



**Escola de Camins**

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports  
UPC BARCELONATECH

## PROJECTE O TESINA D'ESPECIALITAT

**Títol**

**UNIONES ARTICULADES DE PERFILES TUBULARES**

**Autor/a**

**ANTONI SOLER GELABERT**

**Tutor/a**

**ALFREDO BERNARDO ARNEDO PENA**

**Departament**

**DEPARTAMENT D'ENGINYERIA DE LA CONSTRUCCIÓ**

**Intensificació**

**INTENSIFICACIÓ EN ESTRUCTURES**

**Data**

**JUNY 2014**

# Unions articulades de perfils tubulars

**Autor:** Antoni Soler Gelabert

**Tutors:** Alfredo Bernardo Arnedo Pena i Arcadi Sanmartín Carrillo

## Resum

La majoria dels accidents produïts en estructures metàl·liques es deuen a errors en el disseny o execució de les unions. La dificultat del disseny de les unions augmenta si es tracta de perfils tubulars, especialment circulars, perquè la seva geometria no és adequada per a la majoria de unions.

Alguns tipus de unions requereixen la unió del extrem de un perfil tubular amb un element pla, com una placa, de forma longitudinal. Aquestes unions, poc documentades, es poden realitzar de diversos mètodes dels que en destaquen tres: unió mitjançant un tall o ranura en el perfil de secció tubular buida, unió mitjançant l'aplanament del extrem de la secció tubular buida i unió mitjançant un medi auxiliar en forma de T.

En aquesta tesina s'han estudiat els tres mètodes per realitzar aquestes unions mitjançant cargols realitzant una guia per dissenyar aquestes unions amb exemples de dimensionament per cada mètode. Del darrer mètode s'han realitzat unes taules en les que es representen les possibles unions entre una selecció dels elements.

Aquestes taules serveixen tant per futur dimensionament en els que es tinguin les mateixes condicions com per analitzar aquest mètode de unió. Amb les taules s'ha estudiat si la formació del casquet en T mitjançant el tall de un perfil convencional en I per la meitat és factible o no. També s'ha estudiat quins dels perfils en I, HEB o IPE, són millors per aquestes unions.

Els resultats han sigut que els perfils IPE són més adequats quan la suma dels espessors de les dues plaques a unir és menor que l'espessor de l'ànima dels IPE. En cas contrari els perfils HEB són més adequats perquè disposen de un espessor d'ànima superior als IPE.

# Flexible joints of hollow section beams

**Author:** Antoni Soler Gelabert

**Tutors:** Alfredo Bernardo Arnedo Pena i Arcadi Sanmartín Carrillo

## Abstract

Most accidents occurred in metal structures are due to errors in design or execution of the connections. The difficulty of designing joints increases if the beams have a hollow section, especially CHS because its geometry isn't suitable for the majority of connections.

Some joints require the longitudinally connection of a hollow section profile end with a plane element, like a plate. There are several methods to do these connections, poorly documented, but the following three are the most used: through cutting the end of the profile, by flattening the end of the hollow tubular section and a using an auxiliary element with the form of a T.

In this dissertation, the three methods for these bolted joints have been studied while making a guide for designing these connections. Examples of how to design the connections using each method have been included. Finally a number of tables of results according to the last method have been made.

These tables are useful for future sizing of joints that have the same conditions as the analyzed and also for studying this method of binding. With the tables it has been studied if the formation of T-cap by cutting a profile in form of I by half is feasible or not. It has also been studied which of the profiles I, HEB and IPE are best suitable for these unions.

The results show that IPE profiles are more suitable when the sum of the thicknesses of the two plates to join is less than the thickness of the core of the IPE profile. Otherwise HEB profiles are more suitable because it has a thickness of the core greater than IPE profiles.

# ÍNDIX

1.Introducció.....	4
1.1.Objectius.....	5
2.Característiques de la unió.....	6
3.Unió mitjançant ranura.....	7
3.1.Mètodes de tall.....	8
3.2.Mecanismes de trencament.....	10
3.3.Consideracions per la fatiga.....	15
4.Unió mitjançant aplanament.....	16
4.1.Mètodes de aplanament.....	17
4.1.1.Cisellat-aplanat.....	19
4.1.2.Aplanament complet .....	20
4.1.3.Aplanament amb encuny rebaixat .....	21
4.1.1.Aplanament parcial.....	22
4.2.Consideracions de càlcul .....	23
4.3.Consideracions per la fatiga.....	25
5.Unió amb medi auxiliar.....	26
5.1.Consideracions de càlcul .....	27
5.2.Consideracions per la fatiga .....	30
6.Mètodes addicionals .....	31
7.Dimensionament de unions amb casquet en forma de T .....	35
7.1.Perfil CHS o RHS .....	35
7.1.1.Esforç de tracció .....	37

7.1.1.Esforç de compressió .....	38
7.2.Soldadura .....	40
7.3.Casquet en forma de T .....	42
7.4.Unió amb cargols .....	44
7.4.1.Resistència a tallant .....	49
7.4.2.Resistència a aixafament .....	52
7.4.3.Resistència al lliscament .....	54
7.5.Plaques .....	57
7.6.Exemples .....	58
7.6.1.Enunciat 1.....	49
7.6.2.Solució 1.....	49
7.6.3.Enunciat 2.....	49
7.6.2.Solució 2.....	49
8.Taules .....	35
8.1.Hipòtesis i condicions .....	35
8.2.Procediment .....	35
8.3.Resultats .....	35
9.Conclusions .....	35
8.1.Treball addicional .....	35
10.Referencies .....	35

## ÍNDIX DE FIGURES

Figura 3.1. Esquema de la unió mitjançant ranura. ....	13
Figura 3.2. Exemples de unions mitjançant ranura. A la esquerra un CHS i a la dreta un RHS. ....	13
Figura 3.3. Esquema de la forma de reduir el risc de corrosió de l'interior del perfil. ..	14
Figura 3.4. Representació del defecte format per la falta de precisió a l'hora de tallar. ....	15
Figura 3.5. Solució al problema del defecte mitjançant trepant. ....	15
Figura 3.6. Tall de ranura mitjançant fresadora.....	16
Taula 3.1. Espessors de “garganta” mínims que garanteixen que la soldadura resisteixi més que els elements que uneix.....	16
Figura 3.7. Mecanisme de trencament circumferencial amb a) soldadures únicament longitudinals i b) soldadures longitudinals i de retorn. ....	18
Figura 3.8. Exemple de trencament circumferencial (Martínez Saucedo i Packer, 2006). ....	18
Figura 3.9. Mecanisme de trencament per esquinçament amb a)soldadures únicament longitudinals i b)soldadures longitudinals i de retorn. ....	19
Figura 3.10. Exemple de trencament per esquinçament (Martínez Saucedo i Packer, 2006).....	19
Figura 3.11. Esquema de la unió amb la ranura en la placa. ....	20
Figura 3.12. Categoria de detall per les unions mitjançant ranura. ....	21
Figura 4.1. Esquema de la unió mitjançant aplanament de l'extrem del perfil .....	22
Figura 4.2. Exemple de unió mitjançant aplanament del extrem del perfil i cargols. ...	22
Figura 4.3. Esquema de una instal·lació de producció en sèrie de aplanament de perfils. ....	23
Figura 4.4. Possible fissuració en extrems aplanats de perfils tubulars. ....	24
Figura 4.5. Mostres per comprovar la capacitat d'aplanament de un perfil tubular conformat en fred.....	24
Figura 4.6. Mètodes de aplanament.....	25
Figura 4.7. Esquema del mètode de cisellat-aplanat. ....	26

Figura 4.8. Aplanament complet mitjançant encuny simple. ....	26
Figura 4.9. Aplanament complet amb encuny especial per aconseguir una zona de transició més llarga. ....	27
Figura 4.10. Forma de un perfil aplanat mitjançant encunys rebaixats. ....	27
Figura 4.11. Forma de realitzar un aplanament parcial. ....	28
Figura 4.12. Exemple de una unió entre CHS mitjançant aplanament parcial. ....	28
Taula 4.1. Dimensions i paràmetres investigats en els assaigs. ....	29
Figura 4.13. Fórmula per el disseny de nusos en N de Ciwko i Morris (1981). ....	30
Figura 4.14. Esquema de unió amb extrems parcialment aplanats. ....	30
Taula 4.2. Valors a canviar en les fórmules dels nusos amb CHS normals perquè siguin vàlides per CHS amb extrems parcialment aplanats. ....	31
Figura 4.15. Categoria de detall per les unions mitjançant aplanament. ....	31
Figura 5.1. Exemples de medis auxiliars. ....	32
Figura 5.2. Exemple de nus casquet amb T i cargols. ....	33
Figura 5.3. Nusos articulats amb casquet en T. ....	33
Figura 5.4. Representació de la excentricitat produïda per la desviació de la placa respecte l'eix longitudinal del CHS. ....	34
Figura 5.5. Transmissió de carrega per nusos amb casquets en T. ....	34
Figura 5.6. Àrea transversal en la que es distribueix la carrega. ....	35
Figura 6.1. Nus mitjançant peça en forma de Y. ....	37
Figura 6.2. Nus soldant la placa a la cara del RHS. ....	37
Figura 6.3. Nus amb dues plaques soldades en les cares del RHS. ....	38
Figura 6.4. Representació de la unió per placa interna. ....	38
Figura 6.5. Prolongació de un RHS mitjançant placa interna. ....	39
Figura 6.6. Trencament de la placa en la zona de cargols. ....	39
Figura 6.7. Trencament de la placa per “arrossegament per tallant”. ....	40
Figura 7.1. Elements que participen en la unió. ....	41
Taula 7.1. Valors habituals de la qualitat d'acer dels perfils tubulars. ....	42

Figura 7.2. Classes de secció per seccions tubulars. ....	42
Figura 7.3. Coeficients parcials de seguretat per la resistència per ELU. ....	43
Figura 7.4. Fallo per vinclament de un perfil CHS. ....	44
Taula 7.2. Valors del coeficient de imperfecció per elements comprimits. ....	46
Figura 7.5. Corbes de vinclament per perfils tubulars.....	46
Figura 7.6. “Pla de garganta”. ....	47
Taula 7.3. Coeficients de correlació. ....	47
Figura 7.7. Soldadura “a límit”.....	48
Figura 7.8. Esquema del trencament per esquinçament de la antiga ànima del casquet en forma de T. ....	49
Taula 7.4. Resistència última a tracció. ....	49
Figura 7.9. Pla d’esquinçament de una placa. ....	50
Figura 7.9. Exemple de trencament per esquinçament de una placa. ....	50
Taula 7.5. Límit elàstic i resistència a tracció dels cargols en funció del seu grau. ....	51
Figura 7.10. Sorrejat de un perfil metàl·lic. ....	52
Taula 7.6. Valors a sumar al diàmetre del cargol per obtenir el diàmetre dels forats estàndard.....	53
Taula 7.7. Valors a sumar al diàmetre del cargol per obtenir el diàmetre dels forats amb folgança. ....	53
Figura 7.10. Esquema dels paràmetres de disposició constructiva dels cargols. ....	54
Figura 7.11. Distància de l’eix del cargol a una superfície paral·lela. ....	55
Figura 7.12. Valors mínims i màxims dels paràmetres de disposicions constructives...	55
Figura 7.13. Trencament del cargol per l’efecte tallant.....	56
Figura 7.14. Esquema del trencament per tallant. Simple tall en la imatge de dalt i doble tall en la de baix.....	56
Figura 7.15. Efecte del moment flector en una unió amb cargols amb simple tall. ....	57
Taula 7.8. Àrea resistent a tracció dels cargols. ....	58
Figura 7.16. Tensions a la placa que poden provocar l’aixafament d’aquesta. ....	59



Figura 7.17. Deformació de la placa per aixafament.....	59
Figura 7.18. Nomenclatura dels espessors de les plaques a unir.....	60
Figura 7.19. Distribució dels esforços. Amb cargols convencionals en la imatge de l'esquerra i pretensats en la de la dreta.....	60
Taula 7.9. Valors del esforç de pretensat per els cargols habituals.....	61
Taula 7.10. Gir complementari en funció del espessor total de la unió.....	62
Taula 7.11. Factor <b>ks</b> en funció del tipus de forat.....	63
Figura 7.20. Valors del coeficient de fregament en funció del tipus de tractament de les superfícies de contacte.....	63
Figura 7.21. Esquema de la unió desitjada en l'exemple .....	64
Figura 7.22. Esquema de les longituds del casquet.....	65
Figura 7.23. Esquema de la unió dimensionada en l'exemple 1.....	67
Figura 7.24. Esquema de la unió desitjada.....	68
Figura 7.25. Esquema de la solució del exemple 2.....	70
Figura 8.1. Esquema dels talls a realitzar als perfils.....	71
Figura 8.2. Disposició de les plaques.....	72
Figura 8.3. Esquema de la disposició dels cargols.....	73
Figura 8.4. Gràfic de la resistència a aixafament de un cargol en funció de <b>e1</b> en casos en que $\alpha = 1$ en alguns valors de la iteració.....	74
Figura 8.5. Gràfic de la resistència a aixafament de un cargol en funció de <b>e1</b> en casos en que $\alpha \neq 1$ per tots els valors de la iteració.....	74
Figura 8.6. Gràfic de la resistència a aixafament, la resistència a tallant i l'esforç a transmetre per un cargol.....	75
Figura 8.7. Gràfic de la resistència a aixafament, la resistència a tallant i l'esforç a transmetre per un cargol amb intersecció del límit superior.....	76
Figura 8.8. Cas en el que la resistència a tallant és menor al esforç a transmetre.....	77
Figura 8.9. Solució del problema de la figura 8.8 augmentant el nombre de cargols a 8.....	77

Figura 8.10. Gràfica amb els límits imposats per la disposició dels cargols.....	78
Figura 8.11. Representació del cas en que el màxim geomètric elimina un dels intervals vàlids.....	78
Figura 8.12. Esquema i nomenclatura utilitzades en les taules del annex I.....	79

# 1. INTRODUCCIÓ

---

El perfils tubulars són utilitzats cada cop amb més freqüència per les seves virtuts. Aquests perfils, especialment els de secció circular, tenen millor comportament a torsió que els perfils convencionals. A més també tenen millor comportament tant a flexió com a vinclament que els convencionals en el seu eix dèbil i resisteixen més efectivament els ambients agressius.

El principal problema d'aquests perfils és la dificultat de unir-los amb elements plans o amb altres perfils tubulars, a causa de la seva geometria. Una de les principals característiques de les estructures metàl·liques és la presència de un gran nombre de discontinuïtats, principalment en forma de unions. Molts d'accidents en aquest tipus de estructures son produïts per errors en el disseny o execució de les unions.

Durant la fase de projecte de les unions és important decidir quin tipus de unió es vol realitzar: articulada, si es permet rotació entre els elements connectats, o rígida si no es permet. No obstant, en la realitat cap unió serà 100% rígida ni 100% articulada.

Un factor important en les unions és el seu cost que pot arribar a ser de l'ordre de un 40% del cost total de l'estructura. Normalment les unions rígides són més cares que les articulades perquè requereixen de una quantitat major de material o una millor qualitat d'aquest per aconseguir la resistència. Per aquest motiu són molt comunes les unions parcialment articulades. Malgrat que és poden realitzar tant amb soldadura com amb cargols, el més habitual per realitzar aquestes unions és utilitzar cargols.

Un cas molt habitual d'aquestes unions són les que connecten la diagonal de una gelosia amb els cordons principals. Aquestes unions es poden realitzar directament tallant els extrems dels perfils perquè encaixin i soldant, mètode àmpliament estudiat per nombrosos investigadors, o bé col·locant una cartel·la sobre el cordó i unint l'extrem de la diagonal amb aquesta, mètode menys estudiat.

Aquesta tesina es centrarà en el segon cas, les unions longitudinals formades per una secció tubular metàl·lica i una placa metàl·lica, especialment utilitzant cargols.

## **1.1 Objectius**

L'objectiu de aquesta tesina serà formar una monografia que reculli la informació necessària per dissenyar aquest tipus de unions per els mètodes principals, en forma de guia de disseny. A més es realitzaran exemples aplicant els coneixements obtinguts de forma que es mostri el procés a l'hora de dissenyar.

A part també s'elaboraran una sèrie de taules, aplicant els coneixement obtinguts, corresponent a les solucions del dimensionament mitjançant el mètode del casquet en T utilitzant meitats de perfils en I per diferents perfils convencionals, seccions tubulars, plaques i cargols. Amb aquestes taules es té l'objectiu d'estudiar quin tipus de perfils són més adequats per aquestes unions en funció dels altres elements. A més aquestes taules es podran utilitzar per futur dimensionaments d'aquestes unions.

## 2. CARACTERÍSTIQUES DE LA UNIÓ

---

Les unions longitudinals mitjançant cargols entre un perfil amb secció tubular buida i una placa sotmeses a únicament esforç axil es poden agrupar en tres grups que comparteixen característiques tant estructurals com de fabricació.

Les dificultats de unir aquests dos elements son evidents, per una part la poca superfície de contacte que es pot aconseguir entre ells impossibilita la realització de una unió directe que sigui resistent. Per una altre banda la gran diferencia geomètrica entre un element i l'altre dificulta la col·locació dels cargols. Per resoldre aquests problemes s'han de utilitzar mètodes especials i indirectes.

Es vol modificar el perfil de secció tubular buida? D'aquesta pregunta neix la primera divisió entre els diferents grups. Si la resposta és no s'haurà de utilitzar un medi auxiliar entre els dos elements formant el primer grup. En canvi, si la resposta és afirmativa es dividirà en dos grups addicionals segons la modificació a realitzar.

Cal esmentar que donat que s'utilitzen mètodes diferents, els grups també tindran característiques resistents diferents i s'hauran de dissenyar de diferent forma.

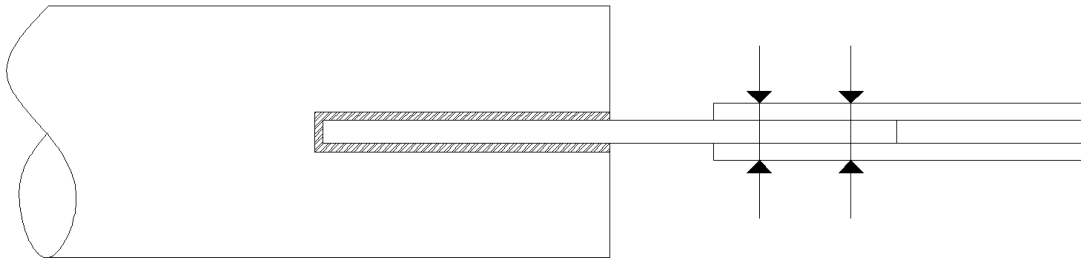
Els tres grups són:

- Unió mitjançant un tall o ranura en el perfil de secció tubular buida.
- Unió mitjançant l'aplanament del extrem de la secció tubular buida.
- Unió mitjançant un medi auxiliar.

### 3. UNIÓ MITJANÇANT RANURA

---

Aquest tipus de unió consisteix en fer un tall en forma de ranura a la secció tubular buida. En aquesta ranura es col·locarà una placa auxiliar unida al perfil mitjançant soldadura i aquesta auxiliar s'unirà a la placa principal mitjançant cargols (Figura 3.1). Per tal de evitar la aparició de flexió en la unió cal assegurar-se que la ranura estigui alineada concèntricament amb l'eix del perfil tubular.



**Figura 3.1. Esquema de la unió mitjançant ranura.**

Es solen utilitzar normalment en elements diagonals de arriostrament en estructures resoltes mitjançant pòrtics d'acer (figura 3.2) i en unions entre les diagonals i els cordons en estructures de gelosia per cobertes.

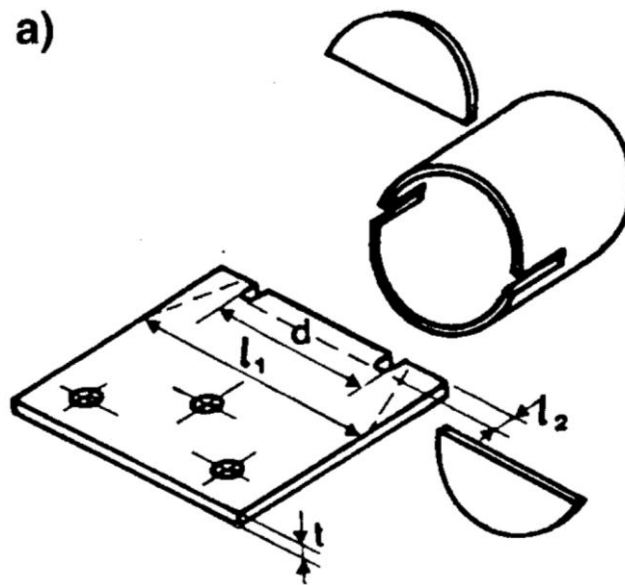


**Figura 3.2. Exemples de unions mitjançant ranura. A la esquerra un CHS i a la dreta un RHS.**

Un dels principals avantatges de la unió mitjançant ranura és la possibilitat de deixar un espai buit entre l'extrem de la placa auxiliar i l'extrem de la ranura. Aquest fet permet certa tolerància durant la fabricació i facilita la execució de la unió, especialment si les

soldadures es realitzen en obra. Si la fabricació es fa en el taller és habitual no deixar aquest espai buit i es sol soldar amb “soldadures de retorn”, d’aquesta forma l’interior del perfil tubular queda més protegit contra la corrosió.

És aconsellable segellar l’interior del perfil tubular per evitar problemes de corrosió interns. El més comú és utilitzar uns taps amb la forma adequada per tancar la obertura a l’extrem del perfil com representa la figura 3.3. Si es galvanitzen algunes parts en calent és important evitar que les soldadures rebentin per la alta pressió interior deguda a les masses de aire calent tancades.



**Figura 3.3. Esquema de la forma de reduir el risc de corrosió de l’interior del perfil.**

### 3.1. Mètodes de tall

És recomanable que, en general, el primer pas en qualsevol unió sigui la preparació dels extrems dels elements que en el cas de la unió a estudiar seria la realització de la ranura. Del gran nombre de tècniques de tall diferents que existeixen en l’actualitat, per la realització de una ranura en un perfil de secció tubular buida les més utilitzades són les següents:

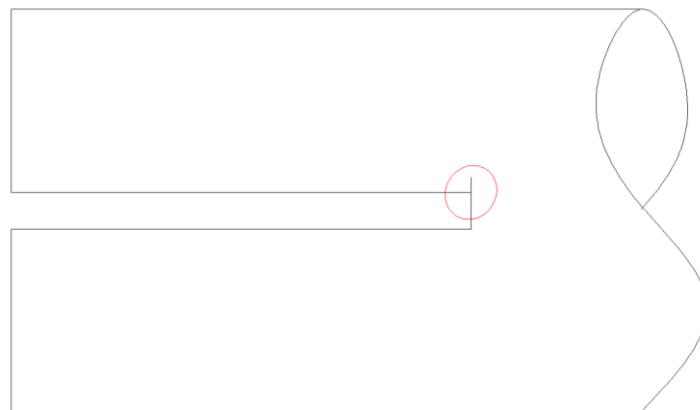
- Entalladura mitjançant fulles especials.
- Tall manual amb bufador.
- Tall semiautomàtic amb bufador.
- Ranurat amb fresadora.
- Ranurat amb discs abrasius.

Cal destacar també el tall mitjançant làser que cada cop adquireix més importància gràcies a l'increment en l'eficàcia d'aquestes tecnologies. Aquesta tècnica presenta resultats de gran qualitat i precisió, costos de operació reduïts, una zona afectada pel calor molt petita, una gran flexibilitat i taxes de tall molt elevades (fins a 10m/min).

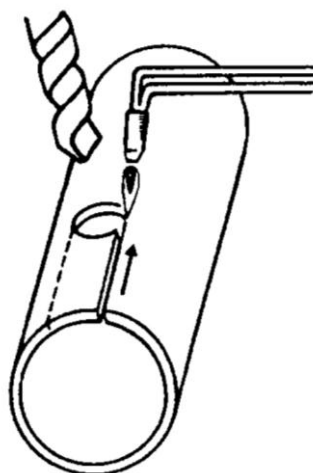
Malgrat tots aquests avantatges no és la tècnica més utilitzada a causa del elevat cost d'inversió requerit que dificulta l'accés a empreses petites i mitjanes.

El mètode més utilitzat, especialment en perfils circulars, és el tall amb bufador manual si es fa en la mateixa obra o el semiautomàtic si es fa en el taller. Per perfils tubular de grans diàmetres també s'utilitza el tall manual.

En el cas del tall manual es recomanable trepar un forat on es desitja tenir l'extrem de la ranura per evitar petits defectes a causa de la falta de precisió (Figura 3.4 i 3.5).



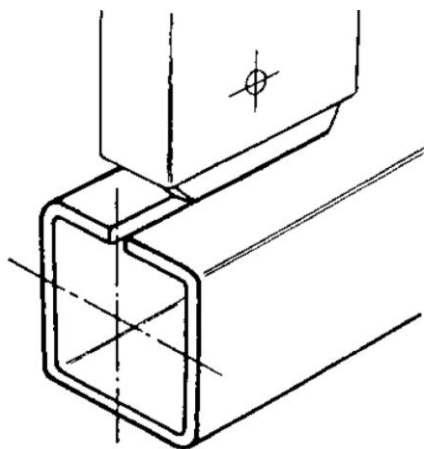
**Figura 3.4. Representació del defecte format per la falta de precisió a l'hora de tallar.**



**Figura 3.5. Solució al problema del defecte mitjançant trepar.**



En perfils tubulars de secció rectangular és més habitual el sistema de tall mitjançant una fresadora amb la fresa (o serra) paral·lela al perfil de la forma representada en la figura 3.6.



**Figura 3.6. Tall de ranura mitjançant fresadora.**

## 3.2. Mecanismes de trencament

Per evitar que una unió falli s'ha de comprovar la resistència de cada un dels elements que intervenen i els nexes de unió entre ells.

La comprovació dels elements bàsics com són el perfil tubular i les plaques es fa aplicant les consideracions i equacions de la darrera versió de la Instrucció d'Acer Estructural (EAE). La unió mitjançant cargols també es dissenya i comprova segons la EAE i serà explicada amb més deteniment en apartats posteriors.

La soldadura, tot i que també es pot comprovar amb les pautes de la EAE, es recomanable que sigui més resistent que la resta de elements per evitar un trencament fràgil. Segons el Eurocode 3 (EN 1993-1-8) i les consideracions del Comitè Internacional per el Desenvolupament i Estudi de les Estructures Tubulars (CIDECT) la soldadura no s'haurà de comprovar si compleix les condicions de la taula 3.1.

Qualitat de acer	Espessor de "garganta" mínim
S235	0.92t
S275	0.96t
S355	1.1t
S420	1.42t
S460	1.48t

**Taula 3.1. Espessors de "garganta" mínims que garanteixen que la soldadura resisteixi més que els elements que uneix.**

En aquesta taula  $t$  representa l'espessor més petit de les peces a unir mitjançant la soldadura.

Les unions longitudinals entre un perfil tubular circular i una placa mitjançant ranura i sotmeses únicament a tracció les han estudiat nombrosos investigadors, com ara Ling (2007) i Martínez Saucedo i Packer (2006) i s'han identificat dos possibles mecanismes de trencament addicionals: el trencament circumferencial del perfil tubular (figura 3.7) i el trencament per esquinçament del perfil (figura 3.9).

Aquest dos mecanismes sorgeixen de que només una part de la secció transversal del perfil participa en la unió, fet que produeix una distribució irregular de tensions sobre el perfil durant la transferència de carregues (figura 3.7). Aquest fenomen, comú en seccions amb ales, s'anomena "arrastre por cortante" i en el cas d'estudi depèn fonamentalment de la longitud de la soldadura.

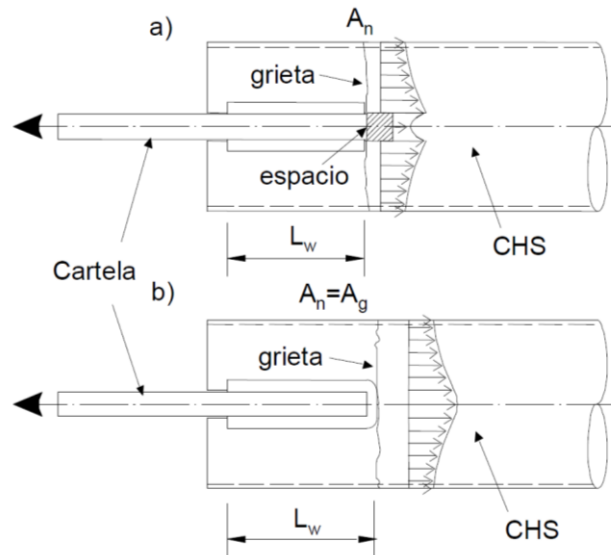
Si la longitud de la soldadura es curta dominarà l'esquinçament respecte el trencament circumferencial, en canvi si la longitud es llarga aquest efecte es torna menyspreable i dominarà el trencament circumferencial.

Martínez Saucedo i Packer (2006) van deduir que el valor límit de la longitud de soldadura a partir del que predomina un mecanisme de trencament o l'altre només depèn del diàmetre interior del perfil tubular ( $d_i$ ) i de l'espessor de la placa ( $t_p$ ) i que es pot obtenir de la següent expressió.

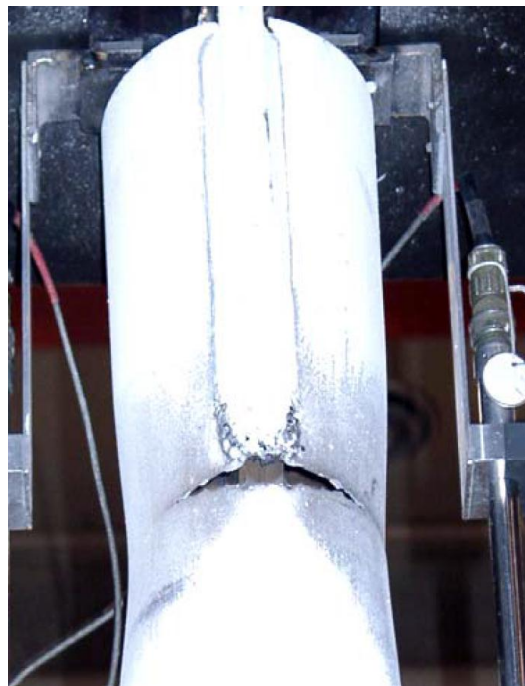
Si  $L_w < 0.7 \cdot w = 0.7 \cdot (0.5 \cdot \pi \cdot d_i - t_p)$  → Trencament per esquinçament

Si  $L_w \geq 0.7 \cdot w = 0.7 \cdot (0.5 \cdot \pi \cdot d_i - t_p)$  → Trencament circumferencial

Depenent de la longitud de soldadura ( $L_w$ ) només s'haurà de fer la comprovació d'un dels dos mecanismes de trencament.



**Figura 3.7. Mecanisme de trencament circumferencial amb a) soldadures únicament longitudinals i b) soldadures longitudinals i de retorn.**

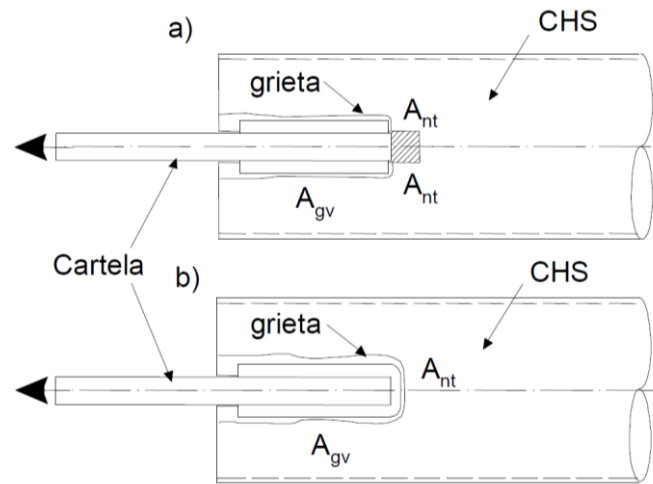


**Figura 3.8. Exemple de trencament circumferencial (Martínez Saucedo i Packer, 2006).**

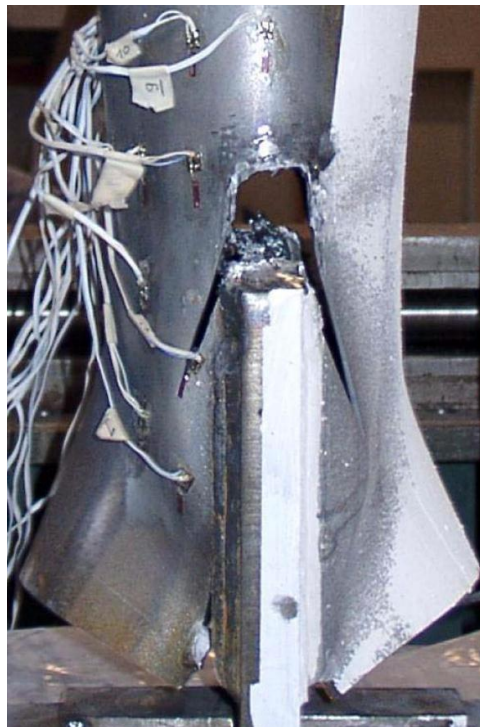
La resistència a tracció en l'estat límit de trencament circumferencial es pot calcular a partir de la equació 3.1 com van demostrar Martínez Saucedo i Packer (2006).

$$N_{Rd} = 0.9 \cdot A_n \cdot f_u \cdot \left( 1 - \frac{1}{\left[ 1 + \left( \frac{L_w}{W} \right)^{2.4} \right]^{5.7}} \right) \quad (3.1)$$

$A_n$  és l'àrea transversal neta del perfil tubular circular (CHS),  $f_u$  és la resistència última a tracció i  $w$  queda definit per la expressió de la pagina anterior. La constant 0.9 representa el coeficient de seguretat  $1/\gamma_m$ .



**Figura 3.9. Mecanisme de trencament per esquinçament amb a) soldadures únicament longitudinals i b) soldadures longitudinals i de retorn.**



**Figura 3.10. Exemple de trencament per esquinçament (Martínez Saucedo i Packer, 2006).**

Segons Martínez Saucedo i Packer (2006) la resistència a tracció per l'estat límit per esquinçament del CHS es pot determinar sumant la resistència a fractura del àrea neta a

tracció ( $A_{nt}$ ) i la resistència del àrea bruta a tallant ( $A_v$ ). D'aquesta forma van obtenir l'equació 3.2.

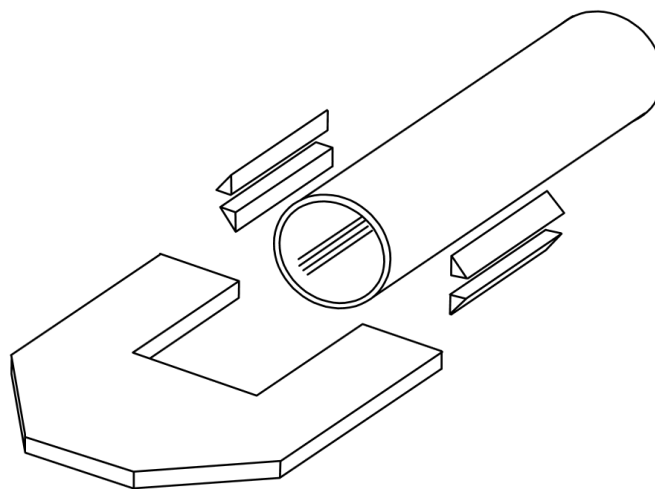
$$N_{Rd} = 0.9 \cdot \left( A_{nt} \cdot f_u + 0.58 \cdot A_v \cdot \left( \frac{f_y + f_u}{2} \right) \right) \quad (3.2)$$

Quan es deixa un espai buit entre l'extrem de la placa i la ranura, l'esquerda es forma a l'extrem de la soldadura tal i com representen les figura 3.7a i 3.9a. Aleshores el tall de la ranura no necessita estar suavitzat ni trepat sempre que la carrega sigui estàtica.

Malgrat que existeixen equacions independents per la resistència a compressió, per qüestions de simplicitat es permet utilitzar les equacions 3.1 i 3.2 de forma conservadora.

La forma més simple de dissenyar aquestes unions tant per tracció com per compressió, consisteix en assegurar-se que  $L_w \geq 1.3 \cdot d_i$ , de manera que es garanteix una capacitat igual o superior a la de deformació del perfil tubular circular (Martinez Saucedo i Packer, 2006).

Durant aquest capítol s'ha estat estudiant la forma de unió en la que la ranura es talla en el perfil tubular, no obstant també és possible tallar la ranura en la placa i acoblar-hi el perfil tubular (figura 3.11). Malgrat que aquestes unions es comporten pitjor que les estudiades en aquest capítol, motiu pel que no són utilitzades, es poden trobar les equacions corresponents en l'assaig de Martínez Saucedo i Packer del 2006 esmentat anteriorment "Slotted end connections to hollow sections".



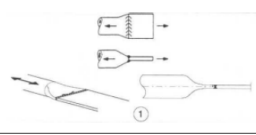
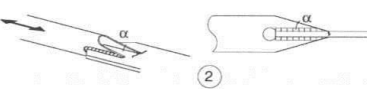
**Figura 3.11. Esquema de la unió amb la ranura en la placa.**

### 3.3. Consideracions per la fatiga

Si la estructura està sotmesa a carregues cícliques s'haurà de comprovar l'estat límit de fatiga.

Si es deixa un espai buit entre l'extrem de la ranura i la placa és important suavitzar el tall o bé trepar un forat abans de tallar per evitar petits defectes que, sotmesos a carregues periòdiques, poden convertir-se en problemes importants.

La categoria de detall d'aquestes unions es pot obtenir de la Taula 42.6.f de la EAE si l'espessor del perfil tubular es menor que 12.5mm (Figura 3.12).

Categoría de detalle	Detalle constructivo		Descripción	Requisitos
71			1) Uniones tubo-chapa con aplastamiento del extremo del tubo, biselado de bordes en X y soldadura a tope.	1) $\Delta\sigma$ ha de calcularse para el tubo.  Diámetro del tubo inferior a 200 mm.
71	$\alpha \leq 45^\circ$		2) Uniones tubo-chapa soldadas a lo largo de ranuras de inserción de la chapa en el tubo rematadas con taladros.	2) $\Delta\sigma$ ha de calcularse para el tubo. La fisuración por cortante de la soldadura debe comprobarse como detalle 8, tabla 42.6.e.
63	$\alpha > 45^\circ$			

**Figura 3.12. Categoria de detall per les unions mitjançant ranura.**

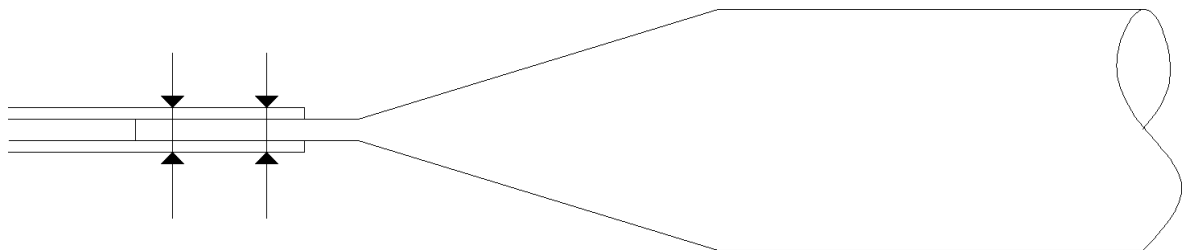
## 4. UNIÓ MITJANÇANT APLANAMENT

---

Per evitar la realització de talls precisos en alguns casos s'aplanen els extrems del perfils tubulars circulars. Aquest procés s'utilitza principalment en estructures temporals i en casos on el fabricant no disposa dels medis per fer els talls amb precisió.

Altres camps on també s'utilitza aquest mètode són el arriostaments contra vent lateral, bastides, petites bigues en gelosia, ponts grua, etc. En el cas de les unions longitudinals entre un perfil tubular buit i una placa també és un mètode molt utilitzat a causa de la no necessitat de un medi auxiliar i la ràpida execució si el perfil ha estat preparat amb anterioritat. De totes formes aquest mètode de unió no és habitual en perfils tubulars de secció rectangular.

El procés consisteix en l'aplanament de l'extrem del perfil tubular, ja sigui en fred o en calent, i la unió mitjançant soldadura o cargols a una placa aprofitant la nova forma del perfil (figura 4.1 i 4.2).



**Figura 4.1. Esquema de la unió mitjançant aplanament de l'extrem del perfil**



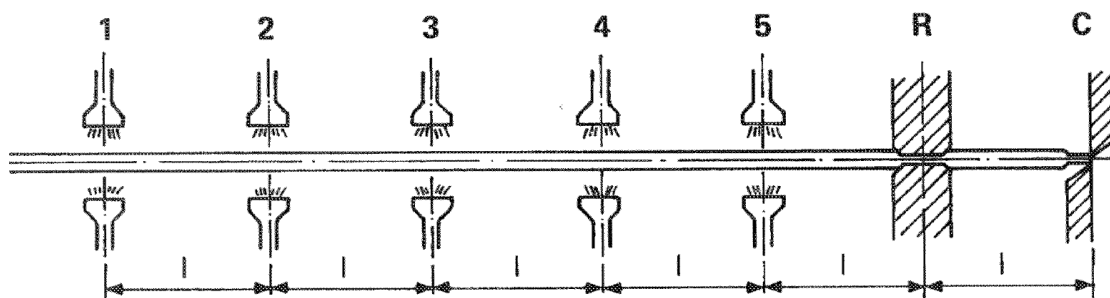
**Figura 4.2. Exemple de unió mitjançant aplanament del extrem del perfil i cargols.**

## 4.1 Mètodes de aplanament

L'aplanament es pot realitzar amb el material tant en calent com en fred. Com no hi ha cap norma que obligui a fer l'aplanament en fred o en calent, és habitual que es faci en fred donat que és un procés ràpid, relativament simple i més barat que fer-lo en calent.

El procés d'aplanament en calent consisteix en escalfar únicament la zona a aplanar fins a 750-900°C per poder donar forma desitjada amb facilitat. L'escalfament es pot fer amb bufadors de butà o propà, amb electricitat o amb bufador oxiacetilènic.

Si es necessiten aplanar un gran nombre de perfils es recomanable muntar una instal·lació de producció en sèrie de baixa inversió col·locant cremadors continus de la forma adequada (figura 4.3).



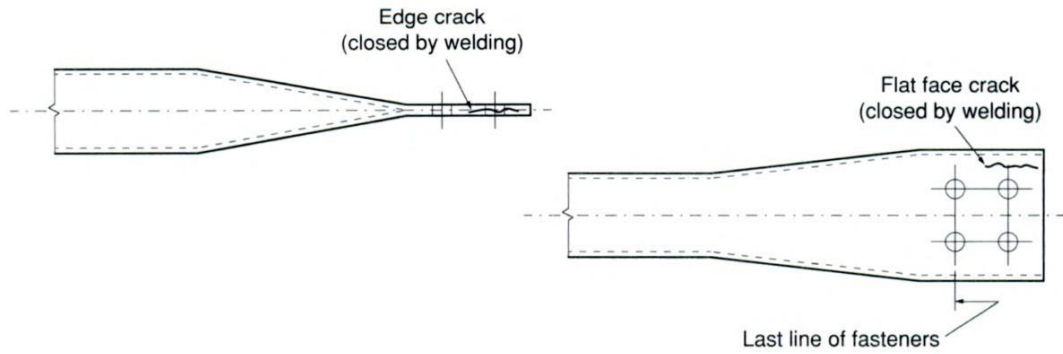
**Figura 4.3. Esquema de una instal·lació de producció en sèrie de aplanament de perfils.**

L'aplanament en fred consisteix en deformar plàsticament el material del perfil mitjançant una premsa o un aparell aplanador. La deformació es produeix tant en direcció transversal com longitudinal, aquest fet pot provocar la aparició de fissures localitzades on s'origina la màxima deformació, les vores del perfil aplanat. L'aparició d'aquestes fissures depèn principalment de la capacitat de deformació plàstica del material, la relació entre el diàmetre i l'espessor del perfil, de la forma i del pendent de la zona de transició i de la longitud de la zona aplanada.

Malgrat que aquestes fissures són tolerables sempre que no superin la darrera fila de cargols, és recomanable segellar-les amb soldadures (figura 4.4).

En general com major és la relació  $d/t$  dels perfils més senzill i efectiu es l'aplanament però si  $d/t > 25$  la resistència a compressió es veurà reduïda. Per aquest motiu, es recomanable evitar l'ús de perfils amb aquestes relacions.



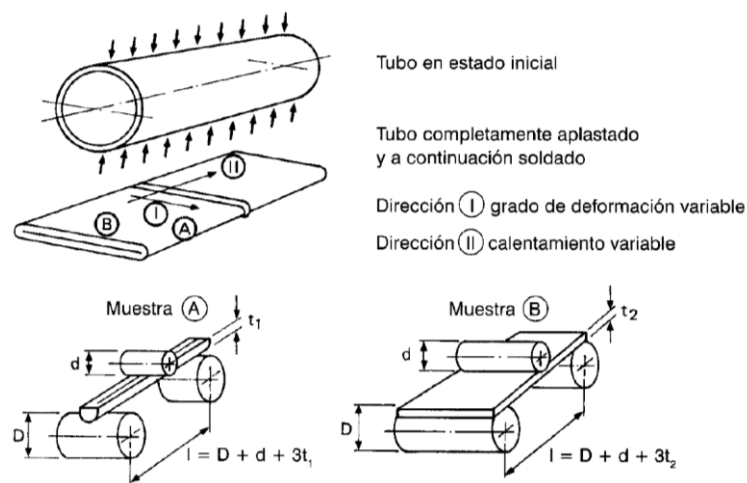


**Figura 4.4. Possible fissuració en extrems aplanats de perfils tubulars.**

Si la intenció és unir el perfil a la placa mitjançant soldadura s'ha de tenir en compte que la deformació en fred pot influir negativament a la soldabilitat del material. Per aquest motiu cal fer assaigs preliminars prenent mostres (figura 4.5) ja que les consideracions de l'Eurocodigo 3 sobre soldadures en zones conformades en fred no són vàlides per aquests casos.

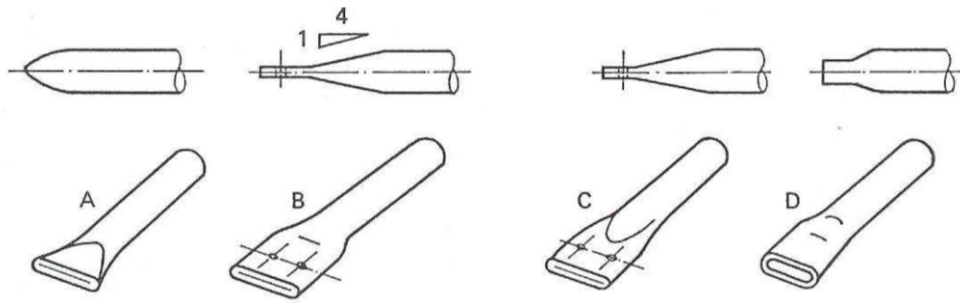
Si aquestes unions soldades es troben sotmeses a compressió s'haurà de minimitzar la longitud de la part plana per evitar problemes de vinclament local, especialment si  $d/t > 25$  per els motius esmentats anteriorment.

D'altra banda en els perfils tubulars conformats en fred també poden sorgir fissures per sobre de la costura de soldadura si aquesta es troba a sobre la zona de màxima deformació. Per evitar aquest problema sol ser suficient en desviar la costura de aquesta zona.



**Figura 4.5. Mostres per comprovar la capacitat d'aplanament de un perfil tubular conformat en fred.**

El mètode d'aplanament ve determinat pel tipus de encuny a utilitzar que defineixen la forma, inclinació i longitud de la zona de transició. És important escollir bé l'encuny i assegurar-se que tinguin les vores suavitzades per evitar l'aparició de fissures. Els principals mètodes d'aplanament són: cisellat-aplanat (figura 4.6A), aplanament complet (figura 4.6B), aplanament amb encuny rebaixat (figura 4.6C) i aplanament parcial (figura 4.6D).



**Figura 4.6. Mètodes de aplanament.**

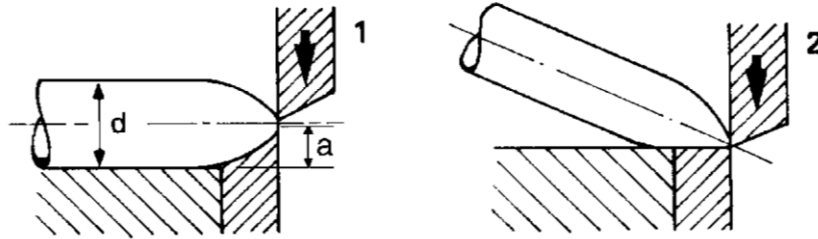
En els casos de aplanament total, aplanament amb encuny rebaixat i aplanament parcial el pendent màxim de la zona de transició té que ser inferior al 25% (Rondal, 1990).

Exceptuant el cas de l'aplanament parcial, el mètode d'aplanament deixa segellat l'interior del perfil tubular de forma que queda protegit contra la corrosió. Alguns investigadors han demostrat que en unions amb extrems aplanats de perfils tubulars no presenten problemes de corrosió interna (Tornay, 2002).

És important que qualsevol tipus d'aplanament es faci simètricament, de forma que l'eix longitudinal de la part aplanada coincideixi amb l'eix longitudinal de la secció circular.

#### **4.1.1 Cisellat-aplanat**

Consisteix en la realització de l'aplanament i del tall durant la mateixa operació i utilitzant la mateixa eina (figura 4.7). Per perfils petits es pot utilitzar una entalladora i per les altres mides de perfils és habitual utilitzar una cisalla o una guillotina. A causa de que les eines són barates és un mètode molt econòmic.



**Figura 4.7. Esquema del mètode de cisellat-aplanat.**

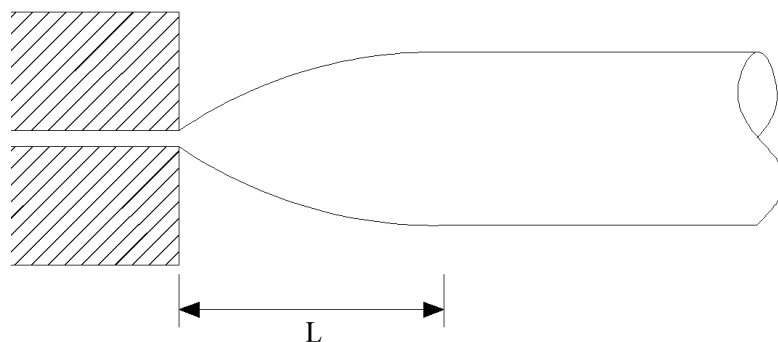
La deformació màxima es produeix únicament en l'extrem del perfil i, com mostra la figura 4.7, no existeix la zona plana amb aquest mètode. Per aquest motiu, aquest tipus d'aplanament no són adequats per unir mitjançant cargols i es veuen limitats a la unió mitjançant soldadura.

### 4.1.2 Aplanament complet

En aquest tipus d'aplanament s'aconsegueix l'aplanament màxim en una part relativament llarga. Després de l'aplanament queden diferenciades tres zones: el perfil tubular, la zona de transició i la zona plana (figura 4.8). És important assegurar-se que les vores dels encunys estiguin arrodonides per evitar l'aparició de fissures transversals.

Es recomanable que la zona de transició tingui una longitud compresa entre els següents valors (equació 4.1).

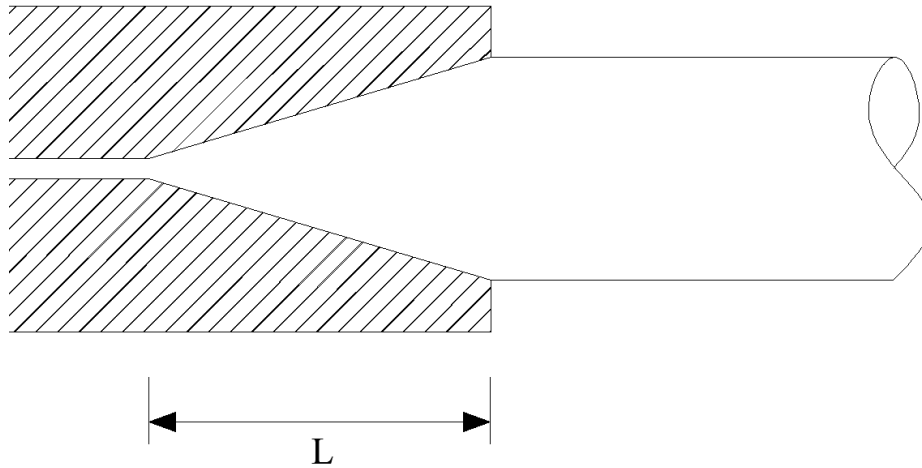
$$1.2 \cdot d < L < 1.5 \cdot d \tag{4.1}$$



**Figura 4.8. Aplanament complet mitjançant encuny simple.**

No obstant existeixen uns encunys especials per donar forma a la zona de transició (figura 4.9) que permeten abastar una longitud major (equació 4.2).

$$1.7 \cdot d < L < 2.2 \cdot d \tag{4.1}$$



**Figura 4.9. Aplanament complet amb encuny especial per aconseguir una zona de transició més llarga.**

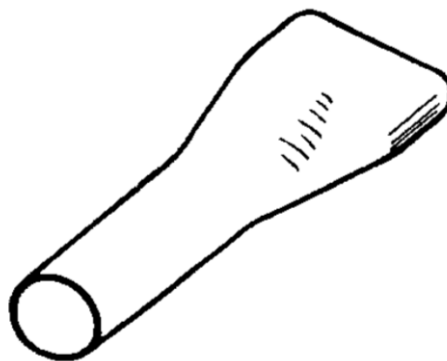
Per reforçar els extrems del perfil a aplanar i evitar l'aparició de fissures, en alguns països és comú introduir una part de un altre perfil tubular dintre de l'extrem del que volem aplanar.

### **4.1.3 Aplanament amb encuny rebaixat**

Aquest mètode és una millora de les formes convencionals d'obtenir un aplanament complet. S'obté una forma (figura 4.10) més adequada per unions amb cargols i més eficaç tant a tracció com a compressió.

Consisteix en realitzar l'aplanament mitjançant una premsa amb dos encunys rebaixats que produeixen un canvi gradual de la secció tubular.

Amb aquest tipus d'aplanament és habitual que la zona de transició tingui una longitud igual a dues vegades el diàmetre del perfil tubular ( $2 \cdot d$ ).



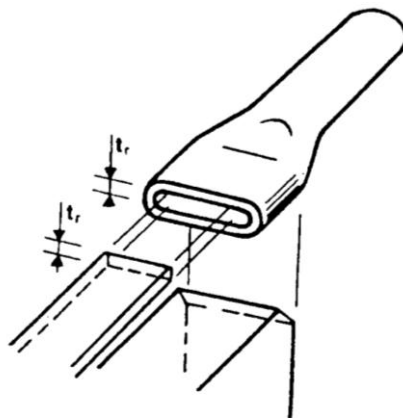
**Figura 4.10. Forma de un perfil aplanat mitjançant encunys rebaixats.**

Si es fa una producció en sèrie es compensa el major cost d'inversió amb la facilitat d'aplanament i el poc desgast que sofreixen els encunys.

#### 4.1.4 Aplanament parcial

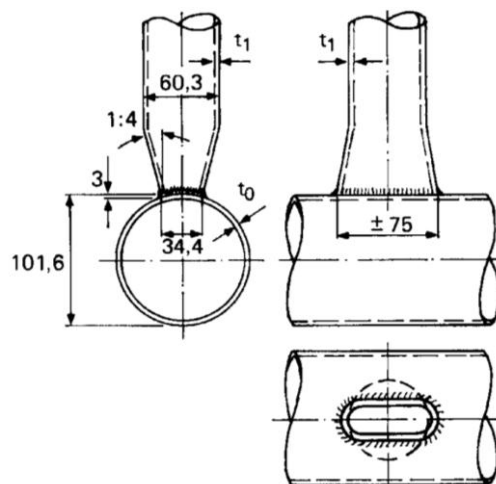
Consisteix en evitar arribar a la deformació màxima en qualsevol part del perfil. Malgrat això segueix existint una zona plana, seguida de una zona de transició i el perfil tubular sense modificar.

La tecnologia actual ens permet obtenir dues cares paral·leles modificant el recorregut de la premsa i introduint una peça de separació dins l'extrem del perfil (figura 4.11).



**Figura 4.11. Forma de realitzar un aplanament parcial.**

És un tipus d'aplanament que no es adequat per la unió mitjançant cargols, s'utilitza únicament en nusos soldats. És habitual en unions entre perfils tubulars de distintes configuracions (figura 4.12) però no en les unions entre un perfil tubular i una placa.



**Figura 4.12. Exemple de una unió entre CHS mitjançant aplanament parcial.**

En els casos en que la construcció sigui exterior és important assegurar-se que l'interior del perfil queda segellat per evitar problemes de corrosió interna.

## 4.2 Consideracions de càlcul

La comprovació de la placa i la unió mitjançant cargols es fa aplicant les consideracions i equacions de la darrera versió de la Instrucció d'Acer Estructural (EAE) i serà explicada amb més deteniment en apartats posteriors.

El problema de càlcul d'aquestes unions resideix en que l'aplanament pot reduir la capacitat resistent del perfil tubular, especialment contra compressió per el vinclament. Per calcular la resistència en unions soldades directament amb extrems aplanats s'han de realitzar els assaigs oportuns.

Malgrat això, alguns investigadors han obtingut una sèrie de fórmules de forma empírica per unions soldades directament. Donat que les fórmules són empíriques només són aplicables si és repeteixen el rang de paràmetres dels assaigs. Per exemple, Ciwko i Morris (1981) van determinar una fórmula, vàlida pels valors del taula 4.1, per nusos en forma de N (figura 4.13).

<b>Dimensions [mm]</b>	<b>Paràmetres</b>
<b><math>114 \leq d_0 \leq 169</math></b>	$14 \leq d_0/t_0 \leq 50$
<b><math>42 \leq d_1 \leq 90</math></b>	$0.35 \leq d_1/d_0 \leq 0.8$
<b><math>3 \leq t_0 \leq 8</math></b>	$d_1/d_2 = 1.0$ , $t_1/t_2 = 1.0$
<b><math>3 \leq t_1 \leq 4.6</math></b>	$\theta_1 = 90^\circ$ , $\theta_2 = 45^\circ$
<b><math>f_y \leq 400 \text{ N/mm}^2</math></b>	$0\% \leq \text{superposició} \leq 75\%$

**Taula 4.1. Dimensions i paràmetres investigats en els assaigs.**

Per perfils tubulars de ànima amb extrems aplanats comprimits es recomana utilitzar un coeficient de longitud eficaç de vinclament  $k = 1$ . Addicionalment la part plana del extrem aplanat ha de ser el més curta possible.

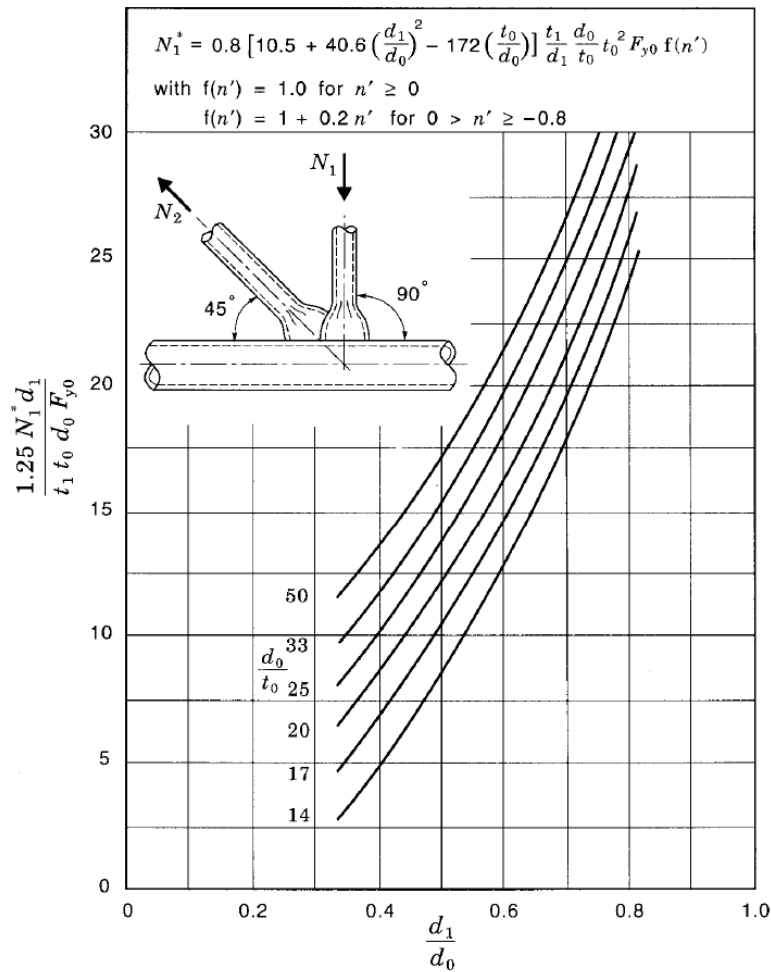


Figura 4.13. F3rmula per el disseny de nusos en N de Ciwko i Morris (1981).

Per nusos soldats directament amb extrems parcialment aplanats (figura 4.14) es poden utilitzar les f3rmules pels nusos entre perfils normals canviant el di3metre  $d_1$  per els valors de la taula 4.2 (Rondal, 1990).

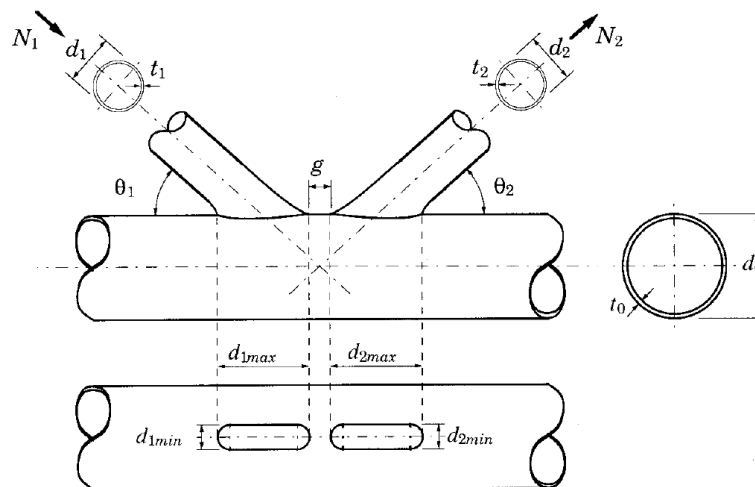


Figura 4.14. Esquema de uni3o amb extrems parcialment aplanats.

Tipus de nus	Paràmetre a canviar per $d_1$
T, Y i X	$d_{1,\text{mín}}$
K amb espaïament	$(d_1 + d_{1,\text{mín}})/2$

**Taula 4.2. Valors a canviar en les fórmules dels nusos amb CHS normals perquè siguin vàlides per CHS amb extrems parcialment aplanats.**

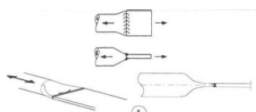
En el llibre “Hollow structural section connections and trusses” de Packer i Henderson (1997) es poden trobar consideracions per perfils tubulars de secció rectangular amb extrems aplanats malgrat que són molt poc comuns.

### 4.3 Consideracions per la fatiga

Si la estructura està sotmesa a carregues cícliques s’haurà de comprovar l’estat límit de fatiga.

És important prendre mesures per reduir l’aparició de fissures que, sotmeses a carregues periòdiques, poden convertir-se en problemes importants. Si s’han produït fissures es recomana segellar-les amb soldadures.

La categoria de detall d’aquestes unions es pot obtenir de la Taula 42.6.f de la EAE si l’espessor del perfil tubular es menor que 12.5mm (Figura 4.15).

Categoría de detalle	Detalle constructivo	Descripción	Requisitos
71		1) Uniones tubo-chapa con aplastamiento del extremo del tubo, biselado de bordes en X y soldadura a tope.	1) $\Delta\sigma$ ha de calcularse para el tubo. Diámetro del tubo inferior a 200 mm.

**Figura 4.15. Categoria de detall per les unions mitjançant aplanament.**



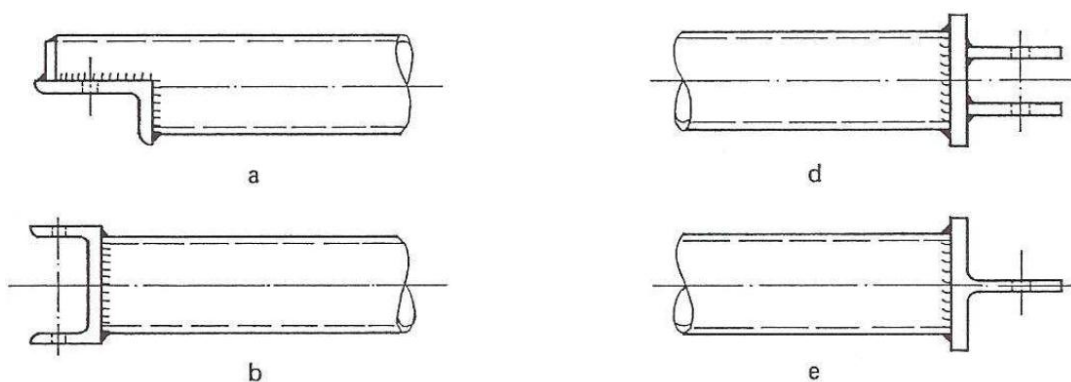
## 5. UNIÓ AMB MEDI AUXILIAR

---

Una de les formes més senzilles per realitzar una unió longitudinal entre un perfil tubular i una placa consisteix en soldar un medi auxiliar al perfil per aconseguir una forma adequada per unir amb la placa mitjançant soldadures o cargols.

Gracies a la seva simplicitat i facilitat d'execució, són unions especialment recomanables per execució en obra. Per aquest motiu és habitual realitzar la unió a la placa mitjançant cargols que requereixen menys precisió i tenen una execució més senzilla i econòmica.

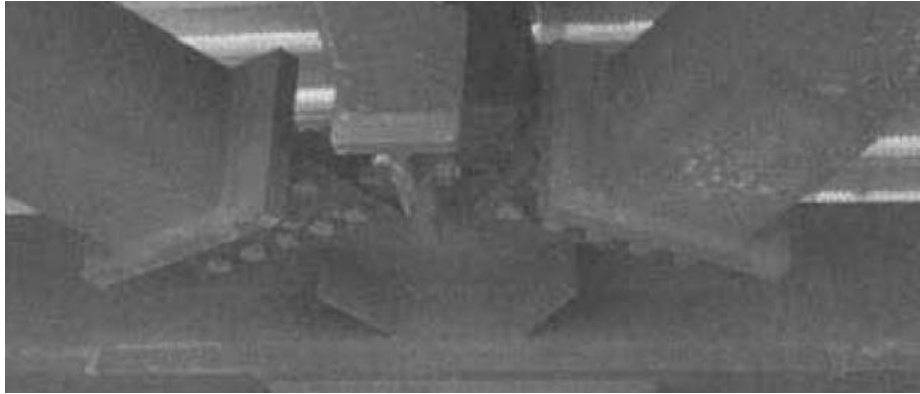
Una de les opcions més habituals és utilitzar com a medi auxiliar parts de perfils convencionals perquè així es poden aprofitar excedents d'altres zones de la estructura (figura 5.1).



**Figura 5.1. Exemples de medis auxiliars.**

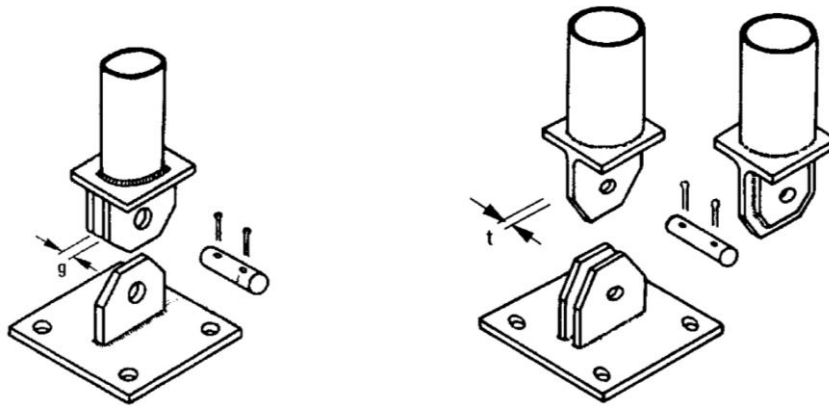
Els més comuns són els casquets que tenen forma de T donat que la seva forma es adequada per unir-los tant amb una com dues plaques. Aquests casquets es poden formar soldant plaques perpendicularment o tallant un perfil en forma de I.

Depenent de quants cargols es necessitin la longitud de la mitja ànima haurà de ser més llarga o més curta. Sempre que sigui possible és recomanable tallar el perfil en I per la meitat per poder utilitzar ambdues parts de la mateixa forma.



**Figura 5.2. Exemple de nus casquet amb T i cargols.**

Aquestes unions també són molt adequades per realitzar nusos articulats utilitzant passadors (figura 5.3).

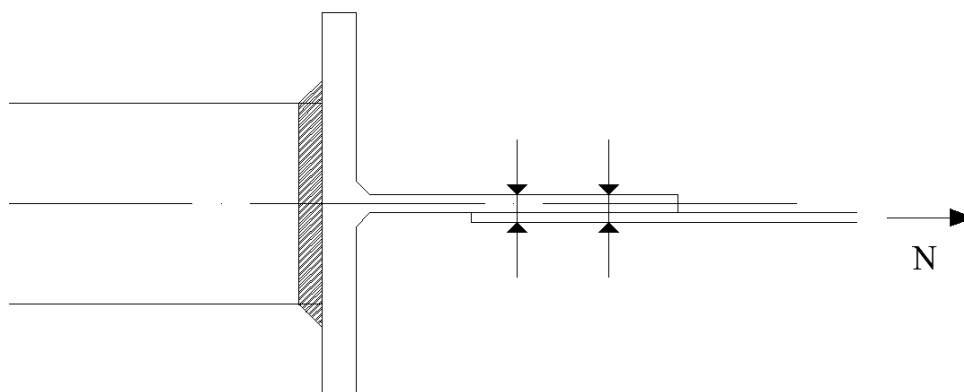


**Figura 5.3. Nusos articulats amb casquet en T.**

## **5.1 Consideracions de càlcul**

Els mètodes de càlcul d'aquests nusos no difereixen dels utilitzats en les unions entre perfils convencionals. S'han de complir les especificacions de la normativa EAE en la seva darrera versió per cada un dels elements.

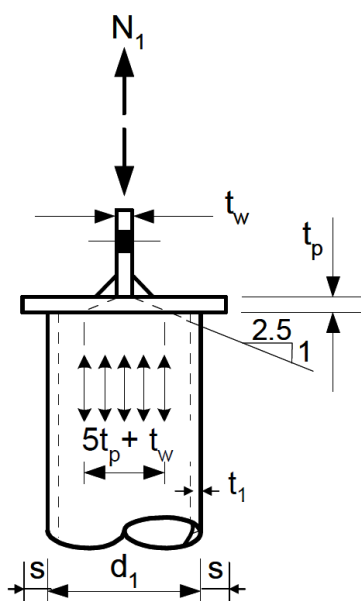
Malgrat que en aquestes unions és habitual que el casquet en T tingui l'ànima centrada en l'eix del perfil CHS, si s'uneix a una única placa mitjançant cargols és produirà un moment de flexió a causa de la excentricitat (figura 5.4). Aquest moment de flexió cal tenir-lo en compte, de fet baix efectes de compressió tant la placa com l'ànima del casquet en T s'han de considerar com elements flexo-comprimits.



**Figura 5.4. Representació de la excentricitat produïda per la desviació de la placa respecte l'eix longitudinal del CHS.**

Per evitar aquest moment de flexió es pot col·locar el casquet descentrant l'ànima respecte l'eix longitudinal del CHS de forma que s'eviti aquesta excentricitat. Una solució més senzilla i més recomanable, malgrat que no sempre és factible, consisteix en utilitzar dues plaques per la unió. D'aquesta forma les excentricitats s'anul·len entre les dues plaques i l'ànima només estarà sotmesa a l'esforç axil.

La resistència del CHS s'ha de calcular tenint en compte la transmissió del esforç tallant del que desconeixem la seva distribució. En els assaigs de Traves i Kitipornchai (1989) s'assumeix una distribució conservadora en una relació 2.5:1 per cada cara del ànima de la T com representa la figura 5.5.



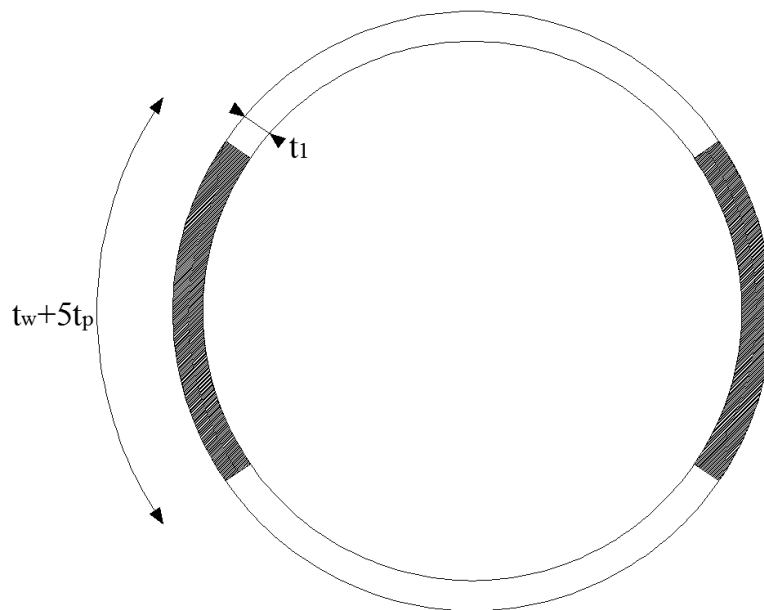
**Figura 5.5. Transmissió de carrega per nusos amb casquets en T.**

Packer i Henderson (1997) van deduir una fórmula (equació 5.1) per calcular la resistència del element CHS adoptant aquesta relació conservadora amb la que s'obté un ample de carrega eficaç de  $(t_w + 5 \cdot t_p)$ . La fórmula sorgeix de sumar les contribucions de les parts del àrea transversal (figura 5.6) del CHS en les que es distribueix la carrega.

$$N_{Rd} = 2 \cdot \phi \cdot f_{y1} \cdot t_1 \cdot (t_w + 5 \cdot t_p) \quad (5.1)$$

Amb un valor límit igual a la resistència natural del perfil CHS (equació 5.2).

$$N_{Rd,lim} = \phi \cdot A_1 \cdot f_{y1} \quad (5.2)$$



**Figura 5.6. Àrea transversal en la que es distribueix la carrega.**

Es pot assumir una distribució de càrrega similar per calcular la resistència del ànima del casquet en T. Si l'ànima té el mateix ample que el diàmetre de la placa d'extrem  $(d_1 + 2 \cdot s)$ , la resistència de l'ànima del casquet en T es pot calcular amb la següent fórmula (equació 5.3).

$$N_{Rd} = 2 \cdot \phi \cdot f_{yw} \cdot t_w \cdot (t_1 + 2.5 \cdot t_p + s) \quad (5.3)$$

Sempre que aquest valor no superi el que s'obté de la equació 5.4.

$$N_{Rd,lim} = 2 \cdot \phi \cdot f_{yw} \cdot t_w \cdot (t_1 + 5 \cdot t_p) \quad (5.1)$$

Si la carrega aplicada es de compressió és important que el CHS tingui una secció transversal compacta (no de classe 4).

En les equacions anteriors s'ha ignorat la mida de les soldadures del casquet de forma conservadora. En els casos en que aquesta informació sigui coneguda, fet habitual, es pot assumir la dispersió de carrega des de les vores de la soldadura.

En el capítol 7 es mostrarà el procés a seguir i les fórmules a utilitzar a l'hora de dimensionar un nus amb casquet en T.

## **5.2 Consideracions de fatiga**

Si la estructura està sotmesa a carregues cícliques s'haurà de comprovar l'estat límit de fatiga.

És important prendre mesures per reduir l'aparició de fissures que, sotmeses a carregues periòdiques, poden convertir-se en problemes importants. Si s'han produït fissures es recomana segellar-les amb soldadures sempre que sigui possible.

Contràriament als casos dels altres mètodes de unions, per aquest no existeix un cas específic en la normativa per obtenir la categoria de detall. Per aquest motiu s'haurà de comprovar cada un dels elements i s'escollirà la categoria de detall més restrictiva.

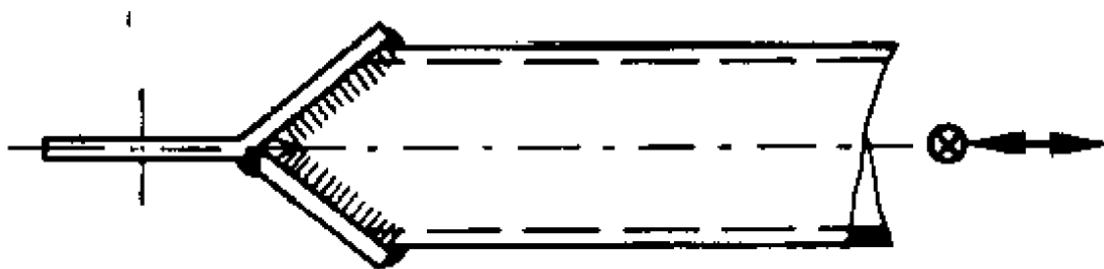
La categoria de detall de cada un dels elements que participen en la unió es pot obtenir de la Taula 42.6 de la EAE.

## 6. MÈTODES ADDICIONALS

---

Malgrat que els mètodes explicats en els apartats anteriors són els més habituals, existeixen altres mètodes, especialment per perfils tubulars amb secció rectangular (RHS). En aquest capítol es farà una menció breu als més destacats.

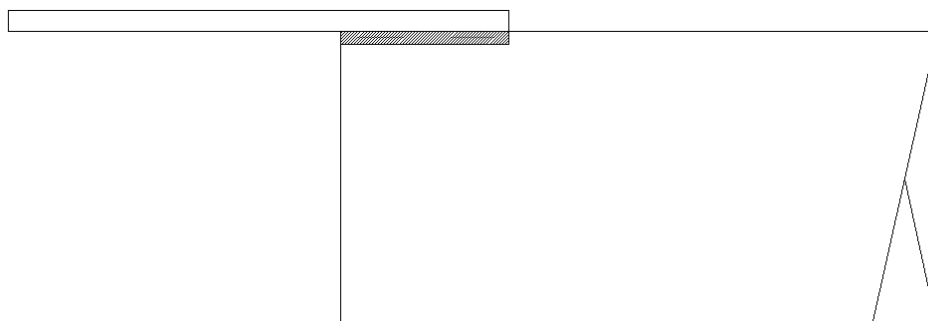
Un dels mètodes destacats és utilitzar plaques soldades en forma de Y (figura 6.1). Aquestes plaques aniran soldades al RHS i funcionaran de la mateixa forma que ho fan les unions amb casquet en T.



**Figura 6.1.** Nus mitjançant peça en forma de Y.

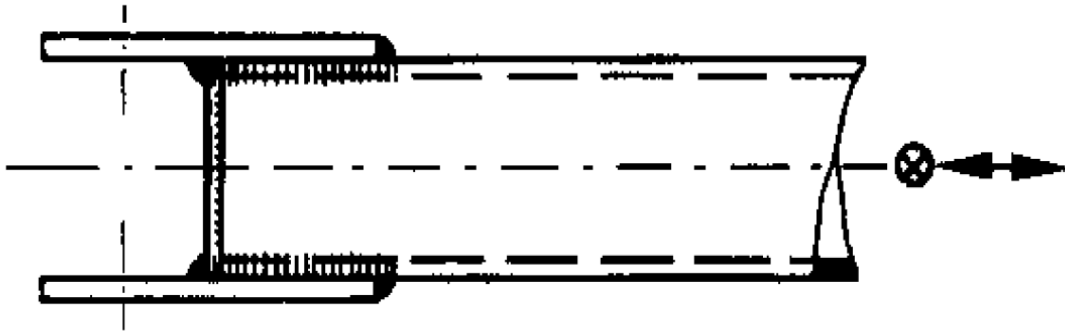
Aquestes unions comporten una execució més complicada que la de el casquet en T ja que s'ha de preparar el RHS prèviament (tallar). No obstant la transmissió de carrega entre el RHS i la peça en Y es produeix de forma més efectiva.

Una altre solució és la soldadura de la placa en les cares del perfil RHS (figura 6.2). També es pot soldar una placa auxiliar i unir-la a l'altre placa mitjançant soldadures o cargols.



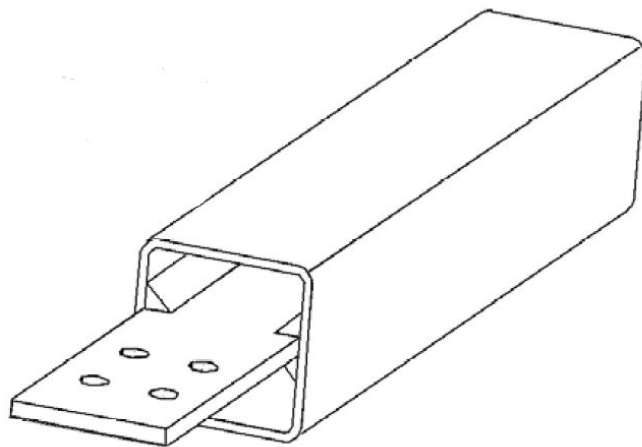
**Figura 6.2.** Nus soldant la placa a la cara del RHS.

Aquesta unió només es recomana quan es tenen que unir dues plaques separades una distancia aproximadament igual al costat del RHS (figura 6.3). Si només s'uneix una placa existirà una gran excentricitat entre la placa i l'eix longitudinal del RHS que provocarà la aparició de un moment flector.



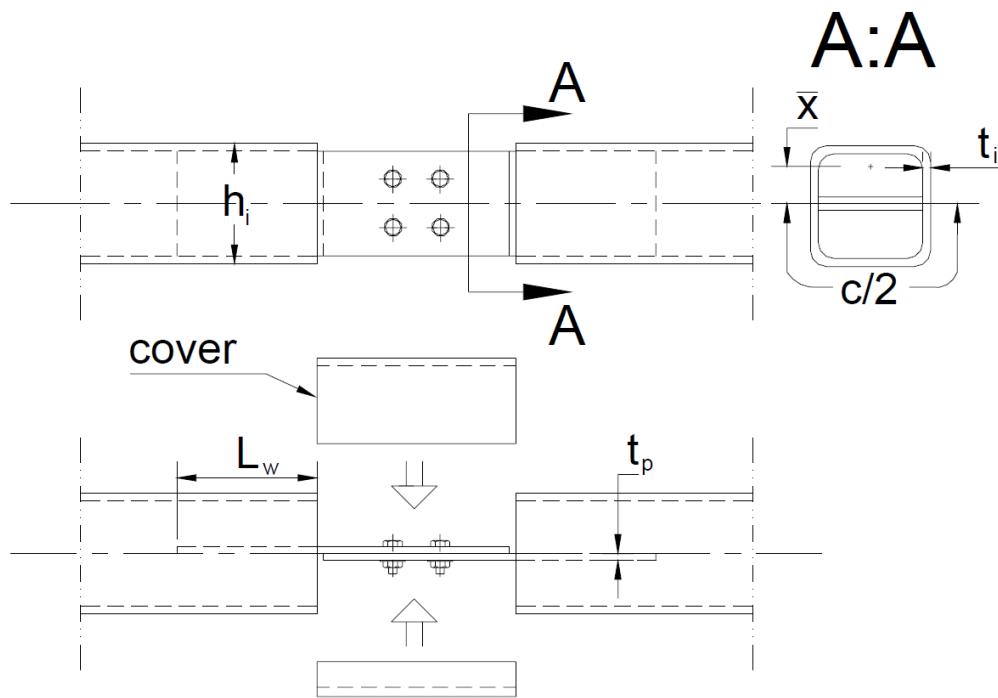
**Figura 6.3. Nus amb dues plaques soldades en les cares del RHS.**

En l'informe per el CIDECT "Investigation on hollow section hidden joint splice connections under tensile loading" de Willibald i Packer (2002) es realitza un estudi sobre els nusos amb placa soldada interna. Aquesta solució consisteix en soldar una placa introduïda dins el RHS i utilitzar cargols per unir-la amb l'altre placa figura (figura 6.4).



**Figura 6.4. Representació de la unió per placa interna.**

És un mètode bastant utilitzat per prolongar els perfils RHS de la forma que representa la figura 6.5. La unió es pot tapar per una millor estètica.



**Figura 6.5. Prolongació de un RHS mitjançant placa interna.**

Per obtenir més informació sobre el càlcul d'aquestes unions es recomana la lectura de l'informe abans esmentat de la Universitat de Karlsruhe (Willibald i Packer, 2002). La majoria d'aquestes unions falla per el trencament de la placa que es pot produir tant en la zona de cargols (figura 6.6) com en l'extrem de la soldadura per "arrossegament per tallant" (figura 6.7).



**Figura 6.6. Trencament de la placa en la zona de cargols.**





**Figura 6.7. Trencament de la placa per “arrossegament per tallant”.**

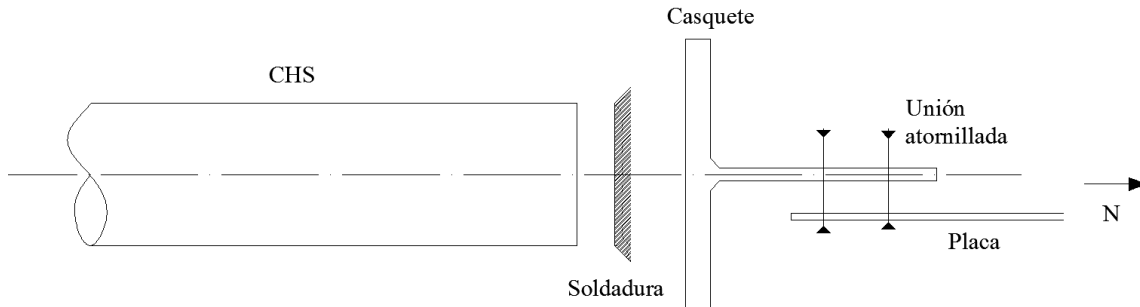
## 7. DIMENSIONAMENT DE UNIONS AMB CASQUET EN FORMA DE T.

El disseny de qualsevol unió es pot fer o bé per disseny o bé per capacitat. El dimensionament per disseny consisteix en que donada una força es calculi la unió de forma que tots els elements de la unió resisteixin els esforços produïts.

En canvi el dimensionament per capacitat consisteix en dimensionar tots el elements de la unió de forma que resisteixin més que la força que causaria la plastificació en el perfil. D'aquesta forma s'assegura un trencament dúctil si el CHS s'ha dimensionat per fer-ho.

Malgrat que el disseny per capacitat és més conservador és el més recomanable per el disseny de unions i és el que s'ha utilitzat a l'hora de realitzar les taules del capítol 8.

Per aquest capítol dividirem la unió en els elements de la figura 7.1 i analitzarem cada un d'ells en detall.



**Figura 7.1. Elements que participen en la unió.**

### 7.1 Perfil CHS o RHS

Aquest element es dimensiona quan és calcula la estructura de forma global, d'aquesta forma a l'hora de dimensionar la unió el perfil CHS ja es coneix.

Els càlculs a fer per la comprovació del perfil sotmès a esforç axial de tracció o de compressió són els mateixos tant per CHS com per RHS.

Aquest element també es calcula de la mateixa forma tant si es vol dissenyar la unió per disseny com per capacitat.

Per el dimensionament de perfils tubulars sotmesos a esforç axil s'utilitzen les mateixes fórmules que per qualsevol altre tipus de perfil. Aquestes fórmules es troben en els articles 34.2 “Esfuerzo axil de tracción” i 34.3 “Esfuerzo axil de compresión” de la EAE.

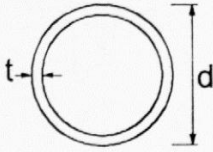
A l'hora de escollir la qualitat de l'acer del perfil es recomana seguir els casos més habituals representats en la taula 7.1.

Espessor del perfil tubular [mm]	Qualitat de l'acer
$t < 8$	S275
$t \geq 8$	S355

**Taula 7.1. Valors habituals de la qualitat d'acer dels perfils tubulars.**

Tal i com s'ha mencionat, aquesta taula només és un recull de les qualitats d'acer més habituals en perfils tubulars i en cap cas és de compliment obligatori.

És important assegurar-se que el perfil escollit tingui classe 1 o 2 per qüestions de plasticitat. Per obtenir la classe de la secció es consulten les taula 20.3.c de la EAE (figura 7.2).

Secciones tubulares						
						
Sección flectada y/o 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 <sup>2</sup> )	235	275	355	420	460
	$\epsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	$\epsilon^2$	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

**Figura 7.2. Classes de secció per seccions tubulars.**

De totes formes, la majoria de perfils tubulars són de classe 1 i compliran aquestes condicions amb facilitat.

### 7.1.1 Esforç de tracció.

Per assegurar que un perfil resisteix un esforç axil de tracció  $N_{Ed}$  s'haurà de comprovar que es compleixi la relació 7.1.

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd} \quad (7.1)$$

La resistència de càlcul de la secció a tracció ( $N_{t,Rd}$ ) s'obté de la equació 7.2.

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (7.2)$$

Per els casos on la secció tingui forats, com per exemple zones amb cargols, s'haurà de agafar com a resistència a tracció el menor valor obtingut entre la equació 7.2 i 7.3. En el cas d'estudi el perfil tubular no està foradada, així que la resistència queda definida per la equació 7.2.

$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad (7.3)$$

Els coeficients parcials de seguretat per la resistència per estats límit últims ( $\gamma_M$ ) s'obté de la taula 15.3 de la EAE (figura 7.3).

Resistencia de las secciones transversales.	$\gamma_{M0} = 1,05^{(1)}$
Resistencia de elementos estructurales frente a inestabilidad.	$\gamma_{M1} = 1,05^{(1), (2)}$
Resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción.	$\gamma_{M2} = 1,25$
Resistencia de las uniones.	$\gamma_{M2} = 1,25$
Resistencia al deslizamiento de uniones con tornillos pretensados:	
— En estado límite último (uniones categoría C) (ver apartados 58.2 y 58.8).	$\gamma_{M3} = 1,25$
— En estado límite de servicio (uniones categoría B) (ver apartados 58.2 y 58.8).	$\gamma_{M3} = 1,10$

<sup>(1)</sup> En el proyecto de estructuras de edificación se podrá adoptar un coeficiente parcial  $\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = 1,00$  siempre y cuando se cumplan simultáneamente los siguientes requisitos:

- Tolerancias «más estrictas» según el Artículo 80.
- Garantías adicionales para el acero según el Artículo 84. Se deberá garantizar que el límite elástico del acero empleado en la obra presente una dispersión acorde con el coeficiente parcial reducido, según un análisis basado en la teoría de fiabilidad estructural.
- Control de ejecución intenso según el Artículo 89.

<sup>(2)</sup> En el proyecto de puentes de acero se adoptará en todos los casos un coeficiente parcial  $\gamma_{M1} = 1,10$ .

**Figura 7.3. Coeficients parcials de seguretat per la resistència per ELU.**

Amb les equacions 7.1 i 7.2 es pot obtenir l'àrea necessària (equació 7.4).

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \rightarrow A \geq \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} \quad (7.4)$$

Escollint un perfil tubular que tingui una àrea major ala obtinguda per l'equació 7.4 s'assegura la resistència a tracció del perfil.

### 7.1.2 Esforç de compressió.

En el cas de que l'esforç axil ( $N_{Ed}$ ) sigui de compressió s'haurà de comprovar que es compleixi la relació 7.5.

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd} \quad (7.5)$$

La resistència de càlcul de la secció a compressió ( $N_{c,Rd}$ ) s'obté de la equació 7.6 si el perfil té classe 1, 2 o 3 de secció tal i com s'ha recomanat en aquest capítol.

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (7.6)$$

L'equació 7.6 serveix també per seccions amb cargols comprimides sempre que els forats estiguin ocupats per cargols. Si els forats estan sobredimensionats o són allargats s'hauran de descomptar de l'àrea.

Si el perfil tubular sotmès a compressió és llarg, la condició limitant pot ser el vinclament (figura 7.4).



**Figura 7.4. Fallo per vinclament de un perfil CHS.**

Les fórmules a aplicar per l'estat límit de inestabilitat per elements comprimits es troben en l'article 35.1 "Elementos sometidos a compresión" de la EAE. Aquestes fórmules consisteixen en reduir la resistència a compressió de la equació 7.6 mitjançant un coeficient  $\chi$  (equació 7.7).

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad (7.7)$$

Aquest coeficient de reducció  $\chi$  s'obté de unes corbes en la figura 35.1.2 "Curvas de pandeo" de la EAE o analíticament mitjançant les equacions 7.8, 7.9 i 7.10 i els valors de la taula 7.2.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \chi \leq 1 \quad (7.8)$$

$$\Phi = 0.5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2] \quad (7.9)$$

El paràmetre  $\bar{\lambda}$  representa la esveltesa de forma adimensional i s'obté de l'equació 7.10.

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{93.9 \cdot \varepsilon \cdot i} \quad (7.10)$$

És en la equació 7.10 on es pot veure el paper que juga la longitud del perfil tubular, el perfils llargs són més susceptibles al vinclament. Un altre factor que influeix en el vinclament són les condicions de contorn del perfil i si el perfil és translacional o no.

Aquests darrers factors es tenen en compte en el coeficient  $\beta$  de la equació 7.11 i es pot obtenir a partir de les consideracions del annex 5 "Longitud de pandeo de elementos comprimidos" de la EAE.


$$L_{cr} = \beta \cdot L \quad (7.11)$$

El coeficient de imperfecció  $\alpha$  s'obté de la taula 7.2 en funció de la corba de vinclament del perfil.

Corba de vinclament	Coefficient de imperfecció $\alpha$
<b>a<sub>0</sub></b>	0.13
<b>a</b>	0.21
<b>b</b>	0.34
<b>c</b>	0.49
<b>d</b>	0.76

**Taula 7.2. Valors del coeficient de imperfecció per elements comprimits.**

Aquesta corba depèn, en perfils tubular, del mètode de fabricació. Un perfil tubular conformat en fred es comporta pitjor contra el vinclament que un acabat en calent. La corba corresponent al perfil es pot obtenir de la taula 35.1.2.b “Elección de las curvas de pandeo” de la EAE (figura 7.5).

Secciones de perfiles huecos		Acabados en caliente	Cualquiera	a	a <sub>0</sub>
		Conformados en frío	Cualquiera	c	c

**Figura 7.5. Corbes de vinclament per perfils tubulars.**

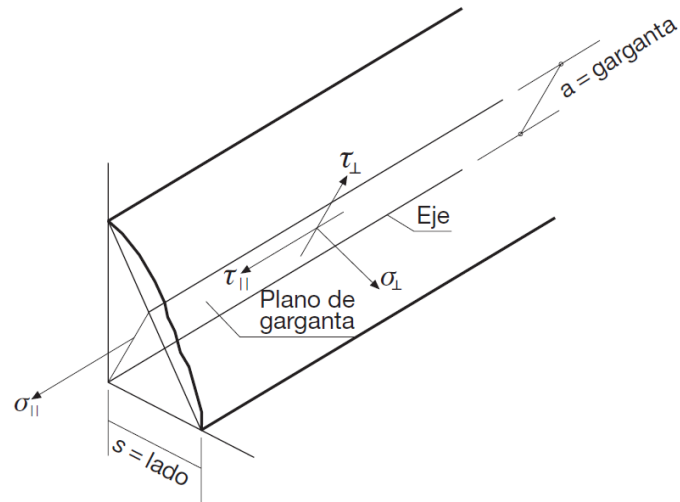
Realitzant un procés iteratiu es pot obtenir el perfil CHS o RHS que compleixi les equacions 7.6 i 7.7 i es pugui considerar resistent a compressió.

## 7.2 Soldadura

Les soldadures es comproven a partir de les tensions produïdes per les forces en el “pla de garganta” (figura 7.6). La resistència del cordó és suficient si es compleixen les equacions 7.12 i 7.13 alhora obtingudes del article 59.8 “Resistencia de cordones en ángulo” de la EAE.

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad (7.12)$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0.9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad (7.13)$$



**Figura 7.6. “Pla de garganta”.**

El paràmetre  $f_u$  representa la resistència a tracció del acer dels elements a soldar i  $\beta_w$  és un factor de correlació que depèn de la qualitat del acer del elements a unir i es pot obtenir a partir la taula 7.3.

Qualitat del acer	Coefficient de correlació
S235	0.80
S275	0.85
S355	0.90
S420	1.00
S460	1.00

**Taula 7.3. Coeficients de correlació.**

L'esforç a utilitzar per calcular les tensions depèn del tipus de disseny que es té intenció de utilitzar. Per el dimensionament per disseny s'utilitza l'esforç que resulta dels càlculs i per el disseny per capacitat s'utilitza l'esforç que provoca el trencament del perfil tubular (equació 7.14).

$$N_{Ed} = 1.1 \cdot 1.25 \cdot A \cdot f_y \quad (7.14)$$

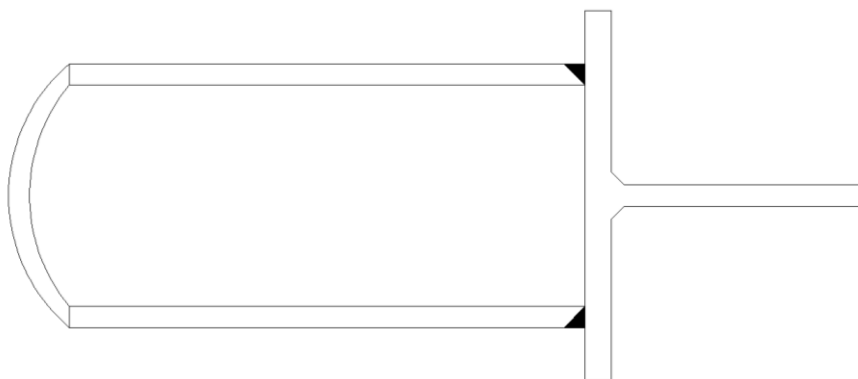
Els coeficients de seguretat d'aquesta equació corresponen al cas sísmic però es recomana utilitzar-los de forma conservadora per casos no sísmics.

No obstant és recomana dimensionar la soldadura amb un espessor de “garganta” superior als mencionats en la taula 3.1 i evitar tenir que calcular la soldadura. Aquest fet assegura que la soldadura resistirà més que els elements a unir i, per tant, s'evitarà el trencament per aquesta. D'aquesta forma s'evita un trencament fràgil com és el de la



soldadura i s'aconsegueix un trencament dúctil perquè el perfil ha estat dimensionat d'aquesta forma.

Una altre forma de realitzar la soldadura seria utilitzar la soldadura “a límit” amb penetració completa (figura 7.7). Malgrat que aquesta soldadura exigeix de un tractament previ dels caires del perfil tubular, permet no tenir que calcular la resistència. L'article 59.9 “Resistencia de cordones a tope” expressa que no necessiten ser calculades sempre que no tinguin defectes perquè el material contigu és de igual o pitjor qualitat.



**Figura 7.7. Soldadura “a límit”.**

### **7.3 Casquet en forma de T**

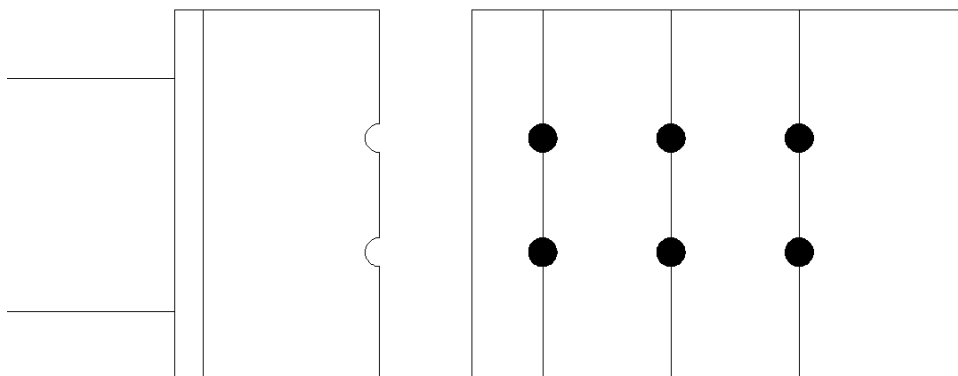
El casquet es dimensiona amb les mateixes equacions que el perfil tubular tant a tracció com a compressió. Per la forma del casquet es pot suposar que la part resistent contra un esforç axil és la part de la antiga ànima que actua com una placa.

A causa de la curta longitud d'aquesta ànima i de la unió amb cargols, és molt poc habitual que l'efecte limitant sigui el vinclament quan el casquet està sotmès a compressió.

S'han de tenir en compte els detalls del capítol del apartat 5.1 per la transmissió de carrega entre el perfil CHS i el casquet.

Pel fet que la unió amb la placa es realitza mitjançant cargols, a més de les equacions 7.2 i 7.6 s'haurà de fer una comprovació addicional. Els forats destinats a allotjar els cargols debiliten la secció resistent de la placa i del casquet.

Amb la secció debilitada és pot produir el trencament per l'esquinçament de la placa (figura 7.8) si l'esforç al que està sotmesa és de tracció. Aquest es produirà sempre en el pla on es troben els forats perquè és el que té la secció debilitada.



**Figura 7.8. Esquema del trencament per esquinçament de la antiga ànima del casquet en forma de T.**

Per comprovar la resistència a aquest fenomen s'utilitzen les fórmules de l'article 58.5.1 "Resistència a desgarró" de la EAE (equació 7.15).

$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 \cdot A_{neta} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \geq N_{Ed} \quad (7.15)$$

La resistència última a tracció  $f_u$  depèn del tipus d'acer i de l'espessor nominal del element. Aquesta resistència es pot obtenir de la taula 27.1.d "Límite elástico mínimo y resistència a tracción" de la EAE (taula 7.4).

Tipus d'acer	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	
	Espessor $t \leq 40$ mm	Espessor $40 \leq t \leq 80$
S235	$360 \leq f_u \leq 510$	$360 \leq f_u \leq 510$
S275	$430 \leq f_u \leq 580$	$410 \leq f_u \leq 560$
S355	$490 \leq f_u \leq 680$	$470 \leq f_u \leq 630$

**Taula 7.4. Resistència última a tracció.**

És molt recomanable utilitzar acer de qualitat S355 tant en el casquet com en la placa perquè el cost econòmic per grans quantitats no augmenta molt en relació a qualitats inferiors. Si es fa cas d'aquesta recomanació basada en l'experiència de molts professionals la resistència última a tracció serà major a 490 N/mm<sup>2</sup>.

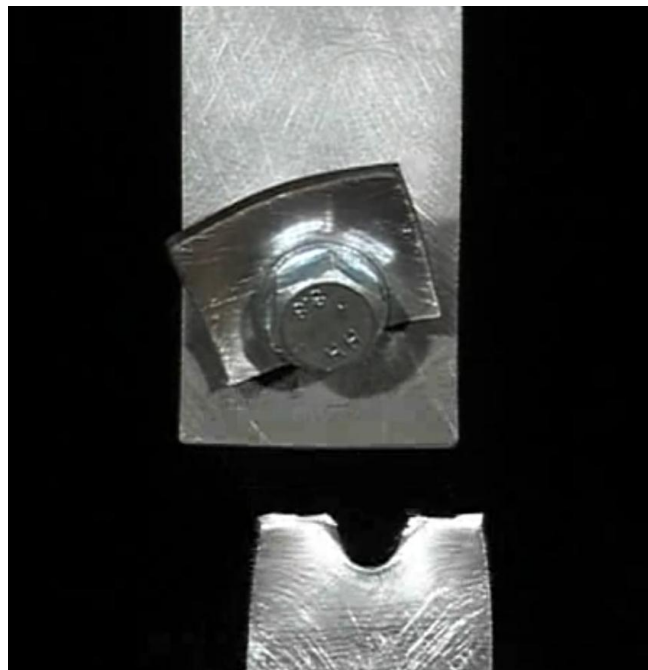
$A_{neta}$  representa l'àrea neta del pla de esquinçament (figura 7.9) i en el cas de una placa es calcula de la forma descrita en la equació 7.16.



**Figura 7.9. Pla d'esquinçament de una placa.**

$$A_{neta} = A - n_t \cdot d_0 \cdot t_w \quad (7.16)$$

L'esforç axial de càlcul a considerar depèn del tipus de disseny que es vulgui fer. En el cas del dimensionament per disseny s'utilitza l'axil obtingut durant la fase de càlcul. En canvi, per el disseny per capacitat s'utilitza l'axil que provoca el trencament del perfil tubular que s'obté de l'equació 7.14.



**Figura 7.9. Exemple de trencament per esquinçament de una placa.**

## 7.4 Unió amb cargols

L'article 58.2 "Categorías de uniones atornilladas" de la EAE classifica les unions amb cargols en cinc categories en funció de la forma en que treballen aquests cargols. Tres d'aquestes categories (A, B i C) corresponen a unions en les que els cargols estan

sol·licitades en direcció normal al seu eix, que són les corresponents a les unions de estudi.

Aquestes categories també depenen de la qualitat de l'acer utilitzat en la elaboració dels cargols. Els cargols també es classifiquen en graus segons el límit elàstic i la resistència a tracció d'aquests. Aquesta classificació es troba en la taula 58.1 “Valores nominales del límite elástico  $f_{yb}$  y de la resistencia a tracción  $f_{ub}$  de los tornillos” de la EAE (taula 7.5).

Grau	$f_{yb}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{ub}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
4.6	240	400
5.6	300	500
6.8	480	600
8.8	640	800
10.9	900	1000

**Taula 7.5. Límit elàstic i resistència a tracció dels cargols en funció del seu grau.**

El cargols de graus 8.8 i 10.9 s'anomenen cargols de alta resistència. Es recomana que el cargols siguin de alta resistència perquè pot evitar tenir que pretensar-los o tenir que preparar les superfícies de contacte.

La categoria A està conformada per les unions que treballen tant a tallant com a aixafament. Es poden utilitzar cargols de baixa resistència i de alta però si s'utilitzen cargols d'alta resistència no es necessari pretensar-los ni preparar especialment les superfícies en contacte. Per motius econòmics aquestes categories són les més utilitzades per unions en que els esforços siguin perpendiculars a l'eix dels cargols.

Si la unió és susceptible de trencament per fatiga (carregues periòdiques) o pot estar sotmesa a impactes es recomanable utilitzar només cargols de alta resistència i pretensar-los. El pretesat és farà d'acord amb el capítol 58.8 “Resistencia a deslizamiento” de la EAE fins a arribar a un esforç de pretensat  $N_0$  igual al que s'obté en la equació 7.24 del capítol 7.4.3.

Les unions formades per cargols de alta resistència pretensats, amb la superfície de contacte preparada i en les que es desitja que no hi hagi lliscament en l'estat límit de servei conformen la categoria B. No obstant, en l'estat límit últim es permet que hi hagi lliscament i que els cargols treballin a tallant i aixafament.

Les diverses formes per tractar les superfícies de contacte estan recollides en la UNE-EN ISO 8501-1. Amb cada una s'obté un resultat diferent que es veu reflectit en la fricció entre les superfícies. Els tipus de tractaments es poden classificar en funció de com afecten a la fricció de la següent forma:

1. Tractament amb raig de arena o granalla (sorreat) fins el grau SA2 1/2 i exemptes de picadures. No fa falta fer cap tractament posterior si la unió es realitza immediatament després del sorreat evitant la formació de òxid en les superfícies de contacte. En cas de no realitzar-se d'aquesta forma, és realitzarà un tractament tèrmic posterior amb alumini.
2. Tractament amb sorreat (figura 7.10) fins el grau SA2 1/2, exemptes de picadures i pintades amb un silicat alcalí de cinc amb espessor compres entre 50 i 80  $\mu\text{m}$ .
3. Netejat mitjançant raspall de filferro o flamejat.



**Figura 7.10. Sorreat de un perfil metàl·lic.**

La categoria C està conformada per les unions realitzades amb cargols de alta resistència pretensats i amb superfícies preparades. En aquesta categoria no es permet el lliscament en estat límit últim.

S'haurà de comprovar la resistència a tallant, a aixecament i al lliscament de la unió. Addicionalment caldrà assegurar que l'esforç a transmetre no supera la resistència plàstica del àrea neta de la peça (equació 7.16).

$$N_{Ed} \leq A_{net} \cdot \frac{0.7 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (7.16)$$

Aquesta categoria de unions s'utilitza en unions híbrides on els cargols i soldadures treballen conjuntament, o bé quan s'estimi que el lliscament pugui deteriorar de forma significativa la resistència o rigidesa de la estructura o quan, per simplificar l'execució, s'utilitzin forats esquinçats o més grans dels necessaris en la direcció del esforç a transmetre.

Per realitzar els forats es recomana la utilització de un trepant. No obstant la normativa EAE en l'apartat 58.3 "agujeros para tornillos" permet el mètode de punxonat si el forat a realitzar ha de tenir un diàmetre superior a l'espessor de la peça, aquest espessor no pot ser superior a 15 mm i la unió no pot ser susceptible de fallo per motius de fatiga.

Els forats han de tenir un diàmetre igual al de la tija del cargol més els valor de la taula 7.6.

<b>Diàmetre de la tija del cargol [mm]</b>	<b>Mil·límetres addicionals</b>
12 i 14	1
16-24	1 o 2
<b>≥ 27</b>	<b>2 o 3</b>

**Taula 7.6. Valors a sumar al diàmetre del cargol per obtenir el diàmetre dels forats estàndard.**

Per unions amb cargols resistents per fregament es permet l'ús de forats esquinçats o amb certa folgança. Per aquests darrers es sumaran els valors de la taula 7.7 al diàmetre de la tija dels cargols per obtenir el diàmetre dels forats.

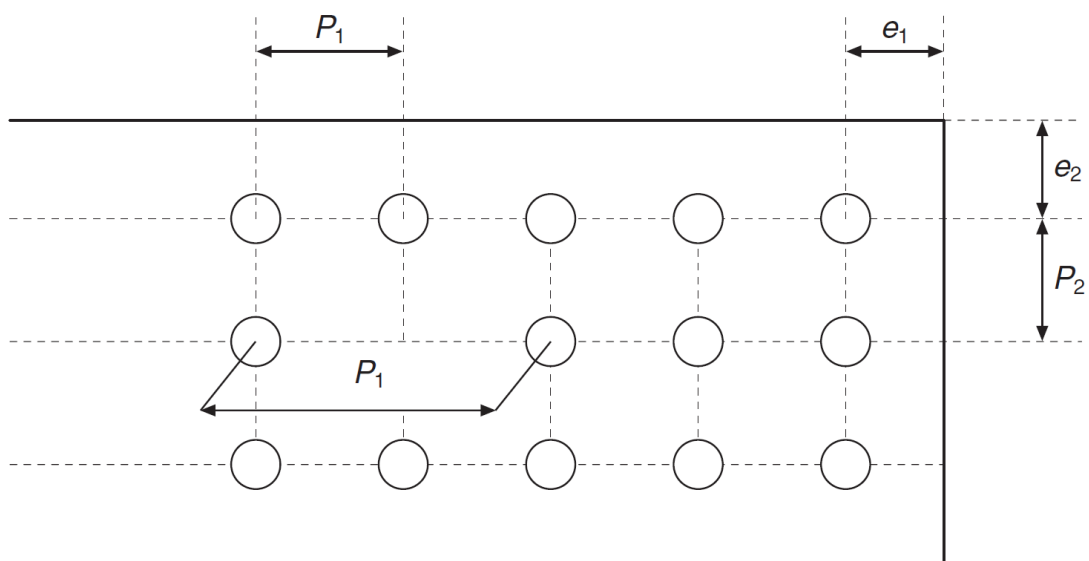
<b>Diàmetre de la tija del cargol [mm]</b>	<b>Mil·límetres addicionals</b>
12	3
14-22	4
24	6
<b>≥ 27</b>	<b>8</b>

**Taula 7.7. Valors a sumar al diàmetre del cargol per obtenir el diàmetre dels forats amb folgança.**

També existeix el cas dels cargols calibrats en els que el diàmetre del cargol i el diàmetre del forat estan ajustats. A causa de la precisió que requereixen, les unions amb

aquests cargols tenen una execució més difícil que les realitzades amb cargols estàndard. No obstant aquests cargols són més adequats per la formació de nusos rígids.

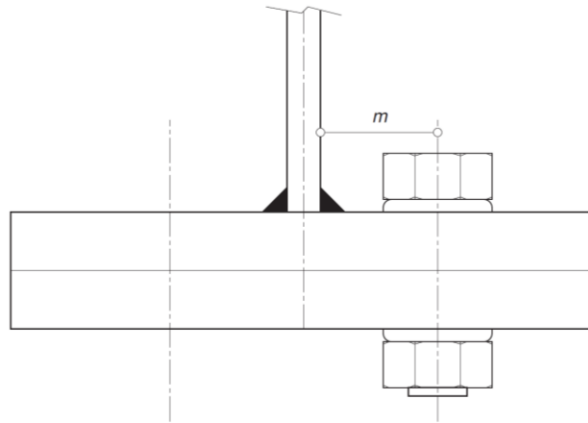
Per evitar problemes de vinclament o abonyegament local dels elements, per reduir els problemes de corrosió els forats dels cargols s'han de disposar de forma correcta. Addicionalment, s'han de col·locar de forma que es permeti la execució de forma senzilla i que no es disminueixi innecessàriament la resistència a aixafament de les plaques per la concentració excessiva de cargols. Per aquests motius la EAE, en l'apartat 58.4 "Disposiciones constructivas", dóna uns mínims i màxims dels paràmetres definits en la figura 7.10.



**Figura 7.10. Esquema dels paràmetres de disposició constructiva dels cargols.**

Els paràmetres  $e_1$  i  $p_1$  estan relacionats amb la direcció en la que s'ha de transmetre l'esforç. En canvi, els paràmetres  $e_2$  i  $p_2$  estan relacionats amb la direcció perpendicular del esforç a transmetre.

Un altre paràmetre important a l'hora de la execució de la unió és la distància de l'eix del trepant a qualsevol superfície paral·lela a aquest eix (figura 7.11) que influeix en la facilitat de collar els cargols.



**Figura 7.11. Distància de l'eix del cargol a una superfície paral·lela.**

Els mínims i màxims d'aquests paràmetres es troben en la taula 58.4.a “Disposiciones constructivas” de la EAE (figura 7.12). Els valors mínims obligatoris corresponen a consideracions resistents mentre que els valors recomanats estan relacionats amb la facilitat de execució.

Distancias y separaciones	Mínimo obligatorio	Mínimo recomendado	Máximo, ambiente normal	Máximo, intemperie o ambiente corrosivo
$e_1$	$1,2 d_0$	$2 d_0$	125 mm ó $8 t$	$40 \text{ mm} + 4t$
$e_2$	$1,2 d_0$	$1,5 d_0$	125 mm ó $8 t$	$40 \text{ mm} + 4t$
$p_1$	$2,2 d_0$	$3 d_0$	Piezas comprimidas: $14t$ ó 200 mm Piezas traccionadas: $28t$ ó 400 mm	
$p_2$	$2,4 d_0$	$3 d_0$	14t ó 200 mm	
$m$		$3 d$		
$d_0$ : Diámetro del agujero. $d$ : Diámetro del tornillo. $t$ : Espesor de la pieza más delgada a unir.				

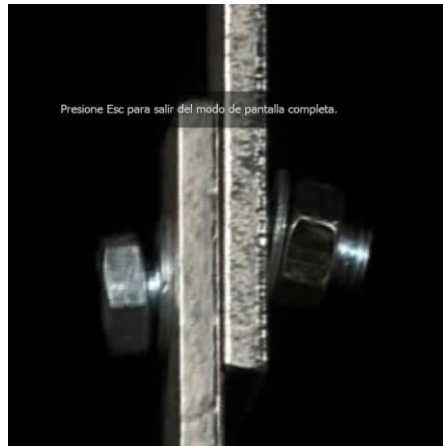
**Figura 7.12. Valors mínims i màxims dels paràmetres de disposicions constructives.**

A causa de que les unions amb casquet amb T no disposen de un gran espai per col·locar els cargols, les limitacions d'aquests paràmetres poden ser importants en la elecció dels elements de la unió.

#### 7.4.1 Resistència a tallant

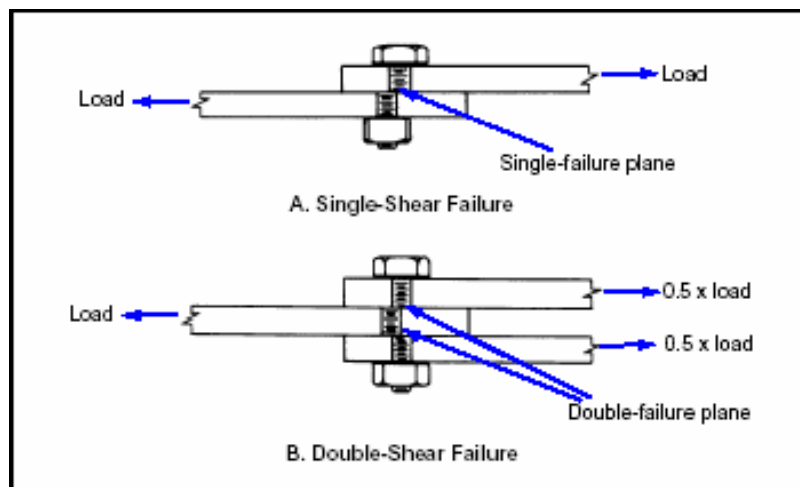
Un dels possibles mètodes de trencament de una unió amb cargols que està sotmesa a un esforça perpendicular al seu eix, és el trencament del cargol per el tallant al que està sotmès (figura 7.13).





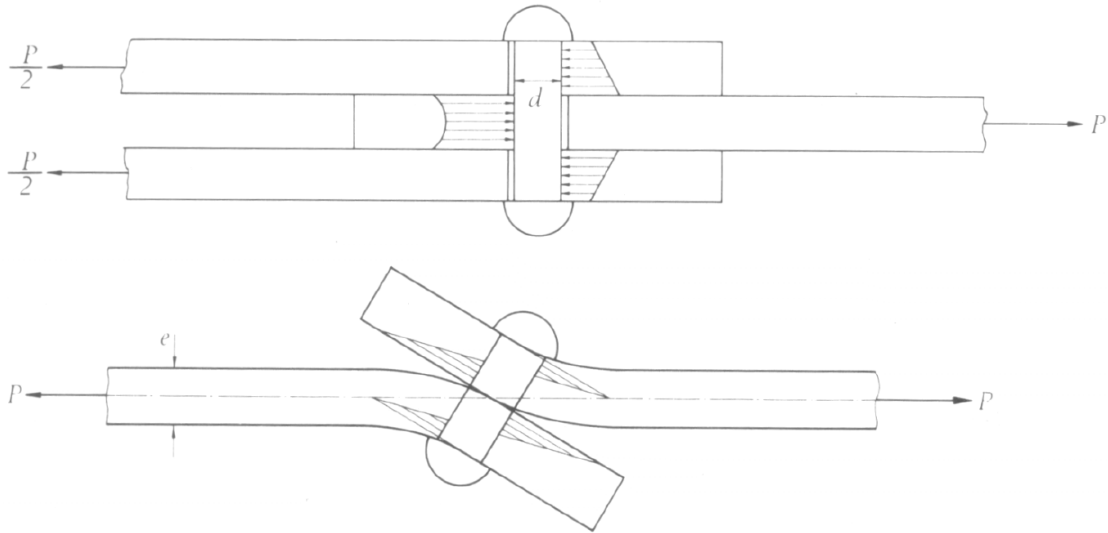
**Figura 7.13. Trencament del cargol per l'efecte tallant.**

Aquest esforç tallant depèn del nombre de plans de tall que pot tenir el cargol. Una unió en la que només s'uneix una placa amb una altre només disposa un possible pla de tall. En canvi si s'uneix una placa amb dues (doble tall), una per cada cara, existeixen dos plans de tall (figura 7.14). Aquest segon cas garanteix una millor resistència al efecte tallant perquè l'esforç es reparteix en cada un dels plans.



**Figura 7.14. Esquema del trencament per tallant. Simple tall en la imatge de dalt i doble tall en la de baix.**

És molt recomanable la utilització de dues plaques de unió (doble tall) perquè també evita l'aparició del moment flector a l'hora de transmetre els esforços, comentat en apartats anteriors (figura 7.15).



**Figura 7.15. Efecte del moment flector en una unió amb cargols amb simple tall.**

Per calcular la resistència a tallant dels cargols s'utilitzaran les fórmules de l'apartat 58.6 "Resistencias de un tornillo a cortante y aplastamiento" de la EAE. Aquesta resistència també depèn de si els plans de tall contenen la zona de rosca del cargol o no. Si tots els plans de tall passen per la zona de rosca, la resistència a tallant es calcularà mitjançant la equació 7.17.

$$F_{v,Rd} = \frac{0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_{v\grave{a}stago} \cdot n}{\gamma_{M2}} \quad (7.17)$$

En canvi, si algun dels plans de tall no passa per la zona roscada la resistència a tallant es calcularà amb la equació 7.18 si el grau del cargols són 4.6, 5.6 o 8.8 i l'equació 7.19 si el graus són 6.8 o 10.9.

$$F_{v,Rd} = \frac{0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_s \cdot n}{\gamma_{M2}} \quad (7.18)$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0.5 \cdot f_{ub} \cdot A_s \cdot n}{\gamma_{M2}} \quad (7.19)$$

En els cas de no conèixer si els plans de tall passen per la rosca o no, s'utilitzarà les equacions 7.18 o 7.19 corresponents al cas més desfavorable.

El paràmetre n correspon el nombre de plans de tall de la unió. L'àrea resistent a tracció dels cargols ( $A_s$ ) es pot obtenir de la taula 7.8 per els diàmetres de cargols més habituals.

Diàmetre [mm]	$A_s$ [mm <sup>2</sup> ]
12	84.3
16	157
20	245
22	303
24	353
27	456

**Taula 7.8. Àrea resistent a tracció dels cargols.**

La distribució del esforç entre els cargols no és equitativa, generalment les línies dels cargols que es troben més pròximes al perfil tubular estan sotmesos a un percentatge major de l'esforç a transmetre que les més llunyanes. A més la distribució tampoc és equitativa entre els cargols de una mateixa línia. Stephen Marcin al seu assaig del 1960 (Load Distribution in bolted joints) va demostrar que aquesta distribució depèn de molts factors com ara la mida i qualitat dels cargols, la disposició d'aquests, etc.

Marcin va deduir que els cargols dels extrems de una línia estan sotmesos a un percentatge major que els cargols centrals de la mateixa línia. Aquests percentatges, en alguns casos, arriba al 55% de l'esforç en els cargols dels extrems i 45% en els cargols centrals. Això significa que els cargols de les vores estan sotmesos a un 110% de l'esforç al que estarien sotmesos amb una distribució equitativa i els centrals un 90% d'aquest esforç.

Malgrat aquests percentatges es permet, per una qüestió de simplicitat, suposar una distribució equitativa entre els cargols.

#### **7.4.2 Resistència a aixafament**

Les unions amb cargols també poden fallar per l'aixafament dels element contra els cargols. Si els cargols exerceixen unes tensions massa grans (figura 7.16) a sobre la placa, es pot provocar la deformació d'aquesta última (figura 7.17).

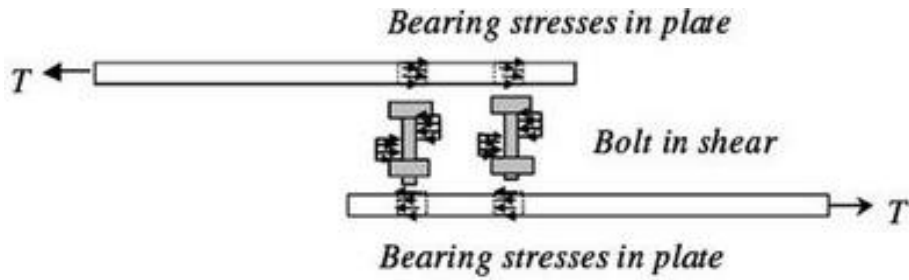


Figura 7.16. Tensions a la placa que poden provocar l'aixafament d'aquesta.

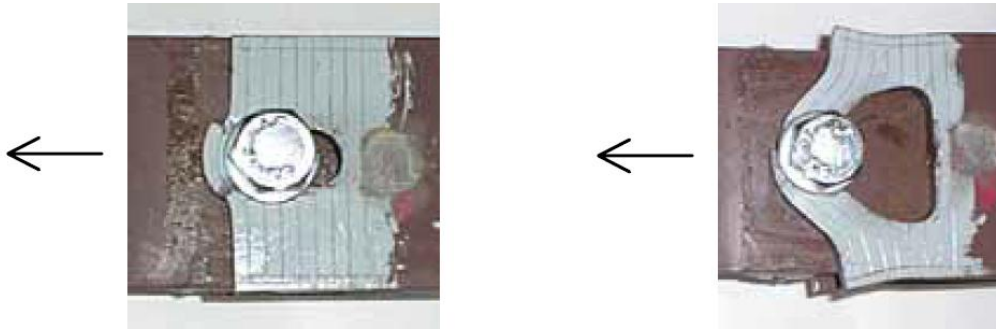


Figura 7.17. Deformació de la placa per aixafament.

La resistència a l'aixafament és calcula amb la fórmula de l'apartat 58.6 "Resistencias de un tornillo a cortante y aplastamiento" de la EAE (equació 7.20).

$$F_{b,Rd} = \frac{\alpha \cdot \beta \cdot f_u \cdot d_{\text{tornillo}} \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad (7.20)$$

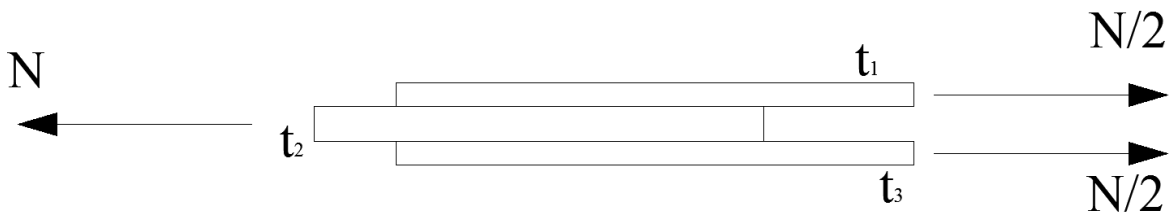
Els coeficients  $\alpha$  i  $\beta$  depenen de la posició dels forats dels cargols i s'obtenen amb les equacions 7.21 i 7.22.

$$\alpha = \min\left\{\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1.0\right\} \quad (7.21)$$

$$\beta = \min\left\{\frac{2.8 \cdot e_2}{d_0} - 1.7; \frac{1.4 \cdot p_2}{d_0} - 1.7; 2.5\right\} \quad (7.22)$$

L'espessor  $t$  correspon als valors de la equació 7.23 que estan relacionats amb la figura 7.18.

$$\begin{cases} t = t_2 & \text{si } t_2 \leq t_1 + t_3 \\ t = t_1 + t_3 & \text{si } t_2 \geq t_1 + t_3 \end{cases} \quad (7.23)$$



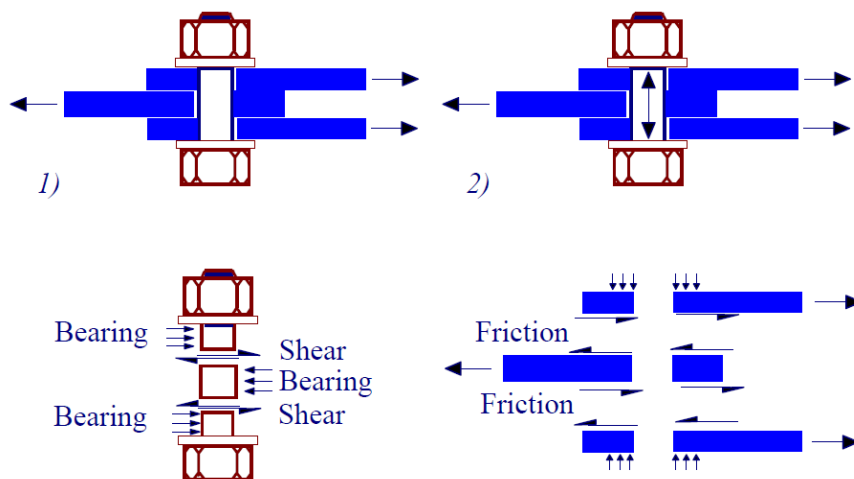
**Figura 7.18. Nomenclatura dels espessors de les plaques a unir.**

Si el forat és a sobre mesura el valor obtingut en la equació 7.20 és multiplicarà per un factor igual a 0.8. Si el forat és rascat, amb l'esforç a transmetre en direcció perpendicular a la direcció de rascat, és multiplicarà el valor de la equació 7.20 per 0.6. No es permeten unions que resisteixen a tallant i aixafament amb la direcció de rascat paral·lela als esforços a transmetre.

Es important que per evitar un trencament fràgil la resistència a aixafament sigui sempre inferior a la de tallant. D'aquesta forma s'assegura que, en cas de fallo dels cargols, és falli per aixafament que provoca un trencament més dúctil que el de tallant.

### 7.4.3 Resistència al lliscament

En unions de categoria B o C s'haurà de comprovar la resistència a lliscament. En aquestes categories s'utilitzen cargols pretensats per unir les plaques de forma que la unió treballi per la fricció entre aquestes en comptes de per el tallant en els cargols (figura 7.19).



**Figura 7.19. Distribució dels esforços. Amb cargols convencionals en la imatge de l'esquerra i pretensats en la de la dreta.**

La normativa limita el pretensat únicament a cargols de alta resistència, graus 8.8 i 10.9, i imposa una folgança màxima entre superfícies de contacte de 1 mm. No obstant, permet l'ús de espais entre superfícies de contacte menors de 2 mm en ambients corrosius o 4 mm en interiors si es corregeixen a base de forros.

En l'apartat 76.7 "Apretado de tornillos pretensados" de la EAE es donen unes indicacions de com s'ha de realitzar el pretensat. El pretensat s'ha de iniciar una vegada el contacte està ajustat i s'ha de realitzar de forma ordenada i progressiva.

L'esforç de pretensat que s'ha de obtenir en el cargol és el 70% de la resistència a tracció multiplicada per l'àrea resistent (equació 7.24). En la taula 7.9 es poden veure els valors d'aquests esforços per els cargols més utilitzats.

$$N_0 = 0.7 \cdot f_{ub} \cdot A_s \quad (7.24)$$

<b>Diàmetre del cargol [mm]</b>	<b>Grau 8.8</b>	<b>Grau 10.9</b>
12	47	59
16	88	110
20	137	172
22	170	212
24	198	247
27	257	321
30	314	393
36	458	572

**Taula 7.9. Valors del esforç de pretensat per els cargols habituals.**

S'ha de evitar utilitzar pintures de protecció contra la corrosió convencionals perquè redueixen la fricció entre les superfícies de contacte, reduint significativament la resistència a lliscament de la unió. Per aquestes unions són més adequades les pintures especials de fricció.

El pretensat dels cargols es pot realitzar amb un dels següents mètodes:

1. Clau dinamomètrica
2. Volandera amb indicació directa de tensió
3. Mètode combinat

El primer mètode es basa en que el par torçor aplicat als cargols mitjançant la clau induirà l'esforç de pretensat. Aquest esforç dependrà del diàmetre del cargol i de la fricció entre els components de la part que gira.

Les claus dinamomètriques hauran de ser comprovades diàriament per evitar errors superiors al 4% en la aplicació del moment torçor. El moment torçor aplicat serà el recomanat per el fabricant del cargol i de la femella.

A partir de la condició de contacte ajustat es realitzarà el pretensat en dues parts: primer s'aplicarà el 75% del moment torçor i després s'anirà augmentant progressivament fins a arribar un 110% d'aquest.

El segon mètode consisteix en utilitzar volanderes especials amb uns ressalts o protuberàncies que s'aixafen quan s'arriba a l'esforç desitjat.

El mètode combinat consisteix en aplicar un 75% del par torçor a partir de la condició de contacte ajustat mitjançant una clau dinamomètrica i marcar la posició de les femelles. A continuació s'aplica un gir complementari d'acord amb els assaigs previs, realitzats segons UNE-EN 14399-2. En el cas que ens ocupa, les unions planes, es poden obtenir els girs complementaris en funció del espessor total, incloent forros i volanderes, de la taula 7.10.

<b>Espessor de la unió</b>	<b>Gir complementari</b>
<b><math>t &lt; 2 \cdot d</math></b>	60
<b><math>2 \cdot d &lt; t &lt; 6 \cdot d</math></b>	90
<b><math>6 \cdot d &lt; t &lt; 10 \cdot d</math></b>	120

**Taula 7.10. Gir complementari en funció del espessor total de la unió.**

La resistència a lliscament es pot calcular amb la fórmula del apartat 58.8 “Resistencia a deslizamiento” de la EAE (equació 7.25).

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot N_0 \quad (7.25)$$

El factor  $k_s$  depèn del tipus de forats i s'obté de la taula 7.11. El valor del coeficient de fregament depèn dels tractaments de les superfícies de contacte i es poden obtenir els valors de la taula 76.8 “Valores del coeficiente de rozamiento en función del tratamiento superficial” de la EAE (figura 7.20).

Tipus de forat	$k_s$
Estàndard	1
Sobre mesura	0.85
Esquinçats curts amb direcció d'esquinçat normal al esforç	0.85
Esquinçats llargs amb direcció d'esquinçat normal al esforç	0.7
Esquinçats curts amb direcció d'esquinçat paral·lela al esforç	0.76
Esquinçats llargs amb direcció d'esquinçat paral·lela al esforç	0.63

**Taula 7.11. Factor  $k_s$  en funció del tipus de forat.**

Clase	Tratamiento	Coefficiente $\mu$
A	A1. Chorreado o granallado sin picaduras de corrosión.	0,50
	A2. Chorreado o granallado y metalizado por pulverización con aluminio.	0,50
	A3. Chorreado o granallado metalizados por pulverización a base de zinc, con ensayo de deslizamiento.	0,50
B	Chorreado o granallado con imprimación de pintura de silicato alcalino de zinc hasta un espesor de 80 micras.	0,40
C	Limpieza por cepillado o flameo con eliminación de toda la cascarilla o herrumbre.	0,30
D	Sin tratamiento.	0,20

**Figura 7.20. Valors del coeficient de fregament en funció del tipus de tractament de les superfícies de contacte.**

## 7.5 Plaques

Les plaques hauran de ser comprovades als mateixos aspectes que la ànima del casquet en T. Com ja s'ha esmentat amb anterioritat es recomana l'ús de dues plaques per evitar la aparició de un moment flector. Si s'utilitzen dues plaques es considerarà que l'esforç es divideix equitativament. D'aquesta forma cada placa estarà sotmès a la meitat del esforç, ja sigui el de càlcul, en el dimensionament per disseny, o el de capacitat del perfil tubular, en el disseny per capacitat.

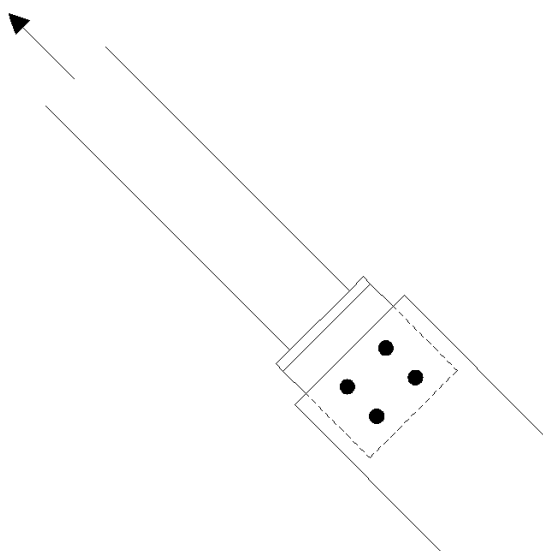


## 7.6 Exemples

Per tal de demostrar els coneixements explicats en aquest capítol es realitzarà un exercici de forma didàctica. El segon exemple correspon al mètode de unió per ranura explicat en el capítol 3.

### 7.6.1 Enunciat 1

Es desitja dimensionar una unió amb perfil auxiliar com la de la figura 7.21. El perfil tubular tindrà secció circular, diàmetre de 70 mm i un espessor de 5 mm. Hi ha un excedent de HEB300, HEB450 i HEB 550, per el que es desitja que el casquet en T es formi a partir d'aquests perfils. Com s'han de realitzar varies unions, s'imposa que el tall dels perfils es realitzi per la meitat, de forma que es puguin utilitzar dues parts de la mateixa forma.



**Figura 7.21. Esquema de la unió desitjada en l'exemple**

Es disposa només de cargols T22 de grau 10.9 i s'exigeix que la unió disposi almenys 4 cargols. La soldadura es farà sempre amb un espessor de garganta que garanteixi la unió sense necessitat de calcular-la. La unió es realitzarà amb 2 plaques, cada una de 8 mm de espessor. L'esforç al transmetre per la unió és de tracció. La unió és de categoria A.

L'acer del CHS serà S275 i per la resta de elements s'utilitzarà el S355.

## 7.6.2 Solució 1

El primer pas és calcular la capacitat del perfil CHS (equació 7.26).

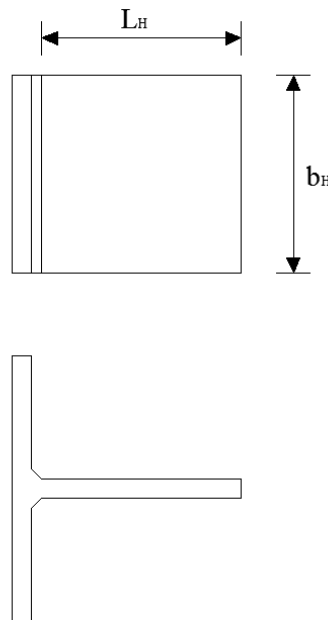
$$N_{Ed} = 1.1 \cdot 1.25 \cdot A \cdot f_y = 1.1 \cdot 1.25 \cdot 1021.02 \cdot 275 \cdot 10^{-3} = 386.07 \text{ kN} \quad (7.26)$$

El següent pas consisteix en comprovar els perfils. Cal recordar que un dels factors decisius del perfil a escollir pot ésser la falta d'espai per disposar els cargols.

### HEB300

Tallant el perfil per la meitat quedarà una longitud de ànima igual a 104 mm. En aquesta longitud hauran de cabre els cargols. En la direcció longitudinal el perfil es tallarà de forma que els cargols càpiguen completament i el coeficient  $\beta$  sigui igual a 2.5 per evitar reduir la resistència dels cargols.

S'imposarà que en aquesta direcció només es disposin de 2 files de cargols per evitar que el perfil tingui dimensions molt més grans que el CHS. Així doncs l'ample necessari per col·locar dues files de cargols seguint el mínims recomanats de la EAE s'obté en la equació 7.27.



**Figura 7.22. Esquema de les longituds del casquet.**

$$b_H = 2 \cdot 1.5 \cdot 23 + 3 \cdot 23 = 138 \text{ mm} \quad (7.27)$$

Si es disposen 2 files de cargols longitudinalment s'hauran de col·locar 2 files en la direcció de l'esforç per obtenir el mínim de 4 cargols. La longitud mínima del ànima perquè hi càpiguen dues files de cargols seguint el mínims obligats de la EAE s'obté en la equació 7.28.

$$l_H = 2 \cdot 1.2 \cdot 23 + 2.2 \cdot 23 = 105.8 \text{ mm} \quad (7.28)$$

Com la longitud mínima és major que la real en el perfil HEB300 no hi caben 4 cargols T22 per el que queda descartat.

### HEB450

La longitud del ànima de la meitat d'aquest perfil és igual a 172 mm. Amb les dimensions anteriors es evident que els cargols caben en aquest perfil.

En la equació 7.29 es realitza la comprovació de la resistència a tracció.

$$N_{pI,Rd} = 138 \cdot 14 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 685.86 \text{ kN} \geq N_{Ed} \quad (7.29)$$

I la resistència última de la secció transversal neta es comprova en la equació 7.31.

$$A_{net} = 138 \cdot 14 - 2 \cdot 23 \cdot 14 = 1288 \text{ mm}^2 \quad (7.30)$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 \cdot 1288 \cdot 490 \cdot 10^{-3}}{1.25} = 454.41 \text{ kN} \geq N_{Ed} \quad (7.31)$$

El casquet format per la meitat d'un perfil HEB450 resisteix l'esforç.

El següent pas es comprovar la resistència de la unió amb cargols. La resistència a tallant s'obté de la següent forma (equació 7.32):

$$F_{v,Rd} = \frac{0.5 \cdot 1000 \cdot 303 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{1.25} = 242.4 \text{ kN} \geq \frac{N_{Ed}}{4} = 96.52 \text{ kN} \quad (7.32)$$

La resistència a aixafament haurà de ser superior a l'esforç i inferior a la resistència a tallant. El coeficient  $\alpha$  depèn dels paràmetres  $e_1$  i  $p_1$ , motiu per el qual es pot ajustar la resistència a aixafament segons on es col·loquin els cargols. Per obtenir la resistència a aixafament adequada s'ha de realitzar un procés iteratiu d'aquests valors.

En aquest cas, s'obté que els valors d'aquests paràmetres que produeixen la màxima resistència complint els mínims de la EAE són  $e_1 = 51.5 \text{ mm}$  i  $p_1 = 69 \text{ mm}$ . Amb aquests valors s'obté la resistència a aixafament (equació 7.34).

$$\alpha = \min \left\{ \frac{51.5}{3 \cdot 23}; \frac{69}{3 \cdot 23} - \frac{1}{4}; \frac{1000}{490}; 1.0 \right\} = 0.7464 \quad (7.33)$$

$$F_{b,Rd} = \frac{0.7464 \cdot 2.5 \cdot 490 \cdot 22 \cdot 14}{1.25 \cdot 1000} = 225.3 \text{ kN} \geq \frac{N_{Ed}}{4} = 96.52 \text{ kN} \quad (7.34)$$

Aquest valor també és inferior a la resistència a tallant, per tant la unió cargolada resisteix satisfactòriament.

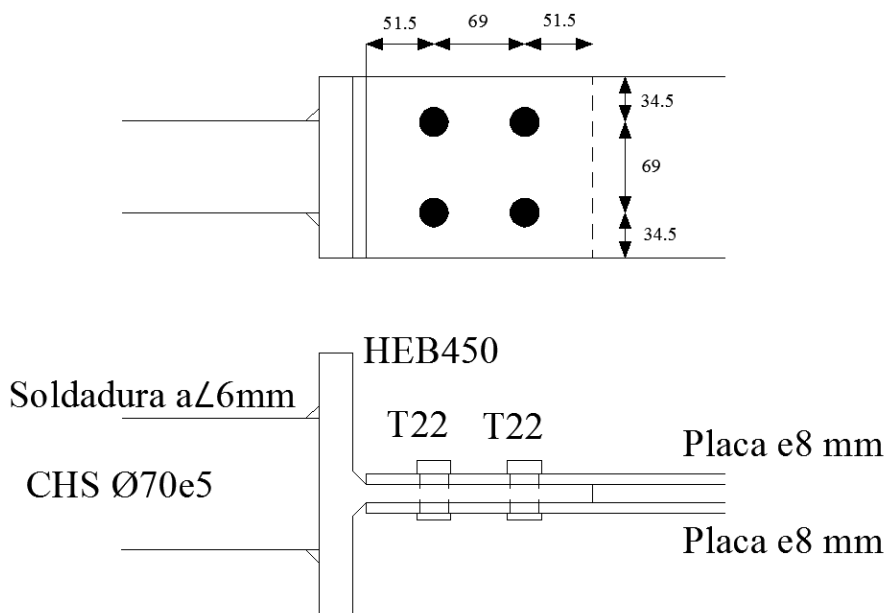
Finalment s'hauran de comprovar les plaques (equació 7.35 i 7.37). L'ample de les plaques es considerarà igual al del casquet de forma conservadora, si resisteix amb aquest ample ho farà per valors més grans.

$$N_{pl,Rd} = 138 \cdot 8 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 391.92 \text{ kN} \geq \frac{N_{Ed}}{2} = 193.035 \quad (7.35)$$

$$A_{net} = 138 \cdot 8 - 2 \cdot 23 \cdot 8 = 736 \text{ mm}^2 \quad (7.36)$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 \cdot 736 \cdot 490 \cdot 10^{-3}}{1.25} = 259.66 \text{ kN} \geq \frac{N_{Ed}}{2} \quad (7.37)$$

La unió queda dimensionada de la forma indicada en la figura 7.23.



**Figura 7.23. Esquema de la unió dimensionada en l'exemple 1.**

### 7.6.3 Enunciat 2

Es desitja dimensionar una unió amb ranura centrada com la de la figura 7.24. El perfil tubular es un RHS quadrat amb un costat de 90 mm i un espessor de 8 mm. La placa disposada en la ranura s'unirà mitjançant cargols T27 a 2 plaques de 8 mm de espessor. La soldadura tindrà un espessor de garganta igual a 8 mm. L'acer serà per tots els elements S355 i el cargols tindran grau 10.9. El disseny es farà per capacitat.

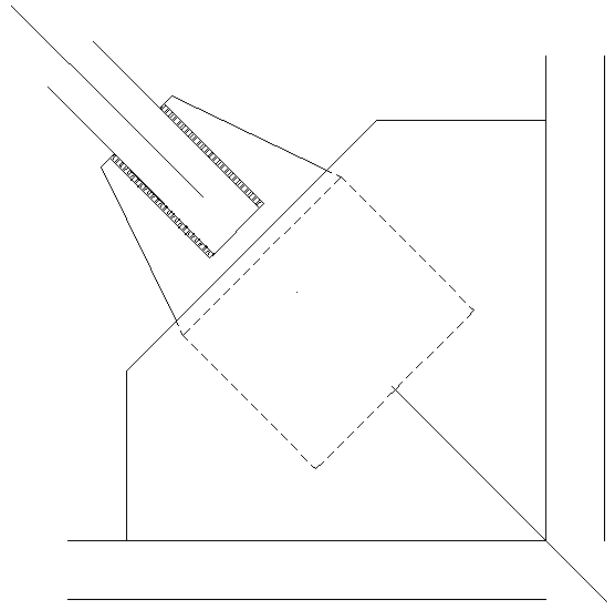


Figura 7.24. Esquema de la unió desitjada.

### 7.6.4 Solució 2

El primer pas és calcular la capacitat del perfil CHS (equació 7.26).

$$N_{Ed} = 1.1 \cdot 1.25 \cdot A \cdot f_y = 1.1 \cdot 1.25 \cdot 2400 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 1172 \text{ kN} \quad (7.38)$$

Com s'han de utilitzar cargols T27 de grau 10.9 es pot calcular la resistència a tallant d'aquests amb la equació 7.39.

$$F_{V,Rd} = \frac{2 \cdot 0.5 \cdot 1000 \cdot 456 \cdot 10^{-3}}{1.25} = 364.8 \text{ kN} \quad (7.39)$$

Si es suposa que els coeficients  $\alpha$  i  $\beta$  són 1 i 2.5 respectivament, la resistència a aixafament s'obté de la equació 7.40.

$$F_{b,Rd} = \frac{1 \cdot 2.5 \cdot 490 \cdot 27 \cdot t}{1.25 \cdot 1000} = 26.46 \cdot t \quad (7.40)$$

Com la resistència a aixafament ha de ser menor que la resistència a tallant es pot obtenir un límit superior de l'espessor de la placa a unir (equació 7.41).

$$F_{b,Rd} \leq F_{v,Rd} \rightarrow 26.46 \cdot t \leq 364.8 \rightarrow t \leq 13.79 \rightarrow t = 12 \text{ mm} \quad (7.41)$$

El nombre de cargols necessaris es pot obtenir de la equació 7.43.

$$F_{b,Rd} = 26.46 \cdot 12 = 317.52 \text{ kN} \quad (7.42)$$

$$\text{Número de cargols} \geq \frac{N_{Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{1172}{317.5} = 3.69 \rightarrow 4 \times T27 \quad (7.43)$$

L'ample de la placa es pot calcular a partir de el valor més gran obtingut de les equacions 7.44 i 7.45.

$$N_{pl,Rd} = b \cdot 12 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 4.26 \cdot b \geq N_{Ed} \rightarrow b_{\min} = \frac{1172}{4.26} = 275.1 \text{ mm} \quad (7.44)$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 \cdot (b \cdot 12 - 2 \cdot 29 \cdot 12) \cdot 490}{1.25 \cdot 1000} \geq 1172 \text{ kN} \rightarrow b_{\min} = 334.8 \quad (7.45)$$

S'agafarà un ample de 340, assegurant-se que és suficient perquè el coeficient  $\beta$  pugui tenir el valor suposat. La longitud de la placa ha de ser suficient perquè el coeficient  $\alpha$  sigui igual a 1, tal i com s'havia suposat.

$$2 \cdot 1.5 \cdot 29 + 3 \cdot 29 \leq 340 \rightarrow 174 < 340 \rightarrow \beta = 2.5 \quad (7.46)$$

$$2 \cdot 3 \cdot 29 + 3.75 \cdot 29 \leq 340 \rightarrow 282.75 < 340 \rightarrow \alpha = 1 \quad (7.47)$$

Finalment s'hauran de dimensionar les soldadures. Per fer-ho primer s'hauran de calcular les tensions en el pla de garganta que, com el cordons són paral·lels a l'esforç, es calcularan amb la equació 7.48.

$$\tau_{\parallel} = t_{\parallel} = \frac{\frac{N_{Ed}}{4}}{L_w \cdot a} = \frac{293000}{L_w \cdot 8} ; \tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = 0 \quad (7.48)$$

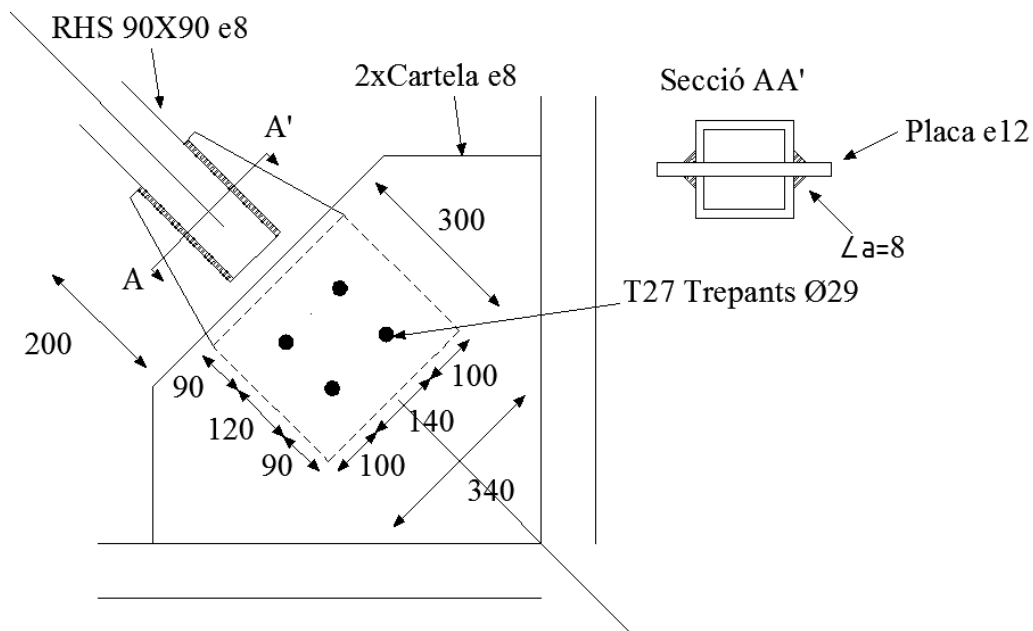
Per dir que la resistència d'aquests cordons és suficient s'haurà de complir la equació 7.49.

$$\sqrt{0^2 + 3 \cdot \left(0^2 + \frac{36625^2}{L_w^2}\right)} \leq \frac{490}{0.9 \cdot 1.25} \rightarrow L_w \geq \frac{63436}{435.6} = 145.6 \text{ mm} \quad (7.49)$$

A causa de la ranura en el perfil existirà un rasant en aquest que també s'haurà de comprovar. Suposant que no es deixa espai entre la placa i el perfil dins la ranura, el rasant es pot comprovar amb l'equació 7.50.

$$\tau = \frac{\frac{N_{Ed}}{4}}{L_w \cdot t_{CHS}} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3}} \rightarrow L_w \geq \frac{293000 \cdot \sqrt{3}}{355 \cdot 8} = 178.7 \text{ mm} \quad (7.50)$$

Amb una longitud de ranura i de soldadura igual a 200 mm queda comprovat tant el rasant en el perfil com la soldadura. D'aquesta forma queda una unió com la de la figura 7.25.



**Figura 7.25. Esquema de la solució del exemple 2.**

## 8. TAULES

---

Per posar en pràctica els coneixement adquirits s'han realitzat una sèrie de taules. En aquestes taules es troben les unions possibles utilitzant casquet amb T format a partir de perfils HEB i IPE i cargols convencionals.

D'aquesta forma es poden realitzar les unions sense necessitat de calcular sempre que es tinguin les mateixes condicions. Les taules es troben en el annex I.

### 8.1 Hipòtesis i condicions

Per poder realitzar aquestes taules s'han suposat les següents hipòtesis:

- Els perfils HEB i IPE es tallaran exactament per la meitat per formar els casquets en T (figura 8.1).
- En la direcció longitudinal els perfils HEB i IPE es tallaran de forma que el casquet en T sempre tingui un ample que permeti la col·locació dels cargols amb els mínims recomanats (figura 8.1). D'aquesta forma el coeficient  $\beta$  per calcular la resistència a aixafament serà igual a 2.5. L'ample mínim s'obté de la equació 8.1.

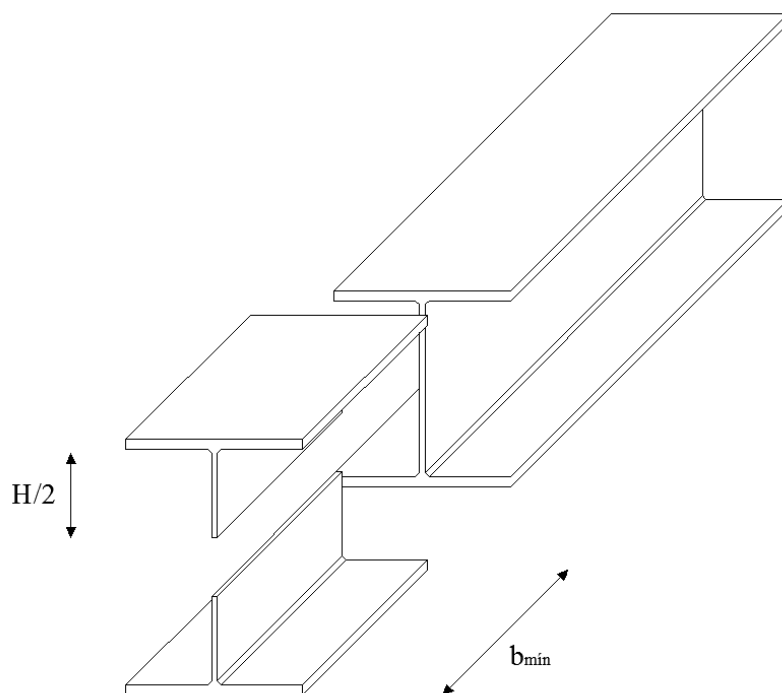
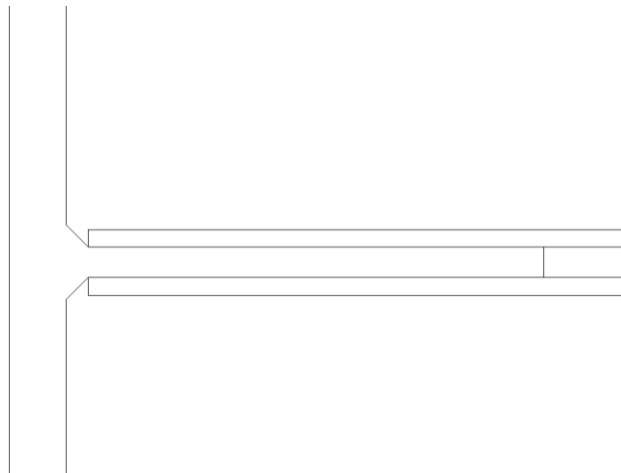


Figura 8.1. Esquema dels talls a realitzar als perfils.



$$b_{\text{mín}} = 2 \cdot 1.5 \cdot d_0 + 3 \cdot d_0 \quad (8.1)$$

- Es disposaran sempre dues files de cargols en la direcció normal al esforç.
- La unió es realitzarà sempre amb dues plaques.
- La placa es col·locarà el més pròxim possible de les antigues ales del perfil, al costat de la soldadura (figura 8.2).



**Figura 8.2. Disposició de les plaques.**

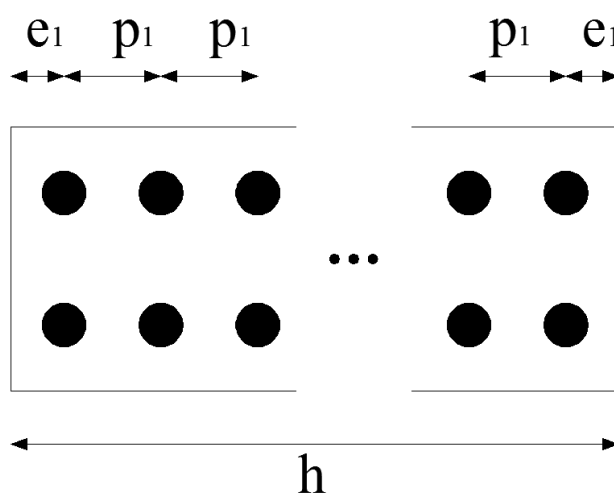
- El disseny es farà per capacitat i l'esforç considerat serà sempre de tracció.
- S'imposa que la resistència a tallant sigui sempre major que la resistència a aixafament dels cargols.
- Els perfils tubulars utilitzats són els del promptuari de la Universitat Politècnica de Madrid (annex II), dels que només s'han utilitzats els que tenen espessors iguals o majors a 4 mm i els RHS quadrats. Els perfils HEB i IPE s'han obtingut del promptuari de la companyia CELSA. Si una combinació d'aquests perfils no es troba en les taules significa que la unió no és possible.
- Els cargols utilitzats tenen diàmetre de 12, 16, 20, 22, 24 i 27 mm i sempre seran de grau 10.9.
- Les taules només representen el cas amb el mínim nombre de cargols. Si amb 4 cargols de T20 és suficient, no es representarà el cas de 6 cargols T20 tot i que pot ser factible.
- Les plaques comprovades tenen un espessor major o igual 4 mm i en intervals de 1 mm (4, 5, 6, 7, etc).
- Els cargols es disposaran de forma que quedi sempre el mateix espai entre cada parell en la mateixa direcció.

## 8.2 Procediment

Com la resistència a l'aixafament depèn de la posició dels cargols resulta difícil la elaboració de taules. Per obtenir les taules s'ha calculat la resistència a tallant dels cargols per obtenir un límit superior de la resistència a aixafament que es tolera.

La resistència a l'aixafament quedarà delimitada inferiorment per l'esforç i superiorment per la resistència a tallant. Per obtenir la resistència a l'aixafament fa falta conèixer el paràmetre  $\alpha$ , que depèn dels paràmetres  $e_1$  i  $p_1$ . Per aquest motiu la resistència a aixafament s'obtindrà iterant aquests valors fins a aconseguir un valor dins els límits.

Per reduir el nombre de iteracions es relaciona el paràmetre  $p_1$  en funció de  $e_1$  (equació 8.3).

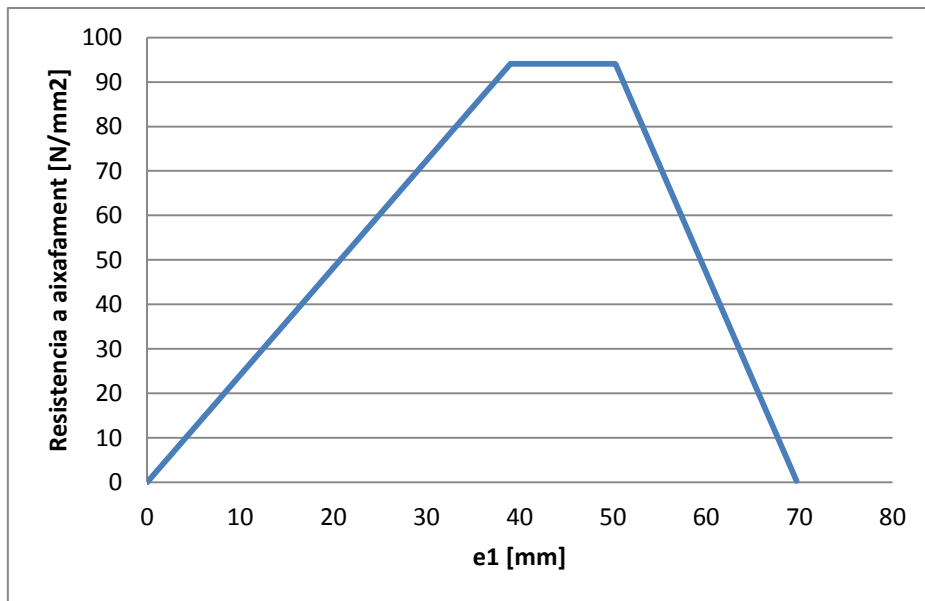


**Figura 8.3.** Esquema de la disposició dels cargols.

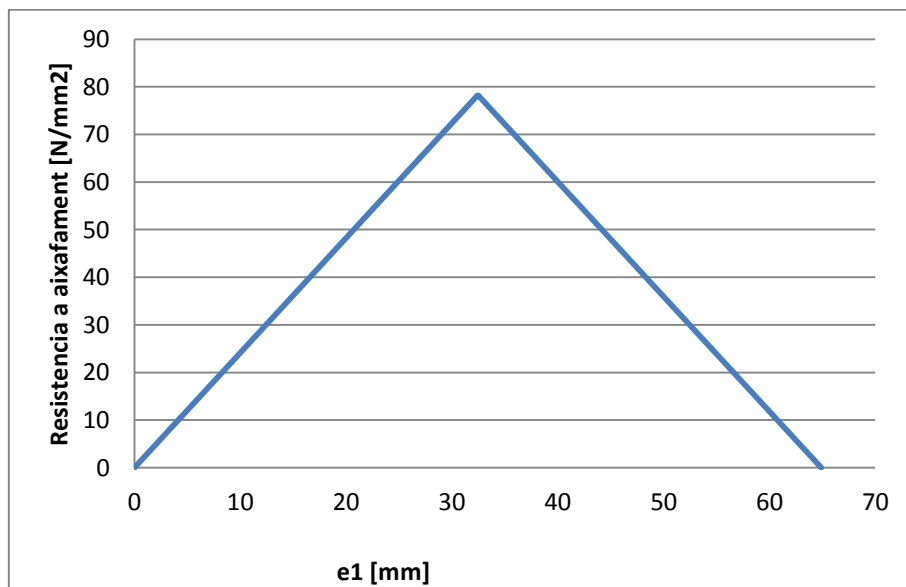
$$p_1 = \frac{h - 2 \cdot e_1}{\frac{\text{núm. cargols}}{2} - 1} \quad (8.3)$$

D'aquesta forma els valors mínims de  $p_1$  es converteixen en valors màxims de  $e_1$  i només fa falta iterar aquest últim.

El valor de la resistència a aixafament en funció de  $e_1$  té la forma de la figura 8.4 o la figura 8.5.



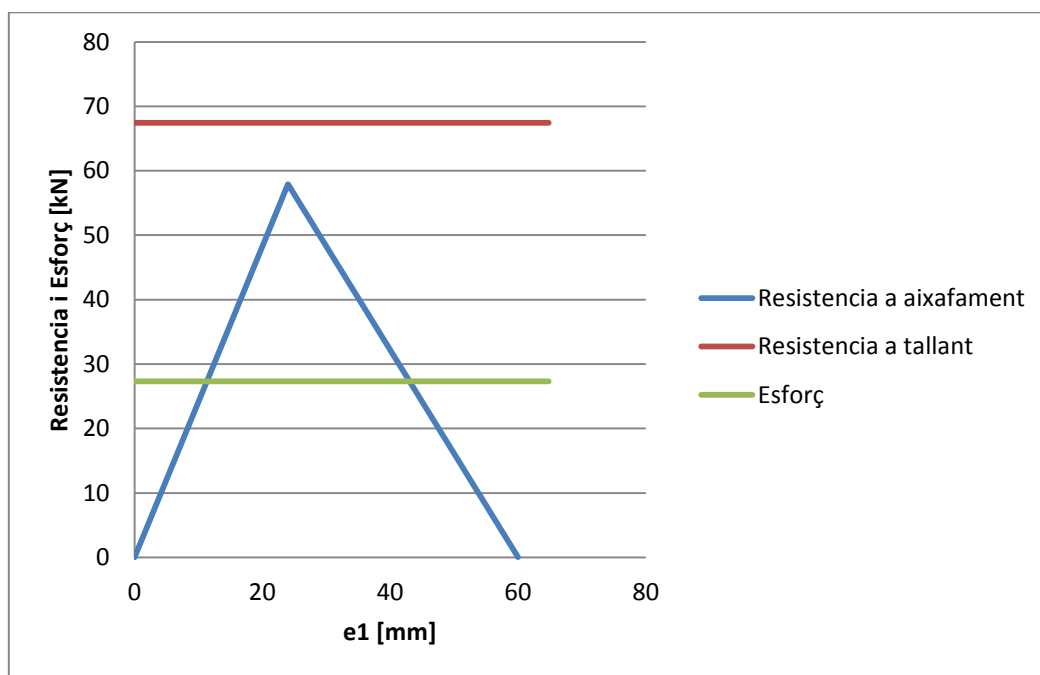
**Figura 8.4.** Gràfic de la resistència a aixafament de un cargol en funció de  $e_1$  en casos en que  $\alpha = 1$  en alguns valors de la iteració.



**Figura 8.5.** Gràfic de la resistència a aixafament de un cargol en funció de  $e_1$  en casos en que  $\alpha \neq 1$  per tots els valors de la iteració.

Si el coeficient alfa es igual a 1 en algun punt de la iteració la corba tindrà la forma descrita en la figura 8.4, en cas contrari tindrà la forma de la figura 8.5. El pendent de les rectes de les gràfiques depèn del nombre de cargols: la figura 8.4 correspon al cas del perfil CHS  $\Phi 50e5$  amb un IPE360 amb 4 cargols T12 i dues plaques de espessor combinat major al del perfil i la figura 8.5 correspon al mateix cas però utilitzant 6 cargols T12.

En aquestes gràfiques falten els límits superiors i inferiors imposats per la resistència a tallant i l'esforç de capacitat. Aquest límits queden representats per rectes horitzontals com les de la figura 8.6.

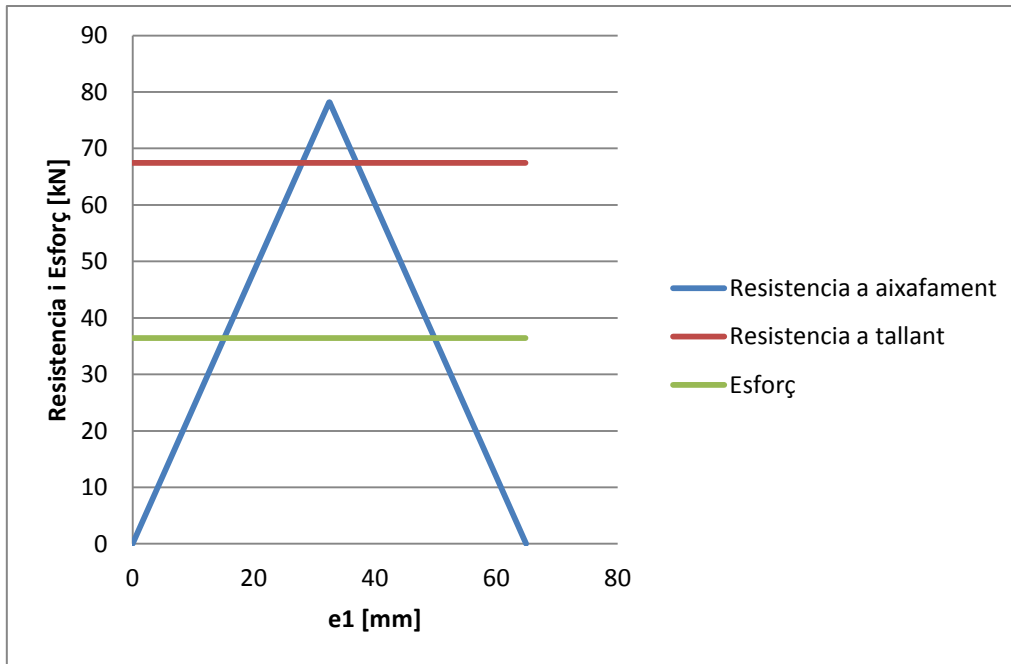


**Figura 8.6. Gràfic de la resistència a aixafament, la resistència a tallant i l'esforç a transmetre per un cargol.**

La figura 8.6 correspon al cas del perfil CHS  $\Phi 50e5$  amb un IPE360 amb 8 cargols T12 i dues plaques de espessor combinat major al del perfil. Els únics valors del paràmetre  $e_1$  acceptables són els relacionats amb una resistència a l'aixafament continguda entre les dues rectes horitzontals.

En el cas anterior la resistència a aixafament no arriba mai al límit superior imposat per la resistència a tallant. En la figura 8.7 es representa el cas del CHS  $\Phi 50e5$  amb un IPE360 amb 6 cargols T12 i dues plaques de espessor combinat major al del perfil, en el que la resistència a aixafament si arriba a aquest límit.

En la figura 8.7 es pot veure que si la resistència a aixafament es superior a la resistència a tallant en algun moment s'obtenen dos intervals de valors acceptables del paràmetre  $e_1$ .



**Figura 8.7. Gràfic de la resistència a aixafament, la resistència a tallant i l'esforç a transmetre per un cargol amb intersecció del límit superior.**

Existeix també el cas de la figura 8.8, en el que l'esforç a transmetre es major que la resistència a tallant. En aquest cas la unió no és possible amb els elements disposats.

Una possible solució pot ser augmentar el nombre de cargols, reduint d'aquesta forma l'esforç a resistir per cada un, o augmentant el diàmetre dels cargols, augmentant la resistència a tallant d'aquests..

Aquest és el cas de la unió amb del CHS  $\Phi 80e5$  amb un HEB340 amb 6 cargols T12 i dues plaques de espessor combinat major al del perfil (figura 8.8) que no és vàlid però si s'augmenta el nombre de cargols a 8 es torna acceptable (figura 8.9).

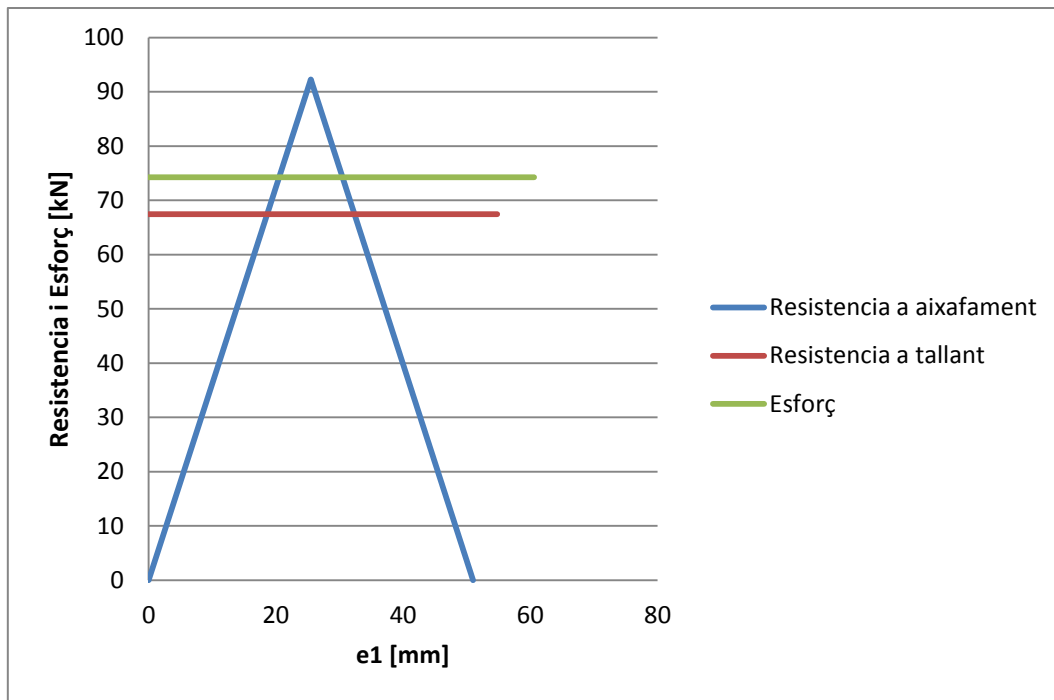


Figura 8.8. Cas en el que la resistència a tallant és menor al esforç a transmetre.

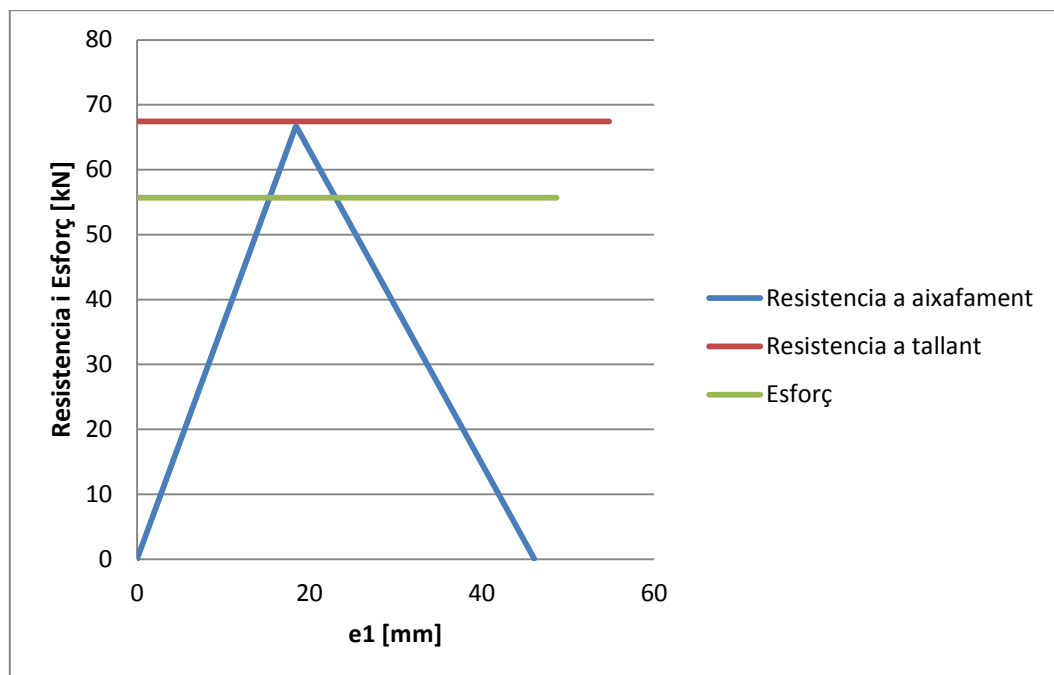


Figura 8.9. Solució del problema de la figura 8.8 augmentant el nombre de cargols a 8.

Aquests serien els casos possibles si la EAE no imposés uns valors mínims i màxims als paràmetres  $e_1$  i  $p_1$ . Els valors màxim es comprovaran posteriorment malgrat que segurament no es superi en cap cas. Els valors mínims formen part de la iteració i per tant queden representats en les gràfiques per rectes verticals (figura 8.10).

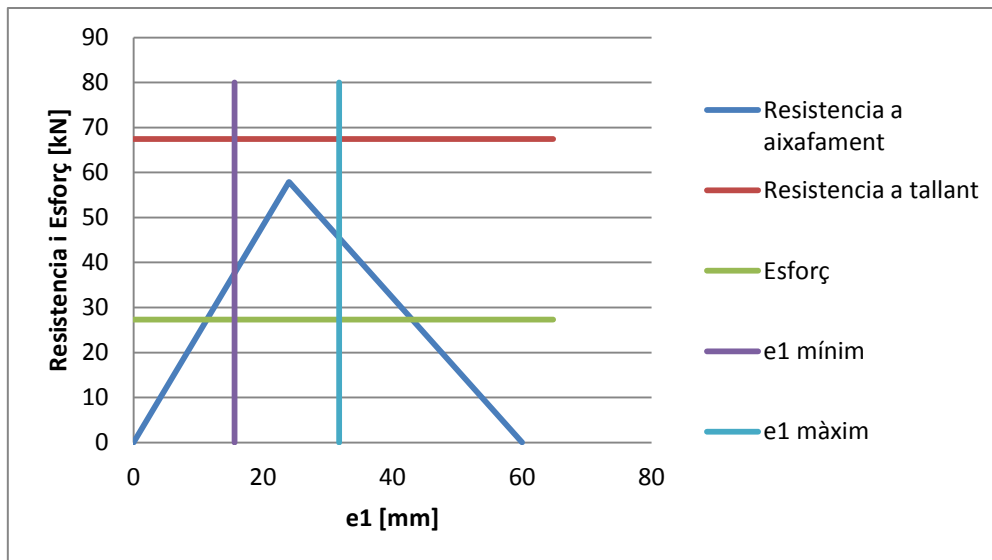


Figura 8.10. Gràfica amb els límits imposats per la disposició dels cargols.

En aquest cas, corresponent a la unió del CHS  $\Phi 50e5$  amb un IPE360 amb 8 cargols T12 i dues plaques de espessor combinat major al del perfil, el valor màxim de  $e_1$ , imposat per el valor mínim de  $p_1$ , limita la resistència a aixafament per que queda limitada abans per l'esforç.

És possible que els mínims i màxims de  $e_1$  redueixin el nombre de intervals acceptables. Per exemple el cas de la figura 8.11 en el que sense tenir en compte els mínims geomètrics hi hauria 2 intervals de  $e_1$  acceptables però el màxim geomètric els limita a únicament 1.

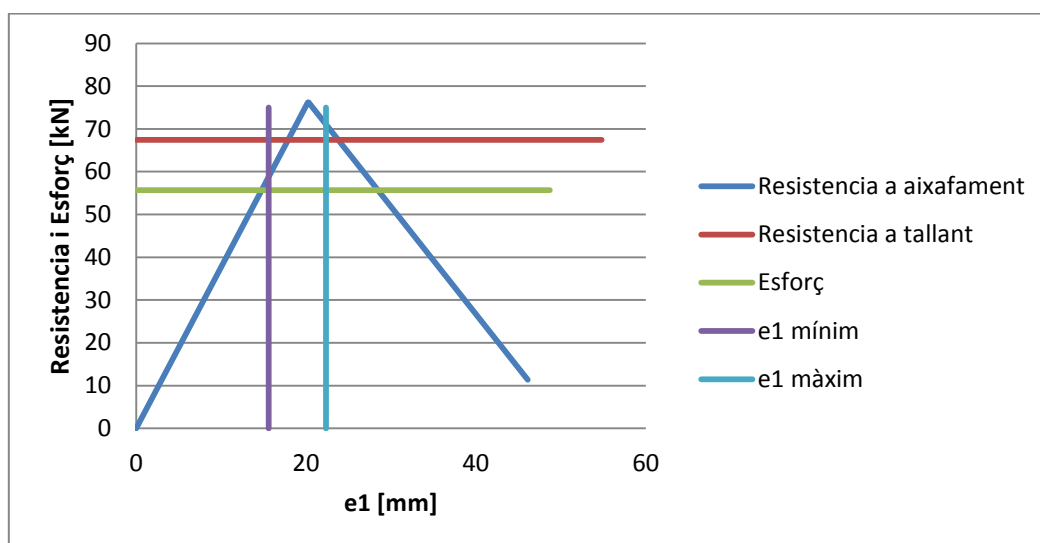


Figura 8.11. Representació del cas en que el màxim geomètric elimina un dels intervals vàlids.

La figura 8.11 correspon al cas del perfil CHS  $\Phi 80e5$  amb un HEB360 amb 8 cargols T12 i dues plaques de espessor combinat major al del perfil.

Amb aquest procés iteratiu s'obtenen tots els valors de  $e_1$  amb els que els cargols resisteixen. Una vegada obtinguts aquests resultats es passarà a fer la comprovació de les plaques i del perfil a tracció tant per la secció bruta com per la neta. Si aquests elements resisteixen satisfactòriament es considerarà que la unió és acceptable i s'inclourà en les taules.

Si els cargols resisteixen però falla el perfil o les plaques només caldrà augmentar l'ample d'aquests elements de forma que s'obtingui una àrea suficient. Per aquest motiu també s'inclouran aquests casos en les taules.

### 8.3 Resultats

Els resultats s'expressaran en forma de taules. Els valors de  $e_1$  acceptables s'expressaran en funció del seu valor mínim i màxim. En el cas de que hi hagi dos intervals s'inclouran els valors màxims i mínims dels dos.

Les taules seguiran l'esquema i la nomenclatura de la figura 8.12.

#### **CHS $\Phi 60e4$ [N=266.1 kN]**

Perfils vàlids	Diàmetre i Número de cargols	Interval 1		Interval 2		$e_1$ òptim [mm]
		$e_1$ mín. [mm]	$e_1$ màx. [mm]	$e_1$ mín. [mm]	$e_1$ màx. [mm]	
HEB280	4x12	27.6	27.8	30.2	30.2	30.2
	4x16	27.2	29			28.4

**Figura 8.12. Esquema i nomenclatura utilitzades en les taules del annex I.**

Com es pot veure en la figura 8.12, s'han aproximat els valor de  $e_1$  al primer decimal par acceptable. S'ha fet així per que a l'hora de realitzar el forats és molt difícil obtenir una precisió superior a la dècima de mil·límetre inclús en taller. També es pot veure que al costat del perfil tubular disposat es mostra l'esforç de capacitat d'aquest. Per aquest motiu aquestes taules també es poden utilitzar per el dimensionament per disseny si l'esforç axil aplicat coincideix.



Cal dir que en aquestes taules no s'han filtrat els resultats en que el perfil tubular té una secció molt més petita que el casquet. Aquests casos no són acceptables per la diferència de rigideses però es deixa per el dissenyador decidir a partir de quina relació és acceptable o no.

## 9. CONCLUSIONS

---

De la realització i lectura d'aquest informe es poden treure les següents conclusions:

- Els perfils tubulars tenen nombrosos avantatges. Es comporten millor a tracció, a compressió i a torsió que els perfils convencionals. Tant a flexió com a vinclament tenen un comportament molt bo i millor que el dels perfils convencionals en el seu eix dèbil. Per aquests motius són molt utilitzats.
- Les unions en estructures metàl·liques representen una bona part del pressupost total (40%). Com són un punt de discontinuïtat és important dimensionar-les de forma adequada. Les unions entre perfils tubulars i elements plans i les unions entre perfils tubulars CHS diferents són especialment complicades a causa de la seva geometria.
- Les unions amb cargols són especialment útils per estructures temporals per el seu fàcil muntatge i desmuntatge. Per la seva facilitat de execució també són adequades per unions a realitzar en obra.
- És molt recomanable realitzar sempre el disseny per capacitat en unions per evitar problemes de trencaments fràgils i trencaments en llocs no desitjats.
- És recomanable utilitzar acers de gran qualitat sempre que sigui possible. L'estalvi econòmic de utilitzar acers de baixa qualitat no és molt gran i poques vegades compensa el tenir que utilitzar elements de major mida o els problemes que poden ocasionar.
- Els tres mètodes són adequats. Cada un dels tres mètodes de unió de un perfil tubular i una placa és més adequat per situacions diferents. No obstant el mètode més utilitzat és el de ranurat per la seva senzillesa.
- El mètode de ranurat permet una execució senzilla que es pot realitzar a l'obra, un baix cost econòmic i un dimensionament amb càlculs no massa complicats.
- El mètode d'aplanament té l'inconvenient de que no es pot saber analíticament com influeix l'aplanament en la resistència del perfil. Per aquest motiu o bé s'han de seguir les mateixes condicions que altres investigadors hagin utilitzat en assaigs o s'ha de realitzar assaigs experimentals per tal de conèixer si s'ha reduït la resistència.

- El mètode de utilitzar un casquet en T ens permet utilitzar excedents de altres parts de l'obra per el que pot resultar molt econòmic si es planteja correctament. Els càlculs a realitzar no són molt complicats i la execució és molt senzilla si s'han preparat els elements amb anterioritat.
- El problema d'aquest mètode es que si es vol tallar per la meitat el perfil per tal de poder utilitzar les dues meitats de la mateixa forma, l'espai per col·locar els cargols és molt reduït. De fet en la majoria dels casos, la disposició constructiva és el factor limitant de que la unió sigui possible o no.
- Amb les hipòtesis correctes es pot expressar la resistència a aplanament de una unió per la posició dels seus cargols.
- En general els perfils HEB són més adequats per formar casquets perquè tenen un espessor de ànima major. Els IPE tenen el avantatge de tenir més espai per col·locar els cargols donada la major longitud de la seva ànima però no compensa l'espessor més reduït d'aquesta. No obstant els perfils IPE són més adequats quan la suma dels espessors de les plaques és menor que el de l'ànima del perfil i per tant aquest darrer perd importància.

## 9.1 Treball addicional

Com a treball addicional es podrien completar les taules amb un esforç axil de compressió. D'aquesta forma es veuria com influeix el vinculament en la qualitat de les unions i es podrien utilitzar les taules a l'hora de dimensionar qualsevol diagonal de una gelosia, estigui sotmesa a compressió o a tracció.

Una altre opció pot ser realitzar les taules tenint en compte una distribució més realista dels esforços entre els cargols, de forma que els cargols dels extrems transmetin un major percentatge de l'esforç que els altres. A l'hora de dimensionar la unió es faria tenint en compte el cargol més sol·licitat. Seria interessant veure com varien els resultats per saber si la hipòtesis de distribució equitativa és acceptable o no.

Finalment també seria interessant elaborar les taules per talls diferents a la meitat, com ara relacions de  $1/3$  i  $2/3$  o  $1/4$  i  $3/4$ . Aquests casquets no es podrien utilitzar en unions amb les mateixes condicions, però si que es podria aprofitar cada part en unions diferents. És probable que en aquests casos els perfils IPE perdessin avantatge per unions de elements petits perquè la longitud de la ànima passaria a ser menys important.

## 10. REFERENCIAS

---

- G. Martínez-Saucedo, J.A. Packer (2006); Slotted end connections to hollow sections. Final report to CIDECT from the University of Toronto.
- J. Rondal (1990); Study of Maximum Permissible Weld Gaps in Connections with Plane End Cuttings. Final report to CIDECT from University of Liège.
- M. Tournay (2002); Internal resistance to corrosion in steel hollow sections. Final Report to CIDECT and CSFTA.
- J.A. Packer, J.E. Henderson (1997); Hollow structural section: connections and trusses. Canadian Institute of Steel Construction.148-255.
- Mohamed Elchalakani, M. Xiao-Ling Zhao, Raphael Grzebieta (2003); Test of cold-formed circular tubular braces under cyclic axial loading. Journal of Estructural Engineering.
- S. Willibald, J.A. Packer, R.S. Puthli (2002); Investigation on hollow section hidden joint splice connections under tensile loading. Report for CIDECT from Universität Karlsruhe.
- Stephen T. Marcin (1960); Load distribution in bolted joints. Fritz Engineering Laboratory Department of Civil Engineering Lehigh University Bthelehem, Pennsylvania.
- D.B. Moore, F. Wald (2003); Design of structural connections to eurocode 3: frequently asked questions. Building Research Establishment, Faculty of Civil Engineering, Czech Technical University in Prague.
- J. Wardenier (2002); Perfiles tubulares en aplicaciones estructurales. Instituto para la Construcción Tubular.
- J. Wardenier et al. (2008); Guía de diseño 1: nudos de perfiles tubulares circulares (CHS) bajo cargas predominantemente estáticas. Comité International pour le Développement et l'Etude de la Construction Tubulaire.
- J. Rondal et al. (2008); Guia de diseño 2: Estabilidad estructural de perfiles tubulares. Comité International pour le Développement et l'Etude de la Construction Tubulaire.

- D. Dutta et al. (2008); Guía de diseño 6: perfiles tubulares estructurales en aplicaciones mecánicas. Comité International pour le Développement et l'Etude de la Construction Tubulaire. 54-85.
- D. Dutta et al. (2008); Guía de diseño 7: fabricación, ensamble y montaje de estructuras de perfiles tubulares. Comité International pour le Développement et l'Etude de la Construction Tubulaire. 1-120.
- Y. Kurobane et al. (2008); Guía de diseño 9: uniones a columnas de perfiles tubulares. Comité International pour le Développement et l'Etude de la Construction Tubulaire. 30-48.
- Reglamento Argentino de Elementos Estructurales de Tubos de Acero para Edificios, Capítulo 9.
- Prontuario de perfiles tubulares de la Unión de Almacenistas de Hierros de España con la normativa facilitada por AENOR.
- Prontuario digital Perfil CELSA v.1.01.

## **10.1 Normatives**

- Eurocode 3: Design of Steel Structures. EN 1993-1-1:2005; General rules and rules for buildings. Comissió Europea de Normalització, Brussel·les.
- Eurocode 3: Design of Steel Structures. EN 1993-1-8:2005; Design of joints. Comissió Europea de Normalització, Brussel·les.
- Instrucción de Acero Estructural EAE (2011). Ministerio de Fomento.

## **10.2 Pàgines WEB**

- [www.cidect.org](http://www.cidect.org)
- [www.ictubular.es](http://www.ictubular.es)
- [www.fomento.es/MFOM](http://www.fomento.es/MFOM)
- [www.cen.eu/cenorm/](http://www.cen.eu/cenorm/)
- [www.ejse.org](http://www.ejse.org)