Projecte de Fi de Carrera

Enginyer Industrial

Disseny d'una unitat d'injecció portàtil per termoplàstics

MEMÒRIA

Autor: Clementino Torres Escribano
Director: Mª Lluïsa Maspoch Ruldua
Convocatòria: Setembre 2016

Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona

Resum

L'objectiu del present projecte és el disseny d'una unitat d'injecció portàtil per termoplàstics per ser adaptada a una altra màquina i poder així fabricar peces de més d'un component. Es limita al disseny mecànic i hidràulic de la unitat, deixant fora de l'abast el disseny del sistema elèctric i de control electrònic

A la primera part es dóna una descripció general del procés d'emmotllament per injecció de materials termoplàstics i de les diferents parts que componen una màquina. Amb aquesta primera aproximació, es presenta el procés d'injecció multicomponent i es descriuen diferents tècniques amb els seus diferents resultats sobre la peça final, i es descriuen diferents tipus d'unitats d'injecció per situar exactament l'objectiu del projecte. Es conclou amb un estudi d'algunes unitats d'injecció presents al mercat i la definició clara de les prestacions de partida que ha de satisfer la unitat a dissenyar.

El disseny de la unitat comença pel mòdul de plastificació, el qual és el que realment està en contacte amb el termoplàstic. Les seves funcions són fondre, barrejar, dosificar, i generar la pressió i velocitat necessàries per introduir i compactar el termoplàstic al motlle. És la part més important del disseny ja que hi intervé una acurada selecció de materials, geometries i càlculs.

Un cop definit el mòdul de plastificació es dissenyen els accionaments que el doten dels moviments i forces que el permetran realitzar les seves funcions correctament i complir les prestacions definides anteriorment. En aquesta part s'inclouen els cilindres que apliquen la potència per l'ompliment del motlle, el motor per aconseguir la dosificació del material i els cilindres que generen la força necessària per recolzar el broc al motlle. Es completa amb la tremuja d'alimentació i altres elements i el disseny del sistema de transmissió hidràulica necessari per subministrar la potència als òrgans de la unitat d'injecció i del cicle de treball que ha de realitzar el conjunt, útil per un posterior desenvolupament del sistema de control. Es conclou amb l'avantprojecte de xassís, el qual no pot quedar definit completament sense la part elèctrica.

A la part final es detalla el pressupost necessari per la construcció d'un prototip sobre el que es pugui desenvolupar el projecte de sistema elèctric i de control i una valoració del treball realitzat, i es realitza un estudi d'impacte ambiental on es recullen els efectes que la màquina pot tenir sobre l'entorn, tant de caire ecològic com social.

Durant el disseny s'ha aconseguit el propòsit d'obtenir una unitat d'injecció portàtil amb les prestacions proposades, encara que les dimensions finals han resultat més grans que les esperades o desitjades.

Sumari

RESUM 1

SUMARI 3

1. GLOSSARI 5

2. INTRODUCCIÓ 11

2.1. Objectiu 11

2.2. Abast 11

3. INJECCIÓ MULTICOMPONENT 13

3.1. Tècniques d'injecció multicomponent 16

3.2. Unitats d'injecció portàtils 18

3.3. Estudi de mercat 23

4. DEFINICIÓ DE LES PRESTACIONS DE PARTIDA 29

4.1. Unitat d'injecció 29

4.2. Unitat de potència 31

4.3. Cicle de treball 32

4.4. Resum de dades tècniques 34

5. DISSENY DE LA UNITAT D'INJECCIÓ 35

5.1. Mòdul de plastificació 36

5.2. Accionament de la injecció 49

5.3. Accionament del cargol 53

5.4. Accionament de la unitat 57

5.5. Bloc de suport de la unitat 61

5.6. Tremuja d'alimentació 64

5.7. Suport per al muntatge en horitzontal 66

5.8. Sistema hidràulic 67

5.9. Xassís autoportant 81

5.10. Taula de dades tècniques 83

6. PRESSUPOST 85

6.1. Cost de la màquina 85

6.2. Cost de disseny 87

7. ESTUDI D'IMPACTE AMBIENTAL 89

7.1. Fabricació 89
7.2. Servei 89
7.3. Retirada 91

CONCLUSIONS _____ **93**

AGRAÏMENTS _____ **95**

BIBLIOGRAFIA _____ **97**

Referències bibliogràfiques 97
Bibliografia complementària 99
Catàlegs 100

ANNEXES

ANNEX A: Paràmetres del procés d'injecció
ANNEX B: Plastificació de termoplàstics
ANNEX C: Càlculs
ANNEX D: Norma de codificació
ANNEX E: Llista de materials valorats
ANNEX F: Plànols

1. Glossari

A_1	secció nominal de la rosca
A_3	secció de nucli
A_s	secció resistent de la rosca
A_z	conicitat de l'arrel del cargol
b	sensibilitat a la temperatura
b	amplada de la xaveta
B	amplada del canal
c	relació de rigideses
c'	relació de rigideses corregida
c_{ps}, c_{pf}	calors específiques del plàstic sòlid i fos
C	capacitat de càrrega dinàmica d'un rodament
C_s	capacitat calorífica dels sòlids
C_{SE}	coeficient de seguretat estàtic
C_{SF}	coeficient de seguretat a fatiga
d	diàmetre nominal
d_2	diàmetre de pas
d_e	diàmetre de la cabota d'un cargol
d_f	diàmetre del forat
d_S	diàmetre secció resistent
d_w	diàmetre mig de contacte
D	diàmetre del cargol
D_d	diàmetre del con de compressió de la peça (dolla)
D_e, D_i	diàmetres exterior i interior d'un tub sotmès a pressió
e	gruix del filet del cargol
e	gruix de la resistència elèctrica
E	mòdul de Young
E_c	mòdul de Young d'un cargol
E_p	mòdul de Young d'una peça
EUROMAP	Comitè Europeu de Constructors de Màquines per Plàstic i Goma
f_s, f_b	coeficients de fricció amb el cargol i la càmera
f_Z	assentament
F_b	força de fricció a la càmera
$F_{cmàx}$	força total que suporta el cargol
$F_{cSmàx}$	part de la força separadora que rep el cargol
F_{fa}, F_{fp}	forces de fricció al flanc anterior i posterior del filet
F_{inj}	força d'injecció
ΔF_M	pèrdua de força de muntatge

F_{Mlim}	força de muntatge límit d'un cargol
$F_{Mmàx}$	força de muntatge màxima d'un cargol
F_{Mmin}	força de muntatge mínima d'un cargol
F'_{Mmin}	força mínima de muntatge del cargol un cop assentat
F_{na}, F_{np}	forces normals de contacte amb el filet anterior i posterior
F_P	força romanent
F_{p1}, F_{p2}	forces de pressió a les cares transversals del volum d'estudi
F_r	força de fricció al nucli del cargol
F_s	força separadora
g_a	pressió axial al cargol o contrapressió
g_z	gradient de pressió en la direcció del canal
GRAFCET	Graf Funcional de Comandament Etapa Transició
h	alçada de la xaveta
h_c	coeficient de convecció de l'aire
h_r	coeficient de radiació
H_f	profunditat del canal d'alimentació
ΔH_f	entalpia de fusió
H_m	gruix de la capa de material plastificat
H	profunditat del canal de dosificació
i	relació de compressió
I	moment d'inèrcia de la secció
IEC	International Electrotechnic Comission (Comissió Electrotècnica Internacional)
k_c	rigidesa d'un cargol
k_d	coeficient de grandària
k_l	coeficient de tipus de càrrega
k_m	conductivitat tèrmica del material fos
k_p	rigidesa d'una peça
k_s	coeficient de rugositat
K1, K2, K3	factors d'aplicació, d'arrencada i de temperatura
K_{fs}	coeficient de concentració de tensions en la fatiga per tracció/compressió
K_{ft}	coeficient de concentració de tensions en la fatiga per torsió
K_t	coeficient teòric o geomètric de concentració de tensions
l	longitud de la xaveta
l	longitud del punt d'aplicació a l'encast
l'	part de la cabota i de la rosca que participen en la rigidesa del cargol =0,4·d
l_1	longitud de la canya no roscada
l_2	longitud que rosca el cargol dins la femella
l_3	longitud de rosca no roscada a la femella
l_b	longitud de la rosca
l_c	longitud del cargol

l_p	longitud d'una peça
L	longitud efectiva del cargol
L	longitud efectiva de la xaveta
L_c	longitud de la zona de compressió
L_f	longitud de la zona d'alimentació
L_h	vida en hores
L_m	longitud de la zona de dosificació
m	massa
$\dot{m}$	flux màssic
m_0	consistència a la temperatura de referència
M	parell
M_t	parell de transmissió d'una xaveta
n	velocitat de gir del cargol
n	índex de la llei de potència
n	nivell d'introducció de la força
N	potència
N_{abs}	potència absorbida
p	número de canals del cargol
p	pressió de contacte
p	exponent de vida d'un rodament
p_G	pressió superficial límit
p_h	pressió hidràulica
p_i	pressió interior
p_{inj}	pressió d'injecció
P	pas de rosca
P	càrrega aplicada a un rodament
P	càrrega deguda al pes
P	pressió
ΔP	diferència de pressió de les cares del filet
ΔP_L	diferència de pressió entre l'entrada i la sortida del cargol (contrapressió)
PVD	Deposició Física de Vapor
q	sensibilitat a l'entalla del material
Q	cabal, calor
Q_{abs}	calor absorbida
$\dot{Q}_{abs}$	potència calorífica absorbida
Q_f	cabal de fuites pel joc entre càmera i cargol
Q_h	cabal hidràulic
Q_{inj}	cabal d'injecció
R_e	límit elàstic

R_m	resistència a la tracció
R_{te}	límit elàstic torsió
s	cursa del cargol
S'_f	límit de fatiga
SAE	Society of Automotive Engineers (Societat d'Enginyers d'Automoció, EEUU)
S_f	límit de fatiga modificat
Shore A	duresa d'elastòmers
SPI	Society of the Plastics Industry (Societat de la Indústria del Plàstic, EEUU)
t	pas del filet del cargol
T	parell de torsió
T_0	parell conegut d'un cargol de diàmetre D_0
T_2, T_3	temperatura a la superfície de la càmera i de la resistència
T_b	temperatura de la superfície de la càmera
ΔT_b	diferència entre la temperatura de la càmera i la de fusió del sòlid
T_{KN}	parell nominal de transmissió de l'acoblament
ΔT_{Kmax}	parell constructiu de l'acoblament
T_{mp}	temperatura de fusió del material
T_r	temperatura de referència
ΔTr	diferència entre la temperatura de fusió del sòlid i la de referència
T_x	parell resistent d'un cargol de diàmetre D_x
v_b	velocitat de la càmera
v_{ba}	component axial
v_{bt}	component tangencial
v_{inj}	velocitat d'injecció
v_{sy}	velocitat de plastificació
v_{sz}	velocitat del sòlid
Δv	velocitat del sòlid respecte de la càmera
V	volum d'injecció
V	cilindrada o desplaçament
W	amplada del canal en direcció normal al filet
W_s	amplada del llit sòlid
W_t	moment d'inèrcia
z_0	longitud mínima per plastificar en un cargol de profunditat de canal constant
z_t	longitud helicoïdal mínima necessària per plastificar
α	Angle entre v_b i v_{bt}
α_c	coeficient de dilatació del cargol
α_c	factor de collat
α_s	difusivitat tèrmica dels sòlids
$\dot{\gamma}$	velocitat de cisallament

δ	joc radial entre càmera i cargol
ε	emissivitat de la superfície
η	rendiment
η_m	rendiment mecànic
η_v	rendiment volumètric
θ	angle de transport de sòlids, entre v_b i Δv
λ	constant de temps
λ_1, λ_2	conductivitat tèrmica de la càmera i de la resistència
μ	viscositat dinàmica del material
μ_0	viscositat a velocitat de cisallament nul·la
μ_G	coeficient de fricció global
μ_T	viscositat de truncament
ρ_s	densitat dels sòlids
σ	constant de Stefan-Boltzmann
σ	tensió de tracció
σ'_a, σ'_m	tensions equivalents alternativa i mitjana
σ_a, σ_m	tensions de flexió/compressió alternativa i mitjana
σ_A	tensió límit a fatiga per cargols
σ_{eq}	tensió equivalent
σ_t, σ_r	tensions de tracció tangencial i radial
τ	esforç de torsió
τ_a, τ_m	tensions de torsió alternativa i mitjana
φ	angle d'hèlix del cargol

2. Introducció

La fabricació de peces per emmotllament per injecció de materials polimèrics és un sector industrial en constant creixement degut a la possibilitat de crear geometries molt complexes en grans sèries que no són viables amb altres processos de fabricació. Això ha provocat un considerable desenvolupament en les darreres dècades tant de les matèries primeres com de diferents tècniques de transformació. Entre aquestes tècniques es troba la injecció multicomponent, en la qual es formen peces compostes de més d'un material polimèric. Els fabricants de màquines d'injecció fa molts anys que ofereixen màquines equipades amb dos o més unitats d'injecció, però sovint són cares, grans i complexes. Quan, a més, la diferència de massa entre els diferents materials és gran, molts transformadors declinen fer inversions en maquinaria per fabricar aquest tipus de peces si no estan segurs de poder amortitzar-les, ja que, generalment, les diferents unitats d'injecció són de mida molt similar.

En aquest sentit s'han començat a presentar al mercat unitats d'injecció portàtils o perifèriques orientades a ser instal·lades directament sobre el motlle i així convertir una màquina convencional en una màquina multicomponent. L'avantatge és obvi: el transformador només ha d'adquirir aquesta unitat d'injecció i acoblar-la a la màquina idònia del seu parc en funció de la peça a realitzar. A més, pot fer servir qualsevol altra màquina de prestacions similars, si així ho requereix la organització de la producció, d'una forma molt flexible.

2.1. Objectiu

L'objectiu d'aquest projecte és el disseny d'una unitat portàtil per injecció de termoplàstics de petites dimensions amb plastificació per cargol per a la seva instal·lació directa sobre un motlle destinat a la fabricació de peces multicomponent. Aquesta unitat ha de permetre la injecció d'una massa de 10 cm^3 com a màxim, acoblada a qualsevol màquina d'injecció convencional. També es pot instal·lar en qualsevol altra maquinària en el procés de la qual es necessiti emmotllar una petita massa de plàstic.

2.2. Abast

L'abast del projecte és el disseny de la part mecànica de la unitat d'injecció, del sistema hidràulic de potència i maniobra, així com d'un carretó on es munta la central hidràulica, l'armari elèctric i el sistema de control, i que serveix de suport a la unitat d'injecció quan no es fa servir i pel transport.

En queden fora de l'abast el disseny del sistema elèctric de potència, el sistema informàtic i electrònic de control i la interfície humana.

3. Injecció multicomponent

Al llarg d'aquest capítol es parla de materials termoplàstics donat que la unitat d'injecció objecte d'aquest projecte n'és específica per a aquest tipus de materials. Malgrat tot, les tècniques d'emmotllament per injecció són molt similars per la resta de polímers i només difereixen en la forma en que s'obté la massa d'injecció i com solidifiquen al motlle. Per tant, en endavant es parla únicament de termoplàstics, o simplement plàstics, entenent que es pot aplicar també a polímers termostables, elastòmers i silicones amb les adaptacions necessàries a la unitat d'injecció i al motlle que requereixen aquest materials.

La transformació de plàstics per injecció és un procés cíclic que permet obtenir peces de geometria complexa per emmotllament d'una massa de plàstic fos en un motlle. El procés és barat i presenta una gran producció, però cada peça precisa d'un motlle i per tant només és adequat per a grans sèries o per peces d'una elevada complexitat que no es puguin obtenir per un altre procés. Per tant, una màquina de emmotllament per injecció de plàstic es pot definir com una màquina que produeix peces de manera discontinua a partir d'un material macromolecular que es presenta en forma de gransa. La formació de la peça és produeix per la pressió que provoca un pistó que introdueix la massa fosa de material dintre de la cavitat del motlle a través d'un canal a pressió i velocitat elevades. Es presenta un esquema del cicle d'injecció a la Fig. 3.1.

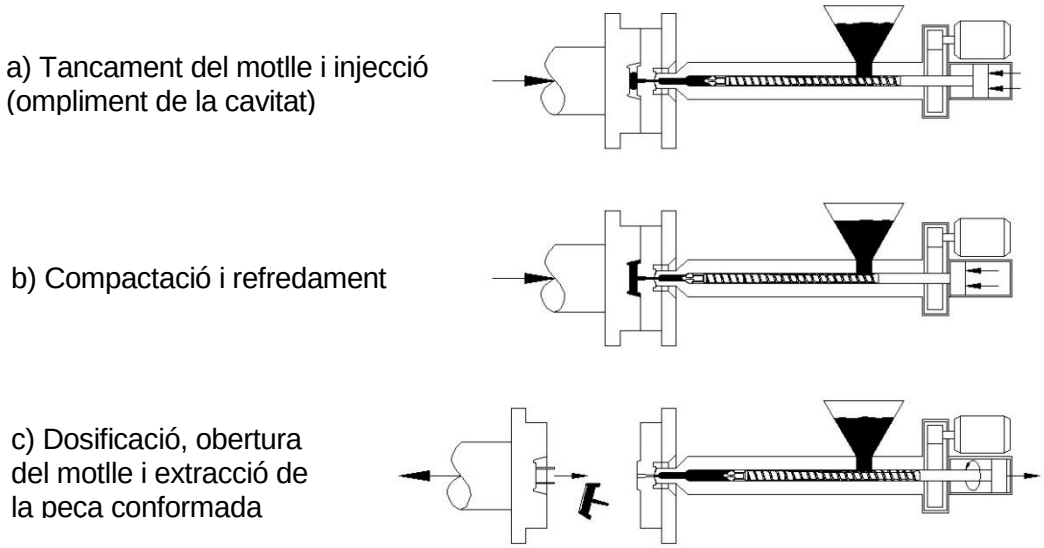

Fig. 3.1: Fases del procés d'injecció de plàstic.

El procés comença amb el tancament del motlle amb la força necessària per tal que la pressió generada pel material introduït a la cavitat no separi les plaques del motlle i es produeixin

rebaves. El broc d'alimentació es recolza sobre el canal de colada del motlle i es produeix l'ompliment de la cavitat amb el material prèviament dosificat (Fig. 3.1a). Després d'un cert temps de refredament sota una pressió de compactació, el material solidifica (Fig. 3.1b) i es prepara una nova dosi de material per al següent cicle. La matèria primera és subministrada a través d'una tremuja fins al cargol de plastificació, que mitjançant la seva rotació transporta el material ja fluid cap a la seva punta. En el seu camí, el plàstic passa per les zones calentes del cilindre al temps que la rotació del cargol homogeneïtza la massa. La calor transferida per les parets del cilindre i la fricció i l'esforç de cisalla que provoca el gir del cargol fa que l'escalfament del material sigui prou homogeni. L'efecte de bombeig del filet del cargol produeix un augment de la pressió a la punta d'aquest, de tal manera que és obligat a retrocedir acumulant material a l'espai comprés entre la punta del cargol i el broc d'injecció. Quan hi ha prou material per omplir la cavitat del motlle la rotació del cargol cessa i s'obre el motlle i es desemmotlla la peça recentment conformada (Fig. 3.1c).

Del procés descrit, es dedueixen les parts essencials d'una màquina d'emmotllament per injecció: la unitat de tancament i la unitat d'injecció. A la Fig. 3.2 es poden veure les parts més importants d'una màquina d'emmotllament per injecció Demag. La unitat de tancament és l'encarregada d'allotjar el motlle, tancar-lo amb força, obrir-lo i extreure les peces conformades. La unitat d'injecció s'encarrega de preparar i dosificar la matèria primera, que generalment es presenta en forma de gransa, i generar la pressió i velocitat adients per introduir-la a la cavitat del motlle.

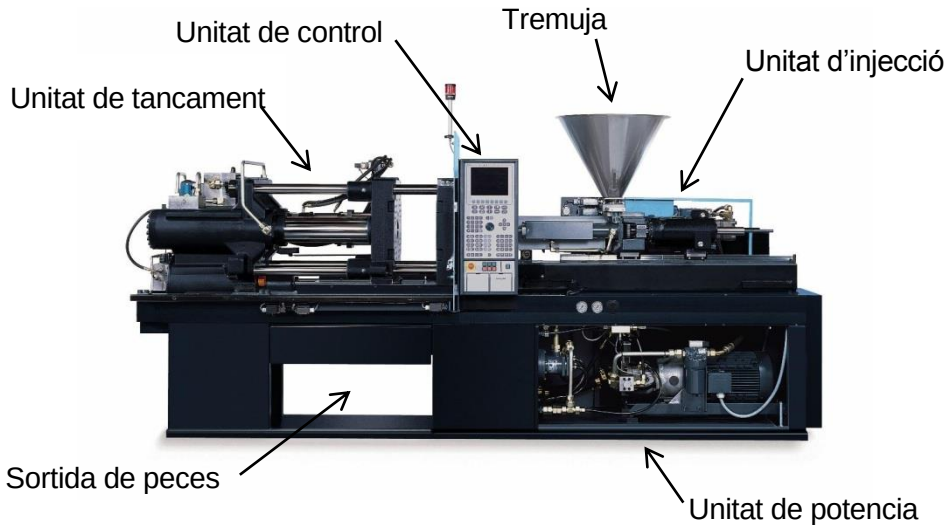

Fig. 3.2: Vista frontal d'una màquina d'injecció Demag.

Altres parts no menys importants de la màquina són: el sistema de potència, integrat d'actuadors hidràulics o elèctrics, que permet realitzar els moviments i generar les forces

necessàries per dur a terme el procés; la unitat de control i llur programa informàtic que permet controlar tots els seus paràmetres; i les proteccions necessàries per tal que els operadors de la màquina treballin en condicions de seguretat. L'equip es completa amb el motlle, amb les cavitats i els respectius canals, el qual es considera utillatge i no forma part de la màquina.

La configuració típica d'una màquina d'emmotllament per injecció consta d'una unitat de tancament i una d'injecció alineades en el pla horitzontal. A partir d'aquesta configuració, se'n han anat desenvolupant d'altres per satisfer casos i tècniques particulars.

A part de la màquina pròpiament dita, el procés normalment precisa de components perifèrics que permeten obtenir millors rendiments, major automatització i característiques especials de les peces que es formen. Aquests perifèrics poden ser deshumidificadors, alimentadors, barrejadors d'additius, manipuladors per col·locació d'inserts o extracció de les peces, cintes transportadores per als objectes conformats i separadors de colades, etc.

Una injectada consisteix normalment en una o vàries peces i el sistema de canals (Fig. 3.3). Generalment el motlle està dissenyat de manera que, en el moment d'obrir-se, la injectada queda dintre de la part mòbil, on un sistema mecànic accionat per un actuador instal·lat a la unitat de tancament de la màquina extreu la injectada a una certa distància de la part fixa del motlle. Les peces i la colada poden quedar unides o separades.

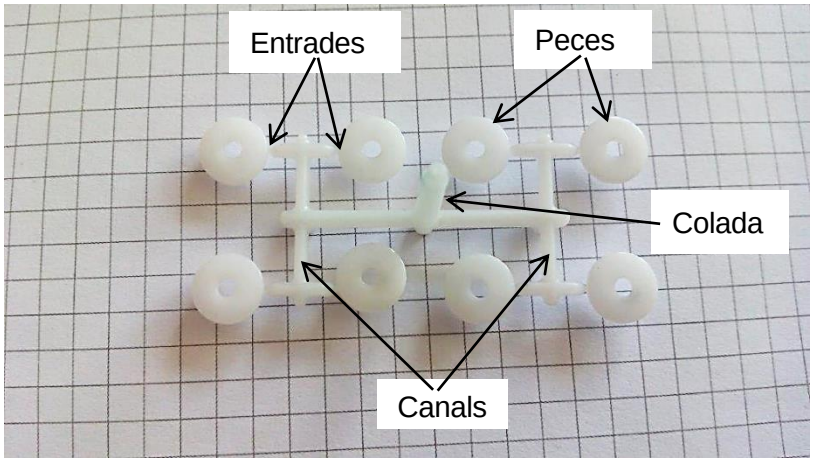

Fig. 3.3: Components d'una injectada (imatge per cortesia de Cronoplast SL).

Quan una peça és formada per dos o més components, i un dels quals com a mínim, és un material termoplàstic, llavors es parla d'injecció multicomponent. Es tracta d'una tècnica que permet combinar característiques de diferents materials en una única peça. Se'n troben múltiples exemples a la vida quotidiana: ganivets molt resistents al desgast amb un mànec ergonòmic i agradable al tacte, botons d'automòbil amb una zona translúcida que permet la retroil·luminació, raspalls de dents amb mànec antilliscant, comandaments senyalitzadors d'electrodomèstics, joguines, etc.

3.1. Tècniques d'injecció multicomponent

Per aconseguir aquest tipus de peces calen configuracions particulars d'una màquina d'injecció i/o accessoris perifèrics que permetin la fabricació. En el cas que només un dels components sigui termoplàstic la configuració de la màquina pot ser la més habitual, amb unitats de tancament i d'injecció horitzontals, assistida per un robot o manipulador que col·loqui el component previ no termoplàstic a l'interior del motlle abans del seu tancament. Quan el component previ no permet la col·locació per les seves mides o el procés requereix d'operacions prèvies o posteriors, la configuració de màquina més utilitzada és la de unitat de tancament vertical i unitat d'injecció horitzontal a 90° o vertical alineada amb el tancament. Això permet situar el component previ o insert de manera fàcil a la placa fixa del motlle, horitzontal en aquest cas, sense que es mogui en el moviment de tancament del motlle. Generalment aquest tipus de màquines requereixen d'un operari que col·loca l'insert i retira la peça acabada, encara que també es pot automatitzar. Habitualment, quan només un dels components és termoplàstic, es parla de sobre-emmotllament d'inserts.

Quan dos o més components són termoplàstics es quan es parla més específicament d'injecció multicomponent. En aquest cas es troben tècniques i configuracions diverses donat que es poden aconseguir efectes ben diferents. Una primera classificació atén al número de canals de colada de que disposa el motlle, només un, o més. A la Fig. 3.4 es troben alguns exemples de peces multicomponent i a la Taula 3.1 es pot veure una classificació de les tècniques emprades habitualment, les quals es descriuen tot seguit.

Fig. 3.4: Diferents peces multicomponent (imatges per cortesia de Cronoplast SL).

Un canal de colada	Jaspiat	
	Intervals	
	Sandvitx	
Més d'un canal de colada	Core-back	
	Transferència	Amb desemmotllament
		Sense desemmotllament

Taula 3.1: Classificació de les diferents tècniques d'injecció multicomponent.

3.1.1. Injecció sobre un únic canal de colada

Quan la injecció dels diferents materials es produeix sobre un únic canal de colada, es barregen sense que es presenti una limitació definida entre ells. Aquesta tècnica també rep el nom de coinjecció i presenta diferents variants segons l'objectiu desitjat. Se'n troben tres tipus de procés: jaspiat, injecció a intervals i injecció sandvitx.

La injecció a intervals consisteix a introduir els diferents materials mitjançant l'activació seqüencial de les diverses unitats d'injecció, les quals conflueixen en un únic broc que dóna pas als materials seguint una programació. En general es tracta de diferents coloracions d'un mateix material, de manera que es produeixen efectes cromàtics molt interessants sense que es presenti una clara limitació entre ells ja que queden barrejats, però que es poden reproduir amb certa precisió.

Quan les unitats d'injecció injecten simultàniament es parla de jaspiat. Els efectes que s'obtenen no són reproduïbles donat que la dispersió dels diferents materials és molt aleatòria. El jaspiat es pot aconseguir amb diferents unitats d'injecció o barrejant directament els materials en una única unitat adaptada per tal que no els barregi d'una forma homogènia.

Generalment l'efecte que es pretén aconseguir és estètic. Exemples de peces fabricades segons aquesta tècnica són muntures d'ulleres, encenedors, joguines, articles per la llar, perruqueria, etc.

La tècnica sandvitx consisteix a injectar un primer material destinat a la capa superficial o pell de la peça i un segon, més senzill, econòmic o lleuger que desplaça el primer contra les parets de la cavitat del motlle formant el nucli de la peça. El primer material acostuma a ser un polímer d'elevada resistència a l'impacte i bones aptituds per al pintat i el segon un material escumat. Les peces típiques fabricades amb aquesta tècnica són alerons, deflectors i motllures d'automòbils. Una tècnica derivada d'aquesta i molt utilitzada és la injecció assistida per gas, en la que el segon material és aire comprimit i s'obtenen peces buides amb un considerable estalvi de material en peces de gran secció.

3.1.2. Injecció sobre més d'un canal de colada

Quan l'objectiu es obtenir peces compostes de més d'un material amb una clara limitació o frontera entre ells, és necessari instal·lar diferents canals de colada. Aleshores cal variar la cavitat del motlle per formar les parts de forma seqüencial. La unió entre els materials és totalment reproduïble i pot haver adhesió entre ells o no. En aquest darrer cas els components poden tenir moviment entre ells i es parla de injecció amb muntatge, ja que s'obtenen mecanismes. Les tècniques fonamentals són el mètode *core-back* i els mètodes de transferència.

El mètode *core-back* (en anglès *core*, nucli o noio, *back*, enrere), la cavitat es modifica després de la injecció de cada component retirant un noio i ampliant-la d'aquesta forma per a la introducció del següent material. El mètode és seqüencial.

En el mètode de transferència s'obtenen peces prèvies en un material que es transfereixen a la següent cavitat o estació del procés per ser sobreemmotllades amb un altre material. Encara que les fases han de ser seqüencials, es poden realitzar de forma simultània en les diferents estacions. El mètode de transferència consta de dues tècniques: la utilització d'un robot que trasllada la peca prèvia d'una cavitat a una altra en el mateix motlle o la instal·lació d'un plat divisor en el motlle que gira a cada cicle. En el cas de fer servir un robot la peça prèvia pot ser transferida a una altra màquina amb un altre motlle.

La tècnica giratòria és la més interessant quant a integració del procés, ja que no es precisa d'un robot o manipulador i els diferents materials es processen en la mateixa màquina. La peça prèvia es trasllada a la següent estació mitjançant el gir segons l'eix de la unitat de tancament, d'una de les meitats del motlle, generalment la part d'expulsió, mentre està obert. No es desemmotlla la preforma i quan el motlle torna a tancar, aquesta peça forma part d'una altra cavitat on s'injecta el següent component. A cada cicle s'extreu només la peça acabada.

La rotació indexada segueix el mateix principi, però la part del motlle que gira es desplaça abans cap endavant, tornant a la seva posició després del gir. La preforma es desemmotlla d'una cavitat i es col·loca a la següent. Aquesta tècnica, coneguda com a rotació índex, és útil quan la cavitat és diferent a les dues parts del motlle, és a dir, quan el segon material envolta el primer en una gran proporció.

3.2. Unitats d'injecció portàtils

En els casos de tècniques d'injecció multicomponent on tot el procés es du a terme sobre la mateixa màquina, cal que aquesta estigui equipada amb més d'una unitat d'injecció. Els fabricants de màquines d'emmotllament per injecció ofereixen sovint aquesta opció, però quan la diferència de massa entre els diferents components és important, aquestes màquines no solen ser indicades ja que les diferents unitats d'injecció instal·lades són molt semblants. És en aquest punt on resulten interessants les unitats portàtils per ésser instal·lades com a accessori.

Una unitat d'injecció portàtil consta d'una unitat d'injecció pròpiament dita, amb les seves pròpies unitats de potència i de control. D'aquesta manera es pot adaptar a qualsevol màquina convencional amb la qual es comunica per realitzar el procés. La mida d'aquesta unitat supletòria es pot escollir en funció de la massa a injectar i la inversió a fer és molt favorable, ja que es pot instal·lar a diferents màquines en funció de la peça a fabricar i no cal la inversió

en màquines multicomponent específiques, sovint d'un cost molt elevat i totalment inviable si no està assegurada la producció per elles.

Des del punt de vista mecànic, tot i que disposa d'unitat de potència i de control, no es pot considerar una màquina donat que no pot fabricar peces per ella mateixa si no s'integra a una altra màquina. Es tracta doncs, d'una quasi màquina.

A la unitat d'injecció es desenvolupen totes les funcions del procés que consisteixen en escalfar, fondre i homogeneïtzar el material, dosificar la quantitat precisa per una injectada, introduir-lo en el motlle i mantenir-lo a pressió fins que solidifiqui. Per completar aquest procés calen tres actuadors integrats a la unitat per apropar la unitat al motlle, injectar el material prèviament preparat, i plastificar i dosificar el material per al següent cicle. Aquests actuadors són, generalment, cilindres i motors hidràulics, encara que els accionaments electromecànics estan experimentant un important desenvolupament degut al seu millor rendiment i el seu menor impacte ecològic per l'absència d'olis hidràulics minerals en la transmissió de potència. Així, en la indústria de productes mèdics, les màquines elèctriques pràcticament han desplaçat les hidràuliques del mercat. En endavant es tracten els accionament com a cilindres hidràulics entenent que poden ser mecanismes elèctrics indistintament.

El carro d'injecció és el mecanisme que permet desplaçar tota la unitat respecte de la unitat de tancament per tal d'apropar el broc al canal de colada del motlle i mantenir una força de contacte entre ambdós suficient per evitar fuites de material mentre dura la injecció. Exerceix també la funció de suport dels altres dos mecanismes.

La millor manera d'estructurar la unitat és mitjançant dos cilindres hidràulics coplanaris amb el broc per al seu desplaçament vers el motlle. Així queda un espai entre els dos cilindres per situar els elements encarregats de la resta de funcions de la unitat i el recolzament del broc és prou precís, sense flexions, ja que la força total és coaxial amb l'eix de la unitat. Els cilindres guien el carro i el connecten mecànicament amb el plat fix de la unitat de tancament.

Per unitats d'injecció de gran pes i grans dimensions cal recolzar el carro sobre guies a la bancada de la màquina. Aquestes guies han de disposar d'un mecanisme de regulació per poder centrar i ajustar les unitats de tancament i d'injecció. El moviment en aquest cas el proporciona un o dos cilindres que, generalment, no són coplanaris amb l'eix del broc, raó per la qual prenen més importància les guies, per evitar flexions. Normalment en aquest tipus d'unitats cal recolzar també alguns dels altres elements de la unitat, degut al seu pes.

Els actuadors de plastificació i d'injecció estan íntimament relacionats. El primer s'encarrega de fondre, homogeneïtzar i dosificar el material en una càmera on el segon el fa fluir cap a l'interior de les cavitats del motlle.

L'accionament de la injecció és l'encarregat de desplaçar l'èmbol d'injecció. Es tracta d'un cilindre hidràulic disposat coaxialment amb el broc. Segons el sistema de plastificació emprat es poden instal·lar dos cilindres paral·lels i coplanaris amb l'eix del broc la qual cosa permet escurçar la longitud total de la unitat. Aquest accionament ha de ser suficientment potent per injectar el material a gran velocitat i vèncer la resistència al flux de la massa fosa a l'interior del broc, del canal de colada del motlle i de les cavitats, especialment en els casos de parets primes. Per una altra banda, ha de generar la força necessària per mantenir la pressió del material a l'interior del motlle per compactar-lo adequadament. La lectura de la pressió hidràulica, o de la força exercida en el cas d'accionament elèctric, i de la seva posició són variables indispensables de cara a controlar amb precisió el procés.

Pel que fa a l'actuador de plastificació, se'n troben de lineals i rotatius segons el sistema utilitzat. A la Fig. 3.5 es poden veure els sistemes principals de plastificació i injecció.

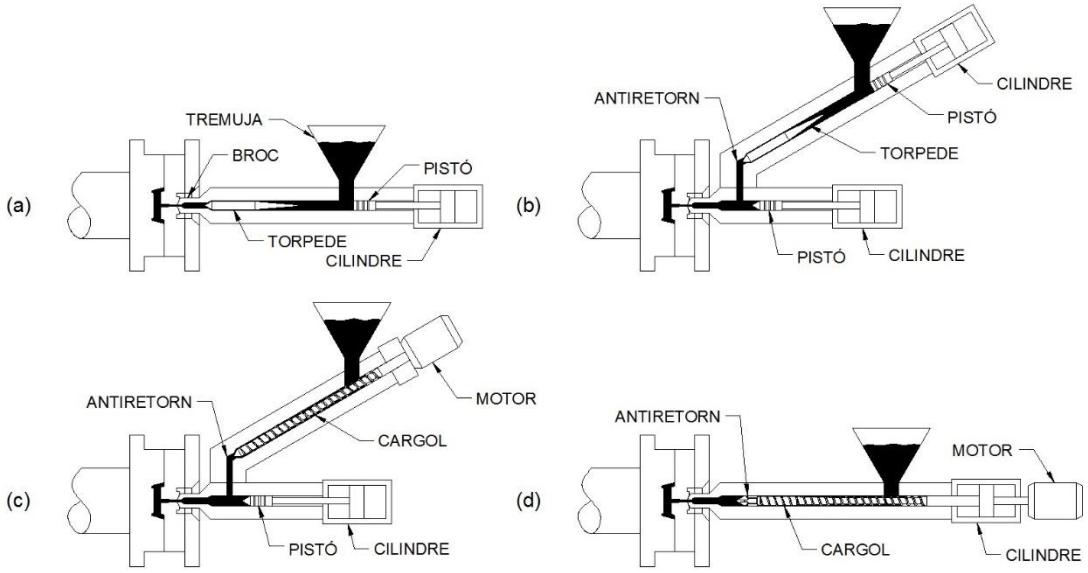

Fig. 3.5: Diferents sistemes de plastificació i injecció: (a) pistó de simple etapa, (b) pistó amb plastificació prèvia per torpede, (c) pistó amb plastificació prèvia per cargol, i (d) cargol de simple etapa o en línia.

- de pistó (Fig. 3.5a), on el material entra directament per gravetat en una cavitat on fon per efecte de la temperatura i és introduït a la cavitat per un èmbol. Només consta de l'actuador d'injecció ja que la plastificació es realitza únicament per l'efecte de la temperatura. És un sistema molt primitiu que no plastifica el material correctament i que no injecta la quantitat adient de material de forma regular ja que la dosificació depèn de la densitat del material d'alimentació. Només s'accepta per màquines molt petites de laboratori, sovint governades a mà.

- de dues etapes, on el material és plastificat en una càmera prèvia mitjançant l'acció d'un cilindre que obliga a passar el plàstic a través d'un torpede (Fig. 3.5b) o de boles (Fig. 3.6), o d'un cargol rotatori (Fig. 3.5c), que carreguen una segona càmera on un èmbol accionat per un cilindre introdueix el material en el motlle. És un sistema apte per màquines de petites dimensions. Té l'avantatge de poder disposar els mecanismes en un pla vertical, de manera que en resulta una unitat de longitud molt continguda. En el cas de fer servir un cargol, el volum d'injecció es pot augmentar molt respecte de la resta de sistemes.

- de cargol en línia o de simple etapa (Fig. 3.5d), on el material és plastificat per efecte de la calor i de la fricció amb el filet del cargol i es va acumulant a la part davantera d'aquest mentre gira i retrocedeix per efecte de la contrapressió que provoca el material a la punta, on s'hi disposa una vàlvula antiretorn que evita que en el moment en que el cargol avança com si fos un èmbol per injectar el material al motlle, aquest pugui retrocedir a la zona de plastificació. És el sistema de plastificació per excel·lència a pràcticament totes les màquines d'injecció del món, encara que té l'inconvenient de limitar el volum d'injecció a una cursa de quatre vegades el diàmetre per evitar que pugui entrar aire a la càmera.

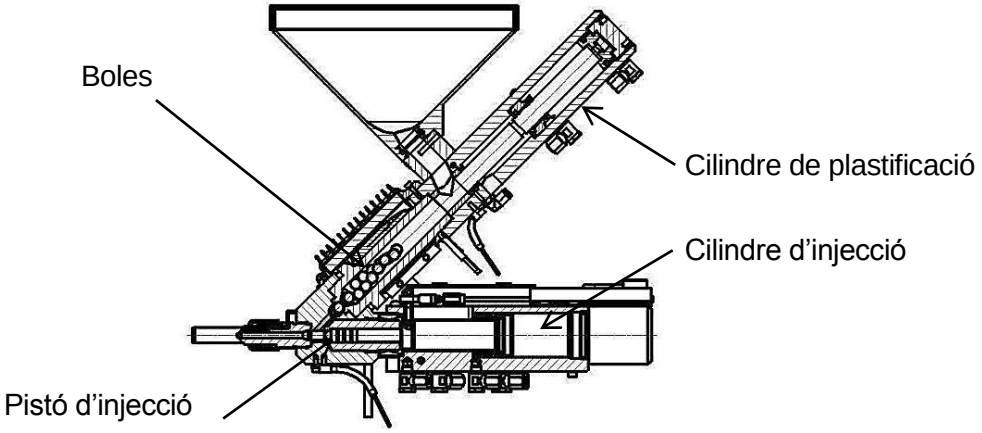

Fig. 3.6: Unitat d'injecció amb plastificació prèvia mitjançant boles (cortesia de Cronoplast).

El mètode de plastificació emprat determina l'accionament a fer servir per preparar la massa d'injecció. En les unitats de pistó de simple etapa aquest no existeix. Les unitats d'injecció amb plastificació prèvia mitjançant torpede o boles l'òrgan encarregat de plastificar el material és un cilindre que pressiona el material que omple la càmera de plastificació, obligant-lo a passar pels forats o ranures disposades en el torpede o entre les boles, creant una certa dispersió i homogeneïtzant la massa fosa alhora que s'omple la càmera d'injecció amb la quantitat justa per al següent cicle.

En el cas de unitats de plastificació per cargol, sigui d'una etapa o de dues, l'accionament és un motor que fa girar el cargol, obligant-lo a passar pel seu canal helicoïdal i omplint, per la

pressió generada, la càmera d'injecció. L'estudi particular del procés de plastificació en un sistema de càmera i cargol es fa a l'annex B, ja que mereix un tractament molt aprofundit. El sistema de rotació del cargol pot ser de dos tipus: motor elèctric amb reductor o hidràulic amb o sense reductor. En ambdós casos s'ha de poder controlar el règim de gir del cargol. Els motors hidràulics utilitzats generalment són d'engranatges interns, de paletes o de pistons, axials o radials. Els darrers són els que es fan servir amb preferència pel seu suau funcionament per accionar cargols grans.

En qualsevol cas és important controlar amb precisió la posició del cargol de manera que cal que les masses en moviment siguin el més baixes possible. Això es pot aconseguir amb un motor estàtic respecte el carro d'injecció i una transmissió mitjançant un eix acanalat entre l'eix motriu i el cargol que permeti el desplaçament axial de l'un respecte de l'altre. En el cas de motors hidràulics directament acoblats al cargol sense reductor, la inèrcia és prou petita.

El disseny del cargol és molt complex i mereix un tractament a part, molt més aprofundit. El paràmetre més característic d'un cargol de plastificació és la seva relació longitud/diàmetre, entenent com a longitud la distància entre la vora del forat d'alimentació de la gransa i l'extrem del cargol, segons les recomanacions d'EUROMAP (Comitè Europeu de Constructors de Màquines per Plàstic i Goma). El tipus de cargol més utilitzat és el cargol de tres zones, o cilíndric cònic cilíndric. És un disseny per usos generals que proporciona bons rendiments amb la majoria dels materials. Sobre la base del cargol de tres zones es pot optimitzar el disseny en funció del material a processar. Si es necessita una capacitat de plastificació millorada es poden muntar cargols amb altres dissenys, com els cargols barrera, cargols de pas variable o cargols de vàries entrades. El cargol de tres zones és però, el cargol que forma part de l'equipament base de la majoria de fabricants. A la Fig. 3.7 es pot veure un cargol de tres zones amb el seu cilindre i la vàlvula antiretorn corresponent.

Fig. 3.7: Conjunt de càmera, cargol de tres zones i vàlvula antiretorn.

3.3. Estudi de mercat

Per tal de poder establir les dades tècniques i les prestacions de la màquina que es pretén cal analitzar les màquines que existeixen al mercat que poden entrar en competència. Els fabricants d'unitats d'injecció portàtils més representatius a nivell europeu i americà són els següents:

- Babyplast
- Divisione Prodotti Speciali
- Dr. Boy
- Milacron Mold-Masters
- Universal Multishot Systems

3.3.1. Babyplast UAI [1]

La Unitat Autònoma d'Injecció (UAI) Babyplast és una petita unitat portàtil de fabricació catalana basada en l'experiència de Cronoplast en la fabricació de la reconeguda màquina d'injecció de sobretaula Babyplast. Inicialment la màquina es va desenvolupar per a la fabricació de petites sèries, de prototips i com a màquina de laboratori, però ràpidament s'ha consolidat a nivell europeu com una gran petita màquina i actualment se la destina d'una manera pràcticament única a la producció en gran escala. Els seus avantatges fonamentals són el reduït espai que ocupa la màquina, el seu baix consum i baix cost. Posteriorment es va adaptar la unitat d'injecció amb la central hidràulica y d'altres elements per realitzar aquesta unitat portàtil les prestacions de la qual no són gaire altes, però mantenen un compromís prou acceptable.

Un dels punts que fan de la Babyplast una unitat petita i econòmica és el fet que no disposa de cargol d'injecció. Es tracta d'una màquina que equipa una unitat d'injecció de pistó amb plastificació prèvia del material. Un pistó hidràulic a 45° sobre l'eix de la màquina obliga el material a circular entre esferes i dosificar la quantitat necessària a la càmera d'injecció en línia amb l'eix de la màquina, on un altre pistó hidràulic l'injecta a la cavitat del motlle (Fig. 3.6). És un sistema molt suau amb el material, ja que no el sotmet a tensions de cisalla excessives i permet la reducció dràstica de la longitud de la unitat d'injecció. La unitat d'injecció té unes dimensions aproximades de 400x500x200 i un pes de 25 kg.

Es disposa de dues unitats de mida diferent: la unitat estàndard i la unitat augmentada amb mides EUROMAP 12 i 25 respectivament. A la unitat d'injecció estàndard es poden muntar pistons des de 10 mm de diàmetre fins a 18 amb els que s'obtenen capacitats d'injecció

màximes de 4 a 15 cm^3, amb pressions màximes de 2650 a 815 bar respectivament. El diàmetre estàndard és el de 14 mm que proporciona 9 cm^3 d'injecció màxima a 1340 bar i un flux de 7,5 cm^3/s. La unitat d'injecció augmentada pot equipar pistons de 16 a 24 mm amb pressions màximes de 1536 a 683 bar i capacitats d'injecció de 16 a 36 cm^3.

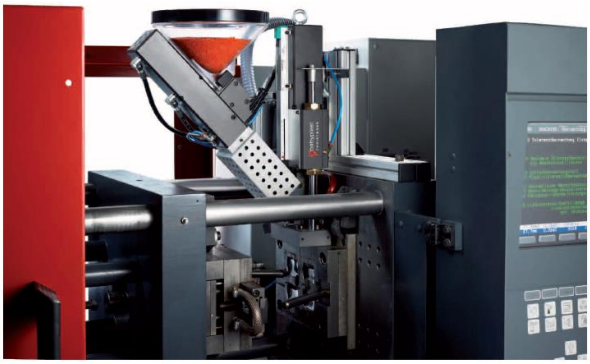

Fig. 3.8: Unitat Autònoma d'Injecció Augmentada Babyplast.

En un carretó de mides màximes 790x500x1030 es troben la central hidràulica submergida en el dipòsit d'oli, amb una potència de 1,5 kW, el bloc hidràulic de control i l'armari elèctric. La potència instal·lada total és de 2,95 kW.

3.3.2. Divisione Prodotti Speciali Micro [2]

El fabricant italià Divisione Prodotti Speciali presenta una gamma de productes auxiliars per a la indústria del plàstic especialment dirigits a la injecció multicomponent. Disposa de plats rotatoris per a la fixació de motlles, termoreguladors, centraletes de control de canals calents, controladors de brocs obturadors seqüencials, motlles i grups portàtils d'injecció, a banda d'altres productes. Els grups portàtils estan especialment pensats per l'emmotllament de termoplàstics elastòmers els quals flueixen amb facilitat i no necessiten de grans potències d'injecció. Els grups poden ser fixats al plat fix de la unitat de tancament mitjançant una platina, posicionat sobre un suport mòbil posat a terra o fixat directament al motlle. La unitat més petita és la Micro. Es pot muntar directament al motlle en vertical, horitzontal o de costat.

Es tracta d'una unitat d'injecció de pistó amb plastificació prèvia per cargol. El desplaçament de la unitat es realitza mitjançant dos cilindres hidràulics paral·lels i coplanaris amb l'eix del broc i del pistó d'injecció. L'actuador de la injecció és un cilindre hidràulic que acciona l'èmbol. El diàmetre del pistó pot ser de 12, 15 o 18 mm amb volums d'injecció de 6,8, 10,6 i 15,3 cm^3 amb pressions màximes sobre el material de 2400, 1900 i 1300 bar respectivament. La velocitat màxima de la injecció és de 11, 18 i 26 cm^3/s.

Pel que fa al cilindre de plastificació, està disposat en un petit angle respecte l'eix de la unitat. La relació entre llargada i diàmetre del cargol és de 16 i està accionat per un motor hidràulic

d'accionament directe amb una velocitat màxima de 280 rpm. La mida EUROMAP calculada a partir de les dades tècniques declarades és 20. A la Fig. 3.9 es pot veure una imatge de la unitat i un esquema de les possibles posicions en que es pot muntar.

Fig. 3.9: Unitat portàtil d'injecció Divisione Prodotti Speciali Micro.

En un carretó s'inclou la centraleta hidràulica i el control electrònic de la unitat. La potència instal·lada es de 4 kW i la potència de calefacció de 2 kW.

3.3.3. Dr. Boy 2C XS (SP 14) [3]

Entre la oferta de màquines d'injecció del fabricant alemany Dr. Boy es troben unitats d'injecció portàtils, la més petita de les quals es la SP 14 de mida EUROMAP 14. Es tracta d'una unitat d'accionament hidràulic que pot equipar cargols de 12, 14 o 16 mm de diàmetre. Les capacitats d'injecció són 4,5, 6.1 i 8 cm^3 amb pressions màximes de 3128, 2298 i 1760 bar i cabals d'injecció de 20,5, 28 i 36,5 g/s de poliestirè. La potència instal·lada és de 4,6 kW amb una unitat de potència de 3 kW. Les dimensions de la unitat d'injecció son 1190x464x439 i les del carretó 954x468x1394. A la Fig. 3.10 es pot veure el conjunt complet en situació de transport de dues unitats diferents (SP14 a l'esquerra).

Fig. 3.10: Dues unitats d'injecció BOY 2C XS.

Una dada que pot semblar a priori limitada és la relació L/D de 14,6 del cargol de Ø16, ja que és un valor molt baix, però queda compensat per la curta cursa d'injecció de 40 mm, 2,5 vegades el diàmetre del cargol. La força amb la que recolza el broc sobre el motlle és de 20 kN i la seva cursa de 100 mm

3.3.4. Milacron Mold-Masters E-Multi EM1-15 [4]

Mold-Masters és un fabricant canadenc que forma part del grup d'empreses estatunidenc Milacron. Està especialitzat en sistemes de canal calent, controladors de temperatura i disposa entre els seus productes de les unitats d'injecció portàtils E-Multi. Es tracta d'unitats totalment elèctriques amb moviments comandats per servo-motors per al muntatge directe sobre el motlle. D'aquesta manera es converteix qualsevol màquina estàndard en una màquina multi-matèria. Es troben disponibles quatre mides bàsiques, EM1 a EM4 que poden incorporar diferents mides de cargol. Cadascuna esta disponible en dues curses d'injecció i opció d'alta velocitat d'injecció (sufix HS).

La unitat E-Multi EM1-15 en la seva versió estàndard disposa de plastificació per cargol de simple etapa de Ø14, Ø16 o Ø18 amb una cursa d'injecció de 50 mm, que dóna com a resultat una capacitat d'injecció màxima de 7,7, 10,1 i 12,7 cm^3 i pressions específiques màximes de 2000, 1530 i 1210 bar respectivament. La velocitat màxima d'injecció és de 180 mm/s que es tradueix en un cabal de 28, 36 i 46 cm^3/s per als tres diàmetres respectivament. La velocitat de rotació màxima del cargol és de 600 rpm.

La força de recolzament del broc sobre el motlle és de 10 kN i les dimensions màximes de la unitat són 1240x390x400 i el seu pes de 190 kg. La potència total instal·lada és de 12 kVA, no declarant el fabricant la distribució de la potència entre accionaments i calefacció. El control es realitza mitjançant una pantalla tàctil de 15 polzades en diversos idiomes. A la Fig. 3.11 es poden veure la unitat i l'armari de control amb la pantalla.

Fig. 3.11: Unitat d'injecció portàtil de Milacron Mold-Masters.

3.3.5. Universal Multishot Systems M16 [5]

MGS Mfg. Group, Inc. és una empresa estatunidenca dedicada a la transformació i a la fabricació de motlles i equipament per a injecció multi-matèria. Aquesta darrera branca pren el nom de Universal Multishot Systems i fabrica plats rotatoris i unitats d'injecció portàtils. Entre les unitats d'injecció en fabrica d'una gran varietat de mides, des de 0,16 cm^3 fins a 2020 cm^3 de capacitat d'injecció, i de disposicions, per muntatge horitzontal o vertical sobre plats o sobre motlle. Totes equipen cargol de plastificació de simple etapa, excepte les unitats més petites les quals injecten mitjançant pistó. Totes són d'accionament totalment hidràulic.

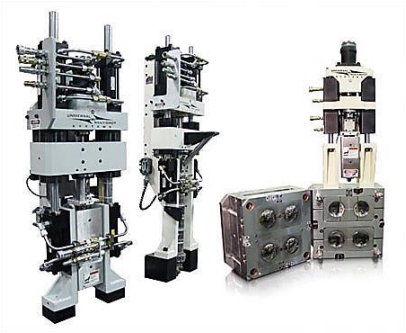

Fig. 3.12: Unitats portàtil d'injecció UMS.

D'entre totes les variants s'analitza el model M16 per muntatge sobre motlle, el qual és el més semblant a l'objectiu d'aquest projecte. La plastificació es realitza per cargol de simple etapa amb diàmetres disponibles de 14 a 20 mm. La cursa d'injecció és de 50 mm i s'obtenen capacitats d'injecció de 7,7 a 15,7 cm^3 amb pressions màximes sobre el material de 2414 a 1360 bar respectivament. Dos cilindres hidràulics paral·lels i coplanaris amb el cargol constitueixen l'accionament de la injecció, mentre que un motor hidràulic s'encarrega de fer girar el cargol. L'apropament i recolzament sobre el motlle s'encarrega a dos cilindres hidràulics coaxials amb els de la injecció.

Com en tot aquest tipus d'equipament, en un carretó es munten la central hidràulica i l'armari elèctric. La interfície humana es redueix a una pantalla tàctil de 12 polzades i disposa de connexió per comunicar-se amb interfícies de robot SPI o EUROMAP.

3.3.6. Taula resum

Per tal de poder comparar les diverses unitats d'injecció analitzades al present capítol d'una manera ràpida es presenten a la Taula 3.2 les dades tècniques més representatives, juntament amb una breu descripció dels diferents tipus d'accionaments i llur construcció. Les dades es troben agrupades segons els diferents accionaments presents en una unitat d'aquest tipus, injecció, plastificació i recolzament de la unitat i finalment un grup de dades miscel·lànies.

	Babyplast UAI	DPS Micro	Milacron M1-15	BOY 2CXS	UMS M16
Diàmetre de cargol	14	15	16	16	16
Relació L/D	N.A.	16	N.D.	14,6	N.D.
Cursa d'injecció	60	60 (deduïda)	50	40	50
Volum d'injecció	9,2	10,77	10,1	8	10,1
Pressió d'injecció	1343	1900	1530	1760	1848
Cabal d'injecció	7,7	18	36	40	N.D.
Tipus d'accionament	Hidràulic	Hidràulic	Elèctric	Hidràulic	Hidràulic
Construcció	1 cilindre coaxial amb la càmera d'injecció	1 cilindre coaxial amb la càmera d'injecció	Cargol sense fi accionat per servo motor	2 cilindres coplanaris amb la càmera d'injecció	2 cilindres coplanaris amb la càmera d'injecció
Capacitat de plastificació	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Tipus d'accionament	Hidràulic	Hidràulic	Elèctric	Hidràulic	Hidràulic
Construcció	Un cilindre coaxial amb la càmera de plastificació prèvia	Motor hidràulic d'accionament directe sobre el cargol	N.D.	Motor hidràulic d'accionament directe sobre el cargol	Motor hidràulic d'accionament directe sobre el cargol
Calefacció (zones/potència)	3 /	N.D. / 2	N.D.	1575	N.D.
Força broc	7,5	N.D.	10	20	N.D.
Cursa de la unitat	76	N.D.	N.D.	100	N.D.
Tipus d'accionament	Hidràulic	Hidràulic	Elèctric	Hidràulic	Hidràulic
Construcció	2 cilindres coplanaris amb la càmera d'injecció	2 cilindres coplanaris amb la càmera d'injecció	N.D.	2 cilindres coplanaris amb la càmera d'injecció	2 cilindres coplanaris amb la càmera d'injecció
Mida EUROMAP (calculada)	12	20	15	14	19
Potència motor	1,5	2,2	Total 12 kVA	3	N.D.
Dimensions unitat		611x264x399	1240x390x400	1190x464x439	N.D.
Pes unitat		N.D.	190	N.D.	N.D.
Dimensions armari elèctric		600x650x600	N.D.	954x468x1394	N.D.

Taula 3.2: comparació de les diverses dades tècniques de les unitats analitzades.

4. Definició de les prestacions de partida

La unitat portàtil d'injecció a dissenyar ha de permetre ser muntada sobre un plat o sobre un motlle d'una màquina d'emmotllament per injecció amb la finalitat de convertir-la en una màquina per injecció multicomponent. Les dimensions han de resultar el més reduïdes possible per tal que la unitat s'integri fàcilment en una màquina més gran sense necessitat de realitzat adaptacions per temes de seguretat. Els moviments són totalment hidràulics donada la senzillesa d'aquests tipus d'accionaments. Una característica important és que la plastificació es realitza mitjançant un cargol en línia de tres zones convencional ja que un objectiu implícit del projecte és el d'adquirir el coneixement necessari en el disseny de cargols per a l'empresa Cronoplast, sl (fabricant de la coneguda màquina d'injecció de sobretaula Babyplast), coneixement que actualment no té en profunditat ja que les seves unitats d'injecció són de pistó amb plastificació prèvia per boles (l'autor és empleat de l'empresa).

4.1. Unitat d'injecció

Els requeriments tècnics principals sobre el que es realitza el disseny de la unitat d'injecció són el volum i la pressió d'injecció màxims. A partir d'aquí es realitza una deducció de la resta de paràmetres importants de la unitat que apareixen en qualsevol taula de dades tècniques d'una màquina. Aquestes primeres dades s'obtenen per comparació amb altres màquines existents al mercat.

El principal objectiu és el de dissenyar una unitat portàtil de reduïdes dimensions que s'ha de destinar a la injecció de petites masses de termoplàstic en un procés d'emmotllament multicomponent. El volum d'injecció màxim previst és de 10 cm^3.

Així com el volum màxim injectable determina en gran part les dimensions de la unitat, la pressió màxima sobre el material fos és, potser, el paràmetre més important d'una unitat, ja que determina la qualitat del procés en una banda prou ampla d'aplicacions. La pressió que ha d'exercir sobre el material depèn molt del tipus de polímer a processar, del disseny del recorregut que ha de fer per arribar a les cavitats del motlle i omplir-les, i dels paràmetres de procés escollits. En general, es considera que una unitat d'injecció ha de poder exercir una pressió sobre el material d'uns 150 MPa sense sobrepassar la potència màxima del motor. Això implica que la pressió màxima sobre el material que ha de donar el sistema ha de ser de 180÷200 MPa per tenir un cert marge de seguretat encara que això impliqui superar la potència del motor **[6]**.

Segons el material i les condicions del procés es pot afinar més aquest paràmetre tant important, tal com es pot veure a la Taula 4.1. Es decideix doncs, que la pressió màxima que

ha d'exercir la unitat sobre el material ha de ser de 180 MPa com a mínim, suficient per poder emmotllar materials en condicions normals. Aquestes dades corresponen a la combinació de càmera i cargol estàndard a fer servir a la unitat. La unitat projectada pot utilitzar altres combinacions, una de més volum i pressió màxima més baixa, i una de més pressió i menys volum per casos per cobrir els casos previstos a la Taula 4.1.

Material i condicions de procés	Pressió d'injecció [MPa]	Combinació càmera i cargol
Materials viscosos, condicions d'elevada resistència al flux	200÷250	Volum més petit
Termoplàstics i elastòmers en condicions normals	170÷180	Estàndard
Materials fluids, condicions de baixa resistència al flux	120÷140	Volum més gran

Taula 4.1: Pressió d'injecció segons el material i llurs condicions de processat [7].

La designació EUROMAP d'una unitat d'injecció correspon al volum màxim d'injecció referit a la pressió d'injecció de referència de 100 MPa **[8]**. Es calcula com el producte del volum màxim per la pressió màxima dividit per la pressió de referència. Amb la combinació de càmera i cargol més gran, el volum màxim és de 10 cm^3 i la pressió de 140 MPa, Per tant, la unitat a projectar respon a una designació EUROMAP de 14 cm^3. Les altres dues combinacions es calculen a partir d'aquestes primeres dades seguint el criteri de la Taula 4.1.

El cabal o flux d'injecció màxim és important perquè determina la velocitat màxima amb la que s'omple la cavitat del motlle. A l'apartat A.3 de l'annex A s'explica la importància d'aquest paràmetre. Sobre la base de les unitats analitzades es veu que la velocitat lineal de l'èmbol d'injecció es troba en un rang de 50÷255 mm/s. Es decideix que la velocitat d'injecció ha de ser superior a 150 mm/s. El cabal resultant depèn de la combinació de càmera i cargol utilitzat.

Pel que fa a l'accionament del carro d'injecció cal establir la força amb la que el broc recolza contra el canal de colada del motlle i la distància màxima que es pot separar d'aquest. El broc ha de fer contacte amb el motlle per tal d'evitar fuites de material que impedeixen omplir correctament el motlle i que, al límit, formen un bloc de material solidificat que poden inutilitzar la sonda de temperatura i la resistència de calefacció de la filera. S'obté la relació entre aquesta força i la dimensió EUROMAP per a les unitats analitzades i es troba en una mitja de 0,9 kN/cm^3 essent l'interval de 0,6÷1,4 kN/cm^3. Per una unitat de mida nominal 14 cm^3, l'interval per la força de recolzament del broc és de 9÷20 kN (12,6 si es relaciona amb la mitjana de les màquines estudiades).

La cursa de la unitat és interessant que sigui gran per tenir gran accessibilitat als elements més susceptibles de substitució, sigui per desgast o per configuració de la màquina. És usual el canvi del tipus de filera per adequar-la al motlle utilitzat o per simple desgast, així com resistències i termoparells. Però una cursa gran també implica que les dimensions de la unitat augmentin considerablement. L'accionament de la unitat es dissenya per desenvolupar una força mínima de recolzament del broc de 13 kN amb una cursa de 75 mm.

La construcció de la unitat ha de prioritzar les dimensions reduïdes del conjunt. És per això que es decideix una estructura de dos cilindres hidràulics paral·lels i coplanaris amb l'eix principal del broc tant per a l'accionament de la unitat, com per l'accionament de la injecció. Per l'accionament del cargol de plastificació s'escull un motor hidràulic directe.

Les característiques del conjunt de plastificació com són el diàmetre del cargol, la seva cursa, la potència de calefacció, etc., així com l'accionament més indicat i les seves prestacions, es determinen en funció dels paràmetres ja indicats.

4.2. Unitat de potència

Com a unitat de potència s'entén el sistema encarregat de transformar la energia elèctrica amb la qual s'alimenta la màquina en l'energia mecànica necessària per dur a terme tots els moviments amb les prestacions que s'han establert. L'objectiu és una unitat d'injecció en la qual tots els moviments són hidràulics. Per tant, en endavant es parla únicament de sistema hidràulic en lloc de unitat de potència. El sistema hidràulic està compost d'una central hidràulica i el sistema de control hidràulic.

La central hidràulica, composta d'un grup motobomba, ha de ser capaç de subministrar el cabal d'oli hidràulic suficient per aconseguir la velocitat necessària per satisfer el requeriment del flux d'injecció, amb la pressió adient per desenvolupar la força necessària per assolir la pressió d'injecció. La potència del grup ha de ser suficient per garantir la velocitat màxima d'injecció (150 mm/s) a una pressió sobre el material de 150 MPa.

El sistema de control és el sistema de vàlvules encarregades de dirigir l'oli hidràulic als accionaments segons el cicle de treball i de condicionar-lo quant a cabal i pressió per tal d'obtenir les condicions de forces i velocitats necessàries en cada moment. En màquines de grans dimensions les vàlvules es troben repartides per tota la màquina, de manera que se situen molt pròximes al accionament que controlen. En aquest cas, es constitueix el sistema de control en un únic bloc centralitzat juntament amb la central hidràulica en un carretó independent.

4.3. Cicle de treball

Segons el cicle del procés d'injecció explicat a l'inici del capítol 3 el cicle de treball de la unitat d'injecció, el qual serveix de base per al disseny del sistema hidràulic de control, es el següent:

1) Aproximació i recolzament del broc sobre el canal de colada del motlle. Es disposa d'un sensor de pressió per indicar que s'ha generat la força de contacte. La velocitat del moviment d'acostament de la unitat es pot programar. La força de recolzament s'ha de mantenir durant les fases següents.

2) Ompliment de la cavitat amb el material fos contingut entre el broc i la punta del cargol de plastificació. Es poden definir diferents etapes de pressió i velocitat per adaptar el procés d'ompliment de la cavitat a la seva geometria per la qual cosa es disposen un sensor de pressió i un altre de posició per controlar en tot moment el moviment del cilindre.

3) Manteniment de la pressió a la cavitat. En aquesta etapa del cicle es tracta de mantenir una pressió sobre la cavitat per compensar la contracció del plàstic i així evitar xuclets i reproduir de la millor manera possible la geometria d'aquesta.

4) Plastificació i dosificació del material per al següent cicle. Comença a comptar el temps de refredament. S'acciona la rotació del cargol de plastificació, tot regulant la velocitat de rotació i contrapressió a la punta. L'etapa dura fins que el sensor de posició disposat al cilindre d'injecció assoleix la lectura corresponent al punt de càrrega.

5) Descompressió del material acumulat a la punta del cargol. Es retira lleugerament el cilindre d'injecció per descomprimir el plàstic i evitar que en obrir-se el broc, bé per el desemmotllament de la cavitat, bé pel retrocés d'aquest, el material regalimi per la punta. A partir d'aquest moment ja no cal que els cilindres d'avançament del broc generin força de contacte.

6) Refredament del material a la cavitat. Aquesta és una etapa d'espera a la que no s'activa cap senyal. Només s'activa aquesta fase si el temporitzador activat a l'etapa 4) es més gran que temps emprat en completar les etapes 4) i 5).

7) Retrocés de la unitat si és necessari.

8) Torna al punt inicial.

Aquest cicle es pot esquematitzar en un GRAFCET (Graf Funcional de Comandament Etapa Transició) de primer nivell que es mostra a la Fig. 4.1.

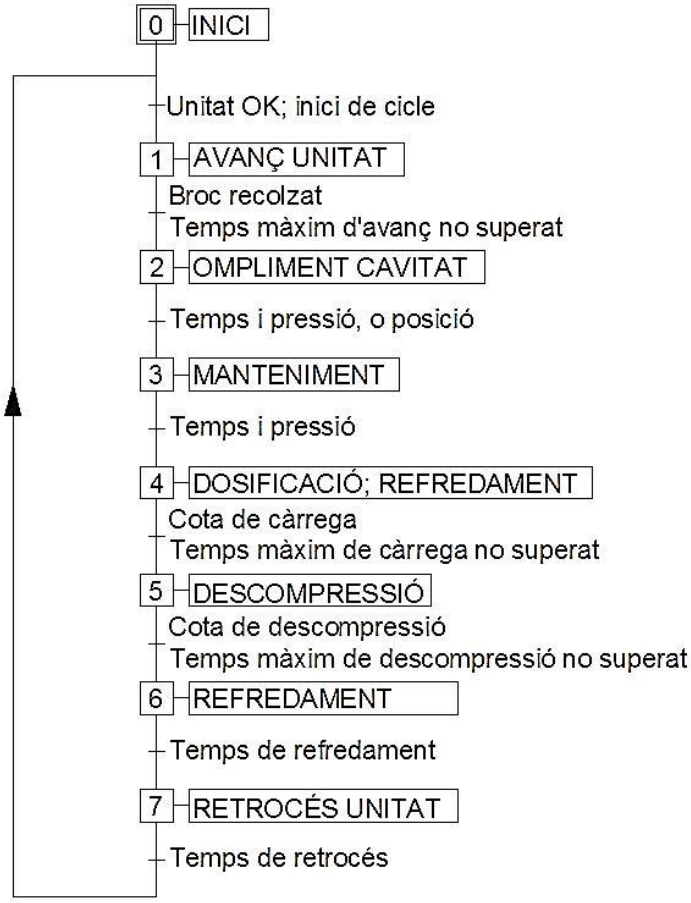

Fig. 4.1: GRAFCET de primer nivell del cicle de treball.

El control de temperatures de les diferents zones de calefacció, així com de l'oli hidràulic, es produeix constantment, independentment de si la unitat està en cicle, en espera o en funcions manuals. Qualsevol incidència en el mode de cicle automàtic, bé sigui provocat per una anomalia de temperatures o una transició que no es compleix, implica la seva interrupció i la indicació de la corresponent alarma. Si les zones de temperatura no es troben a la banda d'utilització, els moviments dels cilindres d'injecció i del motor de plastificació s'inhabiliten.

4.4. Resum de dades tècniques

Un cop s'han definit totes les característiques tècniques de la unitat portàtil d'injecció a projectar es recullen a mode de resum a la Taula 4.2.

Mida de la unitat d'injecció	14 cm^3 (EUROMAP 1)		
	Diàmetre 1	Diàmetre 2	Diàmetre 3
Capacitat d'injecció	10 cm^3 màx.	A calcular	A calcular
Pressió màxima d'injecció	140 MPa aprox.	180 MPa aprox.	250 MPa aprox.
Velocitat lineal d'injecció	150 mm/s mín.		
Força de recolzament del broc	13 kN mín.		
Cursa de retirada del broc	75 mm		
Potència motobomba	3 kW mín.		

Taula 4.2: Resum de les dades tècniques de partida.

5. Disseny de la unitat d'injecció

Un cop s'han decidit les línies mestres del projecte i s'han establert les prestacions de partida de la unitat d'injecció al capítol 4, es procedeix al desenvolupament del disseny. El disseny s'estructura segons els diferents mòduls que componen la màquina, els quals es poden veure a la Fig. 5.1, i seguint l'ordre de requeriments de partida. Respon al següent esquema:

- Mòdul de plastificació.
- Accionament hidràulic de la injecció.
- Accionament hidràulic de la plastificació.
- Accionament hidràulic d'apropament de la unitat al motlle.
- Altres elements de la unitat d'injecció.
- Sistema hidràulic de potència i control.
- Xassís autoportant.

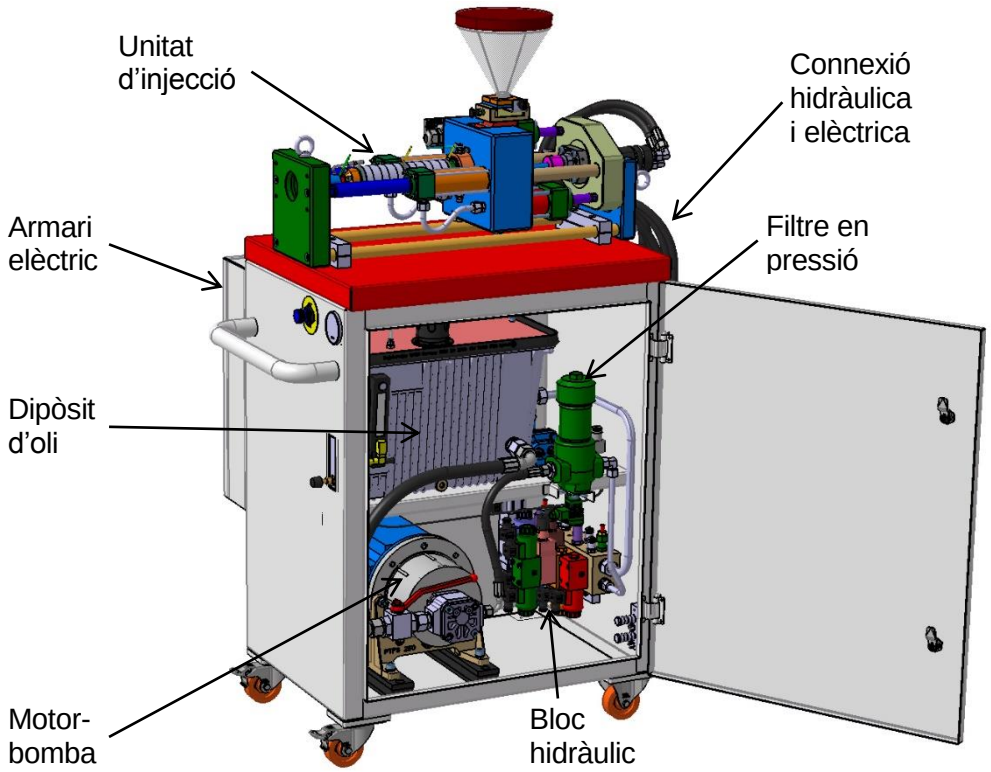

Fig. 5.1: Unitat d'injecció amb els seus elements bàsics

Abans d'entrar en els detalls de cadascun dels mòduls o subconjunts en els que es divideix el disseny, cal realitzar alguns càlculs previs per extreure més dades de les prestacions de partida de la Taula 4.1.

La cursa del cargol *s* no hauria de superar tres vegades el diàmetre, quatre en casos particulars, per evitar l'entrada excessiva d'aire a la càmera de plastificació **[9]**, de manera que la relació entre el volum d'injecció i el diàmetre del cargol es pot expressar segons l'equació (Eq. 5.1).

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot s = \frac{3\pi}{4} D^3 \qquad \text{(Eq. 5.1)}$$

d'on es dedueix que la combinació de càmera i cargol més gran a utilitzar té un diàmetre Ø16 i una cursa de 50 mm.

Per aconseguir una pressió d'injecció de 140 MPa amb un cargol de Ø16 cal que els cilindres hidràulics exerceixin una força sobre el cargol que es pot calcular segons (Eq. 5.2)

$$F_{inj} = p_{inj} \cdot \frac{\pi}{4} D^2 \quad \Rightarrow \quad F_{inj} = 140 \cdot \frac{\pi}{4} 16^2 = 28{,}1\, kN \qquad \text{(Eq. 5.2)}$$

Per la combinació de diàmetre més petit s'ha establert una pressió d'injecció de 250 MPa. Fent ús de la equació (Eq. 5.2), s'obté el diàmetre d'aquesta combinació, resultant Ø12. De la mateixa manera, el diàmetre de la combinació estàndard resulta Ø14 per una pressió d'injecció de 180 MPa. A la Taula 5.1 es troba el resum d'aquests càlculs previs.

Diàmetre cargol	mm	Ø12	Ø14	Ø16
Volum	cm^3	5,6	7,7	10
Pressió màxima	MPa	250	180	140
Cursa	mm	50		
Força	kN	28,1 mín		
Velocitat	mm/s	150 mín.		

Taula 5.1: Dades per al disseny del mòdul de plastificació i dels cilindres hidràulics d'injecció.

5.1. Mòdul de plastificació

El sistema format per la càmera i el cargol de plastificació es presenta com un sistema molt complex, les funcions del qual són molt diverses. Aquestes funcions són l'arrossegament del material sòlid en forma de grànuls, la seva fusió i homogeneïtzació, i l'arrossegament de la massa fos obtinguda, tot creant la pressió necessària per empènyer el cargol cap enrere per

acumular al seu extrem anterior la quantitat justa per a l'ompliment de la cavitat del motlle. L'altra funció important que realitza el cargol és la de introduir a pressió i velocitat el material a la cavitat del motlle. Aquestes funcions, i altres, s'analitzen amb més detall a l'annex B.

A la Fig. 5.2 es poden veure els components que formen part del mòdul. El cargol amb la vàlvula antiretorn, es desplaça a l'interior de la càmera d'injecció, la qual disposa del broc muntat sobre un capçal adaptador per connectar-la amb el canal de colada del motlle. Envoltant la càmera es troben els elements de calefacció i els sensors de temperatura corresponents per controlar el procés.

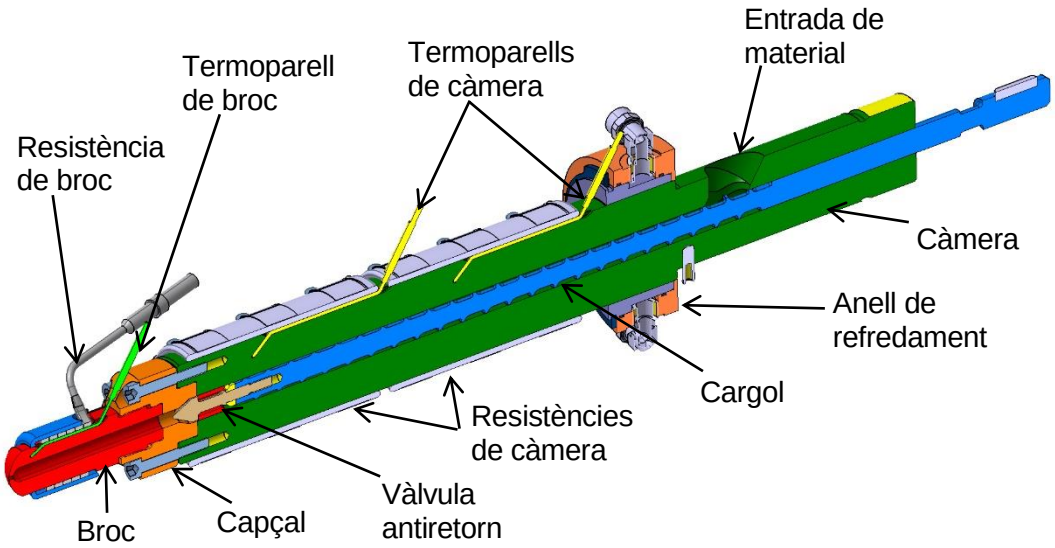

Fig. 5.2: Vista seccionada de la càmera de plastificació

El desenvolupament del projecte es realitza sobre la base de la combinació de càmera i cargol estàndard de Ø14. Així doncs, tant els plànols com els càlculs on intervé d'una manera determinant la geometria final de les peces que componen el mòdul de plastificació es refereixen a la combinació estàndard.

5.1.1. Cargol i vàlvula antiretorn

El cargol de plastificació que s'instal·la és un cargol estàndard de tres zones per termoplàstics donat que no se sap a priori el material a processar. En funció de la matèria primera es poden proposar dissenys més adaptats, però com a opció d'equipament original és la millor opció. El disseny d'un cargol d'aquest tipus està força normalitzat. A la Fig. 5.3 es mostren les seves mides bàsiques, les quals es relacionen amb el diàmetre del cargol segons la Taula 5.2.

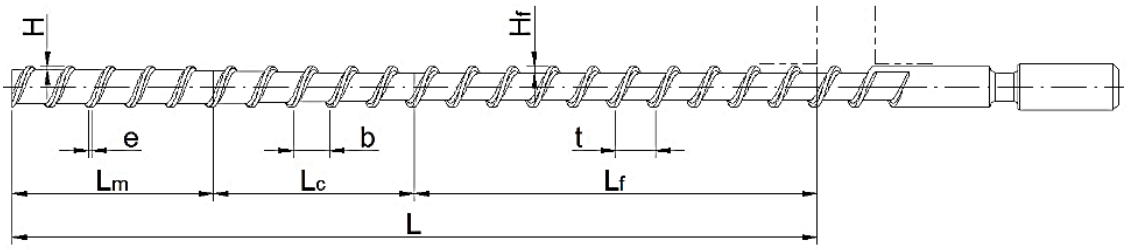

Fig. 5.3: Mides principals d'un cargol estàndard de tres zones per termoplàstics.

Pas	t	0,7÷1 D
Gruix del filet	e	0,1 D
Longitud total	L	20 D (20 t si t<D)
Longitud zona d'alimentació	L_f	0,5÷0,6 L
Longitud zona de compressió	L_c	L_c=L_m=0,2÷0,25 L
Longitud zona de dosificació	L_m	

Taula 5.2: Paràmetres habituals d'un cargol de tres zones per termoplàstics [10].

La profunditat del canal a la zona d'alimentació H_f i a la de dosificació H es poden determinar a partir de la Taula 5.3 ja que s'ha trobat que segueixen una relació de semblança segons l'equació (Eq. 5.3). Si sobre aquestes dades s'aplica un marge de variació de ±10% aleshores es cobreix la pràctica totalitat dels usos dels cargols de tres zones **[10]**.

$$H = H_0 \left(D/D_0\right)^{0,74} \qquad \text{(Eq. 5.3)}$$

on H_0 i D_0 són la profunditat del canal i el diàmetre d'un cargol del que es coneixen les seves mides i el seu correcte funcionament.

Diàmetre D [mm]	Profunditat canal alimentació H_f [mm]	Profunditat canal dosificació H [mm]	Relació de compressió (H_f/H)	Joc radial entre càmera i cargol δ [mm]
30	4,3	2,1	2,0:1	0,15
40	5,4	2,6	2,1:1	0,15
60	7,5	3,4	2,2:1	0,15
80	9,1	3,8	2,4:1	0,20
100	10,7	4,3	2,5:1	0,20
120	12	4,8	2,5:1	0,25
>120	màx. 14	màx. 5,6	màx. 3:1	0,25

Taula 5.3: Dimensions més significatives d'un cargol per diferents diàmetres [10]

Per a la mida de cargol estàndard de la unitat, Ø14, s'escull un pas t=12 mm i una longitud efectiva L=20·t=240 mm. La longitud efectiva ha de ser la mateixa per a les altres combinacions per tal que la longitud total del mòdul sigui la mateixa i es tingui total intercanviabilitat entre combinacions. La longitud d'alimentació es pren la meitat de la longitud efectiva, i les zones de compressió i dosificació iguals al 25% de la longitud efectiva. Pel que fa a les profunditats de canal, s'aplica l'equació (Eq. 5.3) fent servir les dades de la Taula 5.3 per un diàmetre 30. En resulta H_f=2,4 i H=1,2.

S'ha escollit un pas més petit que el diàmetre per poder obtenir una longitud total més curta tot conservant la relació L/t=20. Les dimensions totals de la unitat han de ser el més reduïdes possible. Òbviament aquesta relació és diferent per als altres diàmetres ja que la longitud efectiva és la mateixa. En el cas del Ø12 s'escull un pas igual al diàmetre, la qual cosa fa que les relacions L/t i L/D siguin iguals a 20. Per al gruix del filet s'ha conservat la relació e=0,1·D. A la Taula 5.4 s'hi troba un resum de les mides bàsiques per als tres cargols previstos.

diàmetre	D	mm	12	14	16
pas	t	mm	12	12	14
gruix del filet	e	mm	1,2	1,4	1,6
amplada del canal	b	mm	10,8	10,6	12,4
prof. canal aliment.	H_f	mm	2,2	2,4	2,7
prof. canal dosif.	H	mm	1,1	1,2	1,3
rel. compressió	i	-	2	2	2,08
angle d'hèlix	φ	°	17,66	15,26	15,56
longitud total	L	mm	240	240	240
longitud aliment.	L_f	mm	120	120	120
longitud compres.	L_c	mm	60	60	60
longitud dosif.	L_m	mm	60	60	60
joc radial	δ	mm	0,15	0,15	0,15
relació l/t	L/t	-	20	20	17,14
relació l/d	L/D	-	20	17,14	15

Taula 5.4: Resum de mides per als tres diàmetres de cargol previstos.

Amb aquestes dades i el desenvolupament matemàtic de les funcions del cargol realitzat a l'annex B, es poden fer estimacions de capacitat de plastificació, potència i parell motor. Òbviament aquests tres paràmetres estan molt influenciats pel tipus de material a processar. Cal dir que, en general, els materials amorfs es poden plastificar a més velocitat degut a que no tenen una temperatura de fusió pròpiament dita, si no un interval de transició vítria. Això implica que no se'ls ha d'aportar calor per al canvi d'estat ja que la seva entalpia de fusió és nul·la i és més fàcil d'obtenir una massa completament fosa a velocitats de rotació del cargol

altes. En canvi, els material semicristal·lins, si se'ls plastifica massa ràpid la probabilitat de que arribi material sòlid a la zona d'alimentació és molt més gran. En general, els materials semicristal·lins precisen d'una relació de compressió més gran per poder augmentar la capacitat de plastificació. A la Taula 5.5 es pot veure la producció de diferents termoplàstics amb el cargol Ø14 plantejat amb una contrapressió de 15 MPa.

Material		ABS (amorf)	PA 66 (cristal·lí)	PBT (cristal·lí)	PC (amorf)	PET (cristal·lí)	PS (amorf)
Temperatura	°C	245	290	260	300	280	240
Velocitat	rpm	171	81	44	140	21	270
Producció	g/s	1,6	0,39	0,37	1,5	0,17	2,5
Parell	Nm	7,09	1,73	2,68	7,89	2,24	5,66
Potència	W	127	14,7	12,3	116	4,92	160

Taula 5.5: Producció obtinguda per diferents termoplàstics amb el cargol Ø14.

D'altra banda la viscositat del material també afecta força aquests paràmetres. Es pot veure que la producció, la potència i el parell depenen molt de l'estructura del material i de la seva viscositat. Així el PS i el PC, tot i ser amorfs, tenen una gran diferència en viscositat. Això es deixa notar molt a la capacitat de plastificació per al PC. La diferència entre el PS i la PA es troba en el tipus d'estructura molecular, tot i ser de viscositats semblants.

Els valors de velocitat del cargol de la Taula 5.5 estan limitats per garantir que no arriba material sòlid a la zona de dosificació del cargol. Per tant es poden obtenir millors prestacions si es deixa que una petita part del material plastifiqui en aquesta zona. També s'ha de tenir en compte que els càlculs realitzats només tenen en compte la plastificació durant la fase de dosificació. Durant la resta del cicle de treball de la unitat d'injecció el cargol no gira, però el material continua absorbint calor de les bandes calefactores de manera que quan el cargol dosifica, el material es troba més calent i, per tant, es pot augmentar la velocitat de rotació i obtenir millors resultats.

El cargol es fabrica en acer d'eines de treball en fred X153CrMoV12 (1.2379) segons UNE-EN ISO 4957. Es prefereix aquest acer en lloc d'un acer de nitruració, per tenir una gran resistència al desgast abrasiu a més de bona tenacitat. Els acers de nitruració presenten una bona relació qualitat-preu i una capa superficial molt dura després de la nitruració que no perd la duresa en el seu funcionament en calent. A més, la nitruració inhibeix lleugerament la corrosió i aporta un augment significatiu del límit de fatiga. Els cargols nitrurats presenten també una gran resistència al desgast adhesiu i un bon coeficient de fricció de la superfície. En canvi tenen una vida molt curta quan processen termoplàstics tècnics fortament carregats de fibra de vidre i ignifugants i és aquí quan els acers de tremp integral exhibeixen les seves

qualitats. Donat que el diàmetre és petit, la diferència de preu no suposa un impediment en la selecció d'aquest tipus d'acer.

El cargol és una peça molt esvelta que es pot guerxar amb facilitat en el procés de fabricació i de tractament tèrmic. El procés de fabricació consisteix en el mecanitzat de la peça amb excedents a les zones del mànec i les crestes del filet. Posteriorment es procedeix al tractament tèrmic de tremp i revingut per assolir una duresa de 60÷62 HRc i un mecanitzat d'acabat a les zones d'ajust i la cresta del filet per garantir les toleràncies dimensionals i geomètriques. Finalment es poleix la superfície per obtenir una rugositat R_a<0,4.

La rectitud és molt important per tal que un eventual guerxament arribi a anular el joc radial existent entre el filet i la càmera de plastificació (0,15 mm). La zona no roscada ha de ajustar molt més amb la superfície del cilindre (H8/d7) actuant com a zona d'estanquitat a la part posterior del conjunt de plastificació, principalment per evitar que escapi polsim del polímer processat. L'ajust escollit està calculat per tal que no es pugui produir un gripatge degut a la diferència de temperatures entre el cargol i la càmera a la zona d'alimentació, com es pot comprovar a l'apartat C.1.3 de l'annex C. A la Fig. 5.4 es poden veure totes les zones crítiques.

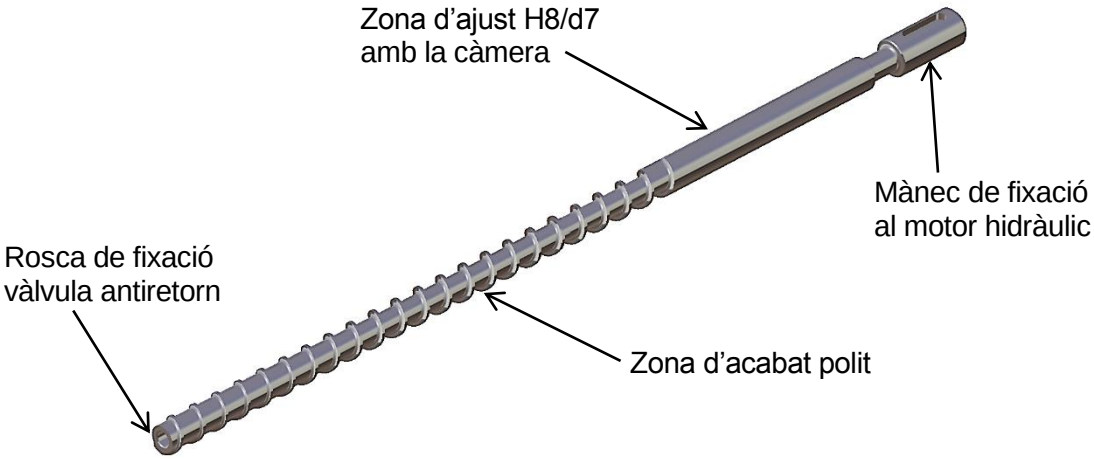

Fig. 5.4: Zones crítiques del cargol de plastificació.

A l'extrem que serveix com a mànec de fixació al motor hidràulic es preveu un xaveter per transmetre el moviment de rotació mitjançant una xaveta DIN 6885 5x5x22 forma A d'acer C45 (1.0503) UNE-EN 10083-2 muntada sobre un diàmetre de 16 mm. L'ajust amb l'eix motriu és H8/f7. La retenció axial s'aconsegueix amb anell obert que un cop muntat a l'eix motriu del motor abraça el mànec del cargol per la ranura. Aquesta retenció és important per poder fer recular el cargol per provocar una descompressió del material fos acabat de dosificar o per les feines de manteniment (Fig. 5.5) Sobre aquesta unió s'aprofundeix més a l'apartat 5.3 dedicat a l'accionament del cargol. La ranura que es practica és de 10 mm de diàmetre amb

radis generosos a les arestes de canvi de diàmetre per tal de no fer patir la peça a fatiga per la concentració de tensions.

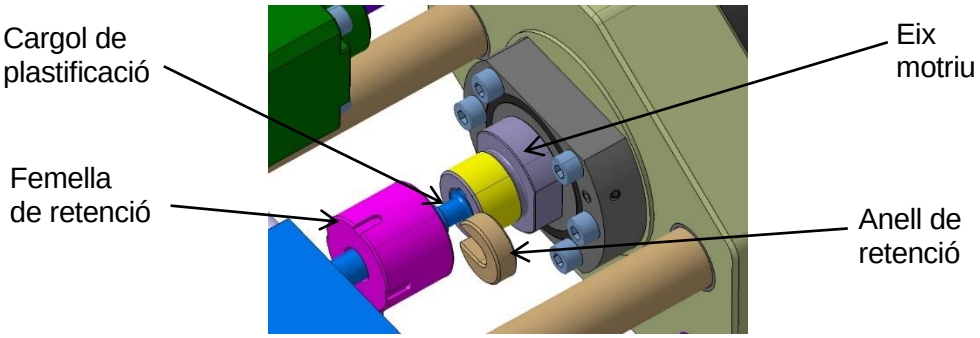

Fig. 5.5: Sistema de retenció axial mitjançant un anell de retenció.

A l'altre extrem, a la zona de dosificació del cargol es preveu un forat roscat M6 per a la fixació del terminal de la vàlvula antiretorn. Aquest forat disposa d'una zona Ø6H7 d'una llargada de 8 mm que ha de permetre el centratge precís de la vàlvula per evitar flexions que puguin produir un tancament defectuós de la vàlvula o el seu trencament. Al plànol PFC-0011 se'n poden veure tots els detalls constructius.

La vàlvula es composa de tres peces, com es pot veure a la Fig. 5.6: l'anell de seient, l'anell de tancament i la punta. Mentre dura l'etapa d'injecció, l'anell de tancament recolza contra l'anell de seient, el qual queda empaquetat entre la punta i el cargol, tancant el pas del plàstic des de la càmera formada per la vàlvula i el broc cap a la zona de plastificació entre el cilindre i el canal del cargol (Fig. 5.6b). És important que les cares còniques en contacte tinguin prou duresa per suportar el contacte. Durant l'etapa de dosificació, la pressió generada per la rotació del cargol sobre el material obliga l'anell de tancament a recolzar sobre les aletes de la puntera de manera que el plàstic pot fluir lliurement cap a la part davantera del cargol (Fig. 5.6a). Les superfícies de contacte no han de suportar un esforç de contacte tan gran com a l'etapa d'injecció, però sí que es produeix un esforç de fregament degut a la rotació del cargol. Per tant, és important que els materials emprats tinguin una bona resistència al desgast.

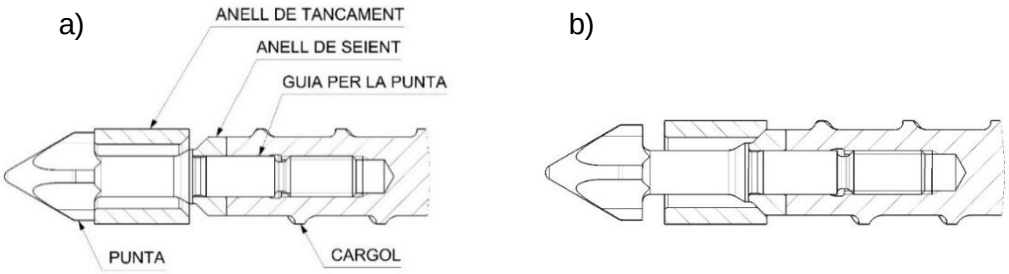

Fig. 5.6: Components de la vàlvula. a) vàlvula oberta; b) vàlvula tancada.

La secció de pas de material a la vàlvula no hauria de ser inferior al 80% de la secció anular lliure al final del cargol (si és possible, el 120%) **[11]**. L'extrem del cargol té un diàmetre de nucli de 11,6 mm, la qual cosa es tradueix en una secció de pas de 48 mm^2. La secció de pas a l'interior de la vàlvula és de 42,6 mm^2, la qual representa un 88% de la secció final al cargol. Les reduïdes dimensions de les peces impedeixen una secció de pas més optimitzada.

Respecte dels materials emprats en la construcció del conjunt de la vàlvula, existeix la tendència a fabricar l'anell de tancament amb un material més tou, de manera que realitza les funcions de peça de desgast. Així, quan es detecta que la vàlvula no tanca adequadament, només cal que sigui substituïda aquesta peça. La realitat es que en aquesta situació és més indicada la substitució de tot el conjunt i allargar els períodes de manteniment de la unitat d'injecció. En aquest cas s'opta per aquesta via i les tres peces que componen el conjunt es realitzen amb el mateix material endurits als mateixos valors de duresa: acer d'eines de treball en calent X40CrMoV5-1 (1.2344) segons UNE-EN ISO 4957 trempat i revingut a una duresa aproximada de 54÷56 HRc.

Moltes avaries per trencament de la vàlvula antiretorn estan produïdes per una elecció poc adequada de l'ajust entre l'anell de tancament i la càmera. El joc entre les dues peces ha de ser el necessari per limitar les fuites de material cap a la zona de plastificació, però si es massa petit es corre el risc de que amb la temperatura es pugui produir el gripatge de les dues peces. Aleshores la velocitat de dosificació és veu reduïda i el cargol ha de desenvolupar més pressió per aconseguir realitzar la dosificació. En el límit es produeix el desgast prematur de les aletes de la puntera o el trencament de la unió entre el cargol i la vàlvula. L'ajust escollit correspon a un ajust H8/e8.

Per poder collar amb el parell adequat cal fer servir una clau especial com la que es mostra a la Fig. 5.7 i que és subministrada com a accessori amb la màquina. El parell amb el qual s'ha de collar el conjunt no respon a la necessitat de subministrar una unió de qualitat perquè la força axial de tracció no és gran. Tot i així, s'aprofita la resistència del material i s'aplica un parell de muntatge de 10 Nm (apartat C.1.4. de l'annex C). Com es pot veure, la clau facilita enormement l'aplicació del parell amb una clau dinamomètrica. En el muntatge cal prendre la precaució de tenir les rosques i les superfícies de contacte entre l'anell de seient i el cargol ben netes i lliures d'impureses, i els caires sense marques o cops. Sobre el filet de les rosques i les cares de contacte, tant del forat del cargol com de la puntera de la vàlvula, és necessari aplicar una capa de pasta especial resistent a les altes temperatures, per exemple LOCTITE 8150, per evitar que es puguin quedar travades i no sigui possible un desmuntatge fàcil.

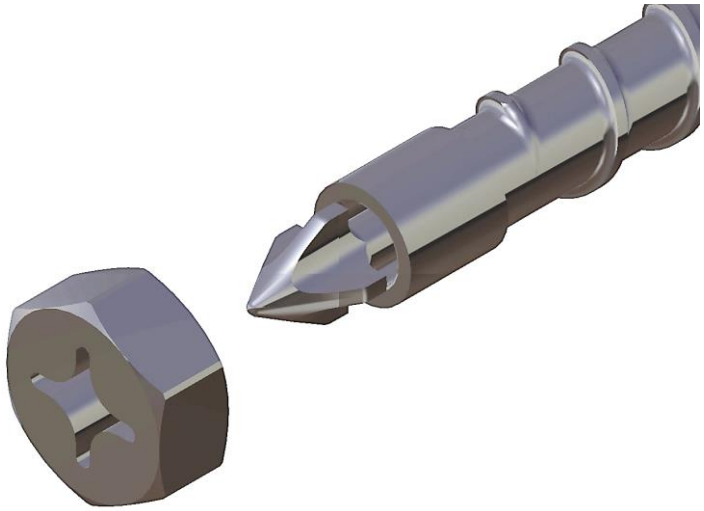

Fig. 5.7. Clau per al muntatge de la vàlvula antiretorn.

Els plànols constructius de l'anell de seient, de tancament i la punta són PFC-0020, PFC-0030 i PFC-0040 respectivament.

5.1.2. Càmera, capçal i broc

El conjunt format per la càmera de plastificació, el broc i el capçal, juntament amb els elements de calefacció i els sensors de temperatura, es pot dir que constitueixen la part estàtica del subconjunt de plastificació. Al seu interior s'allotja el cargol, per on es desplaça axialment i gira (Fig. 5.2).

La càmera (plànol PFC-0051) és un tub cilíndric a mode de canó fixat a la base de la unitat d'injecció. Les seves funcions principals són: servir de guia al desplaçament del cargol tot deixant un cert joc amb la cresta del filet per afavorir la plastificació del material i evitar gripatges; garantir una bona estanquitat amb l'anell de tancament de la vàlvula antiretorn; transmetre la potència calorífica dels elements de calefacció situats al seu contorn; i servir d'element estructural, garantint la correcta alineació de tot el conjunt.

Encara que geomètricament és una peça senzilla, la seva llargada juntament amb l'exactitud que requereix el diàmetre intern, fa que es tracti d'un component d'una fabricació complexa i acurada. El forat interior ha de ser prou recte per tal que el cargol no arribi a fregar en el seu moviment de rotació, tot mantenint un joc radial òptim amb la cresta del filet del cargol per aconseguir una bona plastificació del material. La tolerància d'aquest diàmetre està condicionada per l'ajust establert amb l'anell de la vàlvula antiretorn, H8/e8 (veure el paràgraf dedicat a la vàlvula a l'apartat anterior). La rugositat de la superfície interna (R_a=0,2; N4) té una especial importància ja que intervé en el correcte funcionament del conjunt càmera i cargol en la plastificació del polímer. La fabricació d'aquest tipus de peces es realitza amb

màquines i eines especialment dissenyades per acomplir els alts requeriments geomètrics i dimensionals foradant el cilindre en una sola operació.

El material escollit per fabricar la càmera és el mateix amb el que es realitza el cargol: acer d'eines de treball en fred X153CrMoV12 (1.2379) segons UNE-EN ISO 4957:2000, amb tractament tèrmic de tremp i revingut a una duresa de 60÷62 HRc. Finalment es poleixen les superfícies en contacte amb el plàstic.

La part posterior està cilindrada a Ø45g6 de manera que s'ajusti a la base de la unitat i queda fixada a aquesta mitjançant una femella estriada de precisió amb rosca M45x1,5. En aquesta part es troba la obertura d'entrada del material, la intersecció de la qual amb el forat interior ha de quedar totalment exempta de rebaves. Per garantir que en el muntatge aquesta obertura queda sempre alineada amb el pas provinent de la tremuja es preveu la instal·lació d'un passador a 180° respecte la obertura que encara amb una ranura mecanitzada al bloc de suport de la unitat.

El diàmetre exterior Ø55, encara que no ha de ser d'una dimensió gaire precisa, sí que és interessant que tingui una rugositat baixa ja que s'hi instal·len les resistències de calefacció i es millora d'aquesta manera la transmissió de calor. A la zona pròxima al recolzament al bloc base de la unitat, el diàmetre es deixa a Ø55,5j6 per al muntatge de l'anell de refredament amb ajust fix lleuger. A la part superior d'aquesta zona es realitzen dues ranures on es munten els sensors de temperatura.

A la part davantera s'instal·la el capçal, el qual resta fixat a la càmera mitjançant sis cargols. Sobre el capçal (plànol PFC-0060) es munta el broc (plànol PFC-0070) que realitza la connexió entre la càmera de plastificació i el canal de colada del motlle. El broc es podria fixar directament a la càmera. Aquesta opció té l'avantatge de que el muntatge es molt més simple ja que s'estalvien els cargols i el capçal, però si en una operació de manteniment o de canvi del broc es fes malbé la unió, caldria reparar la càmera, amb el cost que això comporta. La utilització del capçal evita aquesta possibilitat i afegeix l'avantatge de poder fer servir altres tipus de brocs i capçals. En qualsevol cas només caldria substituir o reparar el capçal i el muntatge no es veu gaire afectat.

El capçal es fabrica en acer d'eines de treball en calent X40CrMoV5-1 (1.2344) UNE-EN ISO 4957 amb tractament tèrmic de tremp i revingut a una duresa de 54÷56 HRc. Finalment cal rectificar les superfícies d'ajust i estanquitat, especialment aquelles cares planes que tanquen per testa amb la càmera i el broc (Fig. 5.8). Una zona cilíndrica de Ø30g6 s'encarrega de centrar el capçal respecte la càmera de plastificació. Es fixa a la càmera mitjançant sis cargols DIN 912 M6x35 de qualitat 12.9 els quals s'han de collar amb un parell de muntatge de 17 Nm. Sobre els cargols cal aplicar pasta lubricant antigripatge (p.e. LOCTITE 8150) per altes temperatures per garantir un muntatge i desmuntatge fàcil i precís.

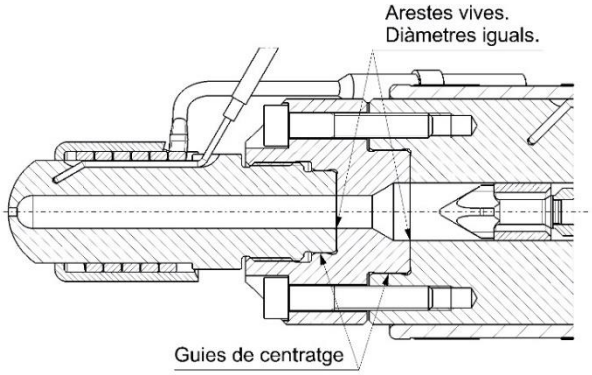

Fig. 5.8: Zones de centratge i arestes d'especial importància en la fabricació.

Aquesta unió ha de ser d'alta qualitat, ja que ha de suportar la pressió màxima que es pugui desenvolupar a l'interior de la càmera en el moment de la injecció (250 MPa per al cargol Ø12) sense que se separin les peces i es produeixi una fuita de material plàstic cap a l'exterior. Aquest extrem és nefast ja que el procés d'ompliment de la cavitat no és correcte i, a més, es posen en perill tots els elements exteriors (resistències i sensors fonamentalment).

Com es pot veure a l'apartat C.1.6. de l'annex C, un cop aplicada la màxima sol·licitació, encara queda una força d'unió prou gran entre ambdues peces (98% de la força de separació) de forma que encara que es faci servir la màxima pressió d'injecció la junta no s'obre.

El broc o filera es fixa directament al capçal mitjançant una rosca de M24x1,5. Consta d'una zona cilíndrica de Ø20g6 la funció de la qual és garantir el centratge i l'alineació amb tot el conjunt. Es fabrica en acer d'eines per a treball en calent X40CrMoV5-1 (1.2344) UNE-EN ISO 4759 amb tractament tèrmic de tremp i revingut a una duresa de 54÷56 HRc, rectificant posteriorment les superfícies d'ajust i estanquitat (Fig. 5.8). El pas interior del material plàstic cal que estigui polit, sense marques profundes on es pugui acumular el material i degradar-se. En el diàmetre exterior es preveu una ranura que acaba en un forat cap a l'interior on s'instal·la el sensor de temperatura.

S'ha escollit una punta esfèrica de R15 per al broc donada la major difusió d'aquest tipus entre els fabricants, però es podrien dissenyar brocs d'altres tipologies com a opció en un futur, per satisfer les diferents necessitats dels clients. Com ja s'ha explicat, el canvi és molt senzill: només cal retirar la resistència calefactora, el termoparell, i desmuntar el broc amb l'ajut d'una clau plana de 28 mm.

5.1.3. Elements de calefacció i control de la temperatura

Sobre l'exterior de la càmera de plastificació i sobre el broc es munten un seguit de resistències elèctriques la funció de les quals és la de complementar l'efecte calorífic de la fricció entre la gransa i les parets del cargol produïda per la rotació d'aquest. A més, intervenen

en el període transitori previ a l'arrencada escalfant tot el conjunt, ja que no seria possible amb el material en estat sòlid. És de vital importància per al procés controlar acuradament la temperatura de les diferents zones presents en el camí des de la obertura d'entrada de la gransa, on el material és sòlid, fins a la punta del broc, on el material és una massa fosa apta per a la injecció.

A banda de la necessitat d'un escalfament previ al començament del cicle de treball, la calefacció ha de contrarestar les fuites de calor cap al medi. En un procés d'elevada producció, com podria ser el cas de determinats processos d'extrusió, la potència calorífica deguda a la fricció, pot ser tan gran que, enlloc d'escalfar la càmera, caldria refrigerar-la. Aquest, però, no és el cas habitual de l'emmotllament per injecció, la qual cosa obliga a fer servir mitjans de calefacció per ajudar la funció del cargol.

En el cas del broc, la instal·lació d'una resistència elèctrica ve donada per les pèrdues de calor cap al medi, bé sigui a l'aire com per conducció cap el canal de colada del motlle, en el qual recolza. S'evita d'aquesta manera que el material pugui solidificar al conducte del broc i que quedi obturat.

Per tal que la plastificació es dugui a terme de forma òptima cal controlar la temperatura de la massa d'emmotllament. Això, però, no és viable, ja que implicaria situar sensors de temperatura a l'interior del cilindre, amb el conseqüent risc de fuites de material i d'avaries, a banda de l'alt preu d'aquest tipus de sensors. Generalment es controla la temperatura de punts pròxims al material però sense interferir en el flux d'aquest. Es pot dir que el control de la màquina intueix la temperatura del plàstic.

A la Fig. 5.2 es pot veure la disposició de les bandes de calefacció i els termoparells utilitzats. Les resistències envolten el cilindre i el broc i els termoparells se situen a mig camí entre la font de calor i el pas del material. D'aquesta manera es poden mantenir temperatures prou constants a l'interior, encara que no són les reals del material.

Cal puntualitzar que es parla de resistències elèctriques perquè és el mètode més estès i desenvolupat per generar la calor necessària, però es podrien fer servir altres mètodes com intercanviadors d'oli o aigua molt utilitzats per temperar els motlles. La unitat incorpora resistències elèctriques per aquest motiu, així com pel seu preu i disponibilitat.

L'escalfament de la càmera de plastificació no es pot realitzar amb una única resistència, ja que cal controlar la temperatura segons la zona de la càmera corresponent a les diferents zones del cargol. En general es programen temperatures diferents per a la zona d'alimentació, de compressió i de dosificació per obtenir un control més acurat de la temperatura de la massa fosa. La temperatura del broc es controla també de forma independent. Per tant la potència necessària estimada segons els càlculs previs s'ha de dividir entre les diferents zones.

S'ha establert que per escalfar la càmera cal una potència total de 1816 W que suposa una densitat de potència de 4,78 W/cm^2 (Ø55x220) i s'instal·len dues zones d'escalfament independents: zona d'alimentació i zona de dosificació. S'escullen dues resistències PIROSLIM de diàmetre interior Ø55 i una llargada de 100 mm amb una potència de 860 W a 230 V del fabricant italià MASTERWATT. El gruix de la banda de calefacció és de 3,5 mm.

Per la resistència del broc és necessària una potència de 65 W per al seu funcionament en cicle, a la que s'aplica un coeficient de seguretat mínim de 2. En resulta una potència aproximada de 130 W. Per disposar d'una potència elevada en un espai molt reduït es recorre a una resistència tubular de secció rectangular per conformar en fred del catàleg SPIRFLEX del mateix fabricant MASTERWATT. La secció escollida és de 2,2x4,3 de 450 mm de longitud activa i una potencia de 150 W a 230 V i es conforma en forma helicoïdal amb un diàmetre interior de 25 mm.

Pel que fa a les sondes de temperatura es recorre al catàleg del mateix fabricant. Se'n troben sondes de dos tipus: termoparells i termoresistències. Els termoparells es composen de dos fils de diferent material, units per l'extrem que s'encapsula dintre d'una beina. Aquesta unió es pot fer directament sobre la beina de manera que la sonda queda connectada a massa, o bé pot estar aïllada mitjançant pols mineral compactada. En variar la temperatura de la unió es genera una força electromotriu entre els dos fils capaç de ser interpretada pel sistema de control. Les sondes aïllades tenen una resposta més ràpida i són molt més robustes a les interferències electromagnètiques i les vibracions. Segons el tipus de materials emprats a la unió del termoparell es poden obtenir diferents rangs de mesura de la temperatura. Els tipus més usuals són els termoparells tipus J i K. El de tipus J permet mesurar la temperatura en el rang comprés entre 0° i 700° C, essent els materials ferro i cuproníquel, mentre que el de tipus K arriba fins als 1200° C i els materials són níquel i nicrom.

Les sondes resistives consten d'un element la resistència elèctrica del qual és variable amb la temperatura. Són molt més precises a temperatures baixes i tenen una resposta molt més lineal que els termoparells, però no poden suportar temperatures tan altes com aquests.

Per al control de la temperatura de la càmera s'instal·len dos termoparells TCN 4700 i per al broc un termoparell TCN 2710. Es tracta de termoparells de tipus J aïllats de massa en pols compactada d'òxid de magnesi de diàmetre 2x100 els primers i de 1,5x50 el segon.

Al broc, un cop muntades la sonda de temperatura i la resistència, es cobreix amb un protector en forma de caputxó per protegir els elements elèctrics (plànol PFC-0131).

5.1.4. Anell de refredament

A la zona més pròxima al bloc de suport de la unitat es munta un anell de refredament per mantenir la zona de la caiguda del plàstic a una temperatura controlada i propera a la que es

troba la gransa a la tremuja. És important poder controlar la temperatura d'aquesta zona per tal que no es produeixin taps de material al cargol per excés de temperatura al forat d'entrada a la càmera. La seva funció és evitar que el bloc base es pugui escalfar en excés.

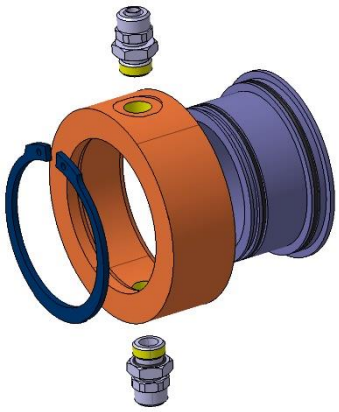

Fig. 5.9: Imatge en explosió de l'anell de refredament.

Es composa d'un anell interior que ajusta amb la càmera de plastificació sobre el que es munta un altre anell creant una cavitat interna per la que pot passar refrigerant per condicionar la zona. La estanquitat es realitza mitjançant dues juntes tòriques en material FKM (elastòmer de fluorocarboni segons ISO 1629) de 70 Shore A de duresa per suportar altes temperatures. El conjunt es tanca amb un anell de retenció DIN 471 Ø65.

Donat que es tracta de fet d'un senzill intercanviador de calor, ambdós anells es mecanitzen en alumini AW-5052 EN 573 i posteriorment s'anoditzen per augmentar la resistència a la corrosió del medi de refrigeració. A l'anell interior es mecanitzen les ranures de les tòriques i de l'anell de retenció i a l'anell exterior es mecanitzen dos espiralls ISO 1179-1 G1/4 a 180° per la entrada i sortida del fluid refrigerant.

5.2. Accionament de la injecció

El moviment de translació del cargol el permet ser emprat com a èmbol per introduir el plàstic fos a la cavitat del motlle. Com ja s'ha comentat al principi d'aquest apartat, aquest moviment es realitza mitjançant dos cilindres hidràulics situats simètricament respecte de l'eix de la unitat d'injecció, en un pla horitzontal. Aquests cilindres han de ser capaços de subministrar la velocitat i pressió necessàries per al correcte ompliment del motlle.

Les dades inicials per al càlcul d'aquests cilindres han quedat definides a la Taula 5.1 i són una força d'injecció d'uns 28,1 kN i una velocitat mínima de 150 mm/s per tal de tenir unes prestacions adequades per a la seva funció.

Com es pot comprovar a l'equació (Eq. 5.4) per assolir aquestes prestacions es tenen quatre paràmetres que cal establir: la pressió i el cabal del sistema hidràulic i els diàmetres de l'èmbol i de la tija dels cilindres. Per tant, s'han de decidir prèviament dos d'aquests paràmetres per poder obtenir-ne els altres dos. Donat que els elements d'estanquitat s'han d'escollir al mercat, és prudent fixar els diàmetres del pistó i de la tija dels cilindres i calcular la pressió i el cabal de la central hidràulica necessaris per assolir les prestacions requerides.

$$\left.\begin{aligned} p_h &= \frac{F_{inj}}{2\cdot\frac{\pi}{4}\cdot\left(D^2-d^2\right)} \\ Q_h &= 2\cdot\frac{\pi}{4}\cdot\left(D^2-d^2\right)\cdot v_{inj} \end{aligned}\right\} \qquad \text{(Eq. 5.4)}$$

Per una certa combinació de diàmetres de pistó i de tija del cilindre s'obtenen les corresponents pressió i cabal que ha de subministrar la central hidràulica de la màquina. A la Taula 5.6 es troben tabulades algunes de les diferents opcions.

Ø cilindre [mm] Ø tija [mm]	Relació d'àrees	Pressió hidràulica [MPa]	Cabal hidràulic [l/min]
36/16	1,25	17,2	14,7
36/18	1,33	18,4	13,7
40/18	1,25	14	18
40/20	1,33	14,9	17
45/20	1,25	11	23
45/22	1,31	11,6	21,8

Taula 5.6: Pressió i cabal hidràulics per diferents combinacions pistó/tija dels cilindres

No s'observen parelles amb camisa superior a 45 mm de diàmetre per raons d'espai, ja que interessen les opcions de dimensions més petites possibles. Les parelles amb cilindre de Ø36 requereixen pressions massa altes, mentre que les parelles amb cilindre Ø45 precisen de cabals molt alts. S'escull la parella 40/20 la qual necessita d'una pressió de 15 MPa, considerada mitja pressió, i un cabal de 17 l/min. Aquestes dades influeixen sobre el disseny de la resta d'accionaments de la màquina, encara que cal analitzar els requeriments d'aquests, especialment el motor del cargol i les cilindrades de les bombes disponibles al mercat.

Amb la dada de cabal hidràulic de 17,6 l/min definida a l'apartat 5.8.1 després de considerar les necessitats de la resta d'accionaments i les bombes i motors disponibles al mercat, les prestacions d'injecció de la unitat són una força màxima de 28,3 kN i una velocitat màxima de 156 mm/s.

Constructivament els cilindres aprofiten la base de la unitat d'injecció com a culata posterior i així es composen únicament de l'èmbol o pistó, la tija, la camisa i la culata davantera, i tots els elements d'estanquitat necessaris. A la Fig. 5.10 es pot veure una vista en explosió del conjunt (plànol PFC-8041).

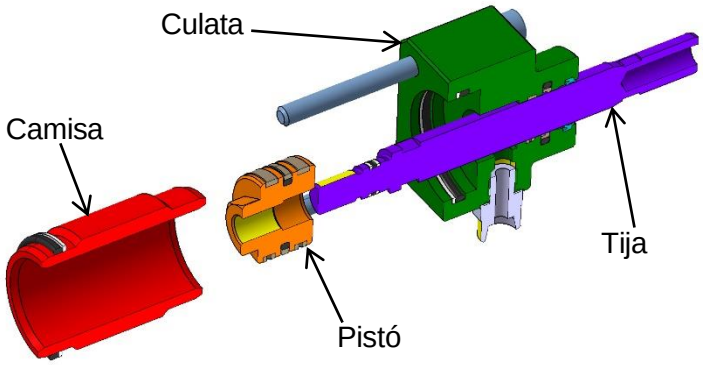

Fig. 5.10: Vista en explosió d'un dels cilindres hidràulics d'injecció.

La camisa del cilindre (plànol PFC-0210) es fabrica a partir de tub lapidat d'acer E355 (1.0580) UNE-EN 10305-1 de Ø55 exterior i Ø40 interior. Aquest tipus de tub ja té l'interior acabat amb una tolerància H8 i una rugositat R_a≤0,4 µm apte per al seu ús directe i només cal mecanitzar els extrems. A l'interior es disposen de xamfrans amb arestes arrodonides per evitar que les juntes es puguin fer malbé en el muntatge.

Els extrems exteriors es rebaixen fins un diàmetre Ø50f7 que s'encarrega d'ajustar amb les culates on es troben unes regates per una junta tòrica i el seu respectiu anell de recolzament. L'ajust entre els allotjaments de les tapes i la camisa és el recomanat per aplicacions estàtiques de juntes tòriques, Ø50H8/f7. A l'apartat C.2.1 de l'annex C es pot trobar el càlcul de comprovació del gruix del cilindre.

El pistó o èmbol disposa de dos anells de guia per evitar el contacte directe entre els metalls de la camisa i el pistó. Entre ambdós anells una junta activada per una junta tòrica garanteix l'estanquitat entre les dues càmeres que es formen a cada banda del pistó. El joc radial amb la camisa ve determinat pels anells de guia (0,25÷0,4 mm) ja que la junta accepta un joc radial de fins a 0,5 mm. Això implica un diàmetre exterior del pistó Ø39,3+0,1. Es mecanitza en acer de fàcil mecanització 11SMn30 (1.0715) segons UNE-EN 10087. Sobre una de les cares laterals es realitza un forat Ø15H8 on s'allotja la tija del cilindre. A l'altra cara es disposa un botó hexagonal de 22 mm de distància entre cares amb forat roscat a M14x1,5 destinat a fixar la peça a la tija. Els detalls constructius del pistó es troben al plànol PFC-0181.

La tija (PFC-0191) es fabrica a partir de barra d'acer 42CrMo4 (1.7225) UNE-EN 10083-1 ja bonificada i cromada de Ø20f7. El recobriment de crom dur té 25 µm de gruix i una duresa

superficial de 67 HRc amb una rugositat R_a≤0,25 µm en concordança amb les juntes d'estanquitat instal·lades a la culata davantera. En un extrem disposa d'una espiga amb una ranura per junta tòrica i els seus respectius anells de recolzament amb l'extrem roscat a M14x1,5 per la fixació al pistó i per l'altra un forat M12 per a fixació de la placa de suport del motor de plastificació. En aquest darrer extrem, el diàmetre es redueix fins a Ø18 per ajustar als forats realitzats a la placa i a ambdós extrems es disposen quatre plans de 16 mm d'entrecares per agafar la tija amb una clau i evitar que giri en el moment del muntatge. L'esglaonament de l'eix permet que les juntes de la tapa davantera no es trobin amb les arestes dels plans de fixació i es puguin fer malbé en el muntatge.

La culata o tapa davantera tanca el cilindre tot deixant pas a la tija. S'hi instal·len els elements d'estanquitat adients per evitar fuites d'oli hidràulic cap a l'exterior i l'entrada de partícules estranyes a l'interior del circuit hidràulic. Es realitza per mecanització d'acer S355J2 (1.0577) UNE-EN 10025-2. El forat de pas de la tija deixa un joc radial màxim de 0,25 mm capaç de suportar una pressió màxima de 20 MPa, que és la pressió que es podria assolir en cas que la línia hidràulica de retorn s'obturés. Això, amb una tija Ø20f7, és un forat Ø20,5H9. En una de les cares laterals es mecanitza un espirall ISO 1179-1 G1/4 per l'alimentació d'oli per al moviment de injecció. Al plànol PFC-0200 es poden veure tots els detalls.

Donat que es munten dos cilindres en paral·lel, és molt important que les longituds de les tiges sortints tinguin molta precisió per tal d'evitar flexions indesitjables del conjunt de motor en arribar als extrems de la cursa. Això pot provocar moviments laterals, amb esforços descontrolats, i desalineació del cargol de plastificació a l'interior de la càmera. Les tiges, els pistons i les camises han de ser fabricants amb tolerències estretes.

El conjunt es tanca contra la base de la unitat d'injecció mitjançant quatre cargols DIN 912 M8x100 de qualitat 8.8 collats amb un parell de 27 Nm i muntats amb pasta lubricant de MoS_2. El càlcul de comprovació de la unió es pot veure a l'apartat C.2.3 del volum d'annexes.

Els elements d'estanquitat s'escullen en els catàlegs de juntes Trelleborg Sealing Solutions, fabricant molt prestigiós de juntes d'estanquitat per als sectors industrial, de la hidràulica mòbil i de la aeronàutica.

Per al pistó s'escullen els següents elements:

- junta de pistó de doble efecte Glyd Ring T en material Turcon T46 activada per junta tòrica en material NBR de 70 Shore A 32,92x3,53 (PT0200400-T46N).
- dos anells de guia Slydring en Turcite T47 (GP6500400-T47).
- tòrica 12,42x1,78 en NBR (ORAR00014-N7083) amb dos anells de recolzament en PTFE natural Ø15xØ12,4x1,4 (BH1300150-PT00).

Per a l'estanquitat entre la tija i la culata davantera:

- una junta de tija de simple efecte Stepseal 2K en material Turcon T46 activada per junta tòrica en NBR de 70 Shore A 23,40x3,53 (RSK200200-T46N).
- anell de guia Slydring en Turcite T47 (GR4300200-T47).
- rascador de poliuretà Zurcon Z201 de 92 Shore A (WD2200200-Z201).

Per l'estanquitat entre la camisa i les tapes:

- juntes tòriques en NBR de 70 Shore A 50,39x3,53 (ORAR00226-N7083)
- anells de recolzament en PTFE natural 50x55,4x1,4 (BU2700500-PT00)

Al plànol PFC-8041 s'hi troben tots els detalls constructius i de muntatge.

5.3. Accionament del cargol

Per accionament del cargol s'entén el mecanisme que permet fer girar el cargol de plastificació per aconseguir una massa fosa de plàstic de bona qualitat per ser injectada a la cavitat del motlle. Pròpiament aquest apartat hauria d'incloure el dedicat a l'accionament de la injecció (5.2) però es presenten per separat donada la diferència de funció que duen a terme ambdós moviments en el cicle de treball de la màquina. Així doncs es pot resumir aquest accionament, com l'òrgan de dosificació del plàstic.

Consta d'un motor hidràulic que proporciona la velocitat de rotació i el parell necessaris al cargol a través d'un eix motriu suportat per uns rodaments capaços d'absorbir càrregues axials. La unió de l'eix motriu amb el motor per una banda i el cargol de plastificació per l'altra es realitza mitjançant xavetes. El motor ja la du incorporada, mentre que al cargol s'ha escollit la xaveta degut a que és una forma senzilla d'unió que es pot trobar amb facilitat al mercat. A l'apartat C.3.1. de l'annex C es presenta la comprovació dels esforços als que està sotmesa la unió.

A la Fig. 5.11 es pot veure una imatge del conjunt en explosió on s'identifiquen els diferents elements que el composen.

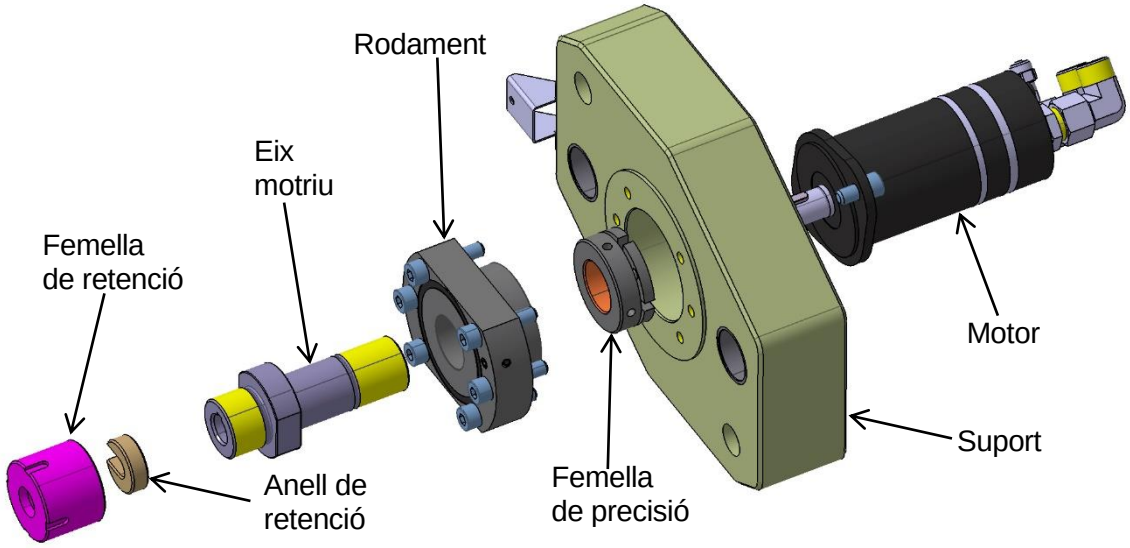

Fig. 5.11: Vista en explosió del conjunt d'accionament del cargol de plastificació.

De motors hidràulics se'n troben de diverses tipologies segons el parell i la velocitat que es requereixi. Així es poden distingir entre motors d'engranatges externs i interns, motors de paletes i motors de pistons axials i radials. Per grans potències es tenen els motors de pistons axials o radials molt utilitzats en màquines d'emmotllament per injecció de gran capacitat, mentre que per potències més aviat baixes es fan servir més els motors d'engranatges interns. De fet, els diferents tipus de construcció responen als mateixos criteris que s'adopten per les bombes hidràuliques i en moltes ocasions poden fer ambdues funcions.

Segons les estimacions fetes a l'apartat C.1.1 de l'annex C, el parell necessari per plastificar un bon ventall de polímers tècnics es trobaria per sobre de 36 Nm amb el cargol de Ø16. La velocitat de rotació ve determinada per la màxima velocitat perifèrica que poden suportar els polímers. Aquesta velocitat es troba entre 0,2 i 0,4 m/s en aplicacions estàndard i 0,05 a 0,2 m/s per aplicacions de baixa velocitat **[12]**. Una velocitat tangencial de 0,4 m/s es tradueix per els cargols de Ø12, Ø14 i Ø16 en velocitats de rotació de 637, 546 i 478 rpm respectivament. El motor hidràulic de plastificació ha de ser capaç de subministrar un parell de 36 Nm i una velocitat de gir de 550 rpm amb les prestacions hidràuliques definides de 150 bar i 17,6 l/min als apartats 5.2 i 5.8.1 respectivament.

Al programa de motors orbitals del fabricant danès Danfoss els que millor s'adapten a les característiques de parell i velocitat són els de tipus OML i OMM, encara que tots dos tipus treballen a pressions inferiors a 150 bar. Cal per tant, limitar la pressió a la línia hidràulica del motor per evitar la sobrecàrrega, tant del motor, com dels cargols.

Amb aquestes dades s'escull un motor orbital OMM 32 del qual es pot veure el seu diagrama funcional a la Fig. 5.12. La zona de color blau delimitada per les corbes de 100 bar i de 20

l/min marquen la zona de funcionament continu (marcat amb la lletra A). La resta (lletra B) es reserva per funcionament intermitent sempre que la pressió i el cabal no siguin superats simultàniament i que el temps d'operació no sigui superior al 10% en cada minut.

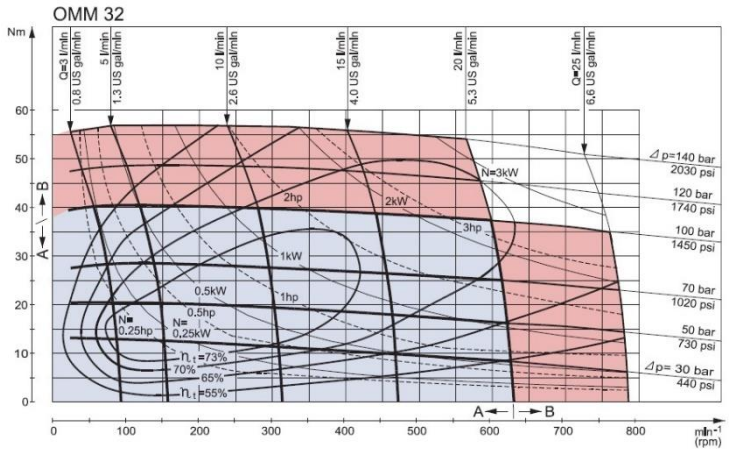

Fig. 5.12: Diagrama de funcionament del motor hidràulic OMM 32 [13].

Cal instal·lar una vàlvula limitadora de pressió tarada a la pressió adient al diàmetre de cargol que s'hagi instal·lat per protegir tant el motor com el cargol de sobrecàrregues. Segons l'apartat C.1.1, es tara la vàlvula a 100 bar quan s'instal·la el cargol de Ø16, a 70 bar per al cargol de Ø14 i a 50 bar amb el de Ø12, d'on resulten parells màxims de 40, 28 i 21 Nm. A l'apartat C.1.2 de l'annex C es comprova la resistència a la torsió i a la fatiga dels diferents cargols. La velocitat de rotació màxima que es pot obtenir amb un cabal hidràulic de 17,6 l/min és de 558 rpm que es tradueix en velocitats tangencials de 0,35, 0,41 i 0,47 m/s.

El motor OMM 32 disposa d'un eix de sortida de Ø16 amb una xaveta plana DIN 6885 forma A 5x5x16 i preses d'oli i drenatge a la culata posterior. La fixació es realitza amb una brida amb dos cargols M8x16 al seu suport.

Aquest suport allotja un rodament de boles de contacte angular especialment concebut per suportar les càrregues axials de cargols sense fi de màquines eina, el qual s'encarrega d'absorbir les forces axials que es produeixen durant las fases d'injecció, dosificació i descompressió. Es fabrica en acer S355J2 (1.0577) UNE-EN 10025-2 o qualsevol altre acer estructural sense necessitat de tractament tèrmic. S'hi fixen les tiges dels cilindres hidràulics d'injecció amb dos cargols DIN 912 M12x35 de classe 8.8 collats amb un parell de 93 Nm amb bona lubricació de les rosques. El suport aprofita les tiges dels cilindres que accionen la unitat per apropar el broc al motlle com a guia i recolzament per evitar la flexió de tot el conjunt degut al pes. D'aquesta manera, l'alineament de la càmera i del cargol de plastificació es manté en cas de muntatge de la unitat en posició horitzontal. El recolzament es realitza mitjançant dues dolles lliures de manteniment en plàstic Iglidur del fabricant alemany Igus. La seva referència comercial és GSM-2832-30.

Les càrregues axials que es generen sobre l'eix en el cicle de treball són absorbides per un rodament de boles de contacte angular especialment dissenyat per suportar eixos roscats de màquines eina. S'escull un rodament del fabricant alemany Schaeffler de tres fileres de boles de contacte angular DKLF30100-2RS. Dues de les fileres treballen en el mateix sentit, de manera que la capacitat de càrrega és més alta en aquest sentit. Les peces adjacents al rodament són de disseny molt simple ja que incorpora una brida de fixació amb cargols. A la Fig. 5.13 és pot veure un dibuix constructiu del tipus de rodament seleccionat. El diàmetre de l'eix és de 30 mm, el diàmetre de l'allotjament de 62 mm i la brida té un diàmetre exterior de 100 mm. Com es pot comprovar a l'apartat C.3.2. de l'annex C suporta perfectament les càrregues esmentades. El rodament incorpora també obturacions de llavi per evitar la fuita del lubricant amb el que són subministrats i la entrada d'agents externs que puguin escurçar la seva vida.

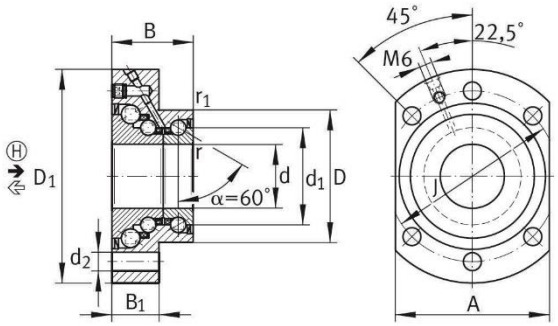

Fig. 5.13: Rodament INA DKLFA30100-2RS per cargols sense fi de màquines eina [14]

L'eix motriu es fabrica en acer de cementació 15NiCr13 (1.5752) amb una capa cementada d'un gruix de 0,6 mm i una duresa de 58÷60 HRc. Cal protegir les rosques del cementat per evitar que els fils de rosca quedin massa fràgils. Després del tractament tèrmic cal una operació de rectificat per aconseguir la precisió i l'acabat superficial adequats.

Els dos extrems tenen un forat Ø16H8 per allotjar el cargol de plastificació per una banda (ajust H8/f7) i l'eix del motor hidràulic per l'altra. Ambdós forats consten de xaveter per a la transmissió del parell motor.

L'extrem corresponent al motor està rectificat a Ø30h6 per al muntatge del rodament i una rosca precisa M30x1,5 6g permet la precàrrega del rodament mitjançant la femella AM30. Un esglaonament fins a Ø48 permet recolzar l'anell interior del rodament d'acord amb les recomanacions del fabricant. En aquest diàmetre s'han previst dues cares planes per poder agafar la peça amb una clau plana per evitar el gir i facilitar el muntatge. El plànol PFC-0470 conté tots els detalls de fabricació de l'eix.

L'altre extrem es rosca a M33x2 per poder collar la femella que suporta l'anell de retenció axial del cargol de plastificació. Tant la femella com l'anell es fabriquen en acer 11SMn30 (1.0715)

UNE-EN 10087. La seva funció és la de retenir axialment el mànec del cargol per tal de poder estirar d'ell i crear una descompressió a la càmera d'injecció. Aquesta descompressió està limitada pel sistema hidràulic a 50 bar als cilindres hidràulics ja que no és necessari que actuï tota la força que poden desenvolupar els cilindres hidràulics.

La femella, roscada a M33x2, disposa d'unes ranures per poder-la collar amb una clau de ganxo. En el muntatge, cal col·locar prèviament l'anell, el qual està dotat d'una obertura que permet encaixar-lo a la ranura disposada al cargol de plastificació. Un cop encaixat tot el conjunt, es colla a l'eix motriu.

5.4. Accionament de la unitat

Es tracta de l'accionament que permet apropar el broc al motlle tot mantenint una força de contacte amb el canal de colada per tal d'evitar fuites de material. Aquest moviment es confia a dos cilindres hidràulics paral·lels i coaxials amb els cilindres d'injecció. Formen un pla horitzontal en el que també s'hi troba l'eix de la càmera de plastificació i el broc. D'aquesta manera no es creen esforços deguts a parells de forces en el broc ni a la unitat i el recolzament és precís. El moviment de la unitat ha de ser ferm i suau.

La combinació de pressió i cabal definida (150 bar i 17,6 l/min) requereix d'una potència superior a la del motor instal·lat (4 kW). Per tal de no sobrecarregar el motor sense necessitat es limita la pressió màxima disponible per l'accionament de la unitat a la pressió corresponent a la potència instal·lada al grup motobomba. Aquesta pressió és:

$$P = \frac{\eta \cdot N}{Q} = \frac{0{,}82 \cdot 4\,kW}{17{,}6\,l/\min} = 11{,}2\ MPa \qquad \text{(Eq. 5.5)}$$

on η és el rendiment total de la bomba, N és la potència del motor elèctric i Q és el cabal hidràulic del sistema.

Amb les dades ja definides de pressió i cabal (110 bar i 17,6 l/min) es poden tabular les diferents parelles de camisa i tija que poden respondre a les necessitats de la màquina: una força de recolzament del broc de 13 kN com a mínim. Els cilindres són de doble tija per tal que la unitat es pugui recolzar per la part del darrera per tal d'evitar la flexió de les tiges en el muntatge en horitzontal. A més els cilindres de doble tija o tija passant tenen l'avantatge que les dues seccions del cilindre són iguals, de manera que les prestacions s'igualen en els dos sentits de funcionament i no es creen efectes hidràulics indesitjables en les línies de retorn. Les tiges posteriors serveixen com a guies del grup motor de plastificació per garantir un perfecte alineament de tots els elements mòbils.

Ø cilindre [mm] Ø tija [mm]	Força de recolzament [kN]	Velocitat d'aproximació [mm/s]
32/20	10,8	300
32/22	9,33	346
40/22	19,3	168
40/28	14,1	229
45/28	21,4	151
45/32	17,3	187

Taula 5.7: Força i velocitat de diferents combinacions camisa/tija a 110 bar i 17,6 l/min per als cilindres d'accionament de la unitat d'injecció.

Les parelles amb cilindre de Ø45 es descarten per l'elevada força de contacte entre el broc i el canal de colada del motlle i qüestió d'espai. Les parelles amb cilindre de Ø32 desenvolupen una força massa baixa. D'entre les parelles amb cilindre de Ø40 es prefereix la de tija de Ø28 per la rigidesa a flexió enfront de la tija de Ø22. Un avantatge de fer servir cilindre de Ø40 és que es pot aprofitar el material d'estanquitat dels cilindres d'injecció definits a l'apartat 5.2. A la Fig. 5.14 es pot veure una secció del disseny del cilindre.

L'acció dels cilindres en el recolzament es complementa amb dos antiretorns pilotats hidràulicament a ambdues línies hidràuliques (Fig. 5.15); un ajuda a que el broc es mantingui en contacte amb el motlle mentre dura la injecció i la dosificació, i l'altre evita el desplaçament pel propi pes quan la unitat es munta en posició vertical. Aquests antiretorns són del tipus inserible i es munten al bloc de suport de tots els elements que componen la unitat.

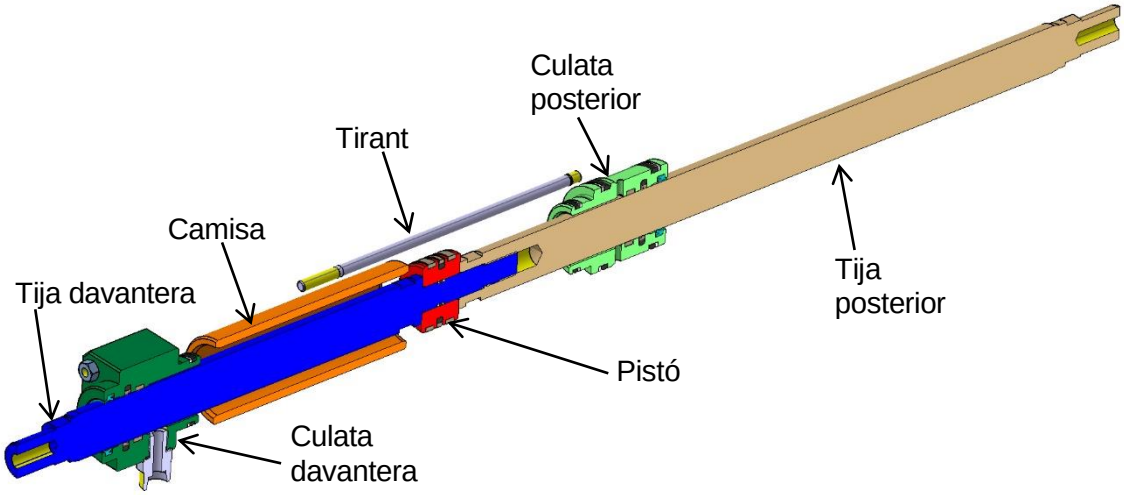

Fig. 5.14: Vista en explosió d'un dels cilindres hidràulics d'accionament de la unitat d'injecció

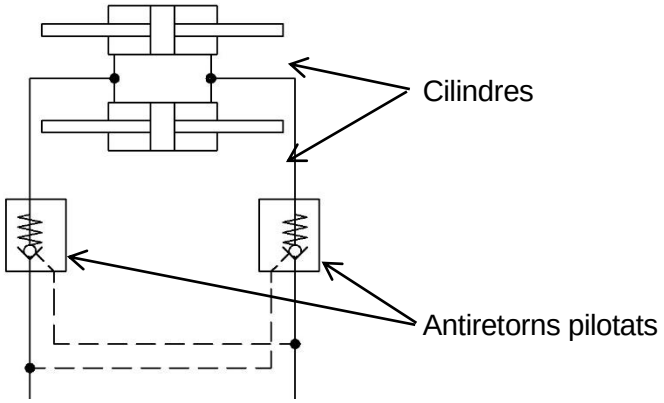

Fig. 5.15: Esquema hidràulic dels cilindres amb antiretorns.

Seguint els mateixos criteris de disseny dels cilindres d'injecció, la camisa (plànol PFC-0361) es fabrica partint de tub lapidat d'acer E-355 (1.0580) segons EN 10305-1 de Ø50 exterior i Ø40 d'interior. L'interior té una rugositat R_a≤0,4 µm i la tolerància del diàmetre és H8. Els extrems interiors disposen de xamfrans amb arestes arrodonides per evitar que les juntes es puguin fer malbé en el muntatge. A l'apartat C.4.1 de l'annex C es pot trobar el càlcul de comprovació del gruix del cilindre.

L'èmbol o pistó del cilindre és anàleg al dissenyat per al cilindre d'injecció. La diferència es troba en que el forat interior no va roscat, sinó que és passant Ø15H8, ja que es colla entre les dues tiges. Es fabrica en acer 11SMn30 (1.0715) UNE-EN 10087 i aprofita tot el material d'estanquitat del pistó del cilindre d'injecció. Els detalls constructius de la peça es poden veure al plànol PFC-0332.

La tija, donat que és passant, s'ha de fabricar en dues peces, que un cop unides amb el pistó formen una tija de 740 mm. Ambdues es fabriquen a partir de barra bonificada i cromada d'acer 42 Cr Mo 4 (1.7225) UNE-EN 10083-1 de Ø28f7. D'acord amb els requeriments de les juntes d'estanquitat instal·lades a les culates, el recobriment superficial de crom dur és de 25 µm de gruix amb una duresa de 67 HRc i una rugositat R_a<0,25 µm. Com en totes les peces on intervenen juntes d'estanquitat, els extrems estan dotats de xamfrans per evitar que aquestes es puguin fer malbé en el muntatge. Els extrems exteriors de les dues parts són iguals: una zona cilíndrica de Ø20 per al centratge a les peces de fixació al motlle amb forat roscat M10 amb un esglaonament fins a Ø26 que facilita la inserció de les juntes d'estanquitat de les culates i quatre cares planes per evitar el gir en el muntatge.

La tija davantera (PFC-0342) disposa d'una espiga de Ø15f7 amb una ranura per una junta tòrica amb els seus respectius anells de recolzament, i una rosca M14x1,5 per fixar a la tija posterior. Aquesta darrera (PFC-1530) disposa d'un forat de Ø15H8 per centrar amb l'espiga de la davantera.

La tapa o culata davantera del cilindre permet la sortida de la tija per la part davantera del cilindre. Al forat de pas s'hi mecanitzen les ranures adients per muntar les juntes d'estanquitat per suportar la pressió hidràulica interior sense fuites d'oli cap a l'exterior i no permetre l'entrada de partícules estranyes al circuit hidràulic. Es mecanitza en acer S355J2 (1.0577) UNE-EN 10025-2 (veure plànol PFC-0351). En una de les cares laterals es realitza un espirall ISO 1179-1 G1/4 per l'alimentació d'oli per al moviment d'apropament de la unitat al motlle.

La culata posterior és anàloga a la davantera, amb el mateix sistema d'estanquitat, encara que en aquest cas és cilíndrica en lloc de quadrada i s'afegeixen dues ranures per l'estanquitat exterior amb l'allotjament al bloc de suport. Es fabrica amb el mateix tipus d'acer. El plànol constructiu és el PFC-1540.

Finalment, tot el conjunt queda tancat i allotjat a la base de la unitat mitjançant quatre tirants DIN 939 M6x180 de resistència 8.8 collats i les respectives femelles DIN 934. El parell de muntatge és de 11 Nm i muntats amb pasta lubricant de MoS_2. La unió està comprovada a l'apartat C.4.2.

Quant als sistemes d'estanquitat, per al pistó s'escullen els mateixos elements que per al cilindre de Injecció:

- junta de pistó de doble efecte Glyd Ring T en material Turcon T46 activada per junta tòrica en material NBR de 70 Shore A 32,92x3,53 (PT0200400-T46N).
- dos anells de guia Slydring en Turcite T47 (GP6500400-T47).
- tòrica 12,42x1,78 en NBR (ORAR00014-N7083) amb dos anells de recolzament en PTFE natural Ø15xØ12,4x1,4 (BH1300150-PT00).

Per a l'estanquitat entre les tiges i les culates:

- una junta de tija de simple efecte Stepseal 2K en material Turcon T46 activada per junta tòrica en NBR de 70 Shore A 32,92x3,53 (RSK100280-T46N).
- anell de guia Slydring en Turcite T47 (GR4300280-T47).
- rascador de poliuretà Zurcon Z201 de 92 Shore A (WD2200280-Z201).

Per l'estanquitat entre la camisa i les tapes:

- juntes tòriques en NBR de 70 Shore A 34,59x2,62 (ORAR00126-N7083)
- anells de recolzament en PTFE natural 40x36x1,4 (BH200400-PT00)

Per l'estanquitat de la culata posterior amb el bloc de suport:

- junta tòrica en NBR de 70 Shore A 40,87x3,53 (ORAR00223-N7083) amb anell de recolzament en PTFE natural 48x42,6x1,4 (BH2700480-PT00)
- junta tòrica en NBR de 70 Shore A 44,04x3,53 (ORAR00224-N7083) amb anell de recolzament en PTFE natural 50x44,6x1,4 (BH2700500-PT00)

Al plànol PFC-8052 s'hi troben tots els detalls constructius i de muntatge.

5.5. Bloc de suport de la unitat

El bloc de suport és la base on es munten tots els accionaments descrits fins al moment i d'altres accessoris necessaris per al correcte funcionament de la unitat d'injecció. Es tracta doncs d'una peça estructural que ha de garantir el posicionament precís de tots els elements i que té, a més, funcions hidràuliques, ja que s'hi disposen els passos d'oli i els antiretorns comentats a l'anterior apartat. A les figures Fig. 5.16 i Fig. 5.17 es poden veure dues vistes diferents de la peça.

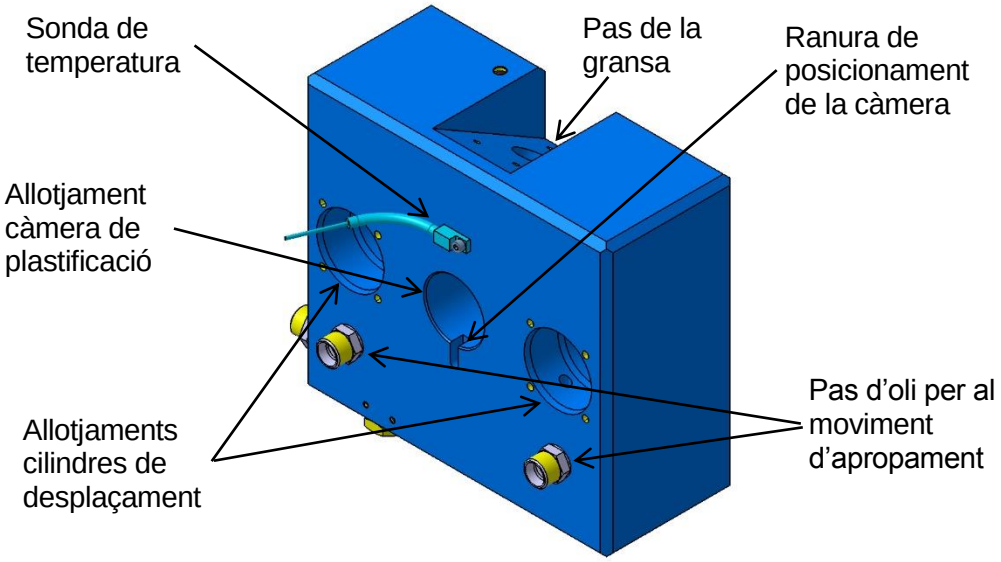

Fig. 5.16: Vista superior davantera del bloc.

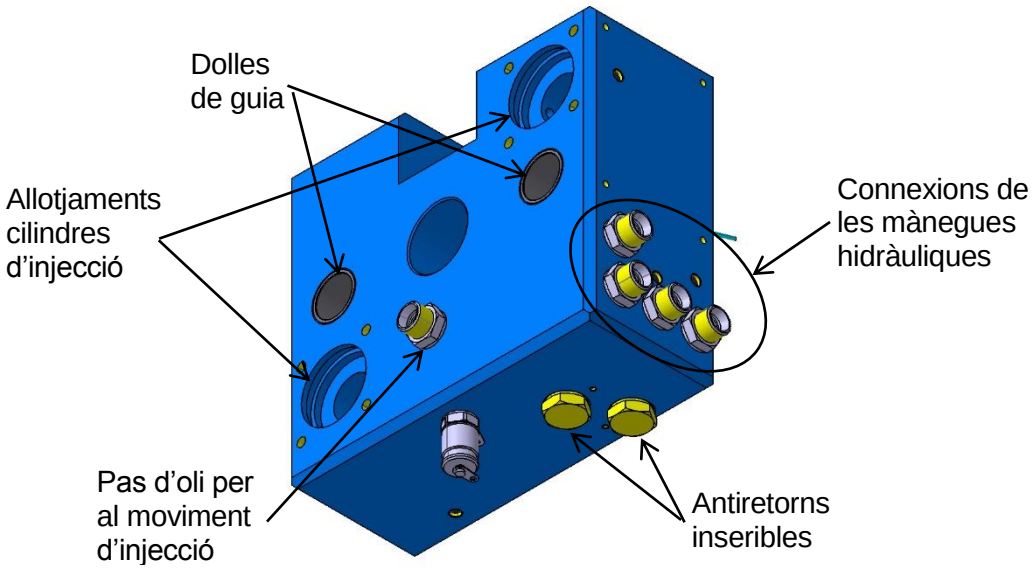

Fig. 5.17: Vista inferior posterior del bloc.

La peça base (plànol PFC-0161) es mecanitza a partir d'un bloc d'acer S355J2 (1.0577) UNE-EN 10025-2 en el centre del qual es disposa l'allotjament Ø45H7 per la càmera de plastificació. A la part davantera d'aquest allotjament s'hi mecanitza una ranura per tal que la càmera es posicioni correctament amb el forat de pas de la gransa. A la cara davantera es realitzen els allotjaments dels cilindres de desplaçament de la unitat d'injecció i dos espiralls ISO 1179-1 G1/4 per al pas d'oli cap a les culates davanteres d'aquests. Aquests allotjaments travessen tota la peça a Ø32H7 per poder muntar per la cara posterior dues dolles de plàstic Igus Iglidur GSM-2832-30 per guiar el moviment del bloc sobre les tiges dels cilindres d'apropament. També es munta termoparell de tipus J en forma de martell per controlar la temperatura de la zona de caiguda del material. La sonda es col·loca entre l'anell de refredament que incorpora el mòdul de plastificació i el forat d'alimentació de material.

A la cara posterior es disposen els allotjaments per als cilindres d'injecció i un espirall ISO 1179-1 G3/8 per al pas d'oli per al moviment d'injecció. A la cara inferior es disposa un espirall ISO 1179-1 G1/4 per instal·lar un acoblament de verificació de pressió per al diagnòstic i manteniment i els antiretorns inseribles que han d'ajudar a mantenir la unitat contra el motlle i evitar la caiguda pel propi pes quan es munta en posició vertical. Aquests antiretorns es troben al catàleg d'hidràulica mòbil i compacta del fabricant alemany Bosch-Rexroth. La versió més petita, VSON-08A, permet un cabal màxim de 30 l/min en una peça de només Ø28x48, la qual cosa la fa ideal per aquesta funció (posició 9.2 de l'esquema hidràulic PFC-7011).

En una de les cares laterals s'hi troben quatre espiralls ISO 1179-1 G3/8 per la connexió de les mànegues hidràuliques que comanden els moviments dels cilindres d'injecció i de desplaçament de la unitat que arriben des del carretó on es troba el bloc hidràulic de control.

Els forats necessaris per fer les connexions internes es tanquen amb taps expansibles del fabricant suís SFC-Koenig MB 850-080 (Ø8) i MB 850-040 (Ø4).

A la cara superior es troba la zona de fixació de la tremuja d'alimentació de la gransa. El pas de material incideix amb un angle de 60° amb l'eix de la càmera de plastificació per facilitar la caiguda de la gransa quan es munta la unitat en posició vertical. El suport de la tremuja es fixa a la base mitjançant quatre cargols DIN 912 M5x20.

A la mateixa cara on es troben les connexions de les mànegues hidràuliques s'hi mecanitzen quatre forats M5 per poder muntar una placa on es fixen un connector industrial per realitzar tota la connexió elèctrica amb el carretó, i un sensor de posició potenciomètric per controlar exactament la posició del cargol de plastificació (Fig. 5.18).

El sensor de posició es pren del catàleg de sensors del fabricant italià Gefran. Es tracta d'un sensor potenciomètric de cursa curta amb eix PA1-F-75. Tot i que la cursa dels cilindres d'injecció, 50 mm, es troba en el catàleg, es prefereix el model amb cursa de 75 mm per tenir marge de maniobra en el muntatge i calibratge.

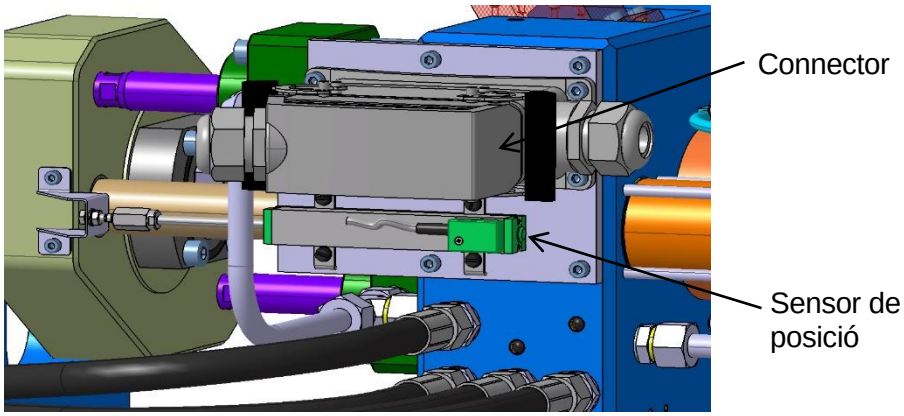

Fig. 5.18: Vista lateral de la zona de connexió elèctrica de la unitat d'injecció.

El connector a fer servir ha de servir per la connexió tant de les resistències (circuit de potència) com dels sensors de temperatura i posició (circuit de comandament). Les resistències suposen un total de sis contactes (dos per resistència) i els sensors un total d'onze (dos per sonda de temperatura més tres del sensor de posició). En total sumen un total de disset contactes. S'escull un connector de superfície del grup 8 del fabricant alemany Weidmüller de 24 contactes amb presa de terra. Es prefereix tenir contactes sobrants per possibles ampliacions posteriors, com pot ser el control directe d'un canal calent, un sensor de pressió d'injecció, etc. Pel que fa a les característiques elèctriques, és un connector amb una tensió màxima de 500 V i 16 A d'intensitat, la qual cosa fa que estigui sobredimensionat, però per contra, és un tipus de connector totalment estès al mercat, amb intercanviabilitat amb altres fabricants (connector segons EN 175301-801) i de subministrament ràpid.

5.6. Tremuja d'alimentació

Per subministrar el material plàstic es preveu una tremuja amb sistema de tancament i canvi ràpid. Donat que la capacitat d'injecció de la unitat no és gran no cal una tremuja de gran capacitat. El pas de material s'ha de poder tancar i obrir amb facilitat per als canvis de material i s'ha de poder retirar la tremuja del seu allotjament sense impediments, alhora que ha de restar al seu lloc amb fermesa.

El conjunt (PFC-8220) consta d'un suport de guia fixat a un adaptador (Fig. 5.20) situat al bloc de la unitat amb un pern que impedeix la sortida de la tremuja sense ésser accionat manualment. El carro que llisca sobre la guia és on es fixa la tremuja pròpiament dita i el sistema de tancament del pas del material. A la Fig. 5.19 es pot veure l'esquema de muntatge.

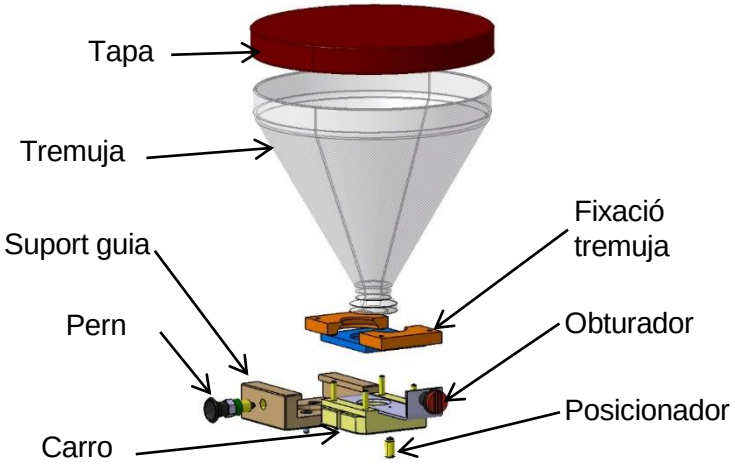

Fig. 5.19: Vista en explosió del muntatge de la tremuja.

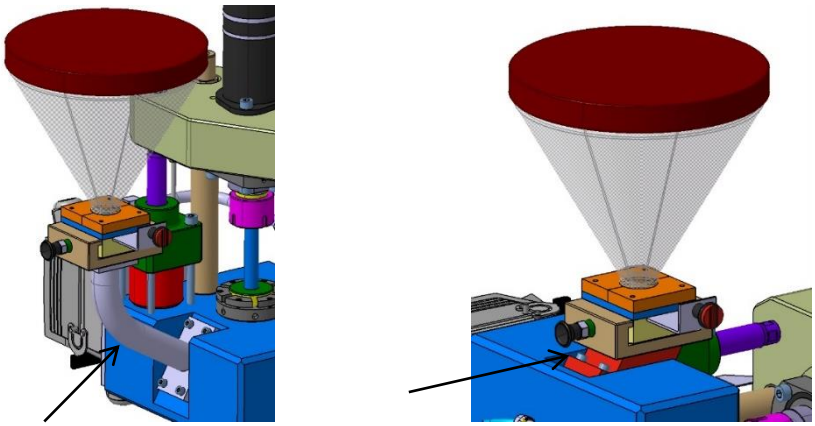

Fig. 5.20: Adaptador per la tremuja amb unitat d'injecció en posició vertical (esquerra) i posició horitzontal (dreta).

L'adaptador per la posició vertical es construeix mitjançant dues platines unides per un tub que dirigeix el material. Les platines tenen un patró de forats diferents per evitar el muntatge erroni. Es mecanitzen a partir de platina calibrada de 45x10 mm d'acer S355J2 (1.0577) UNE-EN 10025-2 i posteriorment se solden al tub prèviament doblegat. Per al tub es parteix de tub d'acer calibrat sense soldadura E235 (1.0308) UNE-EN 10305-1. Un cop soldat el conjunt, es realitza un recobriment de zincat per donar aparença decorativa i protecció contra l'òxid. L'adaptador horitzontal en canvi, es mecanitza directament en acer de fàcil mecanització 11SMn30 (1.0715) UNE-EN 10087, donades les seves dimensions més reduïdes, i també amb recobriment zincat.

El suport de guia de la tremuja es mecanitza en acer 11SMn30 (1.0715). Disposa d'una guia en forma T amb unes mides de 70x15 amb tolerància +0,05/+0,15 per les dues dimensions. Un cop acabada la peça s'aplica també un zincat per protegir la peça de la oxidació i donar un acabat decoratiu. En un costat, un forat M10x1 permet el muntatge del pern que impedeix la sortida del carro de la tremuja. Es tracta d'un pern del catàleg del fabricant alemany d'elements normalitzats Norelem, concretament la referència 03089-1105. En estirar del pom s'allibera el carro i una molla interna torna el pern a la seva posició original. Per garantir la correcta posició s'instal·la un separador Ø10xØ14x6 del mateix catàleg (referència 03089-91014061). El suport de guia es fixa a l'adaptador amb quatre cargols DIN 912 M5x12.

El carro que suporta la tremuja i que s'encaixa a la guia es mecanitza també en acer de fàcil mecanització 1.0715 amb recobriment zincat. Es una peça en forma de T amb les mateixes mides que la guia amb tolerància -0,15/-0,05 de manera que s'obté un joc de 0,1÷0,3 mm suficient per facilitar l'entrada i sortida i alhora quedar allotjat amb una certa fermesa. A la cara superior disposa d'una guia de 35x2,5 mm per on es pot desplaçar l'obturador de la gransa. Un posicionador de bola M8x16 roscat per la cara inferior s'encarrega de donar les posicions d'obertura i tancament de l'obturador. El posicionador és la referència 03000-08 de Norelem.

L'obturador es fabrica per tall i plegat de xapa d'acer inoxidable X5CrNi18-10 (1.4301) UNE-EN 10088-2 de 2 mm de gruix acabat mat. Al forat Ø25 per al pas de la gransa es practica un xamfrà la funció del qual és la de facilitar el tancament quan el conducte es troba ple de material. A la cara inferior es realitzen dos culs d'ou per tal que el posicionador fermi les posicions de l'obturador. En un extrem, un petit plec de 10 mm impedeix que es pugui sortir de la guia, i a l'altre extrem, un plec de 25 mm amb un forat Ø5,5 permet el muntatge del tirador. El tirador és un botó del catàleg de Norelem, referència 06241-056, en forma de bolet amb rosca interior M5.

Tancat la ranura de pas de l'obturador es munta una platina encarregada de posicionar la tremuja. Es fabrica en platina calibrada de 60x6 o 70x6 d'acer S355J2 (1.0577) i s'acaba amb un zincat.

La tremuja es fabrica per emmotllament per injecció de policarbonat transparent. Això permet una visibilitat òptima del material present, alhora que una bona resistència mecànica. La seva capacitat és de 2,4 l. La seva tapa també es fabrica pel mateix procediment, encara que el policarbonat ha de ser opac de color negre. L'inconvenient d'aquesta elecció és la inversió en motlles per la seva fabricació, però, en tal cas, es té una solució de molt bona imatge. Com a alternativa, es pot considerar, per la fabricació de prototips, una tremuja en xapa d'acer inoxidable.

Tot el conjunt format pel carro, l'obturador, la placa de tall i la tremuja es tanca amb dues semi-brides i quatre cargols DIN 912 M5x30. Les semi-brides abracen i pressionen lleugerament el coll de la tremuja contra la placa i la mantenen fermament fixada. Es mecanitzen a partir de platina calibrada de 60x6 d'acer S355J2 (1.0577) i zincat final.

5.7. Suport per al muntatge en horitzontal

Com ja s'ha vist a l'apartat anterior, existeix la possibilitat de muntar la unitat en posició horitzontal o vertical. La gran majoria de les aplicacions industrials d'unitats portàtils es fan en posició vertical, però cal comptar amb les aplicacions en horitzontal, on la flexió provocada pel pes de la unitat en voladís pot ser excessiva.

A l'apartat C.4.3 de l'annex C es veu que la flexió deguda al pes provoca una desalineació inadmissible de 0,825 mm entre el broc i el canal de colada del motlle i, per tant, cal dotar la unitat d'un suport per recolzar-la en aquesta situació. Aquest suport ha de servir també per situar punts d'elevació per facilitar el muntatge al motlle. S'aprofita també per dissenyar una placa de fixació al motlle. A la Fig. 5.21 es pot veure el disseny del suport.

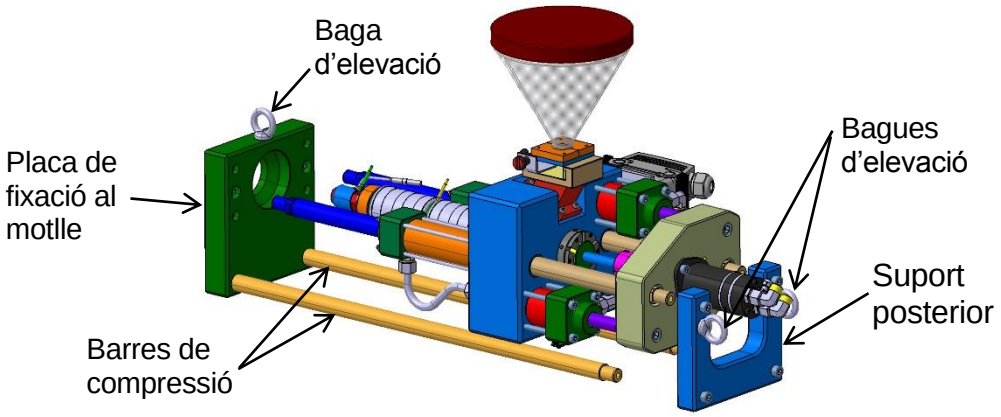

Fig. 5.21: Vista del suport per al muntatge en voladís.

El suport és força senzill. Consta d'una placa on es fixen les tiges davanteres dels cilindres de desplaçament de la unitat que serveix de interfície de connexió mecànica al motlle, dues

barres per la part inferior a l'extrem posterior de les quals es fixa un pont de suport collat a les tiges posteriors dels cilindres de desplaçament. D'aquesta manera queda formada una estructura en forma de rectangle on la flexió de les tiges dels cilindres queda absorbida per les barres inferiors, les quals treballen a compressió.

La placa de fixació al motlle es mecanitza en acer S355J2 (1.0577) amb unes dimensions finals de 200x215x45. A l'eix de la unitat forat Ø60H8 garanteix el centratge amb el canal de colada del motlle. Simètricament respecte d'aquest forat s'hi troben els allotjaments per les tiges dels cilindres de la unitat i un patró de quatre forats amb avellanat cilíndric per als cargols DIN 912 M8x50 de classe 8.8 per la fixació al motlle. Els allotjaments per les barres inferiors del suport es troben a 135 mm respecte del pla horitzontal format pel forat de centratge i els allotjaments dels cilindres. A la cara superior s'hi col·loca una baga DIN 580 M10 com a punt d'ancoratge per l'elevació.

Per les barres inferiors s'escull barra calibrada d'acer S355J2 (1.0577) a les que es rebaixen els extremes fins a Ø20f7 i es rosquen forats M10 per allotjar-les i fixar-les als forats presents a la placa davantera i al pont posterior.

El pont posterior també es mecanitza a partir d'acer S355J2 (1.0577) i a la cara posterior es col·loquen dues bagues més del mateix tipus per als punts d'ancoratge posteriors. Les mides finals de la peça són 200x175x35.

Aquest suport serveix també quan es munta la unitat en posició vertical, però, si és considera oportú per l'aplicació concreta, es pot treure i muntar una placa de fixació més petita i col·locant dues de les bagues als extrems posteriors de les tiges dels cilindres.

5.8. Sistema hidràulic

Per definir el sistema hidràulic s'ha de partir de les característiques dels cilindres hidràulics d'injecció i del motor del cargol de plastificació, juntament amb el cicle de treball de la màquina. Els cilindres i el motor ja han quedat definits en els apartats anteriors en base a les característiques de forces i velocitats que es pretenen obtenir de la màquina. Ja en aquesta fase s'ha fet referència a paràmetres de disseny del circuit hidràulic de comandament: la pressió hidràulica ha quedat establerta en 150 bar i el cabal d'oli mínim en 17 l/min per tal de dimensionar els cilindres. En aquest apartat es defineix el circuit amb els seus components i accessoris per tal que tot funcioni d'acord amb el cicle de treball adequat per una màquina d'aquest tipus.

5.8.1. Central hidràulica

Per central hidràulica s'entén el conjunt format pel dipòsit, el motor elèctric, la bomba i el seu acoblament al motor i els diversos accessoris necessaris per mantenir la qualitat, nivell i temperatura de l'oli. Aquests elements accessoris són els filtres d'aspiració i retorn, les sondes de nivell i de temperatura, l'intercanviador de calor per refrigerar l'oli, la vàlvula de pressió màxima i el taps d'ompliment i buidat del dipòsit.

Durant el dimensionat dels cilindres i l'elecció del motor hidràulic del cargol de plastificació s'ha fet una aproximació a les dades de pressió i cabal necessàries per assolir les característiques de forces i velocitats màximes dels diferents moviments. La pressió hidràulica és de 150 bar i el cabal de 17 l/min com a mínim.

Les bombes hidràuliques superen normalment pressions de treball en continu de 200 bar i només cal combinar-la amb una vàlvula de màxima tarada a 150 bar per obtenir la pressió desitjada. Hi ha tres tipus fonamentals de bombes: les d'engranatges (externs o interns), les de paletes i les de pistons axials. Les de paletes i les de pistons axials poden ser de cilindrada variable. Les bombes d'engranatges són les més senzilles i tenen un preu força assequible, més elevat en el cas de les d'engranatges interns. Aquestes darreres són més adients per al treball amb un motor controlat per un variador de freqüència com es pretén. Per tant s'escull una bomba d'engranatges interns.

Aquest tipus de bombes poden girar en el rang de velocitats comprés entre 600 rpm i 3600 rpm. Com que la intenció per regular el cabal és variar la velocitat de gir del motor que acciona la bomba, s'ha de preveure que la bomba no ha de girar a menys de 600 rpm. En el cas general de muntar un motor de 4 pols, el qual gira a 1450 rpm per una freqüència d'alimentació de 50 Hz, el control no pot deixar programar una velocitat de motor inferior al 41% de la nominal, mentre que si es munta un motor de 2 pols (gira a 2900 rpm a 50 Hz), la velocitat mínima programable pel control és del 21%. Això vol dir que es presenten dues possibilitats en l'elecció del motor i de la bomba:

1) Motor de 4 pols i rang de regulació de 600÷1450 rpm (41%÷100%).

2) Motor de 2 pols i rang de regulació de velocitat de 600÷2900 rpm (21%÷100%).

L'opció 2) permet la possibilitat de realitzar moviments molt més lents que la opció 1). L'interès dels moviments lents rau sobretot a l'aproximació del broc al canal de colada i la rotació del cargol. L'aproximació del broc cal fer-la amb suavitat per evitar els cops violents amb el motlle. Finalment, la velocitat de rotació del cargol interessa que sigui lenta per tal de poder processar materials plàstics molt sensibles a les tensions de cisallament.

L'opció finalment escollida és la 2), ja que permet un camp de regulació molt més ample de velocitats amb materials igualment normalitzats. En qualsevol moment, un cop construït un primer prototip, es pot passar a la opció 1) només canviant el motor i la bomba. La resta d'elements continuarien sent els mateixos.

A l'apartat C.5.1. de l'annex C es troben els càlculs seguits per poder escollir els components del grup motobomba. S'escull una bomba d'engranatges interns tipus PGF del fabricant alemany Bosch-Rexroth. Concretament de la mida constructiva TC2 amb eix d'accionament cilíndric Ø18 amb xaveta plana DIN 6885 forma A 6x6x25 i brida de fixació de dos cargols M8 i diàmetre de centrat Ø63. La cilindrada és de 6,5 cm^3/rev. i la connexió de les canonades d'aspiració i d'impulsió es realitzen mitjançant espiralls roscats, G3/4 la primera i G1/2 la segona. La pressió màxima de servei continu és de 210 bar i el sentit de gir és a dretes. La referència de comanda és PGF2-2X/ 006 RA01VP2.

Per accionar la bomba s'escull un motor IEC (International Electrotechnical Commission) trifàsic de gàbia d'esquirol d'un parell de pols i una potència de 4 kW a 400 V. En el programa de motors estàndard de baixa tensió per usos general de la firma suïssa ABB es té el model M2AA 112 MB 2 de classe d'eficiència IE2 segons IEC 60034-30 (3GAA 111 212-BDE). La brida de fixació és de Ø250 i l'eix és de Ø28 amb xaveta plana DIN 6885 forma A 8x7. El muntatge es realitza per brida tipus IM3001 B5. Aquest motor té una velocitat de rotació nominal de 2885 rpm de manera que el cabal hidràulic de la bomba és finalment de 17,6 l/min.

La transmissió entre el motor i la bomba es realitza mitjançant un acoblament elàstic del fabricant alemany R+L Hydraulics SPIDEX compost per una corona dentada 24 en poliuretà de 92 Shore A i botons d'alumini ALU A24/32.28H7 per la banda del motor i ALU A24.18H7 per la banda de la bomba. Una campana rígida d'alumini RV250/120/405/1LB/2MB amb forat de drenatge i dos forats d'inspecció i un peu brida PTFS250 amb dos suports antivibratoris PTFSDL-250, també del mateix fabricant. A l'espirall d'aspiració de la bomba s'acobla una vàlvula de bola per aïllar el circuit en operacions de manteniment (Fig. 5.22).

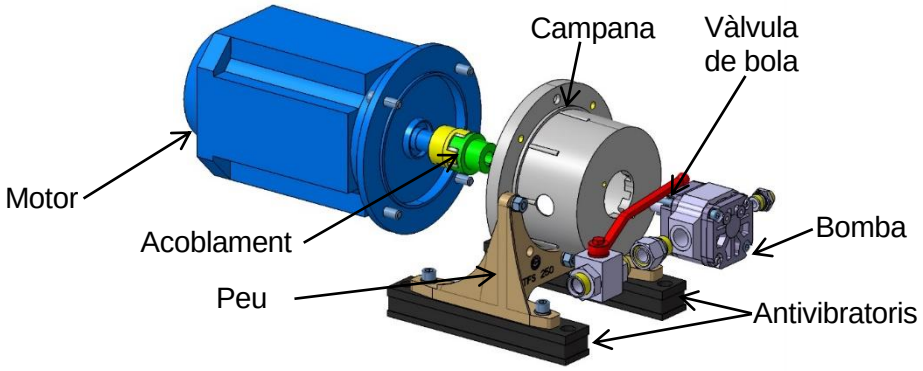

Fig. 5.22: Vista en explosió del grup motobomba.

El dipòsit ha de tenir per regla general una capacitat d'oli que permeti absorbir les variacions de nivell provocades per les entrades i sortides dels cilindres, ja que degut a les diferents seccions a cada costat del pistó, la capacitat d'oli d'aquests no és la mateixa quan el pistó està recollit que quan és fora. També ha de disposar d'una capacitat relativament gran per tal que la velocitat de circulació de l'oli al seu interior sigui suficientment baixa per permetre la sedimentació de les partícules sòlides en suspensió provinents del desgast dels components del circuit i l'eliminació de l'aire dissolt. Finalment, també ha de permetre la transmissió de la calor generada pel circuit al medi, encara que aquest últim condicionant es pot negligir amb la utilització d'un intercanviador de calor amb aire o aigua. Tenint en compte aquestes consideracions, la regla general és que el dipòsit ha de tenir una capacitat de 2÷4 vegades el cabal de la bomba per minut **[15]**. Això implica que per un cabal de 17,6 l/min el dipòsit haurà de tenir una capacitat útil d'entre 35 i 70 l. S'escull un dipòsit d'alumini de R+L Hydraulics NG44. La capacitat efectiva és de 40 l i es completa amb tap de drenatge, junta de tapa recol·lectora d'oli i tapa d'acer. Tant la tapa com el dipòsit han de rebre algunes operacions de mecanitzat per adaptar-hi elements accessoris. A la Fig. 5.23 es pot veure la disposició d'aquests elements sobre la tapa i a l'interior.

L'oli que aspira la bomba directament del dipòsit ha ser prèviament filtrat per evitar que partícules sòlides d'un cert gruix puguin malmetre el bon funcionament i la vida de la bomba. Aquest primer filtre no cal que tingui un grau de filtració massa fi amb la finalitat que no es creï una pèrdua de càrrega considerable i es produeixi cavitació a la bomba. Aquest tipus de filtres, anomenats d'aspiració, estan construïts amb una malla metàl·lica d'un grau de filtració generalment de 125 µm i han de ser suficientment grans per permetre l'aspiració sense pèrdues de càrrega. S'escull un filtre d'aspiració del catàleg d'accessoris hidràulics del fabricant alemany Stauff (Walter Stauffenberg) SUS-P-068-B12F-105-125-0 amb tapes de poliamida i malla d'acer inoxidable de 125 µm amb rosca de G3/4.

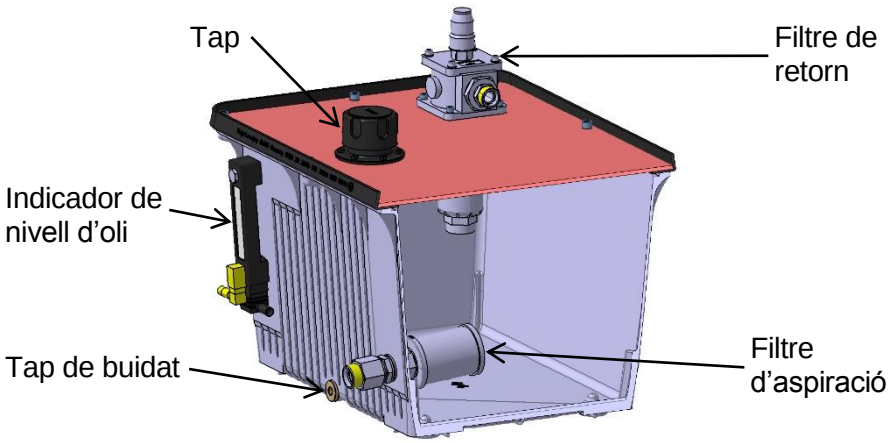

Fig. 5.23: Vista del dipòsit en secció amb els seus accessoris.

L'indicador de nivell a més de permetre el control visual, incorpora un sensor de nivell elèctric amb contacte obert sense oli, i una sonda de temperatura del tipus termoresistiva. També es troba al catàleg d'accessoris de Stauff. El seu codi és SNK 127 V-0D-0-12-PT100. Del mateix catàleg s'escull el tap d'ompliment del dipòsit, el qual disposa de filtre d'aire de respiració de 10 µm, tancament del tipus baioneta i cistella de 800 µm per recollir els contaminants que puguin entrar en el moment d'omplir el dipòsit (SPBN-S-2-10-S080-0).

El filtre de retorn de retorn del circuit hidràulic es munta a la tapa del dipòsit. S'escull entre els disponibles al catàleg de filtració de Stauff. Es tracta d'un filtre de tipus RF 030 amb element filtrant de fibra inorgànica de 20 µm i indicador elèctric d'embús. En la selecció del filtre de retorn s'ha de tenir en compte el cabal màxim de retorn que hi ha al sistema, el qual és més gran que el cabal subministrat per la bomba. La raó és la diferència de seccions en els cilindres hidràulics d'injecció, que en aquest cas tenen una relació de 1,33. Amb un cabal de bomba de 17,6 l/min s'ha de considerar un cabal de retorn de 23,5 l/min. Es fa servir l'aplicació Filter Selection V6.1.0 que proporciona el fabricant al seu web per seleccionar el filtre més adient als requeriments del projecte. El fluid hidràulic utilitzat és un oli mineral ISO HM VG 46 amb un cabal de 25 l/min a una temperatura de treball de 45° C, i una temperatura d'arrencada de 20° C. En aquestes condicions l'aplicació recomana la mida nominal 30 amb una pèrdua de càrrega de 0,61 bar a la temperatura d'operació i 0,21 bar a la temperatura de 20° C. La referència de comanda del filtre és RF 030 G 20 B/B/G 42/O.

La conducció entre el dipòsit i l'espirall d'aspiració de la bomba ha de ser del diàmetre suficient per tal que la velocitat de l'oli no superi 1,5 m/s i evitar els canvis bruscos de direcció. La connexió es realitza mitjançant una mànega flexible de diàmetre nominal 20 de goma reforçada per doble malla tèxtil segons SAE 100 R4. El diàmetre interior real del conducte és de 19,1 mm el que dóna com a resultat una velocitat del fluid de 1,03 m/s. La mànega es completa amb terminals a 90° amb femella M30x2 i con de 24° de sèrie lleugera amb junta (ISO 12151-2).

La impulsió de la bomba es connecta amb una altra mànega flexible amb un filtre en pressió que garanteix que el fluid hidràulic arriba al circuit de control i als actuadors amb un grau baix de contaminació. És especialment important quan es fan servir vàlvules proporcionals i servovàlvules. S'ha escollit un filtre SF 030 G 05 B-T B/O/P 24/TL, també de Stauff. L'element filtrant té una malla de 10 µm de fibra de vidre i el cos s'obre per la part superior per fer el canvi del cartutx. Disposa d'un indicador d'embús visual amb contacte elèctric. S'ha fet servir també l'aplicació Filter Selection V6.1.0 per comprovar-lo en les mateixes condicions de fluid hidràulic i temperatura però amb un cabal de 18 l/min. En aquestes condicions l'aplicació recomana la mida nominal 30 amb una pèrdua de càrrega de 0,58 bar a la temperatura d'operació i 2,25 bar a la temperatura d'arrencada.

La mànega de connexió és de goma NBR reforçada amb malla d'acer d'elevada resistència i coberta amb goma sintètica de diàmetre nominal 10 segons EN 857 1SC. La pressió màxima de treball és de 22,5 MPa, suficient per l'aplicació, i el diàmetre interior real és de 9;5 mm. La velocitat de l'oli amb el cabal màxim és de 4,14 m/s, una velocitat adequada donat que les recomanacions per línies de pressió indiquen que ha de trobar-se entre 4 i 8 m/s. La mànega es completa amb terminals amb femella M18x1,5 i con de 24° de sèrie lleugera amb junta (ISO 12151-2), a 90° a l'extrem collat a la bomba, i recte a l'extrem corresponent al filtre.

És important notar que el grup moto-bomba es troba connectat hidràulicament al dipòsit i al filtre amb mànegues flexibles de goma en lloc de tubs rígids d'acer per tal d'esmorteir les vibracions i el soroll, especialment en els moments en que el motor arrenca.

La línia de pressió sortint del filtre es connecta al bloc de control hidràulic mitjançant tub d'acer E235 (1.0308) sense soldadura segons UNE-EN 10305-4 zincat de Ø12 exterior i gruix de paret de 1,5 mm (Ø9 interior). La pressió de treball d'aquest tub supera els 300 bar, de manera que s'adequa perfectament a les prestacions de la màquina. Als extrems es claven anells tallants amb les femelles respectives segons UNE-EN ISO 8434-1. Aquest estàndard internacional és el que normalitza les connexions hidràuliques amb con de 24°. Els mateixos materials es fan servir també als tubs de connexió entre el bloc de suport de la unitat d'injecció i els seus cilindres.

L'oli de retorn del bloc hidràulic es connecta a un intercanviador de calor oli-aigua per tal que la temperatura de l'oli es trobi sempre en el rang òptim de treball, entre 40° i 50° C. L'oli sortint de l'intercanviador es filtra al filtre de retorn muntat a la tapa del dipòsit al qual arriba a baixa velocitat. Les connexions entre el bloc, l'intercanviador i el filtre de retorn es realitzen amb tub d'acer E235 sense soldadura de Ø18 exterior i gruix de paret de 1,5 mm. En aquest cas, la pressió de treball es molt inferior ja que és oli que torna dels circuit on ja ha alliberat la seva energia. El motiu d'escollir un diàmetre interior més gran (Ø15) és que la velocitat de l'oli en les canonades de retorn ha de trobar-se entre 1,5 i 4 m/s. La velocitat calculada per al cabal màxim de retorn (23,5 l/min) és de 2,22 m/s.

Per refrigerar l'oli hidràulic es tenen diversos sistemes. El més bàsic és el propi dipòsit, que a més de treballar com a contenidor amb les funcions descrites abans, també actua com a intercanviador de calor transmetent-la cap a l'entorn per convecció a través de les seves parets. En sistemes hidràulics on l'escalfament del fluid és més acusat cal un sistema addicional per mantenir la temperatura en el rang òptim. Aquests sistemes són intercanviadors d'oli-aire i d'oli-aigua. Els primers tenen l'avantatge de no necessitar cap circuit de refrigeració, però generalment són força voluminosos degut a la gran superfície d'intercanvi de calor entre l'aire i l'oli i les dimensions del ventilador. Els segons són molt més compactes. Donat que la unitat d'injecció ha d'estar proveïda d'un circuit d'aigua de refrigeració per la zona de caiguda del material a la càmera de plastificació es decideix fer servir un intercanviador oli-aigua.

Del balanç tèrmic realitzat a l'apartat C.5.2 de l'annex C s'escull un intercanviador de R+L Hydraulics BNZ-60-208-2-G-CN-S-GG-S-1-O, amb una capacitat de refredament de 1,6 kW. Les connexions de l'oli hidràulic es fan per la part superior amb rosques G3/4, mentre que les del fluid refrigerant són G3/8 disposades en una de les tapes de l'aparell. Per al control de la temperatura de l'oli es disposa una electrovàlvula per obrir o tancar el pas de l'aigua de refrigeració, comandada en funció de la lectura de la sonda de temperatura situada al nivell d'oli del dipòsit. La vàlvula s'escull en el catàleg de vàlvules de procés del fabricant japonès SMC. Es tracta d'una vàlvula dues vies i dues posicions normalment tancada del tipus VX2, de mida 2, per aigua, amb cos de llautó i accionament elèctric de 24 VDC. Les rosques de connexió són G1/4. La referència comercial és VX222BGXB.

5.8.2. Bloc hidràulic de control

Per poder comandar els moviments i forces de tots els accionaments dels que disposa la unitat d'injecció calen un seguit de vàlvules direccionals i de control de pressió que es munten en un mateix mòdul o bloc. El bloc hidràulic consta d'un col·lector on hi arriba el fluid hidràulic a pressió i s'envia convenientment condicionat a l'actuador corresponent, el qual fa servir la potència emmagatzemada al fluid per realitzar un treball.

Aquest bloc està format per quatre estacions o parts. La primera part és de caire general i és on es limita la pressió màxima del sistema i s'habilita o no la potència hidràulica. Les tres següents corresponen a cadascun dels actuadors presents a la unitat. A la Fig. 5.24 es mostra una imatge del bloc hidràulic on s'identifiquen les quatre estacions de les que es compon i a la Fig. 5.25 el seu esquema. A continuació s'expliquen les decisions de disseny seguint l'ordre de les estacions i la numeració de l'esquema hidràulic.

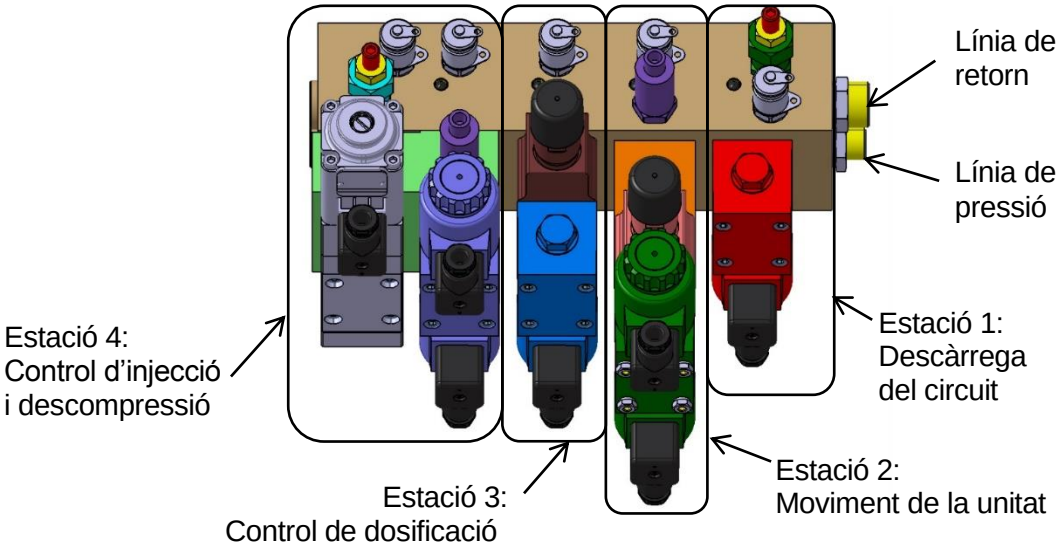

Fig. 5.24: Vista del bloc de control hidràulic on s'identifiquen les estacions.

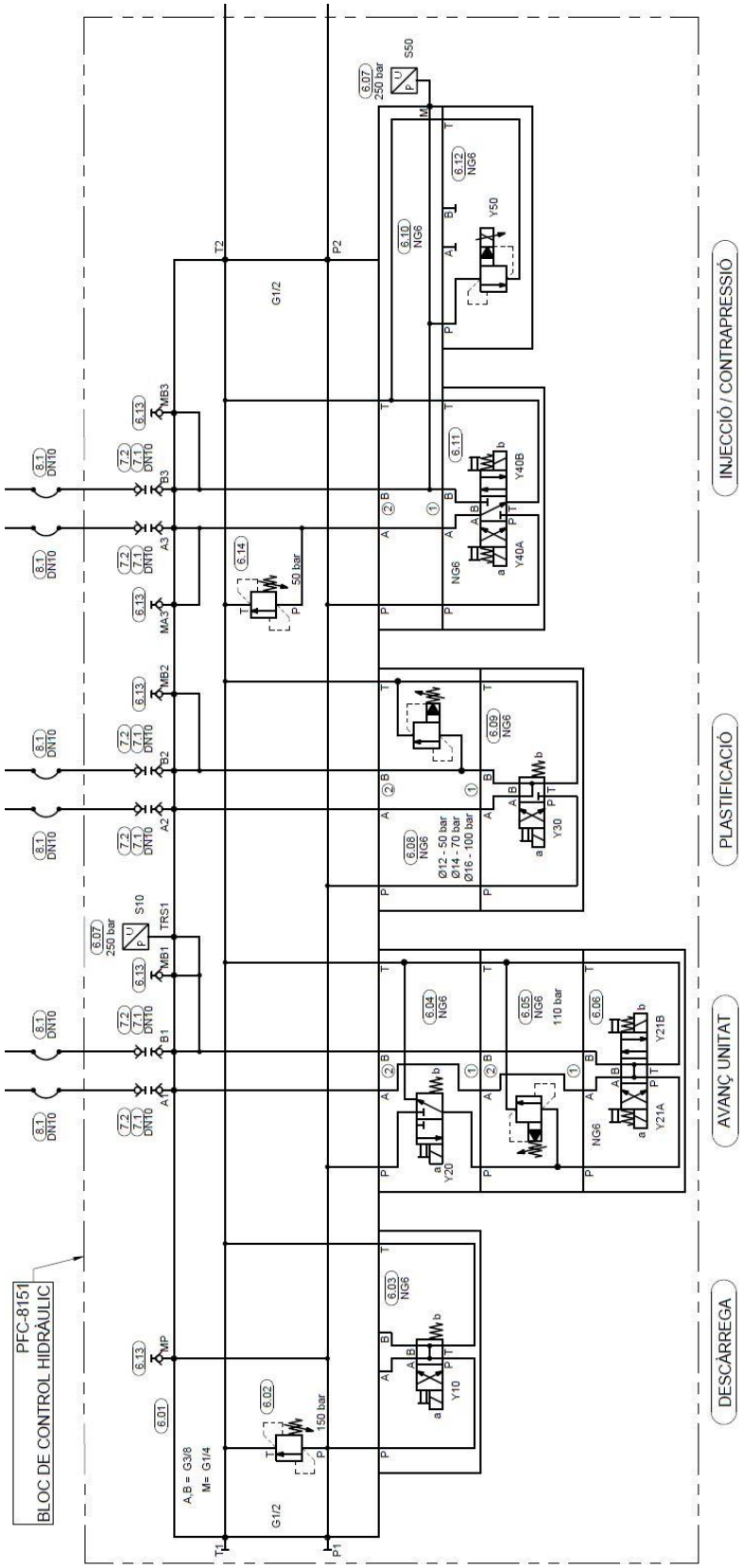

Fig. 5.25: Esquema hidràulic del bloc de control (veure plànol PFC-7011).

Les vàlvules modulars se seleccionen en els catàlegs del fabricant alemany Bosch-Rexroth i són de mida nominal 6 i fixació segons ISO 4401-03-02-0-05. S'ha fet la selecció dels components cercant que tots els òrgans susceptibles de regulació es trobin tots cap al mateix costat del bloc, de manera que l'accés a cadascun d'ells resulti més fàcil. Així, es dóna la curiositat per exemple, del creuament de les línies A i B de la segona estació.

El bloc (núm. 6.01) es fabrica en acer de fàcil mecanització 11SMn30 (1.0715). La cara de fixació de les vàlvules ha de tenir una rugositat superficial R_z màxima de 4 µm i una planitud de 0,01 mm en 100 mm per al correcte seient de les vàlvules. A la cara oposada es troben els espiralls on es connecten els flexibles de han de subministrar la potència als actuadors de la unitat d'injecció. Són en total sis espiralls ISO 1179-1 G3/8 i es realitzen també quatre forats M8 per la fixació del bloc complet al carretó de la màquina. A les cares petites, i travessant tota la peça, es troben els forats col·lectors de les línies de pressió P i retorn T, de Ø10 i Ø15 respectivament, amb espiralls ISO 1179-1 G1/2. En una de les cares es munten els ràcords de connexió, i a l'altre dos taps amb junta. A les altres dues cares longitudinals es realitzen els forats necessaris per aconseguir les connexions de les línies P i A en una, i B i T a l'altra. En aquesta darrera també es disposen les cavitats de les vàlvules limitadores de pressió i els espiralls ISO 1179-1 G1/4 per als sensors i acoblaments de mesura de pressió. Els forats que només serveixen per fer les connexions internes es tapen mitjançant taps expansibles MB 850-080 (Ø8) de SFC-Koenig. A la peça se li aplica un recobriment zincat abans de tapar els forats amb els taps expansibles.

Les mànegues de connexió entre el bloc hidràulic (núm. 8.1) i la unitat d'injecció són del mateix tipus que l'utilitzat a la mànega entre la bomba i el filtre en pressió: goma NBR reforçada amb malla d'acer d'elevada resistència i coberta amb goma sintètica de diàmetre nominal 10 segons EN 857 1SC. Les mànegues es completen amb terminals amb femella M18x1,5 i con de 24° de sèrie lleugera amb junta (ISO 12151-2), a 90° a l'extrem del bloc hidràulic, i recte a l'extrem de la unitat d'injecció. La longitud total és de 4 m a priori suficients per la majoria d'aplicacions.

A l'extrem corresponent al bloc hidràulic es fan servir endolls ràpids de cares planes segons ISO 16028 de diàmetre nominal 10 amb rosca femella G3/8. Ambdós components, espiga i acoblament (núm. 7.01 i 7.02 respectivament), s'escullen al catàleg de endolls ràpids de la multinacional estatunidenca Parker-Hannifin. El motiu d'utilitzar endolls ràpids és la ràpida desconnexió de la unitat d'injecció del carretó per facilitar les operacions de instal·lació a la màquina on s'ha d'acoblar.

5.8.2.1. Descàrrega del circuit

La primera estació del bloc hidràulic és l'encarregada de limitar la pressió màxima del sistema i posar-lo en càrrega per al funcionament de la unitat. Consta d'una vàlvula limitadora de

pressió (núm. 6.02) tarada a la pressió del sistema de 150 bar i d'una electrovàlvula direccional de quatre vies i dues posicions (núm. 6.03). La estació de posada en càrrega es completa amb un acoblament (núm. 6.13) per connectar un manòmetre per verificar la pressió del sistema.

L'electrovàlvula té els espiralls A i B de treball tancats degut a que en el bloc no es mecanitzen. D'aquesta manera, amb la vàlvula en repòs, es té la línia de pressió comunicada a la de retorn i la bomba descarrega tot el cabal sense pressió. Com es pot veure a l'esquema, la resta d'estacions tenen la línia de pressió tancada en posició de repòs, de manera que l'activació d'aquesta vàlvula posa el sistema en càrrega i el cabal hidràulic es retorna a tanc amb pressió a través de la vàlvula de màxima pressió (6.02) si no hi ha cap actuador que el consumeixi. És la forma d'inhabilitar els moviments dels actuadors i d'estalviar energia en les fases del cicle en les que no cal força ni desplaçaments.

La vàlvula de màxima pressió també s'escull al catàleg de Bosch-Rexroth. Es tracta d'una vàlvula de comandament directe de tipus cartutx i s'insereix directament al bloc en una cavitat específica. La pressió màxima a la que es pot regular la vàlvula és de 200 bar i permet la circulació d'un cabal màxim de 30 l/min.

L'acoblament, utilitzat també a la resta d'estacions i a la unitat d'injecció, té rosca M16x2 i es fixa al bloc amb rosca G1/4. S'escull al catàleg de Stauff amb referència SMK20-G1/4-PC.

5.8.2.2. Moviment de la unitat

La segona estació controla els moviments de la unitat d'injecció. Donat que cal limitar la pressió de treball dels cilindres a 110 bar per no sobrecarregar el motor quan el broc recolza sobre el canal de colada del motlle, es munta una electrovàlvula de bloqueig (núm. 6.04) per aïllar el circuit dels cilindres. Aigües amunt d'aquesta vàlvula s'incorpora la vàlvula limitadora de pressió (núm. 6.05) i l'electrovàlvula direccional (núm. 6.06) que controla l'apropament i retirada del broc. Donat que al bloc de suport de la unitat s'han col·locat dos antiretorns pilotats per reforçar l'acció de recolzament del broc contra el canal de colada del motlle, en el moment que es detecta la pressió de 110 bar a la línia d'apropament (espirall B), es desactiva l'electrovàlvula de bloqueig i la vàlvula limitadora queda oculta a la resta del circuit. En cas contrari, la pressió màxima del circuit seria la tarada en aquesta vàlvula limitadora.

La vàlvula de bloqueig és una vàlvula de tipus sandvitx amb corredora, de tres vies i dues posicions amb la línia de pressió tancada en repòs. No disposa de via B i la via A queda comunicada a tanc. La vàlvula limitadora també és de tipus sandvitx precomandada i limita la pressió a la línia de pressió P, de manera que la limitació afecta a les dues línies d'accionament dels cilindres. La posició central de l'electrovàlvula direccional és del tipus centre obert, de manera que totes les vies de la vàlvula queden comunicades.

La detecció de que el broc ha fet contacte amb el motlle i ha generat la força de recolzament necessària per tal que es pugui injectar el material, es realitza mitjançant un transductor de pressió a la línia B d'apropament de la unitat. Quan el transductor detecta la pressió de 110 bar és perquè la unitat no pot avançar més i s'interpreta que ha fet contacte amb el motlle. No obstant, l'augment de pressió es podria donar en cas de bloqueig de la unitat abans de recolzar el broc, per exemple per que el canal de colada no s'ha fet correctament i els cilindres arribin al seu final de cursa sense recolzar el broc. Aquesta circumstància no queda coberta, però s'estalvia la instal·lació d'un sensor de posició a la unitat d'injecció, més car de subministrament i de controlar. En canvi, el sistema escollit es limita a un senyal digital que es pot obtenir mitjançant un transductor, un pressòstat o, fins i tot, d'un interruptor de posició a la unitat.

El transductor escollit, sempre de Bosch-Rexroth, és el HM20-2X/250-H-K35 amb una pressió màxima de lectura de 250 bar, connector M12 de quatre pols i sortida per tensió. Tot i que aquest model es pot subministrar amb lectura de 160 bar, per intercanviabilitat amb altres fabricants, es decideix la pressió de 250 bar, donat que està molt més normalitzada.

L'estació es completa amb un acoblament per al mesurament de la pressió a la línia d'apropament de la unitat al motlle per les operacions de calibratge i manteniment.

5.8.2.3. Control de dosificació

La rotació del cargol de plastificació i, per tant, la dosificació del material d'injecció, està controlada per la tercera estació del bloc hidràulic. Es compon d'una vàlvula limitadora de pressió (núm. 6.08) i una electrovàlvula direccional (núm. 6.09) de quatre vies i dues posicions.

La vàlvula de màxima pressió és de tipus sandvitx precomandada que actua sobre la línia B de la estació i es troba aigües amunt de la vàlvula direccional. En aquest cas no cal aïllar-la amb una vàlvula de bloqueig donat que no es realitzen moviments simultanis amb la rotació del cargol, de manera que queda amagada respecte la resta del sistema. La pressió a la que es regula depèn del diàmetre del cargol de plastificació instal·lat segons s'ha comentat a la pàgina 55. La vàlvula direccional disposa de la posició de repòs amb les vies A, B i T comunicades, mentre que la via P es troba tancada. Quan s'activa comunica la via de pressió amb la via B (fletxes creuades). Aquesta via cal connectar-la a l'espirall B del motor per tenir la rotació del cargol correcte. L'espirall A del motor es connecta a la via A de l'estació del bloc, la qual es troba sempre comunicada al retorn T. També s'incorpora un acoblament per la verificació i regulació de la pressió a la línia B.

5.8.2.4. Control d'injecció, descompressió i contrapressió

Aquesta estació és la més complexa ja que controla els moviments dels cilindres d'injecció i és la responsable directa de la introducció del material a la cavitat del motlle. També controla

la contrapressió que rep el cargol de plastificació a la fase de dosificació. Ha de regular amb precisió la pressió hidràulica al costat anular dels cilindres per controlar la pressió a la que el material s'injecta. La manera de regular aquesta pressió és mitjançant una vàlvula limitadora de pressió proporcional (núm. 6.12) operada pel control electrònic en anell tancat amb un sensor de pressió (núm. 6.07). Per tal que aquesta vàlvula quedi amagada a la resta d'actuadors, es connecta directament a la línia que ha de controlar assegurant que queda tancada aigües avall respecte de la resta del circuit.

La vàlvula direccional (núm. 6.11) ha de ser de quatre vies i tres posicions. La posició central de repòs ha de tenir les vies P i B tancades i la via A comunicada al retorn. Així, es pot fer servir la limitadora de pressió per generar una contrapressió regulable a la plastificació. Quan el cargol gira i acumula el material a la punta, aquest retrocedeix i l'oli de la secció petita dels cilindres d'injecció descarrega al retorn a través de la vàlvula limitadora amb pressió regulada de 20 bar com a màxim, mentre que la secció gran succiona oli directament des del dipòsit.

En el moviment d'injecció (vàlvula direccional en posició de fletxes creuades) la pressió del material a la cavitat del motlle es regula també amb la limitadora de pressió proporcional. Donat que no hi ha cap altre moviment simultani, la pressió regulada en aquesta vàlvula no afecta cap altre actuador.

El moviment de succió o descompressió del cargol es realitza amb la vàlvula direccional en posició de fletxes paral·leles i la vàlvula limitadora de comandament directe (núm. 6.14) limita la pressió a 50 bar segons s'ha vist a la pàgina 57. Aquesta vàlvula s'escull amb pressió màxima de regulació de 50 bar per tal d'evitar errors de regulació que podrien provocar trencaments al cargol de plastificació o l'anell de retenció a l'eix motriu.

Les vàlvules limitadores proporcionals per muntatge en sandvitx actuen sobre la línia P. Per poder fer la connexió a la línia B caldria fer servir dues plaques intermèdies de creuament de P i B comercials de manera que s'obtindria una alçada de l'estació massa gran. Es decideix fabricar una placa per fer la connexió d'una vàlvula proporcional de muntatge sobre placa al costat de la vàlvula direccional. Aquesta placa es fabrica en acer de fàcil mecanització 11SMn30 (1.0715) amb recobriment final zincat. Els forats que serveixen per fer la connexió es tapen amb taps expansibles MB 850-080 (Ø8) de SFC-Koenig i es deixa un espirall ISO 1179-1 G1/4 per al muntatge del transductor de pressió. A la cara de seient amb el bloc s'incorporen quatre allotjaments amb juntes tòriques 9,25x1,78 en NBR de 70 Shore A de duresa.

En aquesta estació s'incorporen acoblaments per la mesura de la pressió a les dues línies per poder fer el calibratge de les vàlvules de limitació de pressió.

5.8.3. Cicle de treball

Segons el cicle de treball de la unitat descrit pel GRAFCET de primer nivell de la Fig. 4.1 i donada la composició del bloc hidràulic es pot definir amb més detall el cicle de treball final, del qual es pot veure el GRAFCET a la Fig. 5.26.

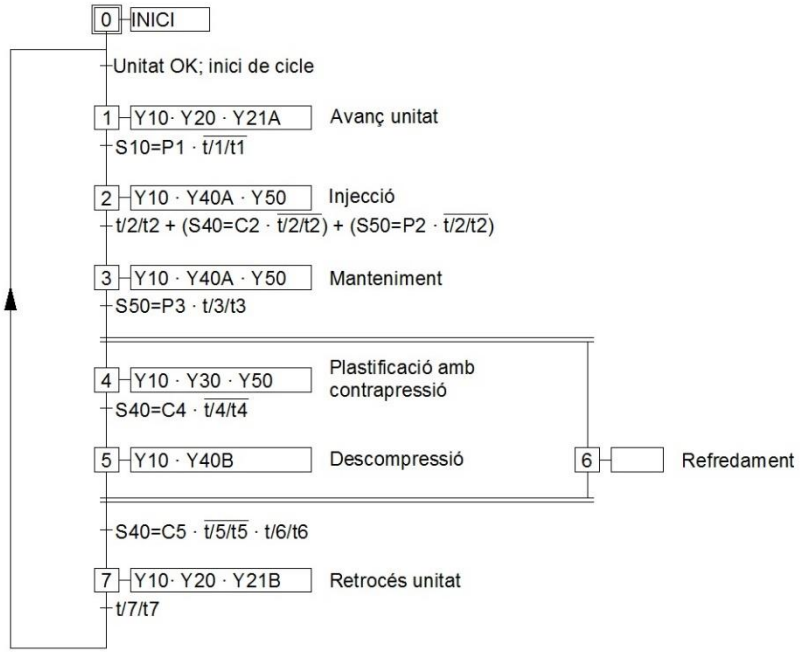

Fig. 5.26: GRAFCET de segon nivell del cicle de treball de la unitat d'injecció.

L'estat inicial correspon a la situació en la que la unitat es troba correctament connectada a la màquina principal, s'ha seleccionat el mode automàtic a la consola, les diferents zones de calefacció es troben a la temperatura configurada, la bomba es troba en funcionament i la resta de sensors no indiquen cap anomalia. Les proteccions del conjunt format per la unitat i la màquina principal es troben tancades i en bon estat. La màquina a la qual està acoblada la unitat dóna un senyal d'inici que depèn de la tipologia del motlle i de la seva cinemàtica. En aquest moment la unitat satèl·lit comença el seu cicle de treball.

1) Aproximació i recolzament del broc sobre el canal de colada del motlle. S'activen els solenoides Y10, Y20 i Y21B per recollir els cilindres fins que el control rep el senyal del transductor de pressió S10 conforme s'ha assolit la pressió programable *P1*, la qual cosa indica que el broc ha recolzat correctament sobre el canal de colada i es desactiven els solenoides. L'antiretorn inserible situat al bloc de la unitat d'injecció evita que la força de recolzament disminueixi encara que els solenoides s'hagin desactivat. La velocitat del moviment d'acostament de la unitat es pot programar. S'estableix un temps màxim *t1* per completar aquesta operació.

2) Ompliment de la cavitat amb el material fos contingut entre el broc i la punta del cargol de plastificació. S'activen els solenoides Y10 i Y40A per recollir els cilindres hidràulics. El senyal analògic Y50 regula en anell tancat que la pressió del moviment es produeixi a la pressió programada *P2* juntament amb el transductor S50. La velocitat també es regula. Segons la complexitat que es determini en el disseny del sistema de control, es poden definir diferents etapes de pressió i velocitat per adaptar el procés d'ompliment de la cavitat a la seva geometria. El pas a la següent etapa del cicle s'ha de poder escollir entre diferents opcions: temps, pressió o cota (apartat A.1.1.2 de l'annex A). La transició en la opció *temps* correspon al compliment del temps *t2*. En el cas de *pressió* la condició és que la lectura del transductor S50 hagi assolit el valor *P2* i en el de *cota* el sensor de posició S40 ha assolit el punt *C2* de la seva escala. En els casos de *pressió* i *cota* s'estableix el temps màxim *t2* per completar la fase.

3) Manteniment de la pressió a la cavitat. L'activació de senyals és la mateixa que a l'etapa 2). En aquesta etapa del cicle es tracta de mantenir una pressió sobre la cavitat per compensar la contracció del polímer en el seu refredament i així evitar xuclets i reproduir de la millor manera possible la geometria d'aquesta. Es manté activa durant el temps de manteniment *t3* i cal que la lectura del transductor S50 assoleixi la pressió programada *P3*. En finalitzar aquesta etapa ha de romandre un coixí de polímer a la punta del cargol per garantir que la cavitat s'ha omplert correctament. És suficient un coixí d'uns 3 mm abans que els cilindres hidràulics d'injecció arribin al seu topall mecànic.

4) Plastificació i dosificació del material per al següent cicle. El comptador del temps de refredament s'inicia (etapa 6 en paral·lel) i s'activen els solenoides Y10 i Y30 per fer girar el cargol. Es regula la contrapressió a la punta mitjançant l'activació del senyal analògic Y50 amb la retroalimentació de la lectura del transductor S50. L'etapa dura fins que el sensor de posició S40 assoleix la lectura corresponent al punt de càrrega *C4*. S'estableix un temps màxim *t4* per completar l'operació. La velocitat també es regula.

5) Descompressió del material acumulat a la punta del cargol. S'activen els solenoides Y10 i Y40B per estendre els cilindres d'injecció uns mil·límetres i així descomprimir el polímer i evitar que en obrir-se el broc, bé per el desemmotllament de la cavitat, bé pel retrocés d'aquest, el material regalimi per la punta. La cursa es para quan el sensor de posició S40 indica la posició de descompressió o succió *C5*. S'estableix el temps màxim *t5* per completar l'etapa.

6) Refredament del material a la cavitat. Aquesta és una etapa d'espera a la que no s'activa cap senyal. La transició es compleix quan el temporitzador activat a l'etapa 4) arriba al temps *t6*. Es pot donar la situació en que aquest temps sigui inferior al temps emprat en completar les etapes 4) i 5)

7) Retrocés de la unitat. S'activen els solenoides Y10 i Y21B per retirar el broc del canal de colada del motlle durant el temps de retrocés *t8*.

8) Torna al punt 0

El control de temperatures de les diferents zones de calefacció, així com de l'oli hidràulic, es produeix constantment, independentment de si la unitat està en cicle, en espera o en funcions manuals. Qualsevol incidència en el mode de cicle automàtic, bé sigui provocat per una anomalia de temperatures o una transició que no es compleix, implica la seva interrupció i la indicació de la corresponent alarma. Si les zones de temperatura no es troben a la banda d'utilització, els moviments dels cilindres d'injecció i del motor de plastificació s'inhabiliten.

La regulació de la velocitat s'obté modificant la velocitat de gir del grup motobomba mitjançant un variador de freqüència.

5.9. Xassís autoportant

Tots els components que no formen part directament de la unitat d'injecció es col·loquen en un carretó que es pot situar a una certa distància del punt d'aplicació. En aquest xassís és on es munta el dipòsit, el grup motobomba, el bloc hidràulic de control, els elements de regulació i l'armari elèctric, com es pot veure a la Fig. 5.1. Ha de ser fàcilment transportable, per la qual cosa està dotat de rodes.

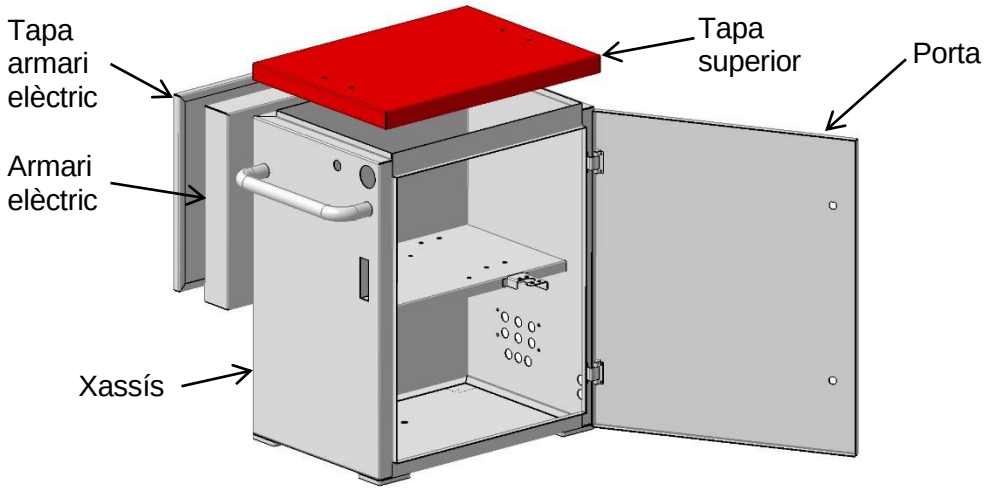

Fig. 5.27: Carretó per als elements de potència i control.

Es tracta d'un xassís autoportant fabricat en diverses peces per tall i plegat de xapa d'acer S235JR (1.0038) UNE-EN 10025-2 d'un gruix de 2 mm, que un cop muntades i soldades donen com a resultat un armari robust. La tapa superior, la porta i l'armari elèctric, amb la seva tapa, es fabriquen amb el mateix material i procés.

El xassís disposa d'una safata intermèdia soldada amb els forats de fixació necessaris per al muntatge del dipòsit, reblons roscats per fixar l'intercanviador de calor i la seva vàlvula de pas i un suport soldat per al muntatge del filtre en pressió del sistema hidràulic. A la base, quatre reblons roscats permeten la fixació dels amortidors del grup motobomba. A la part davantera es preveuen els allotjaments d'un manòmetre i de la seva vàlvula d'aïllament, així com d'un petit caixetí soldat per la part interior per al muntatge d'un regulador de cabal per al fluid refrigerant que passa per l'anell situat a la unitat d'injecció. Una nansa de tub (soldat o estirat en fred) d'acer E235 (1.0308) de Ø40x2 soldada permet el moviment del carro.

El manòmetre, de Ø63 amb fixació per brida posterior i rosca G1/4, permet una lectura fins 250 bar. La vàlvula d'aïllament permet la lectura del manòmetre polsant el botó. Ambdós elements són del catàleg de Stauff.

El regulador de cabal es troba al catàleg del fabricant italià de reguladors per fluids Flowise. Està fabricat en PMMA i té unes dimensions de 110x30x40 i pot regular un cabal d'aigua de fins a 5 l/min.

A la cara posterior es troben els forats de fixació del bloc hidràulic i els forats de pas dels endolls per les mànegues que es dirigeixen a la unitat d'injecció. A la cantonada inferior esquerra es troben els allotjaments dels endolls d'entrada i sortida generals del fluid refrigerant utilitzat. A la cara inferior se solden unes platines d'acer S235 amb quatre forats per la fixació de les rodes, les quals es troben al catàleg del fabricant alemany Bickle. La fixació és per platina de 100x85 amb distància entre centres de 80x60 i la roda és de poliuretà de Ø80x32. La capacitat de càrrega de 150 kg per roda. Les rodes posteriors són fixes i les davanteres giratòries amb fre. Si es té en compte que el pes total del carretó i la unitat d'injecció s'estima en uns 300 kg, es té un coeficient de seguretat de 2.

L'armari elèctric no forma part de l'abast del projecte i, per tant, no es defineix. Només es fa una presentació a mode de motxilla lateral com a proposta. En el moment de dissenyar la instal·lació elèctrica es podrà definir exactament. En aquest armari s'hi hauran de situar un connector de 24 pols com l'utilitzat a la unitat d'injecció per fer la connexió elèctrica de les resistències i sensors de temperatura i posició, i un altre connector amb els senyals d'entrada i sortida necessaris per la comunicació amb la màquina on s'hagi instal·lat el motlle.

Un cop muntats tots els elements interiors, es col·loca la tapa amb quatre cargols roscats des de l'interior (la tapa disposa dels reblons roscats necessaris). Les frontisses de la porta queden soldades i amagades un cop tancada. Permeten un angle d'obertura de 120°. S'han escollit al catàleg del fabricant francès d'elements per armaris Pinet. Els panys s'escullen al catàleg d'Elesa-Ganter, concretament els CQ/A-M22x1,5-45-28.

A la Fig. 5.28 es pot veure la localització dels elements exteriors al carretó. Les mides finals del xassís són 550 mm d'amplada (s'ha d'afegir l'armari elèctric), 870 mm de profunditat i 1100 mm d'alçada,

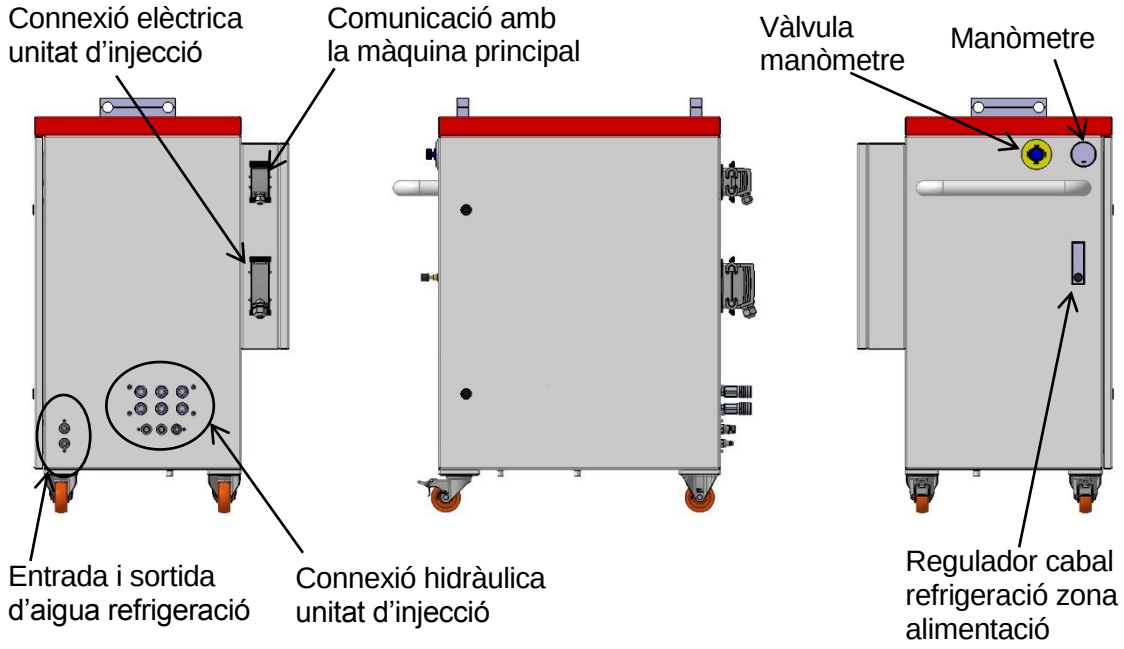

Fig. 5.28: Situació dels elements externs al xassís.

5.10. Taula de dades tècniques

Després del desenvolupament del disseny de la unitat d'injecció portàtil, es pot presentar la taula de dades tècniques que s'ha obtingut. A la Taula 5.8 de la pàgina següent, es poden consultar les dades més significatives que apareixeran en un futur catàleg d'aquesta unitat d'injecció portàtil.

Diàmetre cargol	mm	Ø12	Ø14	Ø16
Volum	cm^3	5,6	7,7	10
Pressió màxima	MPa	250	184	140
Cabal màxim	cm^3/s	17,6	24	31,3
Cursa d'injecció	mm	50		
Força d'injecció	kN	28,3		
Velocitat d'injecció	mm/s	156		
Parell de plastificació	Nm	21	28	40
Velocitat cargol	rpm	558		
Força de recolzament	kN	14,1		
Cursa de la unitat	mm	75		
Velocitat de la unitat	mm/s	229		
Capacitat tremuja	l	2,4		
Dimensions unitat d'injecció	mm	902x491x368		
Pes unitat d'injecció	kg	83		
Potència calefacció / zones	kW	1,87 / 3		
Potència motobomba	kW	4		
Pressió hidràulica	MPa	15		
Capacitat dipòsit d'oli	l	40		
Dimensions armari	mm	1055x550x1100		
Pes armari (estimació)	kg	200		

Taula 5.8: Taula de dades tècniques finals de la unitat d'injecció portàtil per termoplàstics.

6. Pressupost

Un cop definit el disseny de la unitat d'injecció, es procedeix a la valoració dels costos que comportaria la fabricació d'un prototip que permeti el desenvolupament del projecte de la part relativa al sistema elèctric i electrònic de control, la qual ha quedat expressament fora de l'abast del present projecte.

La valoració del pressupost necessari es realitza en base a una estimació dels costos dels materials dissenyats expressament per al muntatge de la unitats, per una banda, i dels materials de procedència comercial, per una altra. S'analitza també el cost de la màquina atenent als grups o mòduls més significatius per veure la contribució de les diferents parts. Finalment, s'afegeix també una valoració de la mà d'obra necessària per al muntatge de la màquina per part d'un tècnic especialista en mecànica i hidràulica.

Pel que fa als serveis d'enginyeria pròpiament dits, es procedeix a la seva valoració, però sense imputar els seus costos al pressupost ja que, donada la naturalesa i l'abast del projecte, no es considera oportú. Només en el cas del muntatge d'un prototip i la realització de la part mancant, es podran validar ambdós projectes i avaluar la seva viabilitat per la fabricació en sèrie.

6.1. Cost de la màquina

Els materials necessaris tenen diversa procedència. Atenent a les diferents famílies de materials, es té la classificació que es pot veure a la Taula 6.1. A l'annex E s'inclou la llista completa de materials valorats.

CONCEPTE	COST
Peces dissenyades específicament	5.043,50 €
Material d'hidràulica	3.647,85 €
Connexions hidràuliques	947,96 €
Material d'estanquitat hidràulica	68,47 €
Rodaments i elements de transmissió	292,96 €
Sensors i material elèctric	658,00 €
Material de ferreteria	254,01 €
TOTAL	**10.912,75 €**

Taula 6.1: Distribució del cost de materials en funció de la seva procedència.

De l'anàlisi dels materials segons els diferents mòduls o subconjunts de muntatge, es pot veure que el total es reparteix pràcticament al 50% entre la unitat d'injecció i el xassís que incorpora la central hidràulica. Òbviament, això no serà així en el cas de desenvolupar el sistema elèctric, ja que quedarà totalment imputat al segon grup. A la Taula 6.2 es pot veure la distribució de costos de material entre els diferents grups.

CONCEPTE	COST
Unitat d'injecció	**5.499,03 €**
Mòdul de plastificació	2.082,74 €
Cilindre d'injecció	(2x) 163,41 €
Cilindre de desplaçament	(2x) 323,20 €
Conjunt motor de plastificació	788,15 €
Bloc de suport de la unitat	632,25 €
Tremuja	193,97 €
Suport de muntatge en voladís	311,73 €
Altres	516,97 €
Xassís amb central hidràulica	**5.413,72 €**
Dipòsit amb complements	807,52 €
Motor-bomba	891,16 €
Bloc hidràulic	1.783,00 €
Altres	1.932,04 €

Taula 6.2: Cost de materials per grups.

De tots els diferents subconjunts se'n troben dos que són especialment costosos: el mòdul de plastificació i el bloc hidràulic. El mòdul de plastificació està integrat en la seva pràctica totalitat per elements dissenyats expressament d'una gran precisió i amb una acurada selecció de materials de construcció i delicada fabricació. El bloc hidràulic en canvi, té poc material específicament dissenyat, però incorpora la major part d'elements comercials d'hidràulica, els quals no tenen un baix cost. Són elements comercials també de gran precisió per al control de les funcions del mòdul de plastificació.

El temps dedicat al muntatge i ajust de la màquina s'estima en 40 h a un preu de 32,5 €/h, la qual cosa representa un total de 1.300 €. A la Taula 6.3 es té el pressupost total de fabricació d'un prototip d'unitat d'injecció portàtil per termoplàstics.

CONCEPTE	COST
Material	10.912,75 €
Mà d'obra de muntatge (40 h x 32,5 €/h)	1.300,00 €
TOTAL	**12.212,75 €**

Taula 6.3: Cost total de fabricació i muntatge d'un prototip d'unitat d'injecció portàtil.

6.2. Cost de disseny

Per valorar el cost del desenvolupament del projecte es presenta la Taula 6.4 amb els temps dedicats a les diferents parts que l'integren. S'ha estimat un preu de 42 €/h per als serveis d'enginyeria.

CONCEPTE	TEMPS	COST
Estudi de mercat	25 h	1.050,00 €
Definició de prestacions	25 h	1.050,00 €
Disseny i càlcul de detall	400 h	16.800,00 €
Documentació (plànols, memòria, etc.)	300 h	12.600,00 €
TOTAL	**750 h**	**31.500,00 €**

Taula 6.4: Pressupost dels serveis d'enginyeria associats al projecte.

7. Estudi d’impacte ambiental

La unitat d’injecció portàtil dissenyada té efectes sobre l’entorn durant tot el seu cicle de vida. Aquests efectes produeixen uns impactes que cal valorar per poder-los eliminar o minimitzar si són negatius, i potenciar-los en cas que siguin positius.

7.1. Fabricació

Durant la fase de fabricació de la màquina, es fan servir matèries primeres abundants com l’acer o l’alumini. La pràctica totalitat de les peces realitzades amb aquests materials es fabriquen per mecanització, la qual cosa provoca la generació de residus de fàcil reciclatge. L’efecte ambiental negatiu més important derivat de la fabricació és el consum energètic. Per contra, té un efecte positiu sobre la societat en crear ocupació i desenvolupament tecnològic i social.

7.2. Servei

La vida en servei d’una màquina d’aquest tipus pot ser molt llarga si se’n fa un manteniment adequat de la mateixa. Durant el servei es produeixen diversos efectes sobre l’entorn els quals es relacionen a continuació amb els impactes corresponents.

7.2.1. Consum elèctric

La font d’alimentació de la unitat d’injecció és l’electricitat. Se’n consumeix directament per accionar la bomba hidràulica i per escalfar el mòdul de plastificació. L’impacte ambiental que causa aquest consum és la disminució dels recursos energètics i, en funció de l’origen de l’electricitat consumida, la contaminació del sòl, aigua i aire. Indirectament també consumeix electricitat el sistema de refrigeració, encara que no a la pròpia màquina, sinó a la instal·lació del local on es fa servir.

7.2.2. Soroll

El sistema de transmissió hidràulica de potència té parts en moviment. Els moviments provoquen vibracions, cops i friccions, una de les conseqüències dels quals és el soroll, que afecta l’entorn i pot causar accidents i malalties laborals als treballadors. En particular el soroll està produït per grup motobomba on el motor té un nivell de pressió sonora de 68 dB i la bomba de 57 dB.

Per reduir l'emissió de sorolls s'ha dotat el grup motobomba de suports antivibratoris, l'acoblament entre bomba i motor és flexible i s'ha instal·lat el conjunt a l'interior del xassís a mode de gàbia. Un cop construït el prototip cal realitzar proves de soroll i, si resulta excessiu, aplicar mesures correctives, com pot ser aplicar un aïllant acústic a l'interior del xassís.

7.2.3. Vessaments de fluids

Donat que la màquina disposa d'un circuit hidràulic de transmissió i d'un circuit de refrigeració, es poden produir vessaments dels fluids utilitzats. En servei, aquests vessaments poden provenir d'avaries dels sistemes d'estanquitat i dels conductes de transport i la seva conseqüència és la possibilitat d'accidents laborals dels treballadors.

Durant el manteniment, cal substituir periòdicament l'oli hidràulic, el qual s'ha de disposar correctament en centres de tractament de residus industrials per evitar la contaminació del sòl i de l'aigua.

7.2.4. Moviments i zones calentes

El funcionament regular de la unitat d'injecció té una interacció directa amb els treballadors que n'estan al càrrec en servei, manteniment o instal·lació. L'impacte directe són els riscos laborals derivats dels moviments dels actuadors, i del transport i instal·lació de la unitat. Segons la directiva 2006/42/CE sobre seguretat en màquines, la unitat d'injecció portàtil és una quasimàquina, de manera que el client ha de garantir la integració segura amb la màquina on s'instal·li. Per una altra banda, en el projecte elèctric i de control de la unitat, cal incorporar totes les mesures necessàries per evitar qualsevol possibilitat de moviments perillosos de la unitat sense estar integrada en una màquina.

Per aconseguir la plastificació del material a transformar cal que la càmera de plastificació i el broc es trobin a la temperatura adequada, la qual acostuma a estar entre 200° i 400° C. Això comporta també la possibilitat d'accidents laborals.

7.2.5. Residus diversos

En les operacions de posada en marxa, de parada i de canvi de material d'emmotllament, es produeixen purgues de la massa de plàstic present al mòdul de plastificació. Aquest material representa un residu de plàstic que cal tractar de manera adient. Aquest tipus de residu però, no suposa un residu especial en una planta d'emmotllament de plàstic per injecció, sinó que s'afegeix als que ja genera i gestiona d'una manera habitual.

D'altra banda, les operacions de manteniment de la màquina també generen residus, com poden ser elements mecànics avariats o desgastats (fonamentalment d'acer i fosa) i elements d'estanquitat desgastats (fonamentalment polimèrics). Aquest tipus de residus, tot i que no

representen un greu impacte ambiental, cal gestionar-los de manera adient en un centre de tractament de residus industrials, al igual que l'oli hidràulic, esmentat abans.

7.2.6. Optimització de processos

El concepte d'unitat d'injecció portàtil permet optimitzar processos industrials en el sentit que es poden produir peces multicomponent en una única operació. Això permet un estalvi de temps i, per tant, un estalvi econòmic. A més, el caràcter portàtil permet la desconnexió de la unitat i el seu emmagatzematge quan no és necessària la seva utilització, el que permet la racionalització dels recursos disponibles.

D'altra banda, el procés d'injecció multicomponent permet la fabricació de peces complexes o geometries que no serien possibles, o resultarien prohibitives, amb altres processos de fabricació. Per tant, es pot dir que la utilització d'aquest tipus de màquina representa un impacte positiu sobre l'entorn social, econòmic i cultural.

7.3. Retirada

La retirada de servei de la màquina provoca bàsicament residus. Els residus generats són fonamentalment d'acer (ferralla) i, en menor quantitat, alumini, llautó i plàstics. Cap d'ells són potencialment perillosos per l'entorn i de reciclatge fàcil i estès al conjunt de la societat. El residu potencialment més perillós per l'entorn és l'oli hidràulic, el qual té un impacte negatiu molt gran si no se'n disposa correctament. Al manual de la màquina caldrà incloure recomanacions sobre la disposició al final de la vida útil.

Conclusions

El desenvolupament d'aquest projecte ha donat com a resultat el disseny d'una unitat d'injecció per ser incorporada a una altra màquina d'emmotllament per injecció i fabricar així peces compostes de més d'un material. Les prestacions de partida establertes han estat assolides amb un disseny força compacte de 902x491x368 mm.

Malgrat que el pressupost del prototip dissenyat en aquest projecte de fi de carrera és elevat, una fabricació en sèrie faria disminuir el preu d'aquesta unitat d'injecció. Els preus dels components no comercials es poden veure molt millorats per lots de fabricació mínims, i els dels components comercials amb descomptes per volum de compra. Un cop realitzada la fase que ha quedat fora de l'abast del projecte, es podrà dur a terme la millora d'aquests costos i es podrà analitzar la viabilitat de fabricar la unitat en sèrie.

L'autor és empleat de l'empresa Cronoplast, fabricant de les màquines d'emmotllament per injecció Babyplast, les quals fan servir un sistema de plastificació diferent. La realització d'aquest projecte li ha permès assolir un ampli coneixement del sistema de plastificació per cargol, el qual és molt valuós per al desenvolupament de la seva carrera professional.

El sistema de plastificació per cargol, en unitats de molt reduïda capacitat d'injecció com és el cas (diàmetres més petits de 20 mm), requereix d'un procés de fabricació molt acurat i de gran precisió.

Una recomanació en cas de construir i completar un prototip, és la de comprovar el sistema hidràulic amb un dipòsit de menys capacitat, per exemple de 20 l. Tot i que la literatura tècnica en aquest camp recomana capacitats com l'escollida, pot ser molt interesant fer la prova per reduir les dimensions del xassís.

Agraïments

Vull expressar el meu més profund agraïment al senyor Albert Soriano i Badia la oportunitat que em va donar, poc després d'acabar els estudis d'enginyeria, d'incorporar-me a la vida professional amb Cronoplast i les màquines d'emmotllament per injecció Babyplast. Sens dubte, han estat la inspiració per la realització d'aquest projecte de fi de carrera.

Agrair també a tot el personal de l'empresa la confiança que han dipositat en les meves capacitats, el coneixement que compartim dia a dia i la immillorable relació de treball existent.

Un agraïment molt especial als senyors Enrico Rambaldi, Walter Corti i Vittorio Terraneo, propietaris de Babyplast, per la incondicional confiança que dipositen cada dia en la meva feina i per les experiències i coneixements que m'han transmès.

En darrer lloc, i no menys important, agrair a la meva família el recolzament rebut i la paciència que han tingut durant la realització d'aquest projecte, i en particular, al meu germà Alberto per les nostres innumerables xerrades tècniques.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

[1] CRONOPLAST SL, *Babyplast, Unidad Autónoma de Inyección*, Abrera (Barcelona), novembre de 2015

[2] DIVISIONE PRODOTTI SPECIALI s.r.l. *Gruppo Iniezione Satellite Micro*, [http://www.dps-srl.it/index.php?option=com_content&view=article&id=141&Itemid=256&lang=it, 4 de juny de 2016]

[3] Dr. BOY GmbH & Co. KG, *Injection Units BOY 2C XS, BOY 2C S*, [http://www.dr-boy.de/en/products/boy-2c-xs/, 5 de juny de 2016]

[4] MILACRON, *Mold-Masters E-Multi Injection Unit*, [http://www.milacron.com/product/e-multi/, 5 de juny de 2016]

[5] MGS Mfg. Group, Inc. *Universal Multishot Systems, Portable Injection Units*, [http://www.multishot.com/units/units.htm, 5 de juny de 2016]

[6] JOHANNABER, F. *Injection molding machines. A user's guide. 3rd edition.* Hanser Publishers, München, 1994, p. 40

[7] JOHANNABER, F. *Injection molding machines. A user's guide. 3rd edition.* Hanser Publishers, München, 1994, p. 41

[8] EUROMAP, *EUROMAP 1. Description of injection moulding machines*, 1983, p. 3

[9] COVESTRO DEUTSCHLAND AG, *Injection molding of high-quality molded parts. Production equipment / machinery*, Leverkusen, març de 2016, p.4

[10] JOHANNABER, F. *Injection molding machines. A user's guide. 3rd edition.* Hanser Publishers, München, 1994, p. 53

[11] JOHANNABER, F. *Injection molding machines. A user's guide. 3rd edition.* Hanser Publishers, München, 1994, p. 72

[12] JOHANNABER, F. *Injection molding machines. A user's guide. 3rd edition.* Hanser Publishers, München, 1994, p. 49

[13] DANFOSS POWER SOLUTIONS ApS, *Technical Information, OML and OMM Orbital Motors*, Nordborg, febrer de 2014

[14] SCHAEFFLER TECHNOLOGIES AG & CO. KG, *Technical Product Information TPI 123, Bearings for screw drives*, Herzogenaurach, setembre de 2015, p. 98, 99

[15] ATOS S.p.A, *Installation, commissioning and maintenance guidelines for electrohydraulic system*, Sesto Calende, novembre de 2005, p. 2

[16] JOHANNABER, F., *Injection molding machines. A user's guide. 3rd edition.* Hanser Publishers, München, 1994, p. 15

[17] COVESTRO DEUTSCHLAND AG, *Injection molding of high-quality molded parts. Processing Data and Advice*, Leverkusen, març de 2016, p. 9

[18] COVESTRO DEUTSCHLAND AG, *Injection molding of high-quality molded parts. Processing Data and Advice*, Leverkusen, març de 2016, p. 2

[19] JOHANNABER, F., *Injection molding machines. A user's guide. 3rd edition.* Hanser Publishers, München, 1994, p. 27

[20] JOHANNABER, F., *Injection molding machines. A user's guide. 3rd edition.* Hanser Publishers, München, 1994, p. 34

[21] SEPE, M., *The materials analyst: density, bulk density, melt density and specific gravity*, IMM Magazine, [http://www.immnet.com/articles?article=2761, 19 de febrer de 2006]

[22] COVESTRO DEUTSCHLAND AG, *Injection molding of high-quality molded parts. Processing Data and Advice*, Leverkusen, març de 2016, p. 4

[23] COLLADO, C., *Husillos para transformación de plásticos*, Talleres Pena, Badalona, febrer de 2005, p.11

[24] OSSWALD, T. A., TURNG, Lih-Sheng, GRAMANN, P., *Injection molding handbook*, Hanser Publishers, München, 2002, p. 140-157

[25] COVESTRO DEUTSCHLAND AG, *Injection molding of high-quality molded parts. Wear protection for the plasticating unit*, Leverkusen, maig de 2016, p. 6, 7

[26] JOHANNABER, F., *Injection molding machines. A user's guide. 3rd edition.* Hanser Publishers, München, 1994, p. 48, 49

[27] BIGORDÀ, J., FENOLLOSA, J., *La fatiga dels elements mecànics*, Edicions UPC, Barcelona, 1993, p. 35, 36

[28] RAUWENDAAL, C., GRAMANN, P., *Why corrosion resistant screws can bind in the extruder barrel*, [http://www.madisongroup.com/publications/screw_binding.pdf, 02 d'agost de 2016]

[29] COVESTRO DEUTSCHLAND AG, *Injection molding of high-quality molded parts. Production equipment / machinery*, Leverkusen, març de 2016, p. 8

[30] Watlow Electric Manufacturing Company, *Application Guide Catalog: Thermal Component Reference Guide*, p.18 [http://www.watlow.es/common/catalogs/files/appguide.pdf, 07/07/2016]

[31] Watlow Electric Manufacturing Company, *Application Guide Catalog: Thermal Component Reference Guide*, p.21 [http://www.watlow.es/common/catalogs/files/appguide.pdf, 07/07/2016]

[32] NIEMANN, G., *Elementos de máquinas, vol. 1*. Editorial Labor, 1.987, p. 391

[33] BOSCH REXROTH AG, *Internal gear pump PGF Series 2X and 3X (RE 10213)*, Lohr am Main, maig de 2015, p 7

[34] BOSCH REXROTH AG, *Fundamentos y componentes de la oleohidràulica, Training Hidráulico, Compendio 1*, Erbach, octubre de 1991, p. 300

Bibliografia complementària

BONALS, Ll. A., RUIZ, R., *Transmissió de calor, Teoria*, Edicions UPC, Barcelona, 1994

CANOVI, P. N.: *Consideraciones sobre el diseño del equipo de plastificación*, Du Pont, Departamento de Polímeros

CRAWFORD, R.J. *Plastics Engineering. 2nd edition*. Pergamon Press, Oxford, 1987

POLYDYNAMICS,INC., *NEXTRUCAD 1.1 User's Manual*, Hamilton, 10/2004, [http://www.polydynamics.com]

ROSATO, D.V. Injection Molding Handbook (3rd Edition). Kluwer Academic Publishers, 2.000

SAVGORODNY, V.K., *Transformación de plásticos*, Ed. Gustavo Gili, Barcelona, 1973

Catàlegs

ABB Motors and Generators, *Baja tensión. Prestaciones estándar. Motores IE2 de alta eficiència según MEPS de la UE*, Zürich, gener de 2014

BOSCH REXROTH AG, *Internal gear pump PGF Series 2X and 3X (RE 10213)*, Lohr am Main, maig de 2015

BOSCH REXROTH AG, *Válvulas direccionales de corredera, mando directo, accionamiento por solenoide. Tipo WE (RS 23178)*, Lohr am Main, juny de 2013

BOSCH REXROTH AG, Válvula direccional de bloqueo de 4/2 y 4/3 vías. Tipo Z4WE (RS 23193), Lohr am Main, juliol de 2011

BOSCH REXROTH AG, *Válvula proporcional limitadora de presión, precomandada. Tipo (Z)DBE y (Z)DBEE (RS 29258)*, Lohr am Main, novembre de 2011

BOSCH REXROTH AG, *Válvula limitadora de presión, precomandada. Tipo ZDB y Z2DB (RS 25751)* Lohr am Main, juny de 2013

BOSCH REXROTH OIL CONTROL S.P.A., *Relief, direct acting guided poppet type Special cavity, 008, VS-30 (RE 18318-23)*, Nonantola-Modena, març de 2016

BOSCH REXROTH OIL CONTROL S.P.A., *Pilot operated check, pilot to open Common cavity, Size 08, VSON-08A, RE 18319-30*, Nonantola-Modena, març de 2016

DANFOSS POWER SOLUTIONS ApS, *Technical Information, OML and OMM Orbital Motors*, Nordborg, febrer de 2014

GEFRAN SPA, *PA1, Trasduttore Rettilineo di Posizione*, Provaglio d'Iseo, gener de 2013

MASTERWATT, *PIROSLIM, Riscaldatori Sottili per Ugelli*, Pianezza, 09/2007

MASTERWATT, *SPIRFLEX, Riscaldatori a Spirali per Ugelli*, Pianezza, 2004

MASTERWATT, *Termocoppie e Termoresistenze*, Pianezza, 11/2012

PARKER HANNIFIN MANUFACTURING GERMANY GMBH & CO. KG, *Hydraulic Catalogue Quick Coupling Systems for Medium- and High-Pressure*, Eberdingen, gener de 2013

PARKER HANNIFIN ESPAÑA SA, *Manguera hidráulica, terminales y equipo*, Torrejón de Ardoz, octubre de 2007

R+L HYDRAULICS GmbH, *Al-Reservoirs / Accessories*, Werdohl, juny de 2012

R+L HYDRAULICS GmbH, *Campanas para bombes de engranajes*, Werdohl, novembre de 2013

R+L HYDRAULICS GmbH, *Oil-Water Cooler BNZ with aluminium fins and rígid tube stack*, Werdohl, desembre de 2012

R+L HYDRAULICS GmbH, *SPIDEX® – Los acoplamientos elásticos*, Werdohl, gener de 2014

ROVALMA, SA, *ZESEK, Acero ledeburítico para herramientas de Trabajo en frío y semi-caliente*, Terrassa

SCHAEFFLER TECHNOLOGIES AG & CO. KG, *Technical Product Information TPI 123, Bearings for screw drives*, Herzogenaurach, setembre de 2015

STAUFF, *ONE, General Product Catalogue*, Werdohl, 2014

TRELLEBORG SEALING SOLUTIONS, *Hydraulic seals – linear Metric*, Stuttgart, gener de 2011

TRELLEBORG SEALING SOLUTIONS, *O-Rings and Back-up Rings*, Stuttgart, abril de 2012