

ÍNDEX

A.	EVOLUCIÓ DEL SISTEMA MODULAR DE DISSIPACIÓ.....	3
B.	CÀLCULS	5
B.1.	DESPLAÇAMENT I FORÇA D'INICI DE PLASTIFICACIÓ, ABONYEGAMENT	5
B.2.	RESISTÈNCIA DE LES UNIONS CARGOLADES	13
B.2.1.	Tipus de cargols.....	13
B.2.2.	Disposicions constructives	13
B.2.3.	Sistema Modular de Dissipació Estàndard	14
B.2.3.1.	Resistència a tallant a la secció transversal del cargol	16
B.2.3.2.	Resistència a l'aixafament de la xapa que s'uneix	17
B.2.4.	Sistema Modular de Dissipació en paral·lel.....	20
B.2.4.1.	Resistència a tallant a la secció transversal del cargol	21
B.2.4.2.	Resistència a l'aixafament de la xapa que s'uneix	23
B.2.5.	Sistema Modular de Dissipació en sèrie.....	25
B.3.	PROCÉS DE FABRICACIÓ DELS PROTOTIPS	27
B.3.1.	Sistema Modular de Dissipació Estàndard	27
B.3.1.1.	Planejat	27
B.3.1.2.	Contornejat.....	29
B.3.1.3.	Ranures.....	30
B.3.1.4.	Buidat	31
B.3.2.	Sistema Modular de Dissipació en paral·lel.....	33
B.3.2.1.	Planejat	33
B.3.2.2.	Contornejat.....	34
B.3.2.3.	Ranures.....	35
B.3.2.4.	Buidat	37
B.3.3.	Sistema Modular de Dissipació en sèrie.....	38
B.3.3.1.	Planejat	38
B.3.3.2.	Contornejat.....	38
B.3.3.3.	Ranures.....	39

B.3.3.4. Buidat	40
C. ESTIMACIÓ ECONÒMICA PROCÉS DE FABRICACIÓ.....	41
D. INFORMACIÓ TÈCNICA.....	43
D.1. Unions cargolades	43

A. EVOLUCIÓ DEL SISTEMA MODULAR DE DISSIPACIÓ

Com a condicions de partida per iniciar el desenvolupament i disseny del nou dissipador d'energia es parteix d'una geometria inicial que contempla la forma de treballar i el comportament que ha de tenir. La figura a.1 mostra el disseny inicial del Sistema Modular de Dissipació.

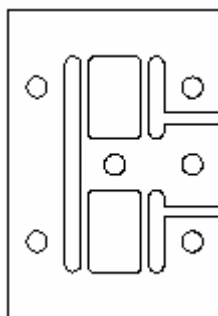


Figura a.1. Disseny inicial del SMD

A partir d'aquesta idea es millora el dimensionament del dissipador amb la finalitat d'obtenir un disseny més òptim. El disseny final del Sistema Modular de Dissipació estudiat és el que es mostra a la figura a.2. Aquest seria el dissipador Estàndard i a partir d'aquest es poden fer diverses adaptacions pel que fa a la disposició dels seus mòduls, obtenint per exemple el SMD en paral·lel i el SMD en sèrie analitzats al present projecte.

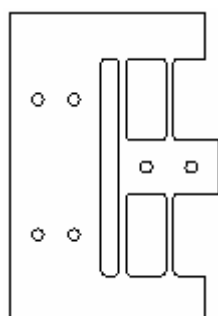


Figura a.2. Disseny final del SMD Estàndard

Com es pot observar a les dues figures anteriors els principals canvis es produeixen a les zones dels mòduls i els forats, i també a la forma del contorn del dissipador.

Al capítol 6 del document Memòria s'explica el criteri i les consideracions preses pel

dimensionament del mòdul bàsic de dissipació del SMD. En quan els forats per collar els cargols, es prescindeix dels situats a la zona dreta de la part més rígida del dissipador (veure figura a.1). Els diàmetres dels forats depenen del tipus de cargols necessaris per realitzar la unió del dissipador amb el connector i el braç. A l'apartat B.2 de l'Annex B es calculen els diàmetres dels cargols i per tant els diàmetres i el nombre de forats que ha d'haver al dissipador, a més a més de les distàncies necessàries entre forats. D'aquesta manera es defineixen certes mesures de les parts més rígides del dissipador.

Finalment, els canvis més destacats que es produeixen al contorn del dissipador són deguts a la optimització del material i així reduir el seu cost. Al suprimir els forats esmentats anteriorment, es prescindeix del material on estaven ubicats. D'altra banda, les cotes que defineixen el contorn del dissipador venen donades per les distàncies requerides entre forats (normativa aplicada pels càlculs a l'apartat B.2 de l'Annex B) i per la rigidesa necessària que cal donar-li a les parts superior i inferior del dissipador. Al realitzar l'anàlisi del comportament del dissipador al programa d'elements finits cal comprovar que aquestes parts siguin suficientment rígides perquè no vinclin i es deformin plàsticament.

B. CÀLCULS

B.1. DESPLAÇAMENT I FORÇA D'INICI DE PLASTIFICACIÓ, ABONYEGAMENT

El procediment seguit pel càlcul del desplaçament i la força d'inici de plastificació és el següent:

El desplaçament màxim produït al dissipador degut a la deformació elàstica dels mòduls es calcula a partir de l'equació b.1, que té en compte la deformació per flexió i tallant.

$$d_e = \left[\frac{H^3}{12EI} + \frac{H'}{A_w G} \right] V \quad (\text{Eq.b.1})$$

- On
- H: Alçada de la zona de la secció en doble T del dissipador
 - E: Mòdul de Young
 - I: Moment d'inèrcia de la secció transversal respecte l'eix de flexió
 - H': Alçada de l'ànima descomptant l'amplada total dels rigiditzadors
 - A_w: Àrea de la secció transversal
 - G: Mòdul elàstic a tallant
 - V: Esforç tallant

Amb la tensió de fluència del material del dissipador es calcula la tensió d'inici de plastificació per tallant pur, deduïda a partir de l'expressió de Von Mises. La σ_y és 235 MPa.

$$\tau_y = \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} \quad (\text{Eq.b.2})$$

El valor obtingut es substitueix a l'equació b.3 del tallant, basada en la teoria de bigues rectes a flexió, i es dedueix la força d'inici de plastificació al centre de l'ànima.

$$V_y = \frac{\tau_y I t_w}{S_{fw}} \quad (\text{Eq.b.3})$$

On I és el moment d'inèrcia de la secció transversal respecte l'eix de flexió expressat a l'equació b.4, t_w el gruix de l'ànima de la secció doble T i S_{fw} el moment estàtic de mitja secció respecte l'eix de flexió expressat a l'equació b.5. Pel càlcul de les anteriors variables, inèrcia i moment estàtic, es poden utilitzar les següents expressions:

$$I = \frac{1}{12} \cdot [(b_f \cdot d^3) - (b_f - t_w) \cdot b^3] \quad (\text{Eq.b.4})$$

$$S_{fw} = S_f + \frac{(d/2 - t_f)^2 \cdot t_w}{2} \quad (\text{Eq.b.5})$$

On d és l'alçada de la secció doble T, t_f el gruix de les ales de la secció i S_f el moment estàtic de la secció de l'ala respecte l'eix de flexió. La seva expressió es mostra a l'equació b.6.

$$S_f = b_f \cdot t_f \cdot \frac{d - t_f}{2} \quad (\text{Eq.b.6})$$

Un cop calculat l'esforç tallant d'inici de plastificació es calcula el moment flector a la secció més desfavorable, que correspon a la secció A-A' mostrada a la figura b.1, que és la que suporta el moment flector màxim dins del mòdul bàsic de dissipació.

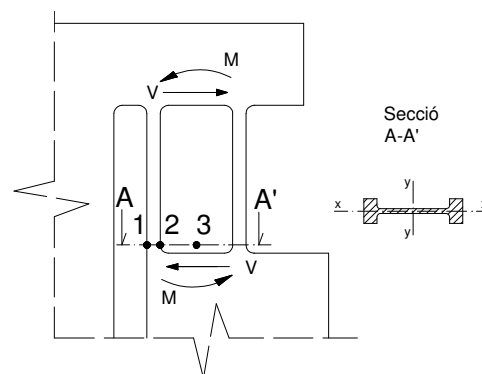


Figura b.1. Detall del mòdul del Sistema Modular de Dissipació

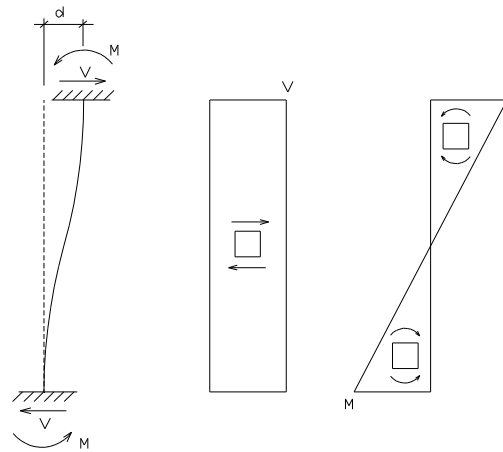


Figura b.2. Distribució d'esforços tallant i de moments flectors al mòdul Basic de dissipació

L'equació utilitzada pel càlcul del moment és la següent:

$$M_{A-A'} = V_y \cdot \frac{H}{2} \quad (\text{Eq.b.7})$$

On V_y és la força d'inici de plastificació i H l'alçada del mòdul.

Seguidament es calculen les tensions normals màximes a les ales i l'ànima del mòdul del dissipador mitjançant l'equació de la flexió basada en la teoria de bigues rectes. És a dir, les tensions normals en els punts 1, 2 i 3 de la secció A-A' de la figura b.1.

$$\sigma_{1,2,3} = \frac{M_{A-A'} \cdot x}{I} \quad (\text{Eq.b.8})$$

A partir de l'equació del tallant es calculen les tensions tallants als punts 1, 2 i 3 de la secció A-A' per finalment aplicar el criteri de Von Mises en els punts esmentats.

$$\tau_{1,2,3} = \frac{V_y \cdot S_{f, fw}}{I \cdot t_w} \quad (\text{Eq.b.9})$$

$$\sigma_{vm1,2,3} = \sqrt{\sigma_{1,2,3}^2 + 3 \cdot \tau_{1,2,3}^2} \quad (\text{Eq.b.10})$$

El procés pel càlcul d'inici d'abonyegament a l'ànima del mòdul és el següent:

En primer lloc, es calcula la deformació angular a partir de l'equació b.11 deduïda per Kasai i Popov.

$$\gamma_{m,b} = 8.7K_s(\alpha)\left(\frac{1}{\beta}\right)^2 \quad (\text{Eq.b.11})$$

On k_s adopta els valors següents:

$$k_s = 8.98 + \frac{5.6}{(\alpha)^2} \quad \text{per } \alpha \geq 1 \quad (\text{Eq.b.12})$$

$$k_s = 5.6 + \frac{8.98}{(\alpha)^2} \quad \text{per } \alpha \leq 1 \quad (\text{Eq.b.13})$$

Els paràmetres α i β són el quocient entre la distància des del centre dels rigiditzadors i l'amplada d'ànima, i la relació amplada d'ànima i espessor respectivament.

$$\alpha = \frac{a}{b} \quad (\text{Eq.b.14})$$

$$\beta = \frac{b}{t_w} \quad (\text{Eq.b.15})$$

Finalment l'equació b.16 permet calcular el desplaçament d'inici d'abonyegament.

$$d_{m,b} = \gamma_{m,b} \cdot H' \quad (\text{Eq.b.16})$$

Un cop sabut els procediments anteriors, a través d'una fulla de càlcul es pot jugar amb diferents valors de les dimensions del mòdul amb la finalitat de trobar les més interessants i adients per complir el desplaçament entre plantes de 30 mm.

Realitzant varies proves, els valors considerats per les dimensions del mòdul bàsic de

dissipació són els que es mostren a la taula següent:

Dades geomètriques del mòdul	Valors (mm)
H	90
d	60
b	44
b_f	15
t_f	8
t_w	3

Taula b.1. Valors de la geometria del mòdul fonamental de dissipació

On H' equival a la H ja que hi ha absència de rigiditzadors en l'ànima del mòdul.

Els resultats obtinguts a partir de la realització dels procediments anteriors esmentats són els que figuren en la taula següent:

Resultats d'esforços, tensions i desplaçament d'inici de plastificació			
Paràmetres	Unitats	Valors	
E	MPa	210000	
G	MPa	80000	
σ_y	MPa	235	
τ_y	MPa	135,67731	
I	mm ⁴	184816	
S_f	mm ³	3120	
S_{fw}	mm ³	3846	
V_y	N	19559,546	
$M_{A-A'}$	Nmm	880179,58	
σ	MPa	1	142,874
		2	104,774
		3	0
τ	MPa	1	0
		2	110,065

		3	135,677
σ_{vm}	MPa	1	142,874
		2	217,534
		3	235
d_e	mm		0,1973165

Taula b.2. Esforços, tensions i desplaçament d'inici de plastificació

Observant els resultats que mostra la taula b.2, es veu que el model adoptat preveu que la plastificació s'inicia al centre de l'ànima del mòdul, és a dir, al punt 3 de la secció A-A'. El valor de la tensió de Von Mises al punt 3 coincideix amb el valor del límit de fluència del material. També s'observa que la tensió de l'ànima és força uniforme, atenent la tensió del punt 2.

El resultat del càlcul del desplaçament d'inici d'abonyegament teòric de l'ànima del mòdul es mostra a la següent taula:

Paràmetres	Unitats	Valors
α		2,045
β		14,67
K_s		10,318
$\gamma_{m,b}$	radiants	0,41732
$d_{m,b}$	mm	37,559

Taula b.3. Deformació angular i desplaçament d'inici d'abonyegament

Finalment, pel que fa a la capacitat pròpia de deformació plàstica del material del dissipador, la seva ductilitat ja ha estat experimentada en projectes anteriors (Cahís F. X., 2001).

En comportament histerètic (figura b.3), el desplaçament màxim que s'assolia era d'uns 18 mm aproximadament. Per passar-ho a deformació angular es pren l'expressió de l'equació b.17.

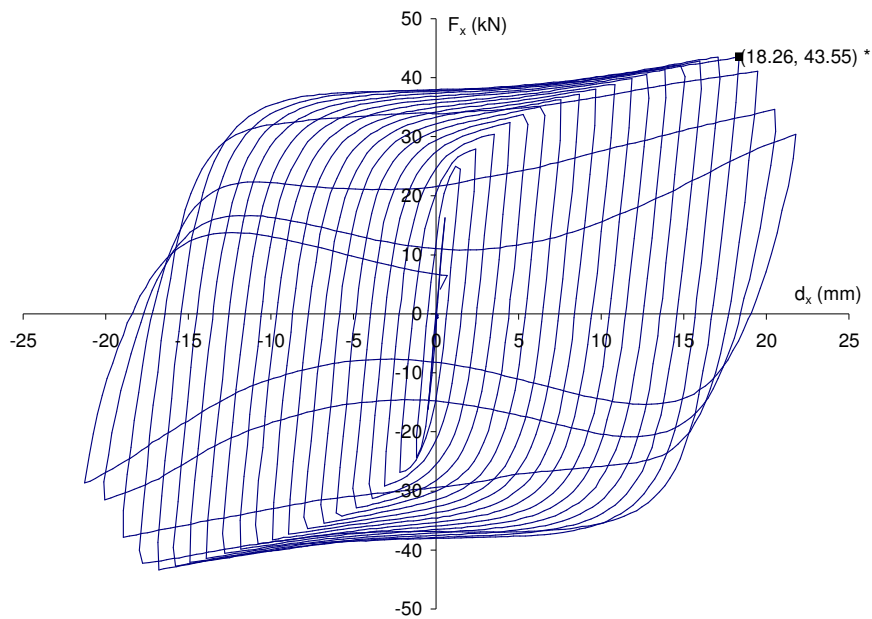


Figura b.3. Comportament histerètic d'un mòdul bàsic del dissipador tipus A1 (Cahís F.X., 2001)

$$\gamma = \frac{d}{H} \quad (\text{Eq.b.17})$$

El dissipador Shear Link tipus A1 (figura b.4) (Cahís F. X., 2001) constava d'un mòdul amb rigiditzadors transversals per evitar l'abonyegament de la seva ànima. En aquest cas, la H considerada era l'alçada del mòdul menys la suma dels gruixos dels diversos rigiditzadors. El valor que prenia el paràmetre H era de 116 mm, per tant el valor de la distorsió angular era de 0,1551 radianys.

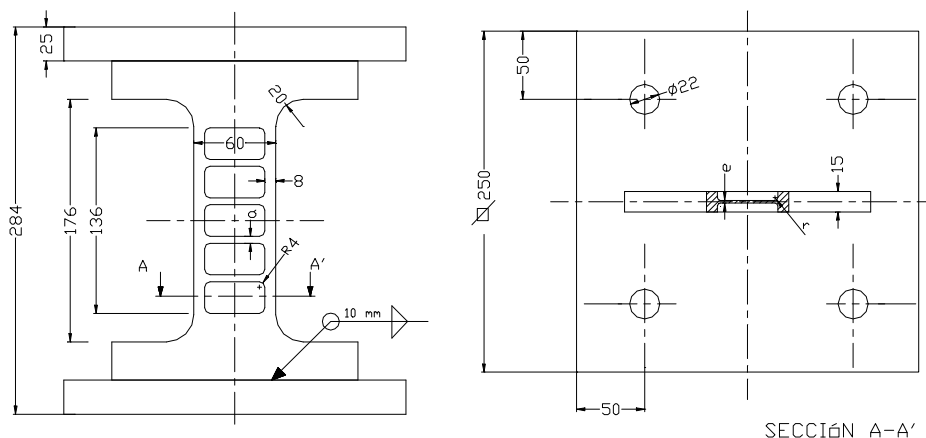


Figura b.4. Geometria i dimensions al dissipador tipus A (Cahís F. X., 2001)

En el cas del mòdul del SMD, l'alçada H del mòdul bàsic de dissipació és de 90 mm. Per tant es pot calcular el valor del desplaçament màxim a banda i banda del dissipador partint de l'estat de no deformació, mitjançant l'equació b.17. El valor que s'obté és de 13,96 mm com a desplaçament màxim a cada sentit i de 27,92 passant des de l'estat de tracció al de compressió o viceversa.

B.2. RESISTÈNCIA DE LES UNIONS CARGOLADES

La normativa aplicada per la realització dels càlculs de les unions cargolades del present projecte es troba al Codi Tècnic de l'edificació, concretament al capítol 8 Unions del Document Bàsic SE-A, Seguretat estructural – acer.

B.2.1. Tipus de cargols

Els cargols utilitzats en unions d'estructures d'acer són alguns dels graus 4.6, 5.6, 6.8, 8.8 o 10.9. Els valors nominals del límit elàstic f_{yb} i de la tensió de ruptura f_{ub} s'indiquen a la taula següent:

Grau del cargol	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
f_{yb} (MPa)	240	300	480	640	900
f_{ub} (MPa)	400	500	600	800	1000

Taula b.4. Graus de qualitat dels cargols

Els cargols de grau 8.8 i 10.9 són d'alta resistència. Els utilitzats a les unions del Sistema Modular de Dissipació amb els elements estructurals que es connecten, els connectors i el braç, són cargols de grau 10.9.

Les unions cargolades estan formades pels cargols, les femelles i les volanderes. Les característiques tècniques de cada un d'aquests elements utilitzats al sistema dissipatiu es poden consultar a l'Annex D.

B.2.2. Disposicions constructives

La situació dels cargols ha de contribuir a reduir la possibilitat de corrosió i vinclament local de les xapes a unir, així com també contemplar les necessitats de muntatge i inspeccions futures.

Els límits màxims i mínims per les distàncies entre eixos dels forats o d'aquests amb

els extrems de les peces són els següents (figura b.5):

Distàncies mínimes en la direcció de la força que es transmet:

$$e_1 \geq 1,2 \cdot d_0 \quad (\text{Eq.b.18})$$

$$p_1 \geq 2,2 \cdot d_0 \quad (\text{Eq.b.19})$$

Distàncies mínimes en la direcció perpendicular a la força que es transmet:

$$e_2 \geq 1,5 \cdot d_0 \quad (\text{Eq.b.20})$$

$$p_2 \geq 3 \cdot d_0 \quad (\text{Eq.b.21})$$

essent d_0 el diàmetre del forat.

Distàncies màximes a l'extrem de la peça:

$$\text{Per } e_1 \text{ i } e_2 \leq \text{mín} \{12t \text{ o } 150 \text{ mm}; 40 \text{ mm} + 4t\} \quad (\text{Eq.b.22})$$

Distàncies màximes entre cargols:

$$\text{Per } p_1 \text{ i } p_2 \leq \text{mín} \{14 \cdot t; 200 \text{ mm}\} \quad (\text{Eq.b.23})$$

essent t l'espessor en mm de la menor de les peces que s'uneixen.

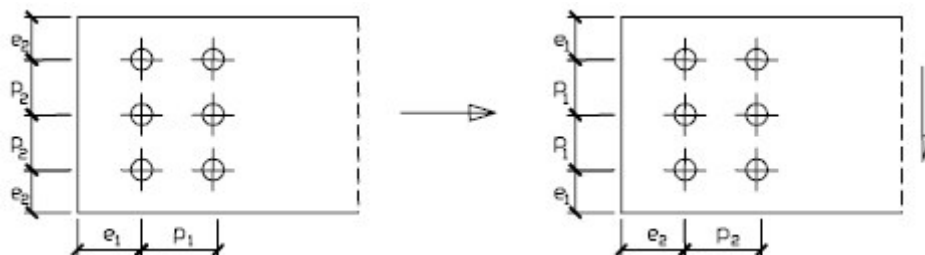


Figura b.5. Disposició dels forats

B.2.3. Sistema Modular de Dissipació Estàndard

Pel disseny dels cargols del dissipador format per 2 mòduls es tenen en compte les característiques següents:

Nombre de mòduls:	2
Alçada del mòdul del dissipador:	$H_{mòdul} = 90 \text{ mm}$
Gruix del dissipador:	$t = 15 \text{ mm}$
Esforç tallant d'inici de plastificació:	$V_y \approx 20.000 \text{ N}$

Esforç tallant últim de ruptura (Cahís F. X., 2001):	$V_u \approx 2 \cdot V_y = 40.000 \text{ N}$
Material del dissipador:	Acer S235JR
Límit elàstic del material:	$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$
Límit últim del material:	$f_u = 360 \text{ N/mm}^2$

A partir de l'esforç tallant últim de ruptura V_u es defineix l'esforç tallant de sol·licitació V_{sd} que han de suportar els cargols abans no es trenquin. Interessa assegurar-se que el sistema dissipatiu no cedeixi per les unions cargolades, per aquest motiu es té en compte un factor de seguretat n de 2 al definir la resistència mínima que han de tenir els cargols. Per tant, es considera l'expressió de l'equació b.24 acord amb els paràmetres definits a la figura b.6.

$$V_{sd} = n^{\circ} \text{mòduls} \cdot V_u \cdot n = 2 \cdot 40.000 \cdot 2 = 160.000 \text{ N} \quad (\text{Eq.b.24})$$

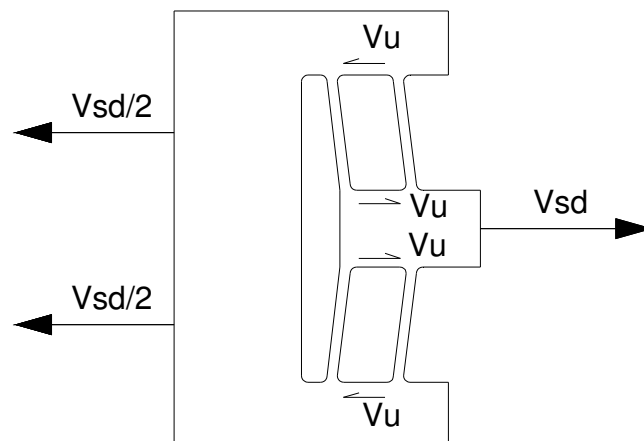


Figura b.6. Esforços de sol·licitació al SMD Estàndard

Per tant s'ha de complir que la resistència de les unions cargolades sigui igual o superior a l'esforç tallant de sol·licitació V_{sd} . Aquesta resistència s'obté a partir de la distribució d'esforços entre cargols i de les resistències de cada un d'aquests segons el seu esforç, sigui per tallant, tracció o tensió combinada. La resistència de càlcul a tallant per cargol té com a valor el menor de la resistència a tallant de les seccions del cargol o a l'aixafament de la xapa d'unió.

B.2.3.1. Resistència a tallant a la secció transversal del cargol

En primer lloc es calcula la resistència dels cargols a la connexió dissipador – connector.

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 \cdot f_{ub} \cdot A \cdot n}{\gamma_{M2}} \quad (\text{Eq.b.25})$$

Essent n el nombre de plans de tall, f_{ub} la resistència última de l'acer del cargol i A l'àrea de la canya del cargol o bé l'àrea resistent del cargol depenent de si els plans de tall es troben a la zona de la part roscada del cargol o a la part de la canya.

Hi ha dos plans de tall ja que es colla un perfil U a cada cara del dissipador, el coeficient parcial de seguretat relatiu a la resistència última del material o secció i a la resistència dels mitjans d'unió és $\gamma_{M2} = 1,25$, i la resistència última del cargol és 1000 MPa.

Per iniciar els càlculs, es parteix d'un cargol mètric 12 amb una longitud de canya de 55 mm, dels quals 23 és roscada. Els plans de tall es troben a la part no roscada del cargol, per tant l'àrea a considerar és la de la canya. L'àrea considerada és la següent:

$$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 6^2 = 113,1 \text{ mm}^2 \quad (\text{Eq.b.26})$$

Per tant la resistència d'un cargol,
$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 \cdot 1000 \cdot 113,1 \cdot 2}{1,25} = 90480 \text{ N}$$

En aquesta connexió la resistència dels cargols ha de ser igual o superior a l'esforç tallant de sol·licitació de 160000 N. Per tant, col·locant dos cargols en sèrie:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot 90480 = 180960 \text{ N} \geq V_{sd} = 160000 \text{ N} \quad \text{Compleix}$$

D'altra banda es calcula la resistència dels cargols a la connexió dissipador – braç. En aquest cas, els cargols han de suportar la meitat de l'esforç tallant de sol·licitació ja que la

força exercida es reparteix entre els cargols superiors i inferiors. Per tant col·locant dos cargols, un a la part superior o l'altra a l'inferior del dissipador:

$$F_{v,Rd} = 90480 \text{ N} \geq \frac{V_{sd}}{2} = 80000 \text{ N} \quad \text{Compleix}$$

Es comprova que els cargols de M12 resisteixen a tallant.

B.2.3.2. Resistència a l'aixafament de la xapa que s'uneix

En primer lloc es calcula la resistència a l'aixafament de la xapa a la connexió dissipador – connector.

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad (\text{Eq.b.27})$$

$$t = \text{mín}\{t_d; t_c + t_c\} \quad (\text{Eq.b.28})$$

Essent d el diàmetre de la canya del cargol, t_d l'espessor del dissipador, t_c l'espessor del perfil U, t el menor espessor de les xapes que s'uneixen, f_u la resistència última de l'acer de les xapes que s'uneixen i α el menor de:

$$\alpha = \text{mín}\left\{\frac{e_1}{3 \cdot d_o}; \frac{p_1}{3 \cdot d_o} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right\} \quad (\text{Eq.b.29})$$

On e_1 és la distància de l'eix del forat a l'extrem de la xapa en la direcció de la força que es transmet, p_1 la separació entre forats en la direcció de la força que es transmet i d_o el diàmetre del forat.

Tenint en compte que s'ha considerat un diàmetre de cargol de 12 mm, el diàmetre del forat corresponent és de 13 mm. Les condicions inicials del projecte marquen que els perfils U del connector tenen un gruix de 8 mm, i el gruix trobat pel dissipador és de 15 mm. A partir de les equacions formulades a l'apartat de les disposicions constructives, es consideren els

següents valors:

$$e_1 = 30 \text{ mm}$$

$$p_1 = 50 \text{ mm}$$

$$e_2 = 30 \text{ mm}$$

$$t = 16 \text{ mm}$$

$$\text{per tant, } \alpha = \min \left\{ \frac{30}{3 \cdot 13}; \frac{50}{3 \cdot 13} - \frac{1}{4}; \frac{1000}{360}; 1 \right\} = 0,77$$

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \cdot 0,77 \cdot 360 \cdot 12 \cdot 16}{1,25} = 106444,8 \text{ N}$$

En aquesta connexió la resistència dels cargols ha de ser igual o superior a l'esforç tallant de sol·licitació de 160000 N. Per tant, col·locant dos cargols en sèrie:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot 106444,8 = 212889,6 \text{ N} \quad \geq \quad V_{sd} = 160000 \text{ N} \quad \text{Compleix}$$

D'altra banda es calcula la resistència dels cargols a la connexió dissipador – braç. En aquest cas, els cargols han de suportar la meitat de l'esforç tallant de sol·licitació ja que la força exercida es reparteix entre els cargols superiors i inferiors.

Tenint en compte les condicions inicials del projecte, el gruix que correspon als perfils omega del braç és de 4 mm. A partir de les equacions formulades a l'apartat de les disposicions constructives, es consideren els següents valors:

$$e_1 = 30 \text{ mm}$$

$$p_1 = 40 \text{ mm}$$

$$e_2 = 37,5 \text{ mm}$$

$$t = 8 \text{ mm}$$

Per tant,
$$\alpha = \min\left\{\frac{30}{3 \cdot 13}; \frac{40}{3 \cdot 13} - \frac{1}{4}; \frac{1000}{360}; 1\right\} = 0,77$$

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \cdot 0,77 \cdot 360 \cdot 12 \cdot 8}{1,25} = 53222,4 \text{ N}$$

Per tant col·locant quatre cargols, dos a la part superior i dos a l'inferior del dissipador:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot 53222,4 = 106444,8 \text{ N} \geq \frac{V_{sd}}{2} = 80000 \text{ N} \quad \text{Compleix}$$

D'acord amb els càlculs realitzats de resistència a tallant del cargol i resistència a l'aixafament de la xapa, la disposició dels cargols al Sistema Modular de Dissipació Estàndard per tal de complir amb les expressions donades és la mostrada a la figura b.7.

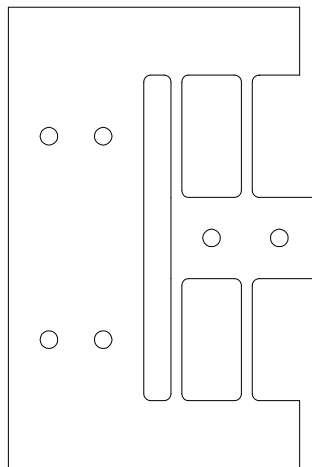


Figura b.7. Nombre i disposició dels forats al SMD Estàndard

La connexió dissipador – connector està formada per dos cargols M12 col·locats en sèrie. La connexió dissipador – braç està formada per quatre cargols M12, dos en sèrie a la part superior i dos en sèrie a l'inferior.

B.2.4. Sistema Modular de Dissipació en paral·lel

Pel disseny dels cargols del dissipador format per 4 mòduls en paral·lel es tenen en compte les característiques següents:

Nombre de mòduls:	4
Alçada del mòdul del dissipador:	$H_{mòdul} = 90 \text{ mm}$
Gruix del dissipador:	$t = 15 \text{ mm}$
Esforz tallant d'inici de plastificació:	$V_y \approx 20.000 \text{ N}$
Esforz tallant últim de ruptura:	$V_u \approx 2 \cdot V_y = 40.000 \text{ N}$
Material del dissipador:	Acer S235JR
Límit elàstic del material:	$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$
Límit últim del material:	$f_u = 360 \text{ N/mm}^2$

Per definir l'esforç tallant de sol·licitació V_{sd} es segueix el mateix procediment que a l'apartat B.2.3 però tenint en compte que el nombre de mòduls és 4 en aquest cas. Per tant utilitzant l'expressió de l'equació b.24 acord amb els paràmetres de la figura b.8 s'obté:

$$V_{sd} = n^{\circ} \text{ mòduls} \cdot V_u \cdot n = 4 \cdot 40.000 \cdot 2 = 320000 \text{ N} \quad (\text{Eq.b.24})$$

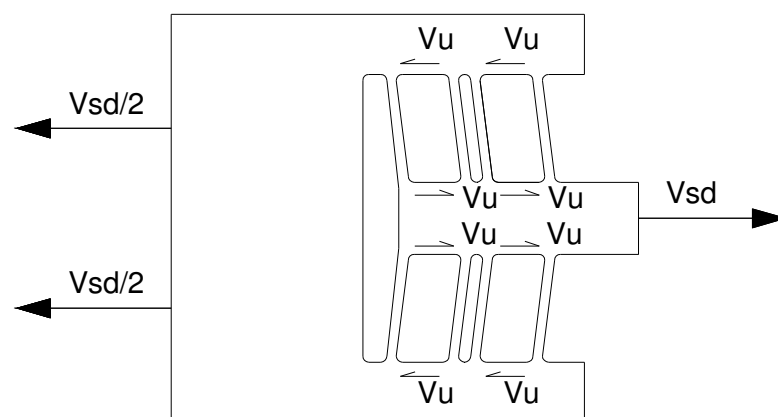


Figura b.8. Esforços de sol·licitació al SMD en paral·lel

S'ha de complir que la resistència de les unions cargolades sigui igual o superior a l'esforç tallant de sol·licitació V_{sd} . La resistència de les unions cargolades s'obté a partir de la

distribució d'esforços entre cargols i de les resistències de cada un d'aquests segons el seu esforç, sigui per tallant, tracció o tensió combinada. La resistència de càlcul a tallant per cargol té com a valor el menor de la resistència a tallant de les seccions del cargol o a l'aixafament de la xapa d'unió.

B.2.4.1. Resistència a tallant a la secció transversal del cargol

El procediment seguit és el mateix que el de l'apartat B.2.3.1. En primer lloc es calcula la resistència dels cargols a la connexió dissipador – connector a partir de l'equació b.25.

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 \cdot f_{ub} \cdot A \cdot n}{\gamma_{M2}} \quad (\text{Eq.b.25})$$

Essent n el nombre de plans de tall, f_{ub} la resistència última de l'acer del cargol i A l'àrea de la canya del cargol o bé l'àrea resistent del cargol depenent de si els plans de tall es troben a la zona de la part roscada del cargol o a la part de la canya.

Hi ha dos plans de tall ja que es colla un perfil U a cada cara del dissipador, el coeficient parcial de seguretat relatiu a la resistència última del material o secció i a la resistència dels mitjans d'unió és $\gamma_{M2} = 1,25$, i la resistència última del cargol és 1000 MPa.

Per iniciar els càlculs, es parteix d'un cargol mètric 12 amb una longitud de canya de 55 mm, dels quals 23 és roscada. Els plans de tall es troben a la part no roscada del cargol, per tant l'àrea a considerar és la de la canya. L'àrea considerada és la següent:

$$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 6^2 = 113,1 \text{ mm}^2 \quad (\text{Eq.b.26})$$

Per tant la resistència d'un cargol,
$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 \cdot 1000 \cdot 113,1 \cdot 2}{1,25} = 90480 \text{ N}$$

En aquesta connexió la resistència dels cargols ha de ser igual o superior a l'esforç tallant de sol·licitació de 320000 N. Per tant, col·locant quatre cargols en sèrie:

$$F_{v,Rd} = 4 \cdot 90480 = 361920 \text{ N} \geq V_{sd} = 320000 \text{ N} \quad \text{Compleix}$$

Són masses cargols i aquest fet provoca que aquesta part del dissipador sigui molt llarga per poder realitzar els 4 forats respectant les distàncies límit. Per aquest motiu es realitzen els càlculs partint d'un cargol mètric 16 amb una longitud de canya de 55 mm, dels quals 23 és roscada. Per tant els plans de tall es troben a la zona no roscada del cargol i l'àrea a tenir en compte és la de la canya. L'àrea considerada és la següent:

$$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 8^2 = 201 \text{ mm}^2 \quad (\text{Eq.b.26})$$

Per tant la resistència d'un cargol, $F_{v,Rd} = \frac{0,5 \cdot 1000 \cdot 201 \cdot 2}{1,25} = 160800 \text{ N}$

Col·locant 2 cargols en sèrie:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot 160800 = 321600 \text{ N} \geq V_{sd} = 320000 \text{ N} \quad \text{Compleix}$$

D'altra banda es calcula la resistència dels cargols a la connexió dissipador – braç. En aquest cas, els cargols han de suportar la meitat de l'esforç tallant de sol·licitació ja que la força exercida es reparteix entre els cargols superiors i inferiors. Per tant col·locant dos cargols, un a la part superior i l'altre a l'inferior del dissipador:

$$F_{v,Rd} = 160800 \text{ N} \geq \frac{V_{sd}}{2} = 160000 \text{ N} \quad \text{Compleix}$$

Es comprova que els cargols de M16 resisteixen a tallant.

B.2.4.2. Resistència a l'aixafament de la xapa que s'uneix

El procediment seguit és el mateix que el de l'apartat B.2.3.2. En primer lloc es calcula la resistència a l'aixafament de la xapa a la connexió dissipador – connector.

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad (\text{Eq.b.27})$$

$$t = \min\{t_d; t_c + t_c\} \quad (\text{Eq.b.28})$$

Essent d el diàmetre de la canya del cargol, t_d l'espessor del dissipador, t_c l'espessor del perfil en U del connector, t el menor espessor de les xapes que s'uneixen, f_u la resistència última de l'acer de les xapes que s'uneixen i α el menor de:

$$\alpha = \min\left\{\frac{e_1}{3 \cdot d_o}; \frac{p_1}{3 \cdot d_o} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right\} \quad (\text{Eq.b.29})$$

On e_1 és la distància de l'eix del forat a l'extrem de la xapa en la direcció de la força que es transmet, p_1 la separació entre forats en la direcció de la força que es transmet i d_o el diàmetre del forat.

Tenint en compte l'apartat anterior s'ha considerat un diàmetre de cargol de 16 mm, per tant el diàmetre del forat corresponent en aquest cas és de 17 mm. Les condicions inicials del projecte marquen que els perfils U del connector tenen un gruix de 8 mm, i el gruix trobat pel dissipador és de 15 mm. A partir de les equacions formulades a l'apartat de les disposicions constructives, es consideren els següents valors:

$$e_1 = 40 \text{ mm}$$

$$p_1 = 60 \text{ mm}$$

$$e_2 = 30 \text{ mm}$$

$$t = 16 \text{ mm}$$

$$\text{per tant, } \alpha = \min\left\{\frac{40}{3 \cdot 17}; \frac{60}{3 \cdot 17} - \frac{1}{4}; \frac{1000}{360}; 1\right\} = 0,784$$

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \cdot 0,784 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 16}{1,25} = 144506,88 \text{ N}$$

En aquesta connexió la resistència dels cargols ha de ser igual o superior a l'esforç tallant de sol·licitació de 320000 N. Per tant, col·locant tres cargols en sèrie:

$$F_{v,Rd} = 3 \cdot 144506,88 = 433520,64 \text{ N} \geq V_{sd} = 320000 \text{ N} \quad \text{Compleix}$$

D'altra banda es calcula la resistència dels cargols a la connexió dissipador – braç. En aquest cas, els cargols han de suportar la meitat de l'esforç tallant de sol·licitació ja que la força exercida es reparteix entre els cargols superiors i inferiors.

Tenint en compte les condicions inicials del projecte, el gruix que correspon als perfils omega del braç és de 4 mm. A partir de les equacions formulades a l'apartat de les disposicions constructives, es consideren els següents valors:

$$e_1 = 40 \text{ mm}$$

$$p_1 = 40 \text{ mm}$$

$$e_2 = 37,5 \text{ mm}$$

$$t = 8 \text{ mm}$$

$$\text{Per tant, } \alpha = \min\left\{\frac{40}{3 \cdot 17}; \frac{40}{3 \cdot 17} - \frac{1}{4}; \frac{1000}{360}; 1\right\} = 0,784$$

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \cdot 0,784 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 8}{1,25} = 75264 \text{ N}$$

Per tant col·locant sis cargols, tres a la part superior i tres a l'inferior del dissipador:

$$F_{v,Rd} = 3 \cdot 75264 = 225792 \text{ N} \geq \frac{V_{sd}}{2} = 160000 \text{ N} \quad \text{Compleix}$$

D'acord amb els càlculs realitzats de resistència a tallant del cargol i resistència a l'aixafament de la xapa, la disposició dels cargols al Sistema Modular de Dissipació en paral·lel per tal de complir amb les expressions donades és la mostrada a la figura b.9.

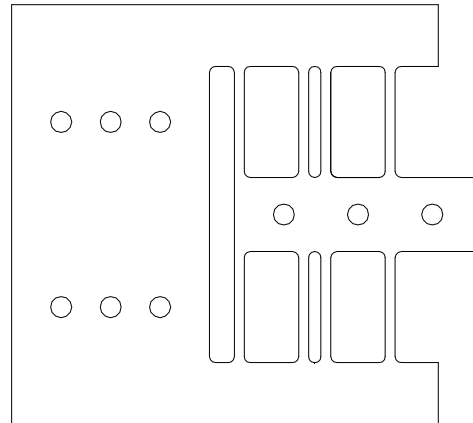


Figura b.9. Nombre i disposició dels forats al SMD en paral·lel

La connexió dissipador – connector està formada per tres cargols M16 col·locats en sèrie. La connexió dissipador – braç està formada per sis cargols M16, tres en sèrie a la part superior i tres en sèrie a l'inferior.

B.2.5. Sistema Modular de Dissipació en sèrie

Aquest tipus de dissipador està format per dos Sistemes Modulars de Dissipació Estàndard en sèrie. Per aquest motiu, l'esforç tallant de sol·licitació V_{sd} que han de resistir els cargols muntats al SMD en sèrie és el mateix que el cas del SMD Estàndard. Les característiques d'aquests dos tipus de dissipadors es poden consultar al capítol 4 del document Memòria. L'expressió considerada és l'equació b.24 acord amb els paràmetres definits a la figura b.10.

$$V_{sd} = n^{\circ} \text{ mòduls} \cdot V_u \cdot n = 2 \cdot 40.000 \cdot 2 = 160.000 \text{ N} \quad (\text{Eq.b.24})$$

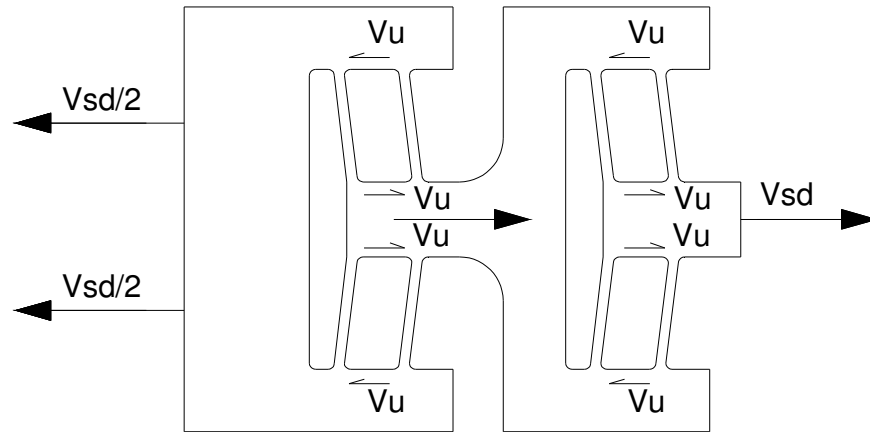


Figura b.10. Esforços de sol·licitació al SMD en sèrie

Per tant la disposició dels cargols en aquest tipus de dissipador és el mostrat a la figura b.11.

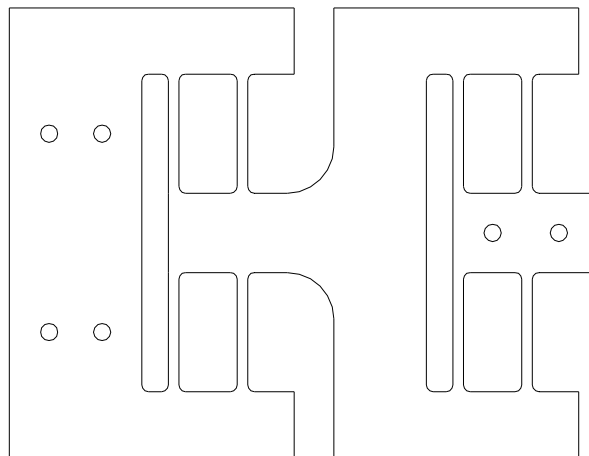


Figura b.11. Nombre i disposició dels forats al SMD en sèrie

La connexió dissipador – connector està formada per dos cargols M12 col·locats en sèrie. La connexió dissipador – braç està formada per quatre cargols M12, dos en sèrie a la part superior i dos en sèrie a l'inferior.

B.3. PROCÉS DE FABRICACIÓ DELS PROTOTIPS

En aquest apartat es realitzen els càlculs per determinar els temps de tall de les diferents operacions de mecanitzat que intervenen a la fabricació dels tres tipus de prototips: el SMD Estàndard, el SMD en paral·lel i el SMD en sèrie.

La màquines utilitzades per realitzar les operacions són una màquina làser de control numèric pel contornejat de la peça i una fresadora de control numèric per les operacions de planejat de les xapes i mecanitzat de les ranures i caixeres.

El material de partida per dur a terme la fabricació del dissipador és una xapa d'acer S235JR laminada en calent, i 15 mm de gruix.

B.3.1. Sistema Modular de Dissipació Estàndard

B.3.1.1. Planejat

El planejat de les xapes permet obtenir les superfícies paral·leles. La fresa utilitzada és de tipus plat i treballa frontalment. L'expressió que determina el temps de tall de les diferents operacions de mecanitzat és la mostrada a l'equació b.30.

$$t_c = \frac{L_c}{V_a} \quad (\text{Eq.b.30})$$

Essent V_a la velocitat d'avanç de la fresa i L_c la longitud de tall total. En aquesta operació la velocitat d'avanç considerada és de 150 mm/minut i la fresa té un diàmetre de 63 mm. La longitud de tall depèn del nombre de recorreguts necessaris per finalitzar l'operació de tall corresponent. L'expressió que determina la longitud de tall de cada operació és la següent:

$$L_c = n \cdot R \quad (\text{Eq.b.31})$$

Essent n el nombre de recorreguts necessaris per realitzar l'operació i R la longitud de

recorregut.

Com que hi ha xapes de diferents dimensions, per comptabilitzar el recorregut de planejat R_p de cada SMD Estàndard es considera que el tall necessari de xapa per dissipador és de 400x300 mm, i que el diàmetre de la fresa és de 63 mm. Cal tenir en compte que el mecanitzat es fa a les dues cares de la xapa. Per tant el recorregut aproximat per planejar-la és el següent:

$$R_p = 2 \cdot 400 \cdot 5 = 4000 \text{ mm}$$

El nombre de recorreguts n a realitzar a banda i banda de la xapa és un, per tant a partir de l'equació b.31 es calcula la longitud de tall:

$$L_c = n \cdot R_p = 1 \cdot R_p = 1 \cdot 4000 = 4000 \text{ mm} \quad (\text{Eq.b.31})$$

Finalment es determina el temps de tall de l'operació mitjançant l'equació b.30:

$$t_c \text{ planejat} = \frac{L_c}{V_a} = \frac{4000}{150} = 26,67 \text{ minuts} \quad (\text{Eq.b.30})$$

B.3.1.2. Contornejat

Aquesta operació de tall dóna la forma exterior del dissipador, és a dir, la silueta. A la figura b.12 es mostra el contorn del SMD Estàndard amb les seves dimensions.

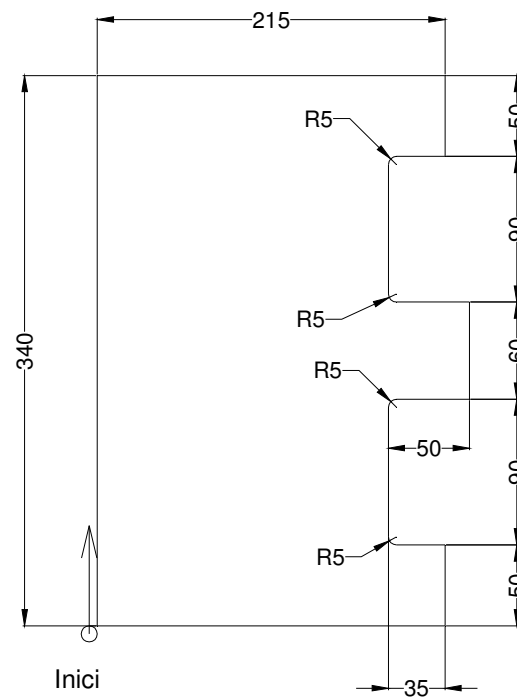


Figura b.12. Contornejat del SMD Estàndard

El recorregut necessari per resseguir el contorn de la peça és el següent:

$$R_{co} = 340 + 10 + 215 + 10 + 50 + 10 + 35 + 80 + 50 + 60 + 10 + 50 + 80 + 35 + 50 + 10 + 215 = 1310 \text{ mm}$$

Tenint en compte que el tall del contorn es realitza amb un recorregut, la longitud de tall és de 1310 mm. En aquesta operació es considera una velocitat d'avanç de 120 mm/minut. Per tant, mitjançant l'equació b.30, es calcula el temps de tall del contornejat:

$$t_{c \text{ contorn}} = \frac{Lc}{Va} = \frac{1310}{120} = 10,916 \text{ minuts} \quad (\text{Eq.b.30})$$

B.3.1.3. Ranures

El SMD Estàndard consta de dos tipus de ranures, per una banda la ranura llarga i per l'altra els forats per col·locar-hi els cargols. La fresa a utilitzar és de tipus cilíndrica formada per dos dents de tall i amb un diàmetre de 10 mm. A la figura b.13 es mostren les dimensions de la ranura llarga.

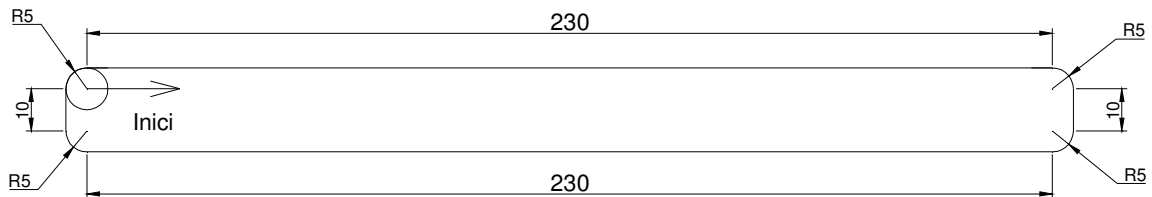


Figura b.13. Ranura tipus 1

El recorregut per realitzar la ranura 1 és el següent:

$$R_{r1} = 230 + 10 + 230 + 10 = 480 \text{ mm}$$

Com que el dissipador té un gruix de 15 mm, el nombre de recorreguts a realitzar depèn de la profunditat de passada que es realitza a cada recorregut. Es considera per aquests tipus d'operacions i tenint en compte les característiques de la fresa, una profunditat de passada p de 3 mm. Per tant es realitzen 5 recorreguts per finalitzar l'operació de mecanitzat de les ranures, essent la longitud de tall:

$$L_c = n \cdot R_{r1} = 5 \cdot R_{r1} = 5 \cdot 480 = 2400 \text{ mm} \quad (\text{Eq.b.31})$$

Pel càlcul de la longitud de tall dels forats es realitza el mateix procediment. A la figura b.14 es mostra la dimensió del forat.

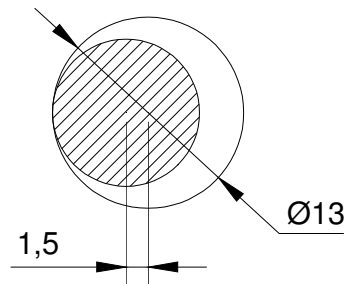


Figura b.14. Ranura tipus 2

El recorregut per realitzar la ranura 2 és el següent:

$$R_{r,2} = 2 \cdot \pi \cdot 1,5 = 9,425 \text{ mm}$$

Per tant la longitud de tall per realitzar un forat:

$$L_c = n \cdot R_{r,2} = 5 \cdot R_{r,2} = 5 \cdot 9,425 = 47,125 \text{ mm} \quad (\text{Eq.b.31})$$

Tenint en compte que el SMD Estàndard consta de 6 forats, la longitud de tall total del tipus de ranura 2 és de 282,75 mm. Per tant, sumant les longituds de tall de la ranura llarga i dels forats s'obté una longitud de tall total de l'operació de 2682,75 mm. El temps de tall per realitzar les ranures es determina a partir de l'equació b.30, considerant que la velocitat d'avanç de la fresa és de 150 mm/minut:

$$t_{c, \text{ranures}} = \frac{L_c}{V_a} = \frac{2682,75}{150} = 17,88 \text{ minuts} \quad (\text{Eq.b.30})$$

B.3.1.4. Buidat

L'operació de buidat s'utilitza per formar les caixeres, és a dir, els mòduls del dissipador. Aquest tipus de dissipador consta de dos mòduls, per tant el nombre de caixeres a realitzar són 4, 2 a cada cara del dissipador. La fresa a utilitzar és de tipus cilíndrica formada per dos dents de tall i amb un diàmetre de 10 mm. A la figura b.15 es mostra la caixa amb les seves dimensions.

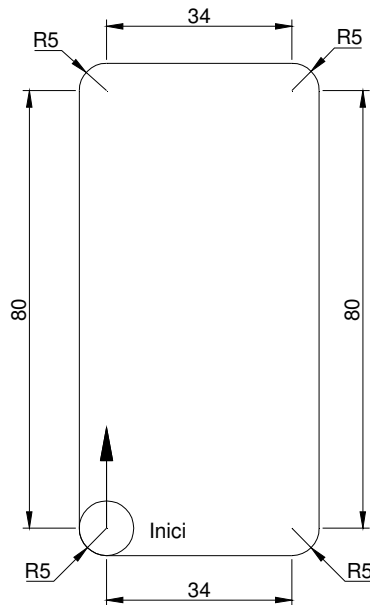


Figura b.15. Buidat de la caixa

El recorregut necessari per formar una caixa és el següent:

$$R_{ca} = 80 + 10 + 80 + 10 + 80 + 10 + 80 + 4 + 80 = 434 \text{ mm}$$

Pel càlcul de la longitud de tall cal tenir en compte el nombre de recorreguts a realitzar en aquesta operació i la profunditat de passada. Per la formació d'un mòdul es realitza una caixa a cada cara del dissipador. Per aquest motiu, sabent que el dissipador té un gruix de 15 mm i que el mòdul té un gruix de 3, la profunditat necessària per fer el buidat és de 6 mm. Considerant la profunditat de passada de 3 mm, el nombre de recorreguts necessaris per finalitzar l'operació de buidat d'una caixa és de 2. Per tant la longitud de tall d'una caixa utilitzant l'expressió de l'equació b.31:

$$L_c = n \cdot R_{ca} = 2 \cdot R_{ca} = 2 \cdot 434 = 868 \text{ mm} \quad (\text{Eq.b.31})$$

Tenint en compte que el SMD Estàndard consta de 2 mòduls, es realitzen 4 operacions de buidat amb la formació de 4 caixeres que formen els dos mòduls. Per tant, la longitud de tall total és de 3472 mm. Considerant una velocitat d'avanç de la fresa de 150 mm/minut, el temps de tall de l'operació de buidat:

$$t_{c\text{caixeres}} = \frac{Lc}{Va} = \frac{3472}{150} = 23,15 \text{ minuts} \quad (\text{Eq.b.30})$$

Finalment es calcula el temps total de fabricació tenint en compte els temps de tall calculats a les diferents operacions de tall anteriors. Es considera que la suma del temps de preparació, el temps improductiu i el de canvi d'eina és al voltant del 50% de la suma dels temps de tall.

$$t_t = \sum t_c + 0,5 \cdot \sum t_c = 1,5 \cdot (t_{c\text{planejat}} + t_{c\text{contorn}} + t_{c\text{ranures}} + t_{c\text{caixeres}}) \quad (\text{Eq.b.32})$$

$$t_t = \sum t_c + 0,5 \cdot \sum t_c = 118 \text{ minuts}$$

B.3.2. Sistema Modular de Dissipació en paral·lel

B.3.2.1. Planejat

El procediment seguit és el mateix que el de l'apartat B.3.1.1 corresponent al dissipador Estàndard.

En aquest cas, per comptabilitzar el recorregut de planejat R_p de cada SMD en paral·lel es considera que el tall necessari de xapa per dissipador és de 400X400 mm, i el diàmetre de la fresa és de 63 mm. Tenint en compte que el mecanitzat es realitza a les dues cares de la xapa, el recorregut aproximat per planejar-la és el següent:

$$R_p = 2 \cdot 400 \cdot 7 = 5600 \text{ mm}$$

El nombre de recorreguts n a realitzar a banda i banda de la xapa és un, per tant a partir de l'equació b.31 es calcula la longitud de tall:

$$L_c = n \cdot R_p = 1 \cdot R_p = 1 \cdot 5600 = 5600 \text{ mm} \quad (\text{Eq.b.31})$$

Finalment es determina el temps de tall de l'operació mitjançant l'equació b.30 i

considerant la velocitat d'avanç de 150 mm/minut:

$$t_c \text{ planejat} = \frac{Lc}{Va} = \frac{5600}{150} = 37,33 \text{ minuts} \quad (\text{Eq.b.30})$$

B.3.2.2. Contornejat

El procediment seguit és el mateix que el realitzat a l'apartat B.3.1.2 corresponent al dissipador estàndard. A la figura b.16 es mostra el contorn del dissipador en paral·lel amb les seves dimensions.

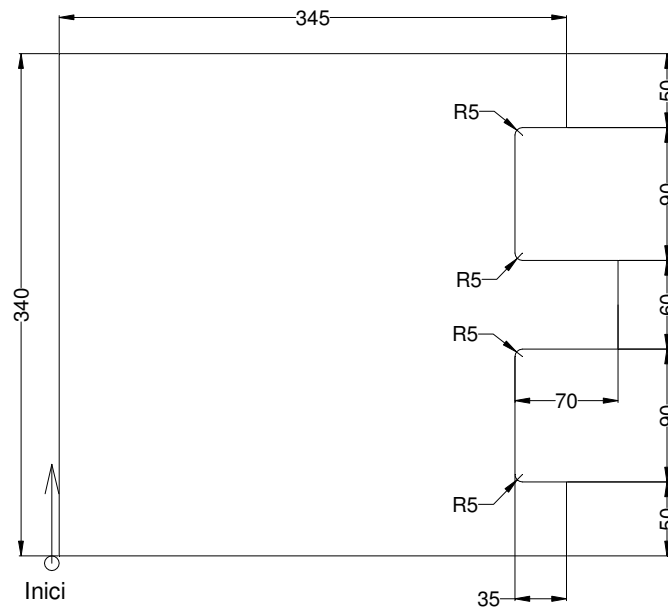


Figura b.16. Contornejat del SMD en paral·lel

El recorregut necessari per resseguir el contorn de la peça és el següent:

$$R_{co} = 340 + 10 + 345 + 10 + 50 + 10 + 35 + 80 + 50 + 60 + 10 + 50 + 80 + 35 + 50 + 10 + 345 = 1570 \text{ mm}$$

Tenint en compte que el tall del contorn es realitza amb un recorregut, la longitud de tall és de 1570 mm. En aquesta operació es considera una velocitat d'avanç de 120 mm/minut. Per tant, mitjançant l'equació b.30, es calcula el temps de tall del contornejat:

$$t_{c\text{contorn}} = \frac{Lc}{Va} = \frac{1570}{120} = 13,1 \text{ minuts} \quad (\text{Eq.b.30})$$

B.3.2.3. Ranures

El procediment seguit és el mateix que el realitzat a l'apartat B.3.1.3 corresponent al dissipador estàndard. La fresa a utilitzar és de tipus cilíndrica formada per dos dents de tall i amb un diàmetre de 10 mm. EL SMD en paral·lel consta de 3 tipus de ranures, la ranura llarga, els forats per a col·locar-hi els cargols i la ranura entre mòduls.

Pel que fa a la longitud de tall de la ranura llarga, aquesta és la mateixa que la calculada anteriorment. I pren el valor de 2400 mm. Respecte la formació dels forats, a la figura b.17 es mostren les seves dimensions.

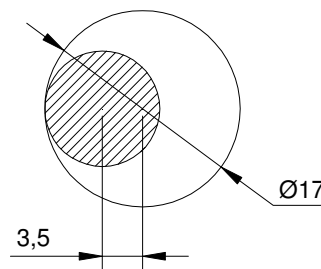


Figura b.17. Ranura tipus 2

El recorregut per realitzar aquesta ranura és el següent:

$$R_{r_2} = 2 \cdot \pi \cdot 3,5 = 22 \text{ mm}$$

Per tant la longitud de tall per realitzar un forat:

$$L_c = n \cdot R_{r_2} = 5 \cdot R_{r_2} = 5 \cdot 22 = 110 \text{ mm} \quad (\text{Eq.b.31})$$

Tenint en compte que el SMD en paral·lel consta de 9 forats, la longitud de tall total del tipus de ranura 2 és de 990 mm.

Per últim hi ha la ranura ubicada entre mòduls del dissipador. A la figura b.18 es mostren les seves dimensions.

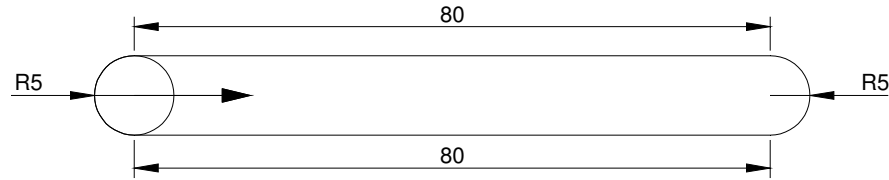


Figura b.18. Ranura tipus 3

El recorregut per realitzar aquesta ranura és el següent:

$$R_{r3} = 80 \text{ mm}$$

Per tant la longitud de tall a realitzar:

$$L_c = n \cdot R_{r3} = 5 \cdot R_{r3} = 5 \cdot 80 = 400 \text{ mm} \quad (\text{Eq.b.31})$$

El dissipador consta de dos ranures d'aquest tipus ja que consta de 4 mòduls, dos a la part superior i dos a l'inferior. Per tant la longitud de tall total és de 800 mm.

Sumant les longituds de tall de la ranura llarga, dels forats i de les ranures entre mòduls s'obté una longitud de tall total de l'operació de 4190 mm. El temps de tall per realitzar les ranures es determina a partir de l'equació b.30, considerant la velocitat d'avanç de 150 mm/minut.

$$t_{c \text{ ranures}} = \frac{L_c}{V_a} = \frac{4190}{150} = 28 \text{ minuts} \quad (\text{Eq.b.30})$$

B.3.2.4. Buidat

El procediment seguit és el mateix que el realitzat a l'apartat B.3.1.4 corresponent al dissipador estàndard. La fresa a utilitzar és de tipus cilíndrica formada per dos dents de tall i amb un diàmetre de 10 mm. Com que les dimensions del mòdul són iguals pels tres tipus de dissipadors estudiats, la longitud de tall a realitzar per formar una caixa és el mateix que el calculat anteriorment, és a dir, de 868 mm. Tenint en compte que aquest tipus de dissipador consta de 4 mòduls, el nombre de caixeres a realitzar és 8, 4 a cada cara del dissipador. Per tant la longitud de tall total és de 6944 mm. El temps de tall de l'operació de buidat, considerant una velocitat d'avanç de 150 mm/minut:

$$t_c \text{ caixeres} = \frac{Lc}{Va} = \frac{6944}{150} = 46,3 \text{ minuts} \quad (\text{Eq.b.30})$$

Finalment es calcula el temps total de fabricació tenint en compte els temps de tall calculats a les diferents operacions de tall anteriors. Es considera que la suma del temps de preparació, el temps improductiu i el de canvi d'eina és al voltant del 50% de la suma dels temps de tall.

$$t_t = \sum t_c + 0,5 \cdot \sum t_c = 187 \text{ minuts} \quad (\text{Eq.b.32})$$

B.3.3. Sistema Modular de Dissipació en sèrie

B.3.3.1. Planejat

El procediment seguit és el mateix que el de l'apartat B.3.1.1 corresponent al dissipador Estàndard.

En aquest cas, per comptabilitzar el recorregut de planejat R_p de cada SMD en sèrie es considera que el tall necessari de xapa per dissipador és de 400X500 mm, i el diàmetre de la fresa és de 63 mm. Tenint en compte que el mecanitzat es realitza a les dues cares de la xapa, el recorregut aproximat per planejar-la és el següent:

$$R_p = 2 \cdot 500 \cdot 7 = 7000 \text{ mm}$$

El nombre de recorreguts n a realitzar a banda i banda de la xapa és un, per tant a partir de l'equació b.31 es calcula la longitud de tall:

$$L_c = n \cdot R_p = 1 \cdot R_p = 1 \cdot 7000 = 7000 \text{ mm} \quad (\text{Eq.b.31})$$

Finalment es determina el temps de tall de l'operació mitjançant l'equació b.30 i considerant la velocitat d'avanç de 150 mm/minut:

$$t_c \text{ planejat} = \frac{L_c}{V_a} = \frac{7000}{150} = 46,67 \text{ minuts} \quad (\text{Eq.b.30})$$

B.3.3.2. Contornejat

El procediment seguit és el mateix que el realitzat a l'apartat B.3.1.2 corresponent al dissipador estàndard. A la figura b.19 es mostra el contorn del SMD en sèrie amb les seves dimensions.

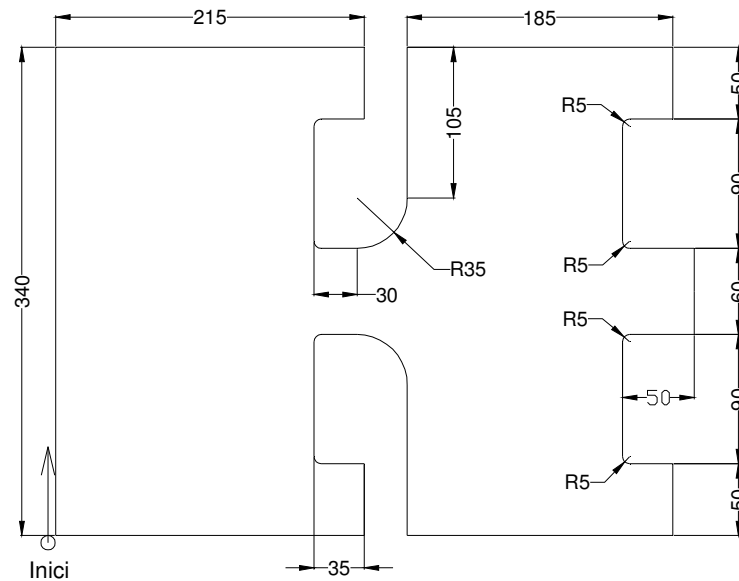


Figura b.19. Contornejat del SMD en sèrie

El recorregut necessari per resseguir el contorn de la peça és el següent:

$$R_{co} = 340 + 10 + 215 + 10 + 50 + 10 + 35 + 80 + 25 + 2 \cdot \pi \cdot 30 + 105 + 5 + 185 + 10 + 50 + 10 + 35 + 80 + 50 + 60 + 10 + 50 + 80 + 35 + 50 + 10 + 185 + 10 + 110 + 2 \cdot \pi \cdot 30 + 25 + 80 + 35 + 50 + 10 + 215 = 2697 \text{ mm}$$

Tenint en compte que el tall del contorn es realitza amb un recorregut, la longitud de tall és de 2697 mm. En aquesta operació es considera una velocitat d'avanç de 120 mm/minut. Per tant, mitjançant l'equació b.30, es calcula el temps de tall del contornejat:

$$t_{c \text{ contorn}} = \frac{Lc}{Va} = \frac{2697}{120} = 22,475 \text{ minuts} \quad (\text{Eq.b.30})$$

B.3.3.3. Ranures

El procediment seguit és el mateix que el realitzat a l'apartat B.3.1.3 corresponent al dissipador estàndard. La fresa a utilitzar és de tipus cilíndrica formada per dos dents de tall i amb un diàmetre de 10 mm. El SMD en sèrie consta també de 2 tipus de ranures, la ranura llarga i els forats per a col·locar-hi els cargols.

La longitud de tall de la ranura llarga és la mateixa que la calculada als apartats anteriors i pren el valor de 2400 mm. Com que aquest dissipador consta de 2 ranures llargues, la longitud de tall total del tipus de ranura 1 és de 4800 mm. Pel que fa a la formació dels forats, les seves dimensions són les mateixes que les dels forats del SMD Estàndard. Al constar també de 6 forats, la longitud de tall del tipus de ranura 2 és de 282,75 mm.

Sumant les longituds de tall de les ranures llargues i dels forats s'obté una longitud de tall total de l'operació de 5083 mm. El temps de tall per realitzar les ranures es determina a partir de l'equació b.30, considerant una velocitat d'avanç de 150 mm/minut:

$$t_{c\text{ranures}} = \frac{Lc}{Va} = \frac{5083}{150} = 34 \text{ minuts} \quad (\text{Eq.b.30})$$

B.3.3.4. Buidat

El procediment seguit és el mateix que el realitzat a l'apartat B.3.1.4 corresponent al dissipador estàndard. La fresa a utilitzar és de tipus cilíndrica formada per dos dents de tall i amb un diàmetre de 10 mm. El SMD en sèrie consta del mateix nombre de mòduls, i amb les mateixes dimensions, que el SMD en paral·lel. Per tant la longitud de tall total del buidat considerant una velocitat d'avanç de 150 mm/minut:

$$t_{c\text{caixeres}} = \frac{Lc}{Va} = \frac{6944}{150} = 46,3 \text{ minuts} \quad (\text{Eq.b.30})$$

Finalment es calcula el temps total de fabricació tenint en compte els temps de tall calculats a les diferents operacions de tall anteriors. Es considera que la suma del temps de preparació, el temps improductiu i el de canvi d'eina és al voltant del 50% de la suma dels temps de tall.

$$t_i = \sum t_c + 0,5 \cdot \sum t_c = 225 \text{ minuts} \quad (\text{Eq.b.32})$$

C. ESTIMACIÓ ECONÒMICA PROCÉS DE FABRICACIÓ

A partir dels resultats obtinguts a l'apartat B.3 de l'Annex B referents als temps totals de fabricació de cada un dels tres tipus de prototips analitzats, es realitza una estimació dels costos de producció que se'n deriven.

Es considera la fabricació de tres conjunts dissipatius amb els tres tipus de dissipadors analitzats. Per tant es fabriquen en total 3 tipus de dissipadors diferents, essent en total 6 dissipadors ja que a cada conjunt dissipatiu hi ha muntats dos dissipadors.

En primer lloc es defineixen els paràmetres que cal considerar per l'avaluació econòmica. Per una banda cal tenir en compte el cost que suposa la programació dels processos CAD-CAM. Es fabriquen tant sols dos dissipadors de cada tipus, per tant el cost de programació repercutit als dissipadors és del 50%. Es considera un temps de programació de cada dissipador de 45 minuts amb un cost de 16 € l'hora.

D'altra banda hi ha la taxa horària P_0 que representa el cost per fabricar durant una hora. Avui en dia les taxes per fabricar en una màquina com la fresadora oscil·len entre 35 i 60 € l'hora depenent de la quantitat de comanda realitzada. En aquest cas al tractar-se d'una fabricació de molt poques unitats, la taxa horària considerada és aproximadament 60 € l'hora. La taxa horària considerada per fabricar amb una màquina làser es considera també de 60 € l'hora.

En segon lloc cal tenir en compte el cost d'adquisició C_a de l'eina i el temps de vida de l'eina T utilitzada. Per les operacions de mecanitzat de ranures i caixeres s'utilitza una fresa tipus cilíndrica, i es considera un cost per adquirir-la de 20 € amb un temps de vida aproximat de 40 minuts. Per l'operació de planejat s'utilitza una fresa tipus plat i es realitzen les reposicions de les plaquetes de metall dur, considerant un cost unitari de 15 € per adquirir-les i un temps de vida de 120 minuts. I finalment el cost del material de la xapa d'acer aproximadament 0,6 €/kg i considerant la secció de xapa necessària per fabricar cada dissipador.

L'expressió que permet determinar el cost total de fabricació de la peça és la següent:

$$C_t = P_0 \cdot t_t + C_a \cdot \frac{\Sigma t_c}{T} \quad (\text{Eq.c.1})$$

essent t_t el temps total de fabricació de la peça i Σt_c el sumatori dels temps de tall de les diverses operacions que es realitzen sobre una mateixa peça.

Finalment l'equació que permet obtenir el cost final de cada un dels prototips:

$$C_p = C_{pr} + C_t + C_m \quad (\text{Eq.c.2})$$

essent C_{pr} el cost de programació, C_t el cost de fabricació del dissipador i C_m el cost del material de xapa d'acer utilitzat.

Per tant a la taula c.1 es mostren els costos del SMD Estàndard, del SMD en paral·lel i del SMD en sèrie.

Prototips	Cost material C_m	Cost programar C_{pr}	Cost fabricar C_t	Cost prototip C_p
SMD Estàndard	8,5 €	6 €	165 €	179,5 €
SMD en paral·lel	11,3 €	6 €	261,5 €	279 €
SMD en sèrie	14,2 €	6 €	311,8 €	332 €

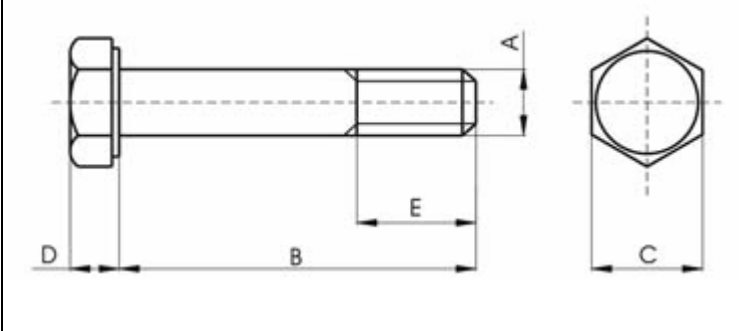
Taula c.1. Costos dels prototips

D. INFORMACIÓ TÈCNICA

D.1. Unions cargolades

Els tipus de cargols, femelles i volanderes utilitzades per realitzar les unions dels tres tipus de prototips de dissipadors analitzats amb els elements estructurals són els següents:

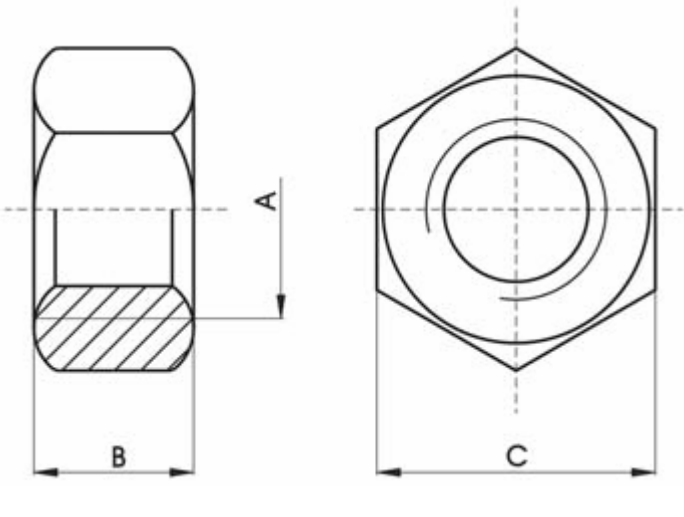
Cargol per estructures: DIN-6914 de cap hexagonal amb collarí, d'acer 10.9 i rosca mètrica.



A	M12	M16
Longitud B	55	55
Pas	1,75	2
E (si B ≤)	21 (40)	26 (70)
E (si B >)	23 (40)	28 (70)
D	8	10
C	22	27
Parell (Nm)	120	350
Mesures expressades en mm		

Taula d.1. Dimensions dels cargols

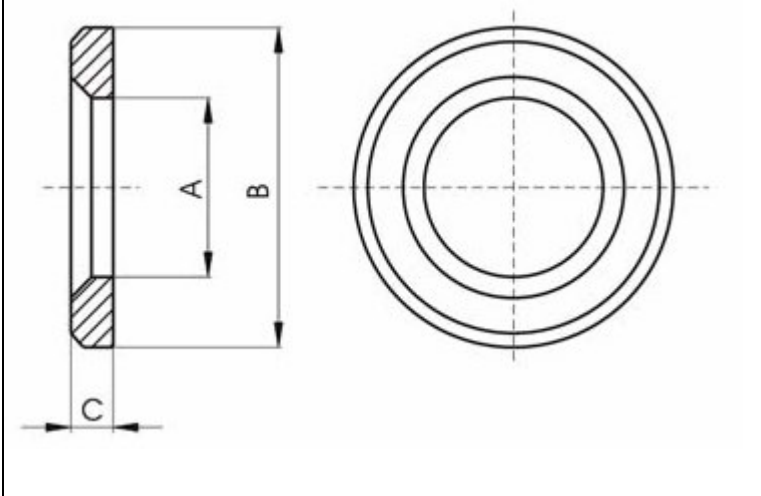
Femella per estructures: DIN-6915 hexagonal de xamfrà gran, d'acer 10.9 i rosca mètrica.



A	M12	M16
Pas	1,75	2
B	10	13
C	22	27
Mesures expressades en mm		

Taula d.2. Dimensions de les femelles

Volandera per estructures: DIN-6916 plana biselada, d'acer C45.



A	M12	M16
A	13	17
B	24	30
C	3	4
Mesures expressades en mm		

Taula d.3. Dimensions de les volanderes