

Resum

El projecte pretén dissenyar un motllo per produir una peça de PP (polipropilè) en sèrie. S'ha partit d'un plànol de fabricació de la peça de plàstic. Aquesta peça és una safata situada sota els seients davanters d'un vehicle.

El motllo que s'ha dissenyat és d'acer amb corredisses. És d'interès el sistema de refrigeració emprat basat en circuits d'aigua.

S'ha creat un model de la peça en 3 dimensions per tal de poder simular el procés d'injecció.

Mitjançant la simulació del procés amb el programa Moldflow, i amb una valoració del cost del motllo, s'han determinat els paràmetres bàsics de disseny, com és el nombre de cavitats. També s'han definit variables de procés i s'ha escollit la màquina d'injecció.

S'han aplicat les tecnologies existents en aquest tipus de motllo per els principals sistemes, com poden ser la injecció del material plàstic, l'expulsió de la peça plàstica aconseguida i el desmoldeig de zones de la peça sense sortida.

Tots els components del motllo ha estat dissenyats com sòlids al programa paramètric Pro/Engineer.

Per comprovar que el disseny del motllo és correcte, s'han simulat en el programa d'elements finits ANSYS les peces que s'han considerat crítiques en el motllo. Al tractar-se d'un procés cíclic, s'ha efectuat un càlcul a fatiga.

Els resultats obtinguts fan referència a la vida del motllo, quines són les parts més crítiques del disseny, quines prestacions s'obtenen i s'han determinat els paràmetres del procés pel seu correcte funcionament. També s'han comentat els aspectes de disseny de la peça plàstica que es poden millorar i els que són beneficiosos per la funcionalitat del motllo.





Sumari

RESUM	1
SUMARI	3
1. PREFACI	7
1.1. Origen del projecte.....	7
1.2. Motivacions	7
2. INTRODUCCIÓ	9
2.1. Objectius del projecte.....	9
2.2. Abast del projecte.....	9
3. PEÇA PLÀSTICA A FABRICAR.	11
3.1. Definició.....	11
3.2. Plec de condicions.	12
3.2.1. Garantia.	13
3.2.2. Forma de pagament del motllo.	14
3.2.3. Temps d'entrega.....	14
3.2.4. Quadern de càrregues del motllo.....	14
3.3. Estudi del plànol de fabricació de la peça plàstica.	14
3.3.1. Toleràncies, DIN 16901.....	15
3.3.2. Acabats superficials peça.....	15
3.3.3. Color peça.....	15
3.3.4. Material peça.	16
3.4. Reglamentació.	16
3.5. Elecció del material plàstic.....	16
3.5.1. Sol·licitacions.	16
3.5.2. Polipropilè com a solució pel disseny de la peça. Avantatges i desavantatges.	17
3.5.3. Estudi d'alternatives al mercat.	18
3.5.4. Elecció del material.....	20
3.5.5. Càlcul de la demanda anual.....	21
3.6. Model paramètric (3D) de la peça de plàstic. Comentaris al disseny de la peça.....	22
4. AVANTPROJECTE: DISSENY CONCEPTUAL I ARQUITECTURA DEL MOTLLO.	23
4.1. Contracció.	23



4.2.	Càlculs previs del procés d'injecció.	24
4.2.1.	Força de tancament	24
4.2.2.	Càlcul del grup de plastificació i d'injecció.....	25
4.2.3.	Cicle d'injecció [10].....	26
4.3.	Número de cavitats.	27
4.3.1.	Nombre mínim i màxim de cavitats que es poden fabricar segons el criteri del dissenyador.	28
4.3.2.	Matriu de resultats.....	28
4.4.	Sistema d'injecció.	29
4.5.	Arquitectura del motllo.	31
4.5.1.	Tipus de motllo.	31
4.5.2.	Plaques principals.	31
4.5.3.	Moviments.	32
5.	MOLDFLOW. _____	34
5.1.	Suposicions.....	34
5.1.1.	Sistema d'injecció.....	34
5.1.2.	Refrigeració.	34
5.1.3.	Particions.	35
5.1.4.	Altres consideracions.	35
5.2.	Paràmetres de procés.....	36
5.3.	Anàlisi realitzat.	36
5.4.	RESULTATS.....	37
6.	DISSENY BÀSIC I CÀLCULS. _____	39
6.1.	Volums de PARTICIÓ.....	39
6.1.1.	Corredissa frontal.	39
6.2.	Selecció sistema d'injecció.	40
6.3.	Centratge general del motllo. Encunyament.	40
6.4.	Màquina d'injectar.	42
6.5.	Càlcul de la resistència mecànica de la corredissa lateral amb ansys.	43
6.6.	Disseny i càlcul d'elements mecànics.	46
6.6.1.	Columnes del motllo.....	46
6.6.2.	Sistema de guiatge de les corredisses.....	47
6.7.	Circuits de refrigeració.	48
6.7.1.	Connexió del circuit del patí expulsor a la placa expulsora superior.	49
6.8.	Sistema d'expulsió.	50
6.9.	Connexions elèctriques del motllo.	50
7.	MEMÒRIA ECONÒMICA. _____	51



7.1. Costos del motllo.....	51
7.2. Costos de producció.	52
7.3. Repercussió de la peça.....	52
CONCLUSIONS.	54
BIBLIOGRAFIA	55
Referències bibliogràfiques	55



1. PREFACI

Des de que conec el motllo, l'he considerat com una màquina en el sentit en què *es concep com una construcció artificial, fruit de la tècnica, constituïda per un sistema de sòlids en moviment que s'articulen i mouen els uns als altres per contacte, amb la finalitat de produir eficaçment un efecte determinat, superior a qui aconsegueix cadascun dels components. En quant que persegueixen la consecució d'algun fi, estan en una relació de dependència amb alguna activitat humana, raó per la qual el problema específicament filosòfic és el que deriva de la relació entre l'home i la màquina [1].*

1.1. Origen del projecte

Donada la meua proximitat al món del motllo, va sorgir la possibilitat de dissenyar un motllo d'una peça altament complexa per injecció de termoplàstic. La geometria de la peça oferia la possibilitat de treballar un ampli ventall de solucions tècniques al motllo en quan a moviment entre plaques.

1.2. Motivacions

- Conèixer el ventall de coneixements, tècniques i experiència que envolta al món del motllo, que, malgrat l'experiència dels fabricants i de les eines, cada cop més complexes, és un problema obert, tant el seu disseny com la fabricació. Cada projecte remou l'experiència i posa en dubte les tècniques utilitzades.
- Era un repte del projecte, servir de guia de disseny, estandarditzar el procés, donar solucions i tancar alguns sistemes en pla genèric pel disseny de peces plàstiques, disseny i elaboració del motllo .
- Millorar i innovar la manera de dissenyar, calcular i fabricar motllos, en aquest cas, per injecció de termoplàstics.
- Familiaritzar-me amb eines de disseny mecànic especialitzades per motllos, elements normalitzats del mercat així com programes de simulació.



2. INTRODUCCIÓ

2.1. Objectius del projecte

- Disseny d'un motllo d'acer per produir una peça de polipropilè segons les necessitats del client.
- Assegurar la producció de la peça dissenyant el procés productiu.
- Utilitzar programes basats en elements finits per simular el procés i comprovar el disseny.
- Plànols necessaris per la fabricació i l'ajustatge de les peces.

2.2. Abast del projecte

Modelització i simulació del procés per tal d'obtenir els criteris adequats per dissenyar el motllo.

Es tracta de dissenyar el motllo, no la peça, aquesta ja ve donada pel client. No obstant, és de l'abast d'aquest projecte, parametritzar la peça per tal d'aplicar anàlisis i simulacions. Així com modificar-la en cas de millorar o fer possible la seva fabricació. Per les parts del motllo susceptibles de fallida, realitzar un anàlisis d'elements finits.

Per últim, realitzar el càlcul econòmic del procés productiu de la peça, així com el cost de disseny i fabricació del motllo.



3. PEÇA PLÀSTICA A FABRICAR.

3.1. Definició.

La peça en qüestió és un component interior d'automòbil. Es tracta d'una safata ubicada sota els seients davanters del vehicle que permet guardar objectes diversos.

Forma part d'un sistema que permet a l'usuari desplaçar-la, com si d'un calaix es tractés, per accedir al contingut guardat en el seu interior. Algunes de les cotes poden ser crítiques en relació a aquest sistema que ha de permetre un correcte tancament per a què no es desplaci la safata sobtadament durant el trajecte del vehicle.

La part frontal d'aquesta safata és vista pels ocupants del vehicle, per tant ha de tenir una funció estètica, integrada amb la resta de components del interior del vehicle. Per aquesta raó, l'aparença i el color és un punt crític en el disseny d'aquesta peça. Mentre que el color depèn exclusivament del material escollit, per l'aparença s'han de considerar diversos factors referents a:

- El material.
- Disseny de la peça. La forma dels nerviats interiors i gruixos de parets són determinants en aquest aspecte.
- Motllo. Tenir un bon disseny de particions pot reduir el desgast de les peces en el motllo retardant així l'aparició de rebaves. El polit del motllo en zones vistes, superfícies amb textures i, sobretot, en nervis transversals de reforç a superfícies vistes, és determinant en l'aspecte. Un mal polit de nervis interiors pot causar marques en les superfícies. També el disseny del circuit de refrigeració és important, l'acumulació de calor en superfícies en contacte amb el plàstic pot provocar un aspecte més brillant en una zona determinada. La refrigeració també és important per obtenir bons resultats en el procés d'injecció. Un altre aspecte relacionat és el sistema d'injecció i la seva ubicació, per aquesta funció existeix en el mercat una àmplia gama de solucions, com es veurà en els capítols 4 i 6.
- Procés d'injecció. Paràmetres com són la temperatura del motllo, d'expulsió i d'injecció, temps de cicle, la pressió d'injecció i força de tancament juguen un paper crucial en aquest sentit.

No es tracta, com s'ha vist, d'una peça estructural, que estigui sotmesa a grans sol·licitacions mecàniques.



Per la seva ubicació, existeixen una sèrie de reglamentacions referides a peces plàstiques en interiors de vehicles. Aquesta legislació, així com altres especificacions referents al material i al disseny, es troben indicades al plànol de fabricació de peça.

Com s'ha pogut observar, la peça de plàstic és, en sí mateixa, un veritable quadern de càrregues pel motllo i del procés que l'ha de fabricar.

Tanmateix, en aquest cas, el motllo s'ha dissenyat i fabricat sota comanda d'un client, que s'ha d'encarregar del procés de fabricació de la peça. Aquest, per la seva experiència en processos similars, ha efectuat una sèrie de sol·licitacions recollides al Quadern de Càrregues del motllo.

3.2. Plec de condicions.

A la comanda del motllo es troben les següents condicions referents al seu disseny:

ENTRADES DE MATERIAL

1	Nº CAVITATS		INDUCCIÓ
X	ENTRADA DIRECTA		CENTRAL SANDWICH
	ENTRADA SUBMARINA		PER VÀLVULES
	ENTRADA CAPILAR		PER PLACA
	CÀMARA CALENTA		BOQUILLA CALENTA

CORREDERES

X	GUIES INCLINADES
	CILINDRES HIDRÀULICS
	CILINDRES NEUMÀTICS
X	ENDOLLS REFRIGERACIÓ STAÜBLI

DESSENROSCATS

	MECÀNIC
	HIDRÀULIC
	ELÈCTRIC



MARCAR SÍMBOLS EN PECES

X	Nº DE CAVITATS
X	DISTINTIU MATERIAL RECICLAT
X	DATADOR A COMENTAR
X	REFERÈNCIA PEÇA (AMB POSTISSOS)
X	DISTINTIU DE MATERIAL (AMB POSTISSOS)
X	EMBLEMA DEL CLIENT
X	DATADOR RECANVIABLE.

TIPUS DE MOTLLO

X	AUTOMÀTIC
	SEMIAUTOMÀTIC
	MANUAL

TRACTAMENT

X	FIGURES TEMPLADES 52/54 HRC
X	FIGURES AMB MOVIMENT TEMPLADES 52/54 HRC Y NITRURAT

ACERS

2083	FIGURES
2312	PLACAS PORTAFIGURES
1730	PORTAMOTLLOS

ACABATS

	PULIT MIRALL
X	PULIT INDUSTRIAL
S/ PLÀNOL	TEXTURITZAT
	GRAVAT D'EROSIÓ

ALTRES

20mm	RADI BOQUILLA INJECCIÓ
------	------------------------

Taula 3.1. Comanda del motllo.

Tot i que a la comanda es detallen aspectes de disseny del motllo, es calcularan quan sigui necessari, canviant la característica si així es millora el resultat, com per exemple el número de cavitats.

3.2.1. Garantia.

El motllo ha de garantir els defectes en els components del motllo o en els acers durant 7 anys.

La fabricació anual estimada és de 35.000 peces, segons sol·licitació del client.



3.2.2. Forma de pagament del motllo.

Primer pagament: 30% a la comanda, mitjançant xec, transferència o gir bancari el dia de pagament del client.

Segon pagament: 30% al següent dia de pagament del client una vegada transcorreguts 90 dies de la prova de motllo en la que s'aconsegueixin peces vàlides com a primeres mostres.

Tercer pagament: 40% restant al següent dia de pagament una vegada transcorreguts 90 dies de la homologació de les peces per part del client final.

3.2.3. Temps d'entrega.

Es sol·licita que la fase de disseny i construcció del motllo es completi com a màxim en un temps de 13 setmanes.

3.2.4. Quadern de càrregues del motllo.

S'ha de tenir molt en comte aquest document des del primer moment en què es dissenya el motllo, és a dir, a l'avantprojecte. Es troba al punt A.1. de l'annex de càlculs.

El contingut del quadern fa referència als següents conceptes:

- Disseny del buló expulsor.
- Radi del "bebedero" R20 mm, sol·licitació de l'injectador.
- Inserts datadors i simbologia de reciclatge.
- Disseny postís de gravat de material i referència de la peça.
- Endolls ràpids Stäubli.
- Connexions elèctriques.

3.3. Estudi del plànol de fabricació de la peça plàstica.

S'ha considerat oportú separar la reglamentació d'aquest apartat encara que sigui un dels continguts del plànol.



3.3.1. Toleràncies, DIN 16901.

Per les cotes sense especificació de tolerància, s'aplicarà la norma DIN 16901 (Plastics mouldings. Tolerances and acceptance conditions for linear dimensions)

S'ha de tenir en compte diferenciar les cotes per dimensions en la mateixa peça del motllo i per dimensions determinades per peces amb moviments relatius entre elles, en aquest cas s'ha de tenir especial atenció en les toleràncies especificades contra la cota. Per més detall veure norma DIN 16901 de l'annex.

Grup de toleràncies.

Segons la norma DIN 16901, per un polipropilè carregat amb Talc, es tenen els següents grups:

- Grup 140, per les dimensions sense tolerància especificada al plànol.
- Per dimensions amb tolerància al plànol, es comprova que estiguin al grup 130. De no ser aquest el cas s'han d'aplicar mesures especials que encareixen el producte.

A l'annex s'ha estudiat dimensió per dimensió. Com a conclusió, cap de les toleràncies especificades contra les cotes al plànol són viables. En alguns casos la limitació és el material. En aquests casos s'hauria de canviar el material per un altre que tingués unes prestacions de grup 110, fet que representa la utilització de mesures més extenses i costoses en producció. En altres casos, no es suficient un canvi de material i s'ha de recórrer a emprar enginyeria de precisió per la consecució de les toleràncies.

3.3.2. Acabats superficials peça.

Han estat determinades dues parts ben diferenciades:

- Part davantera. És una superfície de disseny. Ha d'incorporar un texturitzat amb referència 539 segons plànol de fabricació de la peça de plàstic.
- La resta de la peça requereix un polit industrial.

3.3.3. Color peça.

El color de la peça ha de ser gris i el més semblant possible a la referència PK 27, segons plànol de fabricació de la peça de plàstic.



3.3.4. Material peça.

A l'especificació número 1 del plànol de fabricació de la peça de plàstic es troba el requeriment del material: NES PP-IC3.

3.4. Reglamentació.

A les especificacions del plànol de fabricació de la peça (spec.2.1i 2.2) es fa referència a la reglamentació per aquest tipus determinat de peces d'interior de vehicles:

- Directiva EEC78/632, [2].
- Regulació ECE N°. 21, [3].

També fa referència a la normativa del client final que ha de complir el test de resistència a la flama del material (NES M0094-1995), que respon a les següents legislacions:

Europa : Finland §56-4

USA: FMVSS 302, [4].

En aquest estudi s'ha considerat la legislació que fa referència al material utilitzat. Així, en el següent apartat, s'han seleccionat les diferents alternatives de materials de forma que respectin la reglamentació.

3.5. Elecció del material plàstic.

3.5.1. Sol·licitacions.

El material utilitzat a de complir amb la normativa **NES PP-IC3**, a la qual, el primer punt de les especificacions al plànol de peça fa referència.

Es tracta de una peça interior d'automòbil. Dins d'aquesta aplicació i per fer més sòlida la cerca del material plàstic a emprar, s'ha triat com a peça de referència, més sovint emprada a l'automòbil que la d'aquest estudi i de similars sol·licitacions, una guantera.

- PROPIETATS FÍSiques. Ha de ser de color gris (PK27 o el més similar possible) segons especificació del plànol de peça.
- PROPIETATS MECÀNIQUES. Similars a les de una guantera. Veure material recomanat RheTech. Bon coeficient de lliscament per sistema d'obertura.



- **PROPIETATS TECNOLÒGIQUES.** Estabilitat dimensional per assegurar el correcte funcionament del sistema d'obertura del calaix. Ha de permetre l'emmotllament per injecció com a procés de transformació.

Preu raonable per tal de minimitzar la incidència en el cost global de l'automòbil i millorar, per tant, la competitivitat d'aquest. Per aquesta raó es buscarà un proveïdor que distribueixi a Europa i permeti un estalvi en el transport del material. Per aquesta raó RheTech queda descartat, tot i ser el fabricant de referència a la normativa especificada pel client.

3.5.2. Polipropilè com a solució pel disseny de la peça. Avantatges i desavantatges.

L'objectiu d'aquest apartat és justificar l'elecció del PP com a material emprat per fabricar la peça encara que sigui ja, unes de les especificacions d'inici del projecte.

El Polipropilè es tracta d'un termoplàstic semicristallí. Els copolímers amb etilè tenen major resistència al impacte (inclús a baixes temperatures) i major estabilitat a la intempèrie.

Les seves propietats mecàniques, com són la rigidesa, duresa i resistència, són més elevades que les del polietilè, però presenta menor resistència al impacte amb proveta entallada.

Per a altes sol·licitacions mecàniques és convenient la incorporació de fibres de vidre.

Amb càrrega de minerals, es pot reduir el seu cost i prevenir deformacions.

Destaca la seva gran qualitat i versatilitat en ser el termoplàstic que millor combina propietats elèctriques, resistència a la calor, rigidesa, duresa, resistència química, estabilitat dimensional i fluïdesa amb un cost inferior. Per aquesta raó es converteix en una solució ideal per tal de complir amb l'objectiu de minimitzar el impacte en el cost de l'automòbil.

La temperatura d'us màxima a l'aire és de 110°C, es pot augmentar millorant l'estabilització.

Temperatura de fragilització és de 0°C.

Resistència a la flama com el polietilè, es crema desprenent fums i gotejant.

- **AVANTATGES.**

Bona injectabilitat. Per la seva baixa densitat, la potència de plastificació de la màquina d'injectar és menor, comparat amb el PS (poliestirè), és un 30% inferior.

Àmplia gama de colors, es pot tenyir en molts colors opacs.



- **DESAVANTATGES.**

Les seves propietats elèctriques aïllants fan que tendeixi a carregar-se electroestàticament i acumular pols. Per aquesta raó es recomanable afegir additius antiestàtics.

Pobre estabilitat a la intempèrie, particularment sensible a les radiacions UV.

Convé incorporar una boquilla amb obturador automàtic al motllo, fet que incrementa el cost d'aquest.

3.5.3. Estudi d'alternatives al mercat.

S'han buscat referències a la normativa **NES PP(C)-IC3** i s'ha trobat al programa Prospector Ides [5], una base de dades en constant actualització que treballa amb 60.000 plàstics de diferents fabricants, que la normativa més similar és la **NES M8012 PP(C) IC3**, i que el material que respon a aquesta norma és del fabricant RheTech, amb referència PP HP540-392. Existeix una incoherència entre aquest material i l'especificació de color de la peça al plàmol. Es té que el color ha de ser PK26 en lloc del PK27 del plàmol. S'ha consultat la web de RheTech per obtenir dades més extenses que les existents a la base de dades Prospector, i no s'ha trobat aquesta referència, per la qual cosa, s'ha buscat un material similar que tingués com a possible aplicació guanteres i s'han trobat els següents materials recomanats.



Referència del producte	Descripció del producte		
HP514-00UV	14% Talc Reinforced,	High Performance,	UV Stabilized,
HP514-01UV	14% Talc Reinforced,	High Performance,	UV Stabilized,
HP514-00	14% Talc Reinforced,	High Performance,	Non-UV Stabilized,
HP514-182	14% Talc Reinforced,	High Performance,	UV Stabilized,
HP514-199	14% Talc Reinforced,	High Performance,	UV Stabilized,
HP514-393	14% Talc Reinforced,	High Performance,	UV Stabilized,
HP514-394	14% Talc Reinforced,	High Performance,	UV Stabilized,
HP514-438	14% Talc Reinforced,	High Performance,	UV Stabilized,
HP514-489	14% Talc Reinforced,	High Performance,	UV Stabilized,
HP505-01	23% Talc Reinforced,	High Performance,	Non-UV Stabilized,

Referència del producte	Descripció del producte	
HP514-00UV	Polypropylene Copolymer,	Natural.
HP514-01UV	Polypropylene Copolymer,	Black.
HP514-00	Polypropylene Copolymer,	Natural.
HP514-182	Polypropylene Copolymer,	7701 Graphite.
HP514-199	Polypropylene Copolymer,	195A Medium Neutral.
HP514-393	Polypropylene Copolymer,	110D Medium Dark Pewter.
HP514-394	Polypropylene Copolymer,	102E Medium Oak.
HP514-438	Polypropylene Copolymer,	167A Ebony.
HP514-489	Polypropylene Copolymer,	101E Lite Oak.
HP505-01	Polypropylene Copolymer,	Black.

Taula 3.2. Materials RheTech.

De la llista s'ha escollit el **HP514-182** pel seu color. Per tant, es dona com a bona la selecció del material. També s'ha escollit com a referència per cercar materials alternatius en altres marques que distribueixin a Europa ja que no s'han trobat les propietats físiques ni informació sobre el procés d'injecció per la referència HP540-392.

Val a dir que s'han trobat normatives similars a la ja esmentada. Són les següents:

- NES M8040 PP(T10)-IC3-1. Referència del fabricant RheTech: FT4500-01
- NES M8040 PP(T20)-IC3-1. Referència del fabricant RheTech: PP HP540-392

S'ha cregut més adient la primera pel fet de tractar-se d'un copolímer.



De totes formes, els materials de referència que s'han trobat per les altres normatives són de color negre, cosa totalment inacceptable en el disseny de la peça de l'estudi.

Com a alternatives d'altres fabricants s'han triat els següents:

Fabricant	Referència
RheTech, Inc.	PP HP514-182
Borealis A/S	Daplen EE137HP
Basell Polyolefins	Hostacom XM2 U36
AD majoris	EE 107 GREY 7803/CTH26007
LG Chem Ltd.	Lupol® GP-3400

Taula 3.3. Materials plàstics alternatius i característiques [5].

Els criteris en que s'ha fonamentat la cerca han estat:

- Propietats adients per l'aplicació segons criteris del fabricant.
- Estar al llistat de materials alternatius al de referència.
- Complir amb l'especificació de color gris.
- És preferible haver estat estabilitzat amb radiacions UV (ultraviolades). Així es millora el seu aspecte al llarg de la seva vida útil.
- Fabricants de reputació coneguda.
- Estar a la base de dades del programa MoldFlow per tal de poder tenir un model el més proper possible a la realitat.
- El fabricant ha de distribuir a Europa.

A l'annex es troben els paràmetres de les cerques a Prospector, les especificacions de cadascun d'ells i la comparativa.

Els materials han estat consultats a les pàgines web dels respectius fabricants, a la base de dades Prospector [5], al programa CAMPUS [22] i a la base de dades del programa MoldFlow, on s'han extret les característiques del materials.

3.5.4. Elecció del material.

Tots els materials de la taula 3.3 han estat dissenyats per aplicacions en l'automòbil i per ser emmotllats per injecció.



Com a fets característics del Daplen, destaca la resistència a la ratlladura. El AD Majoris, incorpora estabilització UV.

S'ha pres com a material definitiu el Daplen per les bones característiques i la disponibilitat a la base de dades MoldFlow.

Encara que els costos es tracten amb més detall en la secció d'estudi econòmic s'ha volgut incloure el cost com a propietat interessant del material en el següent apartat.

3.5.5. Càlcul de la demanda anual

El inici hipotètic de la fase productiva és el dia 2 de gener de 2007. Es preveu una vida útil del motllo de 7 anys, així que serà considerat que cada any seran entregades les 35000 unitats sol·licitades pel client.

L'aprovisionament més adequat, segons el comentat amb els fabricants, és fer una comanda anual.

Sol·licitació de peces anual del client (= 35.000 unitats).

Estimació de la falta de qualitat, aturades i proves de motllo:

Falta de qualitat: 15%

$$D'_A = 35000u \times 1,15 \times \frac{0,4kg}{1u} = 16100 \text{ [kg]} \quad (\text{Eq. 3.1})$$

Aturades: 1000 kg

10 proves a 100 kg per prova = 1000 kg.

$$D_A = D'_A + 2000 \approx 18100 \text{ [kg]} \quad (\text{Eq. 3.2})$$

Com a càlcul per l'aprovisionament és més que suficient.

La capacitat d'un contenidor és entre 17236,510 kg i 18143,695 kg. Per tant, és suficient comprar un contenidor anual.

Els preus del PP han estan extrets de l'informe de preus extret de IDES [6].



3.6. Model paramètric (3D) de la peça de plàstic. Comentaris al disseny de la peça.

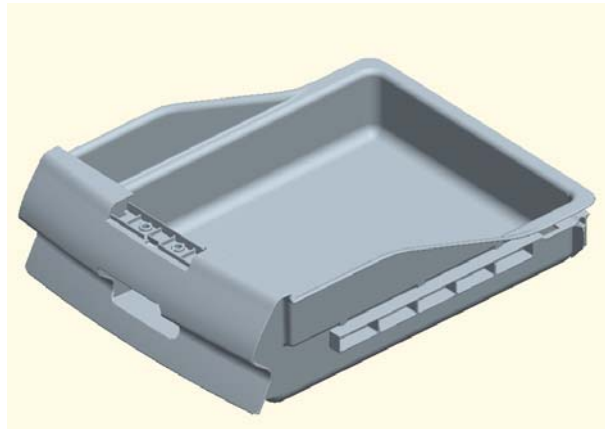


Fig. 3.1. Model de la peça plàstica Safata Undertray [11]

El fet de tenir un model sòlid de la peça a fabricar és molt útil per poder fer simulacions en programes CAE que permeten tenir una visió sobre el comportament de la peça en el seu procés de fabricació i en la seva posterior aplicació. D'aquesta manera s'eviten posteriors modificacions quan el motllo ja està acabat i el procés definit, cosa que resulta molt més costosa.

D'altra banda, aquest model permet un millor anàlisi del seu disseny.

Totes les aristes han de ser radiades, en la mesura del possible segons indica el plànol de fabricació de la peça plàstica.

S'han d'aplicar els angles de sortida necessaris.



4. AVANTPROJECTE: DISSENY CONCEPTUAL I ARQUITECTURA DEL MOTLLO.

A l'avantprojecte, és important definir els sistemes principals del motllo, com són l'arquitectura general, el sistema d'injecció, el nombre de cavitats, l'expulsió i la refrigeració, així com dimensionar-los. També cal definir paràmetres bàsics del procés d'injecció com les sol·licitacions per la màquina d'injectar i el cicle d'injecció. Es defineix la contracció que s'ha d'aplicar al model de la peça per fer-lo servir per les plaques del motllo.

4.1. Contracció.

Per tal d'aconseguir les dimensions desitjades a la peça de plàstic, s'han de copiar les superfícies de la peça al motllo aplicant la contracció, en sentit invers, que tindrà la peça una vegada injectada fins que s'estabilitza a la temperatura ambient. La norma DIN 16901 Plastics mouldings. Tolerances and acceptance conditions for linear dimensions, dona la següent fórmula per la contracció:

$$VS = \left(1 - \frac{L_F}{L_W}\right) \cdot 100 \text{ [%]} \quad (\text{Eq. 4.1})$$

VS [%]	contracció
L_F [mm]	dimensions del motllo a $23 \pm 2^\circ\text{C}$
L_W [mm]	dimensions de la peça plàstica mesurades immediatament després d'haver transcorregut 16 hores en una atmosfera segons DIN 50014-23/50-2.

S'ha considerat que tant la contracció radial com la tangencial tenen el mateix valor al no tractar-se d'un material amb fibres.

El valor de la contracció del plàstic s'ha pres de les característiques del material escollit (Daplen EE137HP).

$$VS = 0,95 \text{ \%}.$$



Per tant, el factor de correcció a aplicar al model de la peça per extreure les superfícies del motllo és el següent:

$$\frac{L_w}{L_f} = \frac{1}{1 - \frac{VS}{100}} = \frac{1}{1 - \frac{0.95}{100}} = 1,00959 \quad (\text{Eq. 4.2})$$

4.2. Càlculs previs del procés d'injecció.

La finalitat d'aquests càlculs és escollir el nombre de cavitats i definir els criteris per l'elecció de la màquina d'injecció.

A continuació, es fa referència a les fórmules utilitzades, valors empleats, sistemes de càlcul utilitzats i altres consideracions per cada concepte.

S'han analitzat dues alternatives (motllo de una o dues cavitats) mitjançant una simulació simple al programa MoldFlow amb els mateixos paràmetres de procés i s'han obtingut els resultats indicats a la matriu de resultats del punt B.2. de l'annex.

Els resultats d'aquests anàlisis així, com paràmetres introduïts, es troben als punts D.2. i D.3. de l'annex de càlculs.

4.2.1. Força de tancament

Aquesta és la força aplicada per la màquina per tal de mantenir el motllo tancat mentre s'efectua la injecció del material plàstic dins de la cavitat.

Tot i que s'ha obtingut una solució per aquesta variable mitjançant simulacions amb MoldFlow, és convenient realitzar un càlcul simple amb una pressió d'injecció màxima (P) i amb un factor de seguretat (K).

No s'ha de confondre aquesta pressió amb la pressió màxima d'injecció en el punt d'injecció, ja que aquesta última pren un valor més elevat. Un valor normalment aplicat per aquest càlcul per la pressió màxima d'injecció al interior de la cavitat del motllo és de 36 N/mm² [8].

Aplicant la fórmula següent [8]:



K factor de seguretat (1,2 segons l'experiència, per evitar l'aparició de

$$F_C = K \cdot A_{pp} \cdot P \quad [\text{N}] \quad (\text{Eq. 4.3})$$

rebaves).

A_{pp} [mm²] superfície projectada en el pla perpendicular a l'eix Y d'obertura del motllo de la peça.

$A_{pp} = 91686,3 \text{ mm}^2$, càlcul efectuat amb ProEngineer sobre el model de la peça amb el factor de contracció aplicat.

Una consideració més, que es tracta a l'apartat 5.3, és la suma de les forces de

$$F_C = 1,2 \cdot 91686,3 \cdot 36 = 3960848 \text{ N}$$

precàrregues. Aquestes s'afegeixen al resultat anterior.

Pensant que aquestes forces no han de ser excessivament grans si s'ha realitzat un disseny correcte, s'ha limitat el seu valor a un 20% aproximadament del valor final de la força de tancament de la màquina d'injecció. D'aquesta manera,

El resultat és superior als 310000 N calculats amb MoldFolw. Per seguir un criteri

$$F_C = 3960848 \cdot \frac{100}{80} = 4951060 \text{ N}$$

conservador, s'ha utilitzat el valor superior.

El valor per l'alternativa de dues cavitats ha de ser el doble, ja que varia simplement l'àrea projectada de les cavitats.

4.2.2. Càlcul del grup de plastificació i d'injecció.

L'índex de plastificació significa la capacitat de la unitat d'injecció de la màquina per plastificar el plàstic necessari donat el pes de material a injectar cada cicle i la freqüència d'injecció [9].

m_p [g] massa per peça de plàstic.



producció [peces/hora]

$$GP = m_p \cdot \text{producció} \cdot \frac{1}{3600} \text{ [g/s]} \quad (\text{Eq. 4.4})$$

L'índex d'injecció necessari és la capacitat d'injectar plàstic en un determinat espai de temps durant la fase d'injecció [9].

$$I = \frac{m_p \cdot n}{t_i \cdot \rho} \cdot 10^3 \text{ [cm}^3\text{/s]} \quad (\text{Eq. 4.5})$$

t_i [s]	temps d'injecció
ρ [kg/m ³]	densitat del plàstic
n	nombre de cavitats

El sistema escollit per l'entrada de material al motllo pot limitar la capacitat de la màquina. Veure apartat 6.2.

4.2.3. Cicle d'injecció [10].

El cicle d'injecció és la suma dels temps de les fases en què es compona el procés d'injecció.

Els temps d'injecció, de manteniment i de refredament són variables calculades pels estudis amb MoldFlow.

El temps de maniobra comprèn el temps transcorregut entre l'obertura del motllo per extreure la peça fins que torna a estar tancat, just a l'instant anterior a ser injectat el plàstic.

La màquina d'injectar, la refrigeració del motllo i el sistema d'expulsió són els principals determinants d'aquesta fase.

No s'ha considerat el temps de manipulació ja que al ser un motllo amb extracció de peça automàtica no es perd temps manipulant la peça de plàstic o la màquina.

A la matriu de resultats, punt B.2. de l'annex, s'han calculat els temps de cicle d'injecció per les dues alternatives estudiades en quant a nombre de cavitats.



4.3. Número de cavitats.

El càlcul del número de cavitats òptim ha estat basat en un algoritme [11], en el que, en funció de la màquina d'injectar i el motllo, es va acotant el rang de solucions i finalment es selecciona la més econòmica entre la matriu de resultats per les diferents possibilitats.

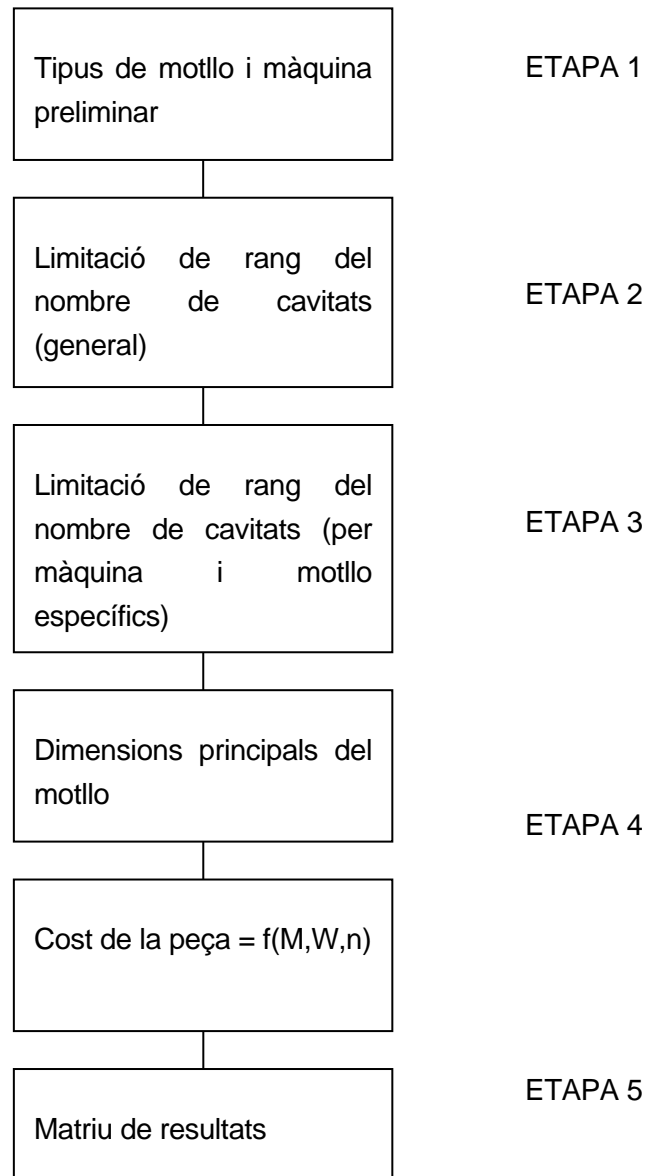


Fig. 4.1. Algoritme nombre de cavitats [11]

El criteri de selecció ha estat el cost de fabricació de la peça.



Normalment, s'ha de triar entre un nombre limitat de màquines que disposa l'empresa que ha d'injectar la peça. En aquest cas, no es limitarà l'estudi en aquest sentit, ja que es considerarà que la màquina s'ha de comprar nova per arrancar la producció.

El número de cavitats depèn tant de la màquina d'injectar com del tipus de motllo.

4.3.1. Nombre mínim i màxim de cavitats que es poden fabricar segons el criteri del dissenyador.

Per les dimensions de la peça i després d'analitzar la tecnologia existent en quant a màquines d'injecció i mides de les màquines, s'ha determinat que el número mínim de cavitats és de 1 i màxim de 4. Per la seva complexitat, s'ha descartat l'opció d'un motllo de 4 cavitats.

El que sembla més adient per aquest cas és un motllo d'una sola cavitat.

El cost del motllo de dues cavitats, malgrat poder estalviar la generació d'alguns elèctrodes i reduir temps de disseny, continua sent molt elevat respecte al d'una cavitat. Per exemple, s'ha de afegir el cost d'una càmera calenta i una placa base de cavitat addicional per poder integrar el sistema.

4.3.2. Matriu de resultats.

El rang de possibilitats que s'ha contemplat és entre una i dues cavitats.

Com es pot observar a la matriu de resultats de l'apartat B.2. de l'annex de càlculs, l'opció amb una cavitat resulta més econòmica que la de dos. Motiu d'això pot ser la complexitat de fabricar un motllo multicavitat per la peça de plàstic dissenyada.



4.4. Sistema d'injecció.

La entrada de material ha d'estar amagada de tal forma que no sigui vista des del compartiment de l'automòbil. Per tant, no pot situar-se a la superfície de disseny.

És preferible injectar per un sol punt, si la peça ho permet, per no tenir línies d'unió a la peça. Amb diferents punts, per millorar la injecció, s'hauria de contemplar una càmera calenta amb sistema d'injecció seqüencial. És una solució normalitzada però incrementa considerablement el cost del motllo, per tant, s'evitarà, si és possible, més d'un punt d'injecció.

Si s'injecta per la part interior de la peça, complica el sistema d'expulsió, ja que coincideix amb la part d'injecció, s'han d'emprar sistemes més sofisticats. Per altra banda, la boquilla ha de tenir major longitud, per tant, també s'incrementa el seu preu.

El número de punts d'injecció per peça ha estat determinat per simulació amb el programa MoldFlow. Primer s'ha estudiat la millor localització per un sol punt d'injecció:

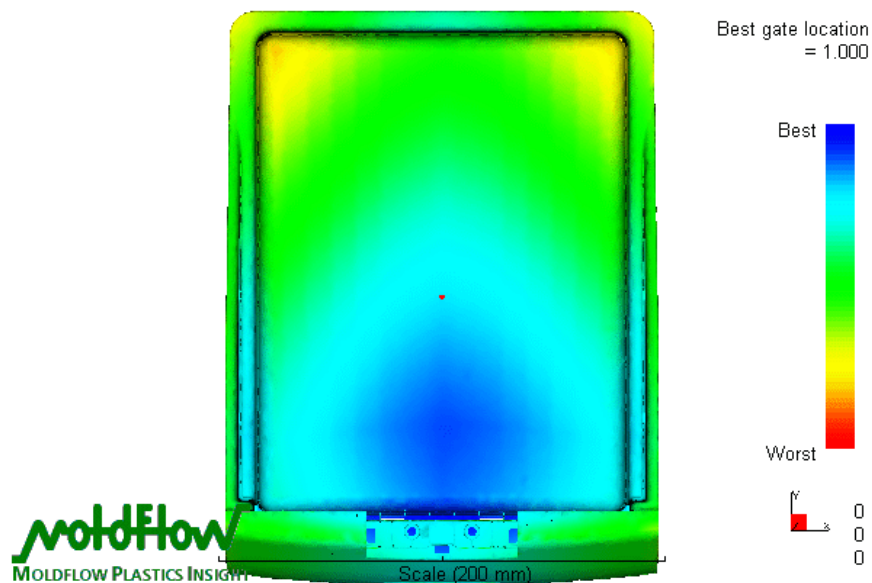


Fig. 4.2. Estudi de localització per un punt d'injecció.



Amb aquest resultat, s'han fet dos anàlisis addicionals:

- Localitzant l'entrada de material al punt recomanat al plànol de fabricació de la peça.
- Entrada en el punt òptim recomanat per l'anàlisi de localització, a la zona blava de la Fig. 4.2.

Comparant els resultats obtingut en els diferents punts d'injecció, es pot observar com els resultats per l'entrada de material en el punt òptim són lleugerament millors menys en el cas del temps d'injecció, que és menor en el cas de l'entrada recomanada al plànol.

Malgrat aquests resultats favorables a situar l'entrada al punt òptim, s'ha escollit l'opció a la que fa referència el plànol de fabricació per facilitar el disseny del motllo per tenir l'entrada de material centrada a la peça.

Triant la opció d'entrada en el punt òptim es crea un desequilibri de forces en el motllo que pot repercutir en la qualitat de la peça pel desgast heterogeni de les diferents parts del motllo. Una possible solució és introduir una càmera calenta al sistema d'injecció, però aquesta opció és massa costosa com per no considerar els resultats amb entrada de material centrada a la peça.

Als dos estudis, la peça s'ha injectat correctament, per tant, no és necessari introduir un segon punt d'injecció.

En conclusió, s'injectarà amb única entrada directa per la part exterior de la peça i en la posició de la figura. Les coordenades es troben al plànol de fabricació de la peça de plàstic. En aquest punt s'ha definit l'origen de coordenades del motllo.

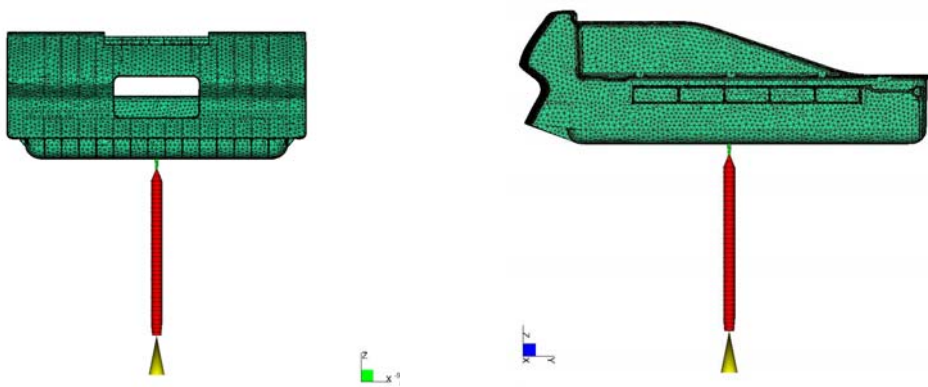


Fig. 4.3. Localització del punt d'injecció seleccionat.

S'ha escollit un sistema de boquilla directa a la peça.



4.5. Arquitectura del motllo.

S'ha analitzat el model que ha estat creat a partir de la informació del plànol de fabricació i s'han extret les següents conclusions:

4.5.1. Tipus de motllo.

El tipus de motllo a fabricar és similar a l'aplica't a caixes per transport de fruita o begudes o motllos per carcasses [12], en les que les parets verticals contenen negatius generats pels nervis de reforç. La solució aplicada per alliberar les parets que contenen negatius són corredisses per les exteriors i patins accionats per l'expulsió pels interiors. Segons la classificació de motllos de la norma DIN E 16750 [12] es tracta d'un **motllo de corredisses**,

4.5.2. Plaques principals.

El gruix de la cavitat està condicionat pel sistema d'injecció.

El gruix del punxó ha de ser suficient per tal de no superar el límit de fatiga de l'acer. D'altra banda, la deflexió no pot ser superior a 0,05 mm per evitar l'aparició de rebaves a la peça.

La part de punxó, on es té el sistema d'expulsió, s'ha col·locat en la part mòbil de la màquina d'injectar mentre que la part de cavitat on es té el sistema d'injecció, sobre la part fixa. És així gràcies a què ha estat possible injectar la peça per una part i expulsar-la per l'altra. En principi, pot semblar l'esquema normal però existeixen exemples de motllos en què tant expulsió com injecció s'han de col·locar en la part fixa de la màquina d'injectar. Un cas típic és el dels "tapacubos" en què no s'enganxa l'emblema de la marca. En aquestes peces no pot haver-hi marques de cap mena a la part vista de la peça, per tant la injecció i l'expulsió han de ser a la part fixa de la màquina, i la cavitat, a la mòbil. En aquests casos, l'expulsió del motllo ha de ser accionada amb cilindres hidràulics.

Dividint les parts de punxó i cavitat en dues plaques, una en contacte amb la figura i l'altra com estructura del motllo es pot reduir el cost de l'acer i el cost del tractament tèrmic, així com disminuir el temps de fabricació del motllo possibilitant l'execució de diferents tasques simultàniament, com per exemple erosionar parts de les superfícies de la cavitat i mecanitzar la placa porta cavitat.

Les plaques porta cavitat i porta punxó, han de tenir suficient amplada per albergar els sistemes mòbils, de manera que quedin ben integrats. En la mesura del possible, les parts del motllo no han de sobresortir de les dimensions màximes del motllo, dimensions de les plaques base a excepció del cilindres de recolzament.



El gruix de les plaques ha de ser el necessari i suficient per suportar les forces generades en la injecció.

Amb aquestes consideracions s'han dissenyat les dimensions per les plaques principals.

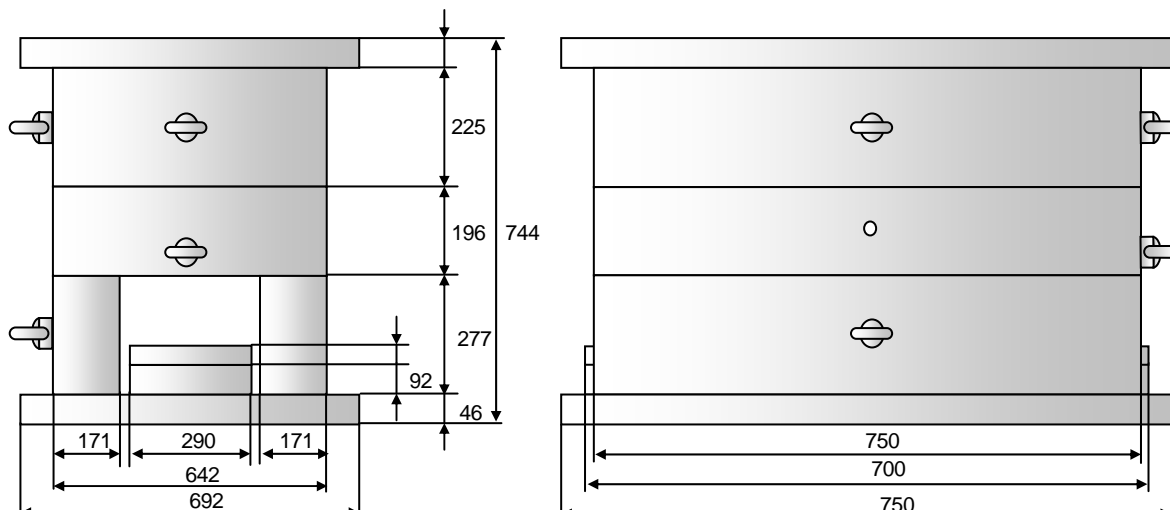


Fig. 4.4. Dimensions principals del motllo.

4.5.3. Moviments.

Aquestes direccions es defineixen pel moviment relatiu entre les parts del motllo i la peça injectada. Són les següents:

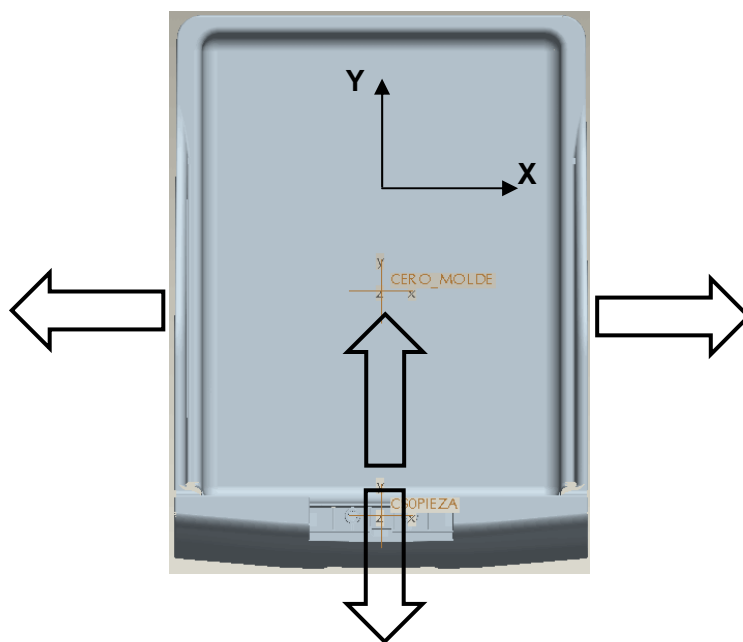


Fig. 4.5. Direccions de sortida de la peça.



Per solucionar el problema de les parts amb angles de sortida negatius en la direcció d'obertura del motllo, existeix tot un ventall d'exemples aplicats a diferents motllos, com poden ser corredisses, elevadors, patins, parts desenroscables, pistons hidràulics, etc. Poden estar accionades mecànicament, aprofitant el moviment d'obertura del motllo de la màquina de injecció o bé amb un accionament hidràulic.

Les zones són les següents:

- Zona davantera de la peça, on es té la superfície de disseny. S'ha de desemmotllar en sentit transversal, segons l'eix Y negatiu del motllo.
- Zones laterals, on es troba el sistema de guiatge de la peça. En principi és necessari un moviment transversal.
- Zona nervis interiors. És possible amb diverses alternatives de disseny: placa mòbil, patí o pistó hidràulic. El més comú en casos similars de carcasses i caixes, és la col·locació d'un patí [12]. Donada la complexitat de la peça, l'alternativa del patí és la millor, ja que el mecanisme no ocupa molt espai.

El patí s'acciona a través del moviment de les plaques expulsores (referència 1 de la fig. 4.6.) solidàries al sistema d'expulsió de la màquina d'injecció. És guiat (referència 2) sobre la part d'expulsió.

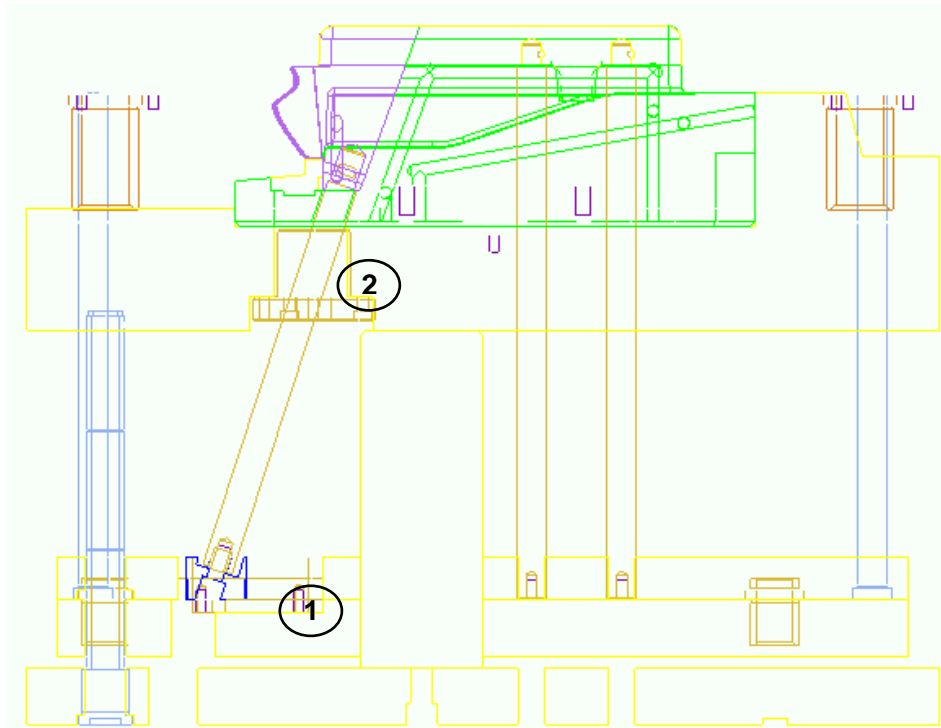


Fig. 4.6. Esquema d'expulsió.



5. MOLDFLOW.

En aquest es tracta l'estudi reològic realitzat sobre la peça de plàstic amb els paràmetres definitius de disseny. L'objectiu d'aquest anàlisi és determinar el comportament del motllo amb condicions teòriques de treball, així com obtenir dades sobre el procés. També és útil per determinar les pressions d'injecció i de tancament de la màquina d'injecció a les que es troba sotmès el motllo.

5.1. Suposicions.

5.1.1. Sistema d'injecció.

S'ha modelat el sistema d'injecció amb les dades de la càmera calenta Synventive GA KNE112 [13], i el punt d'injecció s'ha situat en el punt centrat en la peça indicat en el plànol de fabricació de la peça de plàstic.

5.1.2. Refrigeració.

Tot i que s'ha dissenyat el sistema de refrigeració en el programa MoldFlow, finalment no ha estat possible fer l'estudi amb la refrigeració real del motllo per divergència de la solució amb els paràmetres necessaris per no desbordar la memòria de la computadora on s'ha realitzat la simulació. S'ha hagut de dissenyar per aquest estudi un sistema de circuits estandarditzat que conté el programa. De deu circuits que conté el motllo, s'ha passat a només 2. Un per cada part del motllo. El que sí que s'ha mantingut ha estat el diàmetre dels circuits i la resta de paràmetres sobre el refrigerant i temperatura de motllo desitjada.

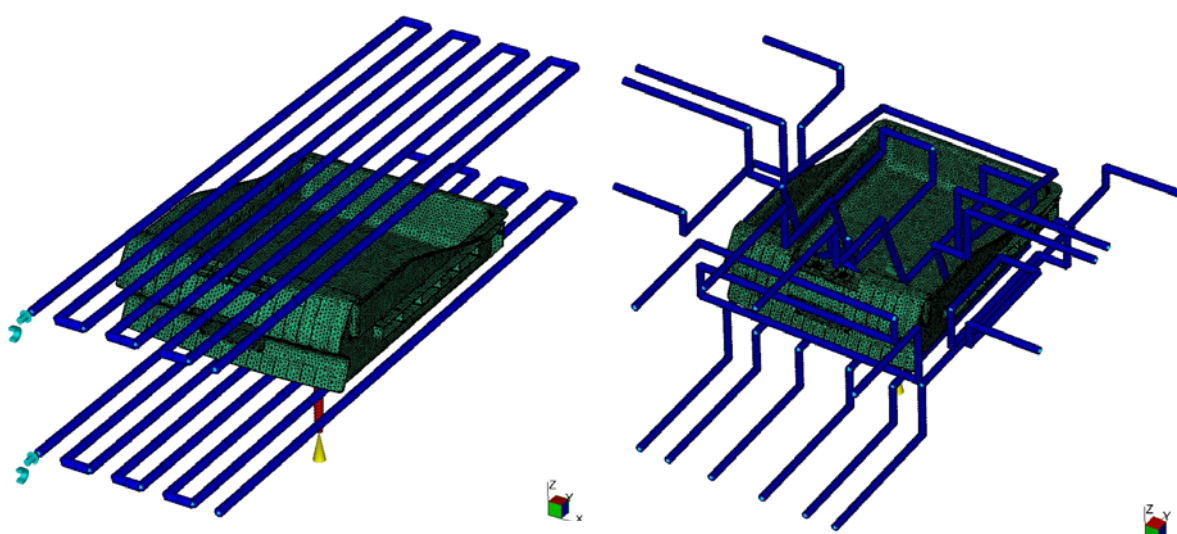


Fig. 5.1. .Comparació entre refrigeració simulada (esquerra) i real (dreta).



5.1.3. Particions.

No han estat simulades les particions, per tant, no s'ha considerat l'efecte d'aquestes en la temperatura del motllo. A les proximitats de les particions, la conductivitat tèrmica és pobre en comparació al nucli de les plaques. Aquest efecte és més notable quan les diferents parts del motllo tenen diferents temperatures, i sobretot en motllos amb temperatures elevades. Per tant, encara que no s'ha considerat aquest efecte, les conseqüències no seran tant notables com en els casos comentats. Un exemple d'aquest efecte ha estat mostrat a la següent figura:

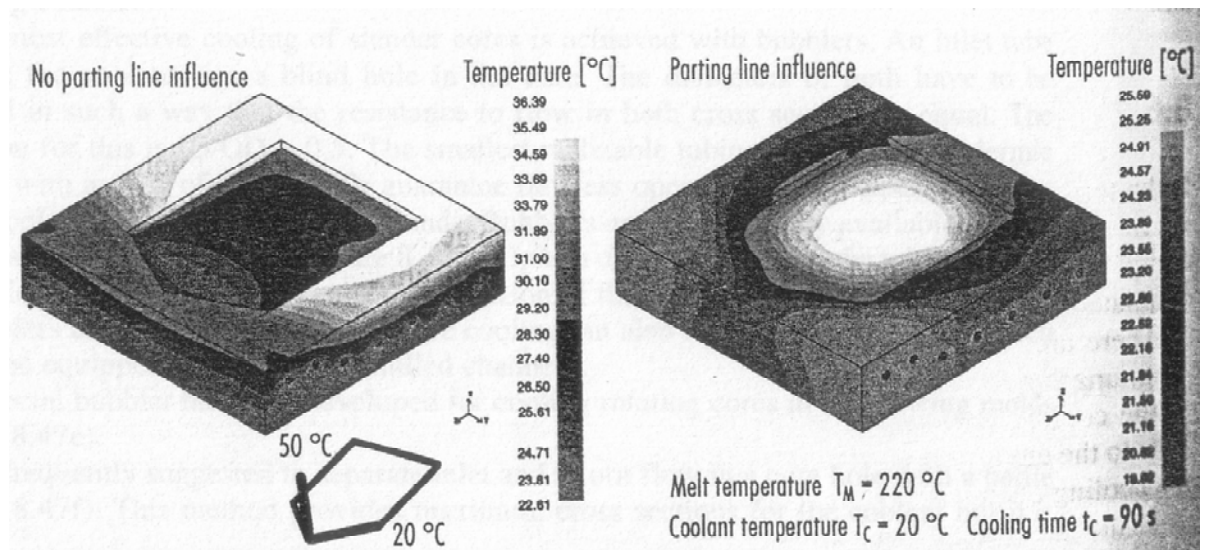


Fig. 5.2. Influència de les particions en la temperatura del motllo.

5.1.4. Altres consideracions.

S'ha considerat l'efecte cantonada de la geometria de la peça de plàstic.

No ha estat considerada l'expansió tèrmica del motllo, per defecte del programa. Al no haver representat el circuit de refrigeració real, s'ha preferit no considerar aquest efecte, ja que en la realitat és diferent.



5.2. Paràmetres de procés.

Per poder fer l'estudi d'injecció, s'ha definit el valor dels paràmetres de procés de la Taula 5.1. Aquests valors són propietats del material plàstic, la màquina d'injectar i del material del motllo.

Concepte [unitats]	Valor
Polímer [model]	EE137HP-9529 de Borealis
Material del motllo	Acer 1.2083
Màquina d'injectar	Battenfeld 570/2800BK
Temps de motllo obert [s]	12
Força de tancament màxima [kN]	5810,6
Pressió màxima d'injecció [N/mm ²]	173,92
Índex d'injecció màxim [cm ³ /s]	4.4000E+02 cm ³ /s
Temperatura Ambient [°C]	25
Temperatura del plàstic fluid [°C]	240
Temperatura ideal de punxó [°C]	40
Temperatura ideal de cavitat [°C]	40
Temperatura d'expulsió de la peça [°C]	95

Taula. 5.1. .Paràmetres de procés.

5.3. Anàlisi realitzat.

La seqüència d'anàlisis realitzats ha estat la següent:

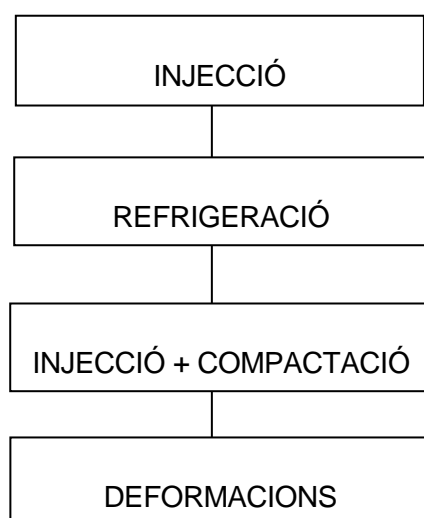


Fig. 5.3. .Seqüència d'anàlisi.



5.4. RESULTATS.

A la continuació, s'han tabulat els principals valors dels paràmetres de procés obtinguts amb la simulació.

Concepte [unitats]	Valor
cabal d'entrada/sortida [cm ³ /s]	70,5
Nombre de Reynolds	10000
Pèrdua de pressió al circuit [N/mm ²]	0,0149
Potència necessària per circuit [kW]	0,001
Temperatura d'entrada circuit cavitat [°C]	25
Temperatura de sortida circuit cavitat [°C]	26,5
Diferència de temperatures al circuit de refrigeració de cavitat [°]	1,5
Temperatura d'entrada circuit punxó [°C]	25
Temperatura de sortida circuit punxó [°C]	26
Temperatura màxima de superfície a cavitat [°C]	65,13
Temperatura mínima de superfície a cavitat [°C]	25,00
Temperatura mitja de superfície a cavitat [°C]	40,15
Temps de cicle [s]	136,44
Temps d'injecció [s]	1,10
Temps de manteniment de pressió [s]	11,32
Pressió de manteniment [N/mm ²]	10,46
Temps per omplir la cavitat [s]	1,23
Massa de la peça injectada [g]	385,08
Massa total injectada [g]	385,13
Força màxima de tancament [kN]	2696,90
Pressió màxima d'injecció [N/mm ²]	52,35

Taula. 5.2. .Resultats Moldflow.

Pel que fa a les deformacions, l'efecte més important sobre les deformacions és el que provoca la contracció del material plàstic.

A la figura 5.4. es pot observar com la zona on es troba el mecanisme pel guiatge de la safata no és de les més conflictives, aspecte positiu per la posterior funcionalitat de la peça de plàstic



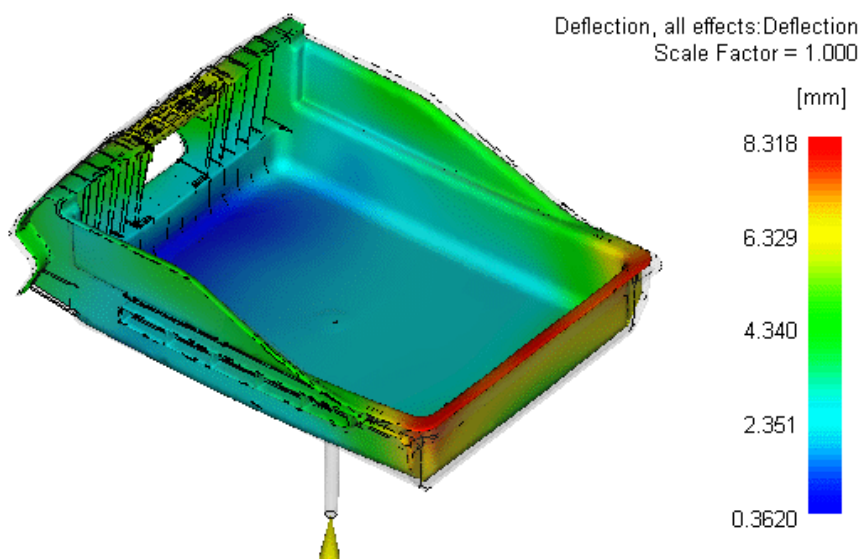


Fig. 5.4. .Deformacions totals a la peça plàstica.

El temps de refrigeració obtingut i, per tant, el temps de cicle, depenen de la simplificació comentada al punt 5.1.2. Per peces similars, els temps de cicle es situen sobre els 60 segons [24].

Per l'atrapament de gasos s'han de dissenyar canals per la sortida de gasos acumulats en les zones indicades a la figura. Aquests gasos han de ser eliminats perquè tenen un efecte negatiu en la qualitat de la peça, provocant que aquesta no s'injecti completament o apareguin zones amb un aspecte cremat.

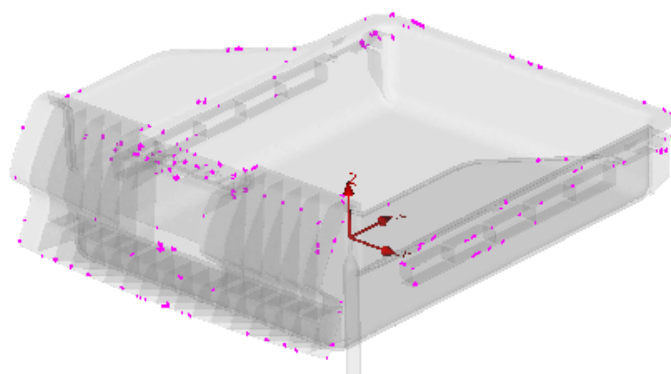


Fig. 5.5. .Gasos atrapats a la cavitat del motllo.



6. DISSENY BÀSIC I CÀLCULS.

6.1. VOLUMS DE PARTICIÓ.

En aquest apartat s'ha fet referència a les situacions que han suposat una dificultat especial o que han general algun tipus de problema.

6.1.1. Corredissa frontal.

En la zona superior apareixen superfícies amb angle de sortida 0°. S'ha de trobar una solució de compromís per tal de poder alliberar la peça. El problema es veu agreujat pel texturitzat que ha de dur la superfície frontal.

Una possible solució és posicionar la partició entre la corredissa i el punxó sobre la corba que delimita la zona groga de la blava en la superfície frontal a la figura 6.1. L'inconvenient en aquest cas és que es crea una línia de partició en la superfície vista.

Una alternativa és canviar la superfície de disseny inclinant la part groga superior.

Aquesta decisió l'ha de prendre el client, per aquest estudi, s'ha considerat la primera opció.

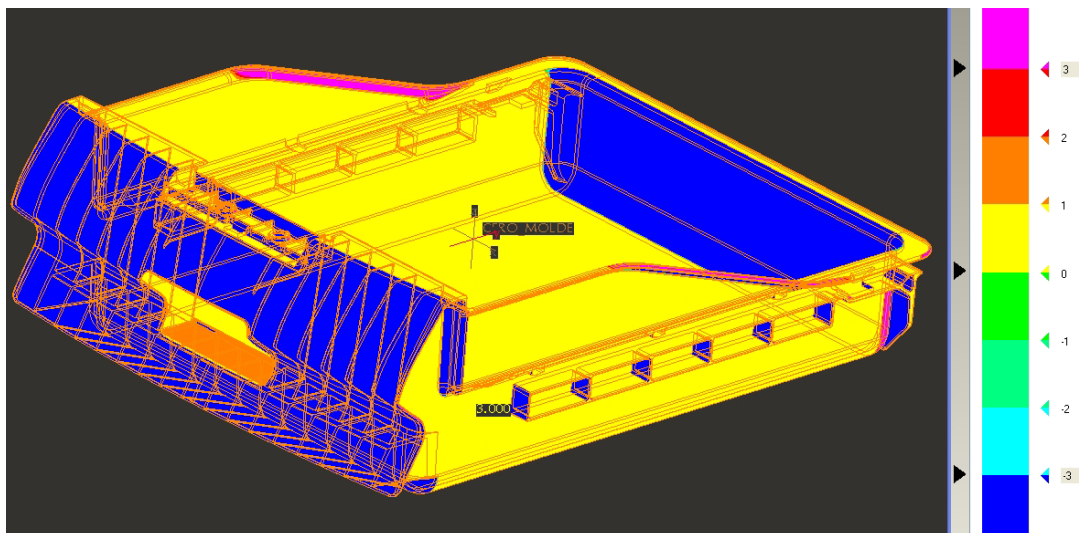


Fig. 6.1. .Atrapament de gasos en la cavitat del motllo.



6.2. Selecció sistema d'injecció.

S'han comparat diferents models de les marques Synventive i Husky.

Marca	Model	Flux màxim d'injecció [cm ³ /s]
Husky	Ultra 750 TS	250
Synventive	GAKNE 112	400

Taula. 6.1. Models de boquilles alternatives.

Per Synventive, el model que més s'ajusta a les necessitats del motllo i del procés, és una boquilla calenta GA tipus K (amb un petit vestigi de colada freda).

Per la boquilla Husky, el model triat està per sota de l'índex d'injecció necessari i el següent model (1250), està sobredimensionat per aquest procés (900 cm³/s).

Per tant s'ha seleccionat el model de Synventive.

6.3. Centratge general del motllo. Encunyament.

Per tal de què l'alineament del motllo quedi garantit, s'han dissenyat precàrregues. Això suposarà un desgast de les parts que formen les cunyes, però s'assegura l'alineació del motllo en tot el procés.

Aquesta precàrrega té un doble efecte, ja que a la vegada que es centren les parts del motllo es crea una tensió sobre les plaques que evitarà la posterior flexió o desplaçament com en el cas de corredisses quan el plàstic efectua la pressió sobre elles.

A major precàrrega, major desgast de les parts implicades.

Tampoc interessa un valor massa gran de precàrrega ja que augmenta la demanda de la força de tancament de la màquina d'injectar tal com indica l'equació 6.1 [13].

$$F_c = K \cdot A_p \cdot p + \sum_{i=1}^4 F_i \quad [\text{N}] \quad (\text{Ec. 6.1})$$



El disseny d'aquestes precàrregues s'ha efectuat en funció de la deformació en les plaques per la pressió d'injecció del plàstic. Així, totes les forces que provoquen l'obertura del motllo són proporcionals a la pressió d'injecció.

La fórmula que ha estat aplicada és la següent **[13]**:

$$x = f \cdot \frac{K}{\operatorname{tg} \alpha} \quad [\text{mm}] \quad (\text{Ec. 6.2})$$

f [mm] deformació de l'element del motllo analitzat.

K coeficient de seguretat s'ha establert en 1,5 **[13]**.

En acer contra acer sec, l'autoretenció es dona normalment a partir de 38°. Per tant, cal lubricar les parts en contacte. D'aquesta manera, l'autoretenció s'origina per valors inferiors a 9°. (Els angles 7°, 10° i 15° són estandarditzats, **[13]**).

L'autoretenció causa una força necessària per obrir el motllo que a vegades és superior a la de la màquina d'injecció o bé una obertura de motllo sorollosa.

En el motllo, els elements que realitzen aquesta funció de centratge són les corredisses i la cunya de la part superior.

Les corredisses laterals tenen una inclinació de 15° i la frontal de 17° (s'ha donat més inclinació perquè el negatiu en aquesta zona és més pronunciat. Pel que fa a la cunya, és de 15° d'inclinació.

A la zona inferior, s'ha donat un excedent de 0,5 mm per no interferir en el tancament.

Al punt B.3. de l'annex s'han calculat aquests valor amb el següent resultat::

Zona	Força [kN]	Precàrrega X [mm]	Precàrrega Y [mm]
Cunya	101		
Corredissa frontal	250	0,1603	0,047
Corredisses laterals	227	0,1516	0,04

Taula. 6.2. Forces de precàrrega.



La força resultat és:

$$\sum_{i=1}^4 F_i = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = 227 + 227 + 250 + 101 = 805 \text{ kN} \quad (\text{Ec. 6.3})$$

Afegint aquest resultat al que s'ha obtingut a l'apartat 4.2. per la força de tancament es té:

$$F_c = K \cdot A_p \cdot p + \sum_{i=1}^4 F_i = 3961 + 805 = 4766 \text{ kN} \quad (\text{Ec. 6.4})$$

D'aquesta forma s'ha demostrat que la suposició realitzada a l'avantprojecte que estimant la força de precàrregues inferior a 1000kN és encertada.

El valor de F_c calculat és el que s'ha utilitzat en el següent apartat.

6.4. Màquina d'injectar.

S'ha consultat a 2 fabricants per màquines per injectar el motllo amb una i dues cavitats:

Marca	Model	Fc [kN]	Plastificació [g/s]	Injecció [cm ³ /s]	Preu [€]
1 cavitat					
Krauss Maffei	C KM 500-2700-80	5000	108	513	295.000,00
Battenfeld	TM 550/2800	5500	88	440	317.000,00
2 cavitats					
Krauss Maffei	C KM 950 MX-4300-90	9500	132	636	486.000,00
Battenfeld	TM 10000/7700	10000	122	802	534.000,00

Taula. 6.3. .Comparativa màquines d'injecció.

El preu de les màquines inclou robot per l'extracció automàtica de les peces tal com s'ha descrit en el plec de condicions.



Les màquines compleixen les sol·licitacions de l'índex de plastificació i d'injecció calculat a l'apartat 4.2.

Qualsevol d'aquestes màquines s'adapta al procés que s'ha estudiat.

De la marca Battenfeld s'ha aprofitat la seva disponibilitat en la base de dades de MoldFlow.

La marca Krauss Maffei ha tingut l'amabilitat d'oferir els models sol·licitats i per tant s'han fet servir com a referència tant per l'estudi econòmic com per l'estudi de cavitats.

La força de tancament de la màquina C KM 500-2700-80 s'ajusta més a les nostres necessitats que la Battenfeld TM 550-2800-75. Com que les prestacions de plastificació i d'injecció són lleugerament millors per la Krauss Maffei, s'ha escollit aquesta alternativa pel procés del projecte. El full de característiques tècniques es pot consultar al punt D.2 de l'annex de càlculs.

6.5. Càlcul de la resistència mecànica de la corredissa lateral amb ANSYS.

S'ha realitzat aquest estudi sobre la corredissa lateral perquè existeixen molts factors per ser de les peces més crítiques en quant a resistència mecànica. Aquesta peça està sotmesa a les pressions d'injecció en una àrea relativament gran de la seva superfície. Pertany a la part principal del motllo, amb la qual cosa ha de suportar, en part, la força de tancament de la màquina d'injectar. El fet de no estar assentada al motllo, sinó que es desplaça amb un grau de llibertat (eix x) sobre la part d'expulsió, fa que la seva fallida sigui crítica en cas de donar-se. El fet d'estar en contacte amb la peça de plàstic, el seu interior està completament foradat a causa del sistema de refrigeració.

Mitjançant el programa Ansys s'ha efectuat una simulació del comportament de la corredissa sota l'estat de càrregues al que està sotmesa, representades a la 6.2.



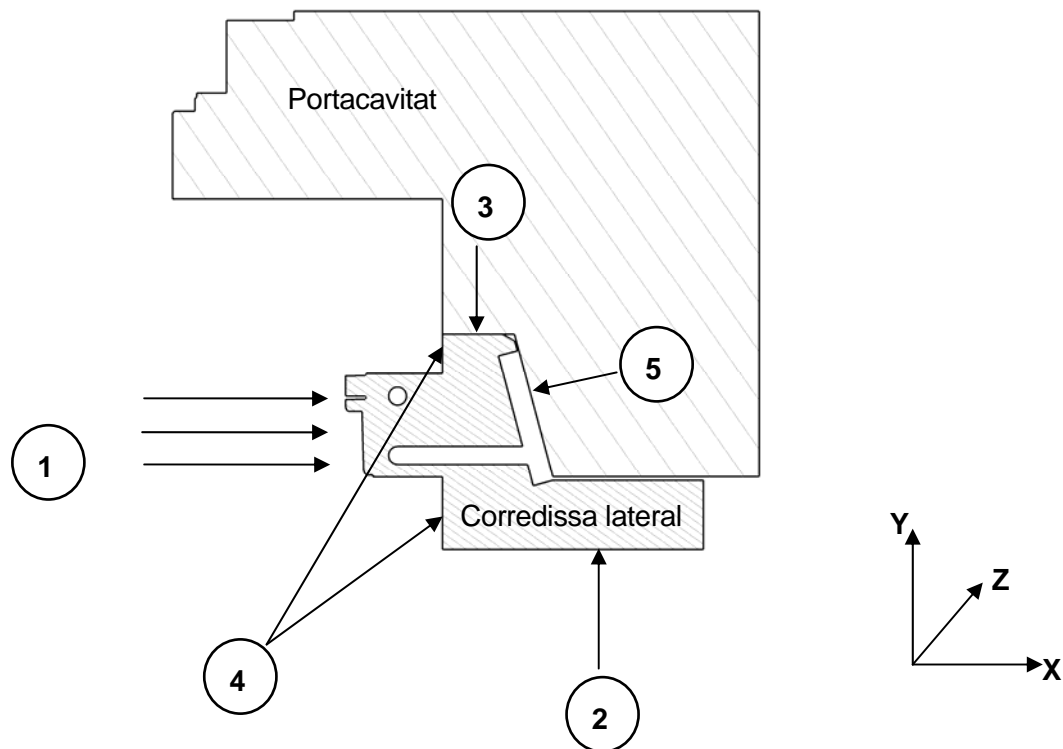


Fig. 6.2. .Estat de càrregues de la corredissa.

- Càrrega 1: pressió d'injecció a la superfície en contacte amb el plàstic. El seu valor ja s'ha comentat anteriorment i és de 36 MPa [N/mm²].
- Condició 2: grau de llibertat segons l'eix x de la figura a la superfície inferior.
- Càrrega 3: pressió de tancament sobre la superfície superior.

$$P = \frac{F_C [N]}{A_{ss} [mm^2]} = \frac{5000000}{68126,8} = 73,4 \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (\text{Eq. 6.5})$$

On Ass s'ha calculat al punt B.4. de l'annex.

- Condició 4: graus de llibertat Z, Y. La corredissa es recolza en aquesta superfície.
- Condició 5: 2 graus de llibertat continguts en el pla de la superfície inclinada.

El resultat obtingut de l'esforç a què està sotmesa la corredissa es representa a la següent figura:



NODAL SOLUTION

SUB =1
 TIME=1
 SEQU (AVG)
 DMX =.037545
 SMN =35468
 SMX =.603E+09

ANSYS

NOV 30 2005
 13:49:29

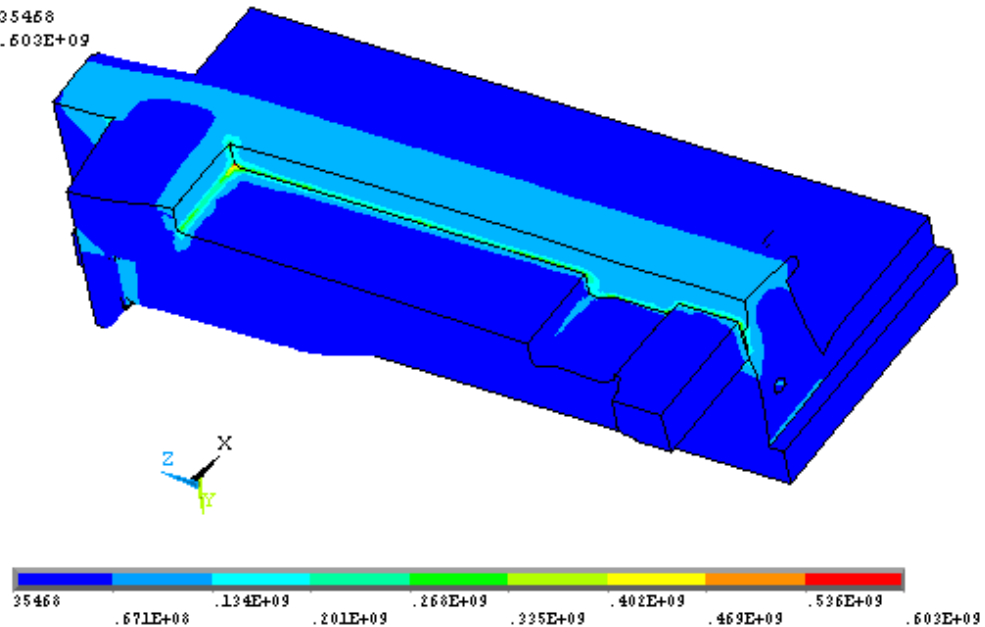


Figura. 6.3..Gràfic de les tensions a la corredissa lateral.

Pel caràcter periòdic de les forces sobre la corredissa, s'ha realitzat un estudi de fallida de la peça a fatiga.

Del diagrama S-N de la corredissa, calculat al punt D.1.4. de l'annex, es dedueix que per una vida de 500000 cicles, l'esforç màxim al que ha d'estar sotmesa la corredissa ha de ser menor a 120N/mm^2 .

Per corregir la peça sense haver de redissenyar-la de nou, s'observa en la fig 6.3. que les zones més afectades són aquelles amb cantons interiors que tenen un radi pobre. Així, si s'augmenta el radi d'aquestes zones es reduirà considerablement la tensió màxima ja que a la resta de zones, aquesta és menor a 134N/mm^2 .



6.6. Disseny i càlcul d'elements mecànics.

6.6.1. Columnes del motllo.

Tot i que el motllo s'ha encunyat per garantir el seu centratge, també s'han disposat guies per tal de centrar les dues parts del motllo -cavitat i expulsió- abans de què les columnes guia de les corredisses, situades a la part d'injecció, entrin en contacte amb les corredisses situades a la part d'expulsió.

A la figura 6.4. s'observa l'espai disponible per situar les columnes:

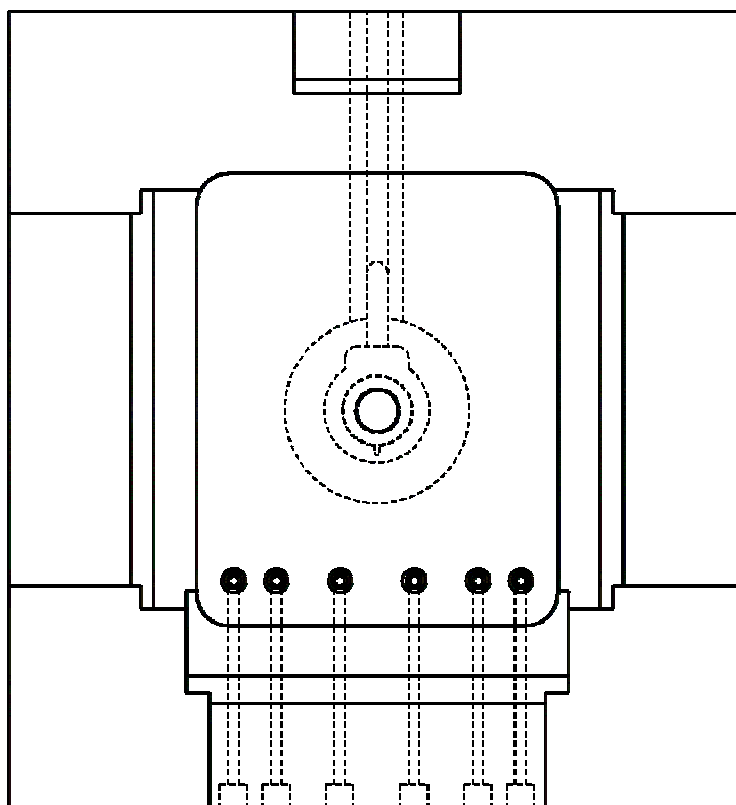


Figura. 6.4..Planta del motllo.

La longitud per salvar les columnes guia de les corredisses es de 200mm.

Amb l'espai disponible, el diàmetre màxim ha de ser de 40mm.



6.6.2. Sistema de guiatge de les corredisses.

Pel guiatge sobre el portapunxó s'han dissenyat guies de bronzo-grafit autolubricades per reduir el manteniment de les corredisses. Entre els diferents fabricants s'ha escollit el tipus BGP-C de Mecauto ,ja que es dona la possibilitat de fabricar la guia sota mides del client.

Per la sol·licitació mecànica de les sufrideres han estat dissenyades en acer 1,2510 resistent a xocs, per aplicacions en treball en fred com eines de tall, que té una duresa entre 58-62 HRC (581-639 HB).

Per les columnes guia de les corredisses s'ha pensat en el sistema estandarditzat de Cumsa. Veure elements normalitzats a la llista de materials, plànol de conjunt i l'explosionat.

S'han col·locat dues columnes per corredisses, maximitzant la distància entre elles.

Per subjectar la corredissa de forma que no es desplaci en sentit de tancament quan la corredissa s'ha separat de la columna guia, s'ha incorporat un retenidor per corredissa de la marca DME. Veure model a la llista de materials.

A la corredissa s'ha de incorporar un patí per salvar la zona negativa (zona blava de la 6.5.) en direcció de l'eix Y del motllo. El patí estarà guiat sobre el cos principal de la corredissa mitjançant una guia de bronzo. Una vegada salvat el negatiu, el patí ha de tornar a la posició original per tal de no xoqui quan el motllo es torni a tancar. Donat l'espai tant reduït del que es disposa, la solució que ha estat aplicada és una molla a comprensió precarregada per assegurar que el patí torna a la posició iniciat. La molla seleccionada és a la llista de materials.

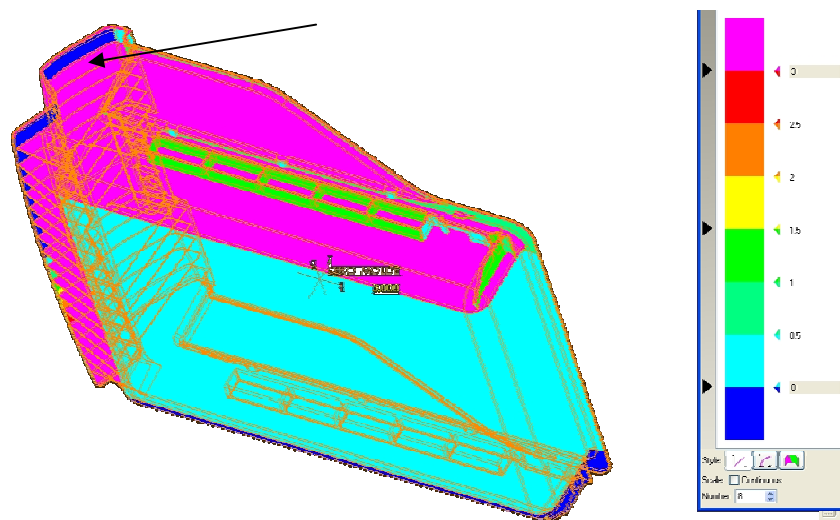


Figura. 6.5..Angles de sortida de la corredissa lateral.



6.7. Circuits de refrigeració.

La refrigeració s'ha situat, el més allunyat possible de les zones de partició per extreure més eficientment el calor del plàstic.

Han estat dissenyats 10 circuits, el seu esquema es pot veure al punt D.3. de l'annex de càlculs. Les zones conflictives són la zona de nervis interiors, zones estretes a corredisses i nervis cavitat. D'aquest disseny depèn, en bona part, la productivitat que pugui tenir el motllo. Amb un bon disseny es poden obtenir temps de cicle inferiors, així com reduir les deformacions de la peça i aconseguir un bon comportament dimensional. Per fer un bon disseny s'han d'estudiar les parts de les peces on hi hagi major concentració de calor, parts del motllo que no puguin estar ben refrigerades per la seva dimensió, com poden ser parets fines i zones entre nervis.

Per altra banda, és important que la temperatura del motllo sigui el més homogènia possible. La turbulència del flux és un factor positiu per extreure calor de les plaques amb més eficiència [10].

A l'annex [] es pot observar l'esquema de refrigeració. S'han refrigerat totes les parts en contacte amb la peça amb circuits. La que té més dificultat és el patí. El patí és una peça crítica, ja que estan ubicats els nervis interiors i la seva forma fa que sigui complicat dissenyar un circuit eficient que extregui la calor. Per això s'ha cregut convenient fabricar aquesta peça en material AMPCO, amb un circuit que extregui la calor. A tenir aquest material un coeficient de conductivitat tèrmica d'aproximadament quatre vegades el de l'acer, la calor pot ser extreta per la conducció d'aigua sense tenir que estar tant prop de la font de calor com en el cas de l'acer.

El diàmetre dels circuits sol estar entre 6 i 10 mm de diàmetre [14]. A diàmetres inferiors es tenen pressions massa altes mentre que amb diàmetres superiors augmenta massa la pèrdua de pressió. Finalment s'han dissenyat els circuits amb diàmetre 10 mm per la dificultat de fer més circuits amb diàmetre menor, ja que l'espai al motllo és crític. S'ha cregut convenient mantenir alguns circuits independents per poder regular la temperatura de forma independent i així controlar millor el procés d'injecció. Per tant, s'ha independitzat el patí, per ser crític, cada corredissa és independent. La part de punxó i la de cavitat són independents entre sí però els circuits de cadascun no cal.



6.7.1. Connexió del circuit del patí expulsor a la placa expulsora superior.

Durant el moviment d'expulsió, el patí es desplaça en sentit transversal respecte la placa expulsora per evitar que la distància superi la de la posició original (expulsió totalment recollida). La connexió en la placa expulsora s'ha realitzat a una distància D (projectada sobre el pla de tancament de la màquina d'injectar) de la connexió en el patí expulsor segons la següent fórmula:

$$D = \frac{D_p}{2} \quad [\text{mm}] \quad (\text{Ec. 6.6})$$

On D_p [mm] és la distància, projectada sobre el pla de tancament de la màquina d'injectar, recorreguda pel patí expulsor.

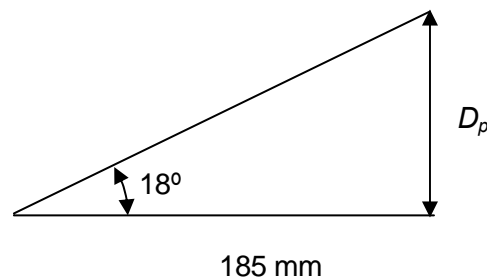


Figura. 6.6..Esquema del recorregut d'expulsió.

$$D_p = 185 \cdot \text{tg}18^\circ = 60,11 \text{ mm} \quad (\text{Ec. 6.7})$$

Per tant, la distància entre les connexions de la placa expulsora i del patí ha de ser:

$$D = \frac{60,11}{2} = 30,05 \text{ mm}$$



6.8. Sistema d'expulsió.

La finalitat de l'expulsió és extreure la peça de la part de punxó. En el mercat existeixen normalitzats per aquesta finalitat. Alguns fabricant són: Hasco, DME, Normalizados AC, Eldracher, S.L., Cumsa, ...

El sistema d'expulsió és accionat mecànicament des de la màquina d'injecció. Al quadern de càrregues del motllo es troba el diàmetre del "bulón" de la màquina, s'ha de realitzar, per tant un forat de mètrica corresponent a la placa expulsora inferior.

S'ha minimitzat la distància entre regles en la mesura del possible per tal de minimitzar els efectes de la pressió en la cavitat sobre la deflexió de les plaques. Preferiblement, s'han fet les plaques expulsors amb forma diferent a la rectangular seguint aquest criteri. De totes maneres, no s'ha pogut estalviar la introducció de columnes en la part central, segons els càlculs efectuats al punt B.5 de l'annex.

Per evitar la flexió de la placa porta punxó, s'han afegit 3 columnes.

Per no tenir marques d'expulsors en la part interior de la peça, que és vista, s'expulsarà la peça mitjançant 2 regles expulsors. La única marca serà la del seu contorn.

El guiatge de les plaques d'expulsió ha estat realitzar mitjançant quatre columnes guia de motllo. En aquest cas, s'ha seleccionat Eldracher com a proveïdor. També s'han consultat Normalizados A.C. i Rabourdin.

S'ha incorporat també un sistema que empenyi la expulsió a la posició inicial per evitar xocs en cas de que falli el sistema de la màquina d'injectar. Per tal efecte, s'han col·locat quatre expulsors sobre la placa expulsora sufridera que són empesos per la part de cavitat quan es tanca el motllo amb l'expulsió avançada. Veure element 513 al plànol de conjunt.

6.9. Connexions elèctriques del motllo.

Les connexions elèctriques en el motllo han estat únicament utilitzades per alimentar el sistema de calefacció de la boquilla.

S'ha seleccionat un connector Harting de 16 pins segons el quadern del motllo de l'injectador. Les seves característiques es troben al punt A.1.5. de l'annex de càlculs.

La boquilla seleccionada només necessita 2 zones i és l'únic element elèctric, així que les 8 zones disponibles del connector són suficients.



7. Memòria econòmica.

7.1. Costos del motllo.

S'ha dividit el cost de fabricació del motllo en dues fases, la de disseny i la de fabricació:

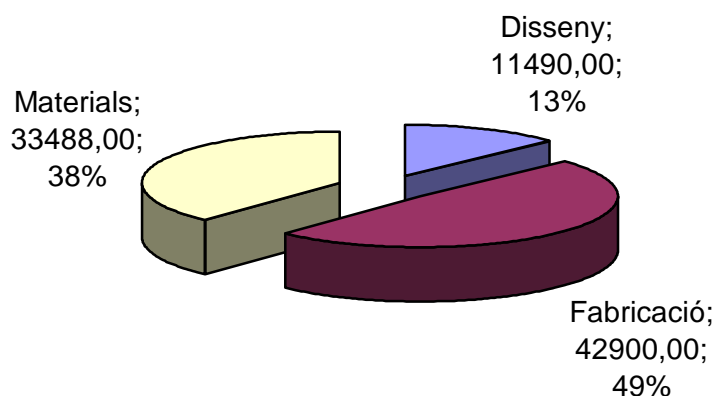
Fase de disseny del motllo. És on han estat considerades les tasques implícites al disseny del motllo i a la generació d'informació per la seva fabricació com són la generació de models per la mecanització amb eines CAM (Computer aided manufacturing), plànols de fabricació de peces i plànols de conjunt. També s'inclouen en aquest apartat les simulacions amb programes d'elements finits per l'estudi reològic de la peça de plàstic així com estudis de resistència per les peces del motllo.

Fase de fabricació del motllo. En aquesta fase s'han tingut en compte les tasques de fabricació, així com l'elaboració de programes CAM i de màquines de control numèric. També s'han considerat les fases d'ajustatge i de muntatge del motllo fins el seu correcte funcionament a la màquina d'injecció sota els paràmetres de producció.

Cost dels materials. Els costos dels materials i tractaments dels components del motllo, així com dels diferents serveis, necessaris per la seva fabricació s'han recollit en aquest apartat

El detall d'aquests costos es troba a l'apartat F.1. de l'annex de càlculs. A continuació es troben tabulats els totals:

	Cost [€]
Disseny	11490,00
Fabricació	42900,00
Materials	33488,00
Total	87878,00



Taula. 7.1. Preu del motllo dividit en les principals fases.



7.2. Costos de producció.

En aquest apartat s'ha inclòs el Cost de la màquina d'injecció i dels operaris necessaris.

Per tal de poder estimar la repercussió de la màquina d'injecció en el cost de producció, s'ha calculat el cost anual de la màquina d'injecció.

S'ha considerat que:

- El període d'amortització de la màquina serà de 10 anys.
- Es realitzarà un total de 3 torns a la màquina.
- Les hores anuals d'operari per conveni és de 1760 hores.

D'aquesta forma s'obté el següent resultat:

Hores anuals = 5280 hores.

S'ha considerat que:

- La màquina necessita un operari per torn.
- El Salari mig dels operaris és de 20.000,00 €/any.
- Rendiment del centre de treball = 85%

Per tant, el cost d'hora del centre productiu, considerant la màquina i l'operari és:

$$\text{Cost/hora} = \left(\frac{\text{Preu màquina}}{10 \cdot 5280 \text{ hores}} + \frac{\text{Salari operari}}{1760 \text{ hores}} \right) \cdot \frac{1}{0.85} = 19,94 \text{ [€]} \quad (\text{Eq. 7.1})$$

7.3. Repercussió de la peça.

Al punt 3.5.5. s'ha calculat la quantitat anual de plàstic necessari així com el preu per kilogram d'aquest. El resultat anual, doncs, és:

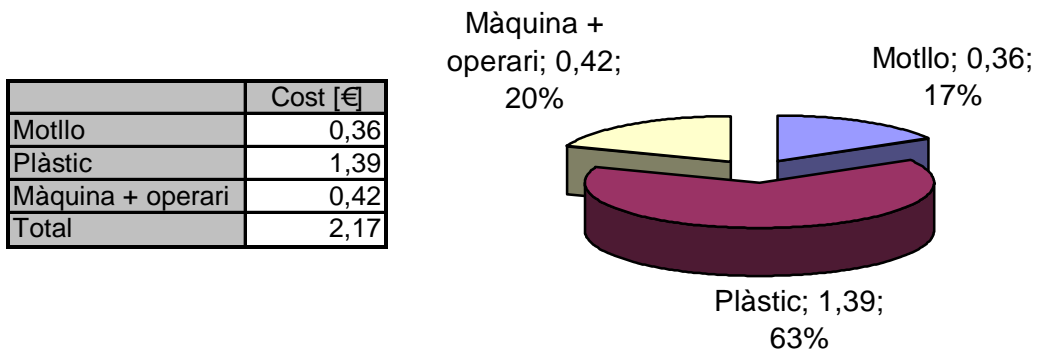
$$\text{Cost plàstic anual} = 18100 \text{ kg} \cdot 2,68 \text{ €/kg} = 48508 \text{ [€]} \quad (\text{Eq. 7.2})$$



Amb el cost del motllo calculat i suposant que la producció és la sol·licitada al Plec de Condicions s'obté el següent resultat:

$$\text{Cost/peça} = \frac{\text{Cost motllo}}{7 \cdot 35000} + \frac{\text{Cost plàstic anual}}{35000} + \frac{\text{Cost/hora centre}}{\text{Producció/hora}} = 2,17 \text{ [€/peça]} \quad (\text{Eq. 7.3})$$

Al igual que amb el preu del motllo, s'ha representat la repercussió de cada cost en el preu unitari de cada peça:



Taula. 7.2. Descomposició del preu unitari de la Safata Undertray.



Conclusions.

El disseny del motllo comença realment quan es dissenya la peça de plàstic que ha de ser injectada. Un bon disseny repercuteix en els resultats productius així com en la qualitat de la peça i vida del motllo. En la peça de plàstic estudiada, la complexitat de les particions requerides per la peça han compromès l'eficiència del sistema per extreure la calor generada en la injecció. Aquest fet afecta directament sobre el cicle de producció i també sobre la qualitat de la peça.

Els estudis d'injecció amb Moldflow a la fase inicial del projecte són de vital importància per extreure conclusions sobre el procés com són la màquina d'injectar, el cicle d'injecció, i el nombre de cavitats del motllo. També el paper que hi juguen els diferents paràmetre poden ser deduïts. S'ha d'entendre aquesta eina com això, un potent recurs per la fase inicial tant de disseny del motllo com del procés productiu (selecció de material, màquina d'injectar...) i no per tenir un càlcul acurat dels resultats del procés d'injecció.

Durant el disseny del motllo és important fer alguns càlculs a nivell d'avantprojecte, però com en el cas del Moldflow, no es pot calcular en detall tot el sistema. Una eina vàlida és comprovar amb programes d'elements finits (ANSYS) aquells elements que s'intueixin crítics en quant a la resistència mecànica. S'ha pogut observar que és de gran importància per la vida útil del motllo dissenyar els components d'aquest per tal d'evitar al màxim l'acumulació d'esforços, com per exemple, radiar les cantonades interiors. La sol·licitació de les peces és cíclica i per tant s'ha de tenir present una possible fallida per fatiga en els components. També en aquest apartat hi juga un paper important tenir un bon disseny de la peça de plàstic.

Un altre punt crític en el motllo és el sistema d'expulsió. La diferència de contraccions en la peça de plàstic observada en l'anàlisi d'injecció (Moldflow) i les forces generades per l'expulsió sobre aquesta, fan que sigui difícil fer una predicció del comportament de la peça de plàstic durant la cursa d'expulsió. En aquest sentit és important reduir al màxim la rugositat superficial de les parets en contacte amb el plàstic per evitar forces majors en el moviment relatiu entre els components del motllo i la peça de plàstic.

En efecte, els càlculs efectuats confirmen que el motllo garantirà la producció necessària. Tanmateix, és important mantenir les parts del motllo ben netes i lubricades (on calgui) per tal d'evitar pèrdues en l'eficiència dels sistemes que incorpora el motllo.



Bibliografia

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- [1] Web FiloXarxa.
[<http://www.pensament.com/filoxarxa/filoxarxa/nou9w81.htm>, 19 de setembre de 2005]
- [2] Directiva EEC78/632
- [3] Regulació ECE N°. 21
- [4] USA: FMVSS 302
- [5] Programa Prospector de IDES, veure referència [6].
- [6] IDES, The Plastics Web.
[<http://www.ides.com/plasticsweb/generics/PP.htm>, 24 d'octubre de 2005].
- [7] DIN 16901 Plastics mouldings. Tolerances and acceptance conditions for linear dimensions, Novembre de 1982.
- [8] REES, H. *Mold Engineering*, Munich, Hanser, 2002, p. 501.
- [9] XAVIER P. NADAL, xavier.nadal@tatay.com.
- [10] REES, H. *Mold Engineering*, Munich, Hanser Publishers, 2002, p. 279 - 353.
- [11] MENGES, G., MICHAELI, W., MOHREN, P. *How to Make Injection Molds*, Munich, Hanser, 2001, p. 127.
- [12] GASTROW, H. *Moldes de inyección para plásticos, 100 casos prácticos*, Hanser Publishers, 1993.
- [13] REES, H. *Mold Engineering*, Munich, Hanser Publishers, 2002, p. 525 - 638.
- [14] Mold Design-Cooling, Design Guide, www.dow.com
- [15] BOREALIS GROUP.



[http://www.borealisgroup.com/public/customer/automotive/interior_trims/MainPage.jsp,
octubre de 2005]

[16] XE.com The Universal Currency Converter.

[<http://www.xe.com/ucc>, 27 de novembre de 2005]

[17] MENGES, G., MICHAELI, W., MOHREN, P. *How to Make Injection Molds*, Munich, Hanser, 2001, p. 362.

[18] REES, H. *Mold Engineering*, Munich, Hanser, 2002, p. 416.

[19] J.BIGORDÀ, J. FENOLLOSA, *La fatiga dels elements mecànics (TEM-UPC)*, Barcelona, Edicions UPC, 1993.

[20] CASAFONT, M., FERRER, M. *Manual reduït d'instruccions del programa d'elements finits ANSYS 5.0*, Barcelona, cpda-etsib, 1997.

[21] C. RIBA I ROMEVA, *Disseny de màquines IV. Selecció de materials 1 (TEM-UPC)*, Barcelona, Edicions UPC, 1997.

[22] CAMPUS

[23] Quick Reference Guide. Synventive Molding Solutions.

[<http://www.synventive.com>]

[24] Moldes Internacionales Moldinter, S.L.

[<http://www.Moldinter.com>]

