resistencia a esforzo cortante do cordón segundo o indicado na táboa A-9-9, tomando como resistencia de cálculo da unión a menor entre esta e as anteriores.</p>	
<p>²⁾ Para $0,85 \leq \beta \leq 1,0$ interpólase linealmente entre o valor da resistencia de cálculo para o esgotamento da cara do cordón con $\beta = 0,85$ e o valor do criterio dominante para o esgotamento da cara lateral do cordón con $\beta = 1,0$ (empenamento da cara lateral ou esforzo cortante do cordón).</p>	
<p>Para diagonais ou montantes de sección circular, multiplícanse as resistencias anteriores por $\pi/4$, substituíndo b_1 e h_1 por d_1 e b_2 e h_2 por d_2.</p>	
<p>Para tracción:</p> $f_b = f_{y0}$	$b_{eff} = \frac{10}{b_0/t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{y1} t_1} b_1 \quad \text{pero } b_{eff} \leq b_1$
<p>Para compresión:</p> $f_b = \chi f_{y0} \quad (\text{unións en T e Y})$ $f_b = 0,8 \chi f_{y0} \sin \theta_1 \quad (\text{unións en X})$	$b_{e,p} = \frac{10}{b_0/t_0} b_1 \quad \text{pero } b_{e,p} \leq b_1$
<p>onde χ é o coeficiente de redución utilizado no cálculo a empenamento por flexión usando a correspondente curva de empenamento e unha esvelteza $\bar{\lambda}$ determinada a partir de:</p> $\bar{\lambda} = 3,46 \frac{\left(\frac{h_0}{t_0} - 2 \right) \sqrt{\frac{I}{\sin \theta_1}}}{\pi \sqrt{\frac{E}{f_{y0}}}}$	<p>Para $n > 0$ (Compresión): $k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta}$ pero $k_n \leq 1,0$</p> <p>para $n \leq 0$ (Tracción): $k_n = 1,0$</p>

Táboa A-9-9: Resistencia de cálculo de unións soldadas en K e N entre diagonais ou montantes SHR ou SHC e cordóns SHR

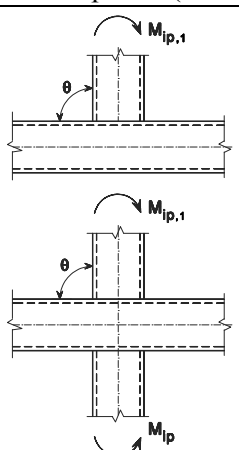
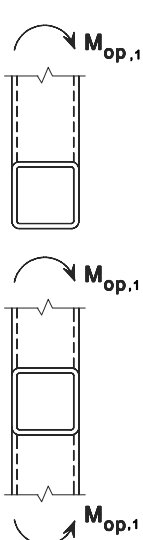
Tipo de unión	Resistencia de cálculo [$i = 1$ ou 2]
Unións en K e N con separación	Esgotamento da cara do cordón
	$N_{i,Rd} = \frac{8,9k_n f_{y0} t_0^2 \sqrt{\gamma}}{\sin \theta_i} \left(\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4b_0} \right) / \gamma_{M5}$
	Esfuerzo cortante do cordón
	$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3} \sin \theta_i} / \gamma_{M5}$
	$N_{0,Rd} = \left[(A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - (V_{Ed} / V_{pl,Rd})^2} \right] / \gamma_{M5}$
	Esgotamento da diagonal ou montante
$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (2h_i - 4t_i + b_i + b_{eff}) / \gamma_{M5}$	
Punzonamento	$\beta \leq (1 - 1/\gamma)$
$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3} \sin \theta_i} \left(\frac{2h_i}{\sin \theta_i} + b_i + b_{e,p} \right) / \gamma_{M5}$	
Unións en K e N con solapamento	Como na táboa A-9-7.
para diagonais ou montantes de sección circular, multiplícanse as resistencias anteriores por $\pi/4$, substituíndo b_1 e h_1 por d_1 , e b_2 e h_2 por d_2 , excepto para esforzo cortante do cordón.	
$A_v = (2h_0 + ab_0)t_0$	$b_{eff} = \frac{10}{b_0/t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{yi} t_i} b_i \quad \text{pero } b_{eff} \leq b_i$
para unha diagonal ou montante de sección cadrada ou rectangular:	$b_{e,p} = \frac{10}{b_0/t_0} b_i \quad \text{pero } b_{e,p} \leq b_i$
$\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4g^2}{3t_0^2}}}$	
onde g é a separación.	para $n > 0$ (compresión): $k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta}$
Para diagonais ou montantes de sección circular: $\alpha = 0$	
	pero $k_n \leq 1,0$
	para $n \leq 0$ (tracción): $k_n = 1,0$

Táboa A-9-10: Resistencia de cálculo de unións soldadas en K e N entre placas ou diagonais ou montantes de sección en I ou H e cordóns SHR

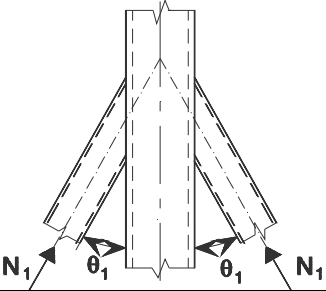
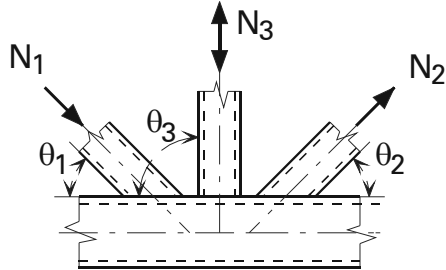
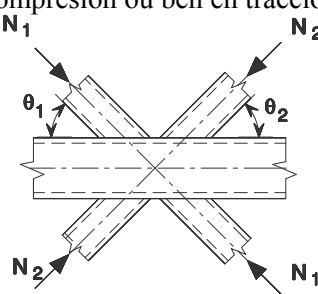
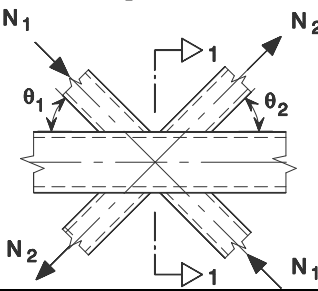
Placa transversal	Esgotamento da cara do cordón $\beta \leq 0,85$
	$N_{1,Rd} = k_n f_{y0} t_0^2 \frac{2 + 2,8\beta}{\sqrt{1 - 0,9\beta}} / \gamma_{M5} \quad *)$
	Esgotamento da cara lateral do cordón cando $b_1 \geq b_0 - 2t_0$
	$N_{1,Rd} = k_n f_{y0} t_0 (2t_1 + 10t_0) / \gamma_{M5}$
	Punzonamento cando $b_1 \leq b_0 - 2t_0$
	$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3}} (2t_1 + 2b_{e,p}) / \gamma_{M5}$
Placa lonxitudinal	Esgotamento da cara do cordón
	$N_{1,Rd} = k_n f_{y0} t_0^2 (2h_1 / b_0 + 4\sqrt{1 - t_1 / b_0}) / \gamma_{M5}$
$t_1 / b_0 \leq 0,2$	
Perfil de sección en I ou H	
	<p>Como aproximación conservadora, se $\eta \geq 2\sqrt{1 - \beta}$, para un perfil de sección en I ou H, $N_{1,Rd}$ pode suporse igual á suma das resistencias de cálculo de dúas placas transversais de dimensións similares ás alas do perfil de sección en I ou H, determinadas como se especifica anteriormente.</p> <p>Si $\eta < 2\sqrt{1 - \beta}$, debería facerse unha interpolación lineal entre os supostos: unha única placa ($\eta=0$) e dúas placas ($\eta=2\sqrt{1 - \beta}$).</p> $M_{ip,1,Rd} = N_{1,Rd} (h_1 - t_1)$ <p>Onde, $N_{1,Rd}$ é a resistencia dunha das alas e β é a relación entre o largo da ala do perfil I ou H e a largura do cordón SHR.</p>
Rango de validez	
Ademais dos límites dados na táboa 64.7.1:	
$0,5 \leq \beta \leq 1,0$ $b_0 / t_0 \leq 30$	

Parámetros b_{eff} , $b_{\text{e,p}}$ e k_m	
$b_{\text{eff}} = \frac{10}{b_0/t_0} \frac{f_{y0}t_0}{f_{y1}t_1} b_1$ pero $b_{\text{eff}} \leq b_i$	para $n > 0$ (compresión): $k_m = 1,3(1-n)$ pero $k_m \leq 1,0$
$b_{\text{e,p}} = \frac{10}{b_0/t_0} b_1$ pero $b_{\text{e,p}} \leq b_i$	para $n \leq 0$ (tensión): $k_m = 1,0$
*) As conexións con soldaduras en ángulo deberían calcularse de acordo con 59.8.	

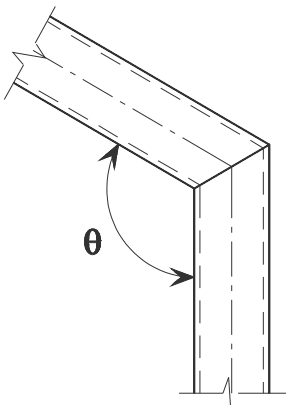
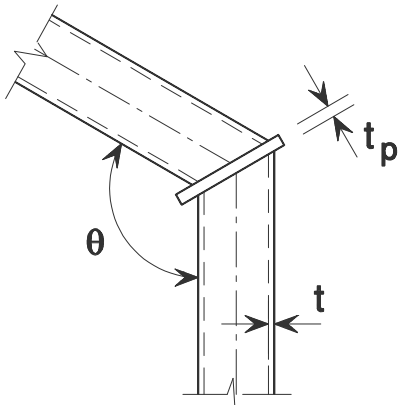
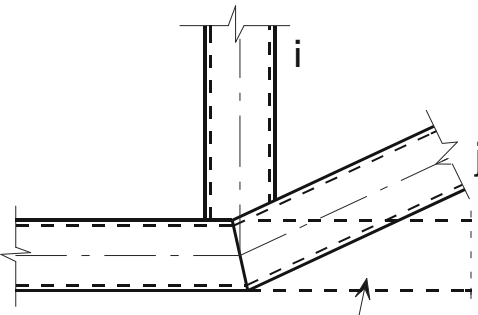
Táboa A-9-11: Momento resistente de cálculo de unións soldadas entre diagonais ou montantes SHR e cordóns SHR

Unións en T e X	Resistencia de cálculo	
Momentos no plano ($\theta = 90^\circ$)	Esgotamento da cara do cordón	$\beta \leq 0,85$
	$M_{ip,1,Rd} = k_n f_{y0} t_0^2 h_1 \left(\frac{1}{2\eta} + \frac{2}{\sqrt{1-\beta}} + \frac{\eta}{1-\beta} \right) / \gamma_{M5}$	
	Esgotamento da cara lateral do cordón	$0,85 < \beta \leq 1,0$
	$M_{ip,1,Rd} = 0,5 f_{yk} t_0 (h_1 + 5t_0)^2 / \gamma_{M5}$ $f_{yk} = f_{y0} \quad \text{para unións en T}$ $f_{yk} = 0,8 f_{y0} \quad \text{para unións en X}$	
	Esgotamento da diagonal ou montante	$0,85 < \beta \leq 1,0$
	$M_{ip,1,Rd} = f_{y1} (W_{pl,1} - (1 - b_{eff} / b_1) b_1 (h_1 - t_1) t_1) / \gamma_{M5}$	
Momentos fóra do plano ($\theta = 90^\circ$)	Esgotamento da cara do cordón	$\beta \leq 0,85$
	$M_{op,1,Rd} = k_n f_{y0} t_0^2 \left(\frac{h_1 (1 + \beta)}{2(1 - \beta)} + \sqrt{\frac{2b_0 b_1 (1 + \beta)}{1 - \beta}} \right) / \gamma_{M5}$	
	Esgotamento da cara lateral do cordón	$0,85 < \beta \leq 1,0$
	$M_{op,1,Rd} = f_{yk} t_0 (b_0 - t_0) (h_1 + 5t_0) / \gamma_{M5}$ $f_{yk} = f_{y0} \quad \text{para unións en T}$ $f_{yk} = 0,8 f_{y0} \quad \text{para unións en X}$	
	Esgotamento do cordón por distorsión (só unións en T) *)	
	$M_{op,1,Rd} = 2 f_{y0} t_0 (h_1 t_0 + \sqrt{b_0 h_0 t_0 (b_0 + h_0)}) / \gamma_{M5}$	
	Esgotamento da diagonal ou montante	$0,85 < \beta \leq 1,0$
	$M_{op,1,Rd} = f_{y1} (W_{pl,1} - 0,5(1 - b_{eff} / b_1)^2 b_1^2 t_1) / \gamma_{M5}$	
Parámetros b_{eff} e k_n		
$b_{eff} = \frac{10}{b_0 / t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{y1} t_1} b_1$ <p>pero $b_{eff} \leq b_1$</p>	<p>para $n > 0$ (compresión): $k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta}$</p> <p>pero $k_n \leq 1,0$</p> <p>para $n \leq 0$ (tracción): $k_n = 1,0$</p>	
*) Este criterio non se aplica onde o esgotamento do cordón por distorsión se evite por outros medios.		

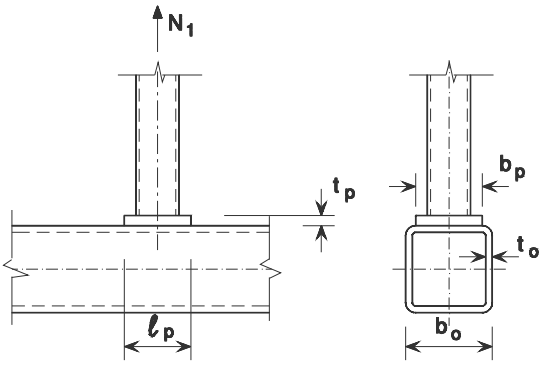
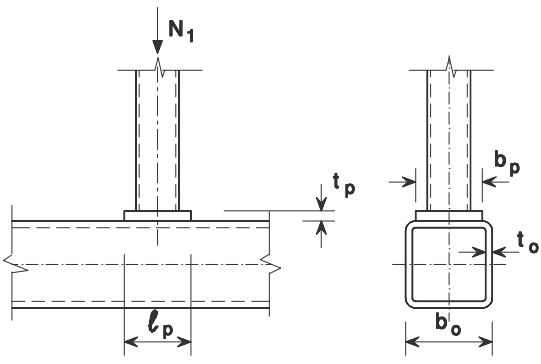
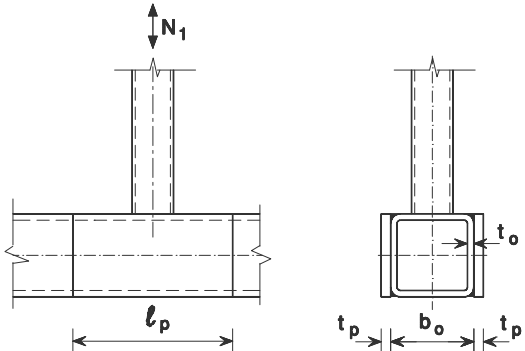
Táboa A-9-12: Criterios de cálculo para tipos especiais de unións soldadas entre diagonais ou montantes SHR e cordóns SHR

Tipo de unión	Criterios de cálculo
<p>Os esforzos poden ser de tracción ou de compresión actuando na mesma dirección en ambos os elementos</p> 	$N_{1,Ed} \leq N_{1,Rd}$ <p>onde $N_{1,Rd}$ é o valor de $N_{1,Rd}$ para unha unión en X conforme a táboa A-9-8.</p>
<p>A diagonal 1 está sempre en compresión e a diagonal 2 está sempre en tracción.</p> 	$N_{1,Ed} \sin \theta_1 + N_{3,Ed} \sin \theta_3 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$ $N_{2,Ed} \sin \theta_2 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$ <p>onde $N_{1,Rd}$ é o valor de $N_{1,Rd}$ para unha unión en K conforme a táboa A-9-9, pero con $\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4b_0}$</p> <p>substituído por: $\frac{b_1 + b_2 + b_3 + h_1 + h_2 + h_3}{6b_0}$</p>
<p>Todas as diagonais deberían estar sempre ou ben en compresión ou ben en tracción.</p> 	$N_{1,Ed} \sin \theta_1 + N_{2,Ed} \sin \theta_2 \leq N_{x,Rd} \sin \theta_x$ <p>onde $N_{x,Rd}$ é o valor de $N_{x,Rd}$ para unha unión en X conforme a táboa A-9-8, e $N_{x,Rd} \sin \theta_x$ é o maior de:</p> $\left N_{1,Rd} \sin \theta_1 \right \quad \text{e} \quad \left N_{2,Rd} \sin \theta_2 \right $
<p>A diagonal 1 está sempre en compresión e a diagonal 2 está sempre en tracción.</p> 	$N_{i,Ed} \leq N_{i,Rd}$ <p>onde $N_{i,Rd}$ é o valor de $N_{i,Rd}$ para unha unión en K conforme a táboa A-9-9. En unións con separación, na sección 1-1 do cordón debe cumprirse ademais:</p> $\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$

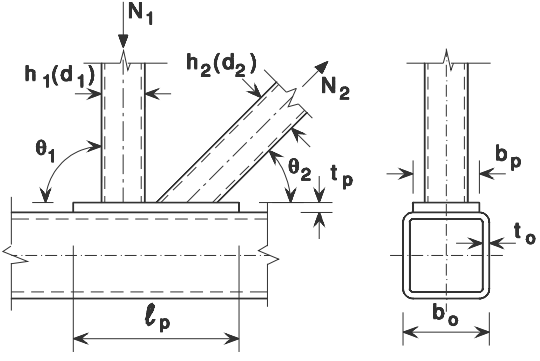
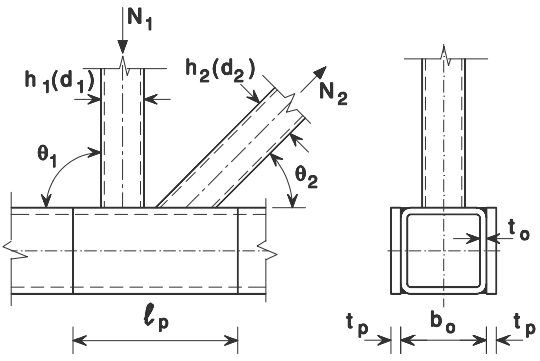
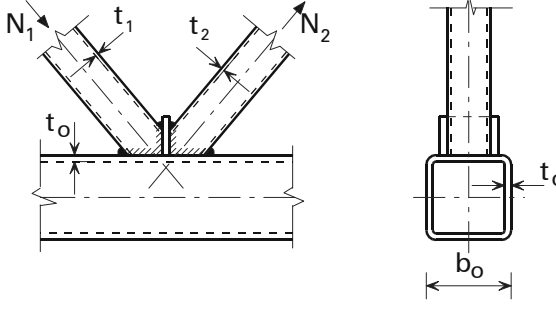
Táboa A-9-13: Criterios de cálculo para unións soldadas acabadas e unións con cordón SHR acabado

Tipo de unión	Criterios
Unións soldadas acabadas	
	<p>A sección transversal debería ser de clase 1 para flexión pura.</p> $N_{Ed} \leq 0,2N_{pl,Rd}$ <p>y</p> $\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq \kappa$ <p>Si $\theta \leq 90^\circ$: $\kappa = \frac{3\sqrt{b_0/h_0}}{[b_0/t_0]^{0,8}} + \frac{1}{1+2b_0/h_0}$</p> <p>Si $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$: $\kappa = 1 - (\sqrt{2} \cos(\theta/2))(1 - \kappa_{90})$</p> <p>onde κ_{90} é o valor de κ para $\theta = 90^\circ$.</p>
	$t_p \geq 1,5t \quad e \geq 10 \text{ mm}$ $\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1,0$
Cordón acabado	
 <p>Extensión imaxinaria do cordón</p>	$N_{i,Ed} \leq N_{i,Rd}$ <p>onde $N_{i,Rd}$ é o valor de $N_{i,Rd}$ para unha unión en K ou N con solapamento conforme a táboa A-9-9.</p>

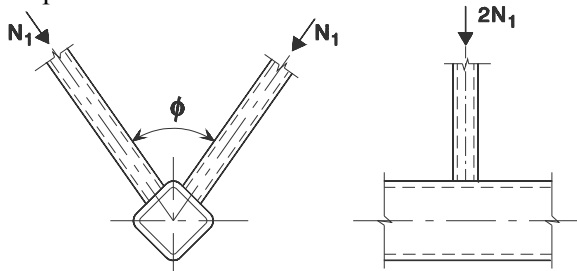
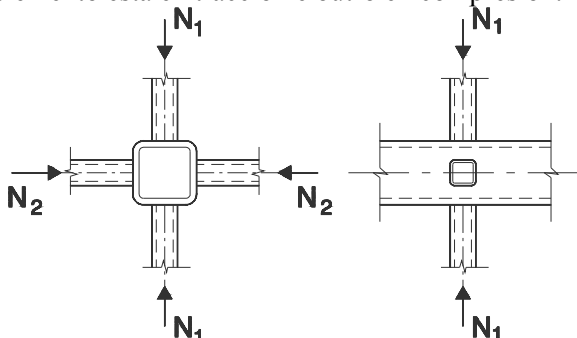
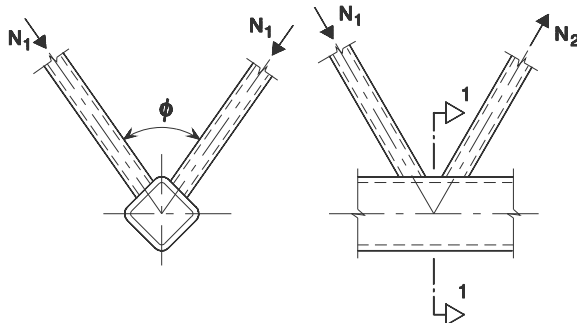
Táboa A-9-14: Resistencia de cálculo de unións soldadas reforzadas en T, Y e X entre diagonais ou montantes SHR ou SHC e cordóns SHR

Tipo de unión	Resistencia de cálculo
Reforzada con placas de ala para evitar o esgotamento da cara do cordón, esgotamento da diagonal ou montante ou punzonamento.	
Esfuerzo de tracción $\beta_p \leq 0,85$	
	$l_p \geq \frac{h_l}{\sin \theta_l} + \sqrt{b_p (b_p - h_l)}$ <p>con $b_p \geq b_o - 2t_o$ y $t_p \geq 2t_l$</p> $N_{1,Rd} = \frac{f_{yp} t_p^2}{(1 - b_l / b_p) \sin \theta_l} \dots$ $\dots \cdot \left(\frac{2h_l / b_p}{\sin \theta_l} + 4\sqrt{1 - b_l / b_p} \right) / \gamma_{M5}$
Esfuerzo de compresión $\beta_p \leq 0,85$	
	$l_p \geq \frac{h_l}{\sin \theta_l} + \sqrt{b_p (b_p - b_l)}$ <p>con $b_p \geq b_o - 2t_o$ y $t_p \geq 2t_l$</p> <p>Tómase $N_{1,Rd}$ como o valor de $N_{1,Rd}$ para unha unión en T, X ou Y conforme a táboa A-9-8, pero con $k_n = 1,0$ e substituíndo t_o por t_p unicamente para os tipos de esgotamento da cara do cordón, da diagonal ou montante e de punzonamento.</p>
Reforzada con placas laterais para evitar o esgotamento da cara lateral do cordón por empenamento ou o esgotamento do cordón por esforzo cortante.	
	$l_p \geq 1,5h_l / \sin \theta_l$ <p>con $t_p \geq 2t_l$</p> <p>Tómase $N_{1,Rd}$ como o valor de $N_{1,Rd}$ para unha unión en T, X ou Y conforme a táboa A-9-8, pero substituíndo t_o por $(t_o + t_p)$ unicamente para os tipos de esgotamento por empenamento da cara lateral do cordón e de esgotamento do cordón por esforzo cortante.</p>

Táboa A-9-15: Resistencia de cálculo de unións soldadas reforzadas en K e N entre diagonais ou montantes SHR ou SHC e cordóns SHR

Tipo de unión	Resistencia de cálculo [$i = 1$ ó 2]
Reforzada con placas de ala para evitar o esgotamento da cara do cordón, esgotamento da diagonal ou montante ou punzonamento.	
	$l_p \geq 1,5 \left(\frac{h_1}{\sin \theta_1} + g + \frac{h_2}{\sin \theta_2} \right)$ $b_p \geq b_0 - 2t_0$ $t_p \geq 2t_1 \text{ e } 2t_2$ <p>Tómase $N_{i,Rd}$ como o valor de $N_{i,Rd}$ para unha unión en K ou N conforme a táboa A-9-9, pero substituíndo t_0 por t_p unicamente para os tipos de esgotamento da cara do cordón, da diagonal ou montante e de punzonamento.</p>
Reforzada con placas laterais para evitar o esgotamento do cordón por esforzo cortante.	
	$l_p \geq 1,5 \left(\frac{h_1}{\sin \theta_1} + g + \frac{h_2}{\sin \theta_2} \right)$ <p>Tómase $N_{i,Rd}$ como o valor de $N_{i,Rd}$ para unha unión en K ou N conforme a táboa A-9-9, pero substituíndo t_0 por $(t_0 + t_p)$ unicamente para o tipo de esgotamento do cordón por esforzo cortante.</p>
Reforzada cunha placa vertical de rixidización entre as diagonais a causa de solapamento insuficiente.	
	$t_p \geq 2t_1 \text{ e } 2t_2$ <p>Tómase $N_{i,Rd}$ como o valor de $N_{i,Rd}$ dunha unión en K ou N con solapamento conforme a táboa A-9-9 con $\lambda_{ov} < 80\%$, e como expresión de $b_{e,ov}$ a recollida na táboa A-10-7, pero substituíndo b_j, t_j e f_{yj} por b_p, t_p e f_{yp}.</p>

Táboa A-9-16: Factores de redución para unións espaciais

Tipo de unión	Factor de redución μ
<p>Unión en TT</p> <p>A diagonal 1 pode estar ben en tracción ou ben en compresión.</p> 	<p>$60^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$</p> <p>$\mu = 0,9$</p>
<p>Unión en XX</p> <p>Os montantes 1 e 2 poden estar ou ben en tracción ou ben en compresión. $N_{2,Ed}/N_{1,Ed}$ é negativo se un elemento está en tracción e outro en compresión.</p> 	<p>$\mu = 0,9(1 + 0,33N_{2,Ed} / N_{1,Ed})$</p> <p>tendo en conta o signo de $N_{1,Ed}$ e $N_{2,Ed}$</p> <p>onde $N_{2,Ed} \leq N_{1,Ed}$</p>
<p>Unión en KK</p> 	<p>$60^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$</p> <p>$\mu = 0,9$</p> <p>En unións con separación, na sección 1-1 do cordón debe cumprirse ademais:</p> $\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$

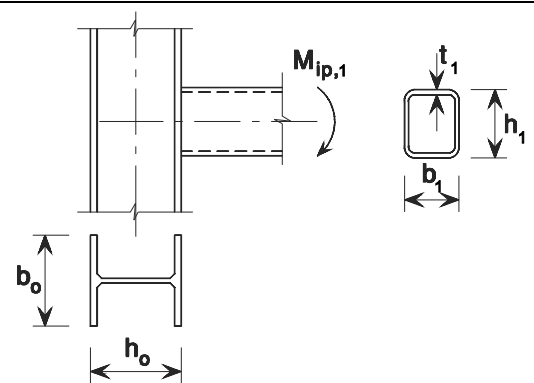
Táboa A-9-17: Resistencia de cálculo de unións soldadas entre diagonais ou montantes SHC ou SHR e cordóns de sección en I ou H

Tipo de unión	Cálculo de resistencia [$i = 1$ ó 2 , $j =$ diagonal ou montante solapada]	
Unións en T, Y e X	Esgotamento da alma do cordón	
	$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} t_w b_w}{\sin \theta_1} / \gamma_{M5}$	
	Esgotamento da diagonal	
	$N_{1,Rd} = 2 f_{y1} t_1 p_{eff} / \gamma_{M5}$	
Unións en K e N con separación [$i = 1$ ó 2]	Plastificación da alma do cordón	O esgotamento da diagonal non precisa verificación se: $g/t_f \leq 20 - 28\beta$; $\beta \leq 1,0 - 0,03\gamma$ onde $\gamma = b_0/2t_f$
	$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} t_w b_w}{\sin \theta_1} / \gamma_{M5}$	
	Esgotamento da diagonal	e para SHC: $0,75 \leq d_1 / d_2 \leq 1,33$ ou para SHR: $0,75 \leq b_1 / b_2 \leq 1,33$
	$N_{i,Rd} = 2 f_{yi} t_i p_{eff} / \gamma_{M5}$	
	Esforzo cortante do cordón	
	$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3} \sin \theta_i} / \gamma_{M5}$	
	$N_{0,Rd} = \left[(A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - (V_{Ed} / V_{p1,Rd})^2} \right] / \gamma_{M5}$	
Unións en K e N con solapamento* [$i = 1$ ó 2]	Esgotamento da diagonal $25\% \leq \lambda_{ov} < 50\%$	
<p>As diagonais i e j poden estar ou ben en tracción ou ben en compresión.</p>	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (p_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i \lambda_{ov} / 50 - 4t_i) / \gamma_{M5}$	
	Esgotamento da diagonal $50\% \leq \lambda_{ov} < 80\%$	
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (p_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5}$	
	Esgotamento da diagonal $\lambda_{ov} \geq 80\%$	
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (b_i + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5}$	
$A_v = A_0 - (2 - \alpha) b_0 t_f + (t_w + 2r) t_f$ <p>Para diagonais ou montantes SHR:</p> $\alpha = \sqrt{\frac{I}{I + 4g^2 / (3t_f^2)}}$ <p>Para diagonais ou montantes SHC: $\alpha = 0$</p>	$p_{eff} = t_w + 2r + 7t_f f_{y0} / f_{yi}$ <p>pero para unións en T, Y, X e unións en K e N con separación: $p_{eff} \leq b_i + h_i - 2t_i$ e para unións en K e N con solapamento: $p_{eff} \leq b_i$</p>	$b_w = \frac{h_i}{\sin \theta_i} + 5(t_f + r)$ <p>pero</p> $b_w \leq 2t_i + 10(t_f + r)$
	$b_{e,ov} = \frac{10}{b_j / t_j} \frac{f_{yj} t_j}{f_{yi} t_i} b_i$ <p>pero $b_{e,ov} \leq b_i$</p>	

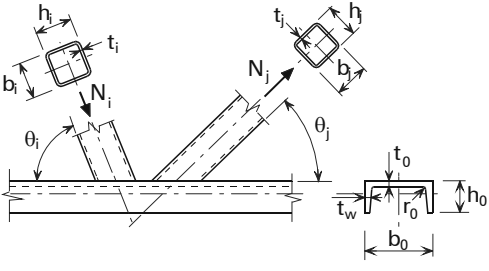
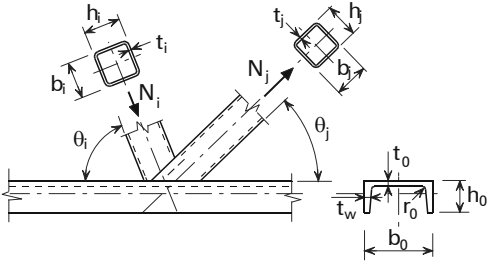
Para diagonais ou montantes SHC multiplícanse as resistencias anteriores para esgotamento da diagonal ou montante por $\pi/4$ substituíndo, b_1 e h_1 por d_1 , e b_2 e h_2 por d_2 excepto para esforzo cortante do cordón.

*) Só é necesario comprobar a diagonal ou montante que solapa i . A eficiencia (é dicir, a resistencia de cálculo da unión dividida entre a resistencia plástica de cálculo da diagonal ou montante) da diagonal ou montante solapada j non debería considerarse superior á da diagonal ou montante que solapa. Ver tamén a táboa 64.8.

Táboa A-9-18: Momentos resistentes de cálculo de unións soldadas entre diagonais ou montantes SHR e cordóns de sección en I ou H

Tipo de unión	Resistencia de cálculo [$i = 1$ ó $2, j =$ diagonal ou montante solapada]
Unións en T e Y	Esgotamento da alma do cordón
	$M_{ip,1,Rd} = 0,5 f_{y0} t_w b_w (h_1 - t_1) / \gamma_{M5}$
	Esgotamento da diagonal ou montante $M_{ip,1,Rd} = f_y t_1 p_{eff} h_z / \gamma_{M5}$ onde h_z é a distancia entre os centros de gravidade das partes efectivas do perfil SHR
Parámetros p_{eff} e b_w	
$p_{eff} = t_w + 2r + 7t_f f_{y0} / f_{y1}$ pero $p_{eff} \leq b_i + h_i - 2t_i$	$b_w = \frac{h_1}{\sin \theta_1} + 5(t_f + r) \text{ pero } b_w \leq 2t_1 + 10(t_f + r)$

Táboa A-9-19: Resistencia de cálculo de unións soldadas entre diagonais ou montantes SHC ou SHR e cordóns de sección en U

Tipo de unión	Resistencia de cálculo [i = 1 ó 2, j = diagonal ou montante solapada]
<p>Unións en K e N con separación</p> 	<p>Esgotamento da diagonal ou montante</p> $N_{i,Rd} = f_{yt_i} (b_i + b_{eff} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5}$ <p>Esgotamento do cordón</p> $N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3} \sin \theta_i} / \gamma_{M5}$ $N_{0,Rd} = \left[(A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - (V_{Ed} / V_{pl,Rd})^2} \right] / \gamma_{M5}$
<p>Unións en K e N con solapamento *)</p> 	<p>Esgotamento da diagonal ou montante $25\% \leq \lambda_{ov} < 50\%$</p> $N_{i,Rd} = f_{yt_i} \left(b_{eff} + b_{e,ov} + \left(2h_i \frac{\lambda_{ov}}{50} - 4t_i \right) \right) / \gamma_{M5}$ <p>Esgotamento da diagonal ou montante $50\% \leq \lambda_{ov} < 80\%$</p> $N_{i,Rd} = f_{yt_i} (b_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5}$ <p>Esgotamento da diagonal ou montante $\lambda_{ov} \geq 80\%$</p> $N_{i,Rd} = f_{yt_i} (b_i + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5}$
$A_v = A_0 - (1 - \alpha) b_0^* t_0$ $b_0^* = b_0 - 2(t_w + r_0)$ <p>Para SHR: $\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + 4g^2 / 3t_f^2}}$</p> <p>Para SHC: $\alpha = 0$</p> $V_{pl,Rd} = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3}} / \gamma_{M5}$ $V_{Ed} = (N_{i,Ed} \sen \theta_i)_{\max}$	$b_{eff} = \frac{10}{b_0^* / t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{yt_i}} b_i \quad \text{pero} \quad b_{eff} \leq b_i$ $b_{e,ov} = \frac{10}{b_j / t_j} \frac{f_{yt_j}}{f_{yt_i}} b_i \quad \text{pero} \quad b_{e,ov} \leq b_i$
<p>Para diagonais ou montantes SHC multiplícanse as resistencias anteriores por $\pi/4$ substituindo b_1 e h_1 por d_1, e b_2 e h_2 por d_2, excepto para o esforzo cortante do cordón.</p>	
<p>*) Só é necesario comprobar a diagonal ou montante que solapa i. A eficiencia (é dicir, a resistencia de cálculo da unión dividida entre a resistencia plástica de cálculo da diagonal ou montante) da diagonal ou montante solapada j non debería considerarse superior á da diagonal ou montante que solapa.</p>	

Anexo 10: niveis de garantía e requisitos para o recoñecemento oficial dos distintivos de calidade

A10.1 Introducción

Esta instrución establece a posibilidade de que a dirección facultativa aplique unhas consideracións especiais para algúns produtos cando estes presenten voluntariamente uns niveis de garantía adicionais aos mínimos regulamentariamente exixidos, de acordo co artigo 84º.

No caso xeral, os ditos niveis de garantía adicionais demóstranse mediante a posesión dun distintivo de calidade oficialmente recoñecido por unha Administración competente no ámbito da construción e pertencente a algún Estado membro da Unión Europea, a algún Estado asinante do Acordo sobre o Espazo Económico Europeo ou a algún Estado que teña subscrito coa Unión Europea un acordo para o establecemento dunha unión alfandegueira, caso en que o nivel de equivalencia se constatará mediante a aplicación, para estes efectos, dos procedementos establecidos na Directiva 89/106/CEE.

A10.2 Niveis de garantía de produtos

No caso de produtos que deban estar en posesión da marcación CE, de acordo coa Directiva 89/106/CEE, o nivel de garantía regulamentariamente exixible é o asociado á citada marcación CE, especificado nas correspondentes normas europeas harmonizadas e que permite a súa libre comercialización no Espazo Económico Europeo. No caso de produtos para os que non estea en vigor a marcación CE, o nivel de garantía regulamentariamente exixible é o establecido polo articulado desta instrución.

Adicionalmente, e de forma voluntaria, o fabricante de calquera produto pode optar pola posesión dun distintivo de calidade que avale un nivel de garantía superior ao mínimo establecido por esta instrución. No caso de produtos con marcación CE, os ditos distintivos de calidade deberán achegar valores engadidos respecto a características non amparadas pola citada marcación.

Ao tratarse de iniciativas voluntarias, os distintivos de calidade poden presentar diferentes criterios para a súa concesión nos correspondentes procedementos particulares. Por iso, este anexo establece as condicións que permitan discriminar cando comportan un nivel de garantía adicional ao mínimo regulamentario e poden, por tanto, ser obxecto de recoñecemento oficial por parte das administracións competentes.

A10.3 Bases técnicas para o recoñecemento oficial dos distintivos

A Administración competente que efectúe o recoñecemento oficial do distintivo deberá comprobar que se cumpren os requisitos incluídos neste anexo para o recoñecemento oficial e velar para que estes se manteñan. Para lograr este obxectivo, a Administración, gardando a necesaria confidencialidade, poderá intervir en todas aquelas actividades que considere relevantes para o recoñecemento do distintivo.

A disposición oficial en que a Administración competente efectúe o recoñecemento deberá facer constar explicitamente que se efectúa para os efectos do indicado nesta instrución e de acordo coas bases técnicas incluídas neste anexo.

A Administración competente que leve a cabo o recoñecemento oficial dun distintivo de calidade de produto ou proceso, co fin de comprobar o cumprimento dos requisitos, poderá exixir que representantes por ela designados participen nos comités definidos no organismo certificador para a toma de decisións en materia de certificación.

A Administración competente terá acceso a toda a documentación relacionada co distintivo, garantindo os compromisos de confidencialidade debida.

Requisitos de carácter xeral dos distintivos

Para o seu recoñecemento oficial, o distintivo deberá:

- Ser de carácter voluntario e outorgado por un organismo certificador que cumpra os requisitos deste anexo.
- Ser conformes con esta instrución e incluír no seu regulamento regulador a declaración explícita da dita conformidade.
- Outorgarse sobre a base dun regulamento regulador que defina as súas garantías particulares, o seu procedemento de concesión, o seu réxime de funcionamento, os seus requisitos técnicos e as regras para a toma de decisións relativas a este. O dito regulamento deberá estar á disposición pública, estar definido en termos claros e precisos e achegar unha información exenta de ambigüidades tanto para o cliente do certificador como para o resto das partes interesadas. Así mesmo, o dito regulamento considerará procedementos específicos tanto para o caso de instalacións alleas á obra como para instalacións que pertencen a esta.
- Garantir a independencia e imparcialidade na súa concesión, para o cal, entre outras medidas, non permitirá a participación en calquera dos seus órganos de decisión de persoas que desenvolvan actividades de asesoría ou consultoría relacionadas co obxecto da certificación.
- Incluír, no seu regulamento regulador, o tratamento correspondente para produtos certificados nos cales se presenten resultados de ensaios do

control de produción non conformes, para garantir que se inician inmediatamente as oportunas accións correctivas e, de ser o caso, sexan informados os clientes. No dito regulamento definirase tamén o prazo máximo que poderá transcorrer desde que a non conformidade sexa detectada, así como as accións correctoras que deban ser levadas a cabo.

- Establecer as exixencias mínimas que deben cumprir os laboratorios que traballan na certificación.
- Establecer como requisito para a concesión que cómpre dispor de datos do control de produción durante un período de, polo menos, seis meses no caso de produtos desenvolvidos en instalacións alleas á obra. No caso de instalacións de obra, o regulamento regulador recollerá criterios para lle garantir o mesmo nivel de información da produción e de garantía ao usuario.
- No caso de produtos non previstos neste anexo pero si nesta instrución, deberá achegar garantías adicionais sobre características distintas das exixidas regulamentariamente, pero que poidan contribuir ao cumprimento dos requisitos recollidos nesta instrución.

A10.5 Requisitos de carácter específico dos distintivos

Esta instrución define, ademais dos requisitos xerais exixidos no número 4 deste anexo, uns requisitos específicos que deben considerar os distintivos de calidade para poderen ser recoñecidos por unha Administración competente.

A10.5.1 Elementos fabricados en taller

O distintivo de calidade deberá:

- Garantir que a recepción dos produtos de aceiro e dos elementos de unión empregados, de ser o caso, así como o sistema de almacenamentos, permiten unha perfecta rastrexabilidade mediante un control continuo e documentado do consumo dos ditos produtos.
- Exixir un sistema informatizado do control da rastrexabilidade dos elementos respecto aos produtos empregados.
- Exixir que, cando se produzan discontinuidades superiores a 1 mes na produción, o fabricante lle comunique ao organismo certificador a dita discontinuidade. En caso contrario, someterase ao réxime sancionador que se deberá establecer no regulamento regulador do distintivo. As exixencias á produción e a intensidade dos controis tras a discontinuidade deberán estar previstas no regulamento regulador, en función das causas que a motivasen.
- Obrigar a que os talleres dispoñan de sistemas de etiquetaxe mediante códigos informatizados que garantan a rastrexabilidade dos elementos e que permitan a xestión posterior da rastrexabilidade na obra.

- Definir e aplicar, de ser o caso, un réxime sancionador que garanta o mínimo impacto da produción de produtos non conformes no usuario. Para este fin, non poderán transcorrer máis de 3 meses desde que se detecte unha non conformidade relativa aos requisitos do produto ata que, se non se tivese solucionado, se suspenda o uso da marca para o dito produto certificado.

A10.5.2 Produtos de aceiro

O distintivo de calidade para produtos de aceiro deberá:

- Garantir un valor engadido respecto ás características que non queden recollidas pola marcación CE.
- Garantir valores engadidos enfocados aos procesos de transformación nos talleres de montaxe.
- Garantir características dos produtos que sexan coherentes coas consideracións especiais que prevé, para os ditos casos, esta instrución.
- Exixir que os fabricantes dispoñan de sistemas de etiquetaxe mediante códigos informatizados que garantan a rastrexabilidade do aceiro ata o nivel de coada e que permita a xestión da referida rastrexabilidade polo cliente.

A10.6 Requisitos xerais do organismo certificador

Será un organismo acreditado conforme o Regulamento (CE) nº 765/2008 do Parlamento Europeo e do Consello, do 9 de xullo de 2008, de conformidade con UNE-EN 45011 para o caso de certificación de produtos.

O organismo certificador porá á disposición da Administración competente que realice o recoñecemento toda a información necesaria para o correcto desenvolvemento das actividades que lle competen en relación co recoñecemento do distintivo.

Así mesmo, o organismo certificador deberá:

- Notificarlle á Administración competente que realice o recoñecemento oficial calquera cambio que se producise nas condicións iniciais en que se concedeu o recoñecemento.
- Dotarse dun órgano, específico para cada produto, que analice a aplicación do regulamento regulador e adopte ou, de ser o caso, propoña a adopción de decisións relativas á concesión do distintivo. Na súa composición deberán estar representados equitativamente os fabricantes, os usuarios e os axentes colaboradores coa certificación (laboratorios, auditores, etc.).
- Comprobar que o laboratorio utilizado para realizar o control de produción conta cos recursos materiais e humanos suficientes.

- Comprobar a conformidade dos resultados de ensaio do control de produción cunha periodicidade adecuada á fabricación do produto e, en ningún caso, menos dunha vez ao semestre. Para iso, os seus regulamentos reguladores establecerán criterios de aceptación, tanto estatísticos como puntuais. Para a análise destes resultados de ensaio, o regulamento regulador establecerá tamén os criterios para a súa corrección, en función dos resultados obtidos polo laboratorio verificador nos ensaios de contraste. Deberase comprobar a conformidade estatística tanto dos resultados de autocontrol corrixidos como dos non corrixidos.
- Comprobar que, cando se produce unha non conformidade do control de produción, os fabricantes tomaron medidas correctivas nun prazo non superior a unha semana e informaron por escrito os seus clientes, achegándolles os resultados do autocontrol. Deberán ter resolto a non conformidade nun prazo máximo de tres meses. En función da adopción de medidas correctivas, poderase conceder un prazo adicional doutros tres meses, á finalización do cal se procederá á retirada do distintivo no caso de se manter a non conformidade. De ser o caso, e para o efecto de axilizar a adopción de medidas, as alegacións do fabricante e a proposta de retirada do distintivo, poderá ser efectuada por procedementos informáticos (internet, etc.).
- Efectuar, mediante laboratorios verificadores, ensaios de contraste periódicos das propiedades dos produtos amparados polo distintivo. A toma de mostras para efectuar estes ensaios débese realizar garantindo a representatividade e a correcta distribución aos laboratorios verificadores e tamén aos laboratorios propios dos fabricantes, de ser o caso. O organismo certificador, en función dos resultados obtidos, efectuará, de ser o caso, correccións dos datos obtidos no control de produción.
- Organizar programas de ensaio interlaboratorios, con periodicidade mínima anual, que permitan seguir a evolución dos laboratorios verificadores.
- Establecer un sistema de seguimento no mercado, de forma que todos os produtos amparados polo distintivo sexan obxecto de análise de forma periódica, tomando mostras para o seu ensaio e comprobando que a documentación permite, en todo caso, garantir tanto a rastrexabilidade como a coincidencia do produto subministrado coas características deste que figuran na folla de subministración.

A10.7 Requisitos xerais dos laboratorios verificadores

Deberán ser laboratorios propios do certificador ou subcontratados, acreditados segundo o Regulamento (CE) nº 765/2008 do Parlamento Europeo e do Consello, do 9 de xullo de 2008, conforme a UNE-EN ISO/IEC 17025 ou pertencentes a algunha Administración pública con competencias no ámbito da construción dos previstos no número 78.2.2.1.

A10.8 Requisitos relativos á instalación de produción

A instalación de produción deberá:

- Ter implantado un sistema de xestión da calidade auditado por un organismo certificador acreditado segundo o Regulamento (CE) nº 765/2008 do Parlamento Europeo e do Consello, do 9 de xullo de 2008, conforme a UNE-EN ISO/IEC 17021. O dito sistema será conforme coa norma UNE-EN ISO 9001, nas partes que lle sexan de aplicación.
- Dispor dun laboratorio para o control continuo da produción e do produto a subministrar, propio ou contratado.
- Ter definido e desenvolvido un control de produción continuo en fábrica, dos datos do cal se deberá dispor, polo menos, durante un período de seis meses antes da concesión. O dito período poderá ser de dous meses nalgúns casos especiais en que se fabrique regularmente o mesmo produto, como por exemplo no das instalacións de obra. Para estes casos, o regulamento regulador incluírá criterios específicos que lle garantan o mesmo nivel de garantía ao usuario que no caso xeral, de forma que se poida conceder o distintivo nun prazo máximo de dous meses desde a presentación dos referidos datos de autocontrol.
- Ter subscriba unha póliza de seguro que ampare a súa responsabilidade civil por posibles produtos defectuosos por el fabricados, nunha contía suficiente, de acordo co establecido polo regulamento regulador do distintivo de calidade.
- Dispor dun sistema de información sobre os resultados do control de produción, que sexa accesible para o usuario, mediante procedementos informáticos (internet, etc.).

Anexo 11: Índice de contribución da estrutura á sustentabilidade

A11.1 Consideracións xerais

O proxecto, a execución e o mantemento das estruturas de aceiro constitúen actividades, enmarcadas no contexto xeral da construción, que poden contribuír á consecución das condicións que permitan un adecuado desenvolvemento sustentable.

A sustentabilidade é un concepto global, non específico das estruturas de aceiro, que require que se satisfagan unha serie de criterios medioambientais, así como outros de carácter económico e social. A contribución á sustentabilidade das estruturas de aceiro depende, por tanto, do cumprimento de criterios como o uso racional da enerxía empregada (tanto para a elaboración dos produtos de construción como para o desenvolvemento da execución), o emprego de recursos renovables, o emprego de produtos reciclados e a minimización dos impactos sobre a natureza como consecuencia da execución e a creación de zonas de traballo saudables. Ademais, o proxecto, a execución e o mantemento das estruturas de aceiro poden ter en conta outros aspectos como a amortización dos impactos iniciais durante a vida útil da estrutura, a optimización dos custos de mantemento, a incorporación de técnicas innovadoras resultado de estratexias empresariais de I+D+i, a formación continua do persoal que participa nas diversas fases da estrutura, ou outros aspectos de carácter económico ou social.

Sen prexuízo do cumprimento da lexislación de protección ambiental vixente, a propiedade poderá establecer que a execución da estrutura teña en conta unha serie de consideracións de carácter medioambiental, co obxecto de minimizar os potenciais impactos derivados da dita actividade. De ser o caso, a dita exigencia deberíase incluír nun anexo de avaliación ambiental da estrutura, que formará parte do proxecto. En caso de que o proxecto non considerase este tipo de exigencias para a fase de execución, a propiedade poderá obrigar ao seu cumprimento mediante a introdución das cláusulas correspondentes no contrato co construtor.

Para o caso de que o proxectista establecese exigencias relativas á contribución da estrutura á sustentabilidade e a propiedade así o decida, neste anexo defínese un índice de contribución da estrutura á sustentabilidade (ICES-EA) [índice de contribución da estrutura de aceiro á sustentabilidade], obtido a partir do índice de sensibilidade medioambiental desta (ISMA-EA) [índice de sensibilidade medioambiental da estrutura de aceiro], establecendo procedementos para estimalos cando así o decida a propiedade.

Os criterios mencionados neste anexo refírense exclusivamente a actividades relativas á estrutura de aceiro. Ao ser esta un elemento enmarcado frecuentemente no conxunto dunha obra de maior envergadura (edificio, nave industrial, ponte, etc.), o autor do proxecto e a dirección facultativa deberán velar, de ser o caso, pola coordinación destes criterios con respecto aos que se adopten para o resto da obra.

A11.2 Criterios xerais aplicados ás estruturas de aceiro

A estimación de indicadores de sustentabilidade ou, de ser o caso, medioambientais considerados nesta instrución pode ter como finalidade:

- A comparación entre diferentes solucións estruturais de aceiro, ou
- o establecemento dun parámetro cuantitativo de valoración da calidade da estrutura en relación con estes aspectos.

En xeral, unha estrutura ten maior valor para efectos de sustentabilidade cando compatibiliza as exixencias definidas no artigo 5º desta instrución con:

- A optimización do consumo de materiais, empregando menores cantidades de aceiro,
- a extensión da vida útil da estrutura, que produce unha maior amortización durante esta dos posibles impactos producidos na fase de execución,
- o emprego de aceiros:
 - que procedan da reciclaxe de residuos férricos (chatarra),
 - que se obteñan mediante procesos que produzan menores emisións de CO₂ á atmosfera,
 - que demostren un aproveitamento dos seus residuos como, por exemplo, das súas escouras,
 - que proveñan de procesos que garantan o emprego de materias primas férricas non contaminadas radioloxicamente.
- a implantación de sistemas voluntarios de certificación medioambiental para os procesos de fabricación de todos os produtos empregados na estrutura e, en particular, os de execución da estrutura, incluíndo a fabricación en taller, a montaxe en obra e o seu transporte ata a obra, de ser o caso,
- o emprego de produtos en posesión de distintivos de calidade oficialmente recoñecidos que favorezan a adecuada consecución das exixencias básicas das estruturas co menor grao de incerteza posible,
- o cumprimento de criterios preventivos adicionais aos requisitos establecidos pola regulamentación vixente que sexa aplicable en materia de seguridade e saúde das obras,
- a aplicación de criterios innovadores que aumenten a produtividade, a competitividade e a eficiencia das construcións, así como a accesibilidade do usuario a estas,

- a minimización dos impactos potenciais sobre o contorno, derivados da execución da estrutura (ruído, partículas, etc.), e
- en xeral, o menor emprego posible de recursos naturais.

A11.3 Método xeral de consideración de criterios de sustentabilidade

A consideración de criterios de sustentabilidade nunha estrutura de aceiro será decidido pola propiedade, que deberá ademais:

- Comunicarlllo ao autor do proxecto para que incorpore as correspondentes medidas durante a redacción deste,
- consideralo no encargo da execución,
- controlar o cumprimento por parte do construtor dos criterios durante a execución, e
- velar porque se lles transmitan aos usuarios, de ser o caso, os criterios adecuados de mantemento.

A propiedade, de ser o caso, deberalle comunicar ao autor do proxecto o criterio de sensibilidade que, de acordo co número A11.5 deste anexo, deberá cumprir a estrutura. Considérase que unha estrutura de aceiro cumpre o criterio definido pola propiedade cando, segundo o caso, se cumplan as seguintes condicións:

$$\text{ICES-EA}_{\text{propiedade}} \leq \text{ICES-EA}_{\text{proxecto}} \leq \text{ICES-EA}_{\text{execución}}$$

onde:

- Propiedade Indica que o índice ICES-EA é o definido pola propiedade no encargo.
- Proxecto Indica que o índice é o establecido polo autor do proxecto.
- Execución Indica que é o índice que se obtivo como consecuencia do control das condicións reais en que se executou a estrutura, de acordo co artigo 91º da instrución.

A11.4 Índice de sensibilidade medioambiental da estrutura de aceiro (ISMA-EA)

A11.4.1 Definición do índice de sensibilidade medioambiental

Defínese como “índice de sensibilidade medioambiental” dunha estrutura o resultado de aplicar a seguinte expresión:

$$ISMA-EA = \sum_{i=1}^{i=6} \alpha_i \cdot \beta_i \cdot \gamma_i \cdot V_i$$

sendo:

α_i , β_i e γ_i Coeficientes de ponderación de cada requirimento, criterio ou indicador, de acordo coa táboa A11.4.1.a.

V_i Coeficientes de valor obtidos para cada criterio, de acordo coa seguinte expresión en función do parámetro representativo en cada caso.

$$V_i = K_i \left[1 - e^{-m_i \left(\frac{P_i}{n_i} \right)^{A_i}} \right]$$

sendo:

K_i , m_i , n_i e A_i Parámetros cuxos valores dependen de cada indicador, de acordo coa táboa A11.4.1.b.

P_i Valor que toma a función representativa para cada indicador, de acordo co sinalado no número A11.4.3 deste anexo.

Táboa A11.4.1.a. Coeficientes de ponderación

Requirimento medioambiental	Coeficiente de ponderación		
	α	β	γ
Características medioambientais dos produtos de aceiro	0,70	0,40	1
Optimización da execución		0,40	0,5
Nivel de control da execución			0,5
Optimización medioambiental do aceiro		0,20	1
Medidas específicas para control dos impactos	0,30	0,33	1
Medidas específicas para xestionar os residuos		0,67	1

Táboa A11.4.1.b Parámetros

Requirimento medioambiental	K_i	m_i	n_i	A_i
Características medioambientais dos produtos de aceiro	1,02	-0,50	50	3,00
Optimización da execución	1,06	-0,45	35	2,50
Nivel de control da execución	1,05	-1,80	40	1,20
Optimización medioambiental do aceiro	10,5	-0,001	1	1,00
Medidas específicas para control dos impactos	10,5	-0,001	1	1,00
Medidas específicas para xestionar os residuos	1,21	-0,40	40	1,60

A11.4.2 Clasificación medioambiental das instalacións

Para os efectos desta instrución, enténdese que unha instalación presenta un distintivo de carácter medioambiental cando estea en posesión dun distintivo de calidade conforme a UNE-EN ISO 14001 ou un EMAS.

Mesmo non estando en posesión dun distintivo de carácter medioambiental, considérase que a instalación ten compromiso ambiental para os efectos desta instrución cando cumpra as seguintes circunstancias:

a) No caso dunha instalación de fabricación en taller:

- Dispoñen dun distintivo de calidade oficialmente recoñecido, de acordo co artigo 84º desta instrución,
- empregan produtos de aceiro en posesión dun distintivo de calidade oficialmente recoñecido,
- controlan e rexistran os procesos de xestión ou reciclaxe de residuos (por exemplo mediante uso de contedores, plans de xestión de residuos, etc.).

b) No caso da empresa de execución en obra:

- empregan produtos de aceiro en posesión dun distintivo de calidade oficialmente recoñecido,
- controlan e rexistran os procesos de xestión ou reciclaxe de residuos (por exemplo mediante o uso de contedores, plans de xestión de residuos, etc.),
- dispoñen de zonas delimitadas para o almacenamento dos produtos,
- adoptan medidas para diminuír a emisión do ruído provocado polos procesos desenvolvidos para a execución da estrutura.

c) No caso da empresa construtora, en relación coa montaxe en obra:

- Acumulan os residuos en contedores independentes para a súa reciclaxe e xestión,

- dispoñen de zonas delimitadas para o almacenamento dos produtos,
- adoptan medidas para diminuír a emisión do ruído causado polos procesos desenvolvidos para a execución da estrutura.

A11.4.3 Criterios medioambientais e funcións representativas

A11.4.3.1 Criterio medioambiental de caracterización dos produtos de aceiro

Este criterio valora a sensibilidade medioambiental da fabricación dos produtos de aceiro. Ten como obxectivos diminuír as emisións de CO₂ procedentes da fabricación do aceiro e diminuír a cantidade de residuos procedentes da fabricación dos produtos de aceiro.

$$P_1 = \frac{1}{100} \frac{A}{100} \sum_{i=1}^{i=2} p_{1i} \cdot \lambda_{1i}$$

onde:

λ_{1i} Valores obtidos da táboa A11.4.3.1.

A Porcentaxe de produtos de aceiro en posesión dun distintivo de calidade oficialmente recoñecido.

p_{1i} Porcentaxe de utilización na obra de cada aceiro identificado na táboa A11.4.3.1.

Táboa A11.4.3.1

Condición medioambiental	De acordo con / mediante	Coefficiente de valor (λ_{1i})
Sen certificación	Non se aplica a norma UNE-EN ISO 14001 nin o sistema EMAS, ou o produto non está certificado mediante unha marca voluntaria de calidade con distintivo oficialmente recoñecido, ou o certificado de produto non acredita que o dito aceiro está sometido ás exixencias do Protocolo de Kyoto.	0
Con produción sometida a certificación de carácter medioambiental	Norma UNE-EN ISO 14001.	10
	Norma UNE-EN ISO 14001 e rexistro EMAS ou rexistro EMAS sen norma UNE-EN ISO 14001.	40
	O aceiro acredita mediante a posesión dun distintivo de calidade oficialmente recoñecido que a súa produción está sometida ás exixencias do protocolo de Kyoto.	60

A11.4.3.2 Criterio medioambiental de optimización da execución

Este criterio valora a sensibilidade medioambiental coa que se desenvolven os procesos para a fabricación en taller das estruturas, así como os procedementos de montaxe en obra. Ten como obxectivos os seguintes:

- diminuír a cantidade dos residuos procedentes da fabricación,
- fomentar a optimización de elementos e a reciclaxe daqueles residuos cuxa xeración sexa inevitable, e
- diminuír os impactos durante a montaxe en obra.

A función representativa deste criterio vén definida por:

$$P_2 = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{i=2} p_{2i} \cdot \lambda_{2i}$$

onde p_{2i} é a porcentaxe que representa cada unha das posibles procedencias das elementos que se colocan na obra e λ_{2i} é a suma dos valores que sexan aplicables segundo as condicións medioambientais das instalacións, para a correspondente columna da táboa A11.4.3.2.

Táboa A.11.4.3.2

Instalación	Condición medioambiental	Coeficientes (λ_{2i})	
		Caso 1:	Caso 2:
		Instalación de fabricación en taller	Instalación de execución en obra
		λ_{21}	λ_{22}
Instalación de fabricación en taller	Con distintivo medioambiental	80	-
	Con compromiso medioambiental	60	-
	Outros casos	30	-
Instalación de execución en obra	Con distintivo medioambiental	-	70
	Con compromiso medioambiental	-	30
	Outros casos	-	0
Empresa construtora	Con distintivo medioambiental	20	30
	Con compromiso medioambiental	10	15
	Outros casos	0	0

Os valores da táboa anterior correspóndense cunha distancia máxima de transporte de 300 km para os elementos fabricados en taller. No caso de que a dita distancia fose maior, o valor do coeficiente λ_{21} correspondente á instalación de fabricación en taller reducirase en 5 e o correspondente á empresa construtora aumentarase en 5, salvo na fila correspondente a "Outros casos", que seguirá sendo 0.

A11.4.3.3 Criterio medioambiental de sistemática do control de execución

Este criterio valora a contribución medioambiental asociada á diminución dos recursos consumidos para a elaboración da estrutura, como consecuencia dun nivel de control de execución intenso e do emprego de produtos en posesión dun distintivo de calidade oficialmente recoñecido.

A función representativa deste criterio vén definida por:

$$P_3 = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{i=2} p_{3i} \cdot \lambda_{3i}$$

onde p_{3i} é a porcentaxe de utilización na obra de cada un dos casos que se definen na táboa A11.4.3.3 e λ_{3i} é o coeficiente reflectido nela para cada caso.

Táboa A11.4.3.3

Subcriterio	Coeficiente de valor (λ_{3i})
Non se aplica diminución de γ_M , de acordo co número 15.3	$\lambda_{31} = 0$
Aplicase diminución de γ_M , de acordo co número 15.3	$\lambda_{32} = 100$

A11.4.3.4 Criterio medioambiental de optimización do aceiro

Este criterio valora a contribución medioambiental asociada á reciclaxe de residuos férricos (chatarra), así como o aproveitamento dos subprodutos producidos no proceso.

A función representativa deste criterio vén definida por:

$$P_4 = \frac{1}{100} \frac{A}{100} \sum_{i=1}^{i=2} p_{4i} \cdot \lambda_{4i}$$

onde:

λ_{4i} Valores obtidos da táboa A11.4.3.4.

A Porcentaxe de aceiro en posesión dun distintivo de calidade oficialmente recoñecido.

p_{4i} Porcentaxe de utilización na obra de cada aceiro identificado na táboa A11.4.3.4.

Táboa A11.4.3.4

Optimización de recursos na fabricación do aceiro	Coeficientes (λ_{4i})
O aceiro acredita, mediante a posesión dun distintivo de calidade oficialmente recoñecido, que a súa produción procede da reciclaxe de chatarra, polo menos nun 80%.	$\lambda_{41} = 45$
O aceiro acredita mediante posesión dun distintivo de calidade oficialmente recoñecido que realiza un aproveitamento das súas escouras superior ao 50%.	$\lambda_{42} = 25$
O aceiro acredita, mediante posesión dun distintivo de calidade oficialmente recoñecido, que tanto as materias primas férricas utilizadas na siderurxia como os produtos de aceiro se someteron a controis de emisión radiolóxicos verificables e documentados.	$\lambda_{43} = 30$

A11.4.3.5 Criterio medioambiental de control dos impactos

Este criterio valora a contribución medioambiental asociada a unha execución da estrutura que minimize os impactos sobre o medio ambiente e, en particular, a emisión de partículas e gases ao aire.

A función representativa deste criterio vén definida por

$$P_5 = \sum_{i=1}^{i=2} p_{5i} \cdot \lambda_{5i}$$

onde p_{5i} e λ_{5i} son os parámetros obtidos da táboa A11.4.3.5.

Táboa A11.4.3.5

Subcriterio	p_{5i}	λ_{5i}
Non se realiza pintado en obra	1	50
Non se realiza soldadura en obra	1	50

A11.4.3.6 Criterio medioambiental de xestión dos residuos

Este criterio valora a contribución medioambiental asociada a unha execución da estrutura que xestione adecuadamente os residuos xerados durante o dito proceso. En particular, tense en conta a existencia dun plan de xestión dos materiais de escavación, dun plan de xestión dos residuos de construción e demolición.

A función representativa deste criterio vén definida por:

$$P_6 = \lambda_6$$

Onde λ_{6i} son os valores obtidos da táboa A11.4.3.6.

Táboa A11.4.3.6

Subcriterio	Casuística	λ_6	
Xestión dos residuos de construción e demolición (RCD).	Ningunha acción controlada	0	
	Reciclar unha porcentaxe, indicada na columna seguinte, e o resto ao vertedoiro.	20%	20
		40%	40
		60%	60
		80%	80
		100%	100

A11.5 Índice de contribución da estrutura á sustentabilidade

Defínese como “índice de contribución da estrutura á sustentabilidade” (ICES-EA) o resultado de aplicar a seguinte expresión:

$$\text{ICES-EA} = a+b \cdot \text{ISMA-EA}$$

debedo cumprirse, ademais, que:

$$\text{ICES-EA} \leq 1$$

$$\text{ICES-EA} \leq 2 \cdot \text{ISMA-EA}$$

ICES-EA é o mínimo de:

- 1) $a+b \cdot \text{ISMA-EA}$
- 2) 1
- 3) $2 \cdot \text{ISMA}$

onde:

a Coeficiente de contribución social, obtido como suma dos coeficientes indicados na táboa A11.5, segundo os subcriterios que sexan aplicables:

$$a = \sum_{i=1}^{i=5} a_i$$

Táboa A.11.5

Subcriterio	En proxecto	En execución
O construtor aplica métodos innovadores que sexan resultados de proxectos de I+D+i realizados nos últimos 3 anos.	$a_1 = 0$	$a_1 = 0,02$
Polo menos o 30% do persoal que traballa na execución da estrutura tivo cursos de formación específica en aspectos técnicos, de calidade ou medioambientais.	$a_2 = 0$	$a_2 = 0,02$
Adóptanse medidas voluntarias de seguridade e saúde adicionais ás establecidas regulamentariamente para a execución da estrutura.	$a_3 = 0$	$a_3 = 0,04$
Elabórase unha páxina web pública e específica para a obra co obxecto de informar o cidadán, incluíndo as súas características e prazos de execución, así como as súas implicacións económicas e sociais.	$a_4 = 0,01$	$a_4 = 0,02$
Trátase dunha estrutura incluída nunha obra declarada como de interese xeral pola Administración pública competente.	$a_5 = 0,04$	$a_5 = 0,04$

b Coeficiente de contribución por extensión da vida útil, obtido de acordo coa seguinte expresión:

$$b = \frac{t_g}{t_{g,\min}} \leq 1,25$$

b é o mínimo de:

1) $\frac{t_g}{t_{g,\min}}$

2) 1,25

sendo:

t_g Vida útil realmente considerada no proxecto para a estrutura, dentro dos rangos previstos no artigo 5 da instrución, e

$t_{g,\min}$ valor da vida útil establecido no número 5.1 da instrución para o correspondente tipo de estrutura.

A partir do ICES-EA, pódese clasificar a contribución da estrutura á sustentabilidade de acordo cos seguintes niveis:

Nivel A: $0,81 \leq \text{ICES-EA} \leq 1,00$

Nivel B: $0,61 \leq \text{ICES-EA} \leq 0,80$

Nivel C: $0,41 \leq \text{ICES-EA} \leq 0,60$

Nivel D: $0,21 \leq \text{ICES-EA} \leq 0,40$

Nivel E: $0,00 \leq \text{ICES-EA} \leq 0,20$

Onde A é o extremo máximo da escala (máxima contribución á sustentabilidade) e E é o extremo mínimo desta (mínima contribución á sustentabilidade).

A11.6 Comprobación dos criterios de contribución á sustentabilidade

A11.6.1 Avaliación do índice de contribución da estrutura á sustentabilidade no proxecto

No caso de que a propiedade decida aplicar criterios de sustentabilidade para a estrutura, o autor do proxecto deberá definir nel unha estratexia para conseguilos, avaliando o valor de proxecto do índice de contribución da estrutura á sustentabilidade ($\text{ICES-EA}_{\text{proxecto}}$) e identificando os criterios, ou subcriterios de ser o caso, que se deben cumprir para a consecución do valor establecido.

Para a avaliación do índice $\text{ICES-EA}_{\text{proxecto}}$ adoptaranse $a_1 = a_2 = a_3 = 0$.

Ademais, o autor do proxecto deberá reflectir as medidas necesarias que cómpre ter en conta durante a execución da estrutura nos correspondentes documentos e, en particular, na memoria, no prego de prescricións técnicas particulares e no orzamento.

A11.6.2 Avaliación do índice de contribución da estrutura á sustentabilidade real da execución

No caso de que a propiedade decidise aplicar criterios de sustentabilidade para a estrutura, a dirección facultativa deberá controlar, directamente ou a través dunha entidade de control de calidade, que o valor real do índice de contribución da estrutura á sustentabilidade como consecuencia das condicións reais da súa execución ($\text{ICES-EA}_{\text{execución}}$) non é inferior ao valor do referido índice definido no proxecto.

Os documentos acreditativos da valoración final do $\text{ICES-EA}_{\text{execución}}$ formarán parte da documentación final de obra.