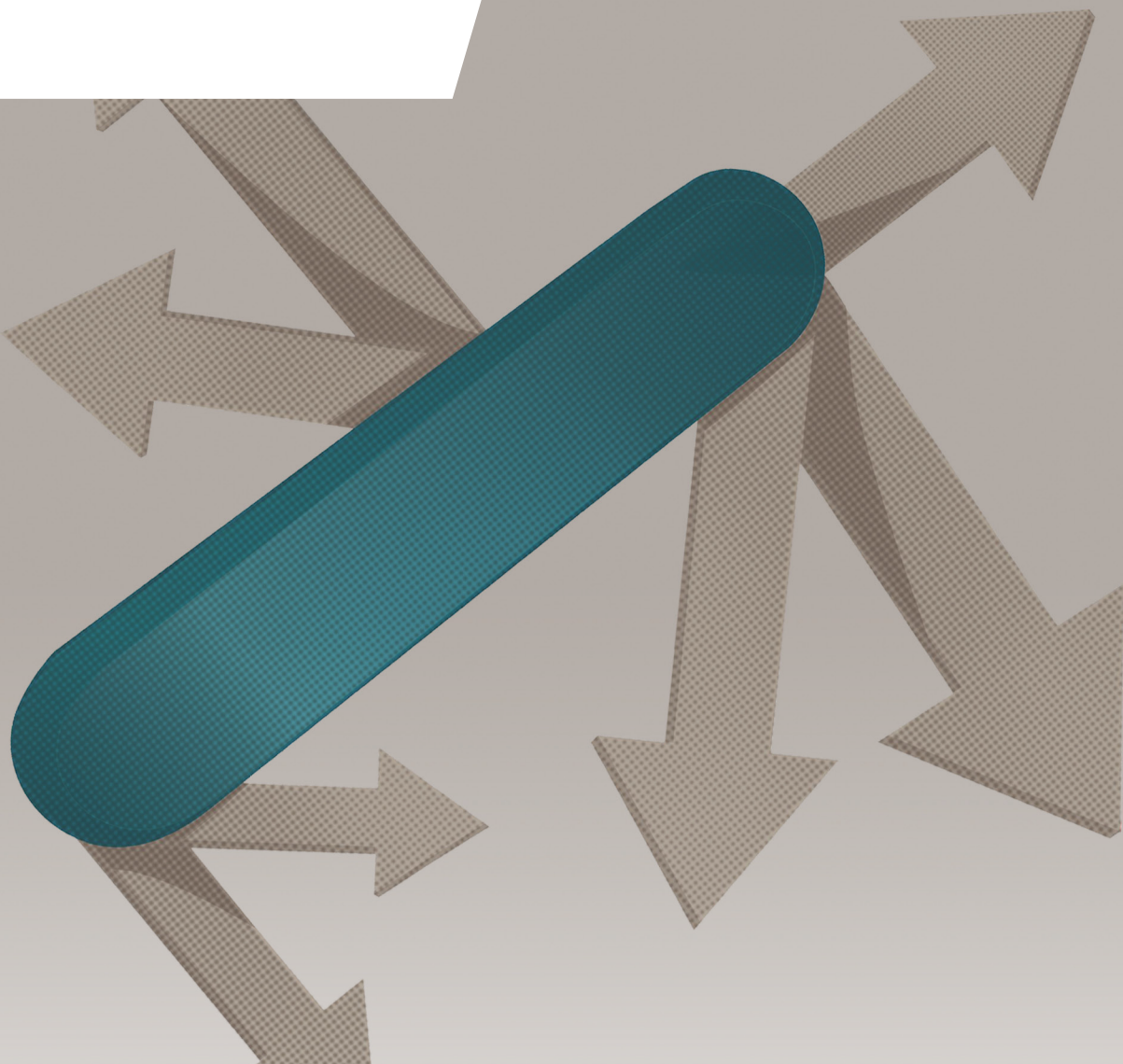


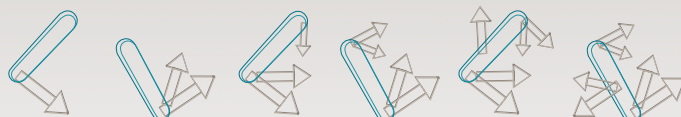
EINES D'INNOVACIÓ I INTERNACIONALITZACIÓ

Disseny per a la fabricació i el muntatge



ACC10
Competitivitat per l'empresa

 Generalitat
de Catalunya





Avís legal:

Aquesta obra està subjecta a la llicència Reconeixement-No Comercial-Compartir-Igual 3.0 de Creative Commons. Se'n permet la reproducció, distribució i comunicació pública sempre que se'n citi l'autor i no se'n faci un ús comercial. La creació d'obres derivades també està permesa sempre que es difonguin amb la mateixa llicència. La llicència completa es pot consultar a <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/es/legalcode.ca>

© Generalitat de Catalunya
Departament d'Innovació, Universitats i Empresa
Agència de Suport a l'Empresa Catalana, ACC1Ó

ACC1Ó
Passeig de Gràcia, 129
08008 Barcelona
Tel. 93 476 72 00

Autor del text literari: Centre CIM (ICT - UPC)

Coordinat per: ACC1Ó

Edició, disseny i realització: Publicacions ACC1Ó - www.acc10.cat

Col·lecció: Eines d'innovació i internacionalització

Data d'edició: Setembre de 2005

Eines
d'innovació i
internacionalització

**Disseny per
a la fabricació
i el muntatge**

EI DFMA

Índex

1. EI DFMA	5
2. Quan s'aplica el DFMA?	8
3. Metodologia	11
4. Cas pràctic	21
5. Falses creènces sobre la seva implantació	30
6. Quins beneficis aporta?	32
7. Bibliografia	33

1. El DFMA

Què és?

DFMA és l'acrònim de Design for Manufacture and Assembly, en català disseny per a la fabricació i el muntatge.

El DFMA és un procediment sistemàtic pas a pas que pot ser aplicat en tots els estadis de disseny i que desafia el dissenyador o l'equip de disseny a justificar l'existència de totes les peces i a considerar alternatives de disseny.

L'eina DFMA es pot definir com una metodologia de disseny de producte, basada en tenir en compte els costos i el procés de fabricació i muntatge durant l'etapa de disseny, i en l'anàlisi sistemàtica d'alternatives, amb la finalitat de millorar un producte existent, pel que fa a la reducció del seu cost i a la disminució del temps de sortida al mercat.

Què no és?

S'ha de tenir en compte que el DFMA **no és una eina adreçada a:**

- **Augmentar les funcionalitats del producte existent.**

Tot i que en molts casos, de forma indirecta, s'augmenten com a resultat de les millores aplicades.

- **Dissenyar nous productes.**

Ha de partir d'un disseny vàlid des del punt de vista de les funcions que ha de complir el producte.

Davant del repte de dissenyar, desenvolupar i industrialitzar un nou producte, tènicament és molt complex passar de no tenir cap disseny a fer un disseny vàlid respecte a les funcions que ha de complir el producte i òptim pel que fa als costos que tindrà associats.

Per aquest motiu, els experts proposen executar aquest procés en dues passes: primer dissenyar un producte vàlid respecte a les especificacions que ha de complir, i després aplicar el DFMA per optimitzar-lo.

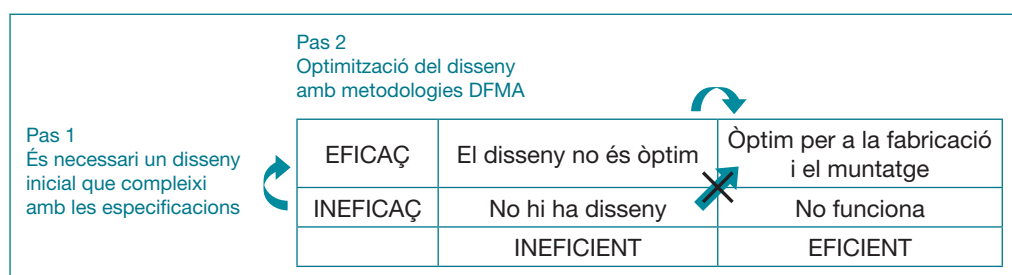


Figura 1

Per a què serveix?

Per millorar radicalment els costos de muntatge i fabricació dels productes, i per disminuir significativament el temps de sortida al mercat. De forma indirecta s'aconsegueix:

- Augmentar la qualitat del producte.
- Incrementar els beneficis de l'empresa.
- Implantar un mètode sistemàtic per a l'anàlisi del producte actual i per a la gestió de la informació i la documentació generada fins arribar al producte redissenyat. Amb tots els beneficis que això comporta.

Com neix?

Neix com a culminació d'un procés que s'inicia amb les metodologies DFM (Design for Manufacturing, en català disseny per a la fabricació) i DFA (Design for Assembly, en català disseny per al muntatge).

Tradicionalment, els dissenyadors han treballat pensant en les funcions que havia de complir el producte. Aplicant la metodologia del disseny per a la fabricació (DFM) es dissenya buscant que el producte sigui fàcil i barat de fabricar, a més de garantir que es compleixen les funcions requerides.

El DFM neix com a conseqüència de l'especialització en el treball, amb la qual van formar-se grups molt especialitzats en la seva feina, però alhora molt tancats i amb poca comunicació entre ells. La manca de comunicació entre els diferents departaments perjudica enormement l'assoliment d'un objectiu comú amb la màxima eficiència. Per solucionar aquest problema, van muntar-se equips de treball pluridisciplinaris (actualment coneguts amb el nom d'equips d'enginyeria concurrent) amb dissenyadors, responsables de fabricació i de muntatge.

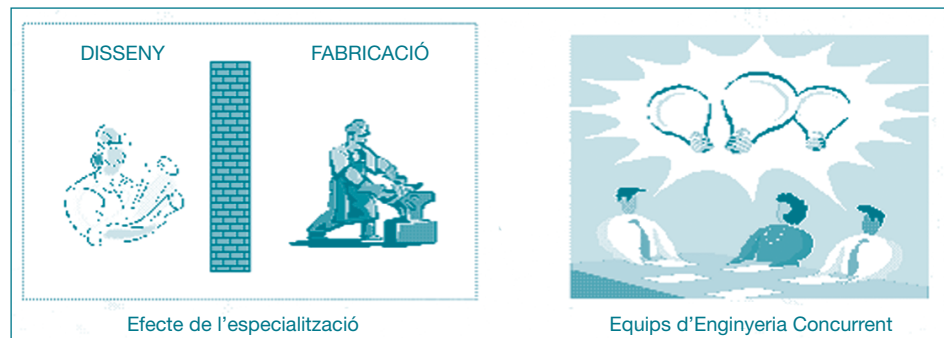


Figura 2. Mètodes de treball

De forma anàloga al disseny per a la fabricació, el disseny per al muntatge (DFA) és una metodologia enfocada a dissenyar buscant que el producte sigui més fàcil i barat de muntar, a més de garantir que es compleixin les funcions requerides.

El DFA neix arran de l'aplicació generalitzada del muntatge automàtic, atès que aquest requereix simplificar el producte per poder ser aplicat. Moltes vegades el DFA simplifica de forma tan substancial el muntatge, que elimina la necessitat d'automatitzar-lo.

La reducció de la complexitat de les peces, derivada de l'aplicació del DFA, origina millores en la fabricació. S'ha demostrat que en molts casos redueix els costos de fabricació tant o més que els de muntatge. Aquest és el motiu pel qual actualment no se separa disseny per al muntatge de disseny per a la fabricació, la qual cosa dóna lloc al disseny per a la fabricació i el muntatge, DFMA.

2. Quan s'aplica el DFMA?

El procés de disseny i desenvolupament d'un producte consta de les fases de disseny conceptual, disseny de detall i prototipus - sèrie zero (vegeu la Figura 3). El DFMA s'aplica durant la fase de disseny conceptual. Segueix la filosofia d'invertir més temps al principi del procés (estudiant i analitzant detalladament el producte i les diferents solucions tècniques que puguin millorar-lo) per guanyar-lo al final (caldrà dedicar menys temps a la fabricació i el muntatge dels components, serà necessària una menor quantitat de proves, un menor nombre de canvis, etc.).

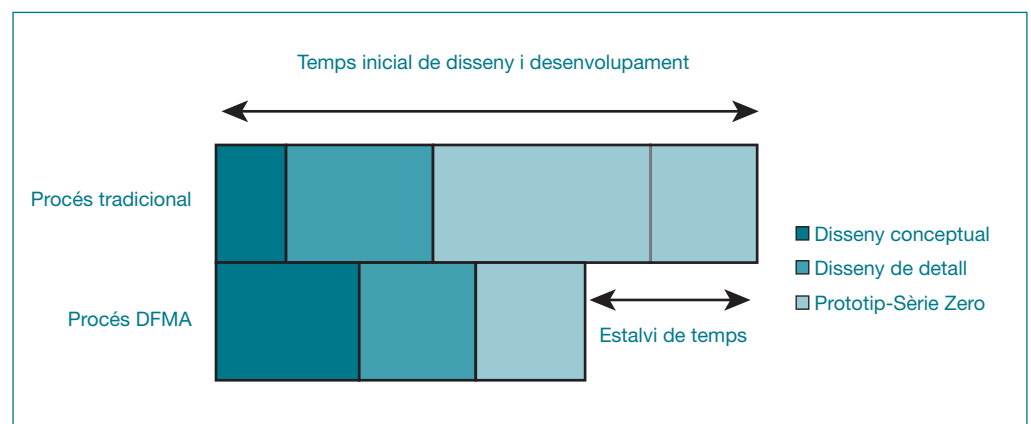


Figura 3. Proporcions de temps en cada fase del procés de disseny i desenvolupament

Aquesta idea està basada en l'anàlisi de la gràfica següent:

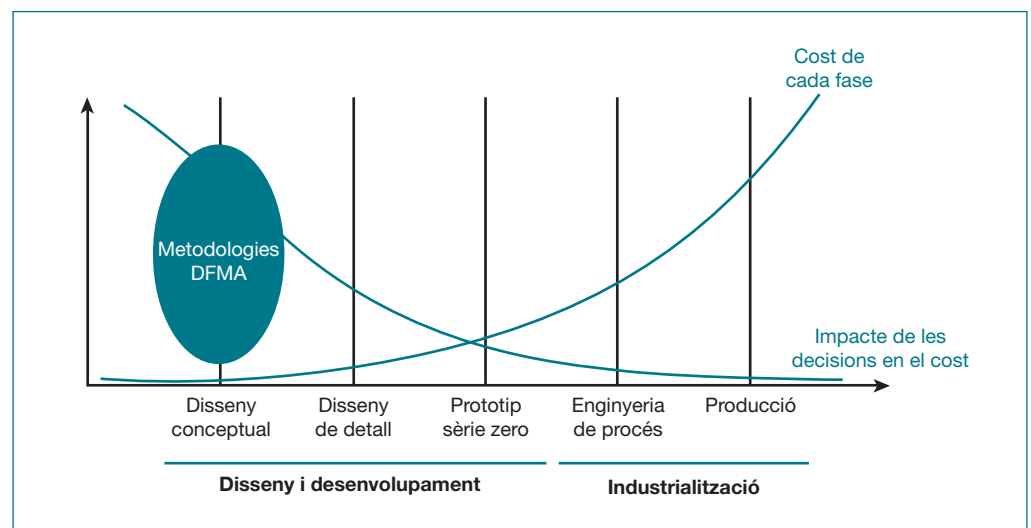


Figura 4. Impacte i cost del procés de disseny, desenvolupament i industrialització

De la qual es poden extreure aquestes conclusions:

1. El cost de les fases creix a mesura que avança el procés de disseny i fabricació:

- En la fase de disseny conceptual pràcticament només s'han de tenir en compte els costos del dissenyador.
- En la fase de disseny de detall, generalment l'equip s'amplia, i s'han de tenir en compte els costos dels projectistes, del temps de càlculs, dels equips de disseny assistit per ordinador i de la construcció d'alguns prototipus.
- En la fase de prototipus - sèrie zero s'han de comptar els costos de fabricació de matrius i motlles, utillatges, prototipus, etc.
- En la fase d'enginyeria de procés s'han de comptabilitzar no només els costos personals, sinó els d'adquisició de maquinària especial, les modificacions d'infraestructures (sovint cal modificar la distribució en planta dels espais on es farà la fabricació), etc.
- Finalment, en la fase de producció, els costos de personal es disparen, s'han de comptabilitzar costos de compres de matèries primeres i components, costos d'amortitzacions de màquines, eines i utillatges, costos de qualitat, etc.

2. L'impacte de les decisions en el cost decreix a mesura que avança el procés, perquè:

- En la fase de disseny conceptual el dissenyador té tot el poder de decisió sobre la manera de fer el producte i, per tant, sobre el cost final que aquest representarà per l'empresa.
- En la fase de disseny de detall es pot actuar sobre paràmetres que influeixen en el cost, com per exemple les mides del gruix de les peces, la utilització de components estàndard, etc.
- En la fase de prototipus - sèrie zero es poden optimitzar el procés de fabricació i muntatge previst i els aspectes ergonòmics.
- En la fase d'enginyeria de producció encara es pot actuar sobre el cost pel que fa a la selecció dels processos (manuels o automàtics), les cavitats dels motlles, etc.
- En la fase de producció el marge de maniobra és molt petit, tot i que encara es pot actuar sobre el cost racionalitzant la logística, establint equips de millora contínua, etc.

En resum, els beneficis que es persegueixen aplicant les tècniques DFMA des de la fase de disseny conceptual són:

- Identificar els requeriments dels experts en fabricació i muntatge des del primer moment del procés de disseny del producte.
- Evitar els canvis de disseny detectats en les etapes d'enginyeria de procés i producció.
- Reduir els costos provocats pels canvis derivats de fer proves sobre el producte i el temps necessari per dur-los a terme.
- Prendre les decisions importants a un cost relativament baix, abans de fer inversions en utilitatges, màquines, matèries primeres, etc.

3. Metodologia

La metodologia dfma consta de sis passes, que s'enumeren a continuació:

1. Identificar les especificacions del producte que cal redissenyar.
2. Per a cada principi empíric:
 - a. Generar alternatives al disseny actual.
3. Per a cada alternativa:
 - a. Avaluar el compliment de les especificacions.
 - b. Si compleix les especificacions:
 - Calcular el cost mitjançant l'aplicació del mètode quantitatiu triat per l'empresa.
 - c. Si no compleix les especificacions:
 - Marcar l'alternativa com a rebutjada.
4. Comparar les alternatives no rebutjades amb la solució actual.
5. Seleccionar les alternatives vàlides.
6. Elaborar el nou disseny conceptual.

Pas 1. Identificar les especificacions

Consisteix a documentar totes les especificacions que ha de complir el producte. El dissenyador ha d'identificar si l'especificació en qüestió té caire d'obligació (O) o de desig (D).

Exemple:

Id	Especificació	Condicció lògica	Valor	Unitat de mesura	Tolerància	Tipus (O/D)
E1	Massa	<	10	Kg	+/- 0,1	O
E2	Cost	<	100	€	+/-5	D




Pas 2. Per a cada principi empíric, generar alternatives al disseny actual

Els PRINCIPIS EMPÍRICS són onze regles de disseny. Com el seu nom indica no són principis dogmàtics i, per tant, no sempre que s'apliquen s'obté l'efecte esperat; sempre s'han d'avaluar i se n'han de valorar els avantatges i els inconvenients, i llavors s'ha de decidir si s'utilitzen.

Les alternatives derivades dels principis empírics han de ser documentades de forma molt bàsica; en aquest pas, és suficient un identificador, una breu descripció

tècnica, la referència del conjunt, subconjunt o mòdul del qual és alternativa i un croquis representatiu.

Exemple: alternatives derivades del principi empíric número 7, “Dissenyar peces per facilitar el muntatge”, i/o número 8, “Evitar fixadors separats”.

Identificador	Descripció de l'alternativa	Conjunt, subconjunt o mòdul de la solució inicial	Croquis
A1	Unió per soldadura	Mòdul 32	
A2	Unió per clipatge	Mòdul 32	
A3	Unió cargolada	Mòdul 32	

A continuació es descriuen els principis empírics, alguns acompanyats d'una il·lustració que mostra la solució actual i l'alternativa a un disseny. Són els següents:

1. Minimitzar el nombre total de peces

Utilitzar el mínim nombre de peces. Això serà possible si la resposta a les qüestions següents és afirmativa:

Per a cada peça, en relació amb les que hi estan en contacte:

1. No hi ha moviment entre si?
2. Poden ser del mateix material?
3. Es poden fondre juntes?

Avantatges: menys estoc, necessitat de menys utillatges i motlles, disminució de les operacions de muntatge.

Inconvenients: peces més complexes, peces més difícils de muntar.

2. Desenvolupar un disseny modular

Establir una adequada estructuració modular del producte, amb funcions correctament definides i assignades.

Avantatges: menys eines i utilatges, menys estoc, més flexibilitat de fabricació, racionalització de variants.

Inconvenients: s'han d'incloure interfícies entre mòduls per realitzar el muntatge, que poden encarir el producte.

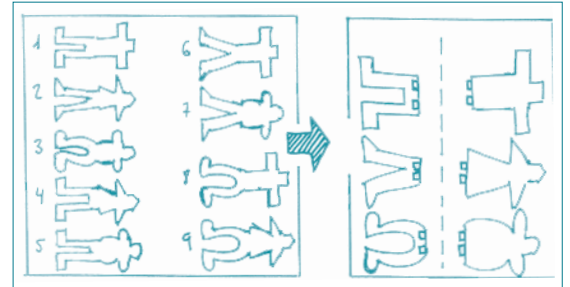


Figura 5. Disseny modular

3. Utilitzar components estàndard

No només components estàndard per a les referències de compra (com poden ser els cargols, les femelles...), sinó també per a les de fabricació.

Avantatges: sèries més econòmiques -tant les de fabricació com les de compra.

Inconvenients: sobredimensionament de la peça; en alguns casos, pèrdua de valor de la peça o pèrdua de la funcionalitat.

4. Dissenyar peces perquè siguin multifuncionals

La mateixa peça té més d'una funció.

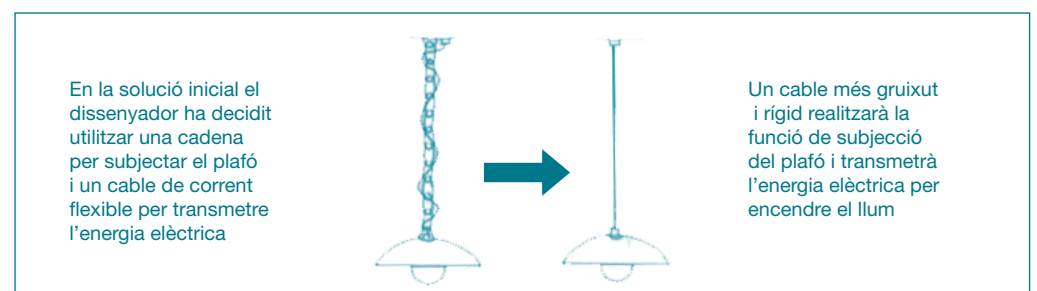


Figura 6. Peces multifuncionals

Avantatges: menys estoc i per tant menys inventari.

Inconvenients: les peces estan dimensionades per fer més funcions i això pot suposar un increment del seu cost.

5. Dissenyar les peces perquè tinguin múltiples usos

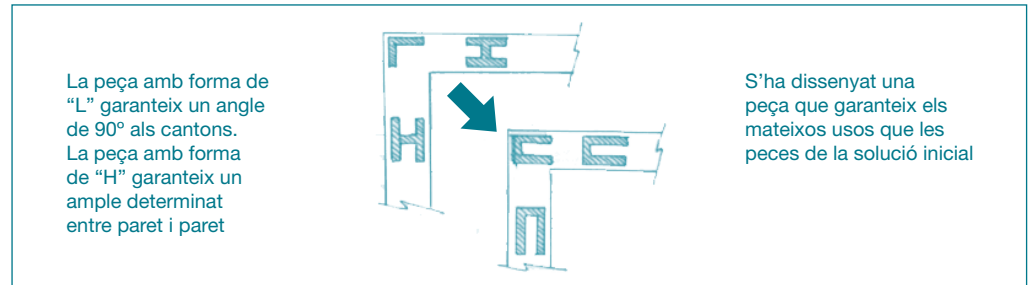


Figura 7. Peces amb múltiples usos

Avantatges: menys eines i utiltatges, menys estoc i sèries més llargues.

Inconvenients: geometria de les peces més complexa.

6. Dissenyar les peces per facilitar-ne la fabricació

Conjunt de regles de disseny per a la fabricació que depenen de cada procés de fabricació.

A continuació s'exposen algunes regles per a tres tipus diferents de processos de fabricació:

Guia de referència per al disseny de peces fresades

Recomanacions	Etapes	Efectes
Establir, si és possible, superfícies de fresatge planes. Evitar la multiplicitat de superfícies i d'orientacions	Disseny i enginyeria de procés	Cost
Preveure el radi de la fresa en les formes de la peça (arrodoniments)	Disseny i prototipus - sèrie zero	Cost i qualitat
Seleccionar adequadament les superfícies de fresatge per facilitar l'accessibilitat de les eines	Disseny i enginyeria de procés	Cost i qualitat
Preveure ressaltats en les parts que han de ser fresades	Disseny i enginyeria de procés	Cost

Guia de referència per al disseny de peces sinteritzades

Recomanacions	Etapas	Efectes
Evitar els arrodoniments i també les arestes tallants	Disseny i prototipus - sèrie zero	Cost i qualitat
Evitar els angles aguts i les formes que s'aprimen	Enginyeria de procés	Qualitat
Observar els límits següents: alçada/amplada < 2,5; gruix de paret > 2 mm; diàmetre de forat > 2 mm	Disseny i enginyeria de procés	Cost i qualitat
Evitar toleràncies excessivament petites	Enginyeria de procés	Qualitat
Evitar figures i dentats excessivament petits	Enginyeria de procés	Qualitat

Guia de referència per al disseny de peces de xapa tallada amb matriu

Recomanacions	Etapas	Efectes
Donar formes senzilles i evitar cantonades afilades (exterior i interior) Limitar, si és possible, la longitud de tall	Disseny, prototipus - sèrie zero i enginyeria de procés	Cost
Disposar les peces en el fleix de forma que es produeixin les mínimes pèrdues	Prototipus - sèrie zero	Cost
Evitar angles aguts i parts excessivament primes	Disseny i prototipus - sèrie zero	Qualitat
Procurar que els talls successius no malmetin els anteriors	Disseny i prototipus - sèrie zero	Cost i qualitat

Avantatges: si es poden aplicar totes les regles o algunes, els costos de fabricació seran més baixos.

Inconvenients: les regles són miops, és a dir, les unes poden perjudicar les altres; els canvis no sempre es poden fer sense perjudicar la funcionalitat.

7. Dissenyar les peces per facilitar-ne el muntatge

Utilitzant el diagrama de procés del muntatge, s'han d'analitzar els canvis que simplifiquen el procés.

Les principals recomanacions són:

1. Estructurar en mòduls

Establir una adequada estructuració modular del producte, amb funcions correctament definides i assignades.

2. Disminuir la complexitat

Minimitzar el nombre i la diversitat de les peces i els components.

3. Establir un element de base

Assegurar que cada mòdul tingui un element de base.

4. Facilitar la composició

Incorporar xamfrans, plans inclinats, superfícies de guia, i altres elements que facilitin la composició de peces.

Avantatges: la simplificació del muntatge i en conseqüència la reducció del seu cost.

Inconvenients: els canvis introduïts poden perjudicar la funcionalitat.

8. Evitar fixadors separats

No afegir peces noves per unir-ne d'altres.

Avantatges: menys peces i menys temps de muntatge.

Inconvenients: les peces resultants poden ser més complexes, i les unions, menys rígides; les unions poden passar a ser irreversibles.

9. Minimitzar les direccions de muntatge

Simplificar el muntatge automàtic i manual fent que les direccions de muntatge siguin les mínimes.

Avantatges: facilitat per a l'automatització i disminució del temps de muntatge manual; permet aprofitar l'efecte de la gravetat.

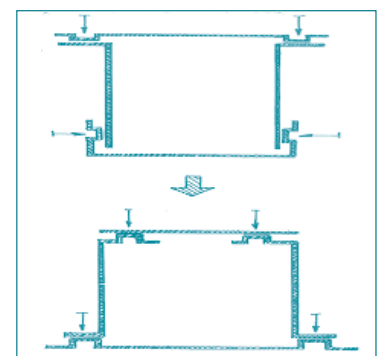


Figura 8. Direccions de muntatge

Inconvenients: geometria de la peça més complexa; no sempre és factible l'aplicació d'aquest principi.

10. Maximitzar les toleràncies

La tolerància ha de ser la màxima possible per abaratir el cost i la més petita possible perquè funcioni correctament.

Avantatges: com més tolerància, menys cost de fabricació.

Inconvenients: si la tolerància és massa gran, es pot perdre funcionalitat.

11. Minimitzar la manipulació

Aquest principi promou que es prevegi la posició i l'orientació òptimes per al muntatge des del moment de la fabricació, per evitar manipulacions intermèdies.

Avantatges: disminució del nombre d'operacions.

Inconvenients: la geometria de les peces pot ser més complexa.

PAS 3a. Per a cada alternativa, avaluar el compliment de les especificacions

Per a cada alternativa s'ha de valorar si compleix les especificacions o no. En cas que l'especificació sigui una obligació, el dissenyador l'haurà de puntuar amb 0 si no compleix l'especificació, o amb 10 si la compleix; si, al contrari, és un desig, el dissenyador haurà de puntuar l'alternativa segons el grau de compliment, amb un valor entre 0, si no la compleix, i 10, si la compleix al 100 %.

Les alternatives que no compleixin alguna de les especificacions obligatòries han de ser marcades com a rebutjades. Les especificacions tipificades com a desig no seran motiu de rebutjar encara que hagin rebut puntuació 0.

Alternativa	Especificacions	Tipus (O/D)	Puntuació	Avaluació
A1- Unió per soldadura	E1	O	10	
A1- Unió per soldadura	E2	D	2	
A2- Unió per clipatge	E1	O	10	
A2- Unió per clipatge	E2	D	7	
A3- Unió cargolada	E1	O	0	Rebutjada
A3- Unió cargolada	E2	D	7	

PAS 3b. **Per a cada alternativa no rebutjada, calcular-ne el cost**

Breu introducció als mètodes quantitativs

Per calcular el cost d'una alternativa s'utilitzen els anomenats mètodes quantitativs. Aquests pretenen conèixer el cost d'un producte o d'un conjunt, subconjunt o mòdul abans de fabricar-lo.

Hi ha una classificació dels mètodes quantitativs, que és la següent:

Mètodes absoluts: són els que calculen el cost exacte del producte, partint de:

Dades històriques: és el més senzill i està basat en el càlcul del cost del producte a partir d'històrics.

Regressions lineals: basat en la utilització d'un paràmetre significatiu en el procés de fabricació i muntatge. Per exemple, el pes de les peces respecte del cost.

Regressions multilineals: basat en la utilització de més d'un paràmetre significatiu en el procés de fabricació i muntatge. Per exemple, el pes i les dimensions de les peces respecte del cost.

Disseny del procés de fabricació: mitjançant l'especificació detallada del procés de fabricació (identificació de matèries primeres, identificació d'eines i utilitatges, selecció de la maquinària i dels equips de treball, definició de temps necessaris...) i l'assignació de costos a cadascun.

Mètodes relatius: són els que calculen el cost del producte basant-se en peces similars, de les quals es coneix el cost, i n'estimen l'augment o la disminució basant-se en les diferències entre la peça coneguda i la peça de la qual es desitja conèixer el cost. Tenen l'avantatge que el volum de dades que es necessita per al càlcul és inferior.

No serveixen per calcular pressupostos, però sí que serveixen per comparar alternatives -atès que els errors comesos en el cost són els mateixos en qualsevol de les alternatives.

Entre els mètodes quantitativs, el més conegut i més usat és el de Boothroyd-Dewhurst, creat l'any 1986. Aquest mètode analitza quins paràmetres són significa-

tius en cada procés de fabricació (per exemple, el volum de la peça, el pes...) i partint d'històrics i de la definició del procés de fabricació fa l'estimació de costos.

Aplicació del mètode quantitatiu

El dissenyador ha de ser coneixedor del mètode que ha d'aplicar. La tria del mètode depèn de l'empresa i més específicament del temps i de les dades de què disposa i de les que necessita cada mètode, o de les necessitats particulars de cada empresa.

Un cop identificat el mètode quantitatiu, el dissenyador ha de calcular el cost de totes les alternatives que no hagin estat rebutjades en el pas anterior.

L'aplicació del mètode requereix un detall més o menys precís de cada alternativa; això vol dir que per a cada alternativa s'ha de detallar, com a mínim, l'estructura de materials.

El resultat ha de ser una taula com la de l'exemple següent:

Alternativa	Cost
A1- Unió per soldadura	200 euros
A2- Unió per clipatge	125 euros

PAS 4. Comparar les alternatives no rebutjades amb la solució actual

En aquest pas el dissenyador ha de comparar tota la informació que ha generat per a totes les alternatives, mitjançant una taula com la de l'exemple següent:

Comparació quantitativa	Solució actual	A1	A2
Diferència de cost	210	10	85
Altres consideracions		Aquesta alternativa és incompatible amb el mòdul 5	

PAS 5.
Seleccionar les alternatives vàlides

D'acord amb la informació generada en el pas anterior, el dissenyador ha de triar finalment amb quina solució es queda: l'actual o alguna de les alternatives.

Exemple:

Comparació quantitativa	Solució actual	A1	A2
Diferència de cost	210	10	85
Altres consideracions		Aquesta alternativa és incompatible amb el mòdul 5	
SELECCIÓ		X	✓

PAS 6.
Elaborar el nou disseny conceptual del producte

En aquest punt s'agafarien totes les alternatives vàlides en acabar el PAS 5, excepte en les situacions següents, en què només se n'hauria de triar una:

- Alternatives a la mateixa solució inicial.
- Alternatives tècnicament incompatibles, és a dir, aquelles en què la tria d'una alternativa descarta la selecció de l'altra per motius tècnics.

Només falta que el dissenyador realitzi el nou disseny conceptual partint de les solucions seleccionades en el pas anterior.

4. Cas pràctic

Com a cas pràctic s'ha triat el mòdul mecànic d'un motor elèctric; aquest no és un motor real, sinó un exemple docent que permet explicar de forma il·lustrativa l'aplicació del DFMA. En la Figura 9 es representa esquemàticament mitjançant un tall longitudinal el motor elèctric constituït per 14 peces diferents. En aquesta figura no es mostra el mòdul elèctric, excepte el rotor, per no dificultar la visualització de les 14 peces que volem analitzar.

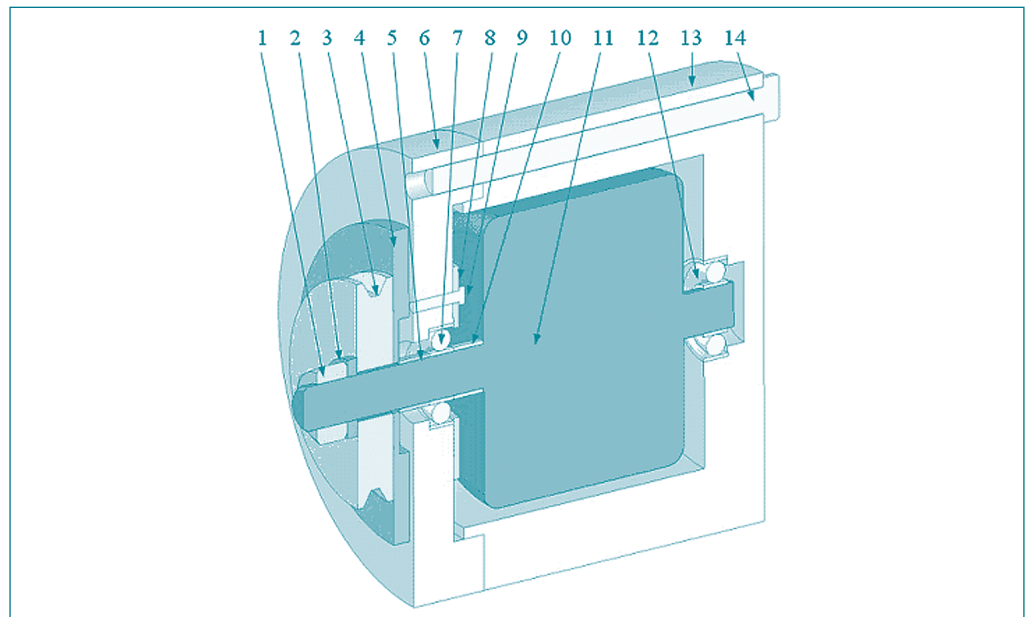


Figura 9. Tall longitudinal del motor elèctric (només el mòdul mecànic i el rotor)

El motor elèctric inicial que cal redissenyar està format pel rotor (11), que té un moviment de rotació respecte de la carcassa exterior formada per la part frontal (6) i la part del darrere (13). La carcassa està tancada mitjançant 3 cargols (14), col·locats a 120° (en la figura només se n'observa un). El rotor gira al voltant de l'eix suportat per 2 rodaments (12 i 7). El rodament 12 està fixat per la pressió entre l'eix del rotor i la part del darrere de la carcassa exterior. El rodament 7 està fixat de forma diferent: la part interior està fixada mitjançant dues virolles (5 i 10); i la part superior, mitjançant la carcassa frontal i una tapeta (8) que està subjectada a la carcassa frontal mitjançant 3 cargols (9), col·locats a 120° (en la figura només se n'observa un). De les dues virolles, una (10) posiciona el rotor respecte de la carcassa exterior i l'altra posiciona el ventilador (4), també respecte de la carcassa exterior. Finalment, l'eix del rotor està unit al ventilador per refrigerar i a una corriola (3) que transmet la potència que genera el motor elèctric. El grup format per rotor, eix, virolles, rodaments, ventilador i corriola està subjectat mitjançant una volandera (2) i una femella (1).

PAS 1.
Identificar les especificacions

El primer pas de la metodologia DFMA és la identificació de les especificacions del motor elèctric que cal redissenyar. En la taula següent es defineixen:

Id.	Especificació	Condicció lògica	Valor	Unitat de mesura	Tolerància	Tipus (O/D)
E1	Desmuntable i muntable amb les mateixes peces	=	Sí			O
E2	Transmissió de potència mitjançant la corriola	=	Sí			O
E3	Refrigeració per aire	=	Sí			O
E4	Vibracions	=	No			O
E5	Diàmetre	<	100	mm	+/- 0,5	D
E6	Longitud	<	250	mm	+/- 1	O

PAS 2.
Per a cada principi empíric, generar alternatives al disseny actual

El segon pas és la generació d'alternatives al disseny actual per a cada principi empíric. En aquest cas, per simplificar i reduir, només es mostren algunes alternatives per a dos principis empírics: minimitzar el nombre total de peces i dissenyar les peces per facilitar-ne el muntatge.

Principi empíric 1. Minimitzar el nombre total de peces

Per trobar alternatives s'han d'analitzar les peces que estan en contacte. Per tant, el primer pas és saber quines peces hi estan. Per això és molt usual utilitzar la matriu de la Figura 10, en què una x identifica dues peces en contacte.

P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1		X									X			
2			X								X			
3				X							X			
4					X						X			
5							X				X			
6							X	X	X				X	X
7								X		X	X			
8									X					
9										X				
10											X			
11												X		
12													X	
13														X
14														

Figura 10. Matriu de peces en contacte

Tal com s'ha indicat en la metodologia, s'han de plantejar tres qüestions a totes les peces en contacte i, en el cas que les tres qüestions siguin afirmatives, cal buscar les alternatives possibles.



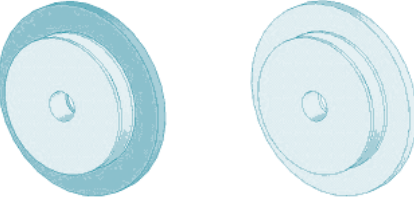
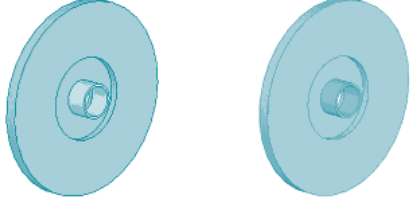
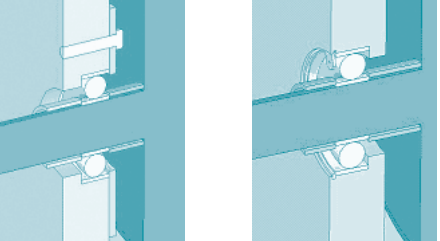
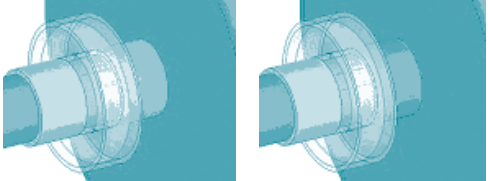
En la taula següent hi ha un resum de la identificació de possibles alternatives per analitzar en el cas del motor elèctric. Només s'analitzaran les alternatives per a les peces amb totes les respostes afirmatives a les tres qüestions plantejades.

En contacte		Qüestions			Possibles alternatives
Peça	Peça	Moviment relatiu	Mateix material	Fabricació juntes	
1	2	Sí	Sí	Sí	Analitzar
1	11	Sí	No		
2	3	Sí	Sí	Sí	Analitzar
2	11	Sí	No		
3	4	Sí	Sí	Sí	Analitzar
3	11	Sí	Sí	No	
4	5	Sí	Sí	Sí	Analitzar
4	11	Sí	Sí	No	
5	7	Sí	No		
5	11	Sí	Sí	No	
6	7	Sí	No		
6	8	Sí	Sí	Sí	Analitzar
6	9	No			
6	13	Sí	Sí	Sí	Analitzar
6	14	No			
7	8	Sí	No		
7	10	Sí	No		
7	11	Sí	No		
8	9	Sí	No		
10	11	Sí	Sí	Sí	Analitzar
11	12	Sí	No		
12	13	Sí	No		
13	14	Sí	No		

Tipus d'activitats a on intervé el disseny

Identificades les peces que poden ser fusionades, s'han de trobar totes les alternatives que siguin possibles per a cada conjunt de dues o més peces. És molt important recalcar que amb aquesta taula el dissenyador només s'ha de centrar a buscar alter-

natives en set casos. En el cas del motor elèctric algunes alternatives són les que es mostren en la taula següent:

Id.	Descripció de l'alternativa	Imatge del disseny actual i l'alternativa
A1	Canviar la femella (1) i la volandera (2) per una femella autoblocant.	
A2	Canviar la femella (1), la volandera (2) i la corriola (3) per una corriola amb una rosca interior a esquerres.	
A3 A4 A5	Unificar la corriola (3) i el ventilador (4) en una única peça d'acer (A3) o en una única peça d'alumini (A4) o en una única peça de plàstic (A5).	
A6	Unificar la virolla (5) amb el ventilador (4) en una única peça de plàstic.	
A7	Eliminar la tapeta (8), els 3 cargols per al fixament (9) i les operacions de fabricació de les 3 rosques de la carcassa frontal (6). Modificar la geometria de la carcassa frontal (6) per fixar el rodament (7) mitjançant un anell. Modificar també la geometria de les dues virolles (5 i 10).	
A8	Unificar la virolla (10) amb el rotor (11) en una única peça.	

Principi empíric 7. Dissenyar les peces per facilitar-ne el muntatge

Per analitzar canvis i trobar alternatives és necessari representar el diagrama de procés de muntatge, que en el cas del motor elèctric és el següent:

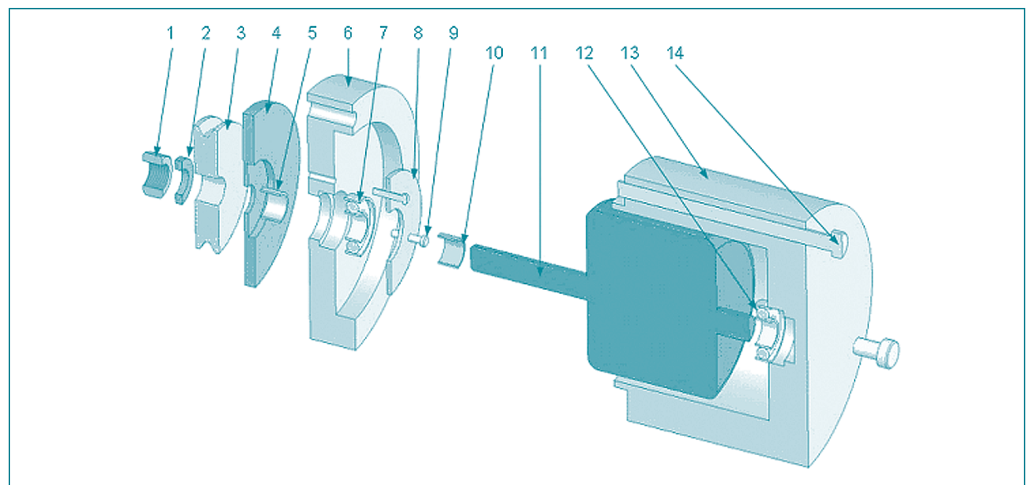
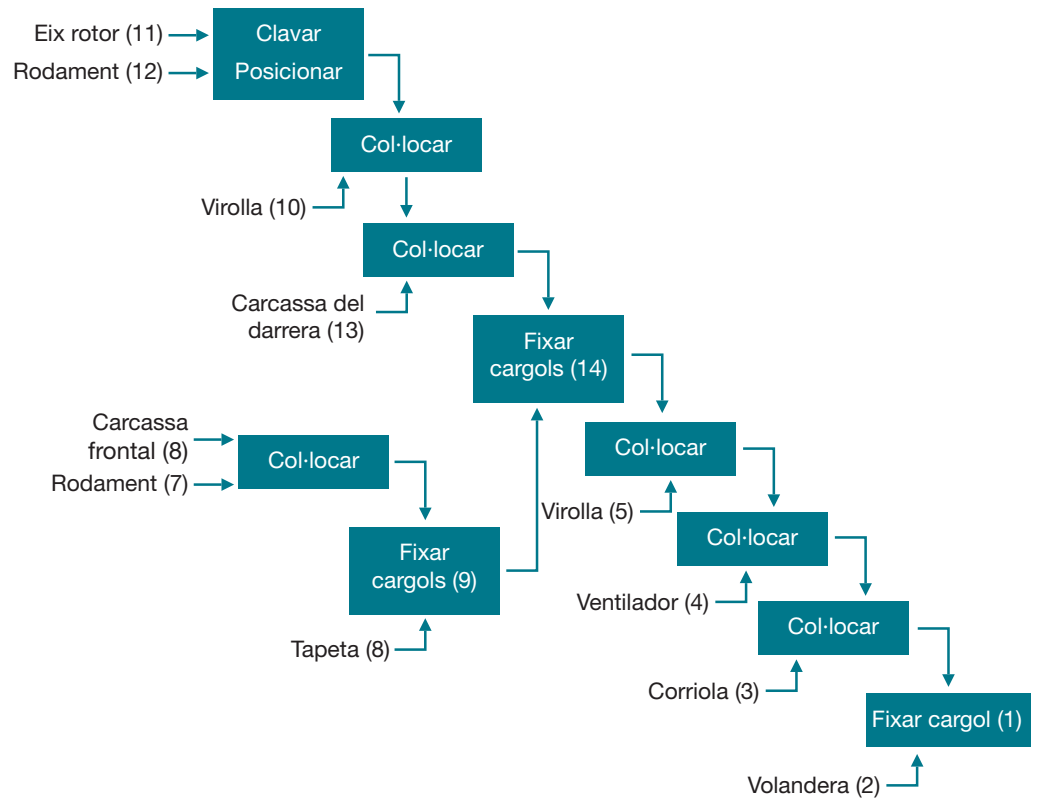
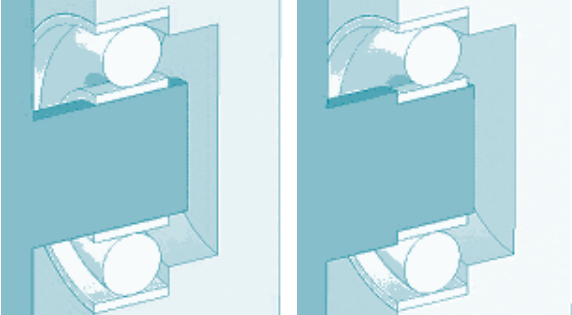
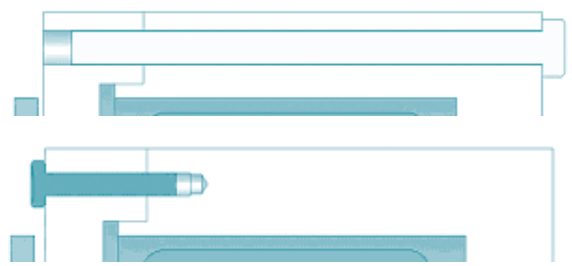
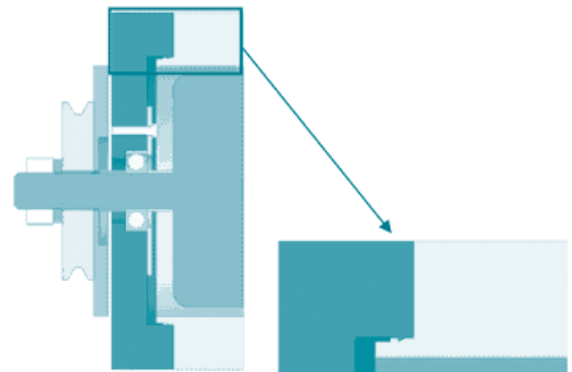


Figura 11. Vista esclatada del motor elèctric que cal redissenyar

De l'aplicació del setè principi empíric es generen tres alternatives més:

Id.	Descripció de l'alternativa	Imatge del disseny actual i l'alternativa
B1	Facilitar el posicionament del rodament 10 amb una mecanització de l'eix del rotor.	
B2	Canviar la direcció i la mida dels cargols que fixen la carcassa exterior.	
B3	Eliminar la unió de la carcassa exterior mitjançant 3 cargols per una unió per clipatge.	

També són millores en aquest principi empíric les vuit alternatives del principi empíric anterior ("Minimitzar el nombre total de peces"), atès que amb un nombre de peces menor és menor el nombre d'unions que cal realitzar i per tant és inferior el cost de muntatge del conjunt final.

PAS 3a. Per a cada alternativa, avaluar el compliment de les especificacions

El tercer pas de la metodologia és avaluar si les alternatives compleixen les especificacions. De totes les alternatives exposades n'hi ha tres que no compleixen les especificacions:

Alternativa	Especificacions	Tipus (O/D)	Puntuació	Avaluació
A1- Femella Autoblocant	E1	O	0	Rebutjada
A1- Femella Autoblocant	E2	O	10	
A1- Femella Autoblocant	E3	O	10	
A1- Femella Autoblocant	E4	O	10	
A1- Femella Autoblocant	E5	D	10	
A1- Femella Autoblocant	E6	O	10	
A2- Fixar amb una corriola amb rosca	E1	O	10	Acceptada
...	
A3- Unificar corriola i ventilador en acer	E4	O	0	Rebutjada
A5- Unificar corriola i ventilador en plàstic	E2	O	0	Rebutjada
...	
B3- Unir la carcassa per clipatge	E1	O	0	Rebutjada
B3- Unir la carcassa per clipatge	E2	O	10	
B3- Unir la carcassa per clipatge	E3	O	10	
B3- Unir la carcassa per clipatge	E4	O	10	
B3- Unir la carcassa per clipatge	E5	D	10	
B3- Unir la carcassa per clipatge	E6	O	10	

És a dir:

- L'especificació que obliga que el motor elèctric sigui desmuntable fa que la utilització d'una femella autoblocant per fixar el conjunt i la utilització d'una unió per clipatge de la carcassa exterior siguin inviables.
- Per altra banda, si s'uneixen les dues peces, corriola i ventilador, la peça resultant hauria de ser d'acer o alumini. Una altra especificació és que el ventilador ha d'estar equilibrat dinàmicament per reduir vibracions, motiu que dificulta la possibilitat que la peça resultant sigui d'acer.

PAS 3b. Per a cada alternativa no rebutjada, calcular-ne el cost

El següent pas de la metodologia és calcular, per a les alternatives que resten, el cost del motor elèctric aplicant l'alternativa de millora. En aquest cas s'ha utilitzat el mètode relatiu per calcular el cost.

Alternativa	Cost (€)
A1- Fixar amb una corriola amb rosca	325
A4- Unificar corriola i ventilador en alumini	325
A6- Unificar ventilador i virolla	275
A7- Eliminar tapeta per anell	250
A8- Unificar virolla i rotor	275
B1- Facilitar el posicionament del rodament (10)	290
B2- Canviar la direcció i la mida dels cargols	290

PAS 4. Comparar les alternatives no rebutjades amb la solució actual

El quart pas és comparar amb la solució actual les alternatives no rebutjades:

	Solució actual	A2	A4 ¹	A6	A7	A8	B1	B2
Diferència de cost (€)	300	-25	25	25	50	25	10	20

¹ El cost d'aquesta alternativa varia en funció del volum de producció i més concretament del valor dels costos d'amortització de les eines i utilitatges necessaris per fabricar la peça final. Aquest fet és remarcable, perquè podria fer que l'alternativa fos valorada com a vàlida en altres situacions.

PAS 5. Seleccionar les alternatives vàlides

El cinquè pas és seleccionar les alternatives vàlides. En aquest cas pràctic s'han triat les alternatives vàlides en funció del cost:

	Solució actual	A2	A4 ¹	A6	A7	A8	B1	B2
Diferència de cost (€)	300	-25	25	25	50	25	10	20
Selecció		✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓

PAS 6. Elaborar el nou disseny conceptual del producte

En aquest punt s'agafarien totes les alternatives vàlides en acabar el pas 5, excepte en les següents situacions, en què només se n'hauria de triar una:

- Alternatives a la mateixa solució inicial; per exemple, A3-A4-A5 són alternatives a la mateixa solució; en aquest cas només és vàlida A4 i, per tant, no hi ha dubte en la selecció final.

- Alternatives tècnicament incompatibles, és a dir, aquelles en què la tria d'una descarta la selecció de l'altra per motius tècnics. En el cas pràctic no es dona aquesta situació.

En l'exemple del motor elèctric no es dona cap de les dues excepcions i, en conseqüència, se seleccionen totes les alternatives vàlides.

De l'aplicació de les millores seleccionades s'obté el nou disseny del motor elèctric (Figura 12). En la taula següent es compara el disseny inicial amb el final:

Motor elèctric	Núm. de peces diferents	Núm. de peces totals	Núm. d'operacions de muntatge	Temps de les operacions de muntatge	Cost final
Inicial	14	18	11	6 min	300 €
Final	10	12	8	3 min	170 €
Estalvi	29%	33%	27%	50%	43%

Hi ha un estalvi en el nombre de peces, en la fabricació de les peces, en el cost de les peces, en el nombre d'operacions de muntatge, en el temps de muntatge, en la facilitat de les operacions de muntatge: un conjunt d'estalvis que en el cost final del motor elèctric pot provocar un estalvi superior al 40 %

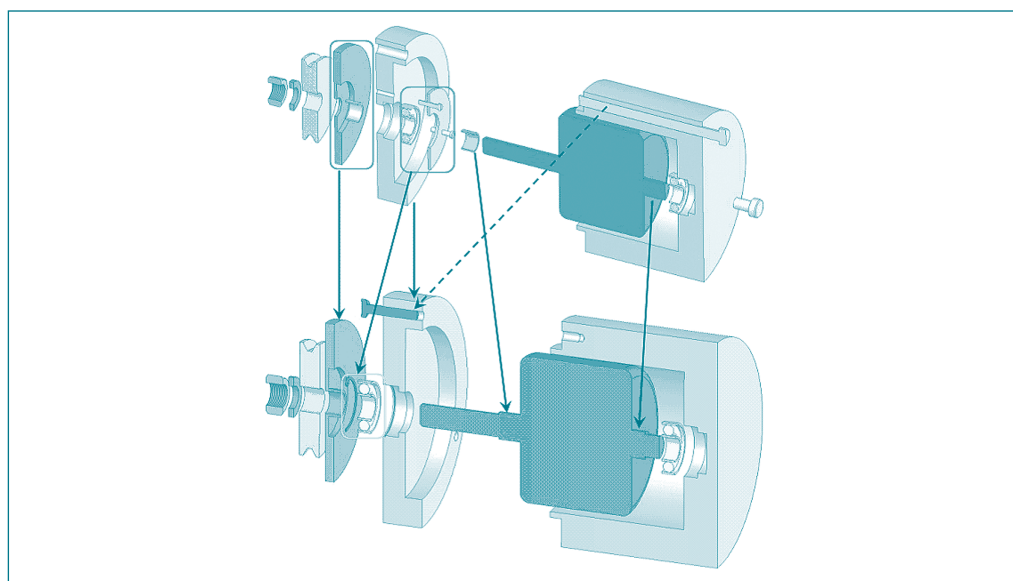


Figura 12. Comparació entre disseny inicial i final

5. Falses creènces sobre la seva implantació

S'han trobat raons molt diverses per justificar la resistència a l'ús del DFMA. La major part són objeccions personals molt relacionades amb l'ego individual, és a dir, el temor de perdre el control o simplement el rebuig del canvi. Per descomptat, aquestes i d'altres poden ser resoltes.

A continuació es descriuen les objeccions més habituals i els seus contra-arguments:

“No hi ha temps”

La queixa més comentada pels dissenyadors per justificar el fet de no utilitzar aquest tipus de tècniques és el poc temps que els seus caps els autoritzen per dedicar a l'etapa de disseny. Amb el DFMA, invertint més temps en les etapes inicials, es redueix de l'ordre del 45 % del temps total de fabricació i disseny.

“La idea no ha sortit d'aquí”

El més habitual és que la idea d'implantar aquestes tècniques provingui de la direcció tècnica o de la gerència. Això provoca que els dissenyadors siguin reticents al seu ús, atès que suposa un canvi en la seva forma de treballar. Només quan els dissenyadors sentin que la idea ha vingut d'ells aplicaran el DFMA.

“Els meus dissenys són bons”

Dir a un dissenyador que els seus dissenys podrien ser millorats és semblant a dir a una mare que el seu nadó és lleig. És important, per tant, involucrar els dissenyadors en l'anàlisi i motivar-los a produir millors dissenys. Si ells realitzen l'anàlisi, oferiran menys resistència a comentar i criticar problemes de disseny.

“El nostre cost de muntatge és baix”

Encara que el cost de muntatge sigui petit en relació amb la resta de costos, val la pena dedicar-hi esforços, perquè sovint s'obtenen millores de fabricació o l'eliminació de peces que provoquen un efecte dòmino sobre la resta de peces i conjunts.

“Hem estat fent això durant anys”

Habitualment es confon DFMA amb mètodes de “disseny enfocat a la productivitat”. Aquest tipus de mètodes actuen sobre l'etapa de disseny de detall, en què les decisions importants que afecten els costos de fabricació ja han estat preses.

“És només una anàlisi del valor”

Els objectius del DFMA i l'anàlisi del valor són els mateixos. No obstant això, el DFMA està pensat per ser aplicat des de l'inici del cicle de disseny, a diferència de l'anàlisi

“El DFMA condueix a productes que són més difícils de mantenir”

del valor, que no té en compte l'estructura del producte ni la seva possible simplificació. L'experiència demostra que el DFMA obté millores significatives fins i tot després d'haver realitzat una anàlisi del valor.

“Prefereixo regles de disseny”

L'experiència demostra que si un producte és més fàcil de muntar també serà més fàcil de desmuntar i tornar a muntar.

“Rebutjo l'ús del DFMA”

Les regles de disseny poden guiar el dissenyador en la direcció incorrecta. Generalment, el forcen a pensar en peces simples que siguin fàcils de fabricar. Això pot comportar geometries complexes de producte i un increment del cost total del producte.

És imperatiu que el dissenyador o l'equip de disseny rebin l'incentiu i les facilitats necessaris per incorporar les consideracions de muntatge i fabricació des de la fase de disseny.

6. Quins beneficis aporta?

Els principals beneficis que s'obtenen de l'aplicació del DFMA són la reducció de costos dels productes i la disminució del temps de sortida al mercat. En la situació de globalització de mercats que vivim, aquests dos aspectes són clau per al futur de les empreses.

El DFMA proporciona un procediment sistemàtic per analitzar un disseny proposat. Origina productes més senzills i robustos, els quals són menys costosos de fabricar i muntar. La reducció del nombre de peces produeix un efecte bola de neu envers la reducció de costos. Tots aquests factors tenen un efecte important sobre els costos indirectes.

El DFMA promou el diàleg entre els dissenyadors i els responsables de producció, i amb qualsevol altre individu que participi d'una forma o d'una altra en el procés de disseny i fabricació. Això vol dir que l'equip de treball està motivat i els beneficis de l'enginyeria simultània o concurrent poden ser assolits.

De forma esquemàtica, el conjunt de beneficis són:

- Reducció de l'estoc de peces
- Reducció de l'estoc d'eines i utillatges
- Eliminació de plànols
- Simplificació de la gestió de compres
- Simplificació de la gestió de magatzems
- Simplificació dels processos
- Augment de la productivitat
- Augment de la qualitat del producte
- Augment de la flexibilitat de fabricació
- Documentació acurada de la solució actual i del ventall d'alternatives avaluades
- Facilitació de la gestió del coneixement dins l'empresa
- Enfortiment del consens de l'equip de disseny
- Facilitació del diagnòstic d'averies
- Millora de la manteniment

Segons les dades d'una enquesta realitzada per Boothroyd i Dewhurst, els percentatges de benefici de l'aplicació del DFMA són de l'ordre de:

- 51 % de reducció del nombre de peces
- 37 % de reducció del cost de les peces
- 57 % de reducció del temps de fabricació
- 62 % de reducció del temps de muntatge
- 68 % de millora de qualitat

7. Bibliografia

El principal llibre sobre DFMA

BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, W. Product Design for Manufacture and Assembly. Marcel Dekker, Inc., 1994.

Altres edicions

RIBA i ROMEVA, Carles. V. Metodologia. Edicions UPC, 2002.

Postgrau en Desenvolupament de projectes d'enginyeria de producte. CIME-DPEP 2004-2005. Centre CIM (ICT/UPC).

Articles

An introduction to Design for Manufacture and Assembly - DFMA. Original article by G. Boothroyd, revised by Design IV with permission.

DFMA and The Future of Product Design. Original article by G. Boothroyd.

Dealing with resistance to DFMA. Design IV.

Case Study Overview - Industrial Equipment, Automotive, Consumer Products, Aerospace & Defense, Medical Equipment, Office Equipment and Telecommunications. Design IV.

Principals pàgines webs

www.dfma.com

www.dfma.net

www.design-iv.com/

www.npd-solutions.com/dfmguidelines.html

www.synergistechinc.com/dfma.htm

<http://iris.fst.zcu.cz/innomat/inncdr>

www.magyc.it/dfma.htm

<http://acc.dau.mil/simplify/>

Accediu a totes les publicacions d'ACC1Ó a: www.acc10.cat/publicacions



[www. acc10.cat](http://www.acc10.cat)



www.anella.cat
