

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ	3
1.1 ANTECEDENTS	3
1.2 OBJECTE	5
1.3 ESPECIFICACIONS I ABAST	6
2. PROBLEMÀTICA.....	7
2.1 INJECCIÓ CONVENCIONAL DE PLÀSTICS	7
2.2 ESTUDI DE LA MICROINJECCIÓ CONVENCIONAL.....	8
2.3 USM, UltraSonic Molding.....	13
2.4 TECNOLOGIES I MATERIALS PER AL MOTLLE	15
3. ESTUDI PREVI.....	20
3.1 SIMULACIONS DE LA PROVETA	20
3.1.1 Fase 1: Estudi de la forma del canal d'alimentació per la geometria base. .	20
3.1.2 Fase 2: Estudi de la relació entre diàmetre i la longitud del canal d'alimentació per la geometria base.....	25
3.1.3 Fase 3: Estudi de la proveta final.....	26
3.2 ANÀLISIS.....	26
4 RESULTATS DE L'ESTUDI PREVI.....	32
4.1 RESULTATS DE LES SIMULACIONS	32
4.2 ANALISI DEL RESULTAT DE LES SIMULACIONS.....	32
4.2.3 Fase 1: Estudi de la forma del canal d'alimentació per la geometria base. .	32
4.2.4 Fase 2: Estudi de la relació entre diàmetre i la longitud del canal d'alimentació per la geometria base.....	46
4.2.5 Fase 3: Estudi de la proveta normalitzada	50
5 DESCRIPCIÓ DEL MOTLLE	58
5.1 DISSENY GENERAL DEL MOTLLE	58
5.2 ELECCIÓ DELS MATERIALS DEL MOTLLE	58
5.2.1 Plaques del motlle	59

5.2.2 Coixinets centrals	59
5.2.3 Plaques aïllants.....	60
5.2.4 Centrador del sonotrode.....	60
5.3 MECANITZAT DEL MOTLLE.....	61
5.4 TRACTAMENTS TÈRMICS I TERMOQUÍMICS DEL MOTLLE	61
5.5 DISPOSITIUS BÀSICS	61
5.5.1 Resistències calefactores.....	61
5.5.2 Centradors longitudinals.....	62
5.6 SENSORITZACIÓ DEL MOTLLE.....	63
6. RESUM DEL PRESSUPOST.....	65
7. RELACIÓ DELS DOCUMENTS	66
ANNEX A TAULES DE RESULTATS DE L'ESTUDI PREVI.....	68
A.1 FASE 1	68
A.1.1 Prova 1.....	70
A.1.2 Prova 2.....	71
A.1.3 Prova 3.....	72
A.2 FASE 2.....	73
A.3 FASE 3.....	75
ANNEX B FITXES TÈCNIQUES.....	79
B.1 CENTRADORS.....	79
B.2 RESISTÈNCIA CALEFACTORA	79
B.3 SENSOR PRESSIÓ-TEMPERATURA	80
B.4 ACER 1.1730	84
B.5 BRONZE 2.1090.....	84
ANNEX C CÀLCULS	85
C.1 DIÀMETRES HIDRÀULICS.....	85
C.2 DILATACIONS TÈRMiques	85

1. INTRODUCCIÓ

El grup de recerca en enginyeria de producte, procés i producció (GREP) de la Universitat de Girona ha adaptat una màquina d'ultrasons per a usar-la en moldeig per a ultrasons i utilitzar-la en injecció de micropeces de plàstic.

La finalitat d'aquest projecte és el disseny d'un motlle que pugui treballar en aquesta nova màquina d'injecció per ultrasons. Per a poder-ne fer un estudi posterior de les provetes que s'injectaran amb polímer es simularà el comportament del motlle i es sensoritzarà amb sensors de pressió i temperatura.

1.1 ANTECEDENTS

En aquest apartat d'antecedent es veurà una introducció a les tecnologies d'injecció de plàstic i de microinjecció de plàstic, precursora a la que ens ocupa en aquest projecte, la USM: moldeig per a ultrasons (UltraSonic Molding). Aquesta innovadora tecnologia va veure aparèixer la primera màquina comercial l'any 2013 per tant és una àrea d'estudi en la qual tot just s'ha començat a investigar.

En els últims anys existeix una demanda creixent de peces de plàstic de dimensions reduïdes, fins i tot a micro-escala. Aquesta tendència la miniaturització fa que les tecnologies de microconformat creixin en importància.

Actualment el microconformat de plàstics és una de les tecnologies amb més potencial de desenvolupament en el camp de fabricació d'aplicacions plàstiques. Amb masses inferiors a 1 gram i amb toleràncies de l'ordre de 10 i 100 micres, es possibiliten geometries complexes i una alta qualitat superficial.

La microinjecció de plàstic permet fabricar aquestes peces les quals es poden dividir en tres grups diferents:

- Micropeces.

Són peces amb una massa molt baixa, de l'ordre de mil·ligrams i dimensions d'uns pocs mil·límetres. Tenen detalls del rang de les micres.

- Peces microestructurals

Peces amb dimensions estàndard, amb una massa de diversos grams però amb detalls microestructurals, difícils d'adquirir amb els processos convencionals d'injecció. Un exemple de detall microestructural podria ser

un forat de dimensions microscòpiques, passadors, canals, sistemes de tancament, etc...

- Peces de microprecisió

Són peces de qualsevol dimensió però amb toleràncies de l'ordre de les micres.

No hi ha un mercat definit per a cada tipus de peces sinó que totes són utilitzades en diverses àrees, particularment en indústria electrònica, mèdica, farmacèutica, automoció, rellotgeria, etc... Alguns exemples de peces conformades amb microinjecció de plàstic podrien ser engranatges, sensors, lents, rodaments, components de fibra òptica, microimplants per a l'orella interna, etc..

Al ser una tecnologia relativament nova, en aquest projecte es parteix de la base d'adaptar una premsa d'ultrasons i adaptar-la per al moldeig per a ultrasons.

Per a saber si aquesta màquina adaptada a la injecció per ultrasons funciona correctament es dissenyarà un motlle que pugui adaptar-se a la màquina i aquest es dissenyarà optimitzant els canals d'alimentació i les condicions de contorn de pressió i temperatura.

D'aquesta manera el resultat i qualitat final de la proveta dependrà només de la màquina i el seu funcionament i amb això es sabrà si és una opció viable adaptar una premsa d'ultrasons per al moldeig de polímers per a ultrasons.

1.2 OBJECTE

L'objecte d'aquest projecte de final de carrera és el disseny un motlle per a microinjecció de plàstic que permeti analitzar com afecten els paràmetres de procés tal que pressió d'injecció, temperatura del motlle etc... en l'acabat i qualitat final de la peça que en aquest projecte és una proveta normalitzada.

Per tant cal que el motlle es sensoritzi amb sensors de temperatura (termoparells) i sensors de pressió. Amb l'estudi dels canals d'alimentació es buscarà quina forma i dimensions són les més adequades per a la qualitat i propietats finals de la peça. Per desenvolupar aquest projecte s'han dut a terme les següents tasques.

- Estudiar de la tecnologia de USM i disseny de motlles. S'han definit els paràmetres bàsics en el disseny de motlles (dimensions i forma del canal d'alimentació, temperatura, pressió...)
- Simular com poden afectar aquests paràmetres en el resultat final de la peça injectada.
- Analitzar els resultats de les simulacions i escollir les millors condicions de contorn per a la injecció.
- Seleccionar la geometries del motlle y dissenyar el mateix
- Estudiar i seleccionar els components de sensorització de pressió i temperatura més adient a l'equip disponible.
- Disseny del motlle per a USM, moldeig per a ultrasons.

Seguidament s'inclouen els objectius parcials:

- Escollir la millor forma i dimensions del canal d'alimentació
- Escollir les millors condicions de pressió i temperatura per a obtenir una proveta el millor possible

I l'objectiu final:

- Disseny final del motlle sensoritzat

1.3 ESPECIFICACIONS I ABAST

En aquest apartat d'especificacions i abast es recullen les condicions i dades que exigeix el GREP per a poder continuar amb la investigació de la tecnologia de moldeig per a ultrasons a través del motlle que es dissenya en aquest projecte.

Especificacions generals:

- S'ha de poder adaptar el motlle a la màquina d'ultrasons.
- Sensoritzar el motlle per a pressió i temperatura.
- Els materials i tractaments superficials del motlle han de garantir una bona qualitat en les provetes.
- Es requereix que el pressupost sigui el més baix possible.
- Es treballarà amb proveta normalitzada.
- Possibilitat de tancar els forats de les resistències en un futur.
- Possibilitat d'instal·lar expulsors en un futur.

2. PROBLEMÀTICA

En aquest apartat es mostra una introducció teòrica a la injecció i a la microinjecció; per acabar es mostrarà la problemàtica del projecte i la motivació del mateix.

Per a estudiar la microinjecció de plàstics primer serà necessari estudiar la tecnologia convencional d'injecció que és de la qual ha evolucionat. Es divideix la microinjecció de plàstics en dos grans grups: La microinjecció convencional i la USM, UltraSonic Molding. La primera és una miniaturització dels sistemes convencionals d'injecció de plàstic, la segona és la tecnologia que ens ocupa en aquest projecte, la injecció de plàstic amb tecnologia d'ultrasons.

Per al motlle farem una introducció teòrica sobre motlles per a injecció, els materials que es fan servir, els tractaments químics que s'hi apliquen i quins mètodes de fabricació són els mes habituals o més indicats per als nostres requeriments. Aquest apartat ens guiarà per al disseny final del motlle i la elecció dels materials i tractaments que requerirà el mateix.

2.1 INJECCIÓ CONVENCIONAL DE PLÀSTICS

La microinjecció convencional utilitza la tecnologia desenvolupada als anys 60 i millorada en la dècada dels 80 que utilitza el següent esquema de funcionament:

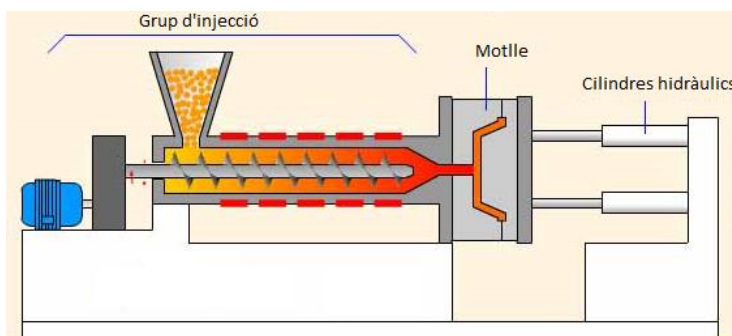


Figura1. Esquema d'un grup d'injecció.

El grup d'injecció conté la tremuja d'alimentació dels pellets de plàstic, el vis sense fi i les unitats calefactores que fonen el plàstic i el grup motriu que posa en funcionament aquest grup d'injecció.

El següent és el motlle metàl·lic, on el plàstic fos és injectat. Pot ser calefactat per a millorar la circulació de plàstic, refrigerat per a evitar les contraccions del refredament lent, pot tenir expulsors, centradors...

L'última part que veiem són els cilindres hidràulics, que tanquen la part mòbil del motlle i n'asseguren amb un tancament a altra pressió que el plàstic no sortirà del motlle. Aquesta part també és la que se'n cuida del moviment dels expulsors del motlle.

Vistos els principis bàsics de la injecció convencional passem a analitzar-ne el funcionament i els avantatges i inconvenients de miniaturitzar aquest procés per a obtenir microinjecció de plàstic.

2.2 ESTUDI DE LA MICROINJECCIÓ CONVENCIONAL

En aquest apartat s'estudia la microinjecció convencional a nivell industrial i comercial ja que és una tecnologia que porta anys al mercat on es busca el màxim rendiment a les parts implicades en el procés.

Per una part, el procés requereix una màquina especial d'injecció i un equip auxiliar per portar a cap un control del petit volum d'injecció. D'altra banda, el motlle s'ha de dissenyar de manera que permeti l'evacuació de gasos, l'injecció a alta velocitat i la expulsió.

Per aquesta raó en el procés de microinjecció de plàstic és necessari estudiar i desenvolupar cada element de l'equip i veure quines adaptacions o modificacions requereix respecte la injecció de plàstic convencional.

-Unitat d'injecció:

En la microinjecció es requereixen unitats de plastificació amb cargols sens fi de diàmetres entre 12 i 18mm. A més a més és important tenir en compte les limitacions del cargol: els pellets no poden ser mes grans que la profunditat del filet del propi cargol per tant és necessari usar micropellets.

També degut a que els volums d'injecció són molt petits, els temps de residència del material en el cargol passen a ser molt elevats, cosa que provocaria un degradament tèrmic al material; per evitar aquesta degradació, s'hauran de seleccionar cargols amb una relació Longitud/Diàmetre de 15 o menor.



Figura 2. Comparativa cargol de microinjecció amb un bolígraf.

-Dosificació del material:

Un problema principal en la microinjecció és que la colada representa el 90% del material injectat i només un 10% correspon a la peça que es vol aconseguir.

-Escapament de gasos:

Un dels problemes dels motlles convencionals de microinjecció és el disseny de la sortida de gasos. El gruix de les peces està en el mateix ordre de magnitud que l'espessor dels canals de purga convencionals, per tant si es fan servir aquests mateixos canals en la microinjecció veurem com el plàstic fos es cola per la sortida de gasos.

Per a evitar aquest problema, en alguns casos s'utilitza una bomba de buit per a extreure l'aire de l'interior del motlle, en aquest cas, és necessari instal·lar una junta tòrica perimetral al costat immòbil del motlle, una vàlvula de tancament a la entrada de la màquina i una petita bomba de buit que actuarà al moment de tancar el motlle.

-Temperatura del motlle:

Les peces tenen una elevada relació Superfície/Volum per tant la temperatura del motlle ha de ser alta per tal d'evitar la solidificació instantània del material de colada al tocar les parets del motlle. La temperatura a la qual s'escalfi el motlle ha de ser pròxima a la temperatura de fusió del polímer. S'usen resistències calefactores o circuits d'oli per a escalfar el motlle. A l'haver de refredar per a desemmotllar, s'usen circuits d'oli refrigerant.

-Sistemes de centrat de la cavitat

Les guies de centrat òptimes per al procés de microinjecció són les de secció quadrada o rectangular. Amb aquestes, s'aconsegueix un millor centrat de la cavitat doncs l'ajustatge es realitza entre dues cares paral·leles i a més a més s'aconsegueix que les tensions durant el centrat (al tancar el motlle) siguin menors que amb les guies de geometria cònica.

-Tecnologies per a la fabricació de motlles de microinjecció

Per a la fabricació dels motlles d'alta producció per a microinjecció ja existeixen equips específics de mecanització molt sofisticats que proporcionen les altes prestacions requerides.

Dins d'aquestes tecnologies es troben el mecanitzat d'ultraprecisió amb punta de diamant, mecanitzat amb eines de tall especial (amb diàmetres de l'ordre de 0.3mm en comparació amb els 4mm de diàmetre de les eines convencionals més petites.

Per altra banda en un centre de mecanitzat d'alta velocitat convencional també és possible aconseguir precisions en el rang de les tecnologies micro que posteriorment es complementaran amb la tècnica de microerosió EDM. També hi ha altres tecnologies com el mecanitzat làser que ofereix grans avantatges en la fabricació de filigranes i en general geometries massa petites per a la mecanització convencional.

-Tecnologies per a la fabricació de les cavitats del motlle

Per a la mecanització del motlle es requereixen tècniques adaptades al micro-mecanitzat. Aquestes microtecnologies es solen classificar en dos grups: Processos litogràfics i mecanitzat d'ultraprecisió.

El primer grup tracta de processos que usen varies màscares i llum per a imprimir geometries de manera fotogràfica sobre un material. Poden processar un limitat grup de materials i el seu aspect-ratio (relació entre l'amplada i la longitud) que poden abastar es limita a valors d'entorn a 1:100. El seu elevat cost en frena l'expansió i l'ús.

El segon grup és format per l'evolució de les tècniques aplicades habitualment en empreses de fabricació de components de precisió. Es tracta de tècniques sostractives desenvolupades per màquina (de tall, fresat, tornejat, electroerosió per fil i penetració.) especialment adaptades a la realització de petits desplaçaments.

Aquestes màquines es poden equipar amb eines de mides mínimes, tenen sistemes d'assistència al posicionament i presa de referències i estan dissenyades per a minimitzar l'efecte ambiental sobre el component mecanitzat.

Al marge d'aquests dos grups queden altres tecnologies com el mecanitzat làser que son aplicades per els dos grups. És possible generar formes 3D complexes combinant diferents tecnologies.

Els processos litogràfics estan limitats a realitzar mecanitzats en peces de dimensions petites i sobre zones planes mentre que els processos d'ultraprecisió troben un important mercat en la generació de detalls de gran resolució en zones localitzades de peces no necessàriament micromètriques com poden ser zones de motlles o texturització de superfícies.

-Materials per a la microinjecció

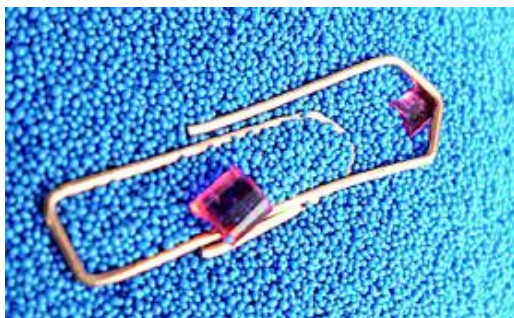
Al triar el material plàstic per a la injecció de micropeces s'ha de tenir en compte, entre altres coses, que aquest pateix més que en una injecció convencional ja que les velocitats d'injecció són més elevades, la cisalla també és major i les velocitats de refredament són ràpides a causa de l'elevat rati superfície/volum; raó per la qual és possible que un material seleccionat per les seves prestacions pensant en la peça s'hagi de descartar perquè no suporta les condicions de transformació necessàries per a obtenir la peça amb la qualitat requerida.

Polímer	Aplicacions típiques en micropeces
Polímers de cristall líquid	Connectors, fèrules y dispositius electrònics
Poliàcid làctic	Implants biodegradables
Policarbonat	Aplicacions òptiques com lents y sensors de discs
Polietilè	Microactuadors
Polimetil metacrilat	Connector de fibra òptica
Polièter èter cetona	Micro coixinets y pistons
Polisulfones	Carcassa de dispositius fluídics
Poliacetat	Micro engranatges y micro filtres
Poliàmida	Micro rodes d' engranatges

Taula 1. Polímers i aplicacions

-Selecció dels pellets

Els pellets convencionals no poden ser usats en microinjecció per una qüestió de mides ja que depenent de la mida del cargol no seria factible l'alimentació dins el cargol amb pellets massa grans. Per aquesta raó és necessari usar pellets d'entre 0.05 i 0.5mm de diàmetre i evitar que llisqui en la zona d'alimentació del cargol.



Figures 3 i 4. Micropellets.

-Principals inconvenients de la miniaturització.

La miniaturització dels components de les màquines d'injecció provoca una sèrie d'inconvenients a la hora d'explotar aquesta tecnologia, per exemple:

La fabricació d'un engranatge de 3mm de diàmetre pot arribar a costar tant com la fabricació del para-xocs d'un cotxe, es genera una quantitat immensa de material de rebuig.

En sectors com l'electrònica i la medicina on els materials són molt cars, que el 99% del material injectat hagi de ser rebutjat, és una gran problemàtica, a més a més, aquest sobrant en sectors com la medicina no pot ser reutilitzat ja que es tracta de materials biocompatibles.

En casos que si es pugui reutilitzar el material, a causa de la degradació que pateix durant la injecció, no se'n podrà recuperar més d'un 10%.

Un altre inconvenient en la miniaturització de màquines convencionals és el fet de que s'ha d'escalfar contínuament el cargol d'injecció, cosa que augmenta el cost de cada operació.

L'altíssim cost d'un equip convencional de microinjecció fa que moltes indústries es tirin enrere a l'hora de realitzar la inversió.

Com es veurà en l'estudi de la USM, totes aquestes problemàtiques desapareixen gràcies a l'ús dels ultrasons per a fondre el material.

2.3 USM, UltraSonic Molding

El Centre Tecnològic Ascamm va ser creat l'any 1987 per l'Associació Catalana d'Empreses de Motlles i Matrius. Aquesta entitat, ha estat treballant durant dos anys, 2012-2013, en el desenvolupament de la primera màquina comercial que usa la tecnologia de USM.

Per a tal objectiu van comptar amb la col·laboració de Mecasonic, empresa francesa amb presència internacional especialitzada en la soldadura i tall per ultrasons.

D'aquesta col·laboració neix el projecte Sonorus, implicant Mecasonic en la part del sonotrode per a fondre el plàstic i Ascamm en la fabricació del motlle.



Figura 5. Sonotrode de la màquina Sonorus.

La tecnologia de USM, UltraSonic Molding, té els seus orígens en la microinjecció de plàstic convencional. La diferència principal radica en com es fon el plàstic d'alimentació. Convencionalment s'utilitza el cargol calefactat que fon i extrudeix el plàstic fos dins el motlle. En la tecnologia de USM aquesta part del procés la duu a terme un sonotrode. Aquest, al vibrar a uns 70.000Hz, 70.000 vegades per segon.

Amb aquesta excitació es crea una energia que fa que es trenquin les cadenes del termoplàstic. Aquest es fon i amb això genera una fricció que escalfa el material i el fon.

Quan es deixa d'excitar, les cadenes del termoplàstic es solidifiquen de nou. Al no existir energia tèrmica, no hi ha procés de contracció. A més a més, fan falta pocs segons d'ultrasons per fondre el material cosa que garantitza una gran productivitat. Un altre avantatge és que la inexistència d'energia tèrmica fa que el plàstic no es degradi durant la injecció per tant no perd les seves propietats, amb els ultrasons el termoplàstic queda intacte.

El principal inconvenient d'aquesta tecnologia és la estanquitat del motlle i com fer arribar el material fos al motlle sense que es solidifiqui pel camí i sense que es solidifiqui mentre el sonotrode vibra.

Aquestes problemàtiques es solucionen amb tancaments del motlle a pressió i amb canals d'alimentació curts. Tot i així es segueix obtenint una fracció de rebuig en la injecció.

2.4 TECNOLOGIES I MATERIALS PER AL MOTLLE

En aquest apartat s'estudiaran en primer lloc els materials amb els quals es fabricarà el motlle; seguidament es tractaran els mètodes tèrmics i termoquímics que s'aplicaran a aquests materials.

ESTUDI PREVI DE MATERIALS PER AL MOTLLE

Per a la injecció de polímers és indispensable un motlle de gran qualitat i d'elaboració molt precisa. També han de ser materials molt resistents al desgast i a les dilatacions tèrmiques ja que treballaran en calent. A més a més han de tenir cert grau de resistència a la corrosió ja que aquesta augmenta amb la temperatura. Els acers són els més utilitzats i els que estudiarem en aquest projecte.

Si tot el que s'ha vist anteriorment hi afegim l'inconvenient i la innovació que suposa un motlle per a microinjecció, haurem de tenir molt més en compte factors com les dilatacions ja que aquestes podrien desbaratar completament la injecció de la peça. També els tractaments superficials seran claus per a tenir un bon acabat en la peça que s'injecti.

En aquest apartat s'estudiaran els acers i com aquests influeixen en el motlle i en la peça final. Les propietats que haurà de tenir l'acer que es seleccioni són les següents:

- Bona maquinabilitat

Aquesta bona maquinabilitat de l'acer és imprescindible per a una elaboració fàcil del mateix. Una mala maquinabilitat pot comportar problemes a l'hora de crear cavitats de microinjecció molt petites.

- Bona capacitat per als acabaments superficials

Un bon acabat superficial com el polit serà indispensable per a assegurar que la peça microinjectada té unes bones característiques i acabaments superficials.

- Alta resistència al desgast

Hi ha peces de plàstic que degut a les seves especificacions s'han de realitzar en materials plàstics que venen acompanyats de fibra de vidre, materials minerals... que augmenten la rigidesa de la peça però són altament abrasius per al motlle. Una bona resistència al desgast garantirà que el ventall de polímers i els seus additius sigui més extens alhora que s'allarga la vida del motlle.

- Alta resistència a la corrosió

L'acer del motlle estarà tant atacat per els agents atmosfèrics com per els productes químics del polímer. És necessària una bona resistència a la corrosió o bé un recobriments superficial com el crom o l'ús d'un acer inoxidable.

- Alta resistència a les deformacions

El motlle estarà sotmès a altes pressions de la premsa i de les resistències calefactores i la alta temperatura del mateix polímer. Aquestes temperatures poden arribar a ser de l'ordre de 300°C. En aquests casos s'ha d'utilitzar acers amb una elevada temperatura de revingut. No tenir en compte aquestes exigències pot provocar un canvi en l'estructura del motlle o l'alineament de les parts del mateix i acabar amb una peça que difereixi molt de la que es volia obtenir.

En el nostre cas necessitem que es compleixin totes les característiques anteriors sense excepció. Això ens condueix al següent pas, estudiar els tipus d'acer que hi ha al mercat i elegir-ne un que compleixi amb els requisits que hem vist. Els acers comercials es divideixen en cinc grans grups amb característiques diferents:

- Acers de cementació:

Aquests acers tenen unes característiques òptimes per a la fabricació de motlles amb la única excepció de la resistència a la corrosió, que l'invalida per al projecte.

- Acers bonificats:

Són acers usats en motlles de grans dimensions ja que quan se'ls apliquen tractaments tèrmics com el cementat, el motlle té tendència a canviar de mides. El bonificat ho evita. També tenen bona capacitat de mecanització. Tot i així tenen poca resistència a l'abració i també baixa qualitat superficial; requereixen així un tractament superficial com pot ser un cromat o nitrurat. És un bon candidat per al motlle que es dissenya si l'acer bonificat es cromat o nitrura.

- Acers resistents a la corrosió (inoxidables):

Aquests acers es fan servir molt per a motlles d'injecció de plàstic ja que per exemple el PVC, poliuretans o poliacetàlics alliberen àcid al ser escalfats que oxiden el motlle. Amb els mencionats acers resistents a la corrosió el motlle es protegeix amb un revestiment galvànic de crom o níquel. En el cromat s'aconsegueix un acabat brillant i

propietats que eviten que la peça quedi enganxada al motlle. La capa de crom ha de ser uniforme sinó es poden produir tensions en la capa superficial. Si no es pot aconseguir, s'usen acers de baix contingut de carboni i alt de crom. No es poden fer servir més enllà de 400°C sota perill de corrosió cristal·lina interna.

- Acers de revingut total.
- Acers de nitruració.

Seguidament s'adjunta una taula comparativa d'aquests grups d'acers.

	Resistència al desgast	Duresa	Resistència a la corrosió	Tenacitat	Capacitat de polit	Capacitat de mecanitzat
Acer de cementació	Bo	Bo	Dolent	Bo	Bo	Bo
Acer bonificat	Dolent	Dolent	Dolent	Bo	Bo	Regular
Acer resistent a la corrosió (recuit)	Bo	Bo	Bo	Dolent	Bo	Regular
Acer resistent a la corrosió (bonificat)	Regular	Dolent	Bo	Bo	Bo	Regular
Acer trempat totalment	Bo	Bo	Regular	Bo	Bo	Dolent

Dolent	Dolent
Regular	Regular
Bo	Bo
Òptim	Òptim

Taula 2. Comparativa de materials.

Cal comentar que els acers de cementació, trempats i bonificats tenen carències en alguna de les seves propietats. Queden per tant comentar que els acers inoxidable amb tractament de recuit o bonificat se'ls pot afegir un tractament superficial o tèrmic per a suplir alguna de les seves carències.

ESTUDI PREVI DE TRACTAMENTS TÈRMICS I TERMOQUÍMICS

L'objectiu dels tractaments tèrmics és millorar o modificar les propietats del metall i aliatges mitjançant alteracions en la seva estructura amb la finalitat de que amb les noves propietats pugui complir amb les especificacions desitjades, que sense aquest tractament no podria aconseguir.

TRACTAMENTS TÈRMICS:

- **Trempat:** La seva finalitat és augmentar la duresa i resistència de l'acer. S'escalfa l'acer a una temperatura de 900-950°C, fins que deixa de ser magnètic, i es refreda mes o menys ràpidament amb aigua o oli.
- **Revingut:** només s'aplica en acers prèviament trempats per a disminuir lleugerament els efectes del trempat a canvi d'eliminar les tensions creades durant el trempat i millorant-ne la tenacitat.
- **Recuita:** Consisteix bàsicament en escalfar l'acer a una temperatura de 800°C acompanyat d'un refredament lent. Amb aquest tractament s'augmenta la elasticitat mentre que disminueix la duresa. També facilita el mecanitzat de les peces a l'homogeneïtzar l'estructura, afinar el gra i fer més tou el material, eliminant l'acritud que produeix el trempat, el treball en fred o les tensions internes del mateix.

TRACTAMENTS TERMOQUÍMICS

Els tractaments termoquímics són tractaments que a mes de canviar l'estructura de l'acer en canvien també la composició química de la seva capa superficial afegint elements fins a una certa profunditat. Aquests tractaments requereixen escalfaments i refredaments controlats en atmosferes especials. Els objectius d'aquests tractaments són augmentar la duresa, disminuir el fregament augmentant el poder lubricant, augmentar la resistència al desgast, a fatiga o a corrosió.

- **Cementació (C):** augmenta la duresa superficial de l'acer, augmentant la concentració de Carboni a la superfície. S'obté mes tard a través de trempat i revingut una gran duresa superficial, resistència al desgast i bona tenacitat al nucli.
- **Nitruració(N):** igual que la cementació augmenta la duresa superficial tot i que de manera mes elevada. Incorpora nitrogen a la composició superficial. Les millores son les mateixes que en la cementació tot i que en major mesura.

TRACTAMENTS MECÀNICS

- Rectificat: té per finalitat corregir les imperfeccions de caràcter geomètric i dimensional que es produeixen durant les operacions de fabricació ja sigui per maquinat o tractament tèrmic. Amb el rectificat es donaran les toleràncies específiques després dels tractaments termoquímics.
- Trepanat: S'usa una broca per a fer forats.
- Mandrinatge: s'usa un mandrí per a donar la tolerància final als forats que prèviament s'han trepanat.

3. ESTUDI PREVI

La metodologia de treball que s'ha seguit per desenvolupar aquest projecte s'estructura en tres grans grups: a) Desenvolupament de les simulacions, b) Anàlisis de resultats i c) Disseny del motllo.

En la primera part de simulacions es faran uns estudis d'injecció de peces de plàstic amb el programa MOLDFLOW d'AutoDesk.

Aquest programa està pensat i implementat per a injecció de peces de plàstic de producció industrial, grans quantitats, on es busca un rendiment alt i costos baixos.

Degut a aquest factor, els resultats i l'estudi d'aquestes simulacions són només una aproximació de la realitat de la microinjecció de plàstics ja que no es pot garantir que el programa dissenyat per a peces grans, doni resultats fiables quan s'entra en microinjecció.

Amb aquest estudi de simulacions es vol definir quina geometria i longitud ha de tenir l'entrada de polímer (canal d'alimentació o *runner*) de la proveta per a garantir-ne que s'empleni del tot i que s'acabin obtenint unes propietats òptimes.

3.1 SIMULACIONS DE LA PROVETA

Les simulacions s'estructuren en tres fases,. En la fase 1, partint d'una geometria base de proveta es buscarà quina és la millor forma del canal d'alimentació (*runner*) i com afecta a la proveta. En la fase 2, considerant la geometria de proveta utilitzada en la fase 1 es buscarà la millor relació entre les dimensions i longitud del canal d'alimentació del que la geometria es definirà en la fase 1. Finalment, en la fase 3 de les simulacions es simularà la proveta normalitzada per a comparar-la amb els resultats obtinguts en el taller per els investigadors del GREP.

3.1.1 Fase 1: Estudi de la forma del canal d'alimentació per la geometria base.

En aquesta primera fase busquem quina geometria del canal d'entrada és la millor per a l'ompliment i les característiques finals de la proveta.

L'estudi es realitzarà partint d'unes dimensions de la proveta que anomenarem geometria base. Té les dimensions que es mostren el Fig 6:

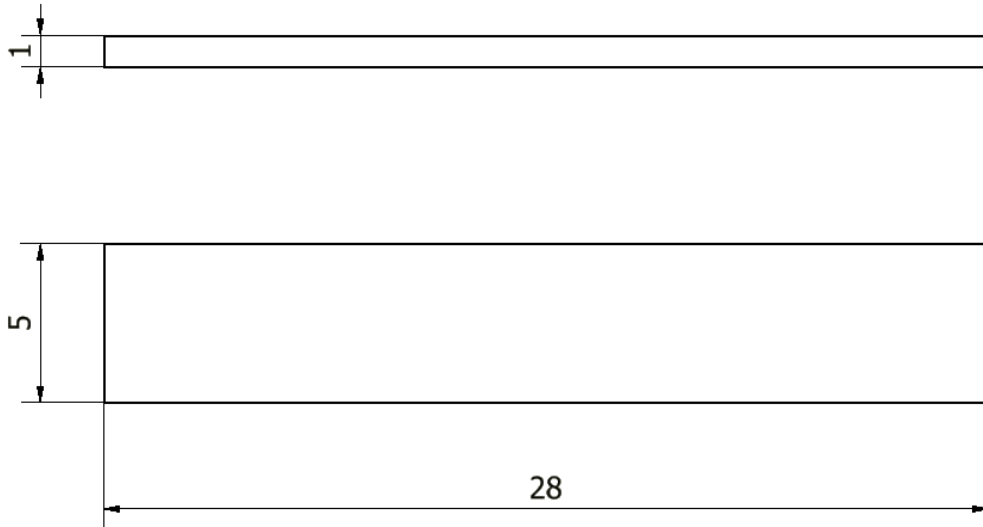


Figura 6. Dimensions geometria base

Aquesta geometria és tant bàsica perquè així s'esperen poques complicacions com xuclets o dificultats en l'ompliment. Amb aquesta geometria més bàsica es pretén que el canal d'entrada i la seva geometria siguin els que marquin la diferència amb els paràmetres que es compararan.

Seguidament es definiran les diferents formes del canal d'alimentació que s'estudiaran en aquest projecte, així com les seves dimensions per a que siguin comparables donat que al ser aquestes diferents, no es podrien comparar-ne els resultats. Seguint un criteri de resistència al pas del fluid, es buscarà un diàmetre equivalent per a les tres formes del canal d'alimentació que garanteixin el mateix comportament al pas del polímer i per tant, poder-ne comparar els resultats.

- Formes del canal d'alimentació

S'estudiaran tres formes del canal d'alimentació diferents, que es puguin fabricar al taller del Parc Tecnològic de la UdG i que siguin d'interès per a l'estudi que es realitza. Aquestes formes son: Quadrada (F1), Circular (F2) i Semicircular (F3).

- Dimensions

Geometria 1: Quadrada de 0.5x0.5mm

Geometria 2: Circular de 0.5mm de diàmetre

Geometria 3: Semicircular de diàmetre 0.818mm

Ara ja es poden comparar els resultats de les simulacions al tenir els diàmetres en equivalència. Càlculs en l'annex C.

- Paràmetres del procés d'injecció

Aquests paràmetres del procés d'injecció són els que conformen l'entorn de treball del motlle i la proveta. Per a aquesta fase 1 de les simulacions s'agruparan en dos conjunts, paràmetres d'injecció que es mantindran constants al llarg de totes les simulacions i en segon lloc tindrem els paràmetres variables.

Paràmetres constants

Els paràmetres que es mantindran fixats durant les simulacions de les geometries del canal d'entrada són les següents:

- Punt d'injecció, localitzat en un dels costats curts de la proveta rectangular, en posició centrada en ambdós eixos. Con de color groc de la figura 7.

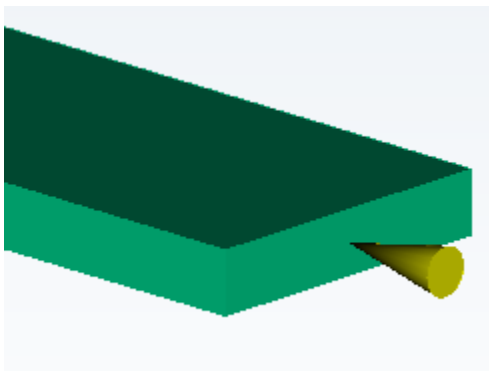


Figura 7. Localització del punt d'injecció.

- Canal principal anomenat abeurador (sprue), de 8mm de diàmetre, perpendicular al canal d'entrada de la proveta i amb el centre d'aquest canal principal situat a 8mm del punt d'injecció; marcat en vermell en la figura 8.

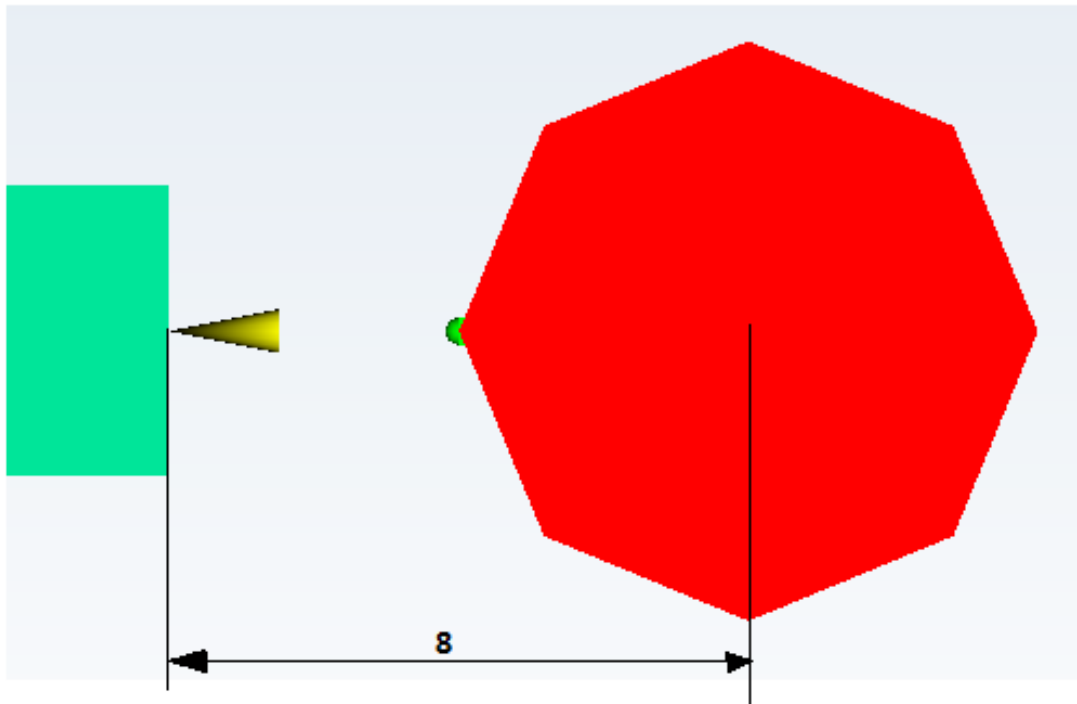


Figura 8. Canal abeurador i distància a la proveta.

- Polímer d'injecció, polipropilè, PP
- Temps d'injecció automàtic, establert per el programa de simulacions.
- Obertura del motlle de 5 segons, per defecte en el programa.
- Pressió d'injecció constant durant els 5 segons que el motlle està tancat.
- Punt d'inflexió en la relació velocitat/pressió, per defecte segons el programa). Aquest punt és el punt on la relació velocitat del polímer i la seva pressió ha disminuït tant que passem de la fase d'emplenat del motlle a la fase de solidificació i obertura del motlle.

Paràmetres variables

Els paràmetres variables són els que es variaran al llarg de les diferents simulacions d'aquesta fase:

- Canal d'alimentació: quadrat, circular, semicircular.

Considerant que les simulacions es faran amb polipropilè (PP), aquest i tots els materials amb els quals es poden fer simulacions amb el programa, tenen definits uns rangs de treball que es poden simular. Fora d'aquests rangs el programa no pot

treballar-hi. Això és degut a que aquests rangs són els mes adequats per a cada material i treballar fora d'aquests comportaria una degradació del polímer.

- Temperatura del motlle, 20-60°C.
- Temperatura del polímer injectat, 220-260°C.

La següent variable té un límit màxim de 50MPa que és el màxim que pot donar la màquina del taller.

- Pressió d'injecció.

A continuació veurem l'últim pas de la Fase 1 de les simulacions: definir les simulacions que es duran a terme per a aconseguir esbrinar la millor geometria del canal d'alimentació.

SIMULACIÓ 1 variació T^a motlle

Material	PP
T ^a motlle	20-60°C
T ^a polímer	240°C
Pressió injecció	50MPa
Temps obertura	5s
Geometria canal d'alimentació	segons proveta
Geometria proveta	estàndard
Localització injecció	costat curt, centrada
Nº punts injecció	1

SIMULACIÓ 2 variació Pressió injecció

Material	PP
T ^a motlle	40°C
T ^a polímer	240°C
Pressió injecció	10-50MPa
Temps obertura	5s
Geometria canal d'alimentació	Segons proveta
Geometria proveta	estàndard
Localització injecció	costat curt, centrada
Nº punts injecció	1

SIMULACIÓ 3 variació T° polímer

Material	PP
Tª motlle	40°C
Tª polímer	220-260°
Pressió injecció	50
Temps obertura	5s
Geometria canal d'alimentació	Segons proveta
Geometria proveta	estàndard
Localització injecció	costat curt, centrada
Nº punts injecció	1

Aquestes tres simulacions es duran a terme per a les tres formes del canal d'alimentació descrites en els punts anteriors.

Per tant tindrem un total de 9 grups de simulacions diferents, tres formes per al canal d'alimentació amb tres simulacions diferents per a cada forma.

D'aquest conjunt de simulacions obtindrem els resultats de la fase 1 on seleccionarem la millor geometria per al canal d'entrada.

3.1.2 Fase 2: Estudi de la relació entre diàmetre i la longitud del canal d'alimentació per la geometria base.

Amb els resultats de la fase 1 de les simulacions es coneixerà la millor geometria per al canal d'injecció però aquesta s'haurà d'acotar encara més per a aconseguir un resultat final més acurat.

Aquesta segona fase de l'estudi previ es dividirà en dos parts, la primera s'analitzaran les longituds del canal i les dimensions del mateix per separat. En la segona part es creuaran els resultats per tenir totes les combinacions possibles. La primera part d'aquesta segona fase simplement es per a saber quin rang de dimensions i longituds son d'interès per a l'estudi, la segona part és on es buscarà la millor combinació dels dos paràmetres.

Seguidament es simularan totes les combinacions possibles per a establir quina relació entre dimensions i longitud del canal d'entrada és la més encertada ja que en la fase 1 s'ha pres un diàmetre i una longitud que tot i no ser aleatori, s'ha intentat que fos un punt mig dels rangs de dimensions i longituds possibles per a la proveta base.

3.1.3 Fase 3: Estudi de la proveta final.

En aquesta última fase de les simulacions es canviarà la geometria de la proveta que s'ha estudiat en les dos fases anteriors per la següent:

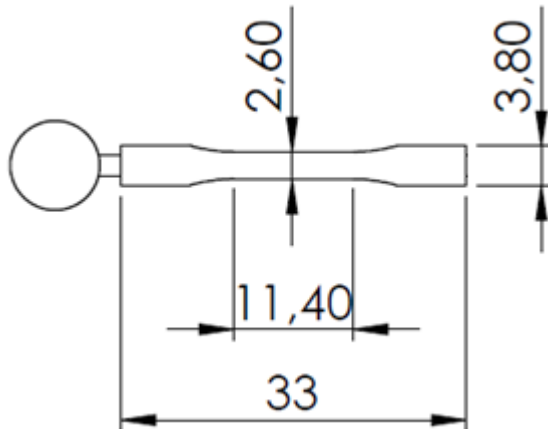


Figura 9: Proveta normalitzada.

L'objectiu d'aquesta fase és comparar els resultats dels investigadors del GREP que han obtingut una proveta amb un canal quadrat amb una simulació d'un canal circular. Per tant es repetirà la fase 1 d'aquest projecte sense la forma semicircular i amb la proveta normalitzada.

D'aquests resultats no se'n farà cap anàlisi, només s'inclouran perquè els investigadors del GREP comparin els resultats teòrics amb els experimentals que han començat a obtenir mentre es redacta aquest projecte.

3.2 ANÀLISIS

En aquest apartat d'anàlisi veurem què s'analitza en les simulacions i per què són importants o és interessant avaluar i comparar aquests paràmetres simulats. Els conjunt de paràmetres que permet analitzar el programa s'agrupen en cinc grups de resultats: ompliment de proveta, empaquetat, xuclets, qualitat de refredament i vinclament.

3.1.1 Ompliment de la proveta (Fill)

L'anàlisi d'emplenat de la proveta prediu el flux del polímer termoplàstic dins el motlle durant la fase d'emplenat. També calcula en front d'avanç del polímer i com creix a través del motlle des del punt d'injecció. Aquest anàlisi es porta a terme fins que s'arriba al punt d'inflexió de velocitat/pressió del polímer, és a dir, mentre el polímer és fluid.

- Temps d'ompliment (Fill time)

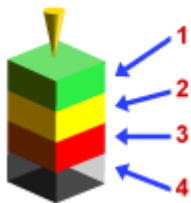
És el temps que tarda a omplir el motlle, interessant per a producció en massa de peces però també per comparar amb altres paràmetres en el nostre estudi. Resultat en segons.

- Flux de plàstic (Plastic flow)

Animació de l'ompliment del motlle, no és d'interès.

- Confiança d'ompliment (Confidence of fill)

Indica si la peça s'emplenarà completament o no.

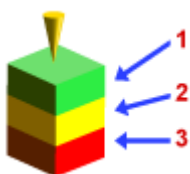


1. *Definitivament s'emplenarà del tot.*
2. *Pot no emplenar del tot o tenir problemes de qualitat.*
3. *No emplenarà del tot.*
4. *No hi arriba el flux de plàstic.*

Figura 10. Llegenda confiança d'ompliment.

- Predicció de qualitat (Quality prediction)

Refereix a la qualitat superficial entesa com l'acabat superficial estètic i dimensional (xuclets) però no de toleràncies.



1. *Qualitat alta*
2. *Qualitat mitjana*
3. *Qualitat baixa, pot tenir xuclets*

Figura 11. Llegenda predicció de qualitat.

- Pressió d'injecció (Injection pressure)

Analitza la pressió d'injecció des dels punts d'entrada fins l'últim punt d'emplenat de pressió 0. És la pressió de l'interior del motlle, no la de la màquina d'injecció

- Caiguda de pressió (Pressure drop)

El mateix que el punt anterior però a l'inversa. Analitza la caiguda de pressió al llarg de la peça. Seria important per a peces de grans dimensions, no és el cas.

- Temperatura del front de fluid (Temperatura at flow front)

Analitza la reducció de temperatura del front de flux de material. Útil per línies de soldadura, no és el cas, no és necessari per al nostre estudi.

- Orientació de les fibres superficials (Orientation at skin)

Orientació de les fibres superficials de la proveta. Íntimament lligat amb les propietats mecàniques del plàstic resultant. Veiem que tenim el punt d'injecció correctament situat per tant no és un paràmetre que ens afecti al resultat.

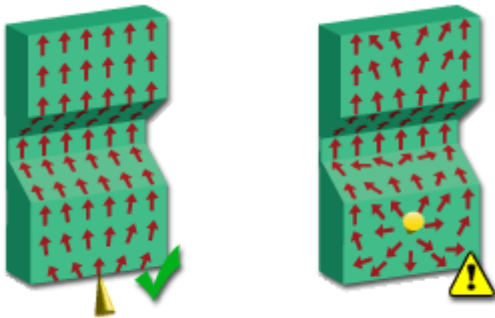


Figura 12. Orientació fibres superficials.

- Temperatura mitjana (Average temperature)

Temperatura interna mitjana. És una altra manera d'analitzar el flux de material. Concentracions de calor indiquen mala circulació del fluid. És interessant per a peces amb diversos punts d'injecció o molt grans.

- Temps per a arribar a la T^a d'expulsió (Time to reach ejection T^a)

Temps que tarda a arribar la peça a la temperatura a la qual podem obrir el motlle. Té interès en peces de grans dimensions on el refredament pot ser un problema a tenir en compte. No és el cas.

- Capa solidificada al final de l'emplenat (Frozen layer fraction at end of fill)

Representa el % de material que s'ha solidificat quan just s'acaba d'omplir el motlle. És un factor negatiu per a la qualitat de la peça ja que a més capa solidificada, més resistència tindrà el fluid per a avançar al llarg de la proveta. Es busquen valors baixos. Té una relació directa amb la ràtio de tallant del fluid, aquest paràmetre n'és una representació gràfica.

La ràtio de tallant és equivalent a la potència cúbica del gruix per tant per exemple una reducció a la meitat del diàmetre del canal d'entrada provoca un augment de 16 vegades la resistència a la fluïdesa en el canal.

- Aire atrapat (Air traps)

Bombolles d'aire atrapades en el motlle, no hi ha l'opció d'instal·lar sortides d'aire en el programa per tant no es poden eliminar de la simulació. Aquest paràmetre només indica on queden atrapades les bombolles d'aire i per tant a on s'ha de dissenyar la evacuació de gasos del motlle.

- Línies de soldadura (Weld lines)

Línies de soldadura entre dos fronts de material provinent de diferents punts d'injecció. Al tenir un sol punt d'injecció serà un paràmetre que no necessitem.

- Creixement de la peça (Grow form)

Forma del creixement de la peça quan prové de dos punts d'injecció diferents. No és el cas ja que només tenim un punt d'injecció.

3.1.2 Empaquetat (Pack)

L'anàlisi de l'empaquetat es duu a terme a partir de que el polímer ha deixat de ser fluid i es comença a solidificar. Això passa quan la relació velocitat/pressió del plàstic decau. Aquest anàlisi estudia únicament les contraccions del polímer al passar de fluid a sòlid.

- Contraccions volumètriques màximes i mínimes (Volumetric shrinkage)

Analitza les contraccions volumètriques i mostra el resultat en % d'escurçament o elongació de la proveta en un rang de colors per a cada percentatge.

3.1.3 Xuclets (Sink Marks)

L'anàlisi dels xuclets mostra la localització i severitat dels xuclets que poden afectar a la proveta i a la seva qualitat. Aquest anàlisi es fa servir per a eliminar potencials xuclets modificant la geometria de la peça a injectar o bé modificant-ne els paràmetres d'injecció com pot ser la pressió.

- Estimació de xuclets (Sink marks estimate)

Analitza on es poden produir els xarrups i quina profunditat tindran en mil·límetres.

- Ombrejat de xuclets (Sink marks shaded)

Mostra la peça solida amb els xuclets ombrejats i com quedarà la peça quan s'hagi extret del motlle.

3.1.4 Qualitat de refredament (Cooling Quality)

L'anàlisi de la qualitat de refredament és interessant per a peces i motlles grans. En aquest cas on la proveta és molt petita, a priori no interessa comprovar el refredament però tot i així es farà igualment per a assegurar que no hi ha problemes de vinclament de la peça o deformacions degut a un refredament massa lent.

- Cooling quality

Aquest apartat és util si utilitzem circuits de refrigeració en el motlle; no és el cas. Tot i així ens fixarem si el refredament és correcte en la proveta o no.

3.1.5 Vinclament (Warp)

Aquest anàlisi de vinclament mostra les deformacions de vinclament que experimentarà la peça un cop s'hagi tret del motlle. És interessant analitzar-lo en peces grans on el vinclament pot ser molt gran. En la microinjecció el vinclament és important en casos que el motlle està desajustat o descentrat però la simulació parteix de motlles perfectes per tant no s'esperen resultats de vinclament.

- Warp indicator, all effects

Ens dona les deformacions combinades causades per refredament, contraccions, orientacions de les fibres. És molt important analitzar aquest paràmetre per a assegurar que la peça no tingui deformacions. Sol venir causat per un mal refredament, que en principi no ha d'ocórrer ja que la peça és petita. Es comprovarà per seguretat.

Tot i que aquesta classificació que fa el programa ens ha sigut útil per a agrupar els paràmetres que s'analitzaran i explicar-ne que vol dir cada un, per a aquest projecte una nova classificació serà més útil.

Es dividiran tots els paràmetres analitzables en aquests cinc grups de simulació en una taula on es distingiran dos grups només: Paràmetres de producció i paràmetres de qualitat. Els primers són importants a nivell de producció industrial, que no ens interessa molt ja que estem en una fase de disseny d'experiments i no de producció en massa de peces; els segons són els que importen per a la optimització dels canals d'alimentació.

PARÀMETRES DE PRODUCCIÓ	PARÀMETRES DE QUALITAT
Temps d'emplenat (fill time)	Circulació del plàstic (plastic flow)
Temps per a arribar a la T ^a d'ejecció (time to reach ejection T ^a)	Confiança d'emplenat (confidence of fill)
	Predicció de qualitat (quality prediction)
	Pressió d'injecció (injection pressure)
	Caiguda de pressió (pressure drop)
	Temperatura del front de circulació (temperature at flow front)
	Orientació de les fibres superficials (orientation at skin)
	T ^a mitjana (average temperature)
	Capa solidificada (frozen layer fraction at end of fill)
	Aire atrapat (air traps)
	Línies de soldadura (weld lines)
	Creixement de la peça (grow form)
	Estimació de xuclets (sink marks estimate)
	Xuclets ombrejats (sink marks shaded)
	Qualitat de refredament (cooling quality)
	Contraccions (volumetric shrinkage at ejection)
	Vinclament (warpage indicator, all effects)

Taula 3. Classificació de paràmetres.

4 RESULTATS DE L'ESTUDI PREVI

Seguidament es recullen els resultats de l'estudi previ, les simulacions del comportament de la proveta i les diferents formes del canal d'entrada.

4.1 RESULTATS DE LES SIMULACIONS

El resultat de les simulacions s'ha traslladat des del programa Moldflow a taules d'Excel on es recullen els valors i es poden comparar i fer-ne gràfics per a treure'n conclusions.

Aquestes taules d'Excel es recullen en l'Annex A

4.2 ANALISI DEL RESULTAT DE LES SIMULACIONS

En aquesta secció s'analitzaran els resultats de les simulacions per a cada una de les fases descrites en l'apartat 3. Estudi previ. Per a simplificar el gran volum de resultats que s'han inclòs en l'apartat 4.1. Resultats de les simulacions, s'han elegit els paràmetres que tenien interès per a ser estudiats en cada fase de l'estudi previ.

4.2.3 Fase 1: Estudi de la forma del canal d'alimentació per la geometria base.

En aquesta primera fase s'han variat els paràmetres de procés Temperatura del motlle, Pressió d'injecció i Temperatura del polímer per a cada una de les tres formes dels canals d'alimentació.

Seguidament s'inclou la taula 4 que resumeix com s'han escollit els paràmetres a analitzar. Quan una casella d'aquesta taula està marcada en verd significa que és un paràmetre interessant per a ser analitzat, la resta al mantenir-se constants o no variar al llarg de les simulacions s'han inclòs en la taula com a resultats fixes.

Els valors F1, F2 i F3 són les tres formes quadrada, circular i semicircular.

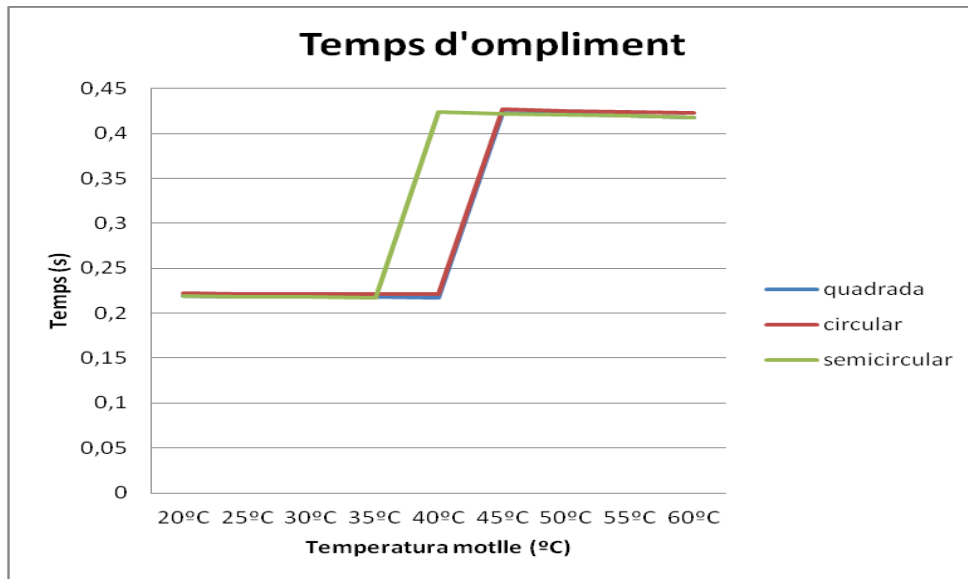
Tm és la temperatura del motlle, Pi la pressió d'injecció i Tp la temperatura del polímer.

L'objectiu és escollir la millor forma del canal d'alimentació.

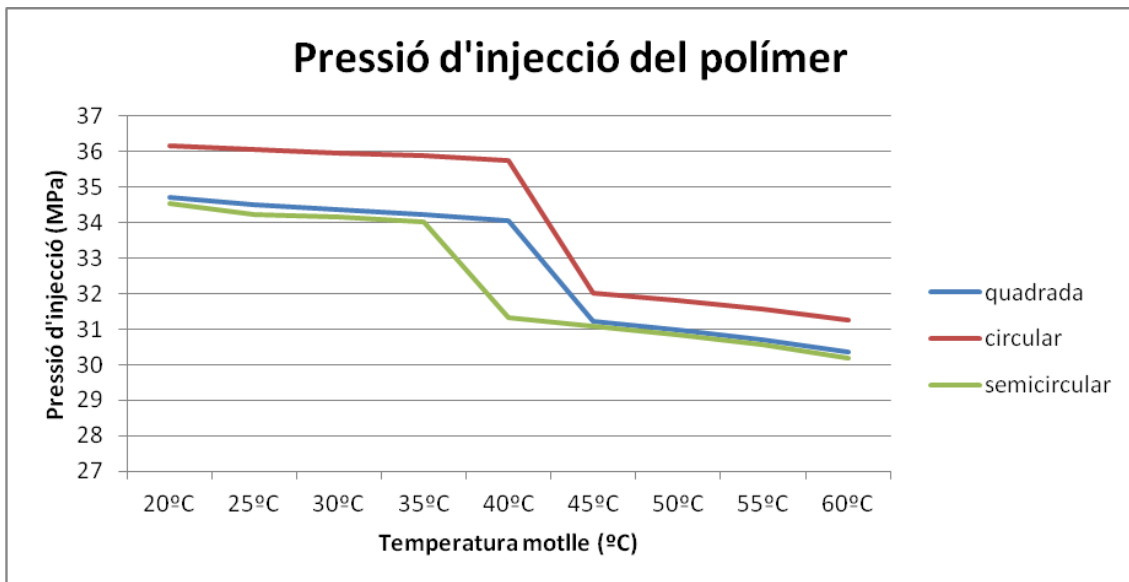
	F1 / F2 / F3	F1 / F2 / F3	F1 / F2 / F3
	Tm	Pi	Tp
Temps d'ompliment			
Confiança d'ompliment	100% high		100% high
Predicció de qualitat	100% high		
Pressió d'injecció			
Orientació de les fibres superficials	lineal	lineal	lineal
Temps per a arribar a la T ^a d'expulsió			
Capa solidificada			
Aire atrapat	cte	cte	cte
Línies de soldadura	0	0	0
Creixement de forma	1	1	1
Xuclets	0	0	0
Qualitat de refredament	100% high	100% high	100% high
Contraccions màximes			
Contraccions mínimes			
Vinclament	100% low	100% low	100% low
Pes	cte	cte	cte
Volum injectat	llineal	cte	lineal
% Ompliment	100%		100%

Taula 4. Selecció de paràmetres a analitzar.

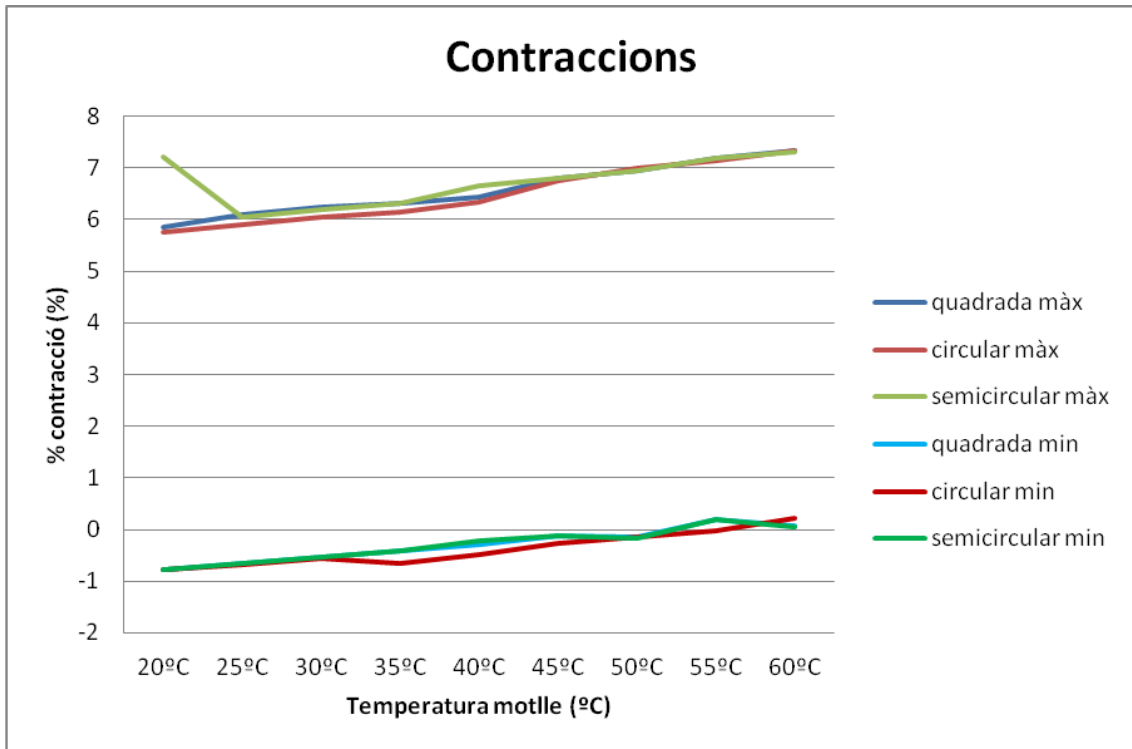
Vistos els paràmetres que s'analitzaran en aquesta primera fase, s'inclouen els gràfics dels resultats d'aquests anàlisis.

SIMULACIÓ 1: VARIACIÓ Tª MOTLLE

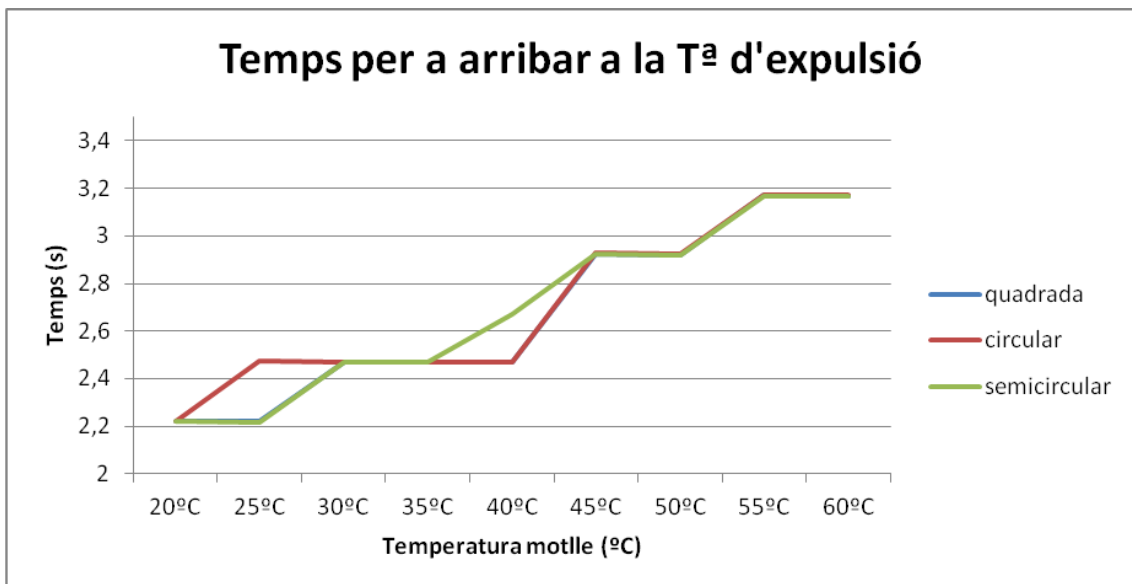
S'observa com el temps d'ompliment creix a mesura que la temperatura del motlle augmenta. És un resultat inesperat ja que s'esperava que a més temperatura del motlle augmentés la fluïdesa del polímer i baixés el temps d'ompliment. Tot i això podem extreure que les provetes quadrada i circular es comporten pràcticament igual i que la semicircular tarda menys a emplenar-se a temperatures més baixes.



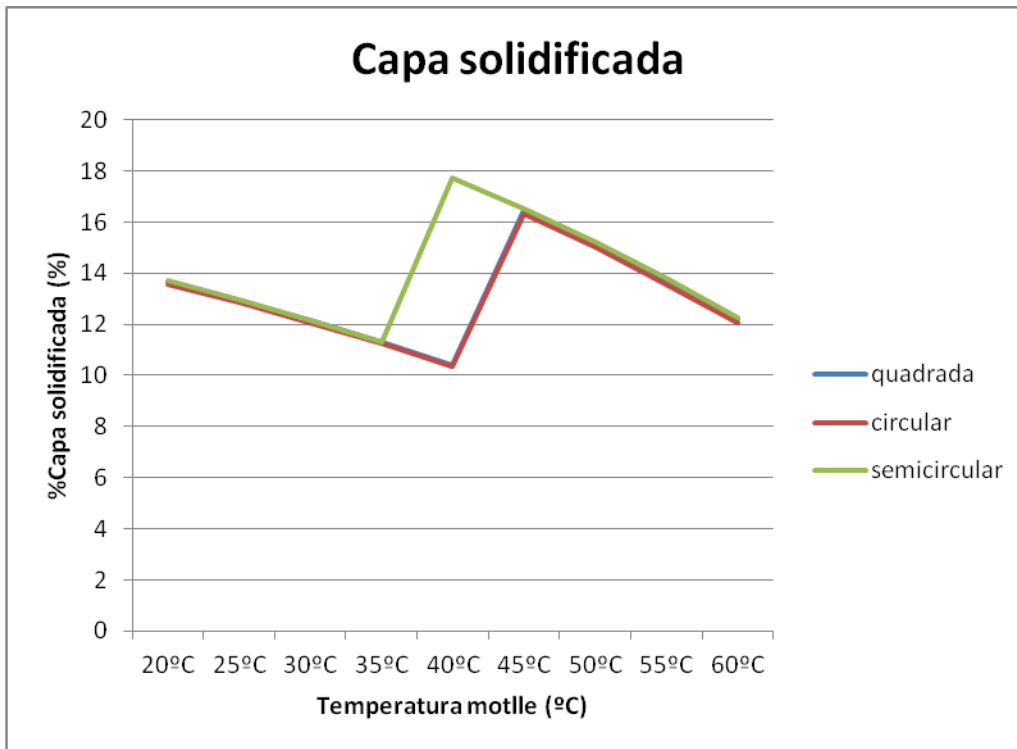
S'observa com la pressió real a la que entra el polímer no és la mateixa a la que s'injecta (50MPa). Això és degut a les pèrdues de càrrega del motlle i de l'angle entre el canal abeurador i el canal d'alimentació de 90°. S'extreu del gràfic que la proveta circular és la que millor pressió manté.



Es veu del gràfic de contraccions que són mes o menys iguals per a les tres formes del canal d'alimentació, tot i així la circular s'observa que manté les contraccions màximes més baixes que la resta. Les contraccions mínimes al ser negatives indiquen una dilatació del material que pot ocasionar xuclets. En aquest cas no apareixen.



La proveta amb canal circular d'alimentació manté un temps més baix per a obrir el motlle a temperatures mitjanes del rang de temperatures. Es veu com a 40°C manté el temps més baix que les altres dues.

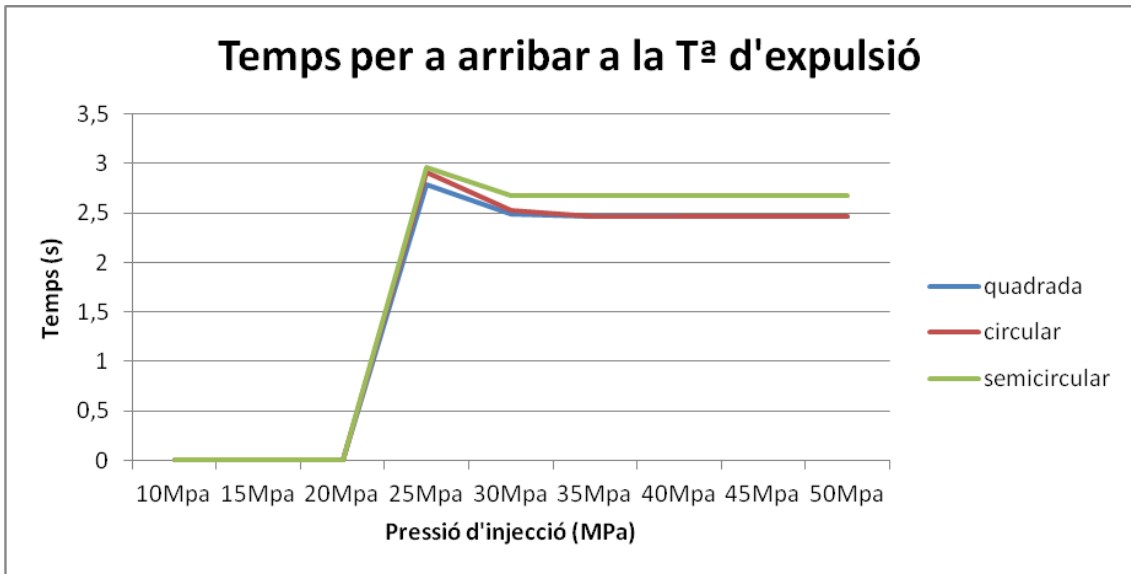


La capa solidificada de la quadrada i circular és la mateixa en el rang de temperatures del motlle, no així la semicircular que és pitjor per a aquest paràmetre.

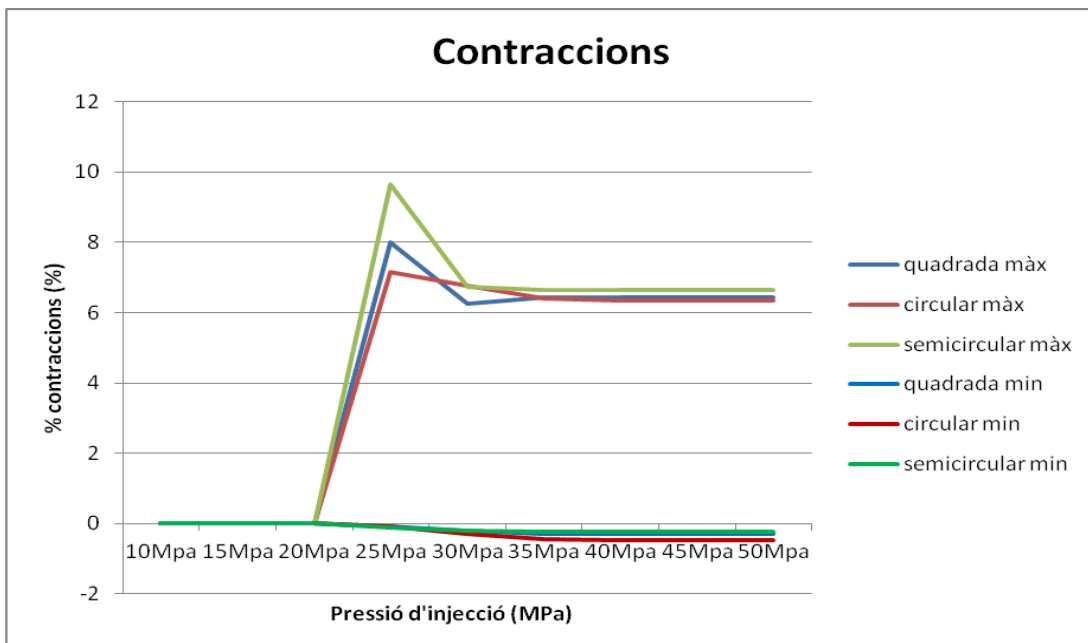
Conclusió simulació 1: La millor forma és la circular desmarcant-se en tres paràmetres importants com les contraccions, la capa solidificada i la pressió real d'injecció. El valor òptim de treball de la temperatura del motlle és 40°C, on la capa solidificada és menor, la pressió d'injecció és màxima i el temps d'ompliment és mínim.

SIMULACIÓ 2: VARIACIÓ PRESSIÓ D'INJECCIÓ

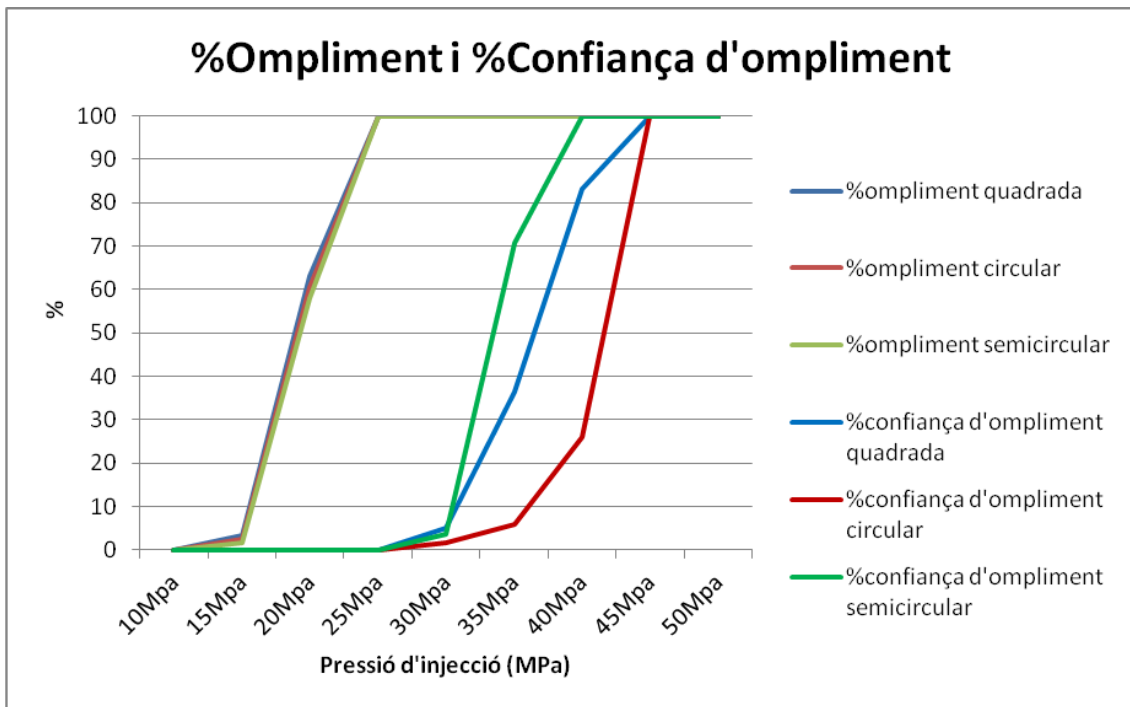
Per a aquesta simulació 2 de variació de la pressió d'injecció cal comentar primer de tot que només són útils i vàlids els resultats a partir de 20MPa que és la pressió per la qual s'omplia la proveta del tot. Tot i així s'han inclòs en els gràfics els resultats de les pressions inferiors a 20MPa per a assegurar que no hi havia cap valor no esperat que fos d'interès per a ser estudiat.



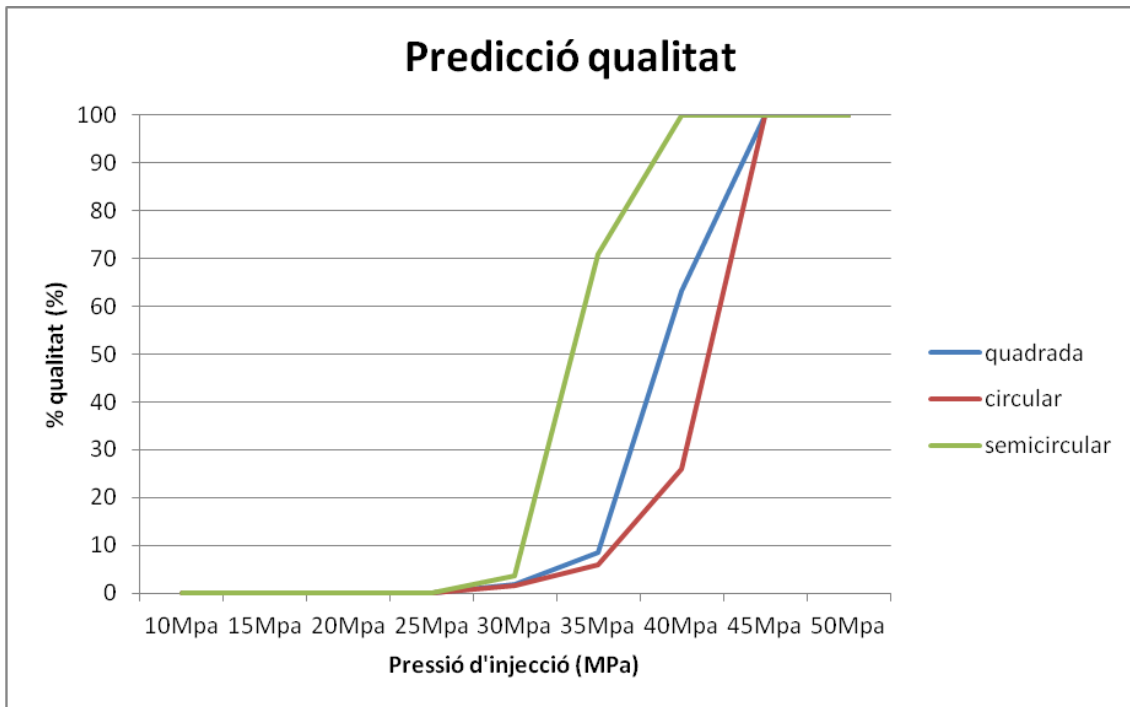
S'observa en aquest primer gràfic com les provetes circular i quadrada donen els mateixos temps d'expulsió, desmarcant-se amb temps més alts la semicircular.



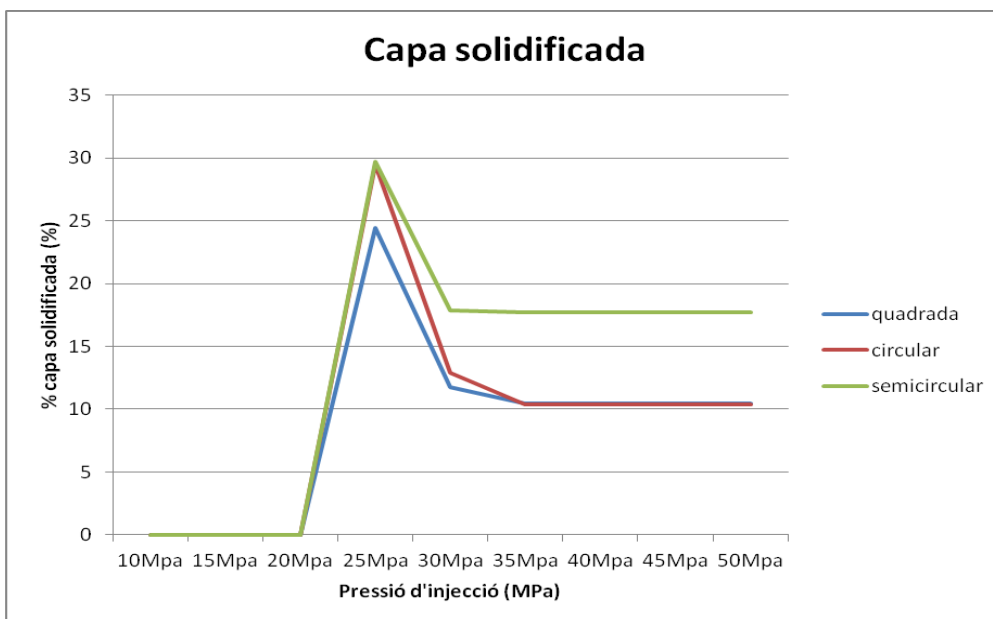
S'observa que les contraccions màximes per a la proveta circular són les més baixes en conjunt i com les mínimes són les més importants tot i així al no apareixer xuclets la forma circular és la millor.



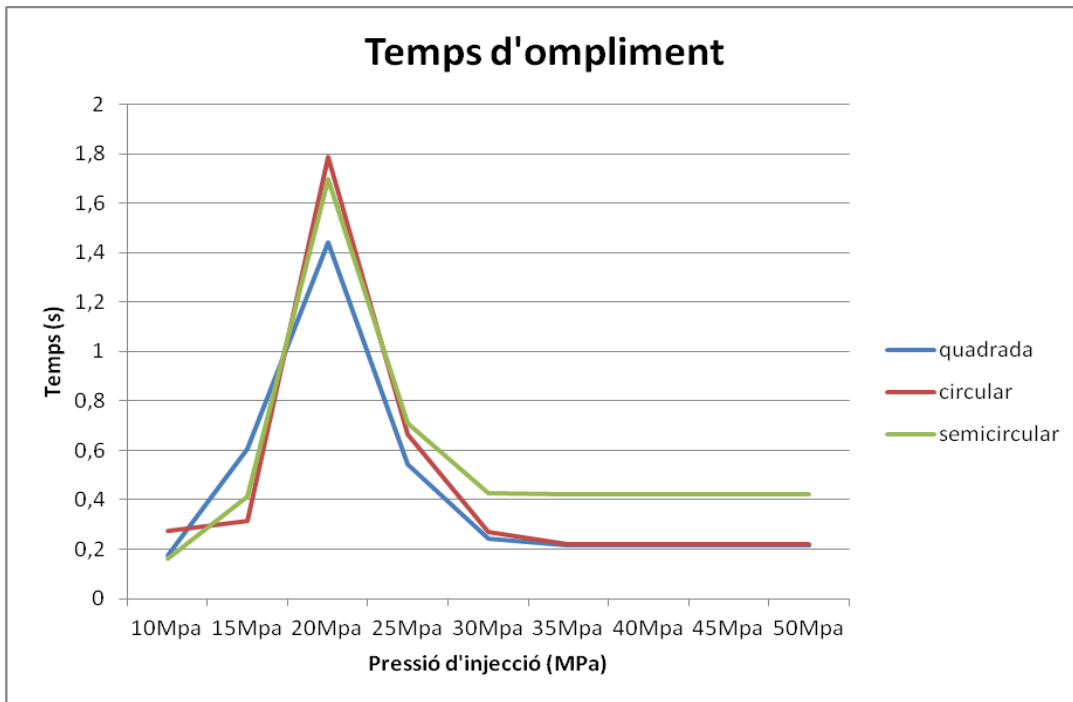
Aquest gràfic requereix un xic més d'atenció que la resta: S'observa com el % d'ompliment de la proveta és igual per a les tres formes arriban al 100% d'ompliment a 25MPa. Tot i això, la confiança d'ompliment, és a dir la qualitat d'aquest ompliment no és igual per a les tres provetes. La millor és la semicircular que arriba avans al 100%, siguent la pitjor la circular que necessita més pressió per a arribar al 100% de confiança d'ompliment.



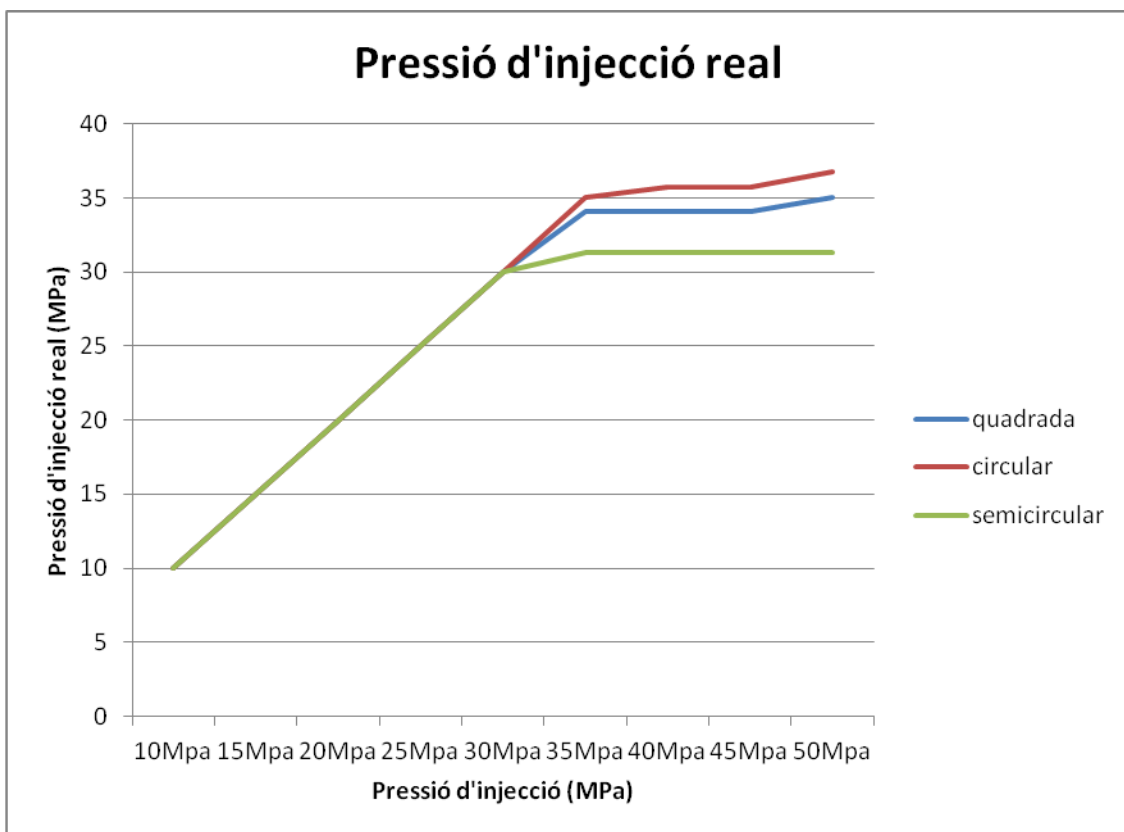
En la predicció de qualitat passa el mateix que en el gràfic anterior, la proveta circular és la que necessita més pressió per a assegurar una bona qualitat superficial i la semicircular la que necessita menys pressió.



El % de capa solidificada a partir de 20 MPa té un comportament similar entre la quadrada i la circular seguint la primera lleugerament superior a la segona. La semicircular té més capa solidificada que les altres.



Aquest gràfic assimila el comportament amb l'anterior. Les provetes circular i quadrada es comporten similar a partir de 20MPa siguent la quadrada lleugerament superior fins a 30MPa i iguals les dos a partir d'aquest punt. La semicircular es desmarca altre cop com la pitjor de les tres.



En aquest gràfic veiem la diferència entre la pressió d'injecció real i la que apliquem amb la màquina. S'observa com la millor és la circular que permet acostar-se més la pressió real a la que tenim a la màquina.

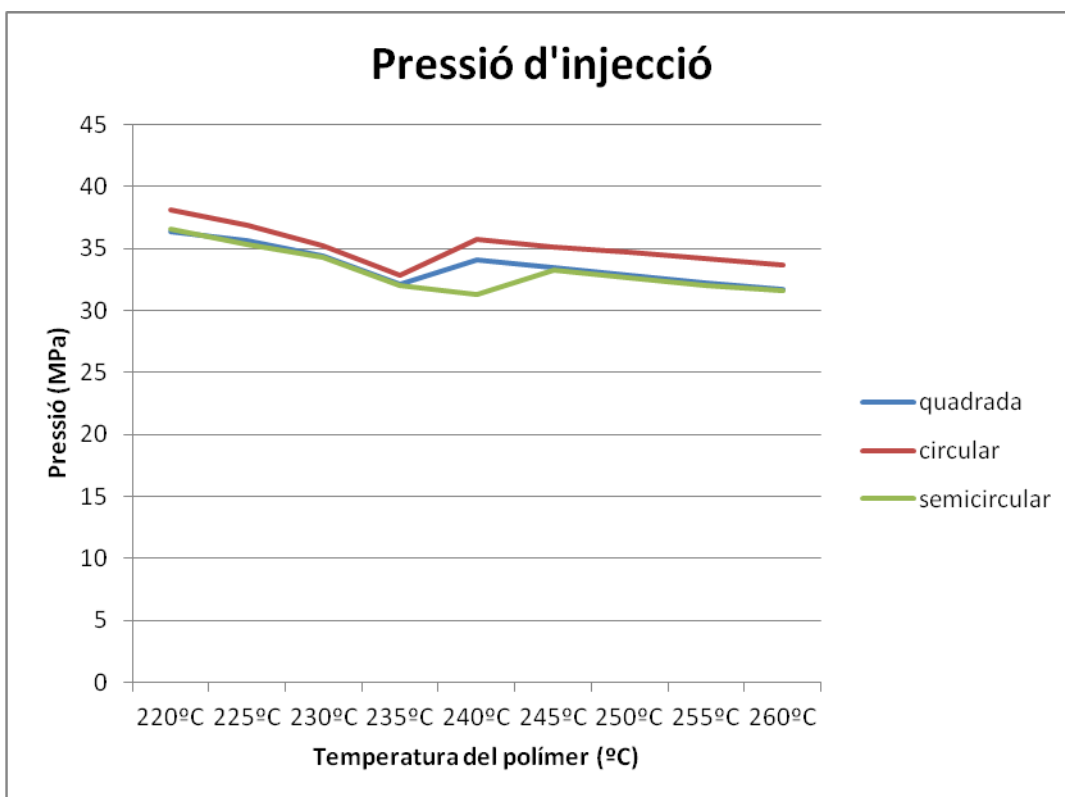
Conclusió simulació 2: En aquesta simulació la millor proveta teòricament és la quadrada ja que es comporta millor que les altres a baixes pressions. Tot i així si es manté una pressió alta d'injecció, prop de 50MPa, la diferència entre la circular i la quadrada és nula, d'aquesta manera segueix siguent millor la forma circular que s'ha mostrat millor en la simulació 1.

En aquesta simulació 2 no hi ha cap dubte del punt òptim de la pressió d'injecció. Com més alta millor, 50MPa .

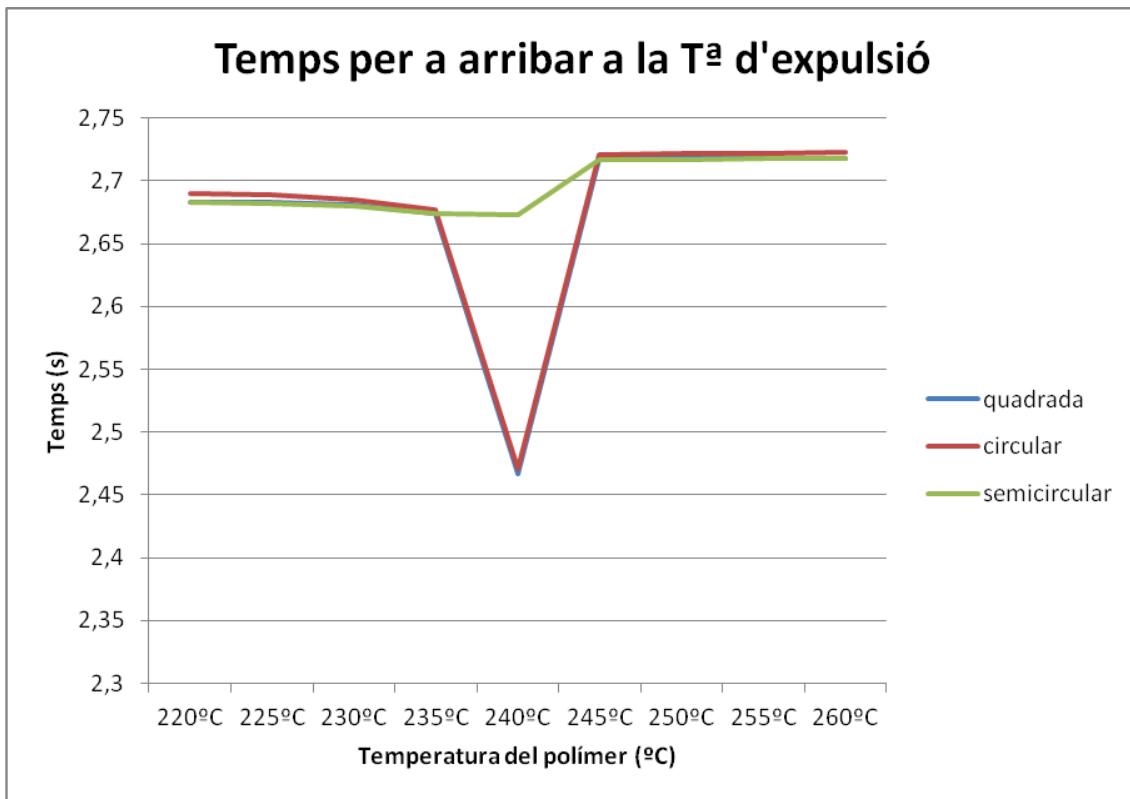
SIMULACIÓ 3: VARIACIÓ Tª POLÍMER



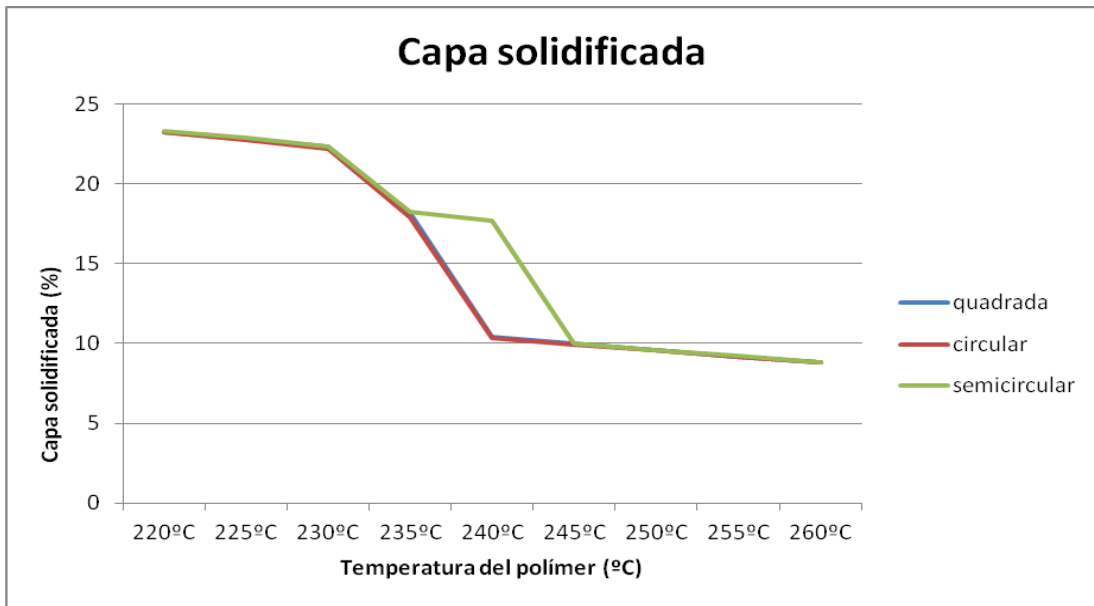
En el temps d'ompliment s'observa com la quadrada i la circular es comporten igual, siguent pitjor la semicircular.



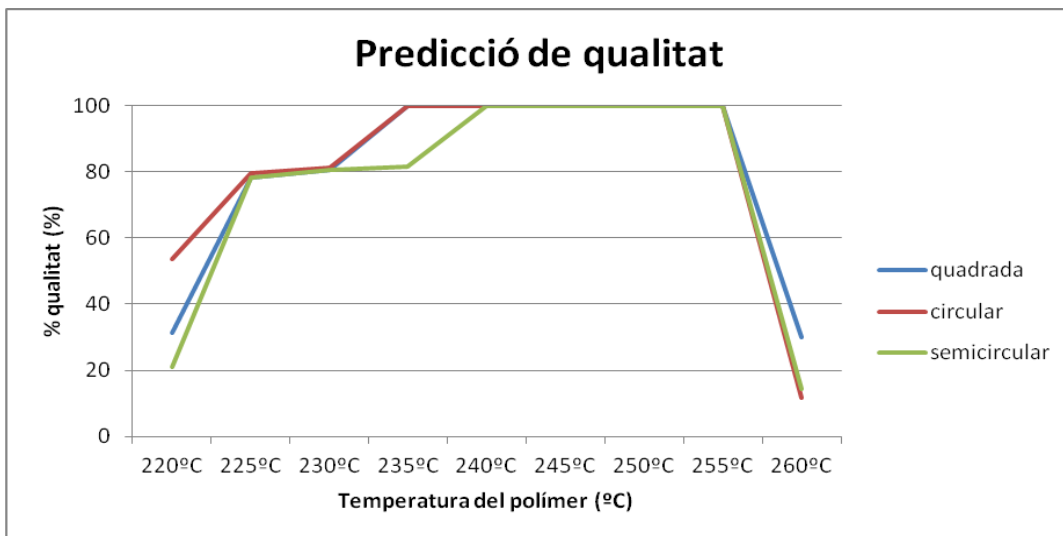
La pressió d'injecció real que s'aconsegueix és millor amb una forma circular del canal d'entrada ja que per a tot el rang de temperatures del polímer aconseguim pressions mes elevades.



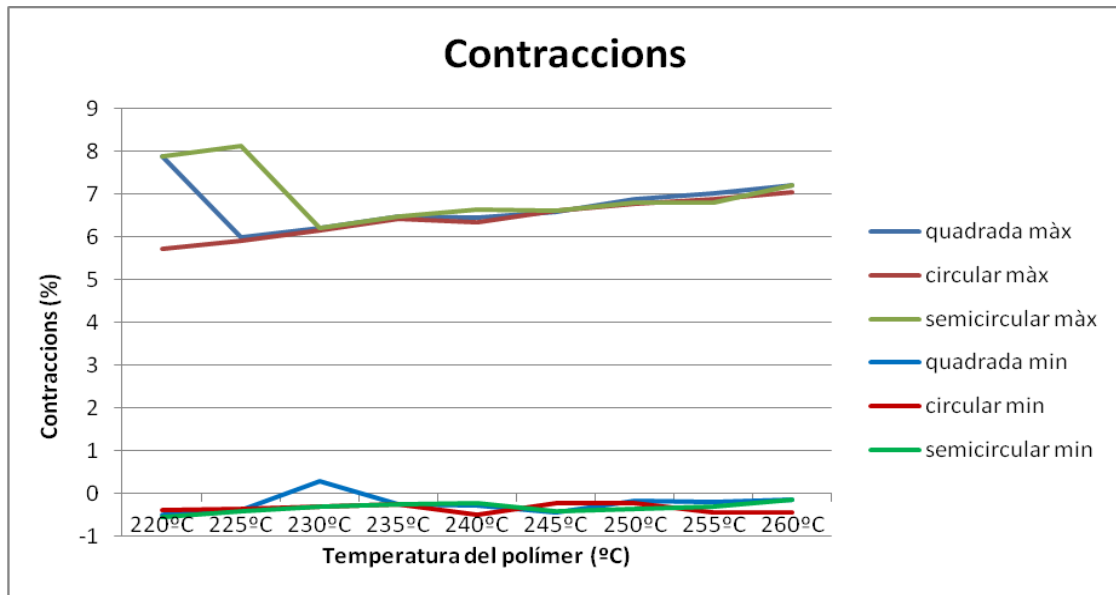
Aquest gràfic és interessant doncs es veu un mínim molt clar del temps d'obertura del motlle per a les provetes quadrada i circular en la temperatura de 240°C. La semicircular segueix desmarcada com la pitjor de les tres per al temps d'obertura del motlle.



El comportament de la capa solidificada és igual per la circular que la quadrada seguint la semicircular la més desfavorable per a aquest paràmetre.



S'observa com la qualitat superficial de la proveta és més elevada per a la forma circular a temperatures més baixes del polímer i igual que la quadrada a partir de 230°C.



La forma circular és la millor en quant a contraccions ja que te les contraccions màximes més petites i les contraccions mínimes són les mes desfavorables en algunes temperatures però com que no apareixen xuclets no cal tenir-les en compte.

Conclusió simulació 3: En aquesta simulació la millor proveta és la circular que es desmarca com la millor en les contraccions, la qualitat superficial i la pressió d'injecció real. La quadrada la iguala en la resta de paràmetres. La millor temperatura del polímer és 240°C on la qualitat i la pressió d'injecció són màximes i el temps d'expulsió i d'emplenat mínims.

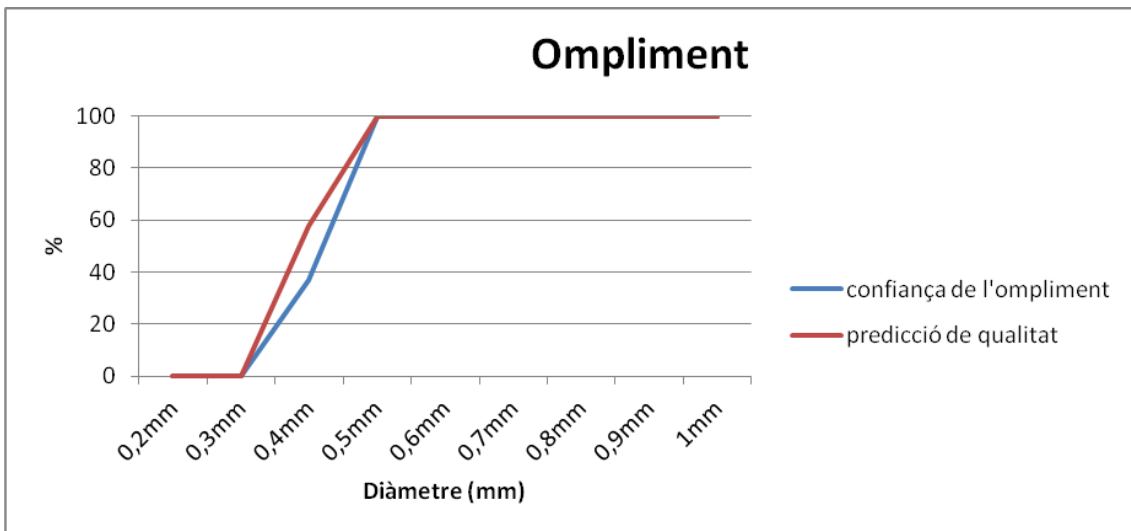
CONCLUSIÓ FASE 1: La millor forma és la circular siguen la millor en les simulacions 1 i 3 sempre i quant la pressió de treball sigui per sobre de 40MPa on en la simulació 2 s'ha observat que per a obtenir els millors resultats cal una pressió alta.

4.2.4 Fase 2: Estudi de la relació entre diàmetre i la longitud del canal d'alimentació per la geometria base.

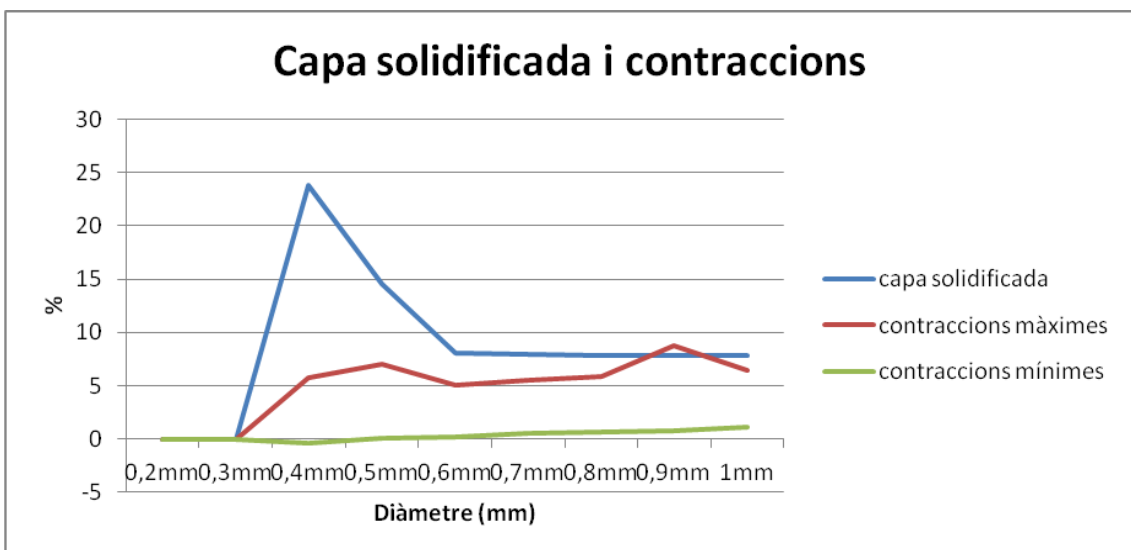
Amb la conclusió de l'apartat anterior de que la millor forma és la circular, en aquesta fase 2 es buscarà quina és la millor longitud i diàmetre del canal d'alimentació.

Les taules de resultats d'aquesta fase 2 es troben a l'annex A

La primera meitat d'aquesta fase és un estudi per seleccionar el rang més adequat per a estudiar tant de longituds com de diàmetres. Per a variar només les longituds i diàmetres s'ha hagut de fixar els paràmetres que s'estudiaven en la fase 1 en el seu valor més òptim perquè no influeixin en aquesta fase.



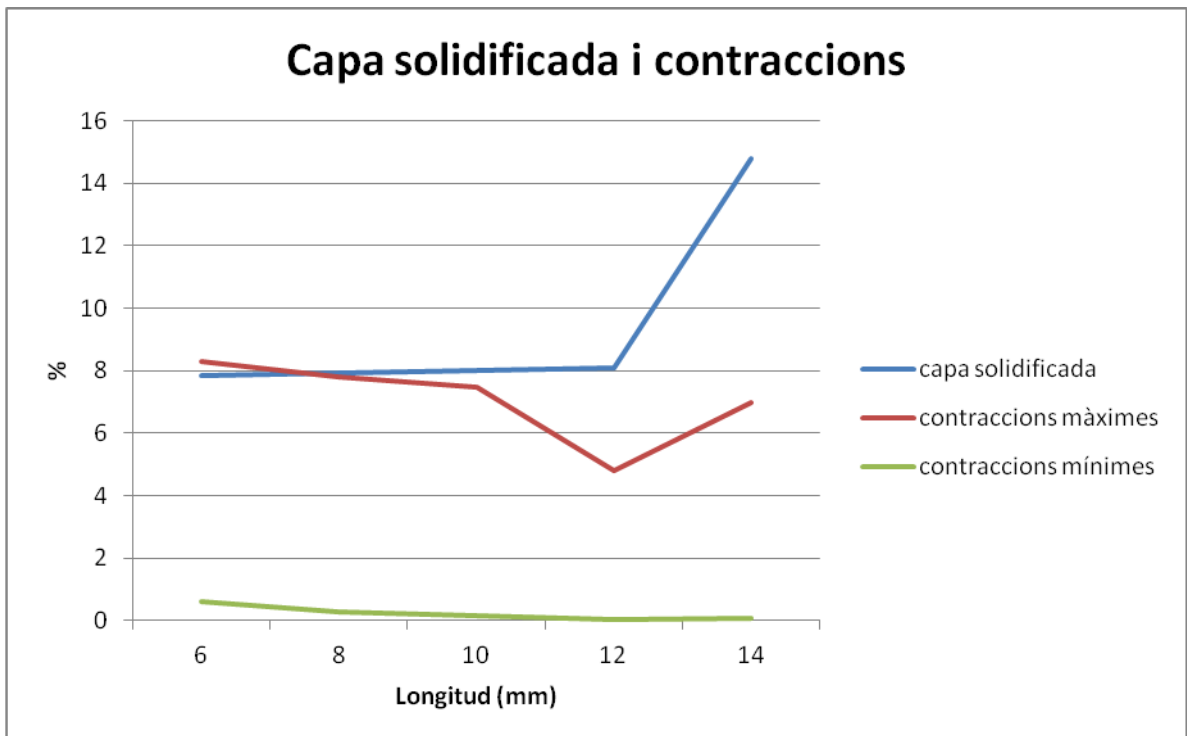
S'observa com els diàmetres més petits de 0.4 no aconsegueixen omplir la proveta per tant queden descartats per a ser estudiats en la segona meitat d'aquesta fase 2.



S'observa com la capa solidificada és màxima en 0.4mm i baixa a partir d'aques punt, i també com les contraccions màximes augmenten amb el diàmetre d'igual manera que les mínimes. Tambe arribem a la conclusió que els diàmetres més petits de 0.4 no són d'interès.

S'observa d'aquest primer anàlisis que la capa solidificada mínima i l'ompliment òptim de la proveta ocòrren a partir del diàmetre de 0.6mm. Això ens indica que l'estudi de diàmetres és útil a partir d'aquest mateix.

Seguidament es farà un primer estudi per a acotar les longituds del canal d'alimentació:



El mínim serà de 6mm ja que més curt el canal abeurador i la proveta entren en contacte. El màxim serà 14 ja que més llarg produeix molta pèrdua de càrrega en el polímer i provoca així molta capa solidificada.

En la segona meitat d'aquesta fase 2 es farà una combinació dels dos rangs de longituds i diàmetres. La taula de resultats es troba en l'annex A i que també s'inclou a continuació ja que és la forma més il·lustrativa de mostrar els resultats d'aquest encreuament.

S'han descartat longituds superiors a 10mm ja que en la part anterior s'ha vist en el gràfic com augmenten considerablement la capa solidificada i les contraccions màximes, dos paràmetres desfavorables per a la proveta.

	fill time	confidence of fill	Quality prediction	Injection pressure	orientation at skin	time to reach ejection T^a	frozen layer
φ 0,4 ; L6	0,1888	100%high	100%high	35,13	lineal	4,585	8,638
φ 0,4 ; L8	0,2049	medium 55,7 high 44,3	medium 62,2 high 26,2	47,59	lineal	4,602	8,997
φ 0,4 ; L10	0,3974	medium 18,4 high 81,6	medium 18,4 high 81,6	41,86	lineal	4,067	15,09
φ 0,5 ; L6	0,1712	100%high	100%high	23,75	lineal	4,756	8,393
φ 0,5 ; L8	0,18	100%high	100%high	29,02	lineal	4,765	8,437
φ 0,5 ; L10	0,1889	100%high	100%high	34,96	lineal	3,859	8,493
φ 0,6 ; L6	0,1639	100%high	100%high	19,35	lineal	4,748	8,367
φ 0,6 ; L8	0,1704	100%high	100%high	23,13	lineal	3,841	8,377
φ 0,6 ; L10	0,1776	100%high	100%high	27,14	lineal	3,848	8,388

Taula 1

	air traps	weld lines	grow form	sink marks	cooling quality	volumetric shrinkage max	volumetric shrinkage min	warpage	wheight	injected volume
φ 0,4 ; L6	6	0	1	0	100%high	9,357	-0,288	100%low	0,105	0,1408
φ 0,4 ; L8	7	0	1	0	100%high	6,321	-0,5532	100%low	0,105	0,141
φ 0,4 ; L10	6	0	1	0	100%high	6,092	-0,7689	100%low	0,106	0,1413
φ 0,5 ; L6	5	0	1	0	100%high	10,15	0,0535	100%low	0,105	0,1412
φ 0,5 ; L8	7	0	1	0	100%high	7,205	-0,2157	100%low	0,105	0,1416
φ 0,5 ; L10	6	0	1	0	100%high	6,699	-0,493	100%low	0,105	0,142
φ 0,6 ; L6	5	0	1	0	100%high	8,151	0,2762	100%low	0,105	0,1417
φ 0,6 ; L8	5	0	1	0	100%high	7,854	0,1867	100%low	0,105	0,1423
φ 0,6 ; L10	5	0	1	0	100%high	7,551	0,1005	100%low	0,105	0,1428

Taula 2

Veiem en les taules anteriors com els diàmetres de 0.4mm combinats amb longituds de 8 i 10mm no emplenen del tot la proveta per tant es descarten com a solució vàlida. Tot i així la combinació de 0.4mm i 6mm continua com a possible.

Seguidament ens fixem en els valors més crítics com poden ser els xuclets, veiem que no n'hi ha en cap cas per tant ens quedem amb la capa solidificada (frozen layer) i les contraccions màximes i mínimes (volumetric shrinkage màx i min).

La combinació òptima és la que correspon a una capa solidificada més baixa i unes contraccions també més baixes. Aquesta combinació és la de diàmetre 6mm i longitud 8mm.

Les contraccions mínimes al ser negatives podrien generar xuclets però ja hem vist que no existeixen per tant no cal tenir-les en compte.

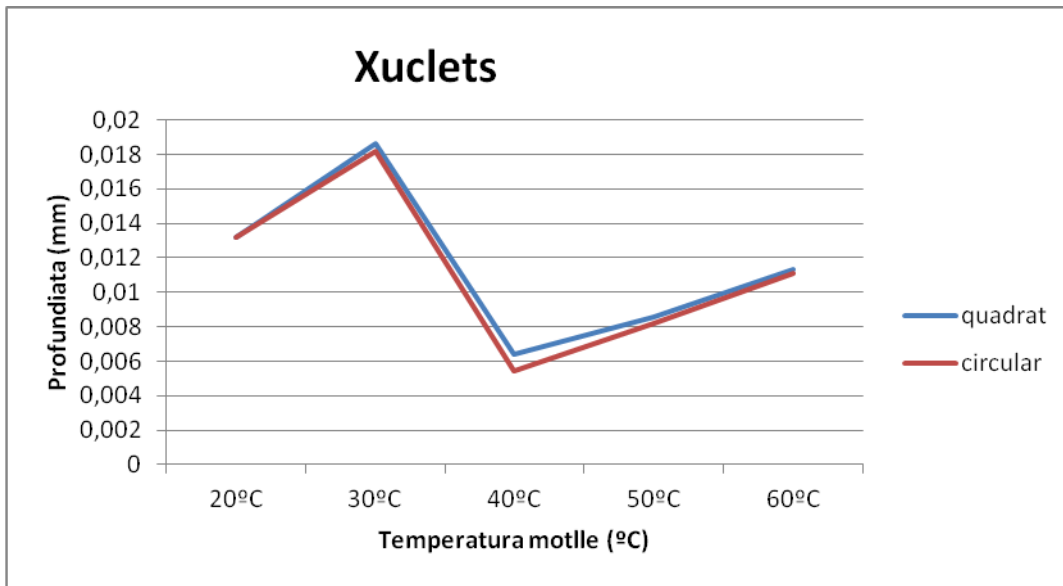
4.2.5 Fase 3: Estudi de la proveta normalitzada

En aquesta última fase dels resultats de l'estudi previ s'estudiarà el comportament d'una proveta normalitzada repetint els anàlisis de la fase 1. Es variarà altre vegada la temperatura del polímer i el motlle i la pressió d'injecció. Els resultats de les simulacions es compararan amb els resultats experimentals que els investigadors del GREP han començat a extreure d'un motlle anterior mentre es redacta aquest projecte. Aquests primers resultats experimentals són d'un canal d'alimentació quadrat per tant es simularan dos canals, quadrat i circular.

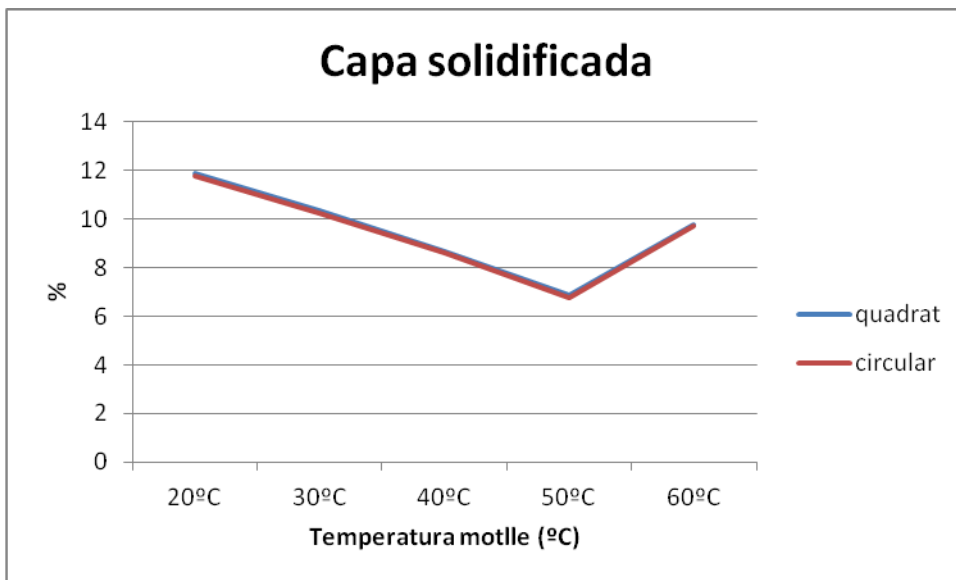
Els paràmetres que s'analitzen es marquen en la següent taula en color verd, la resta no s'analitzen ja que són constants.

El diàmetre és de 0.5mm per la forma circular i de 0.5x0.5mm per la forma quadrada, amb una longitud en ambdós casos de 8mm.

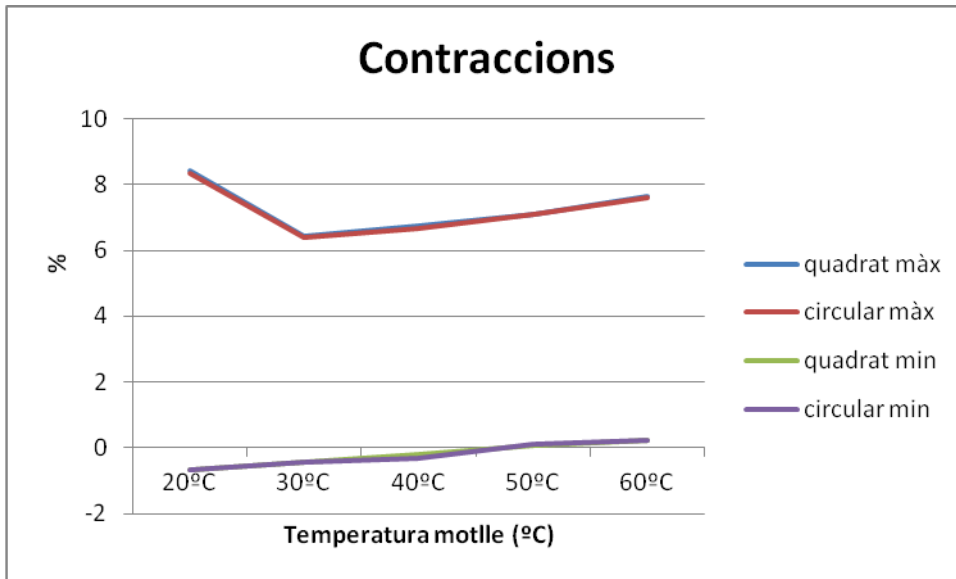
RESULTATS PROVA 1, VARIACIÓ Tª MOTLLE:



S'observa com els xuclets tenen un comportament erràtic, amb un mínim igual per les dues formes a 40°C, siguent la forma circular lleugerament millor que la quadrada.



S'observa un comportament igual per les dues formes amb un mínim a 50°C de la capa solidificada.

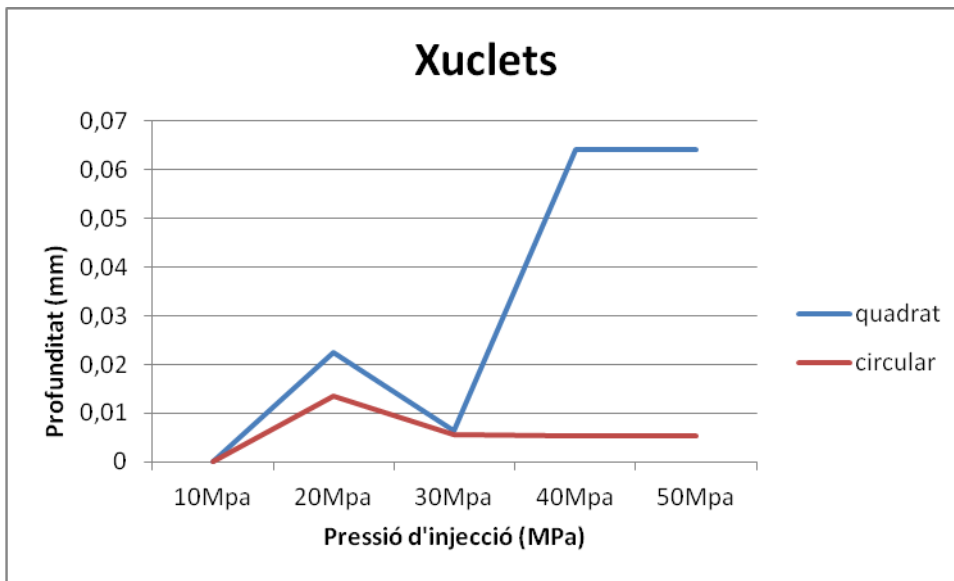


S'observa un comportament igual en les dues formes tant quadrada com circular pel que fa les contraccions. El punt òptim d'aquestes està a 45°C que és on les contraccions mínimes són positives i per tant no influeixen molt en els xuclets i les contraccions màximes estan en un valor pròxim al mínim.

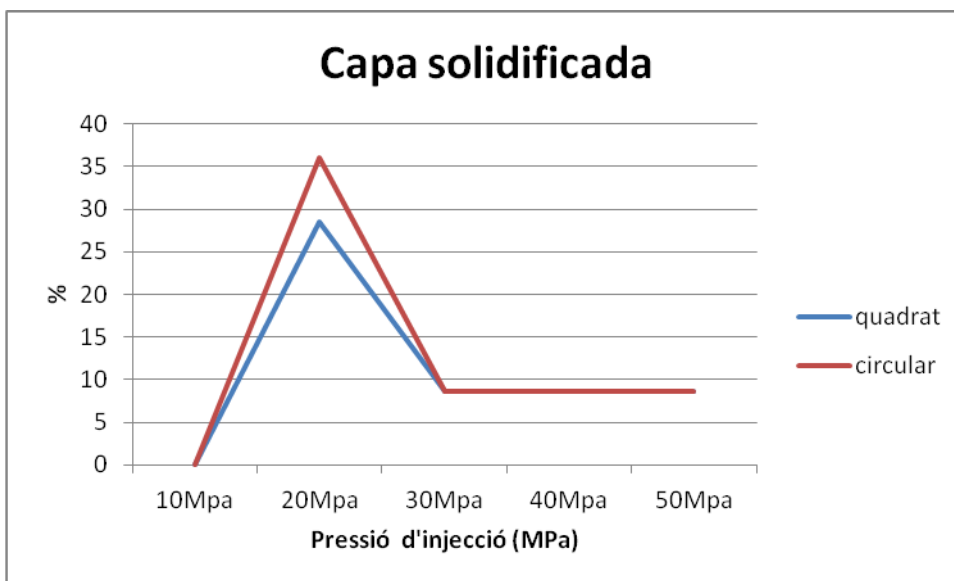
Conclusió prova 1: S'observa un comportament erràtic de les propietats de la proveta al variar la temperatura del motlle, siguent a cada gràfic una temperatura òptima diferent a la resta. No es poden treure conclusions concretes d'aquesta primera prova.

RESULTATS PROVA 2, VARIACIÓ PRESSIÓ D'INJECCIÓ:

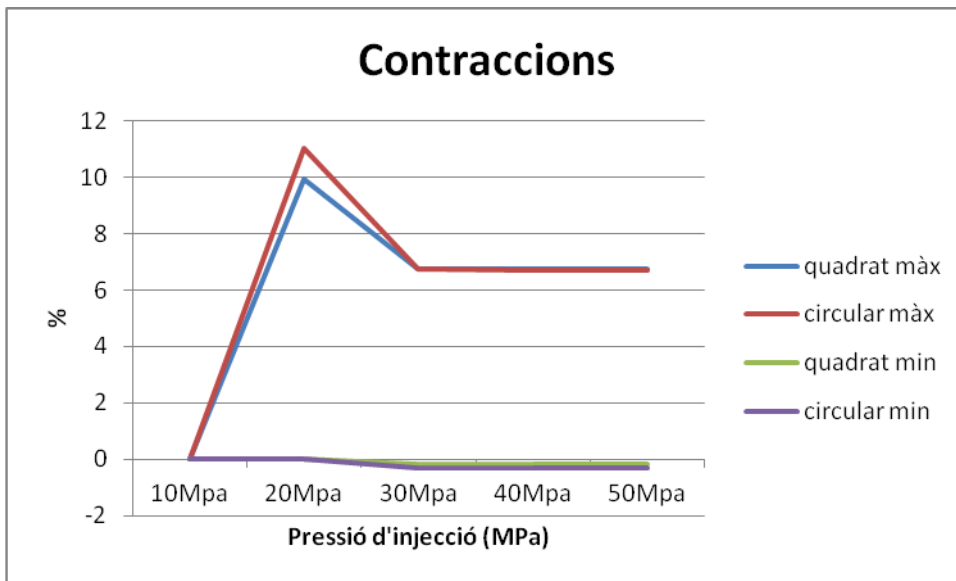
En aquesta prova 2 només es poden tenir en compte els resultats a partir de 20MPa ja que abans d'aquesta pressió no s'emplena del tot la proveta. Tot i així s'han estudiat tots els resultats per si hi hagués un punt fora de la tendència interessant per a comentar.



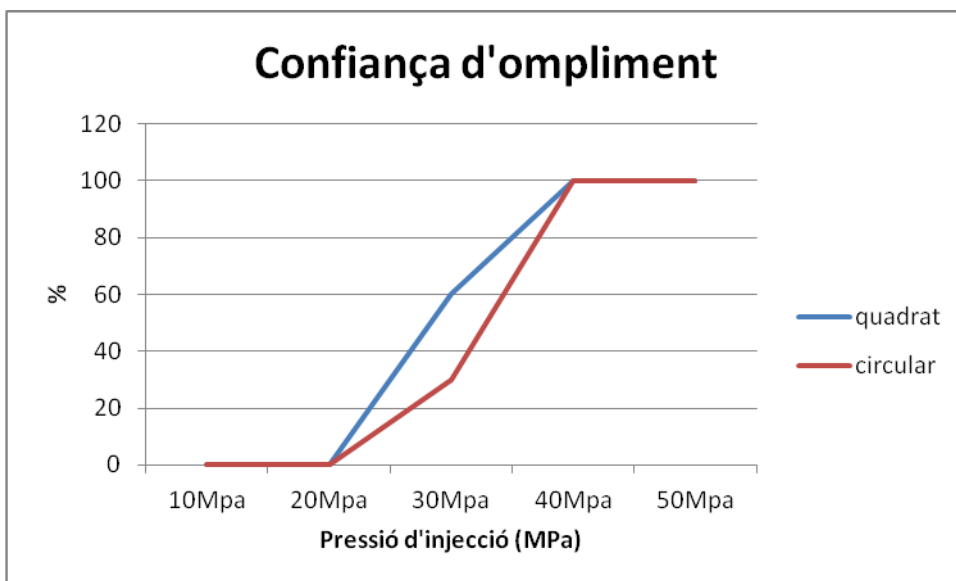
Pel que fa a xuclets, veiem com la forma quadrada és erràtica i a altes pressions dona molts xuclets. La forma circular és la millor, donant xuclets pràcticament insignificants.



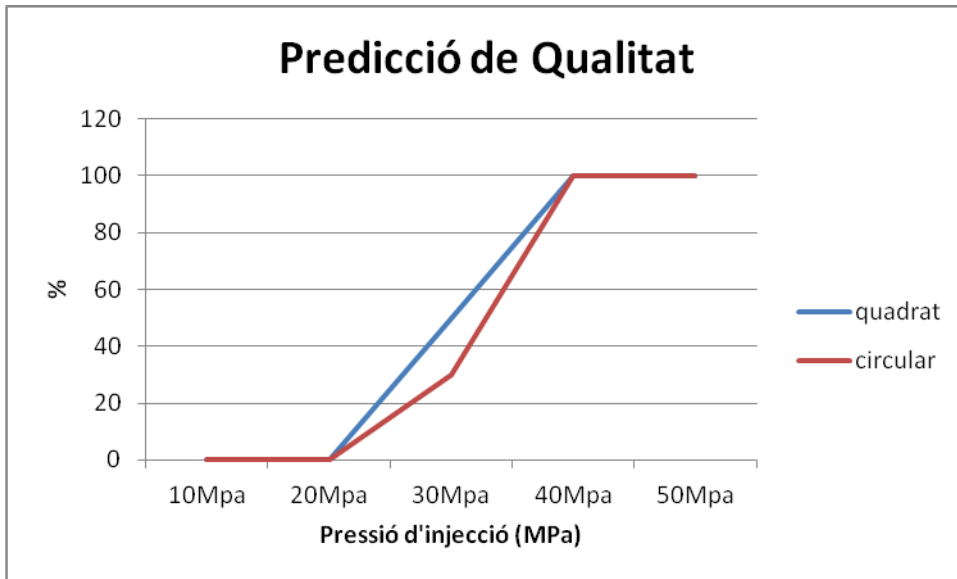
S'observa un comportament igual en les dues formes a partir de 30MPa, tot i així a 20MPa és lleugerament millor la forma quadrada.



S'observa un comportament igual en les dues formes pel que fa les contraccions. S'observa com a 30MPa les contraccions passen a ser negatives, generant els xuclets que es mostren al primer gràfic.



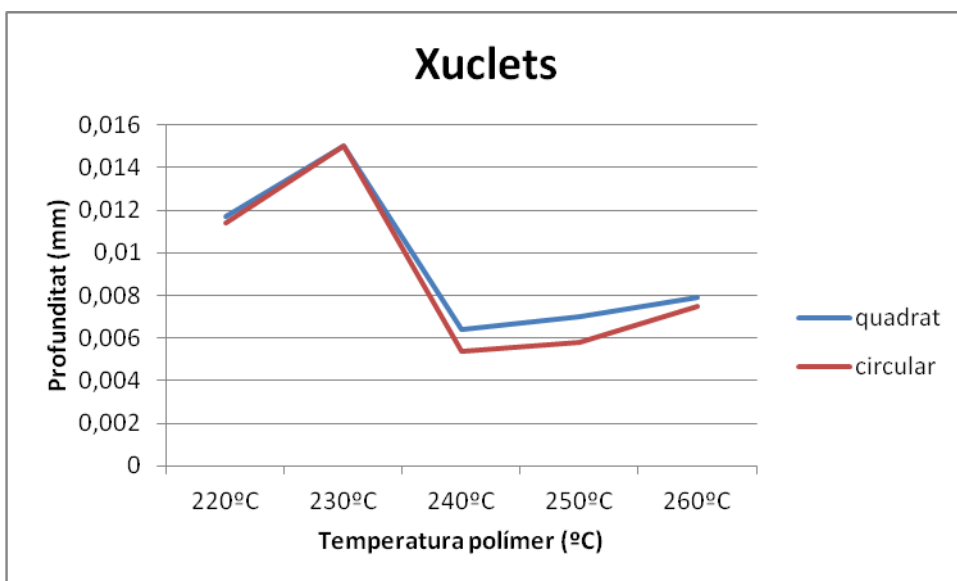
S'observa que només a partir de 40MPa s'obté una proveta completament plena i amb una confiança d'ompliment del 100%.



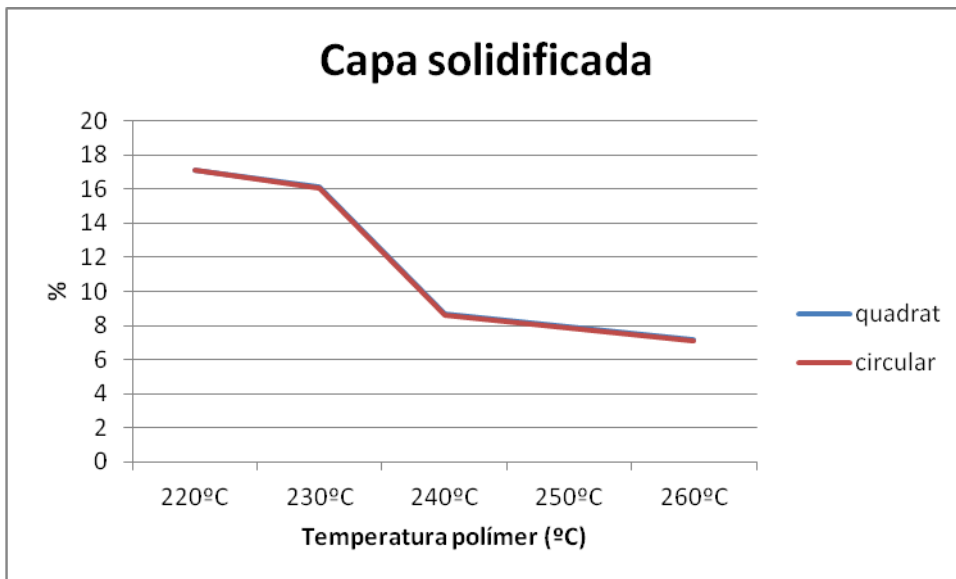
S'observa dels dos gràfics anteriors que només a partir de 40MPa s'obté una proveta completament plena i amb una confiança d'ompliment del 100%.

Conclusió prova 2: S'observa que la forma del canal d'alimentació circular és la millor ja que genera menys xuclets i no hi ha molta diferència amb la forma quadrada en la resta de propietats. Cal dir també que com més alta sigui la pressió d'injecció, els resultats seran molt millors.

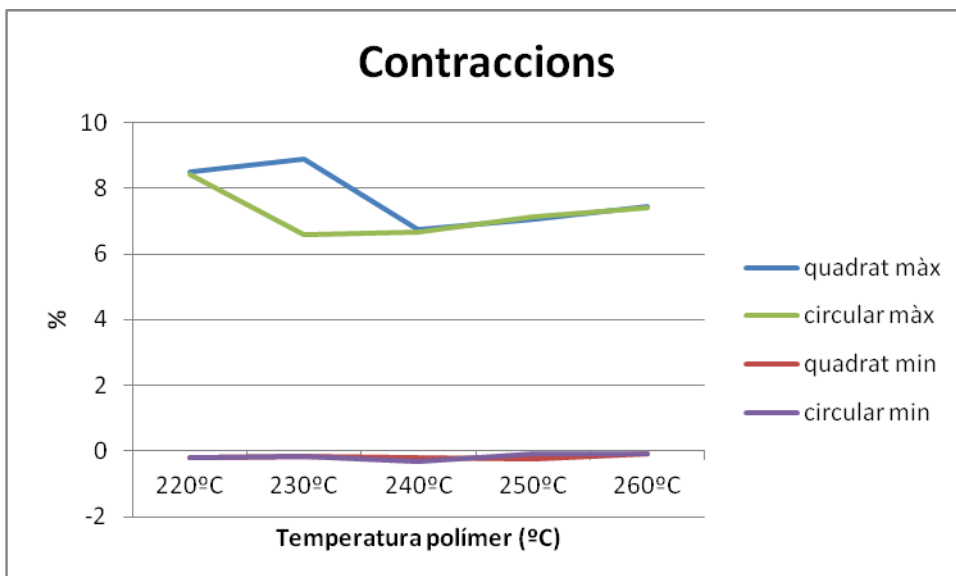
RESULTATS PROVA 3, VARIACIÓ TEMPERATURA DEL POLÍMER:



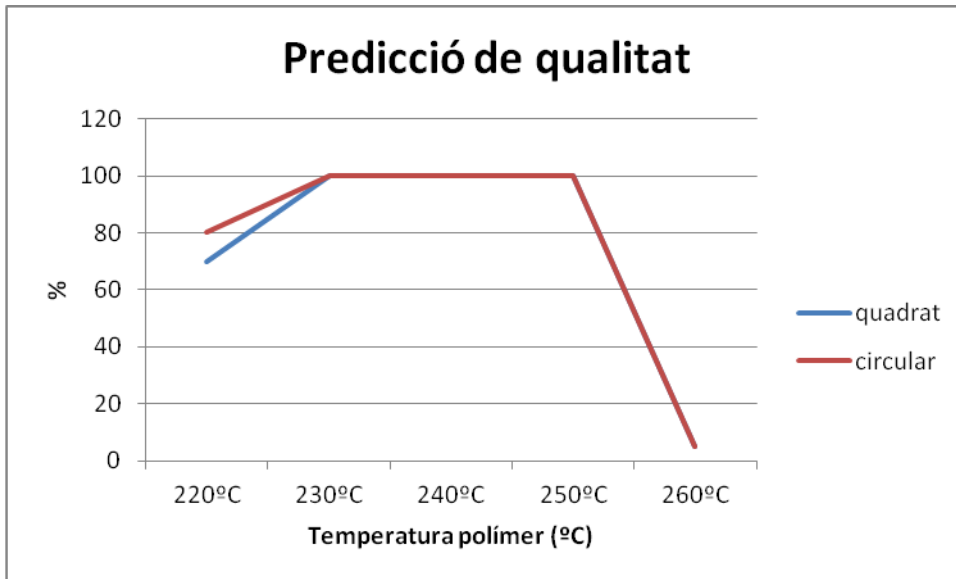
En aquest gràfic veiem com la temperatura òptima del polímer és de 240°C i que la forma més adient del canal d'alimentació és la circular. Aquests dos factors minimitzen els xuclets en la proveta.



S'observa un comportament igual en les dues formes en quant el resultat de capa solidificada. També es veu que com més temperatura tingui el polímer menys capa solidificada s'obtindrà.



S'observa una diferència notable en les contraccions de la proveta si la forma del canal d'alimentació és circular o quadrada. Quan és circular s'obté un mínim a 230°C mentre que a la mateixa temperatura per una forma quadrada s'obté un màxim. En aquest cas les contraccions sempre són negatives per tant son les causants de part dels xuclets en totes les temperatures del polímer.



S'observa un descens molt brusc de la qualitat a partir de 250°C per tant la temperatura de treball haurà de ser menor a aquest valor i també superior a 230°C per a garantir una qualitat superficial del 100%.

Conclusió prova 3: En resum, aquesta prova ens mostra que la temperatura del polímer ha d'estar entre 230 i 250°C per a garantir un òptim emplenat de la proveta. El fet de que els xuclets i les contraccions siguin mínimes a 240°C arribem a la conclusió de que aquesta és la temperatura òptima del polímer per a la proveta normalitzada.

Conclusió final fase 3: Per a acabar s'observa que les condicions òptimes de treball de la proveta quadrada són les següents: Temperatura del polímer de 240°C, pressió d'injecció com mes alta millor, 50MPa i si es consideren els xuclets com a factor crític per a la proveta en lloc de les contraccions o la capa solidificada arribem a la conclusió de que la temperatura òptima del motlle és d 40°C.

5 DESCRIPCIÓ DEL MOTLLE

Considerant els resultats de l'estudi previ i les especificacions inicials vistes a la introducció del document memòria, s'ha dissenyat un motlle que compleixi amb els objectius i especificacions esmentats.

Vistos els resultats dels apartats anteriors, el disseny final de la proveta i les seves característiques de treball principals són les següents:

- T^a motlle de 40°C
- T^a polímer de 240°C
- Pressió d'injecció de 50MPa
- Canal d'entrada circular de diàmetre 6mm i longitud 8mm

5.1 DISSENY GENERAL DEL MOTLLE

Es dissenyarà el motlle en dues meitats on la forma de la proveta es mecanitzarà la meitat en cada placa del motlle ja que és la única manera de mecanitzar un canal circular: fent-ne dos de semicirculars.

A partir d'aquí s'ha sensoritzat el motlle i ja que el sensor havia de ser perpendicular a la zona de la proveta s'ha dissenyat de tal manera que el sensor entri al motlle per la placa inferior deixant un espai entre aquesta i la placa aïllant per a poder passar el cable del sensor.

Seguidament s'han dissenyat els coixinets de centrat de l'interior del motlle i s'han introduït els elements externs de centratge i calefacció del motlle.

5.2 ELECCIÓ DELS MATERIALS DEL MOTLLE

Escollir el material amb el que es fabricarà el motlle és clau per a la obtenció de peces de qualitats altes i que compleixin amb les especificacions requerides. Per norma general, un material amb bones propietats mecàniques no tindrà bones propietats tèrmiques i al contrari.

5.2.1 Plaques del motlle

Per a les dues meitats del motlle s'ha elegit acer ja que ens ofereix unes bones propietats tant mecàniques com tèrmiques i ambdues es poden millorar amb els tractaments adequats.

Amb l'estudi de materials que s'ha fet a l'apartat 2.4 Tecnologies i materials per al motlle s'ha seleccionat un acer de trempat. Aquest acer és òptim en les característiques de capacitat de rectificat o polit, duresa i resistència al desgast. L'únic inconvenient d'aquest tipus d'acers és la baixa resistència a la corrosió que presenten però com que s'injectarà un polímer no abrasiu ni corrosiu com és el polipropilè, no serà un inconvenient per al motlle que ocupa aquest projecte. També presenten complicacions a l'hora de mecanitzar però es consideren un mal menor per a aquest acer ja que no hi ha moltes hores de mecanitzat al motlle.

L'acer de partida serà un acer de motlles de nomenclatura UNE 1.1730 ja que el motlle no ha de suportar grans pressions ni esforços. A més és relativament econòmic i de bona qualitat. Degut a que se subministra amb una duresa baixa, se li aplicarà un tractament de trempat i revingut per a augmentar-ne la duresa.

5.2.2 Coixinets centrals

A l'interior del canal abeurador s'hi troben tres peces clau per al funcionament del motlle. El coixinet de PEEK és on vibrarà el sonotrode tot i que no el tocarà en cap moment degut a les toleràncies dissenyades per a tal fi. El material d'aquest primer coixinet és PEEK, un plàstic d'altres propietats mecàniques que absorbirà la vibració del sonotrode en cas de contacte i que no es transmetin a la resta del motlle.

El següent coixinet és un de bronze, metall tou per a continuar amb l'absorció de vibracions i on hi ha part de la cambra de fusió del material. El bronze escollit és el bronze 2.1090 per les seves bones propietats mecàniques i alta resistència al desgast.

Per a acabar a la part inferior hi ha el coixinet trempat, d'acer trempat, on en un futur s'hi podran instal·lar expulsors. Aquest és un dels requeriments inicials del motlle.

En la següent figura es veuen els tres coixinets esmentats i s'observa la separació entre el de bronze i el trempat que és per on fluirà el polímer fos cap a l'interior de la proveta a través del canal d'alimentació.

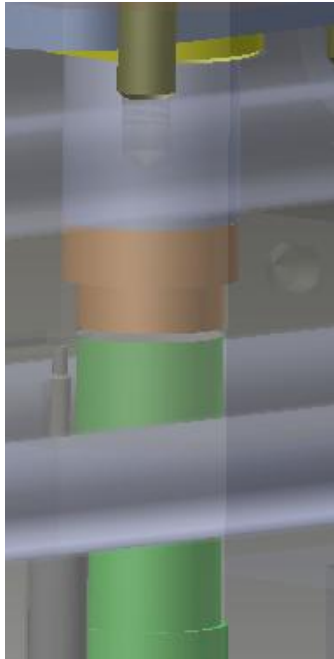


Figura 13: Detall dels coixinets interiors.

5.2.3 Plaques aïllants

Les plaques aïllants del motlle seran de Blacktherm, es tracta d'un material compost de teixit de fibra de vidre molt fi i una resina termostable especial, aditivada i modificada per a aconseguir resistències tèrmiques de fins a 300°C. Les plaques ja s'entreguen per part del proveïdor rectificades en gruix i paral·lelisme per a assegurar una bona qualitat en el motlle.

5.2.4 Centrador del sonotrode

El centrador del sonotrode es mecanitzarà en acer per a motlles UNE 1.1730 però no se li aplicarà el tractament de cementat ja que simplement guia el sonotrode dins el motlle i per tant no requereix la duresa extra del cementat.

5.3 MECANITZAT DEL MOTLLE

El mecanitzat del motlle i les seves parts es durà a terme amb la màquina de control numèric (CNC) del taller de la Universitat de Girona. S'ha comprovat que hi ha totes les eines necessàries i es poden aconseguir les toleràncies requerides per a la fabricació d'aquest motlle. Aquest mecanitzat serà relativament lent i costós per a les eines ja que s'haurà trempat i revingut la peça a mecanitzar.

5.4 TRACTAMENTS TÈRMICS I TERMOQUÍMICS DEL MOTLLE

Es realitzarà un tractament de trempat i revingut a les dues parts del motlle per a assegurar una bona duresa superficial per a evitar el desgast de la cavitat i alhora allargar la vida del motlle.

Es realitzarà el tremp a 800°C durant 12 minuts per a assegurar un escalfament lent i uniforme que eviti la descarburació seguit d'un refredament ràpid en aigua

El revingut es realitzarà amb un revingut de baixa temperatura a 100°C durant 5 minuts per a alliberar les tensions internes creades per el tremp i a més a més no es reduirà la duresa aconseguida amb el tremp.

Temple	Temperatura		Enfriamiento brusco		Dureza después del enfriamiento brusco
	800 - 830°		Agua		
Revenido	100°C	200°C	300°C	350°C	57 HRC
	57 HRC	54 HRC	49 HRC	42 HRC	

Figura 14. Tremp i revingut de l'acer.

5.5 DISPOSITIUS BÀSICS

Aquest apartat de dispositius bàsics inclou les resistències calefactores i els centradors. Els dos components són de compra del catàleg de HASCO, on es troben disponibles en diferents mides i característiques.

5.5.1 Resistències calefactores

Les resistències calefactores escollides són les següents:

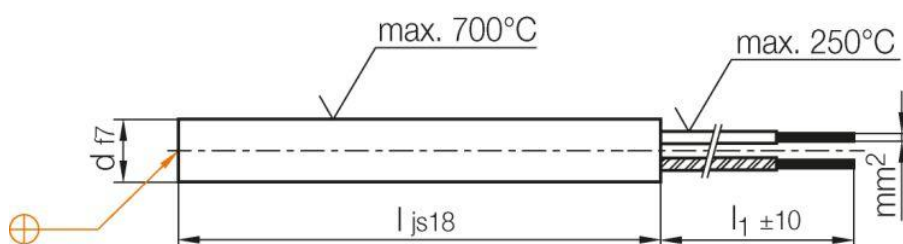


Figura 15. Resistència calefactora.

S'observa com la temperatura a la qual poden arribar és de 700°C, suficient per als 60°C als quals s'escalfarà el motlle com a màxim. S'observa també com el cablejat suporta temperatures de 250°C per tant no hi haurà problema si toca aquest al motlle.

Les mesures escollides per a les resistències calefactores són les següents:

Número	EURO [EUR]	d [mm]	l [mm]	Watt [Einh.]	mm²	Ampere	Watt/cm²	l1 [mm]
Z110/8 x 80/250	18,66	8	80	250	0,5	1,09	14	300

Figura 16. Característiques resistència calefactora.

5.5.2 Centradors longitudinals

Els centradors longitudinals han d'assegurar un correcte centratge del motlle ja que la forma de la proveta a l'estar dividida en les dues meitats del motlle han de coincidir aquestes meitats a la perfecció. Per a tal fet s'han escollit uns centradors de gran qualitat.

Número	EURO [EUR]	b1 [mm]	h1 [mm]	l1 [mm]	Typ	t1 [mm]	d2 [mm]	d1 [mm]	l10 [mm]	l8 [mm]	l7 [mm]	l6 [mm]	l5 [mm]	l4 [mm]	l3 [mm]	l2 [mm]
Z09/20x12x109/1	102,41	20	12	109	1	6,9	6,5	11	30	5	6,5	12	9	11,97	9	60

Figura 17: Característiques centradors.

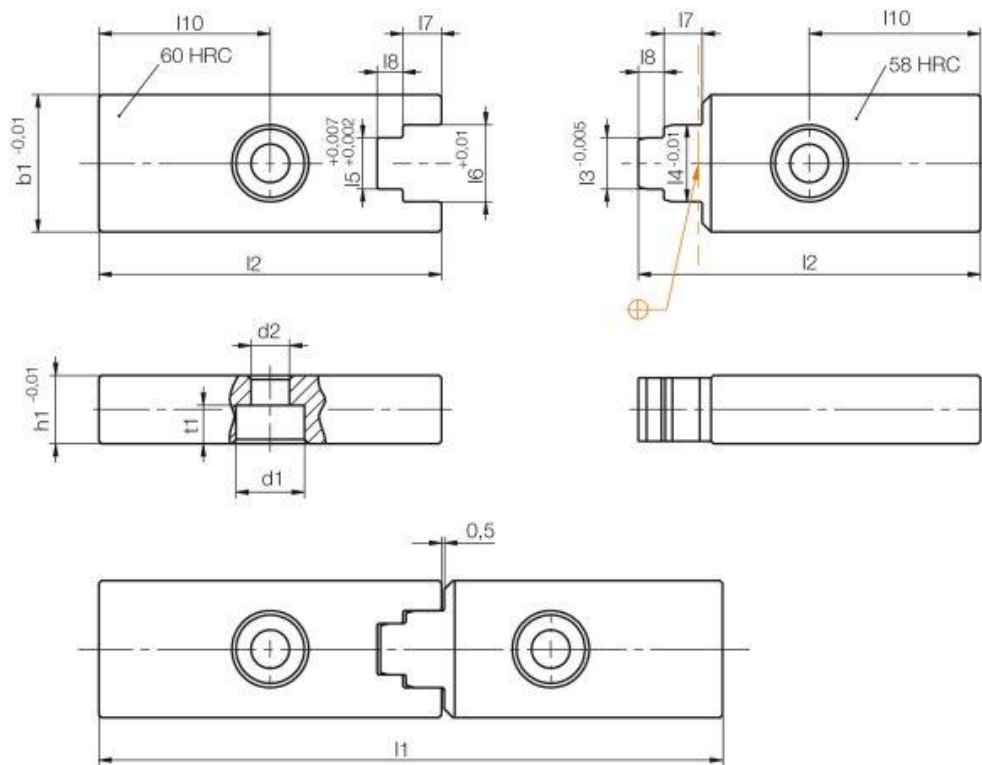


Figura 18. Centradors longitudinals

5.6 SENSORITZACIÓ DEL MOTLLE

La sensorització del motlle es durà a terme amb un sensor de la marca Kistler. Aquest sensor correspon al model 6188AA que es tracta d'un sensor p-T. Això vol dir que amb un sol sensor podrem monitoritzar les dues variables que requereixen un seguiment durant la injecció, a saber, pressió i temperatura del polímer.

Aquest sensor té la següent taula de característiques tècniques:

Rang de mesura	bar	0-2000
Sobrecàrrega	bar	2500
Sensibilitat	pC/bar	-4,8
Linilitat	%FSO	±1
Termoparell, Tipus K		NiCr-Ni
Rang de treball de temperatures	°C	0-200
Motlle (sensor, cable...)	°C	<450
Polímer (part frontal del sensor)	TΩ	100
Resistència de l'aïllant	TΩ	1

S'observa com el rang de mesura que tindrem és de 0 a 2000 bars que corresponen a 200MPa i és molt superior als 50MPa màxims que pot donar la premsa d'ultrasons adaptada a moldeig de polímers per a ultrasons.

Es veu també com el sensor abasta lectures màximes de fins a 450°C, superior a la temperatura màxima del polímer que són 260°C. Cal tenir en compte també que tot l'utillatge que acompanya al sensor com el cable i el mateix sensor en contacte amb el motllo poden resistir temperatures de fins a 200°C, molt superiors als 60°C als quals s'escalfarà el motllo per a fer les proves.

Vistes totes aquestes característiques s'observa aquest sensor com la millor opció de sensorització del motlle ja que d'aquesta manera podrem amb un sol sensor i per tant un sol forat al motlle, recollir les dades que necessitem per a la investigació.

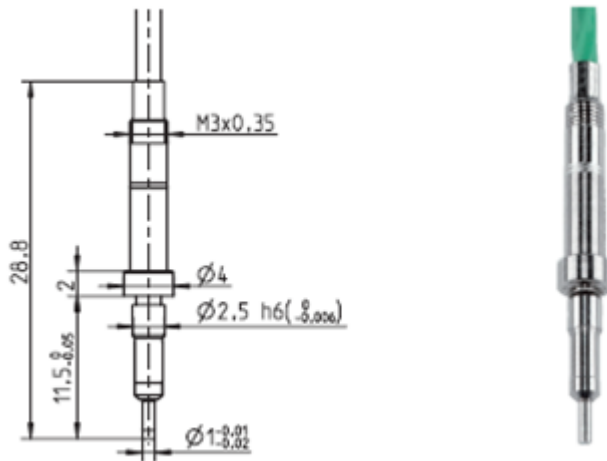


Figura 19. Sensor.

6. RESUM DEL PRESSUPOST

Els costos totals del motlle per a injecció de peces per a moldeig per a ultrasons són de 8937.57€.

7. RELACIÓ DELS DOCUMENTS

Document 1.

Memòria

Annex A

Annex B

Annex C

Document 2. Plànols

Document 3. Plec de condicions

Document 4. Estat d'amidaments

Document 5. Pressupost

8. BIBLIOGRAFIA

G. MENGES, G. MOHREN. Moldes para inyección de plásticos. Editorial Gustavo. 1975.

BIFERNO S.A. Materiales para moldes y matrices de la industria plástica. Editorial E.Fiorentino. 1997.

M.RAMOS CARPIO, M. DE MARIA RUIZ. Ingeniería de los materiales plásticos. Editorial Díaz de Santos. 1988.

HASCO 3D UNIVERSAL MODUL R3. Catálogo Hasco. 2014.

ASCAMM CENTRO TECNOLOGICO. (<http://www.ascamm.com/es/>, 16 de juliol de 2014).

ANNEX A TAULES DE RESULTATS DE L'ESTUDI PREVI**A.1 FASE 1**

La fase 1 es divideix en 3 proves: prova 1 variació de la temperatura del motlle, prova 2 variació de la pressió d'injecció i prova 3 variació de la temperatura del polímer. Seguidament en la taula 1 es mostren els paràmetres que s'han analitzat amb la seva descripció i les unitats amb les que s'ha treballat.

<u>Descripció</u>	<u>Unitats</u>
Temps d'ompliment	s
Confiança d'ompliment	%
Predicció de qualitat	%
Pressió injecció	Mpa
Orientació fibres	-
Temps a assolir T ^a expulsió	s
Capa solidificada	%
Aire atrapat	Nº bombolles
Línies de soldadura	º
Creixement de forma	0-1
Xuclets	mm
Qualitat refredament	%
Contraccions màximes	mm
Contraccions mínimes	mm
Vinclament	%
Pes	g
Volum injectat	cm ³

Taula 1: Paràmetres a analitzar de la fase 1.

Prova 1 variació T^a motlle

Material	PP
T ^a motlle	20-60°C
T ^a polímer	240°C
Pressió injecció	50MPa
Temps obertura	5s
Geometria canal d'injecció	quadrat de 0,5x0,5mm
Geometria proveta	estàndard
Localització injecció	costat curt, centrada
Nº punts injecció	1

Taula 2: Resum prova 1.

Prova 2: variació pressió injecció

Material	PP
T ^a motlle	40°C
T ^a polímer	240°C
Pressió injecció	10-50MPa
Temps obertura	5s
Geometria canal d'alimentació	quadrat de 0,5x0,5mm
Geometria proveta	estàndard
Localització injecció	costat curt, centrada
Nº punts injecció	1

Taula 3: Resum prova 2.

Prova 3 variació T^a polímer

Material	PP
T ^a motlle	40°C
T ^a polímer	220-260°
Pressió injecció	50
Temps obertura	5s
Geometria canal d'alimentació	quadrat de 0,5x0,5mm
Geometria proveta	estàndard
Localització injecció	costat curt, centrada
Nº punts injecció	1

Taula 4: Resum prova 3.

A.1.1 Prova 1

Tª motlle	Temps d'ompliment	Confiança d'ompliment	Predicció de qualitat	Pressió d'injecció	Orientació de les fibres	Temps per a assolir la temperatura d'obertura	Capa solidificada	Aire atrapat	Línies de soldadura	Creixement dels fronts	Xuclets	Qualitat de refredament	Contraccions màximes	Contraccions mínimes	Vinclament	Pes	Volum injectat
20°C	0,219	100% high	100% high	34,7	lineal	2,219	13,68	6	0	1	0	100% high	5,85	-0,7731	100% low	0,106	0,1425
25°C	0,2185	100% high	100% high	34,498	lineal	2,219	12,92	6	0	1	0	100% high	6,106	-0,6494	100% low	0,106	0,1425
30°C	0,2181	100% high	100% high	34,36	lineal	2,468	12,13	6	0	1	0	100% high	6,252	-0,5285	100% low	0,106	0,1425
35°C	0,2177	100% high	100% high	34,22	lineal	2,468	11,3	6	0	1	0	100% high	6,304	-0,4057	100% low	0,106	0,1425
40°C	0,2173	100% high	100% high	34,07	lineal	2,467	10,42	6	0	1	0	100% high	6,445	-0,2903	100% low	0,106	0,1425
45°C	0,4226	100% high	100% high	31,21	lineal	2,923	16,47	7	0	1	0	100% high	6,791	-0,1097	100% low	0,107	0,1425
50°C	0,4213	100% high	100% high	30,97	lineal	2,921	15,19	6	0	1	0	100% high	6,943	-0,1424	100% low	0,107	0,1425
55°C	0,42	100% high	100% high	30,72	lineal	3,17	13,75	7	0	1	0	100% high	7,197	0,1958	100% low	0,107	0,1425
60°C	0,418	100% high	100% high	30,35	lineal	3,168	12,21	7	0	1	0	100% high	7,325	0,0629	100% low	0,107	0,1425

Taula 5: Resultats prova 1.

A.1.2 Prova 2

Pressió d'injecció	Temps d'ompliment	Confiança d'ompliment	Predicció de qualitat	Pressió d'injecció	Orientació de les fibres	Temps per a assolir la temperatura d'obertura	Capa solidificada	Aire atrapat	Línies de soldadura	Creixement dels fronts	Xuclets	Qualitat de refredament	Contraccions màximes	Contraccions mínimes	Vinclament	Pes	Volum injectat
10Mpa	0,1748	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0,1425
15Mpa	0,6059	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,004	0,1425
20Mpa	1,441	-	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,075	0,1425
25Mpa	0,5421	100% medium	100% low	25	lineal	2,792	24,44	7	0	1	0	100% high	7,986	-0,0773	100% low	0,109	0,1425
30Mpa	0,2421	95% medium 5% high	85% low 13,6%medium 1,94% high	30	lineal	2,492	11,73	6	0	1	0	100% high	6,25	-0,1996	100% low	0,106	0,1425
35Mpa	0,2173	63,6%medium 36,4%high	17% low, 74,5% medium 8,51% high	34,07	lineal	2,467	10,42	6	0	1	0	100% high	6,445	-0,2903	100% low	0,106	0,1425
40Mpa	0,2173	16,9%medium 83,1%high	17%low, 19,9% medium 63,1% high	34,07	lineal	2,467	10,42	6	0	1	0	100% high	6,445	-0,2903	100% low	0,106	0,1425
45Mpa	0,2173	100% high	100% high	34,07	lineal	2,467	10,42	6	0	1	0	100% high	6,445	-0,2903	100% low	0,106	0,1425
50Mpa	0,2173	100% high	100% high	35,07	lineal	2,467	10,42	6	0	1	0	100% high	6,445	-0,2903	100% low	0,106	0,1425

Taula 6: Resultats prova 2.

A.1.3 Prova 3

T _e polímer	Temps d'ompliment	Confiança d'ompliment	Predicció de qualitat	Pressió d'injecció	Orientació de les fibres	Temps per a assolir la temperatura d'obertura	Capa solidificada	Aire atrapat	Línies de soldadura	Creixement dels fronts	Xuclets	Qualitat de refredament	Contraccions màximes	Contraccions mínimes	Vinclament	Pes	Volum injectat
220°C	0,4328	100% high	51,8%medium, 31,2%high 17% low	36,42	lineal	2,683	23,27	6	0	1	0	100% high	7,887	-0,4854	100% low	0,108	0,1425
225°C	0,4326	100% high	4,69% medium, 78,3%high	35,6	lineal	2,683	22,82	7	0	1	0	100% high	5,988	-0,3786	100% low	0,108	0,1425
230°C	0,4306	100% high	2,35% medium, 80,6%high	34,39	lineal	2,681	22,32	7	0	1	0	100% high	6,202	0,2956	100% low	0,108	0,1425
235°C	0,4242	100% high	100%high	32,17	lineal	2,674	18,18	7	0	1	0	100% high	6,474	-0,2455	100% low	0,108	0,1425
240°C	0,2173	100% high	100%high	34,07	lineal	2,467	10,42	6	0	1	0	100% high	6,445	-0,2903	100% low	0,106	0,1425
245°C	0,2176	100% high	100%high	33,5	lineal	2,718	9,992	7	0	1	0	100% high	6,595	-0,4415	100% low	0,106	0,1425
250°C	0,2177	100% high	100%high	32,81	lineal	2,718	9,563	7	0	1	0	100% high	6,883	-0,18	100% low	0,105	0,1425
255°C	0,2179	100% high	100%high	32,26	lineal	2,718	9,173	7	0	1	0	100% high	7,007	-0,1877	100% low	0,105	0,1425
260°C	0,2181	100% high	70%medium, 30%high	31,73	lineal	2,718	8,792	6	0	1	0	100% high	7,208	-0,1431	100% low	0,105	0,1425

Taula 7: Resultats prova 3.

A.2 FASE 2

La fase 2 consisteix en l'estudi de la millor combinació de longitud i dimensions del canal d'alimentació. Per a treure un resultat s'ha dividit aquest apartat en dos parts. La primera és per a fer una primera aproximació simulant per separat diferents longituds i dimensions per a esbrinar el rang de treball d'aquests paràmetres, en la segona part, es combinen els diferents resultats de la primera part per a esbrinar la millor combinació.

Diàmetre	Temps d'ompliment	Confiança d'ompliment	Predicció de qualitat	Pressió d'injecció	Orientació de les fibres	Temps per a assolir la temperatura d'obertura	Capa solidificada	Aire atrapat	Línies de soldadura	Creixement aèis fronts	Xuclets	Qualitat de refredament	Contraccions màximes	Contraccions mínimes	Vinclament	Pes	Volum injectat
0,2mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,3mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,4mm	0,5024	low 35,1 medium 63% high 37%	low 35,1 medium 57,5 high 7,47	-	lineal	5,75	23,79	6	0	1	0	100%high	5,684	-0,4372	100%low	0,107	0,1413
0,5mm	0,4245	100%high	100%high	-	lineal	4,094	14,56	6	0	1	0	100%high	7,054	0,09	100%low	0,107	0,142
0,6mm	0,2027	100%high	100%high	-	lineal	3,998	8,017	6	0	1	0	100%high	5,044	0,1759	100%low	0,106	0,1428
0,7mm	0,192	100%high	100%high	-	lineal	4,964	7,925	6	0	1	0	100%high	5,506	0,5072	100%low	0,106	0,1438
0,8mm	0,1841	100%high	100%high	-	lineal	4,104	7,865	6	0	1	0	100%high	5,805	0,6688	100%low	0,106	0,145
0,9mm	0,179	100%high	100%high	-	lineal	4,099	7,824	6	0	1	0	100%high	8,744	0,8002	100%low	0,106	0,1464
1mm	0,1763	100%high	100%high	-	lineal	4,222	7,792	6	0	1	0	100%high	6,389	1,051	100%low	0,106	0,1479

Taula 8: Resultats estudi diàmetres.

Longitud	Temps d'ompliment	Confiança d'ompliment	Predicció de qualitat	Pressió d'injecció	Orientació de les fibres	Temps per a assolir la temperatura d'obertura	Capa solidificada	Aire atrapat	Línies de soldadura	Creixement dels fronts	Xuclets	Qualitat de refredament	Contraccions màximes	Contraccions mínimes	Vinclament	Pes	Volum injectat
6	0,1881	100% high	100% high	-	lineal	4,954	7,867	5	0	1	0	100%high	8,298	0,6035	100%low	0,106	0,1417
8	0,1923	100% high	100% high	-	lineal	4,964	7,932	5	0	1	0	100%high	7,792	0,2923	100%low	0,106	0,1423
10	0,2027	100% high	100% high	-	lineal	4,975	8,01	5	0	1	0	100%high	7,481	0,1771	100%low	0,106	0,1428
12	0,2119	100% high	100% high	-	lineal	4,007	8,082	7	0	1	0	100%high	4,807	0,0517	100%low	0,106	0,1434
14	0,4313	100% high	100% high	-	lineal	4,101	14,81	7	0	1	0	100%high	6,999	0,0855	100%low	0,107	0,144

Taula 9: Resultats estudi longituds.

Combinació	Temps d'ompliment	Confiança d'ompliment	Predicció de qualitat	Pressió d'injecció	Orientació de les fibres	Temps per a assolir la temperatura d'obertura	Capa solidificada	Aire atrapat	Línies de soldadura	Creixement dels fronts	Xuclets	Qualitat de refredament	Contraccions màximes	Contraccions mínimes	Vinclament	Pes	Volum injectat
φ 0,4 ; L6	0,1888	100%high	100%high	35,13	lineal	4,585	8,638	6	0	1	0	100%high	9,357	-0,288	100%low	0,105	0,1408
φ 0,4 ; L8	0,2049	medium 55,7 high 44,3	medium 62,2 high 26,2	47,59	lineal	4,602	8,997	7	0	1	0	100%high	6,321	-0,5532	100%low	0,105	0,141
φ 0,4 ; L10	0,3974	medium 18,4 high 81,6	medium 18,4 high 81,6	41,86	lineal	4,067	15,09	6	0	1	0	100%high	6,092	-0,7689	100%low	0,106	0,1413
φ 0,5 ; L6	0,1712	100%high	100%high	23,75	lineal	4,756	8,393	5	0	1	0	100%high	10,15	0,0535	100%low	0,105	0,1412
φ 0,5 ; L8	0,18	100%high	100%high	29,02	lineal	4,765	8,437	7	0	1	0	100%high	7,205	-0,2157	100%low	0,105	0,1416
φ 0,5 ; L10	0,1889	100%high	100%high	34,96	lineal	3,859	8,493	6	0	1	0	100%high	6,699	-0,493	100%low	0,105	0,142
φ 0,6 ; L6	0,1639	100%high	100%high	19,35	lineal	4,748	8,367	5	0	1	0	100%high	8,151	0,2762	100%low	0,105	0,1417
φ 0,6 ; L8	0,1704	100%high	100%high	23,13	lineal	3,841	8,377	5	0	1	0	100%high	7,854	0,1867	100%low	0,105	0,1423
φ 0,6 ; L10	0,1776	100%high	100%high	27,14	lineal	3,848	8,388	5	0	1	0	100%high	7,551	0,1005	100%low	0,105	0,1428

Taula 10: Combinació longituds/diàmetres

A.3 FASE 3

La fase 3 és la simulació de la proveta normalitzada amb la combinació de longitud i diàmetre trobada en la fase 2. S'han realitzat dos grups de simulacions, amb una geometria quadrada i una circular.

Prova 1 variació T^a motlle

Material	PP
T ^a motlle	20-60°C
T ^a polímer	240°C
Pressió injecció	50MPa
Temps obertura	5s
Geometria gate	quadrat de 0,5x0,5mm
Geometria proveta	estàndard
Localització injecció	costat curt, centrada
Nº punts injecció	1

Taula 11, Resum prova 1.

Prova 2 variació Pressió injecció

Material	PP
T ^a motlle	40°C
T ^a polímer	240°C
Pressió injecció	10-50MPa
Temps obertura	5s
Geometria gate	quadrat de 0,5x0,5mm
Geometria proveta	estàndard
Localització injecció	costat curt, centrada
Nº punts injecció	1

Taula 12: Resum prova 2.

Prova 3 variació T^o polímer

Material	PP
T ^a motlle	40°C
T ^a polímer	220-260°
Pressió injecció	50
Temps obertura	5s
Geometria gate	quadrat de 0,5x0,5mm
Geometria proveta	estàndard
Localització injecció	costat curt, centrada

Taula 13: Resum prova 3.

T ^a motlle	Temps d'ompliment	Confiança d'ompliment	Predicció de qualitat	Pressió d'injecció	Orientació de les fibres	Temps per a assolir la temperatura d'obertura	Capa solidificada	Aire atrapat	Línies de soldadura	Creixement dels fronts	Xuclets	Qualitat de refredament	Contraccions màximes	Contraccions mínimes	Vinclament	Pes	Volum injectat
20°C	0,1493	100% high	100% high	30,08	lineal	3,694	11,85	4	0	1	0,0132	100%high	8,424	-0,6779	100%low	0,083	0,111
30°C	0,1492	100% high	100% high	29,87	lineal	3,819	10,33	4	0	1	0,0186	100%high	6,451	-0,4353	100%low	0,082	0,111
40°C	0,1486	100% high	100% high	29,65	lineal	3,819	8,68	4	0	1	0,0064	100%high	6,763	-0,1855	100%low	0,082	0,111
50°C	0,1482	100% high	100% high	29,42	lineal	4,068	6,859	4	0	1	0,0086	100%high	7,111	0,0862	100%low	0,082	0,111
60°C	0,2946	100% high	100% high	26,13	lineal	4,214	9,75	4	0	1	0,0113	100%high	7,643	0,2385	100%low	0,083	0,111

Taula 14: Fase 3, T^a motlle, canal quadrat.

Pressió d'injecció	Temps d'ompliment	Confiança d'ompliment	Predicció de qualitat	Pressió d'injecció	Orientació de les fibres	Temps per a assolir la temperatura d'obertura	Capa solidificada	Aire atrapat	Línies de soldadura	Creixement dels fronts	Xuclets	Qualitat de refredament	Contraccions màximes	Contraccions mínimes	Vinclament	Pes	Volum injectat
10Mpa	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,002	
20Mpa	0,6367	0	0	20	lineal	4,046	28,55	4	0	1	0,0225	100%high	9,929	-0,0048	100%low	0,086	0,111
30Mpa	0,1486	60	50	29,65	lineal	3,819	8,68	4	0	1	0,0064	100%high	6,763	-0,1855	100%low	0,082	0,111
40Mpa	0,1486	100	100	29,65	lineal	3,819	8,68	4	0	1	0,064	100%high	6,763	-0,1855	100%low	0,082	0,111
50Mpa	0,1486	100	100	29,65	lineal	5,647	8,68	4	0	1	0,064	100%high	6,763	-0,1855	100%low	0,082	0,111

Taula 15: Fase 3, pressió d'injecció, canal quadrat.

Tª polímer	Temps d'ompliment	Confiança d'ompliment	Predicció de qualitat	Pressió d'injecció	Orientació de les fibres	Temps per a assolir la temperatura d'obertura	Capa solidificada	Aire atrapat	Línies de soldadura	Creixement dels fronts	Xuclets	Qualitat de refredament	Contraccions màximes	Contraccions mínimes	Vinclament	Pes	Volum injectat
220°C	0,2949	100%high	70	29,06	lineal	3,964	17,15	4	0	1	0,0117	100%high	8,498	-0,1866	100%low	0,084	0,111
230°C	0,2954	100%high	100	27,86	lineal	3,965	16,1	4	0	1	0,015	100%high	8,907	-0,1646	100%low	0,084	0,111
240°C	0,1486	100%high	100	29,65	lineal	3,819	8,68	4	0	1	0,0064	100%high	6,763	-0,1855	100%low	0,082	0,111
250°C	0,1487	100%high	100	28,62	lineal	3,819	7,891	4	0	1	0,007	100%high	7,068	-0,2373	100%low	0,082	0,111
260°C	0,1495	100%high	5	27,68	lineal	3,82	7,181	4	0	1	0,0079	100%high	7,441	-0,0867	100%low	0,082	0,111

Taula 16: Fase 3, Tª polímer, canal quadrat.

Tª motlle	Temps d'ompliment	Confiança d'ompliment	Predicció de qualitat	Pressió d'injecció	Orientació de les fibres	Temps per a assolir la temperatura d'obertura	Capa solidificada	Aire atrapat	Línies de soldadura	Creixement dels fronts	Xuclets	Qualitat de refredament	Contraccions màximes	Contraccions mínimes	Vinclament	Pes	Volum injectat
20°C	0,1489	100%high	100% high	31,03	lineal	3,694	11,77	4	0	1	0,0132	100% high	8,361	-0,6858	100%low	0,083	0,1105
30°C	0,1486	100%high	100% high	30,83	lineal	3,819	10,25	4	0	1	0,0182	100% high	6,384	-0,4543	100%low	0,082	0,1105
40°C	0,1484	100%high	100% high	30,62	lineal	3,818	8,6	4	0	1	0,0054	100% high	6,688	-0,3273	100%low	0,082	0,1105
50°C	0,148	100%high	100% high	30,4	lineal	4,068	6,778	4	0	1	0,0082	100% high	7,08	0,0909	100%low	0,082	0,1105
60°C	0,2933	100%high	100% high	26,88	lineal	5,002	9,715	4	0	1	0,0111	100% high	7,622	0,2443	100%low	0,082	0,1105

Taula 17: Fase 3, Tª motlle, canal circular.

Pressió d'injecció	Temps d'ompliment	Confiança d'ompliment	Predicció de qualitat	Pressió d'injecció	Orientació de les fibres	Temps per a assolir la temperatura d'obertura	Capa solidificada	Aire atrapat	Línies de soldadura	Creixement dels fronts	Xuclets	Qualitat de refredament	Contraccions màximes	Contraccions mínimes	Vinclament	Pes	Volum injectat
10Mpa	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,001	-
20Mpa	0,8112	0	0	20	lineal	4,217	36,08	4	0	1	0,0136	100%high	11,01	-0,002	100%low	0,087	0,1105
30Mpa	0,1485	30	30	30	lineal	3,819	8,611	4	0	1	0,0055	100%high	6,736	-0,3017	100%low	0,082	0,1105
40Mpa	0,1484	100	100	30,62	lineal	3,818	8,6	4	0	1	0,0054	100%high	6,688	-0,3273	100%low	0,082	0,1105
50Mpa	0,1484	100	100	30,62	lineal	3,818	8,6	4	0	1	0,0054	100%high	6,688	-0,3273	100%low	0,082	0,1105

Taula 18: Fase 3, pressió d'injecció, canal circular.

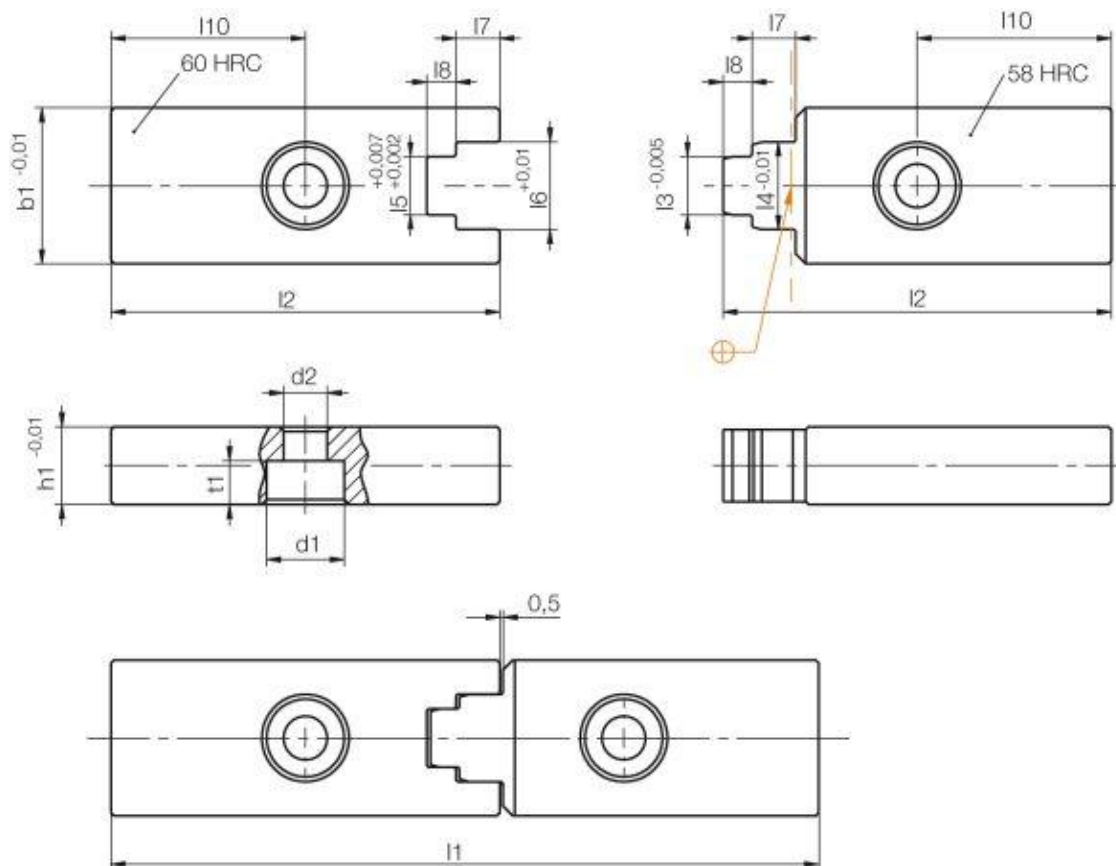
Tª polímer	Temps d'ompliment	Confiança d'ompliment	Predicció de qualitat	Pressió d'injecció	Orientació de les fibres	Temps per a assolir la temperatura d'obertura	Capa solidificada	Aire atrapat	Línies de soldadura	Creixement dels fronts	Xuclets	Qualitat de refredament	Contraccions màximes	Contraccions mínimes	Vinclament	Pes	Volum injectat
220ºC	0,2943	100% high	80	29,75	lineal	3,964	17,15	4	0	1	0,0114	100%high	8,441	-0,2	100%low	0,084	0,1105
230ºC	0,2951	100% high	100	28,58	lineal	3,965	16,08	4	0	1	0,015	100%high	6,606	-0,1672	100%low	0,084	0,1105
240ºC	0,1484	100% high	100	30,62	lineal	3,818	8,6	4	0	1	0,0054	100%high	6,688	-0,3273	100%low	0,082	0,1105
250ºC	0,1487	100% high	100	29,57	lineal	3,819	7,817	4	0	1	0,0058	100%high	7,136	-0,0868	100%low	0,082	0,1105
260ºC	0,149	100% high	5	28,6	lineal	4,069	7,1	4	0	1	0,0075	100%high	7,409	-0,0844	100%low	0,081	0,1105

Taula 19: Fase 3, Tª polímer, canal circular.

ANNEX B FITXES TÈCNiques

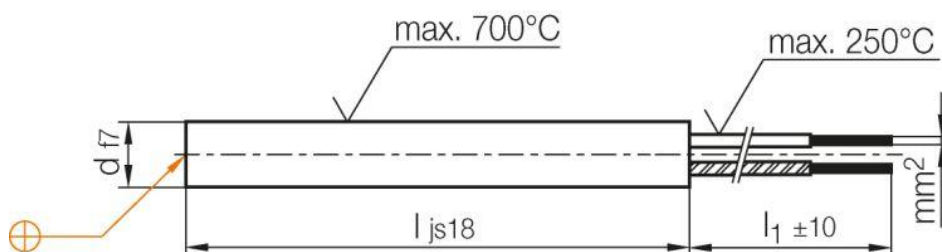
Seguidament s'inclouen les fitxes tècniques dels components del motlle.

B.1 CENTRADORS



Número	EURO [EUR]	b1 [mm]	h1 [mm]	l1 [mm]	Typ	t1 [mm]	d2 [mm]	d1 [mm]	l10 [mm]	l8 [mm]	l7 [mm]
Z09/16x8x73/1	95,94	16	8	73	1	4,6	4,5	8	20	3	4,5

B.2 RESISTÈNCIA CALEFACTORA



Número	EURO [EUR]	d [mm]	l [mm]	Watt [Einh.]	mm²	Ampere	Watt/cm²	l1 [mm]
Z110/8 x 80/250	18,66	8	80	250	0,5	1,09	14	300

B.3 SENSOR PRESSIÓ-TEMPERATURA

Pressure



p-T-Sensor

Type 6188AA...

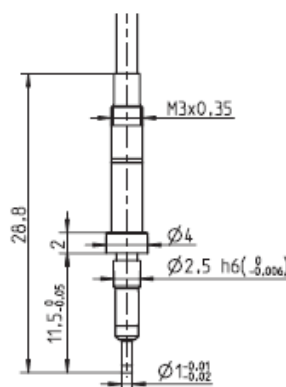
for Mold Cavity Pressure and Temperature with Front $\varnothing 1$ mm

Sensor for combined measuring of mold cavity pressure up to 2 000 bar and contact temperature in the cavity is designed for injection molding of plastics. Design without diaphragm but with flat front.

- Pressure sensor with integrated thermocouple for pressure and temperature measurement
- Mounting dimensions compatible with Kistler pressure sensor Type 6183A...
- Sensor cable replaceable by Kistler factory

Description

The Sensor for mold cavity pressure and temperature has a front diameter of 1 mm.



The pressure acts over the entire front of the sensor and is transmitted to the crystal measuring element, which produces a proportional electric charge ($pC = \text{Picocolomb}$). This is converted into a voltage 0 ... 10 V in the amplifier and is then available as an amplifier output.

The contact temperature of the melt is measured on the front of the sensor by one pair of thermocouples, type K (NiCr-Ni). The sensor front can not be machined. The small sensor dimensions result in a short response time of the temperature sensor. The rugged combi-cable feeds the pressure signal as well as the temperature signal to two connectors.

Sensors without connectors Type 6188AAG are available for multi-cavity molds. The charge cable can then be connected to the multi-channel connector Type 1708A... or 1710A... and the two temperature conductors to the temperature amplifier Type 2205A... .

Application

Suggested applications are complex and compact injection molds in the field of medical, electrical and precision molding industries. The sensor measures the mold cavity pressure and the contact temperature of the molding in the cavity. It is suitable in

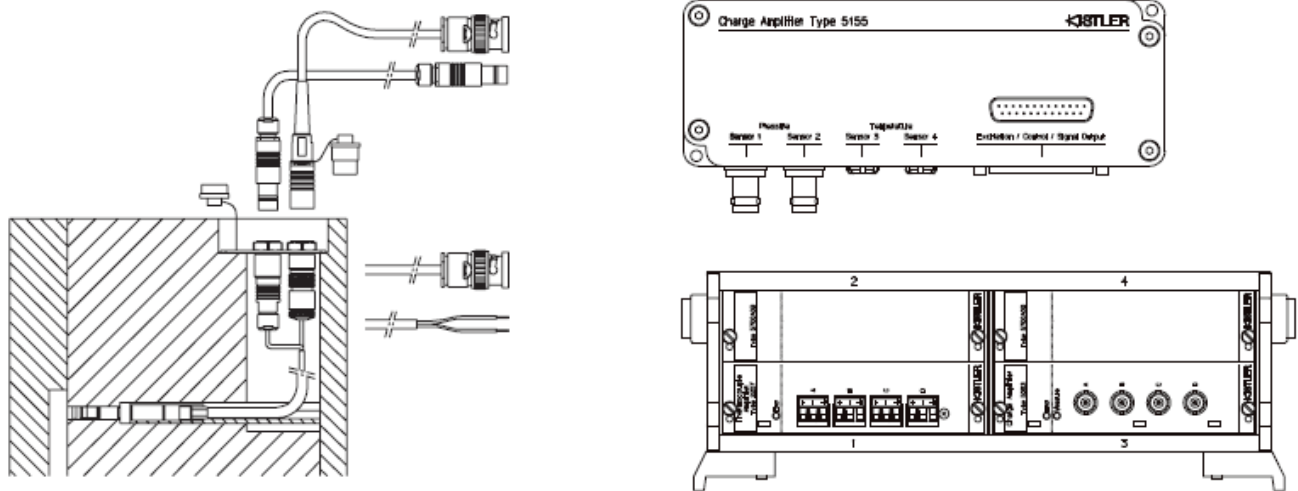
industrial applications for optimising monitoring and controlling the injection molding of thermoplastics and elastomers. The additional temperature data provides valuable process information. This is particularly useful in the analysis of part dimensions, as well as in the evaluation of knit lines in components.

Technical Data

Range	bar	0 ... 2 000
Overload	bar	2 500
Sensitivity	pC/bar	$\approx -4,8$
Linearity, all ranges	%FSO	$\leq \pm 1$
Thermocouple, Type K		NiCr-Ni
Operating temperature range		
Mold (Sensor, cable, connector box)	$^{\circ}C$	*0 ... 200
Melt (at the front of the sensor)	$^{\circ}C$	<450
Insulation resistance		
at 20 $^{\circ}C$	T Ω	100
at 200 $^{\circ}C$	T Ω	1

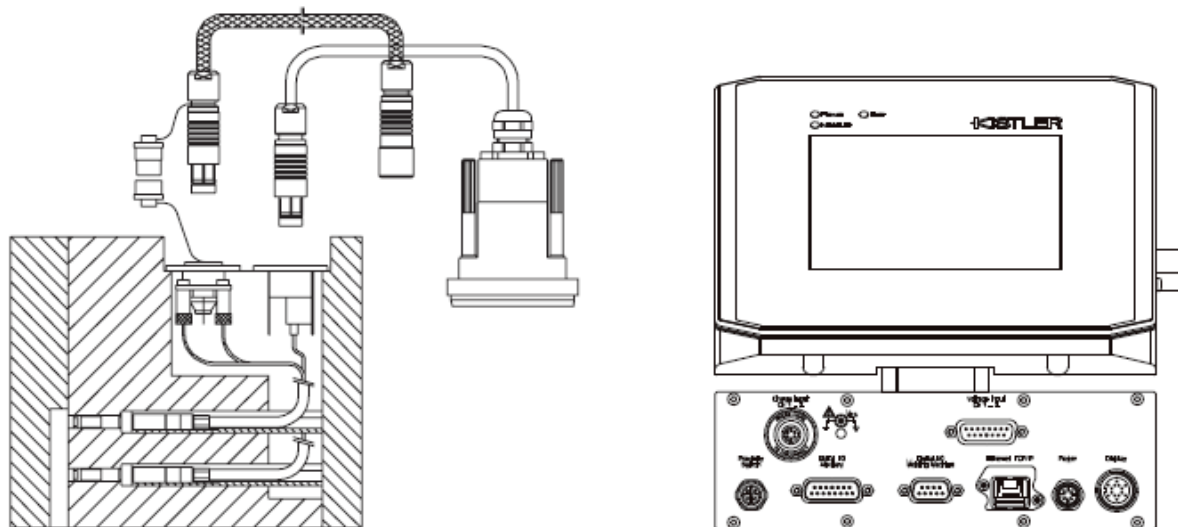
* During machine down-time, the mold temperature may be allowed to rise to 240 $^{\circ}C$ without damaging the sensor. However, measuring errors may occur.

Cable and Amplifier for Measuring Chain with Sensor Type 6188AA...



Cable Type 1667B... (BNC connector) for charge	Cable Type 1672B... (TNC connector) for charge	Compensating Line Type 2295A... for Temperature	Compensating Line Type 2290A... (Open Ends) for Temperature
Type 5155AxxBx	Type 5155AxxAx	Type 5155AxxAx	Type 2207A in Type 2859A...
Type 5155AxxDx	Type 5155AxxCx	Type 5155AxxBx	Type 2207A in Type 2865A...
Type 5063A1 in Type 2859A...		Type 5155AxxCx	
Type 5063A1 in Type 2865A...		Type 5155AxxDx	

Fig. 1: Sensor Type 6188AA... with charge and temperature amplifier Type 5155A... or signal conditioner Type 2859/2865A...



4-Channel Cable Type 1995A... to Connector Type 1708A... for Charge	4-Channel Cable Type 1457A1A... to Temperature Amplifier Type 2205A... for Temperature
Type 2869A/B0xx	Type 2869A1xx
Type 2869A/B1xx	Type 2869B...

Fig 2: Sensor Type 6188AA... with monitoring system CoMo Injection Type 2869...

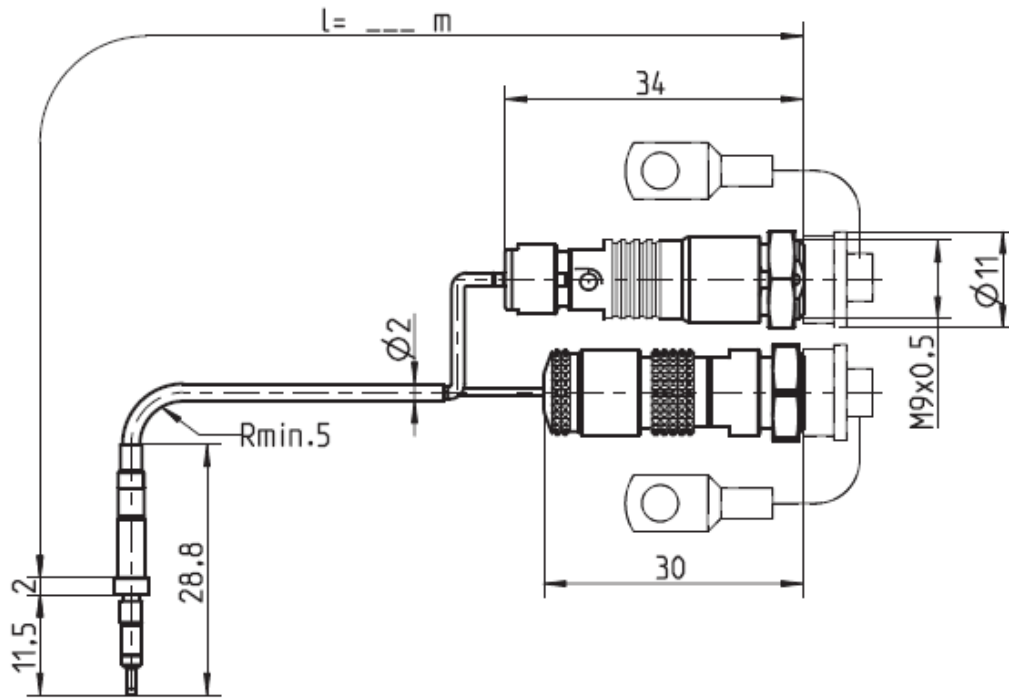


Fig. 3: Sensor Type 6188AA... with connectors for pressure and temperature signal

Installation Examples

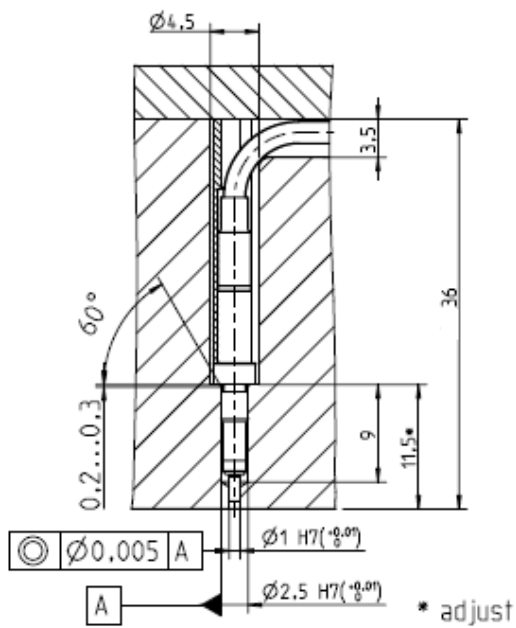


Fig. 4: Mounting with spacer sleeve Type 6464A3

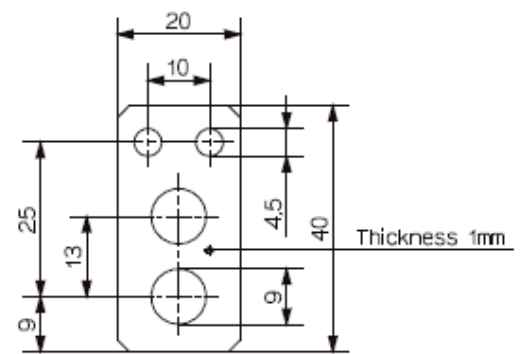


Fig. 5: Mounting plate (Art. No. 3.520.1015)

Mounting

The sensor is installed with the spacer sleeve Type 6464A3 in the stepped hole.

Since the sensor forms part of the cavity wall, it must be installed in such a way that its front is exactly flush. The sensor is centered in the diameter 2,5 mm/H7 hole.

The cable must be installed completely in the mold. The two connectors are attached in the mounting plate which is mounted into the mold.

The combi-cable uses the single-wire technique, i.e. the pressure signal is transferred via a single cable and the mold acts as a shield.

Accessories Included

	Type/Art.No.
• Spacer sleeve (L = 50 mm)	6464A3
• Mounting plate	3.520.1015
• Connector (charge)	5.511.364
• Connector (temperature)	5.511.246
• Cap (2 pieces)	7.621.115
• Checking tool	3.050.241
• Identification plate	3.520.1016

Optional connectors and temperature amplifiers

To be used only with Type 6188AAG

• 4-channel connector (charge)	1708A...
• 8-channel connector (charge)	1710A...
• 2-channel temperature amplifier	2205A121
• 2-channel temperature amplifier	2205A141
• Cable stripping tool	1367

Ordering Key

		Type 6188A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Basic Type	A			
Cable length (L = 0,4 m)	0,4			
Cable length (L = 0,8 m)	0,8			
Cable length (L = 1,2 m)	1,2			
Cable length (L = 1,6 m)	1,6			
Cable length (L = 2,0 m)	2			
Combi-cable with special length, specify cable length L in m (L _{min} = 0,15 m / L _{max} = 3,5 m)	sp			
Sensor without connector, Cable length l = 2,0 m	G			

Optional Accessories

	Type/Art.No.
• High-temperature extension cable (pressure) Fischer SE102 A014 – BNC pos. Length 2 m	1667B2
Length 5 m	1667B5
• High-temperature extension cable (pressure) Fischer SE102 A014 – TNC pos. Length 2 m	1672B2
Length 5 m	1672B5
• Compensation lead (Temperature) Connection for Type 5155A... Length 2 m	2295A2
Length 5 m	2295A5
• Compensation lead (Temperature) One way open ended Length 2 m	2290A2
Length 5 m	2290A5
• Extraction tool	1358A
• Dummy sensor	6579

B.4 ACER 1.1730

Denominación	
Material Nr. / Werkstoff-Nr.	PREMIUM 1.1730
Denominación simbólica	C45U
UNE	1.1730
AISI/SAE	1045
Materiales alternativos en ABRAMS [®] GUÍA DE ACEROS	www.guia-de-aceros.es/alternativas/1.1730

Propiedades físicas				
Dureza / Estado de suministro	máx. 190 HB			
Resistencia a la tracción R _m	aprox. 650 N/mm ²			
Dureza de trabajo	máx. 54 HRC (capa superficial)			
Coeficiente de expansión térmica 10 ⁻⁶ m/(m • K)	20 - 100°C	20 - 200°C	20 - 300°C	20 - 400°C
	12,5	13,0	13,6	14,1
Conductibilidad térmica W/(m • K)	20°C		350°C	
	44,9	41,6		

Tratamiento térmico				
Recocido blando	Temperatura		Enfriamiento	
	680 - 710°C		Horno	
Dureza después del recocido				
máx. 190 HB				
Recocido para liberar tensiones	Temperatura		Enfriamiento	
	aprox. 600 - 650°C		Horno	
Temple	Temperatura		Enfriamiento brusco	
	800 - 830°		Agua	
Dureza después del enfriamiento brusco				
57 HRC				
Revenido	100°C	200°C	300°C	350°C
	57 HRC	54 HRC	49 HRC	42 HRC

B.5 BRONZE 2.1090

Material 2.1090

- 0.2 % yield strength R_p 0.2: _____ 120 N/mm²
- Tensile strength R_m (t_{BB}): _____ 240 N/mm²
- Min. strain at break A₅ min.: _____ 15 %
- Brinell hardness HB 10/1000: _____ 65
- Density: _____ 8.8 kg/dm³
- Modulus of elasticity: _____ 90000 N/mm²
- pv factor: _____ 300 N/mm² · m/min

ANNEX C CÀLCULS

C.1 DIÀMETRES HIDRÀULICS

Per a que els resultats de les simulacions es puguin comparar, s'han de trobar els diàmetres equivalents de les provetes 1 i 3 per a comparar-les amb el diàmetre circular de referència. Aquest estudi parteix d'un diàmetre de referència de 0.5mm i amb aquest es defineixen els diàmetres hidràulics equivalents:

$$D_{hidràulic,circular} = \frac{4 * A}{P} = \frac{4 * (\pi * 0.25^2)}{2 * \pi * 0.25} = 0.5$$

On A és l'àrea i P el perímetre del canal d'alimentació. Per al diàmetre circular veiem que té un Diàmetre Hidràulic de 0.5. Ara s'han de buscar les dimensions de A i P que resultin amb un diàmetre hidràulic de 0.5 per a les altres dos geometries.

$$D_{hidràulic,quadrat} = 0.5 = \frac{4 * A}{P} = \frac{4 * x^2}{4x} \quad x = 0.5mm$$

$$D_{hidràulic,semicircular} = 0.5 = \frac{4 * A}{P} = \frac{4 * \left(\frac{\pi * r^2}{2}\right)}{r * (2 + \pi)} \quad r = 0.409mm \quad \phi = 0.818mm$$

C.2 DILATACIONS TÈRMiques

En aquest estudi de les simulacions s'ha menyspreat l'efecte de les dilatacions. Això és degut a que no es treballa en injecció convencional on s'escalfa pràcticament la totalitat de peces del motlle sinó que al treballar amb ultrasons només s'escalfa el motlle i a temperatures relativament baixes de 40°C a 60°C.

La temperatura que agafa el polímer amb les vibracions del sonotrode tot i ser de l'ordre de 240°C no afecta al motlle en quant a dilatacions ja que aquesta temperatura dura molt poc ja que el temps de vibració del sonotrode és de menys d'un segon.

Seguidament s'ha comprovat com les dilatacions degudes a les resistències calefactores són menyspreables:

$$L_f = L_0[1 + \alpha_L(T_f - T_0)]$$

α =coeficient de dilatació lineal [$^{\circ}\text{C}^{-1}$] (per acer 1.2×10^{-5})

L_0 = Longitud inicial (transversal:2.6mm, longitudinal:11.4mm)

L_f = Longitud final

T_0 = Temperatura inicial. (T^a ambient, 20°C)

T_f = Temperatura final (cas més desfavorable 60°C)

S'estudiaran aquestes dilatacions per la zona de la proveta i en sentit tant longitudinal com transversal.

$$L_{f\text{transversal}} = 2.6[1 + 1.2 \times 10^{-5}(60 - 20)]$$

$$L_{f\text{transversal}} = 2.601\text{mm}$$

$$L_{f\text{longitudinal}} = 11.4[1 + 1.2 \times 10^{-5}(60 - 20)]$$

$$L_{f\text{longitudinal}} = 11.405\text{mm}$$

Equació 1. Dilatacions

S'observa com la diferència entre longituds és mínima i per tant menyspreable quan es tenen en compte les dilatacions.