

Unions cargolades

Josep Fenollosa Coral

amb la col·laboració de
Joaquim M. Veciana Fontanet
Jordi Martínez Miralles

Departament d'Enginyeria Mecànica

Temes d'Enginyeria Mecànica



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH



Unions cargolades

Josep Fenollosa Coral

**amb la col·laboració de
Joaquim M. Veciana Fontanet
Jordi Martínez Miralles**

Departament d'Enginyeria Mecànica



Responsable de la col·lecció: Carles Riba Romeva

Aquesta publicació s'acull a la política de normalització lingüística i ha comptat amb un ajut del Departament de Cultura i de la Direcció General d'Universitats, de la Generalitat de Catalunya.

Coordinació i assessorament: Servei de Llengües i Terminologia de la UPC
Revisió lingüística: Joan Riba Romeva
En col·laboració amb el Servei de Publicacions de la UPC

Primera edició: 1995
Reimpresió: gener 2009
Segona edició: gener 2016

© Josep Fonollosa Coral, 1995
© Edicions UPC, 2009
© Iniciativa Digital Politècnica, 2016

2^a edició feta amb la col·laboració de Joaquim M. Veciana Fontanet i Jordi Martínez Miralles

Els autors i editors d'aquesta obra declinen tota responsabilitat sobre la utilització dels continguts que en ella s'hi exposen.

Oficina de Publicacions Acadèmiques Digitals de la UPC
Jordi Girona 31,
Edifici Torre Girona, Planta 1, 08034 Barcelona
Tel.: 934 015 885
www.upc.edu/idp
E-mail: info.idp@upc.edu

DL: B-2831-2000
ISBN: 978-84-9880-558-1

Qualsevol forma de reproducció, distribució, comunicació pública o transformació d'aquesta obra només es pot fer amb l'autorització dels seus titulars, llevat de l'excepció prevista a la llei.

ÍNDIX

1 Tecnologia de les unions cargolades

1.1 Sistema cargol-femella	7
1.2 Unió cargolada. Funció	8
1.3 Procés de collada	9
1.4 Fallada d'una unió cargolada.....	10
1.5 Retenció. Perill de descargolament	11
1.6 Assegurament contra el descargolament	13

2 Normativa sobre unions cargolades

2.1 Perfils de rosca.....	19
2.2 Perfil triangular ISO	20
2.3 Rosca normal i rosca fina	21
2.4 Fabricació dels filets de rosca.....	21
2.5 Tipus de cargols, femelles i altres elements	21
2.6 Dimensions de cargol, femella i altres elements	22
2.7 Materials normalitzats	25

3 Unió sotmesa a càrrega axial. Bases de càlcul

3.1 Muntatge sense tensió. Estat base	27
3.2 Alçària de la femella.....	35
3.3 Muntatge amb tensió. Collada d'un cargol.....	36
3.4 Dispersió de la força de muntatge	42
3.5 Muntatge amb tensió sense força separadora	43

4 Unió sotmesa a càrrega axial. Muntatge amb tensió i força separadora posterior

4.1 Fase de muntatge	45
4.2 Rigidesa del cargol i de les peces unides.....	48
4.3 Fase d'aplicació de la força separadora	52
4.4 Acció conjunta.....	54
4.5 Diagrama força-deformació complet.....	55
4.6 Analogia amb una balança dinamomètrica.....	56
4.7 Optimització	58
4.8 Obertura de la juntura.....	58
4.9 Efectes de la dispersió de la força de muntatge.....	60
4.10 Assentament.....	62
4.11 Nivell d'acció de la força separadora	64

5 Càlcul d'unions amb força separadora axial

5.1 Unions cargolades de qualitat normal i d'alta qualitat.....	69
5.2 Força separadora estàtica.....	71
5.3 Força separadora variable.....	77

6 Unió sotmesa a càrrega transversal

6.1 Força separadora transversal	81
6.2 Unió per fregament.....	82
6.3 Unió amb cargol sotmés a cisallament	84

Bibliografia

1 Tecnologia de les unions cargolades

1.1 Sistema cargol-femella

El sistema cargol-femella és una màquina en la qual s'aplica una força perifèrica petita en el cap del cargol (o a la femella) amb un recorregut gran i s'obté una força axial gran a la femella (o en el cargol) amb un recorregut petit (Fig. 1.1).

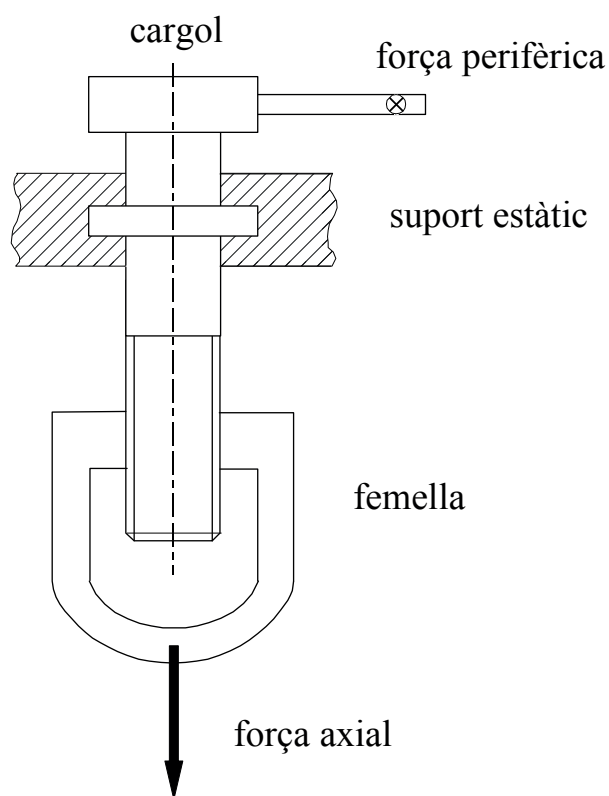


Fig. 1.1 Sistema cargol-femella

El sistema cargol-femella s'utilitza com a:

- Mecanisme per transformar la força: produir grans forces axials amb petites forces perifèriques. Una varietat són els cargols de fixació de peces, és a dir, les unions cargolades.
- Mecanisme per transformar el moviment: convertir el moviment giratori en moviment axial (o viceversa).

1.2 Unió cargolada. Funció

Un dels sistemes d'unió de peces és la unió cargolada (Fig. 1.2). Té la particularitat que la unió és desmuntable.

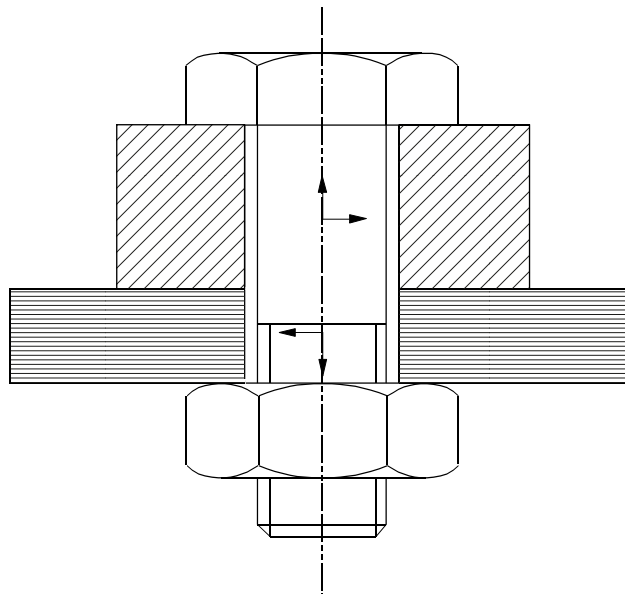


Fig. 1.2 Unió cargolada. Força separadora

En una unió cargolada es tenen els elements següents:

- Cargol
- Femella
- Peces unides
- Juntura: superfície de contacte entre les peces unides

Normalment, hi ha forces aplicades a les peces que tendeixen a separar-les.

La força separadora pot ser:

- Força separadora axial: té la direcció de l'eix del cargol.
- Força separadora transversal: té la direcció perpendicular a l'eix del cargol.
- Força separadora amb components axial i transversal.

En una unió cargolada la funció del sistema cargol-femella és:

- Unir les peces.
- Mantenir-les unides contra l'acció de les forces separadores.

1.3 Procés de collada

Abans de l'aplicació de la força separadora i per evitar l'obertura de la juntura, normalment es munta la unió cargolada amb tensió prèvia: la unió es colla.

Després es fa girar la femella o el cargol.

Es generen forces d'acció i de reacció a la unió cargolada (força de muntatge), (Fig. 1.3). El cargol queda sotmès a tracció i les peces unides es comprimeixen.

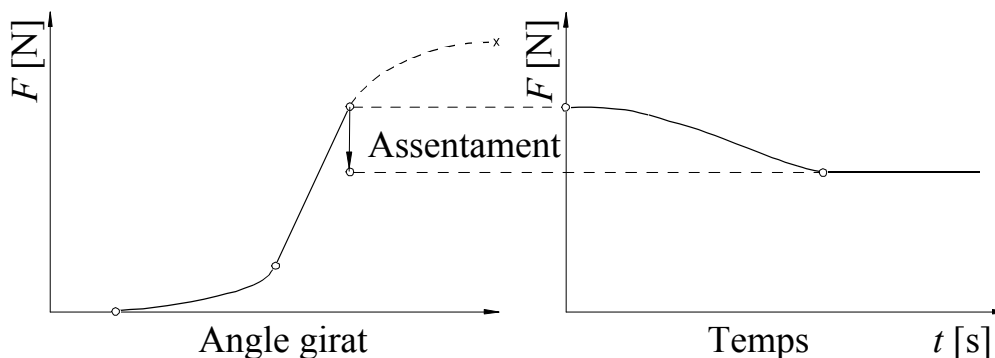


Fig. 1.3 Procés de collada i assentament

En el primer moment de la collada

En el moment de collar el cargol es produeix una deformació elàstica de les peces unides i de les rosques.

Els efectes elàstics són:

- Aplanament de les superfícies de contacte de les peces unides
- Estirament del cargol
- Escurçament de les peces unides

A més, es produeix una primera deformació plàstica. Els efectes plàstics són els següents:

- Aixafament sota el cap del cargol o sota la femella
- Aixafament de protuberàncies de contacte
- Aixafament dels filets de rosca

Al final d'aquest procés de deformacions elàstica i plàstica queda establerta la força de muntatge, que és conseqüència de les accions i reaccions elàstiques.

Després de la collada

Després del muntatge, al cap d'unes hores o d'uns dies, les peces unides i les rosques experimenten una segona deformació plàstica amb els mateixos efectes anteriors.

Aquest segon escurçament plàstic de les peces unides i del cargol s'anomena *assentament*. Disminueixen les forces presents a la unió cargolada.

1.4 Fallada d'una unió cargolada

la fallada d'una unió cargolada es manifesta per un o més dels efectes següents:

- Ruptura del cargol
- Destrucció de les peces unides
- Obertura de la juntura:

- a) per deformació elàstica
- b) per descargolament

1.5 Retenció. Perill de descargolament

L'acció de la collada origina forces d'acció i de reacció (força de muntatge) en el sistema cargol-femella i a les peces unides.

Les peces unides queden comprimides i s'escurcen. Reaccionen contra el cargol (Fig. 1.4).

El cargol queda sotmès a tracció i s'allarga. Reacciona elàsticament contra les peces unides (Fig. 1.5).

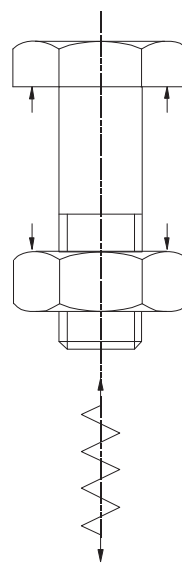
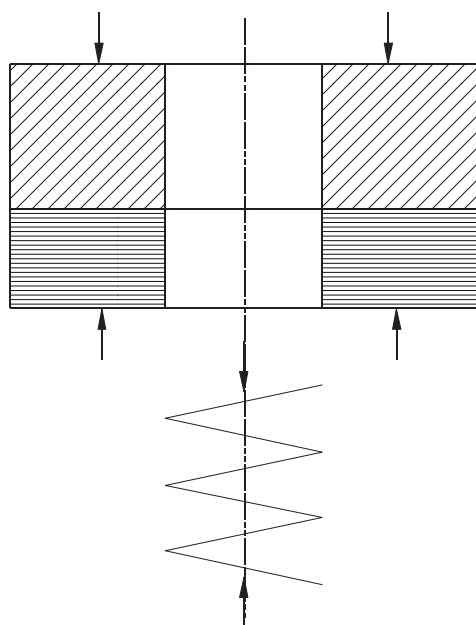


Fig. 1.4 Compressió de les peces unides

Fig. 1.5 Tracció del sistema cargol-femella

La força separadora aplicada a les peces unides s'afegeix a la força de muntatge.

La força que sotmet a tracció el sistema cargol-femella es transmet per mitjà dels filets de rosca i, a causa de la inclinació de l'hèlix, origina un *parell de descargolament* que tendeix a descargolar la femella o el cargol.

El parell de descargolament creix amb la força de tracció i l'angle de l'hèlix.

Si no hi hagués fregament, la força de tracció faria descargolar la femella, i les peces per unir quedarien fluixes.

El fregament origina la *resistència al descargolament* o *parell de retenció*.

El parell de retenció creix amb la força de tracció i el fregament.

Si l'angle de l'hèlix és més petit que un valor límit relacionat amb el coeficient de fregament, el parell de retenció és més gran que el parell de descargolament. Es té autoretenció. Això passa sempre en els cargols de fixació.

Mentre es mantingui la força de tracció, es mantindrà la força de contacte, C , entre els filets, la femella quedarà immobilitzada i les peces romandran unides (Fig. 1.6).

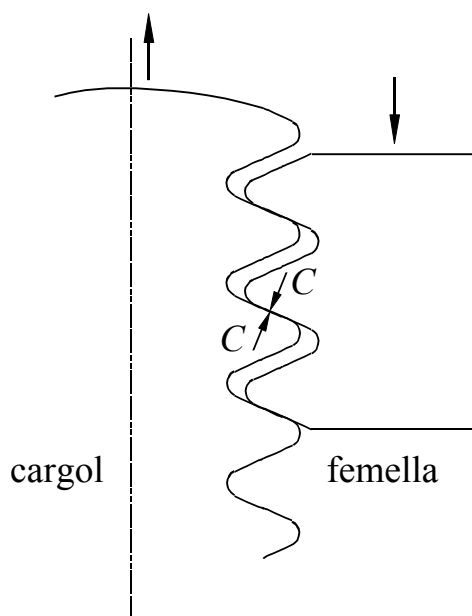


Fig. 1.6 Força de contacte entre filets

Malgrat que, teòricament, hi hagi autoretenció, la unió cargolada es pot descargolar a causa de:

a) Vibracions i sacsejades

Les forces que actuen sobre les peces unides fluctuen.

Les peces unides reben una compressió addicional que, en certs instants, les escurça: deixa fluix el cargol, no hi ha força de contacte, la femella no queda retinguda i es descargola.

b) Assentament

Disminueix o es perd la força de contacte entre els filets, la femella no queda retinguda i es descargola.

c) Dilatació tèrmica diferent del cargol i de les peces unides.

1.6 Assegurament contra el descargolament

Les peces unides proporcionen la seva força de reacció elàstica al cap del cargol i a la femella. Mentre es mantingui aquesta força, hi haurà força de contacte entre els filets i autoretenció. La femella no es descargolarà.

La força de reacció elàstica de les peces unides és proporcional a la seva deformació elàstica.

Ara bé, les peces unides tenen una gran rigidesa i, per tant, la seva deformació elàstica és molt petita, normalment de dècimes de mil·límetre.

Un assentament incontrolat pot fer desaparèixer la deformació elàstica i, per tant, la força de reacció elàstica, i la femella es descargolarà.

Per això, cal prevenir la possibilitat del descargolament mitjançant algun sistema d'assegurament.

El sistema d'assegurament més recomanable és dissenyar una unió sòlida (unió d'alta qualitat, vegeu la secció 5.1) i collar-la fins a prop del seu límit.

Quan la unió no pot ser sòlida, o bé hi ha vibracions notables o sacsejades o canvis de temperatura, cal col·locar elements addicionals d'assegurament contra el descargolament.

La recerca d'elements d'assegurament ha donat lloc a una infinitat de patents. Tots els sistemes es basen en un dels conceptes següents:

- 1 Dispositius generadors de força axial
- 2 Dispositius generadors de força radial
- 3 Femelles amb filets autotensats
- 4 Dispositius de seguretat absoluta

1 *Dispositius generadors de força axial*

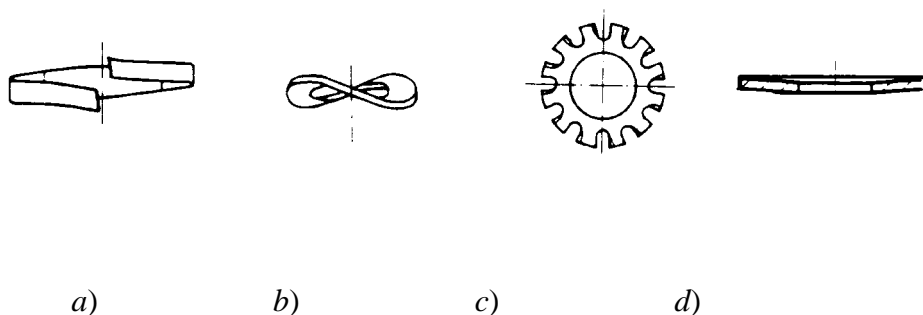
Es tracta de volanderes elàstiques, no planes, que es munten sota el cap del cargol o sota la femella. Les volanderes són obligades a aplanar-se sota la força i reaccionen elàsticament a aquesta força d'aplanament, proporcionant una força addicional a la força de deformació elàstica de les peces unides.

La deformació de la volandera és molt més gran que la deformació de les peces unides.

Si desapareix la petita deformació elàstica de les peces unides queda la gran deformació elàstica de la volandera.

Tot i que en comparació amb la força de reacció de les peces unides la força de deformació de la volandera és petita, aquesta es manté i és suficient per mantenir el contacte entre els filets de rosca.

Exemples d'aquest tipus de dispositius són els indicats a la figura 1.7.



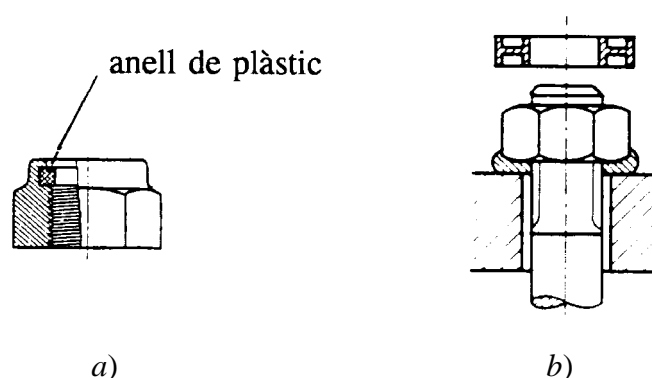
a) volandera elàstica helicoidal (volandera Grower); b) volandera elàstica ondulada;
c) volandera elàstica dentada; d) volandera elàstica troncocònica (volandera Belleville)

Fig. 1.7 Asseguraments

2 Dispositius generadors de força radial

Hi ha volanderes elàstiques que abracen amb força la rosca del cargol i originen un parell de fregament que s'oposa al descargolament. A vegades aquestes volanderes van inserides dins de la femella.

Exemples d'aquest tipus de dispositius són els indicats a la figura 1.8.



a) femella que porta inserida la volandera elàstica (femella autoblocadora);
b) volandera de seguretat de plàstic (volandera Dubo)

Fig. 1.8 Asseguraments

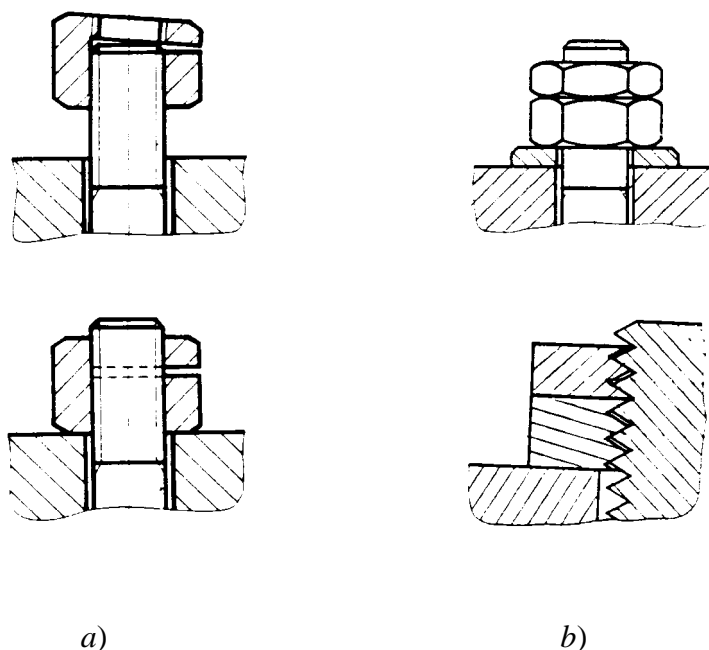
També hi ha femelles que tenen un extrem alterat transversalment, amb la qual cosa el perímetre de la rosca queda el·líptic. En muntar la femella, els seus filets el·líptics són obligats a adoptar la forma de circumferència del cargol i es deformen elàsticament.

Aquests filets de la femella abracen fortament el cargol i originen un parell de fregament que s'oposa al descargolament.

3 Femelles amb filets autotensats

La femella té els filets de rosca amb el pas alterat. En muntar-la, els filets de la femella queden obligats a deformar-se elàsticament per ajustar-se als filets del cargol i s'origina una força de contacte entre els filets, independent de la tensió de muntatge entre el cargol i les peces unides.

Exemples d'aquestes femelles són els indicats a la figura 1.9.



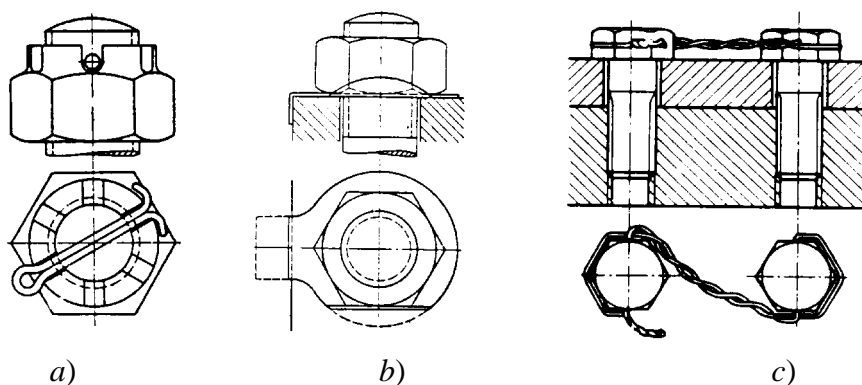
a) femella amb escletxa i deformada (femella *sneep nut*);
b) femella i contrafemella

Fig. 1.9 Asseguraments

4 Dispositius de seguretat absoluta

La immobilització s'efectua mitjançant un obstacle que s'oposa al descargolament del cargol o de la femella. El descargolament no es pot aconseguir sense l'operació de retirar o destruir l'obstacle.

Exemples d'aquests dispositius són els indicats a la figura 1.10.



a) femella de corona amb passador d'aletes; b) placa de seguretat; c) assegurament amb filferro

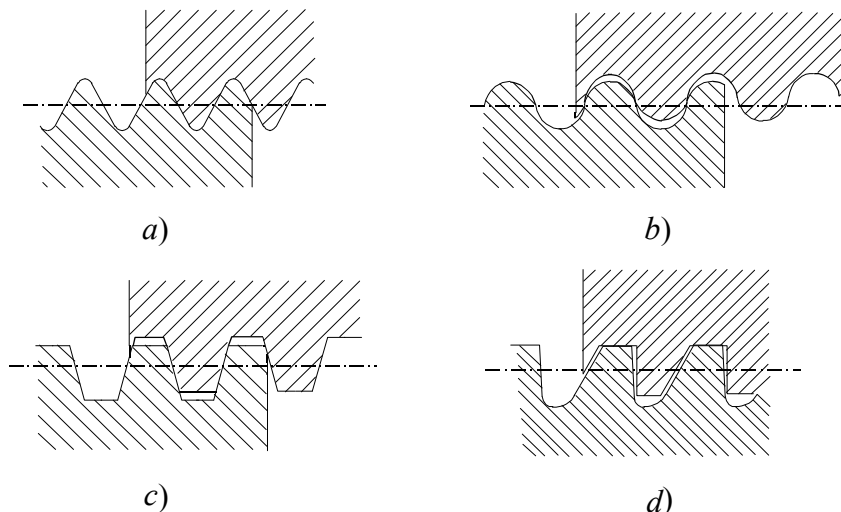
Fig. 1.10 Asseguraments

2 Normativa sobre unions cargolades

2.1 Perfils de rosca

Hi ha diversos perfils de rosca per a diferents utilitzacions:

- a) Perfil triangular, per a la fixació de peces i la unió de tubs.
- b) Perfil rodó, que és robust i poc sensible als cops, i s'empra, per exemple, en els enganxaments de vagonets.
- c) Perfil trapezial
- d) Perfil amb dents de serra, que s'utilitza en cargols de moviment.



a) triangular; b) rodó; c) trapezial; d) amb dents de serra

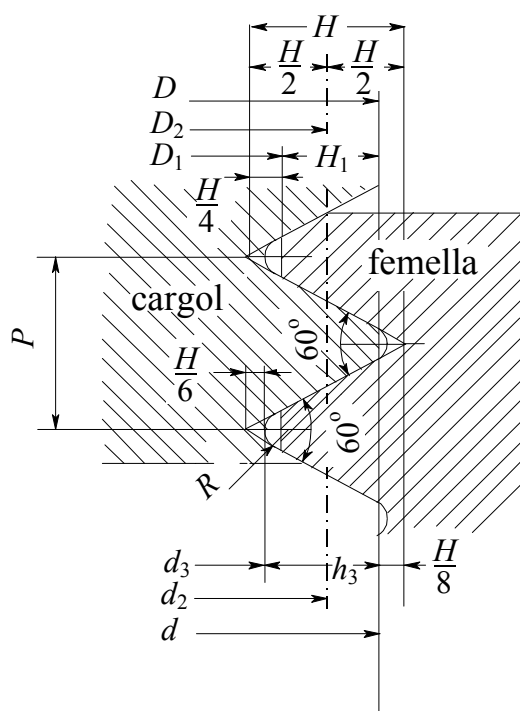
Fig. 2.1 Perfils de rosca

S'utilitzen els tipus següents de perfil triangular:

- Perfil ISO, angle de 60° (internacional)
- Perfil Whitworth, angle de 55° (Regne Unit)
- Perfil UN, angle de 60° (Estats Units). Rosca granada UNC (Unified National Coarse). Rosca fina UNF (Unified National Fine)

2.2 Perfil triangular ISO

Avui en dia, s'utilitza internacionalment el perfil de rosca triangular ISO (ISO 261 i 262). La figura 2.2 representa el perfil i en dóna les dimensions.



$$H = 0,86603 P$$

$$H_1 = 0,54127 P = \frac{5}{8} H$$

$$h_3 = 0,61343 P = \frac{17}{24} H$$

$$R = 0,14434 P = \frac{H}{6}$$

$$d = D = \varnothing \text{ nom}$$

$$d_2 = D_2 = d - 0,64952 P$$

$$D_1 = d - 2 H_1$$

$$d_3 = d - 1,22687 P$$

$$A_3 = \frac{\pi}{4} d_3^2$$

$$A_T = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2$$

d = Diàmetre exterior i nominal
 P = Pas
 H = Profunditat portant de flancs
 h_3 = Profunditat de rosca

d_2 = Diàmetre de flancs
 d_3 = Diàmetre de nucli
 A_3 = Secció del nucli
 A_T = Secció resistent a la tracció

Fig. 2.2 Perfil ISO

La indicació del diàmetre exterior de la rosca del cargol identifica les dimensions de la rosca, tant del cargol com de la femella corresponent.

2.3 Rosca normal i rosca fina

Per a un mateix diàmetre es consideren dos passos que originen dues rosques:

- Rosca normal, que té el pas gran (rosca granada)
- Rosca fina, que té el pas petit

La rosca normal és la que s'utilitza habitualment. La rosca fina s'utilitza excepcionalment. S'utilitza en el roscatge de parets primes, quan hi ha sacsejades o quan convé un ajustament de la força de muntatge. No convé utilitzar la rosca fina en els materials fràgils.

2.4 Fabricació dels filets de rosca

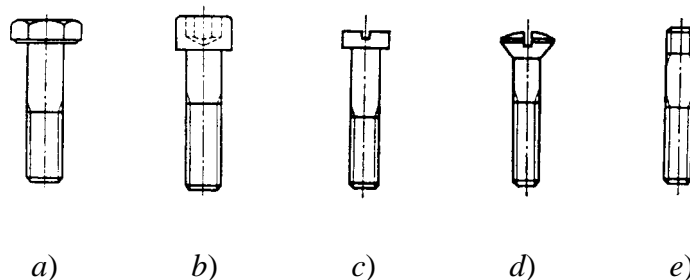
Els filets de rosca es poden fabricar:

- Amb arrencament de la ferritja mitjançant eines de tall
- Per laminació o embotició de la tija mitjançant plaques o corrns perfilats

La rosca laminada proporciona una resistència més gran a la fatiga.

2.5 Tipus de cargols, femelles i altres elements

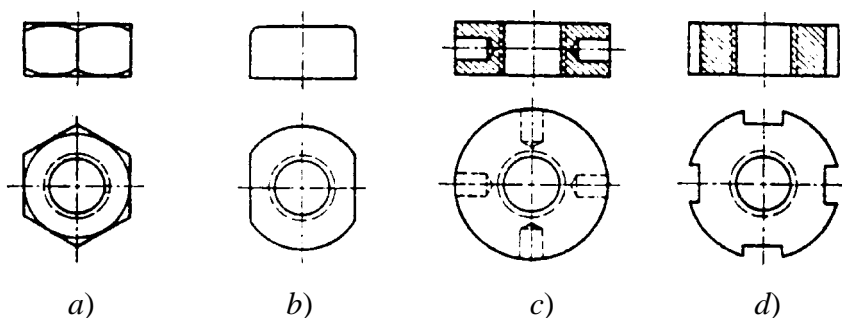
La figura 2.3 representa els cargols que normalment s'usen a les màquines:



a) cargol de cap hexagonal (cargol sisavat); b) cargol de cap cilíndric amb hexàgon interior (cargol Allen); c) cargol de cap cilíndric amb ranura; d) cargol aixamfranat amb ranura; e) espàrrec

Fig. 2.3 cargols usuals

La figura 2.4 representa les femelles que s'utilitzen usualment:



a) femella hexagonal; b) femella rodona aplanada; c) femella de forats encreuats; d) femella ranurada

Fig. 2.4 Femelles usuals

A les unions cargolades, moltes vegades, hi ha presents altres components:

- Volanderes planes, per disminuir la pressió sobre les peces unides
- Asseguraments contra el descargolament

2.6 Dimensions de cargol, femella i altres elements

Hi ha una normalització molt completa:

- Diàmetre del cargol, que correspon al diàmetre exterior dels filets de la rosca. Hi ha una sèrie de diàmetres normalitzats. A més a més, dintre dels diàmetres normalitzats hi ha uns diàmetres que cal evitar (Taula 1).
- Caps de cargol: tipus, formes i dimensions
- Longitud de cargol
- Longitud de rosca
- Femelles: tipus i dimensions
- Volanderes
- Forats a les peces
- Claus per collar els cargols a les femelles
- Toleràncies d'ajust de les rosques, etc.

Aquesta normalització està recollida a les normes nacionals (UNE, DIN, AFNOR...) i totes coincideixen, pràcticament, amb les recomanacions ISO.

Taula 1

Diàmetre nominal d	Pas P	Diàmetre de flancs d_2	Diàmetre de nucli d_3	Secció de nucli A_3	Secció resistent A_T
Rosca normal					
3	0,5	2,675	2,387	4,47	5,03
(3,5)	0,6	3,110	2,764	6,00	6,78
4	0,7	3,545	3,141	7,75	8,78
(4,5)	0,75	4,013	3,580	10,1	11,3
5	0,8	4,480	4,019	12,7	14,2
6	1	5,350	4,773	17,9	20,1
(7)	1	6,350	5,773	26,2	28,9
8	1,25	7,188	6,466	32,8	36,6
10	1,5	9,026	8,160	52,3	58,0
12	1,75	10,863	9,853	76,2	84,3
(14)	2	12,701	11,546	104,7	115,4
16	2	14,701	13,546	144,1	156,7
(18)	2,5	16,376	14,933	175,1	192,5
20	2,5	18,376	16,933	225,2	244,8
(22)	2,5	20,376	18,933	281,5	303,4
24	3	22,051	20,319	324,3	352,5
(27)	3	25,051	23,319	427,1	459,4
30	3,5	27,727	25,706	519,0	560,6
(33)	3,5	30,727	28,706	647,2	693,6
36	4	33,402	31,093	759,3	816,7
(39)	4	36,402	34,093	912,9	975,8
Rosca fina					
8	1	7,350	6,773	36,0	39,2
10	1,25	9,188	8,466	56,3	61,2
12	1,25	11,188	10,466	86,0	92,1
(12)	1,5	11,026	10,160	81,1	88,1
(14)	1,5	13,026	12,160	116,1	124,5
16	1,5	15,026	14,160	157,5	167,2
(18)	1,5	17,026	16,160	205,1	216,2
20	1,5	19,026	18,160	259,0	271,5
(22)	1,5	21,026	20,160	319,2	333,1
24	2	22,701	21,546	364,6	384,4
(27)	2	25,701	24,546	473,2	495,7
30	2	28,701	27,546	596,0	621,2
(33)	2	31,701	30,546	732,8	760,8
36	3	34,051	32,319	820,4	864,9
(39)	3	37,051	35,319	979,8	1.028,4

(Els diàmetres entre parèntesis s'han d'utilitzar el mínim possible. Dimensions en mm i mm².)

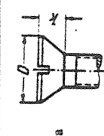
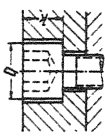
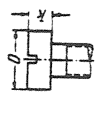
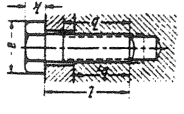
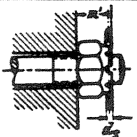
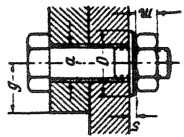
Selecció de rosques per a cargols i femelles (perfil ISO)

A la taula 2 hi ha la normativa de dimensions de cargols, femelles i altres components.

Dimensions de cargols, femelles i altres components

Taula 2

Diàmetre nominal		d	M 2	M 4	M 6	M 8	M 10	M 12	M 14	M 16	M 18	M 20	M 22	M 24	M 27	M 30	M 33	M 36
Pas	P	mm	0,4	0,7	1	1,25	1,5	1,75	2	2	2,5	2,5	2,5	3	3	3,5	3,5	4
	k	mm	1,4	2,8	4,5	5,5	7	8	9	10,5	12	13	14	15	17	19	21	23
Alçària del cap	e ≈	mm	4,6	8,1	11,5	16,2	19,6	21,9	25,4	27,7	31,2	34,6	36,9	41,6	47,3	53,1	57,7	63,5
	s	mm	4,0	7	10	14	17	19	22	24	27	30	32	36	41	46	50	55
Longitud roscada	b	mm	6	10	15	18	20	22	25	28	30	32	35	38	40	45	50	55
	m	mm	1,6	3,2	5	6,5	8	9,5	11	13	15	16	17	18	20	22	25	28
Alçària femella corona	m'	mm		5	7,5	9,5	11	14	16	19	21	22	25	26	28	31	34	37
	d _s	mm		1	1,5	2	2	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	6
Diàmetre clavilla oberta	k	mm	1,5	2,8	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	16	18	20
	D	mm	4	7	10	13	16	18	22	24	27	30	33	36	39	45	48	52
Longitud de la rosca	b	mm	6	12	18	20	22	22	25	28	30	32	35	38	40	45	50	55
	k	mm		4	6	8	10	12		16		20		24		30		36
Alçària del cap	D	mm		7	10	13	16	18		24		30		36		45		54
	b	mm		13	18	22	25	32		38		45		55		65		75
Alçària del cap	k	mm	1,2	2,3	3,3	4,4	5,5	6,5	7	7,5	8	8,5	13,1	14	16,6	18,3	20	20
	D	mm	4	8	12	16	20	24	27	30	33	36	36	39	45	48	53	58
Longitud de rosca	b	mm	7	13	18	22	25	32	32	38	45	45	50	55	60	65	75	75
	g	mm		6	8	10	13	16	18	20	23	23	25	26	29	32	35	38
Distància fins a la vora	a	mm	2,4	4,8	7	9,5	11,5	14	16	18	20	23	25	27	30	33	36	39
	a	mm				10,5	13	15	18	20	22	25	27	30	33	36	40	42
Diàmetre del forat per al cargol	D	mm	5,5	9	12	17	21	24	28	30	34	36	40	44	50	56	60	68
		mm	0,5	0,8	1,5	2	2,5	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	6
Diàmetre de la volandera																		



2.7 Materials normalitzats

Per als cargols i les femelles no s'han normalitzat els materials que cal utilitzar, sinó la classe de resistència. Una mateixa classe de resistència es pot obtenir amb diferents materials, els quals es deixen a elecció del fabricant.

La taula 3 (pàgina següent) indica els valors de resistència de cargols i femelles corresponents a les classes de resistència normalitzades.

Per a les màquines s'utilitzen, majoritàriament, les classes següents: 5.6 per a exigències baixes, 8.8 habitualment, i 10.9 i 12.9 per a grans exigències.

A les femelles, la tensió de prova correspon a la resistència màxima en la tracció d'un cargol que es pot aparellar amb la femella si s'ha de garantir la capacitat de càrrega de la unió fins al trencament del cargol. Amb l'aparellament amb un cargol encara més resistent, fallaria la femella.

Classes de resistència de cargols i femelles

Taula 3

Cargols	Classe de resistència	ara	3,6	4,6	4,8	5,6	5,8	6,6	6,8	6,9	8,8	10,9	12,9	14,9
		abans	4A	4D	4S	5D	5S	6D	6S	6G	8G	10K	12K	-
Cargols	Resistència a la tracció	R_m N/mm ²	340	400	400	500	500	600	600	600	800	1.000	1.200	1.400
	Límit elàstic	R_e N/mm ²	200	240	320	300	400	360	480	540	640	900	1.080	1.260
Femelles	Classe de resistència		4			5		6			8	10	12	14
	Tensió de prova	N/mm ²	400			500		600			800	1.000	1.200	1.400

3 Unió sotmesa a càrrega axial. Bases de càlcul

3.1 Muntatge sense tensió. Estat base

En primer lloc s'estudia el cas de muntatge sense tensió i amb càrrega axial posterior (estat base).

El cargol (o la femella) es col·loca a mà fins que no entra més. No es colla (no es premen les peces que s'han d'unir). Després s'aplica una força axial, F , a les peces unides, que tendeix a separar-les. El cargol queda sotmès a tracció. No hi ha torsió.

Fallada

La fallada es pot produir per:

- Ruptura del nucli del cargol
- Aixafament dels filets
- Cisallament dels filets

Influència del cargol

Tensió al nucli del cargol

$$\sigma = \frac{F}{A_T} \leq \sigma_{adm} \quad (1)$$

Secció resistent a la tracció

$$A_T = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2 \quad (2)$$

Diàmetre de la secció resistent a la tracció

$$d_T = \frac{d_2 + d_3}{2} \quad (3)$$

La resistència a la tracció d'una barra roscada és més gran que la resistència d'una barra llisa de diàmetre igual a la del nucli, d_3 .

Influència de la femella

La femella pot ser més o menys alta i fer que hi hagi més o menys filets de rosca en contacte i, per tant, determina les tensions que hi pot haver en els filets de rosca.

Aixafament del filets

La força axial, F , origina una força normal en els filets; amb l'esquema de la figura 3.1, es pot veure que la força normal total és

$$\frac{\frac{F}{2}}{\cos \frac{\beta}{2}} + \frac{\frac{F}{2}}{\cos \frac{\beta}{2}} = \frac{F}{\cos \frac{\beta}{2}} \quad (4)$$

La superfície de contacte d'un filet (Fig. 3.2) és

$$\frac{\pi d_2 H_1}{\cos \frac{\beta}{2}} \quad (5)$$

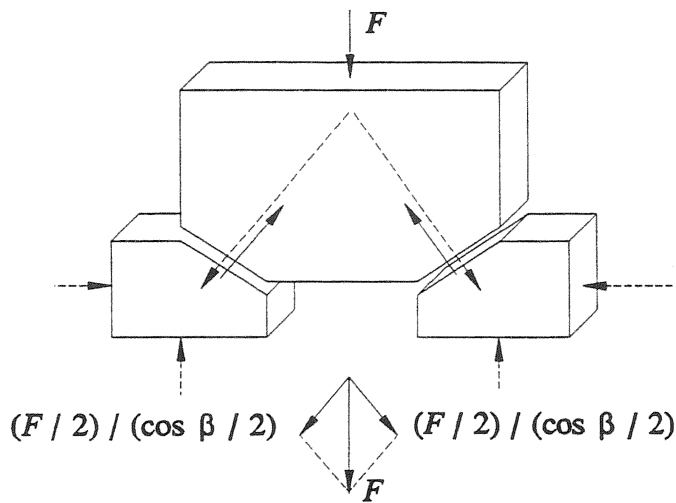


Fig. 3.1 Força normal a la rosca triangular

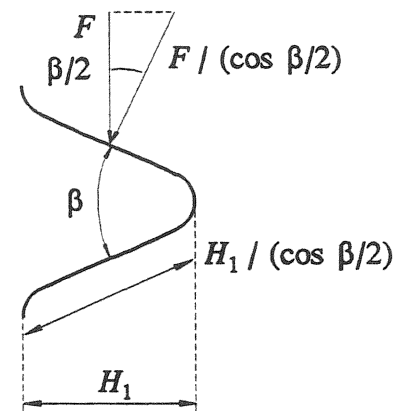


Fig. 3.2 Força i generatiu de contacte

La pressió superficial, si només hi hagués un filet, seria

$$p = \frac{\frac{F}{\cos \frac{\beta}{2}}}{\pi d_2 H_1} = \frac{F}{\pi d_2 H_1 \cos \frac{\beta}{2}} \quad (6)$$

En haver-hi i filets, seria

$$i = \frac{m}{P} \quad (7)$$

$$p = \frac{F}{\pi d_2 H_1} \frac{P}{m} \leq P_{adm} \quad (8)$$

Es pot determinar l'alçària necessària de la femella, m , aplicant el criteri d'igual resistència: F de tracció del nucli = F de compressió dels flancs.

$$F = \sigma A_T \quad (9)$$

$$F = \frac{p \pi d_2 H_1 m}{P} \quad (10)$$

$$\sigma \frac{\pi}{4} d_T^2 = \frac{p \pi d_2 H_1 m}{P} \quad (11)$$

$$m = \frac{1}{4} \frac{\sigma}{p} d_T^2 \frac{1}{d_2} \frac{P}{H_1} = \frac{1}{4} \frac{\sigma}{p} d_T \frac{d_T}{d_2} \frac{P}{H_1} \quad (12)$$

En rosques normalitzades es té, aproximadament,

$$d_T \approx 0,85 d \quad \frac{d_T}{d_2} \approx 0,95 \quad \frac{P}{H_1} \approx 1, \quad (13)$$

$$m = \frac{1}{4} \frac{\sigma}{p} 0,85 d \cdot 0,95 \cdot 1,84 = 0,37 \frac{\sigma}{p} d$$

Si es fes que $p = \sigma$, resultaria $m = 0,37 d$.

Tot el que s'ha dit és a base de suposar una distribució uniforme de la càrrega entre els filets.

Ara bé, com que la distribució no és uniforme, es pren un valor mitjà de p més petit que σ :

$$p \approx 0,46 \sigma \quad (14)$$

$$m = 0,37 \frac{\sigma}{0,46\sigma} d = 0,8 d$$

Per tant, l'alçària normalitzada de les femelles és $m = 0,8 d$.

Cisallament dels filets (Fig. 3.3)

Cargol

$$\tau = \frac{F}{\pi d_3 P i} = \frac{F}{\pi d_3 m} \quad (P \cdot i = m) \quad (15)$$

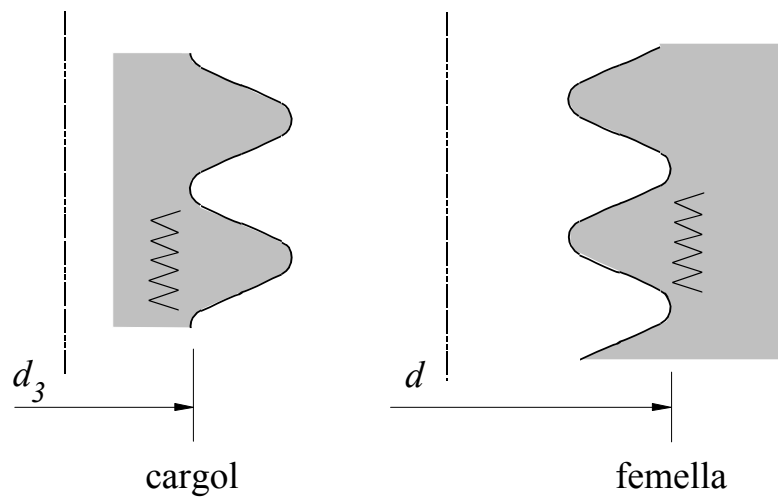


Fig. 3.3 Cisallament dels filets de rosca

Femella

$$\tau = \frac{F}{\pi d P i} = \frac{F}{\pi d m} \quad (16)$$

Com que $d_3 < d$, el cargol falla abans.

Cargol

$$F = \tau \pi d_3 m \quad (17)$$

Criteri d'igual resistència : F de cisallament dels filets = F de tracció del nucli.

$$F = \tau \pi d_3 m \quad (18)$$

$$F = \sigma A_T = \sigma \frac{\pi}{4} d_T^2 \quad (19)$$

$$\tau \pi d_3 m = \sigma \frac{\pi}{4} d_T^2 \quad (20)$$

Amb la femella d'alçària normalitzada, $m = 0,8 d$, es té

$$\tau d_3 0,8 d = \sigma \frac{1}{4} d_T^2 \quad (21)$$

$$\tau = \sigma \frac{1}{4} \frac{d_T^2}{0,8 d \cdot d_3} = \sigma \frac{1}{4 \cdot 0,8} \frac{d_T}{d} \frac{d_T}{d_3} \quad (22)$$

$$\frac{d_T}{d} \approx 0,86 \quad \frac{d_T}{d_3} \approx 1,05 \quad (23)$$

$$\tau = \sigma \frac{1}{3,2} 0,86 \cdot 1,05 \quad (24)$$

$$\tau = 0,28 \sigma \quad (25)$$

No s'arriba a $\tau = 0,6 \sigma$; només s'arriba al 46% d'aquest límit.

Ara bé, com que la distribució no és uniforme, en el filet més sol·licitat l'esforç de cisallament és superior.

Flexió dels filets

Es poden fer unes consideracions semblants i es pot comprovar que per a la femella normalitzada la tensió de flexió queda per sota de la que és admissible.

Distribució de la força entre els filets

El cargol està sotmès a tracció i el seu pas de rosca augmenta.

La femella està sotmesa a compressió i el seu pas de rosca disminueix.

Els filets de rosca de cargol i femella tendeixen a desengranar-se. (Fig. 3.4).

En conseqüència, la distribució de força entre els filets en contacte no és uniforme.

En una femella normal (femella de compressió), la distribució de la força entre els filets és com la indicada a la figura 3.5.

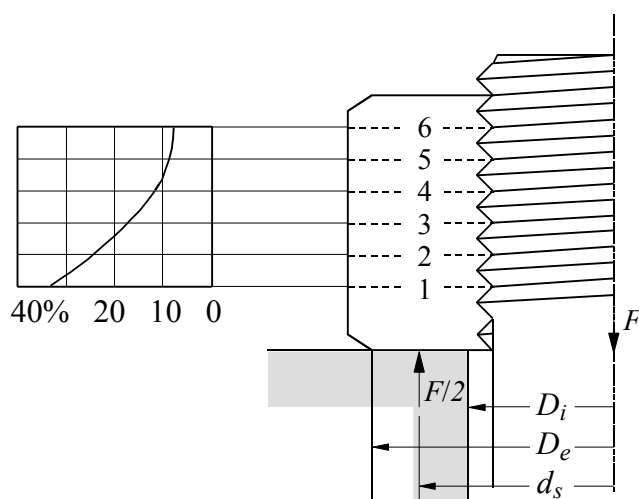
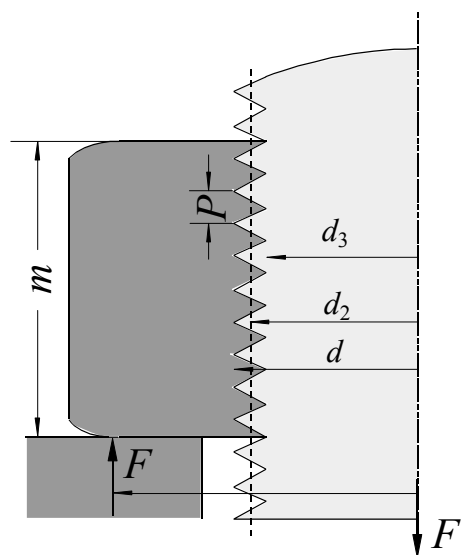


Fig. 3.4 Filets de rosca en contacte

Fig. 3.5 Distribució de la força entre els filets. Femella de compressió

Es pot influir en la distribució de la força mitjançant la configuració de la femella (Fig. 3.6 i 3.7).

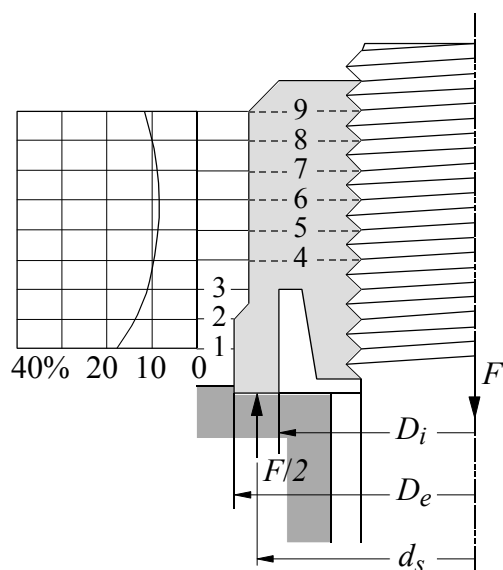


Fig. 3.6 Distribució de la força entre els filets. Femella ranurada

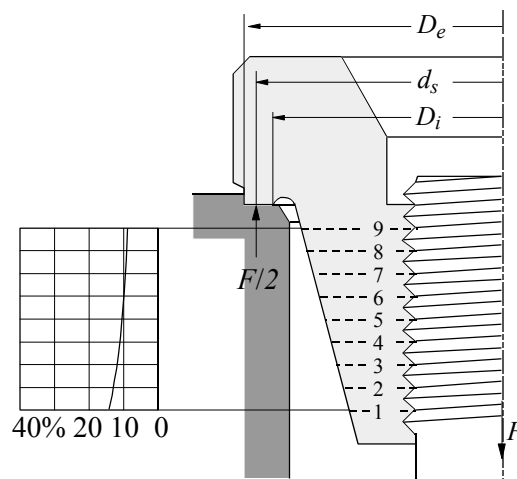


Fig. 3.7 Distribució de la força entre els filets. Femella de tracció

Ruptura del sistema cargol-femella

En unió cargolada amb femella normal, la possible fallada es produeix en el cargol, que es trenca a la secció del primer filet en contacte amb la femella (Fig. 3.8).

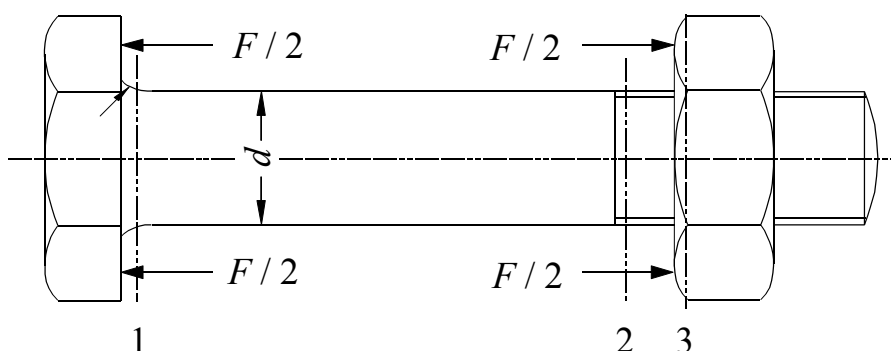


Fig. 3.8 Punts de ruptura en cargols amb sol·licitació dinàmica: a la zona 1, el 15% de totes les ruptures; a la 2, el 20%; a la 3, el 65%.

3.2 Alçària de la femella

Com a resum de les sol·licitacions de tracció, aixafament, cisallament i flexió es pot dir:

- *Cargol i femella del mateix material.* Femella normal, $m = 0,8d$: no cal considerar p , τ ni la flexió.
- *Femella d'un grau inferior al del cargol.* Ídem.
- *Cargol i femella de material diferent.* Molt sovint la femella és de material més dèbil (forat roscat en una peça): cal considerar p , τ i la flexió fent $m \neq 0,8d$
- *Cargol de material 1 i femella de material 2*

$$m = 0,8d \frac{Re_1}{Re_2} \quad (26)$$

(És una fórmula conservadora si $Re_2 \ll Re_1$, perquè hi ha redistribució d'esforços.)

Taula 4

Aparellament	Alçària mínima m
Cargol i femella del mateix material	$0,8 d$
Cargol d'acer 8.8 roscat en fosa grisa	$1,0 \dots 1,2 d$
Cargol d'acer 10.9 roscat en fosa grisa	$1,2 \dots 1,4 d$
Cargol d'acer roscat en alumini pur	$2,2 d$
Cargol d'acer 8.8 roscat en aliatge d'alumini Al Cu Mg 1 F 40	$1,1 d \dots 1,4 d$
Cargol d'acer 8.8 roscat en acer St 37	$1,0 d \dots 1,35 d$
Cargol d'acer 10.9 roscat en acer St 37	$1,25 d \dots 1,4 d$

Valors petits per a passos $P/d > 1/9$ (rosca normal)

Valors grans per a passos $P/d < 1/9$ (rosca fina)

Profunditat mínima de rosca o alçària mínima de femella

3.3 Muntatge amb tensió. Collada d'un cargol

Normalment una unió cargolada es munta amb tensió prèvia: la unió es colla. Després del muntatge es pot aplicar o no una força separadora a les peces unides.

En aquest apartat s'estudia la fase de muntatge i es deixa per a més endavant l'estudi de l'efecte de la força separadora eventual.

1 *Forces de muntatge*

El cargol (o la femella) es col·loca a mà fins que no entra més i després es colla fent força amb una clau.

En anar collant el cargol (o la femella), es va generant una compressió de les peces unides amb la força, F_M , i una tracció del cargol amb la mateixa força, F_M . En fer girar el cargol o la femella, s'ha de vèncer aquesta força, F_M , i el fregament corresponent (Fig. 3.9).

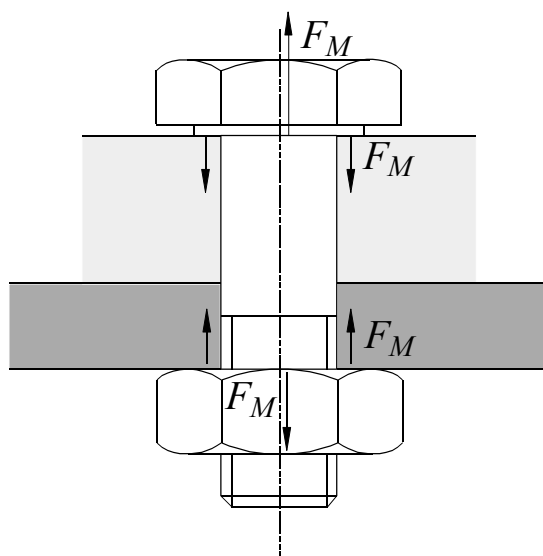


Fig. 3.9 Forces de muntatge

2 *Rosca plana*

Força tangencial al cargol (en la rosca) per aixecar la femella vencent la força, F_M (Fig. 3.10).

Sense fregament

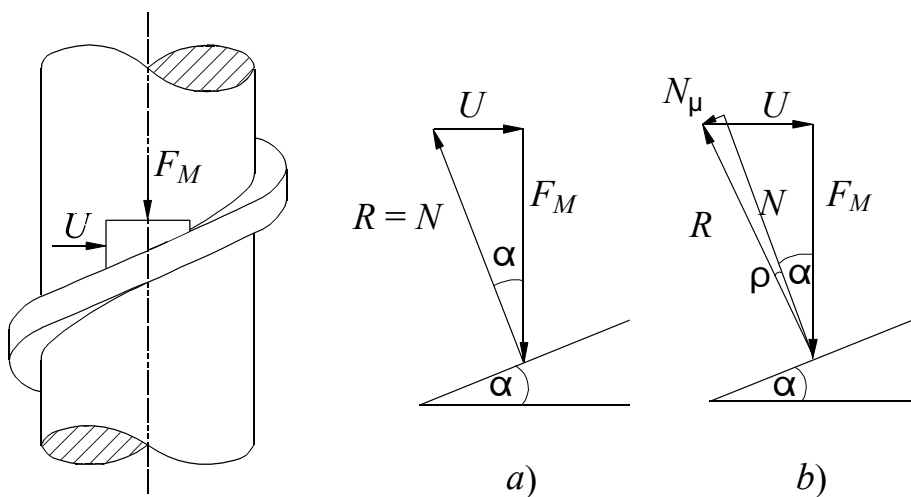
$$U = F_M \tan \alpha \quad (27)$$

Amb fregament a la rosca, coeficient

$$\mu = \tan \rho \quad (28)$$

Moment a la tija del cargol

$$M_T = F_M \tan (\alpha + \rho) \frac{d_2}{2} \quad (29)$$



a) sense fregament; b) amb fregament

Fig. 3.10 Forces en el sistema cargol-femella amb rosca plana

3 Rosca triangular

Força normal al filet (Fig. 3.11)

$$\frac{F_M}{\cos \beta/2} \quad (30)$$

en lloc de F_M .

S'augmenta el fregament. Es manté l'equació posant ρ' en comptes de ρ :

$$\tan \rho' \approx \frac{\tan \rho}{\cos \frac{\beta}{2}} \quad (31)$$

Moment a la tija

$$M_T = F_M \tan(\alpha + \rho') \frac{d_2}{2} \quad (32)$$

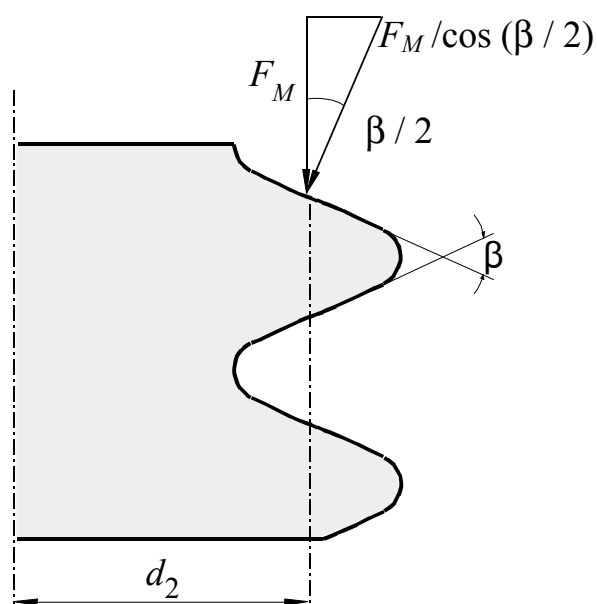


Fig. 3.11 Força normal a la rosca triangular

4 Fregament al seient

En girar, la base del cap del cargol (o la base de la femella) frega contra el seu seient (la peça unida) i requereix un moment

$$M_S = F_M \mu_S \frac{d_S}{2} \quad (33)$$

d_S és el radi mitjà de la superfície (corona circular) de fregament.

5 Moment de muntatge, M_M

Moment total per collar el cargol (moment de muntatge)

$$M_M = M_T + M_S = F_M \left[\frac{d_2}{2} \tan(\alpha + \rho') + \frac{d_s}{2} \mu_s \right] \quad (34)$$

Per a cargols normalitzats, $\beta = 60^\circ$, $\alpha = 2,50^\circ$ i la fórmula es pot simplificar:

$$M_M = F_M (0,16 P + 0,58 \mu d_2 + 0,5 \mu_s d_s) \quad (35)$$

Per a càlculs pràctics es pot prendre $\mu = \mu_s = \mu_G$ com a coeficient de fregament global.

$$M_M = F_M [0,16 P + \mu_G (0,58 d_2 + 0,5 d_s)] \quad (36)$$

(Fórmula aproximada)

Per a cargols normalitzats:

$$\begin{aligned} \beta &= 60^\circ \\ \alpha &= 2,5^\circ \\ d_2/2 &\approx 0,45 d \\ r_s &= 0,7 d \\ \mu &= \tan \rho = 0,15 \text{ valor mitjà usual} \\ \mu' &= \tan \rho' = 0,173 \\ \mu_s &= 0,15 \end{aligned}$$

$$M_M \approx F_M d (0,02 + 0,08 + 0,10) \approx 0,2 F_M d \quad (37)$$

Coeficients: 0,02 útil
0,08 fregament rosca
0,10 fregament seient

6 *Tensió de torsió*

En collar-lo, el cargol queda sotmès a torsió. Del moment de muntatge, només una part, el moment a la tija, sol·licita el cargol a torsió. No hi participa la part del moment que es gasta pel fregament del seient.

Esforç tallant de torsió

$$\tau_t = \frac{M_T}{W_t} = \frac{F_M d_2 \tan(\alpha + \rho')}{\frac{\pi d_T^3}{16}} \quad (38)$$

$$F_M = \sigma \frac{\pi d_T^2}{4} \quad (39)$$

$$\tau_t = \frac{\sigma \frac{\pi d_T^2}{4} d_2 \tan(\alpha + \rho')}{\frac{\pi d_T^3}{16}} = \frac{2 d_2 \tan(\alpha + \rho')}{d_T} \sigma \quad (40)$$

7 *Tensió equivalent*

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (41)$$

8 *Valors corrents*

En rosques normalitzades

$$d_2 \approx 1,05 d_T \quad (42)$$

$$\alpha \approx 2,5^\circ$$

Valors corrents:

$$\mu = 0,15 \div 0,175$$

$$\mu' = 0,173 \div 0,202$$

$$\rho' = 9,83^\circ \div 11,42^\circ$$

$$\tau_t = \frac{2 \cdot 1,05 d_T \cdot \tan(2,5^\circ + \rho')}{d_T} \sigma = (0,46 \div 0,52) \sigma \quad (43)$$

Amb els valors corrents màxims indicats abans, es té

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = (1,28 \div 1,35) \sigma \quad (44)$$

Això vol dir que n'hi ha prou amb calcular el cargol només a tracció i, per tenir en compte la torsió (que no es calcula), se li aplica el factor 1,35.

Taula 5

Estats de les superfícies		Estat de lubricació		
Cargol	Femella	No lubricat	Lubricat oli	Pasta de $M_o S_2$
Fosfatat al M_n	Sense recobriment	0,14 ... 0,18	0,14 ... 0,15	0,10 ... 0,11
Fosfatat al Z_n	Sense recobriment	0,14 ... 0,21	0,14 ... 0,17	0,10 ... 0,12
Zincat galvànic	Sense recobriment	0,12 ... 0,18	0,12 ... 0,17	
Cadmiat galvànic	Sense recobriment	0,08 ... 0,12	0,08 ... 0,11	
Zincat galvànic	Zincat galvànic	0,14 ... 0,19	0,12 ... 0,17	
Cadmiat galvànic	Cadmiat galvànic	0,14 ... 0,15	0,08 ... 0,12	

Coeficient de fregament global μ_G per a diversos estats de superfícies i estats de lubricació

La lubricació disminueix la dispersió.

3.4 Dispersió de la força de muntatge

Amb una clau s'aplica el moment amb la intenció d'induir una força de muntatge, F_M . Ara bé, hi ha una gran dispersió en els valors dels moments realment donats per la clau i en els valors del coeficient de fregament. Això fa que la força, F_M , induïda sigui incerta i que tingui una gran dispersió. El coeficient de fregament en un cargol no lubricat té una dispersió al voltant del 60% i en un de lubricat, al voltant del 20%.

El moment realment donat per una clau dinamomètrica té una dispersió al voltant del 20% i el donat per una clau pneumàtica, al voltant del 40%.

Sobre una clau de mà (clau fixa, clau anglesa), el muntador hi pot aplicar forces ben diferents (de 100 a 200 N). Eventualment, el muntador pot augmentar el braç de palanca col·locant un allargador a la clau (per exemple, un tub), cosa que no s'hauria de fer.

Normalment es necessita un valor mínim, $F_{M\min}$, de la força de compressió entre les peces unides per tal de garantir la funció de la unió. La dispersió es considera per sobre d'aquesta força mínima, a base del factor de collada.

$$\alpha_c = \frac{F_{M\max}}{F_{M\min}} \quad (45)$$

A la taula 6 s'indiquen els valors de α_c segons diverses circumstàncies (valors orientatius).

Taula 6

Procediment de collada	Estat lubricació rosca	α_c
Clau dinamomètrica	Lubricada	1,4
	No lubricada	1,8
Clau pneumàtica	Lubricada	1,6
	No lubricada	2,0
Clau de mà (eventualment allargada)	Qualsevol estat de lubricació	3,0

Factor de collada, α_c . Valors orientatius

Es considera que la dispersió del moment produït per les claus dinamomètriques està situada en el $\pm 10\%$ al voltant del valor nominal amb què són ajustades.

A les claus pneumàtiques la dispersió està situada en el $+ 10\% - 30\%$. Amb la clau s'aplica un moment nominal, però en resulta un moment real que té un valor desconegut situat entre els dos valors extrems, $M_{M \max}$ i $M_{M \min}$. Interessa limitar $M_{M \max}$.

El moment $M_{M \max}$ es calcula en funció de $F_{M \max}$ i μ_{\min} .

El moment que cal prescriure en el muntatge (moment nominal) és, per tant, $M'_M = M_{M \max} / 1,1$.

3.5 Muntatge amb tensió sense força separadora

Hi ha unions per a cargols en les quals, després del muntatge que es fa amb tensió (collant), no hi ha forces exteriors que tendeixin a separar les peces unides; o bé aquestes forces són d'una magnitud molt petita i no cal fer-les intervenir en els càlculs.

Normalment aquestes unions es dissenyen com a unions de resistència normal i no d'alta resistència.

S'acostuma a emprar cargols de classe de resistència 5.6 i, com a excepció, de 8.8.

a) Forces

La funció de la unió requereix un valor mínim, $F_{M \min}$, de la força de compressió entre les dues peces unides.

El factor de collada, α_c , determina el valor màxim de la força de muntatge, $F_{M \max}$, que es pot arribar a produir: $F_{M \max} = \alpha_c F_{M \min}$.

b) *Tensió*

El cargol queda sotmès a tracció i a torsió.

En el cas d'una rosca normalitzada i amb coeficient de fregament usual $\mu = 0,15$, és suficient calcular el cargol només a tracció i, per tenir en compte la torsió (que no es calcula), se li aplica el factor 1,35.

$$\sigma = \frac{F_{M_{\max}}}{A_T} \quad (46)$$

c) *Seguretat*

$$1,35 \sigma \leq \sigma_{adm} \quad (47)$$

$$\sigma \leq \frac{\sigma_{adm}}{1,35} = 0,75 \sigma_{adm} \quad (48)$$

d) *Tensió admissible*

$$\sigma_{adm} = 0,7R_e \quad (C_S = 1,4)$$

$$\sigma \leq 0,75 \cdot 0,7R_e \quad (C_S = 1,4) \quad (49)$$

$$\sigma \leq 0,52R_e \quad (C_S = 1,4)$$

(C_S = Coeficient de seguretat)

e) *Moment de muntatge*

- Càlcul precís: s'ha d'aplicar la fórmula 35, considerant separatament els coeficients de fregament μ i μ_s ; o la fórmula 36, considerant el coeficient de fregament global μ_G . S'utilitza el valor

$$F_{M_{\max}} \text{ i } \mu_{\min} \Rightarrow M_{M_{\max}}$$

$$\text{Moment nominal: } M'_M = M_{M_{\max}} / 1,1$$

- Càlcul aproximat: $M'_M = 0,2 F_{M_{\max}} \cdot d$

4 Unió sotmesa a càrrega axial. Muntatge amb tensió i força separadora posterior

Normalment una unió cargolada es munta amb tensió, és a dir, es colla. Aquesta és la manera racional de resistir les forces separadores.

En el treball d'una unió cargolada es pot distingir una primera fase, la de muntatge, i una de segona, la de servei, en la qual s'aplica la força separadora.

4.1 Fase de muntatge

a) Forces

La unió es colla. S'aplica un parell a la femella (o al cargol). Les peces unides queden comprimides amb la força de muntatge, F_M (Fig. 4.1).

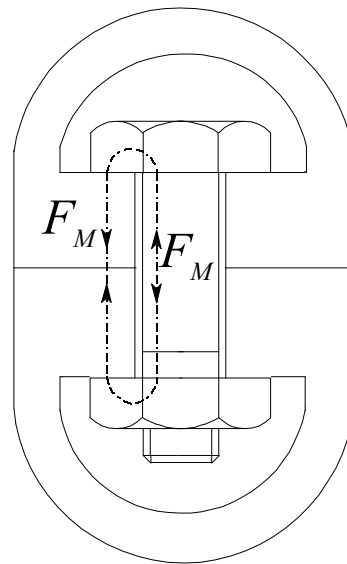


Fig. 4.1 Fase de muntatge

El cargol queda sotmès a tracció amb la força, F_M .

Sol·licitació del cargol: la reacció de les peces unides, F_{pM} , actua sobre el sistema cargol-femella (Fig. 4.2).

La canya del cargol queda sotmesa a tracció: $F_{cM} = F_{pM}$.

Sol·licitació de les peces unides: l'acció del cargol, F_{cM} , actua sobre les peces unides (Fig. 4.3).

Les peces unides queden sotmeses a compressió: $F_{pM} = F_{cM}$.

A la fase de muntatge, $F_{cM} = F_{pM} = F_M$.

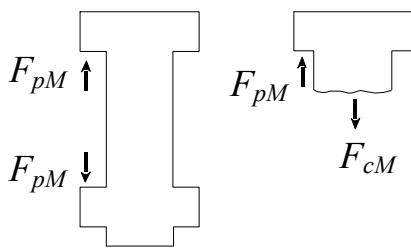


Fig. 4.2 Sol·licitació del cargol

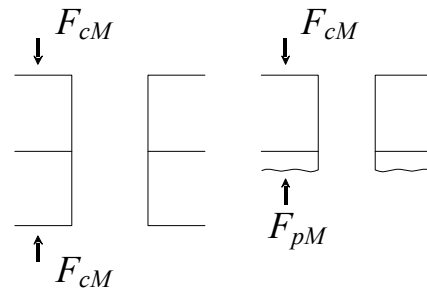


Fig. 4.3 Sol·licitacions de les peces unides

b) Deformacions

Cargol: sota la força de tracció, F_{cM} , el cargol s'allarga en la magnitud δ_{cM} .

Peces unides: sota la força de compressió, F_{pM} , les peces unides s'escurcen en la magnitud δ_{pM} .

c) Diagrama força-deformació

La figura 4.4 representa el diagrama força-deformació del cargol. Representa, també, el diagrama força-deformació de les peces unides.

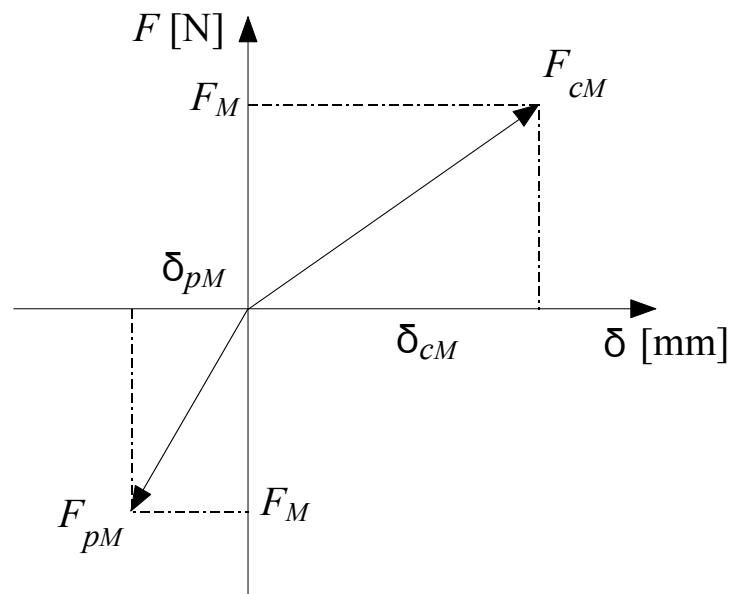


Fig. 4.4 Diagrames força-deformació

El tercer quadrant del diagrama anterior es desplaça segons la figura 4.5.

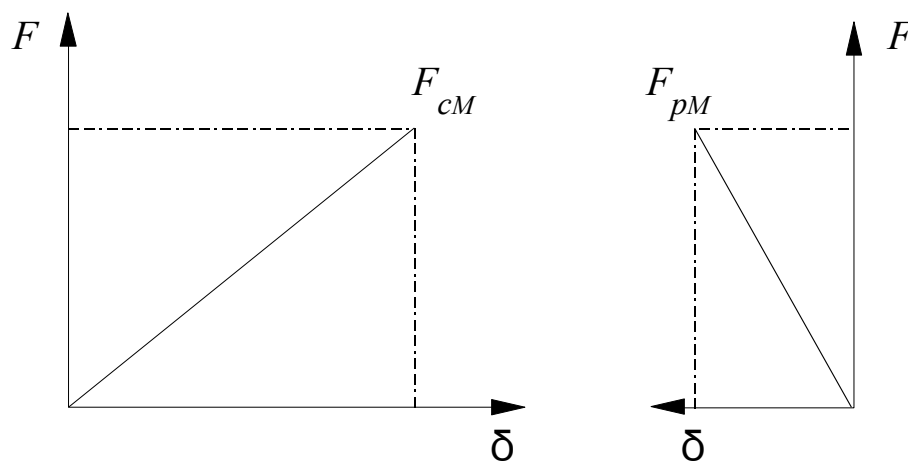


Fig. 4.5 Diagrames força-deformació

Es forma el diagrama convencional força-deformació de la figura 4.6.

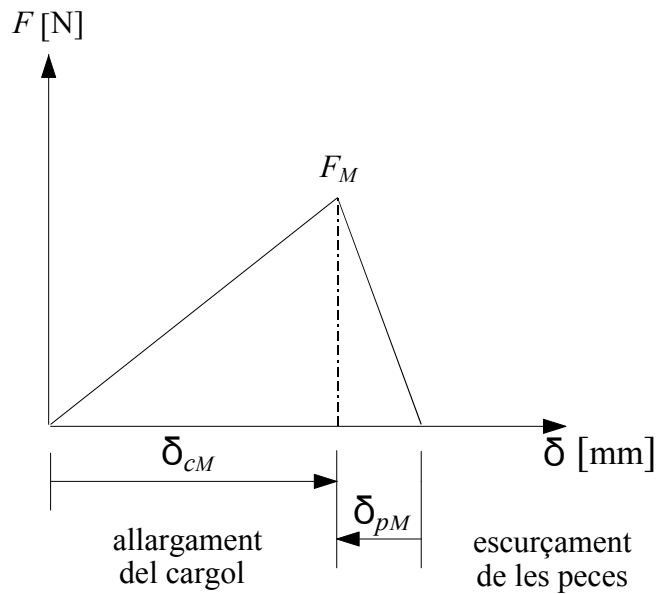


Fig. 4.6 Diagrama conjunt força-deformació

Resumint:

- Cargol amb força de tracció: $F_c = F_M$ i allargament δ_c
- Peces unides amb força de compressió: $F_p = F_M$ i escurçament δ_p

4.2 Rigidesa del cargol i de les peces unides

Es defineix com *constant de rigidesa* d'un element deformat elàsticament la relació entre la força i la deformació ocasionada:

$$k = \frac{F}{\delta} \text{ (N/mm)} \quad (1)$$

Segons la llei de Hooke, el mòdul d'elasticitat, E , relaciona la tensió, σ , i la deformació unitària, ϵ .

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2)$$

$$\text{Tensió } \sigma = \frac{F}{A} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (A = \text{àrea}) \quad (3)$$

$$\text{Deformació unitària } \epsilon = \frac{\delta}{l} \text{ (-)} \quad (l = \text{longitud inicial}) \quad (4)$$

Per tant:

$$E = \frac{F/A}{\delta/l} = \frac{F}{\delta} \frac{l}{A} = k \frac{l}{A} \quad (5)$$

$$k = \frac{AE}{l} \text{ (N/mm)}$$

a) *Rigidesa del cargol*

$$k_c = \frac{F_c}{\delta_c} = \frac{A_c E_c}{l_c} \text{ (N/mm)} \quad (6)$$

b) *Rigidesa de les peces unides*

En peces unides de secció limitada al recobriment de la volandera (Fig. 4.7) tot el volum de les peces unides queda sotmès a compressió. La rigidesa val

$$k_p = \frac{F_p}{\delta_p} = \frac{A_p E_p}{l_p} \text{ (N/mm)} \quad (7)$$

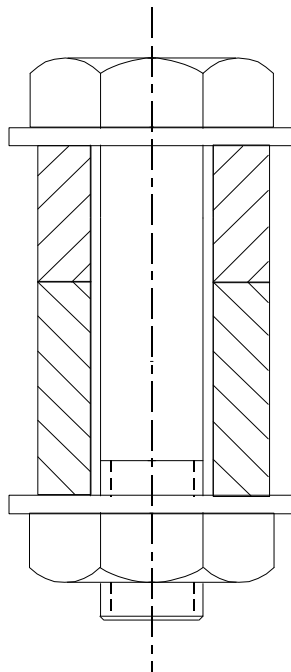


Fig. 4.7 Peces unides limitades

En peces unides de secció extensa, només la zona pròxima al cargol queda sotmesa a compressió. El volum que es considera és l'anomenat *bicon de compressió* (Fig. 4.8).

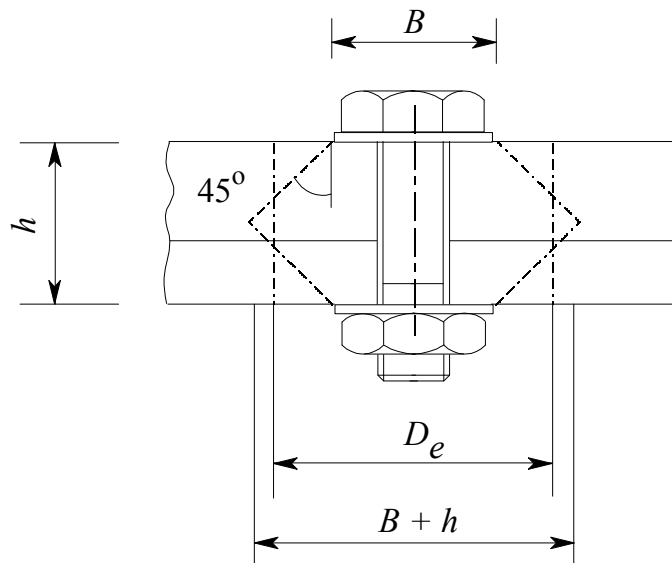


Fig. 4.8 Peces unides extenses

Tradicionalment, es considera un angle de 45° .

El diàmetre del cilindre equivalent és

$$D_e = B + \frac{h}{2} \quad (8)$$

L'àrea equivalent és

$$A_e = \frac{\pi}{4} (D_e^2 - d_{\text{forat}}^2) \quad (9)$$

Hi ha autors que consideren un angle inferior a 45° .

c) Rigidesa de diversos cossos en sèrie

La rigidesa, k , del conjunt és

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \dots \quad (10)$$

4.3 Fase d'aplicació de la força separadora

Ara es considera l'efecte de la força separadora per si sola.

El conjunt cargol-femella simplement està col·locat, però sense exercir força. No hi ha la força de muntatge.

Suposem temporalment que les peces que cal unir estan soldades entre elles i, per tant, que poden absorbir forces de tracció.

La força separadora està suportada, d'una banda, pel cargol i, d'altra banda, per les peces unides (Fig. 4.9 i 4.10). El sistema és hiperestàtic.

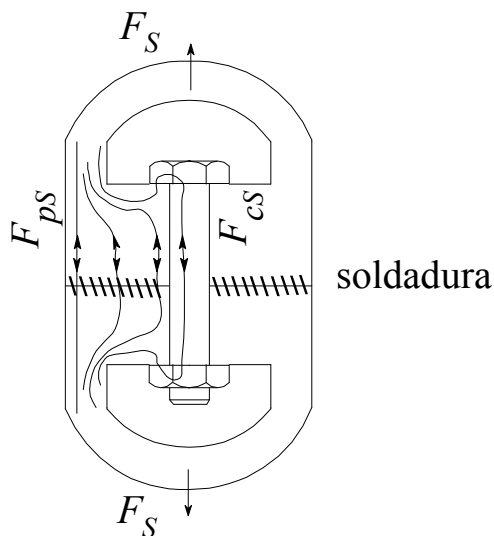


Fig. 4.9 Fase d'aplicació de la força separadora

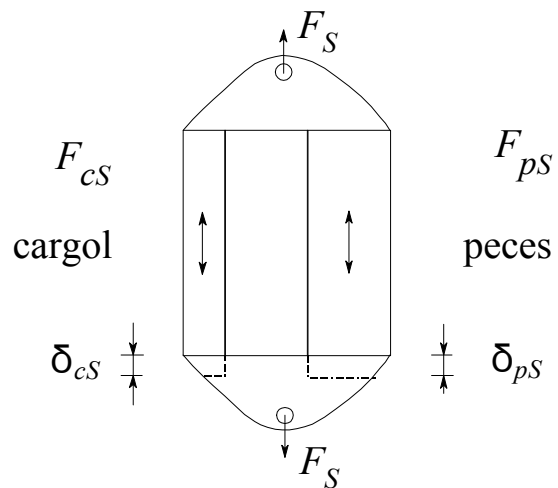


Fig. 4.10 Allargaments

La distribució de la força separadora és

$$F_S = F_{cS} + F_{pS} \quad (11)$$

δ_{cS} actua sobre el cargol.

δ_{pS} actua sobre les peces unides.

Les rigideses són

$$k = \frac{F}{\delta} \quad k_c = \frac{F_{cS}}{\delta_{cS}} \quad k_p = \frac{F_{pS}}{\delta_{pS}} \quad (12)$$

$$\delta_{cS} = \frac{F_{cS}}{k_c} \quad \delta_{pS} = \frac{F_{pS}}{k_p} \quad (13)$$

Per necessitat física, $\delta_{cS} = \delta_{pS}$

$$\frac{F_{cS}}{k_c} = \frac{F_{pS}}{k_p} \quad (14)$$

$$\frac{F_{cS}}{k_c} = \frac{F_S - F_{cS}}{k_p} \quad (15)$$

$$F_{cS} k_p = F_S k_c - F_{cS} k_c \quad (16)$$

$$F_{cS} (k_p + k_c) = F_S k_c \quad (17)$$

La part de F_S absorbida pel cargol és

$$F_{cS} = \frac{k_c}{k_c + k_p} F_S = c F_S \quad (18)$$

La part de F_S absorbida per les peces unides és

$$F_{pS} = \frac{k_p}{k_c + k_p} F_S \quad F_{pS} = (1 - c) F_S \quad (19)$$

La relació de rigideses és

$$c = \frac{k_c}{k_c + k_p} \quad c < 1 \quad (20)$$

La relació de rigidesa es calcula per a cada cas. Per a càlculs de primera aproximació es poden considerar com a valors usuals: $c = 0,1 \dots 0,3$

4.4 Acció conjunta

Ara es considera l'acció conjunta de la fase de muntatge i de la fase d'aplicació de la força separadora.

a) Força final en el cargol

Tracció: $F_c = F_M + F_{cS}$. Augment de la tracció de muntatge (Fig. 4.11).

b) Força final a les peces unides

Compressió: $F_p = F_M - F_{pS}$. La component F_{pS} és una descompressió o disminució de la compressió de muntatge.

Si $F_p > 0$, les peces unides no tendeixen a separar-se i, per tant, no cal la soldadura que podríem esperar.

Normalment, la unió es dissenya per tal que quedi una compressió romanent a les peces unides.

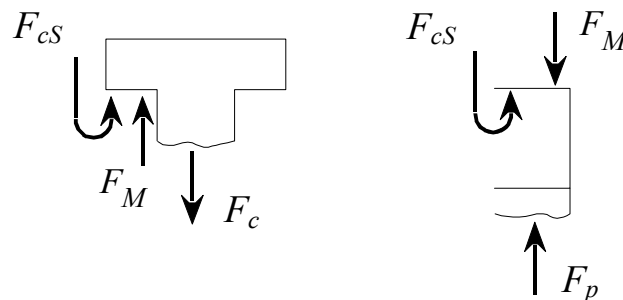


Fig. 4.11 Sol·licitacions resultants en el cargol i a les peces unides

4.5 Diagrama força-deformació complet

La figura 4.12 representa el diagrama força-deformació complet i posa de manifest les relacions següents:

$$F_M = F_p + F_{pS} \quad (21)$$

$$F_c = F_p + F_{pS} + F_{cS} = F_p + F_S$$

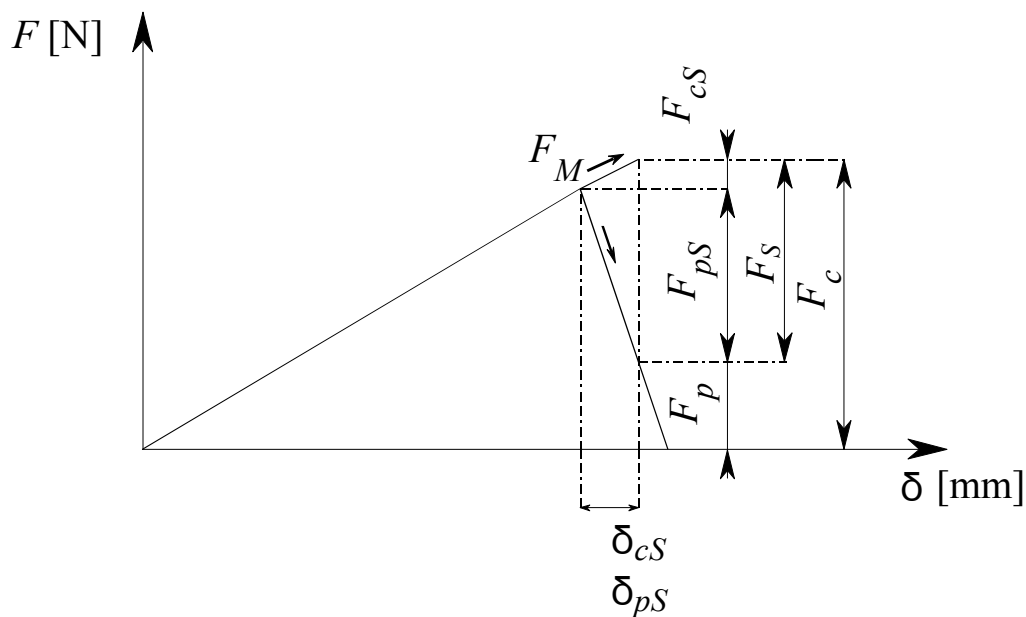


Fig. 4.12 Diagrama força deformació complet

4.6 Analogia amb una balança dinamomètrica

L'escala de lectura està marcada a la caixa al costat de l'extrem de la tija. Arriba fins a 200 N i té una llargària de 200 mm (Fig. 4.13).

Rigidesa de la molla

$$k = \frac{F}{\delta} = \frac{200 \text{ N}}{200 \text{ mm}} = 1 \text{ N/mm} \quad (22)$$

Es poden considerar les fases següents:

- a) S'aplica un pes de 150,75 N. La tija es desplaça 150,75 mm i el seu extrem queda al nivell de la marca de 150,75 N.
- b) S'intercala un bloc de 150,75 mm.
- c) Es retira el pes. El bloc s'escurça 0,75 mm.

Rigidesa del bloc

$$k = \frac{F}{\delta} = \frac{150,75}{0,75} = 200 \text{ N/mm} \quad (23)$$

La molla s'allarga 0,75 mm, s'afluixa 0,75 N i queda a 150 N. La balança marca 150 N. El bloc queda comprimit a 150 N i la tija queda sotmesa a tracció a 150 N.

Símil: la balança representa el cargol i el bloc, les peces unides. Fase de muntatge amb tensió prèvia.

- d) Ara s'aplica un pes de 20 N.

La balança no passa a marcar 170 N. El bloc no queda lliure.

El bloc es descomprimeix parcialment i recupera 0,1 mm.

La molla s'escurça 0,1 mm i es carrega a 150,1 N.

La balança marca 150,1 N. La tija està sotmesa a tracció a 150,1 N.

El bloc està comprimit a 130,1 N.

La força a la tija ha canviat + 0,1

La força al bloc ha variat - (-19,9) N = + 19,9 N.

Variació total: 20 N.

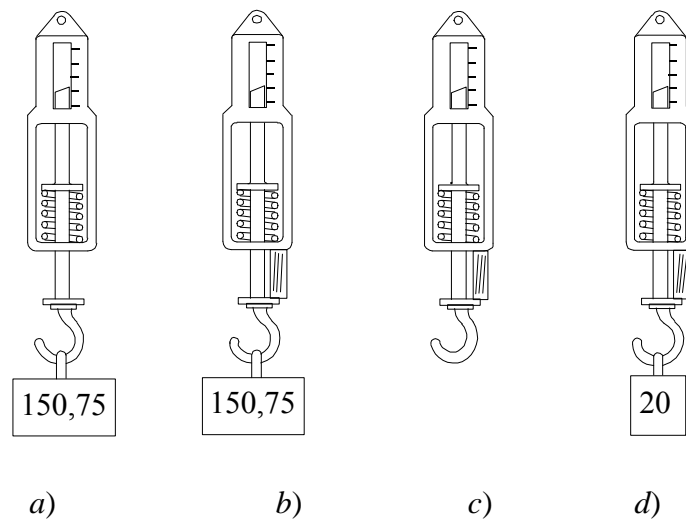


Fig. 4.13 Analogia d'una balança dinamomètrica amb una unió cargolada

La figura 4.14 representa el diagrama força-deformació corresponent

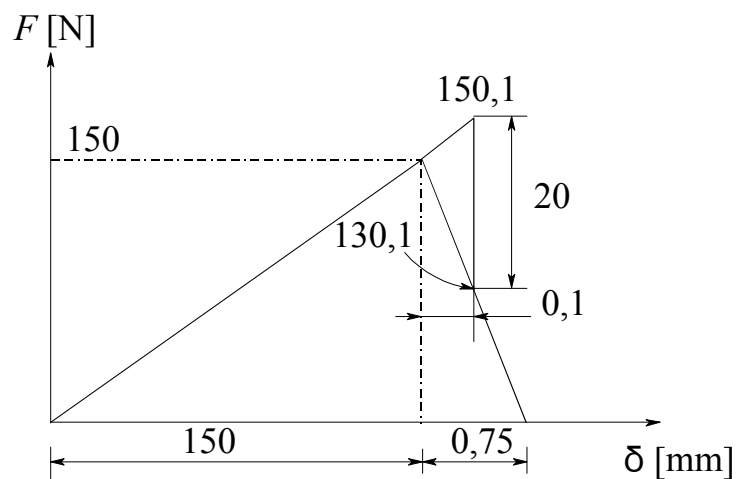


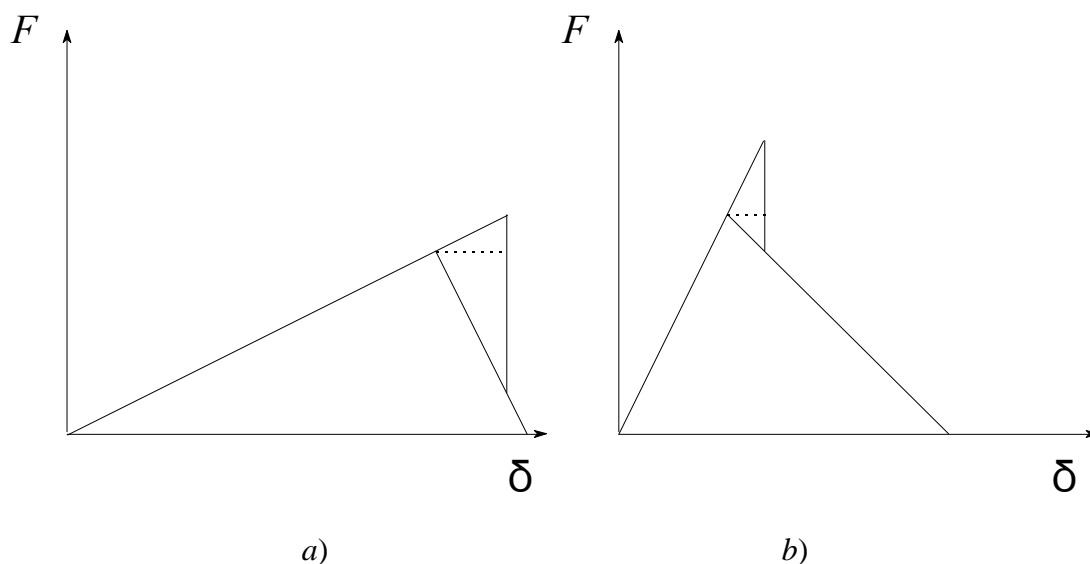
Fig. 4.14 Diagrama corresponent a la balança

4.7 Optimització

Normalment interessa que la part de la força separadora que suporta el cargol sigui petita. Això porta a dissenyar la unió de manera que la relació de rigideses, c , sigui petita. S'aconsegueix fent que:

- El cargol sigui elàstic (prim, llarg, etc.).
- Les peces unides siguin rígides (material rígid, secció gran, longitud curta, ales rígides, etc.).

No és convenient intercalar juntes entre les peces unides.



- a)* convenient: poca força addicional sobre el cargol
b) no convenient: molta força addicional sobre el cargol

Fig. 4.15 Representació del disseny convenient i no convenient

4.8 Obertura de la juntura

Si la força separadora va augmentant, la compressió romanent a les peces unides va disminuint. Quan aquesta compressió s'arriba a anul·lar s'està al límit d'obertura de la juntura (Fig. 4.16).

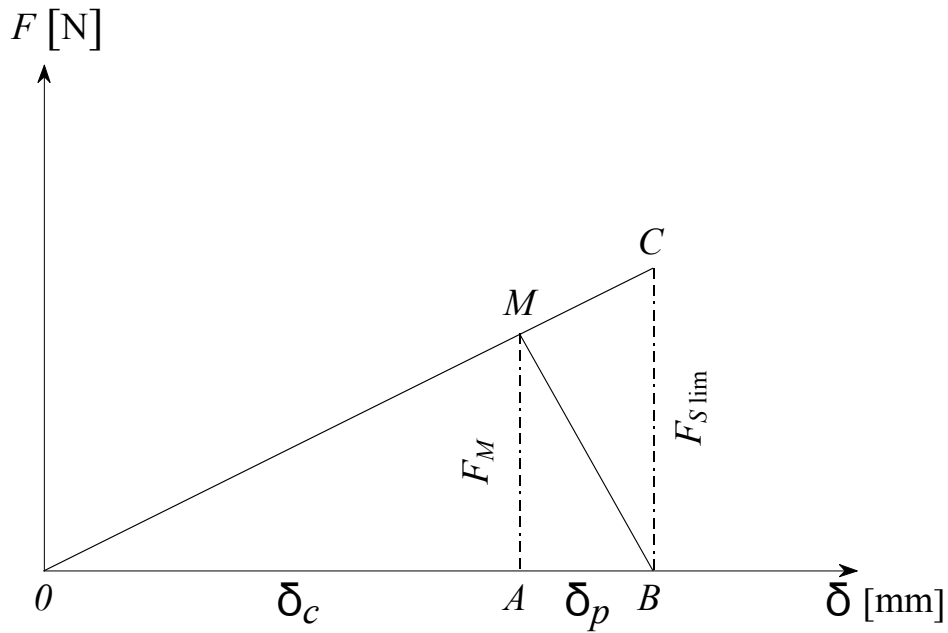


Fig. 4.16 Obertura de la junta

La semblança dels triangles OAM i OBC permet relacionar

$$\frac{F_{S \text{ lim}}}{F_M} = \frac{\delta_c + \delta_p}{\delta_c} = \frac{k_c + k_p}{k_p} \quad (24)$$

Força separadora límit

$$F_{S \text{ lim}} = \frac{k_c + k_p}{k_p} F_M \quad (25)$$

Força de muntatge mínima

$$F_{M \text{ min}} = \frac{k_p}{k_c + k_p} F_S \quad (26)$$

Normalment no interessa arribar a la situació límit d'obertura de la junta, sinó que es vol que hi hagi una força de compressió romanent, F_p .

La força de compressió romanent necessària s'estableix:

- Segons la funció de la unió
- A falta de dades concretes, com una proporció de la força separadora

$$F_p = n F_S \quad n= 0,2...1$$

Aleshores,

$$F_c = F_S + F_p = F_S + nF_S = F_S (1 + n) \quad (27)$$

Força de muntatge, F_M

$$F_p = n F_S = F_M - (1 - c) F_S \quad (28)$$

$$F_M = F_S (n + 1 - c) \quad (29)$$

4.9 Efectes de la dispersió de la força de muntatge

Abans s'ha vist que la força de muntatge, F_M , realment obtinguda pot tenir una dispersió compresa entre $F_{M \min}$ i $F_{M \max}$.

En conseqüència, el diagrama força-deformació té les dues situacions extremes indicades a la figura 4.17.

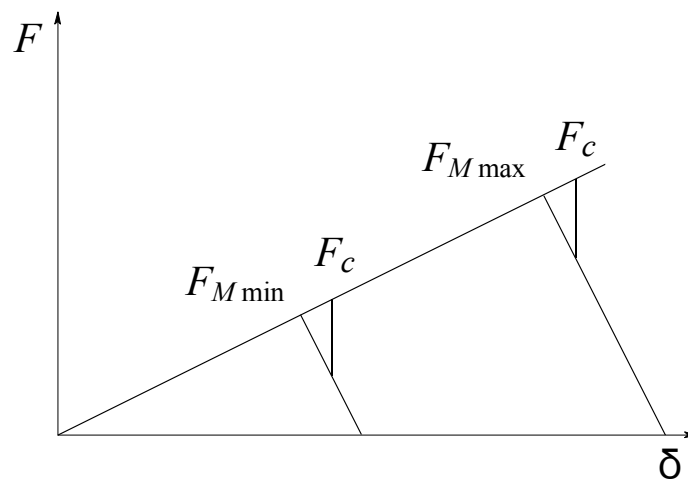


Fig. 4.17 Efectes de la dispersió de la força de muntatge

a) *No obertura de la juntura*

La situació extrema inferior ha de satisfer la condició de no obertura de la juntura.

S'estableix F_p .

Queda determinat:

$$F_{M\min} = F_p + (1 - c)F_S \quad (30)$$

$$F_{M\min} = F_S (n + 1 - c) \quad (31)$$

b) *Fallada del cargol*

La situació extrema superior ha de satisfer la condició que no falli el cargol:

$$F_{M\max} = \alpha_c F_{M\min} \quad (32)$$

$$F_c = F_{M\max} + cF_S \quad (33)$$

$$F_c = \alpha_c F_{M\min} + cF_S \quad (34)$$

$$F_c = \alpha_c [F_S (n + 1 - c)] + cF_S \quad (35)$$

$$F_c = [\alpha_c (n + 1 - c) + c] F_S \quad (36)$$

4.10 Assentament

A la secció 1.3 s'ha exposat l'efecte d'assentament en una unió cargolada.

En el moment de collar el cargol es produeix una deformació elàstica de les peces unides i de les rosques. A més a més, es produeix una primera deformació plàstica.

Al final d'aquest procés de deformacions elàstica i plàstica queda establerta la força de muntatge, que és conseqüència de les accions i reaccions elàstiques.

Després del muntatge, al cap d'unes hores o d'uns dies, les peces unides i les rosques experimenten una segona deformació plàstica amb els mateixos efectes anteriors.

S'anomena *assentament* aquest segon escurçament plàstic de les peces unides, amb allargament plàstic del cargol. Disminueixen les forces presents a la unió cargolada.

L'assentament, δ_x , s'hauria de quantificar en cada unió cargolada concreta. A falta de mides experimentals es pot estimar el valor de δ_x com la suma dels valors d'assentament a les juntures de les peces unides, δ_{xj} , i a la rosca, δ_{xr} . Per a cada junta,

$$\delta_{xj} = 2 (\nabla\nabla\nabla) \dots 4 (\nabla\nabla) \mu_m \quad (37)$$

A la rosca,

$$\delta_{xr} = 5\mu_m \quad (38)$$

La força de muntatge disminueix en

$$\Delta F_M = \frac{\delta_x}{\frac{1}{k_c} + \frac{1}{k_p}} = \delta_x c k_p \quad (39)$$

La unió cargolada ha de funcionar bé després de l'assentament.

S'identifiquen:

- Amb índex ('): valors de F_M i F_p que queden després de l'assentament.
- Sense índex: valors de F_M i F_p que s'apliquen al muntatge (abans de l'assentament).

Força de muntatge que cal aplicar:

- Després de l'assentament: s'imposa la compressió romanent, F'_p .

$$F'_{M\min} = F'_p + F_{pS} = F'_p + F_S(1 - c) \quad (40)$$

- Abans de l'assentament:

$$F_{M\min} = F'_{M\min} + \Delta F_M = F'_p + F_S(1 - c) + \Delta F_M \quad (41)$$

$$F_{M\max} = \alpha_c [F'_p + F_S(1 - c) + \Delta F_M] \quad (42)$$

Diagrama força-deformació amb assentament (Fig. 4.18 i 4.19)

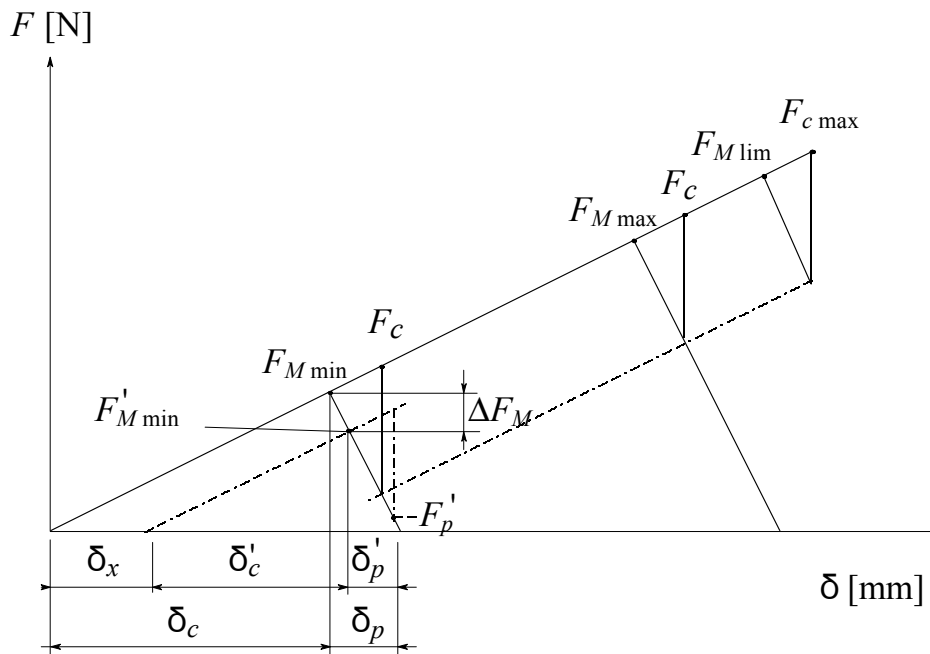


Fig. 4.18 Diagrama força-deformació amb assentament

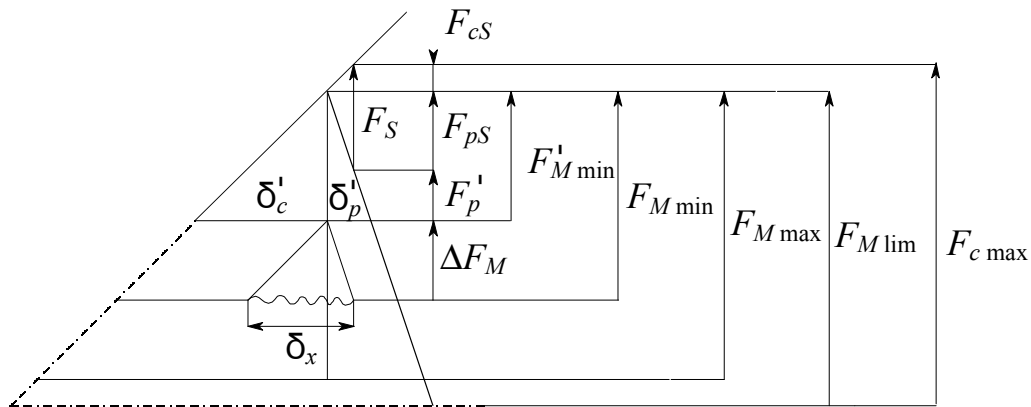
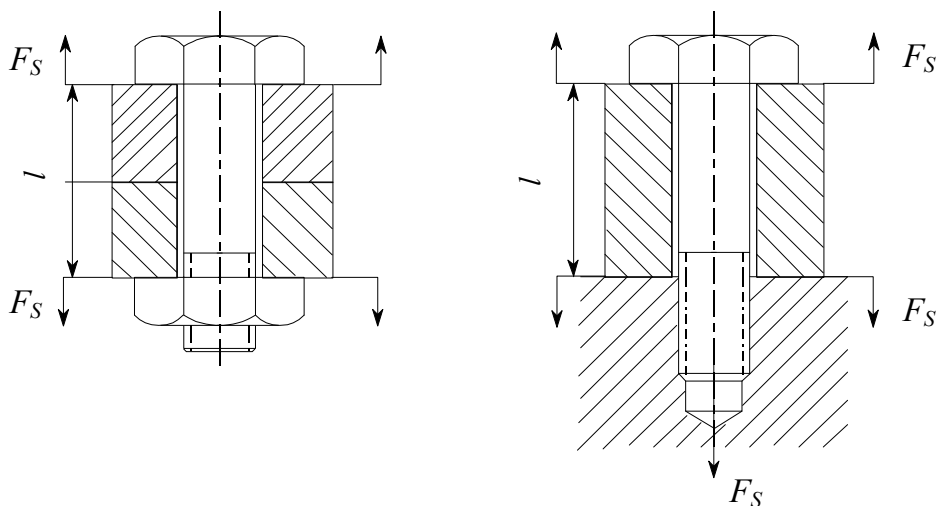


Fig. 4.19 Diagrama força-deformació amb assentament

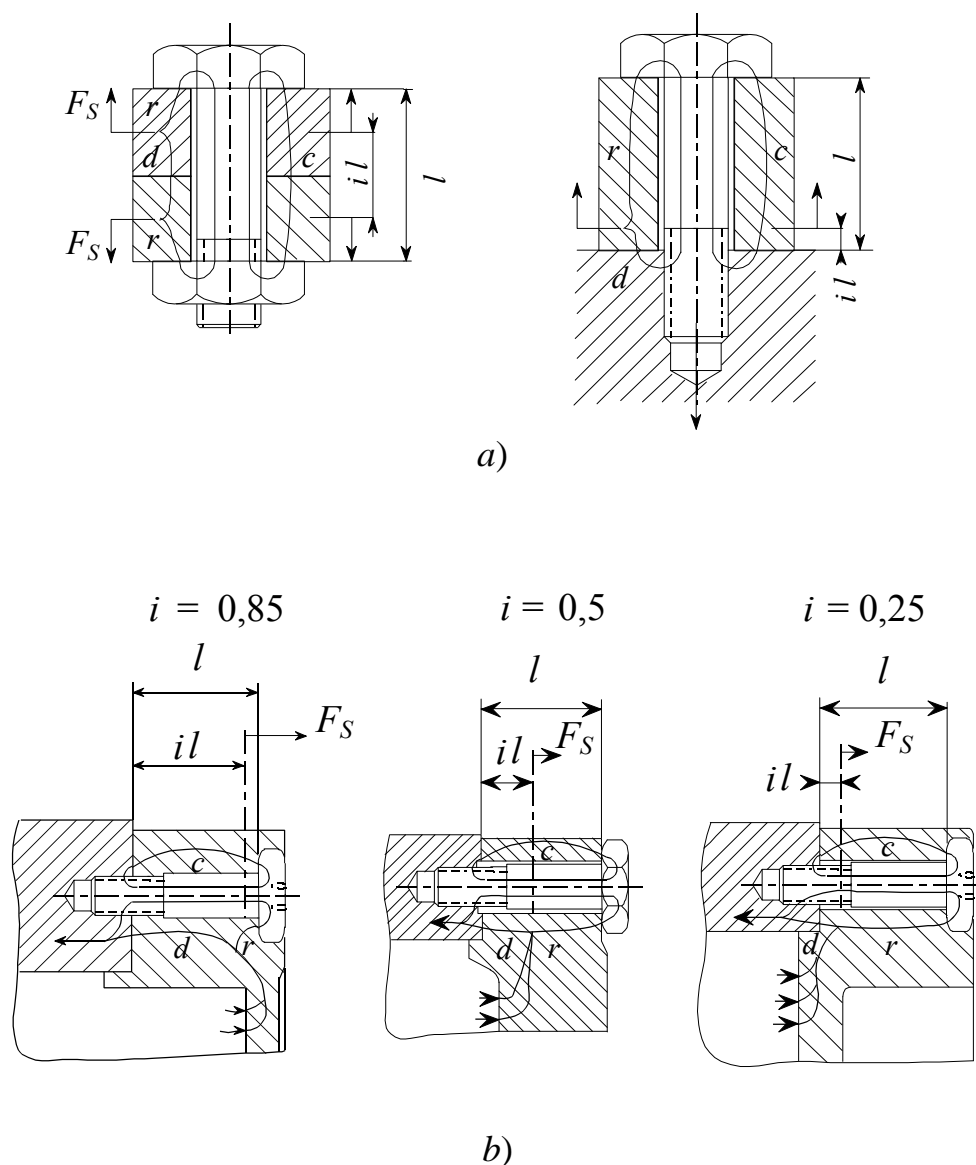
4.11 Nivell d'acció de la força separadora

Fins ara hem considerat que la força separadora actuava a les superfícies de contacte del cap del cargol amb les peces unides i de la femella amb les peces unides. Això es compleix en un cas com, per exemple, el de la figura 4.20.

Fig. 4.20 Nivell d'acció de la força separadora: $i = 1$

En altres configuracions, com, per exemple, la de les figures 4.21a i b, els punts d'acció es consideren situats a l'interior. La força separadora no actua sobre la longitud total, l , sinó només sobre la part $i \cdot l$. El factor i s'anomena *factor del nivell d'acció de la força separadora*.

En aquest cas, només queda descomprimida la part i de les peces unides. L'altre part rep una compressió addicional.



c = compressió de muntatge d = descompressió r = recompressió

Fig. 4.21 Nivell d'acció de la força separadora

Això altera el curs del diagrama de deformacions, que passa a ser el de la figura 4.22. Queda disminuïda la força addicional, F_{cS} , sobre el cargol. El coeficient, c , queda alterat i passa a tenir un valor $c' = i c$.

Com a conseqüència:

$$F_{pS} = (1 - c')F_S \quad \text{més gran que } (1 - c)F_S$$

$$F_{cS} = c'F_S \quad \text{més petit que } cF_S$$

Es considera que l'assentament es produeix abans de l'aplicació de la força separadora. En aquesta fase, $i = 1$; s'opera amb c i no amb c' .

$$\Delta F_M = \delta_x c k_p \quad (43)$$

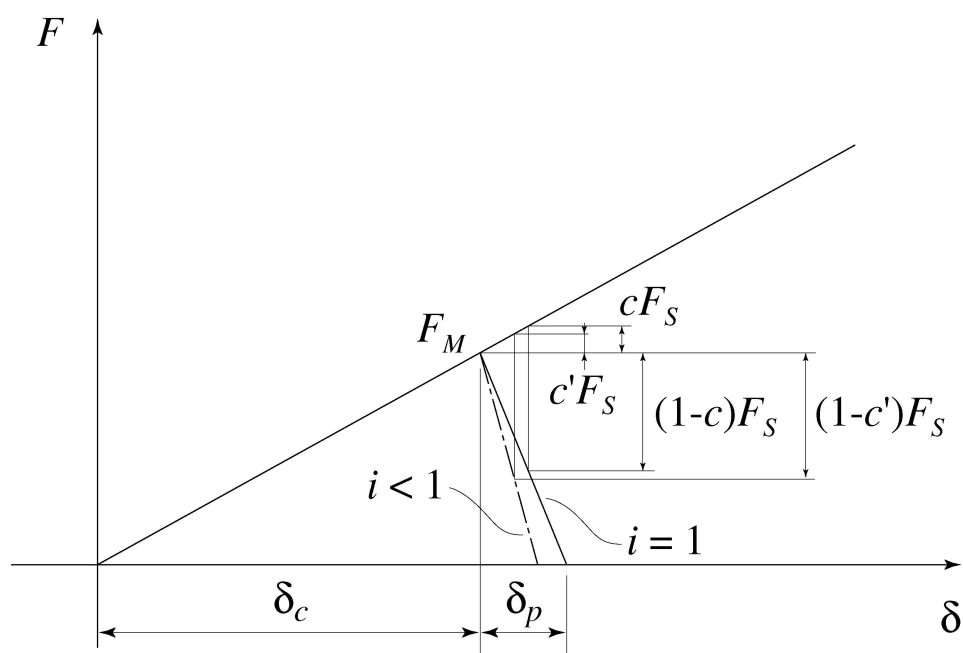


Fig. 4.22 Diagrama força-deformació considerant el nivell d'acció de la força separadora

a) *Condició de no obertura de la juntura*

Es considera el cas pitjor: ja s'ha produït l'assentament.

Fase de muntatge abans de l'assentament

$$F_{M\min} \quad (44)$$

Fase de muntatge després de l'assentament

$$F'_{M\min} = F_{M\min} - \Delta F_M = F_{M\min} - \delta_\chi c k_p \quad (45)$$

Fase d'aplicació de la força separadora

$$F'_{M\min}$$

$$F'_p = F'_{M\min} - F_{pS} = F'_{M\min} - (1 - c') F_S \quad (46)$$

$$F'_p \text{ valor que es necessita}$$

b) *Condició de no fallada del cargol*

Es considera el cas pitjor: encara no s'ha produït l'assentament.

$$F_{M\max} = \alpha_c F_{M\min} = \alpha_c [F'_p + F_S (1 - c') + \Delta F_M] \quad (47)$$

$$F_c = F_{M\max} + F_{cS} = \alpha_c [F'_p + F_S (1 - c') + \Delta F_M] + c' F_S$$

5 Càlcul d'unions amb força separadora axial

5.1 Unions cargolades de qualitat normal i d'alta qualitat

Unió de qualitat normal

Una unió cargolada es considera de *qualitat normal* i, per tant, es calcula com a *normalment sol·licitada* quan:

- a) El material del cargol és de classe 5, un tipus que presenta fluència quan arriba a la deformació plàstica. Eventualment, s'usa la classe 8.
- b) Les peces unides no són especialment rígides, sinó més aviat elàstiques. Ho poden ser a causa d'alguna de les circumstàncies següents:
 - Perquè hi ha juntes elàstiques o plàstiques intercalades.
 - Perquè les superfícies de les peces unides no són extremament llises ni planes.
 - Per la configuració que tenen.
 - Perquè el seu material té un mòdul d'elasticitat baix (aliatges lleugers, plàstics, etc.).

Per tot això és pot preveure un assentament apreciable. La força de muntatge pot anar disminuint al llarg del temps.

Una unió d'aquesta categoria es calcula d'una manera simplificada. No es considera l'assentament ni el nivell d'acció de la força separadora.

El cargol se sol·licita fins a prop del 70% del límit elàstic. Hi ha un coeficient de seguretat de l'1,4 per cobrir el desconeixement de tots els factors que afecten la unió cargolada.

Normalment no hi ha perill que falli el cargol, però sí que s'obri la juntura. Per tant, s'accepta el risc de comptar amb el fet que, si hi concorren circumstàncies desfavorables, s'arribi a obrir la juntura.

Unió d'alta qualitat

Una unió cargolada es considera d'*alta qualitat* i, per tant, es calcula com a *altament sol·licitada* quan:

- a) El material del cargol és de classe 8, 10 o 12. Aquests materials no presenten fluència quan arriben a la deformació plàstica. En aquest cas es considera el límit elàstic convencional, $R_{0,2}$, en el qual es produeix un allargament permanent del 0,2%.
- b) Les peces unides són molt rígides. És a dir, el seu material té un mòdul d'elasticitat elevat (acer, fosa grisa), les superfícies són llises i ben planes, i no hi ha juntes elàstiques o plàstiques intercalades; la configuració que tenen és de gran rigidesa. No es preveu un assentament apreciable. La força de muntatge es manté al llarg del temps.

A les unions d'aquesta categoria, el cargol se sol·licita fins al voltant del límit elàstic (90%) i en el càlcul de la unió es tenen en compte una sèrie de punts que el fan complex (assentament, situació dels punts d'acció de la força separadora, etc.).

Es pretén tenir garantia que el cargol no fallarà i que la juntura no s'obrirà.

5.2 Força separadora estàtica

Unions de qualitat normal

Quan l'obertura de la juntura no és crítica, la unió es dissenya de qualitat normal (unió normalment sol·licitada).

Se segueix un càlcul simplificat.

No es consideren l'assentament ni el nivell d'acció de la força separadora.

S'imposa un valor de necessitat de la força de compressió romanent, F_p .

- Si l'obertura de la juntura no és crítica, s'imposa un valor de F_p mitjanament elevat:

$$F_p = n F_S \quad n = 0,5 \dots 0,7$$

- Si l'obertura de la juntura no és crítica, però no es vol que es produeixi, s'imposa un valor de F_p elevat:

$$n = 0,8 \dots 1$$

- Si l'obertura de la juntura és crítica, l'execució de la unió ha de ser d'alta qualitat. S'ha de seguir el càlcul complet.

a) Seqüència de càlcul

$$F_p \quad c \quad F_{M \min} \quad \alpha_c \quad F_{M \max} \quad F_{cS} \quad F_{c \max}$$

b) Tensió de tracció

$$\sigma = \frac{F_{c \max}}{A_T} \quad (1)$$

c) *Tensió equivalent*

$\sigma_e = 1,35\sigma$ per tenir en compte la torsió

d) *Seguretat*

S'aplica un coeficient de seguretat mitjanament elevat: $C_s = 1,4$.

$$\sigma_{adm} = 0,7 R_e \quad (C_s = 1,4)$$

$$1,35 \sigma \leq 0,7 R_e \quad (C_s = 1,4)$$

$$\sigma \leq 0,75 \cdot 0,7 R_e \quad (C_s = 1,4)$$

$$\sigma \leq 0,52 R_e \quad (C_s = 1,4)$$

e) *Dimensió necessària*

$$A_T = \frac{F_{c \max}}{0,52 R_e} \quad (2)$$

f) *Moment de muntatge*

- Càlcul aproximat

$$M_M = 0,2 F_{M \max} d$$

- Càlcul precís

Segons la fórmula 3.36

- Moment que s'ha de prescriure en el muntatge

$$M'_M = M_M / 1,1$$

Unions d'alta qualitat

Si l'obertura de la juntura és crítica, l'execució de la unió ha de ser d'alta qualitat.

S'ha de seguir la seqüència completa de càlcul.

S'ha de considerar l'assentament i el nivell de l'acció de les forces separadores.

S'imposa el valor estrictament necessari de la força de compressió romanent, F'_p . Coeficient: $n = 0,2 \dots 0,4$.

a) *En el muntatge*

1 *Tensió de tracció*

$$\sigma = \frac{F_{M\max}}{A_T} \quad (3)$$

2 *Tensió de torsió*

$$\tau_t = \frac{M_T}{W_t} = \frac{F_{M\max} d_2 \tan(\alpha + \rho')}{\frac{2 \pi d_T^3}{16}} \quad (4)$$

3 *Tensió equivalent*

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (5)$$

4 *Seguretat*

$$\sigma_e \leq \sigma_{adm}$$

$$\sigma_{adm} = 0,9 R_e \quad \text{Rosca de pas normal}$$

$$\sigma_{adm} = 0,8 R_e \quad \text{Rosca de pas fi}$$

$$\sigma_e = \sqrt{\left(\frac{F_{M\max}}{A_T}\right)^2 + 3\left(\frac{F_{M\max} d_2 \tan(\alpha + \rho')}{\frac{2\pi d_T^3}{16}}\right)^2} \leq \sigma_{adm} \quad (6)$$

5 Força de muntatge límit

De la fórmula anterior es pot deduir la $F_{M\max}$ límit

$$F_{M\lim} = \frac{0,9 R_e A_T}{\sqrt{1 + 3\left(\frac{\tan(\alpha + \rho') A_T d_2}{\frac{2\pi d_T^3}{16}}\right)^2}} \quad (7)$$

La taula 7 conté els valors de $F_{M\lim}$ i els valors corresponents del moment de muntatge, M_M . Requerida una $F_{M\max}$, es pot escollir el cargol adequat tal que $F_{M\max} \leq F_{M\lim}$.

El moment de muntatge que cal prescriure és $M'_M = M_M / 1,1$.

(nota: per a la seva utilització pràctica, els valors de la taula 7 s'han arrodonit respecte al valor exacte, que s'obté calculant l'expressió (7) amb l'angle $\alpha = \text{atan}[P/(\pi d_2)]$)

Taula 7

	$\mu_G = 0,100$						$\mu_G = 0,140$					
	$F_{M\ lim}[N]$		$M_M [Nm]$		$F_{M\ lim}[N]$		$M_M [Nm]$		$F_{M\ lim}[N]$		$M_M [Nm]$	
	8.8	10.9	12.9	8.8	10.9	12.9	8.8	10.9	12.9	8.8	10.9	12.9
M4	4.200	5.900	7.100	2,4	3,3	4	3.900	5.450	6.550	2,9	4,1	4,9
M5	6.900	9.700	11.600	4,9	7	8	6.350	8.950	10.700	6	8,5	10
M6	9.750	13.700	16.400	8	12	14	9.000	12.600	15.100	10	14	17
(M7)	14.400	20.200	24.200	13	19	23	13.200	18.500	22.200	16	23	28
M8	17.900	25.100	30.200	20	28	34	16.500	23.200	27.900	25	35	41
M10	28.400	40.000	48.000	40	56	67	26.200	36.900	44.300	49	69	83
M12	41.500	58.500	70.000	69	98	115	38.300	54.000	64.500	86	120	145
(M14)	56.500	80.000	96.000	110	155	185	52.500	74.000	88.500	135	190	230
M16	78.500	110.000	132.000	170	240	285	73.000	102.000	123.000	210	295	355
(M18)	95.000	134.000	160.000	235	330	395	88.000	124.000	148.000	290	405	485
M20	122.000	172.000	206.000	330	465	560	114.000	160.000	192.000	410	580	690
(M22)	152.000	214.000	257.000	445	620	750	141.000	199.000	239.000	550	780	930
M24	176.000	248.000	298.000	570	800	960	164.000	230.000	276.000	710	1.000	1.200
(M27)	232.000	326.000	391.000	840	1.200	1.400	215.000	302.000	363.000	1.050	1.500	1.800
M30	282.000	397.000	476.000	1.150	1.600	1.950	262.000	368.000	442.000	1.450	2.000	2.400
(M33)	350.000	480.000	576.000	1.540	2.120	2.540	325.000	457.000	548.000	1.930	2.720	3.270

Força de muntatge límit, $F_{M \text{ lim}}$, segons l'equació 7 i el moment de muntatge corresponent, M_M .

Coefficient de fregament global segons la taula 5, valors mínims.

Rosca de pas normal.

Una vegada escollit el cargol, és lògic aprofitar-ne la resistència total i collar-lo amb el moment de muntatge corresponent a la força de muntatge límit.

b) *Seqüència de càlcul*

$$F'_p \quad c \quad i \quad c' \quad F_{ps} \quad F'_{M \text{ min}} \quad \delta_x \quad \Delta F_M \quad F_{M \text{ min}} \quad \alpha_c \quad F_{M \text{ max}} \quad \mu_G$$

classe de resistència $F_{M \text{ lim}} \quad d \quad M_M \quad M'_M$

c) *En aplicar la força separadora*

Quan s'afegeix la part de la força separadora, F_{cs} , resulta

$$\sigma_{e \text{ max}} = \sqrt{\left(\frac{F_{M \text{ lim}} + F_{cs}}{A_T}\right)^2 + 3 \left(\frac{F_{M \text{ lim}} d_2 \tan(\alpha + \rho')}{\frac{2\pi d_T^3}{16}}\right)^2} \leq \sigma_{e \text{ max adm}} \quad (8)$$

L'experiència mostra que es pot arribar fins a

$$\sigma_{e \text{ max adm}} \approx 1,0 R_e \quad (9)$$

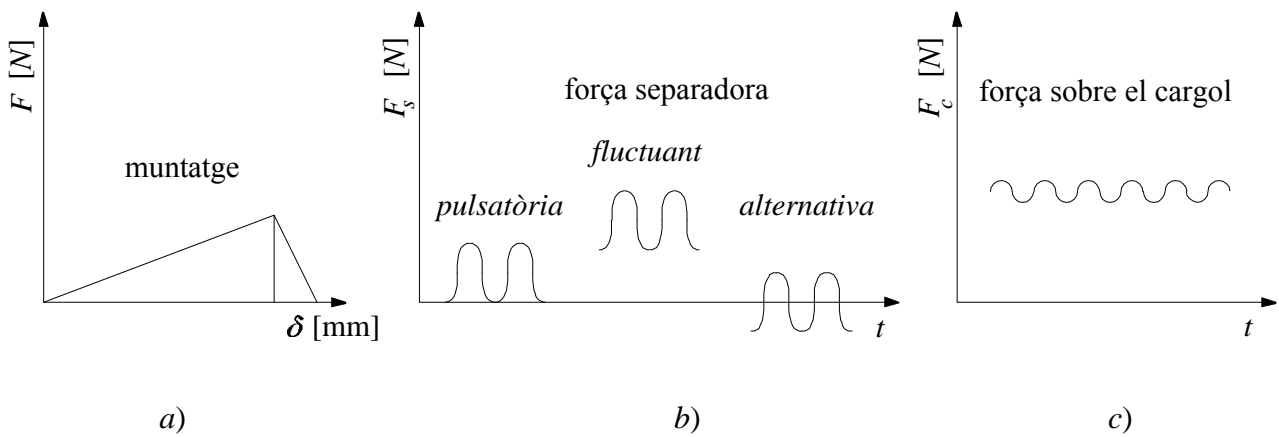
Resulta prou aproximat comprovar

$$\frac{F_{cs}}{A_T} < 0,1 R_e \quad (10)$$

5.3 Força separadora variable

La força separadora variable pot ser: pulsatòria, fluctuant o alternativa.

La força sobre el cargol resulta fluctuant (Fig. 5.1a, b i c).



a) Fase de muntatge; b) fase d'aplicació de la força separadora;
c) força sobre cargol

Fig. 5.1 Força variable separadora

La figura 5.2 representa l'efecte sobre el cargol d'una força separadora pulsatòria.

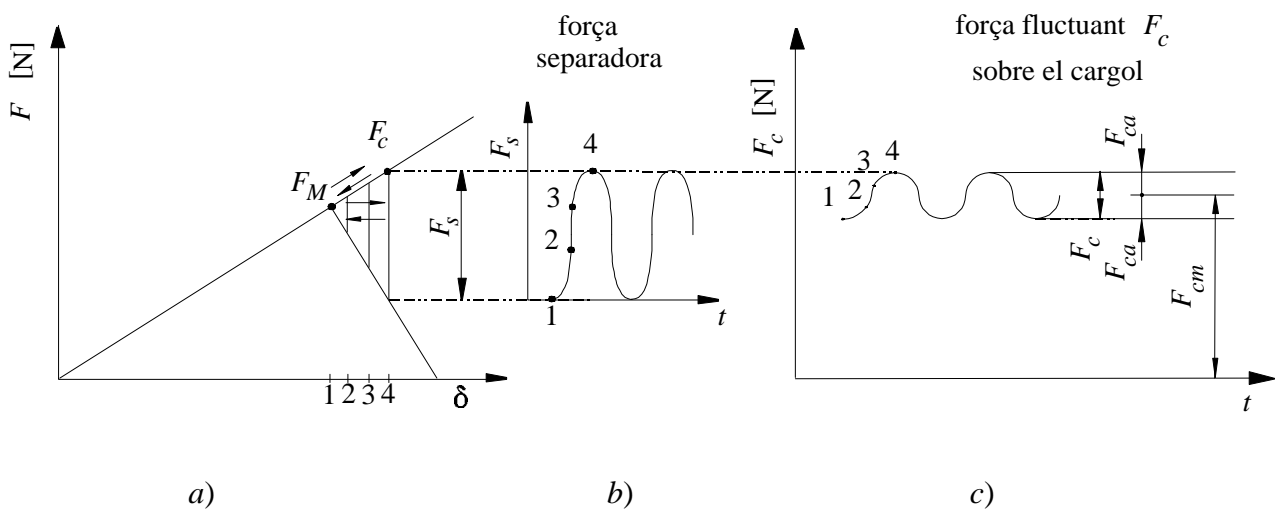


Fig. 5.2 Força separadora pulsatòria

Quan la força separadora és variable, l'execució de la unió ha de ser d'alta qualitat.

a) *En el muntatge*

Valen les mateixes consideracions indicades a l'apartat anterior.

b) *En els primers cicles de la força separadora*

Valen les mateixes consideracions indicades a l'apartat anterior.

c) *En els cicles posteriors. Fatiga*

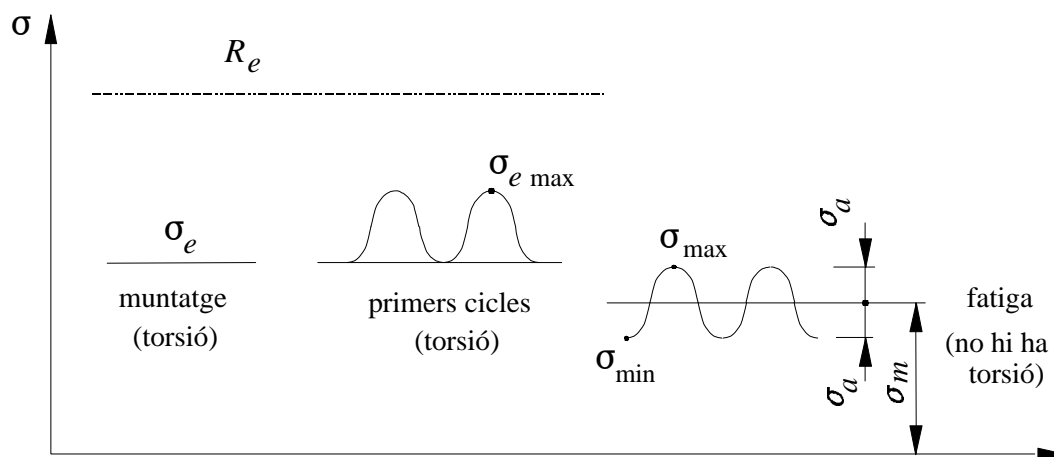


Fig. 5.3 Tensió en un cargol causada per una força separadora variable

Al cap d'un cert nombre de cicles de la força separadora, desapareix la torsió produïda en el muntatge. Les tensions es refereixen a l'àrea del nucli, A_3 .

c1) Sol·licitació

$$F_{M\lim} \rightarrow \sigma_{\min} \qquad F_{c\max} \rightarrow \sigma_{\max} \qquad (11)$$

$$\frac{F_{cS}}{2} \rightarrow \sigma_a \qquad \sigma_a = \frac{F_{cS}}{2A_3} \qquad (12)$$

Si en el muntatge s'ha collat el cargol fins a $\sigma_e \approx 0,9 R_e$, un cop desapareguda la torsió, la tensió ha disminuït a $\sigma \approx 0,75 \sigma_e \approx 0,75 (0,9 R_e) \approx 0,67 R_e$

La component mitjana, σ_m , queda al voltant de $\sigma_m \approx 0,7 R_e$.

c2) Resistència

L'amplitud de resistència, σ_A , dels cargols és molt petita en comparació a R_m o R_e a causa del fort efecte d'entalla dels filets de rosca. A les figures 5.4 i 5.5 es pot veure que no varia o varia molt poc amb la component mitjana, σ_m .

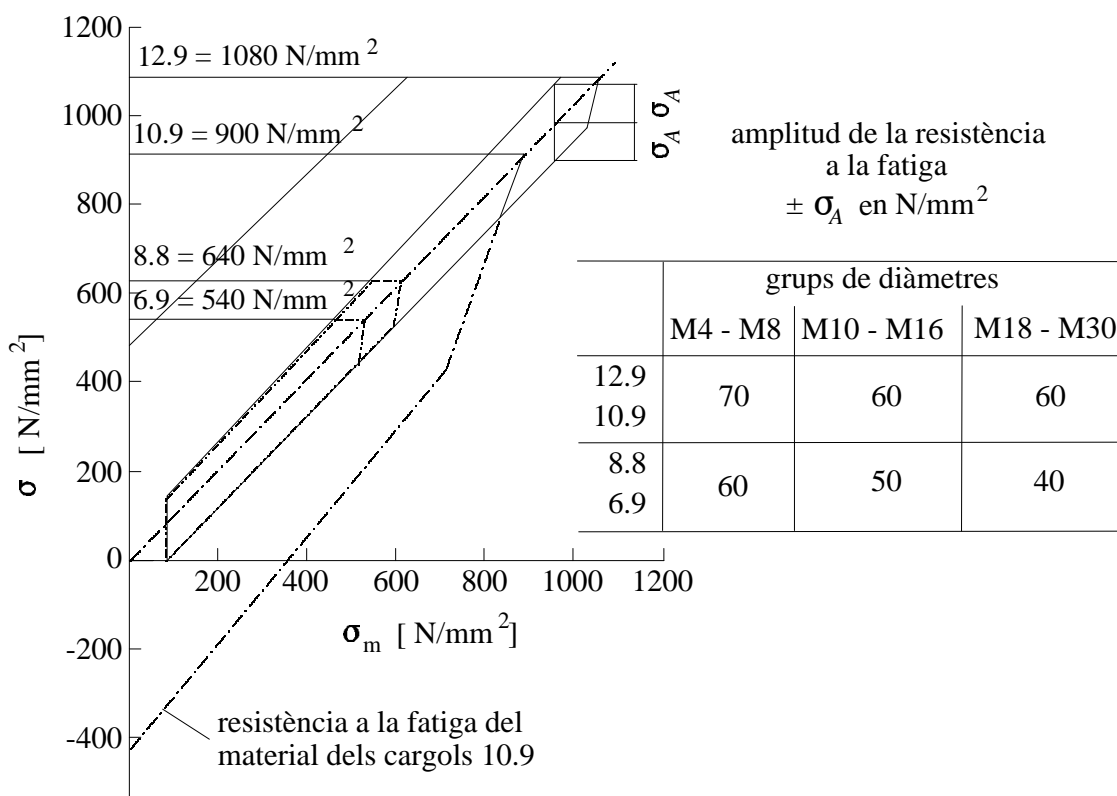


Fig. 5.4 Resistència a la fatiga de cargols amb femella normal de compressió. Cargol amb rosca tallada i després bonificat

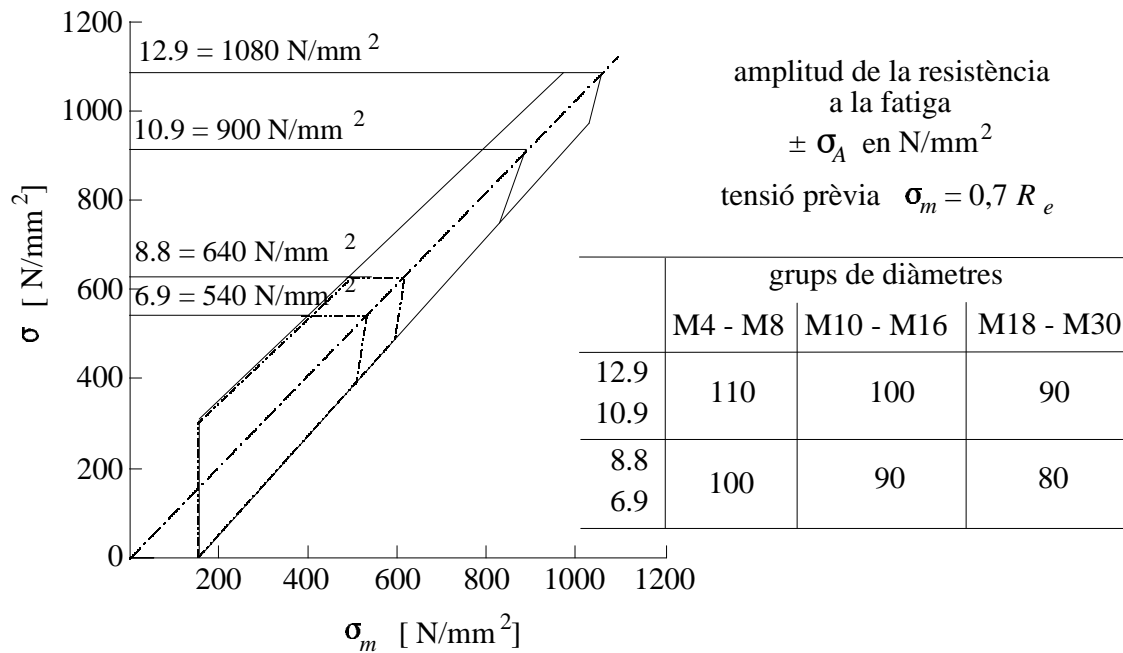


Fig. 5.5 Resistència a la fatiga de cargols amb femella normal de compressió. Cargol bonificat i laminació posterior de la rosca. Taula de valors de σ_A amb una collada prèvia que origina una $\sigma_m = 0,7 R_e$

La resistència amb femella de tracció augmenta en un 20%; i amb femella amb ranura de distensió, en un 10%.

c3) Seguretat

$$C_S = \frac{\sigma_A}{\sigma_a} \quad C_S \geq 1,5 \quad (13)$$

6 Unió sotmesa a càrrega transversal

6.1 Força separadora transversal

En una unió cargolada les peces unides poden estar sotmeses a una força separadora paral·lela al pla de la juntura, que tendeix a separar-les, fent-les lliscar entre elles.

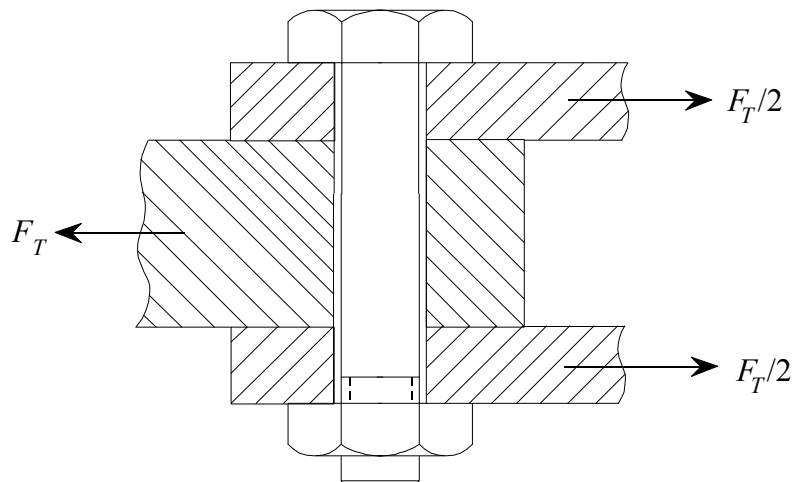


Fig. 6.1 Unió sotmesa a càrrega transversal

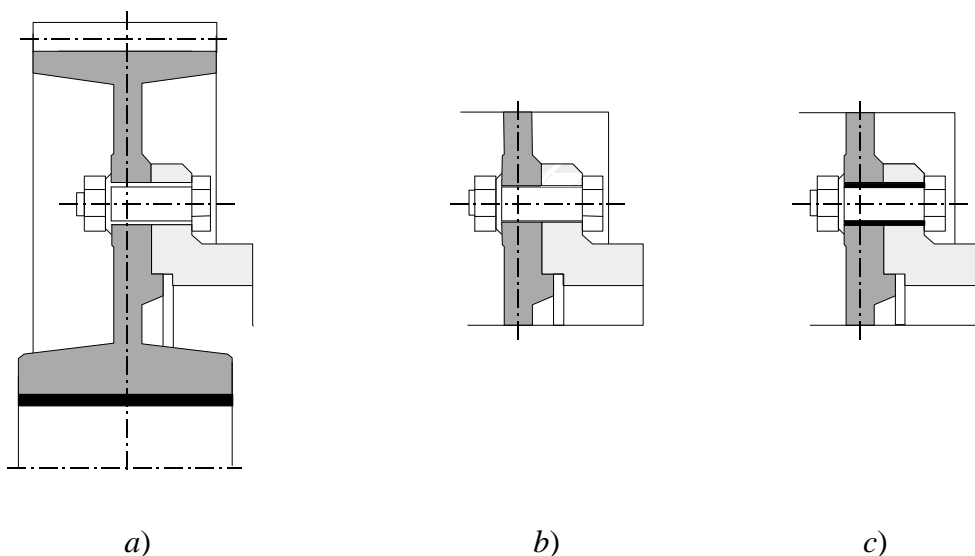
El sistema cargol-femella ha d'impedir que les peces unides llisquin entre elles.

La força separadora és transversal al cargol.

La unió pot resistir la força transversal de dues maneres:

- Que els cargols originin un fregament entre les peces unides.
- Que els cargols resisteixin a cisallament.

A la transmissió de parells de gir es presenten, habitualment, unions amb força separadora transversal (Fig. 6.2).



a) cargol passant i resistència per fregament; b) cargol ajustat amb resistència a cisallament; c) cargol passant i maneguet a cisallament

Fig. 6.2 Unió cargolada en una transmissió de parell de gir

6.2 Unió per fregament

En una unió per fregament, els cargols són passants, és a dir, tenen joc respecte el forat (Fig. 6.3).

La força transversal, F_T , tendeix a separar les peces unides, fent-les lliscar.

S'ha d'originar una resistència al lliscament mitjançant la força de fregament, F_f , entre les peces unides.

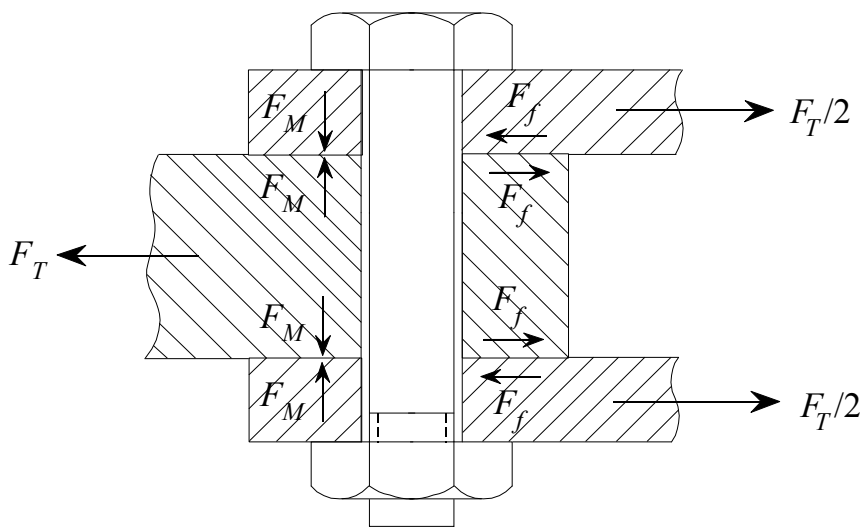


Fig. 6.3 Resistència per fregament

Es pot establir un coeficient de seguretat contra el lliscament, C_s .

Valors orientatius:

$$\begin{aligned} C_s &= 1,25 && \text{per a màquines i estructures} \\ C_s &= 1,6 && \text{per a ponts i grues} \end{aligned}$$

$$F_T = \frac{F_f}{C_s} \quad (1)$$

Força de fregament	=	$F_f = F_M \mu n m$
Força de muntatge	=	F_M
Coefficient de fregament	=	$\mu = 0,10 \dots 0,15$ en màquines
Nombre de cargols	=	n
Nombre de superfícies de fregament	=	m

Força de muntatge necessària (mínima)

$$F_M = \frac{F_T C_s}{n m \mu} \quad (\text{mínima}) \quad (2)$$

a) *Unió de qualitat normal*

La unió pot ser dissenyada com de qualitat normal si la força transversal és estàtica i un lliscament eventual no és crític.

Es pot fer un càlcul simplificat estimant l'assentament.

$$\Delta F_M \approx \frac{1}{3} F_{M \min} \quad (3)$$

Seqüència de càlcul: la indicada a b)

b) *Unió d'alta qualitat*

Si amb força transversal estàtica un lliscament eventual pot ser crític, o bé si la força transversal és variable, la unió ha de ser dissenyada com a unió d'alta qualitat.

En el càlcul cal determinar l'assentament. La seqüència de càlcul és:

- Després de l'assentament. Condició de no lliscament

$$F_T \leq C_S F_f \leq n m \mu F'_{M \min}$$

- Abans de l'assentament. Condició de no fallada del cargol

$$\Delta F_M \leq F_{M \min} \leq \alpha_c F_{M \max} \leq F_{M \lim} \leq d M_M \leq M'_M$$

6.3 Unió amb cargol sotmès a cisallament

En aquesta variant d'unió sotmesa a càrrega transversal s'utilitzen *cargols ajustats*, que tenen la tija constituïda per una part llisa, que ocupa pràcticament la totalitat de la longitud del forat, i per una altra part, que és roscada. La part llisa de la tija omple sense que hi hagi joc el forat de les peces unides i s'oposa al seu lliscament sota la força transversal (Fig. 6.4).

La part llisa de la tija queda sol·licitada, igual que un rebló o un passador, per la força transversal, F_T , a cisallament i a aixafament lateral.

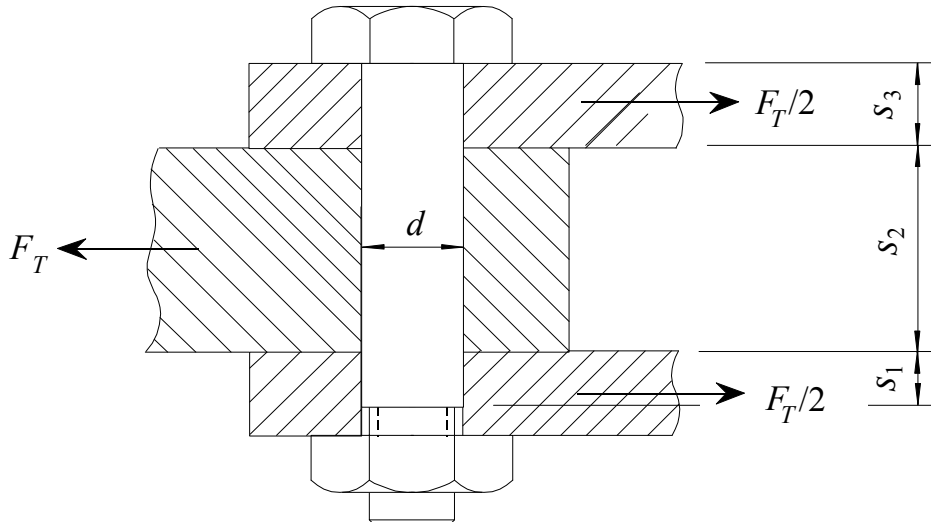


Fig. 6.4 Resistència a cisallament

Sol·licitació

a) Cisallament

- Tensió de cisallament:

$$\tau = \frac{F_T}{Amn} \leq \tau_{adm} \quad (4)$$

m = nombre de seccions de cisallament

n = nombre de cargols

- Secció de cisallament de la tija llisa:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (5)$$

La unió amb cargols ajustats és cara, més que pels cargols, per la perforació de les peces unides, que ha de ser de gran precisió perquè s'hi puguin inserir els cargols.

L'aparellament de la part roscada de la tija i de la femella no està sotmès a càrrega significativa i només té la funció de retenir el cargol.

b) Aixafament lateral

- Pressió de contacte lateral:

$$\sigma_l = \frac{F_T}{dsn} \leq \sigma_{ladm} \quad (6)$$

s = longitud de contacte

S'ha de controlar la pressió en el cargol i a cada una de les peces.

Resistència

Cal tenir en compte que la força transversal sigui estàtica o variable.

Valors orientatius:

força estàtica:	$\tau_{adm} \approx 0,4 R_e$
força pulsatòria:	$\tau_{adm} \approx 0,3 R_e$
força alternativa:	$\tau_{adm} \approx 0,15 R_e$
en tots els casos	$\sigma_{ladm} \approx 2 \tau_{adm}$

Bibliografia

NIEMANN, G. *Elementos de máquinas*. Labor, Barcelona, 1987.

SHIGLEY, E.S. i MISCHE, Ch.R. *Mechanical Engineering Design*. 5a edició. Mc. Graw-Hill Book Company, Nova York, 1989.

V.D.I. - RICHTLINIEN. *VDI 2230 Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen*. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, 1986.

JUVINAL, R.C. *Fundamentos de diseño para ingeniería mecánica*. Limusa, Mèxic, 1991.

DECKER, K.H. *Maschinenelemente*. Hanser, Munic, 1982.

ROLOFF, H. i MATEK, W. *Maschinenelemente*. Vieweg, Braunschweig, 1976.

ORLOV, P. *Ingeniería de diseño*. Mir, Moscou, 1979.