

Projecte de Final de Carrera
Enginyer Tècnic Industrial Mecànica

**DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UN EQUIP EXPERIMENTAL BASAT EN EL
CONFORMAT PER MOLDEIG MITJANÇANT UN SISTEMA D'INJECCIÓ A FI DE
VALIDAR UN CONJUNT DE SIMULACIONS REALITZADES AMB UN PROGRAMARI
D'ELEMENTS FINITS**

RESUM

Autor: Jordi Ricart Coll
Director: M^a Dolors Riera Colom
Convocatòria: Juny del 2010



**Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Manresa**



RESUM

El moldeig per injecció és un procés de conformat habitualment utilitzat per la fabricació de peces en aliatges d'alumini i geometria complexa.

En l'actualitat, la indústria disposa d'eines de simulació numèrica específicament definides per resoldre les etapes d'omplerta del motlle i solidificació del líquid metàl·lic. El seu objectiu és clar: ajustar tots els paràmetres del procés de moldeig i predir la qualitat de la peça fabricada. Això no obstant, i malgrat que la fluidodinàmica computacional és una eina ben establerta, la dificultat per ajustar alguns algorismes de càlcul, obliguen a validar les simulacions mitjançant assajos de laboratori.

Així, aquest projecte té com a objectiu dissenyar i construir un equip experimental d'omplerta per injecció per tal de determinar la bondat de simulacions numèriques realitzades amb el programa comercial de càlcul *FLUENT* [1].

Les característiques principals que ha de complir aquest equip experimental segons la literatura relacionada [3, 10] han ser:

- En el moment de la injecció la velocitat del fluid ha d'oscil·lar al voltant dels 8,6 m/s.
- La pressió ha de ser com a màxim de 15 bars.
- La geometria del motlle està predefinida pels articles.
- La cavitat del motlle ha de tenir una profunditat de 2 mm
- El motlle ha de ser transparent



Per tal de complir amb aquestes especificacions s'ha utilitzat un motlle de metacrilat transparent, a fi que permeti observar la propagació del flux per a l'interior de la cavitat. En aquest motlle de metacrilat s'ha gravat la geometria mitjançant un procés de mecanitzat per control numèric.

El fluid que s'injecta a l'interior de la cavitat del motlle és aigua sanitària, ja que té un comportament similar a l'aliatge d'alumini propi d'aquesta tecnologia. La utilització de l'aigua sanitària com a fluid d'injecció, facilita el disseny de l'equip perquè el fluid es troba a temperatura ambient.

Com que el flux d'aigua s'ha d'impulsar cap a la cavitat amb una velocitat de 8,6 m/s i amb una pressió màxima de 15 bars ha estat necessari idear un equip d'injecció, el qual està format per un cilindre pneumàtic de 80 mm de diàmetre i una injectora amb un diàmetre de 50 mm. Amb aquest conjunt d'elements units solidàriament es realitza el procés d'injecció amb un temps de dècimes de segon.

Com que es vol observar amb detall l'omplerta del motlle durant l'injecció, s'utilitzarà una càmera de vídeo d'alta velocitat, que pot arribar a capturar vuitanta imatges per segon. Les gravacions que s'obtinguin de l'omplerta seran comparades amb les simulacions realitzades amb el programa de càlcul *FLUENT* [1]. Per definir millor el model d'elements finits s'ha utilitzat un equip de mesura constituït per un manòmetre d'agulla i per un sensor de velocitats amb l'objectiu de quantificar la pressió del fluid i el cabal que es genera durant els assajos.

També s'ha d'esmentar que s'ha dissenyat una estructura metàl·lica per tal d'agrupar tots els equips del muntatge i les instal·lacions necessàries, com el circuit d'aigua sanitària, un circuit elèctric o un sistema d'il·luminació. A més a més aquesta estructura s'ha recobert amb unes mampares de metacrilat que permeten la visió a l'interior de l'equip i a la vegada protegeixen a les persones que es trobin al voltant.



Amb la realització d'aquest muntatge, s'han obtingut un conjunt d'imatges de l'omplerta del motlle les quals mostren amb detall la propagació del flux per aquesta cavitat. En aquestes gravacions del procés d'injecció s'aprecien les característiques pròpies d'aquesta geometria com ara: un trencament de flux, quatre cavitats d'aire retingudes a l'interior del motlle i ubicades de forma simètrica, o la creació de turbulències degut a les pressions i a les velocitats del flux.

L'objectiu final d'aquest muntatge és validar les simulacions de l'omplerta del model escollit mitjançant les gravacions obtingudes durant els assajos. Un cop validat aquest model amb el programari de càlcul, es podrà utilitzar aquesta eina per simular la injecció del procés industrial.



Projecte de Final de Carrera
Enginyer Tècnic Industrial Mecànica

**DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UN EQUIP EXPERIMENTAL BASAT EN EL
CONFORMAT PER MOLDEIG MITJANÇANT UN SISTEMA D'INJECCIÓ A FI DE
VALIDAR UN CONJUNT DE SIMULACIONS REALITZADES AMB UN PROGRAMARI
D'ELEMENTS FINITS**

MEMÒRIA

Autor: Jordi Ricart Coll
Director: M^a Dolors Riera Colom
Convocatòria: Juny del 2010



**Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Manresa**



RESUM

El moldeig per injecció és un procés de conformat habitualment utilitzat per la fabricació de peces en aliatges d'alumini i geometria complexa.

En l'actualitat, la indústria disposa d'eines de simulació numèrica específicament definides per resoldre les etapes d'omplerta del motlle i solidificació del líquid metàl·lic. El seu objectiu és clar: ajustar tots els paràmetres del procés de moldeig i predir la qualitat de la peça fabricada. Això no obstant, i malgrat que la fluido-dinàmica computacional és una eina ben establerta, la dificultat per ajustar alguns algorismes de càlcul, obliguen a validar les simulacions mitjançant assajos de laboratori.

Així, aquest projecte té com a objectiu dissenyar i construir un equip experimental d'omplerta per injecció per tal de determinar la bondat de simulacions numèriques realitzades amb el programa comercial de càlcul *FLUENT* [1]. El motlle és de metacrilat, transparent, per poder captar, amb una càmera de vídeo d'alta velocitat, el camp de velocitats del fluid durant la fase d'omplerta. El líquid que s'injecta és aigua sanitària, ja que té les mateixes característiques reològiques que l'aliatge d'alumini a la temperatura d'injecció. La injecció s'ha de dur a terme en dècimes de segons i amb una pressió màxima d'uns 15 bars. S'utilitzarà un sistema de mesura per tal de quantificar pressió i cabal de l'aigua injectada; els valors obtinguts seran processats i utilitzats per crear el corresponent model d'elements finits.



El present projecte està constituït pels següents documents:

- Memòria
- Annex I: Plànols
- Annex II: Càlculs
- Pressupost



- MEMÒRIA -



ÍNDEX DE LA MEMÒRIA

1. OBJECTE	6
2. ABAST	6
3. INTRODUCCIÓ	7
4. PROCÉS D'INJECCIÓ.....	9
4.1 FASES DE LA INJECCIÓ.....	11
4.1.1 Descripció de les fases	11
4.2 EL MOTLLE.....	14
5. EQUIP EXPERIMENTAL DE MOLDEIG PER INJECCIÓ	15
5.1 ESTRUCTURA I SUPORT DE L'EQUIP	17
5.2 EL MOTLLE.....	20
5.2.1 Propietats mecàniques del material del motlle	22
5.2.1.1 Característiques tècniques del material del motlle	24
5.2.2 Elements de subjecció	26
5.2.2.1 Cargol.....	28
5.2.2.2 Femella i Volandera	29
5.2.2.3 Perfil d'acer i de goma	30
5.2.2.4 Molles.....	32
5.2.3 Disseny de la cavitat	34
5.3 CILINDRE PNEUMÀTIC	41
5.3.1 Característiques tècniques del cilindre pneumàtic	42
5.3.2 Complementes del cilindre pneumàtic.....	43
5.3.3 Software d'instal·lacions pneumàtiques	43
5.4 INJECTORA	45
5.4.1 Característiques tècniques de la injectora.....	45
5.5 CONNEXIONS HIDRÀULIQUES	48
5.5.1 Unions hidràuliques.....	50
5.5.2 Aixeta <i>LEGRIS</i> 6402	50



5.5.3 Aixeta <i>LEGRIS</i> 0489	51
5.5.4 Endoll ràpid <i>LEGRIS</i> 3675	51
5.5.5 Endoll amb forma de T <i>LEGRIS</i> 3693	52
5.5.6 Endoll amb forma L <i>LEGRIS</i> 3609	53
5.6 SISTEMA ELÈCTRIC I PROTECCIÓ	56
5.7 SISTEMES DE MESURA.....	59
5.7.1 Manòmetre	59
5.7.2 Sensor de Velocitat i Display.....	60
5.7.3 Càmera d'alta velocitat.....	61
5.8 PLAQUES DE SEGURETAT	63
6. MEMORIA DE LA POSADA EN MARXA.....	67
6.1 SISTEMA D'INJECCIÓ.....	67
6.2 FRACTURA DEL MOTLLE	76
6.3 MESURA DE LA VELOCITAT.....	78
7. FASE D'EXPERIMENTACIÓ.....	81
7.1 ANÀLISI DELS ASSAJOS	82
8. CONCLUSIONS.....	103
9. IMPACTE AMBIENTAL	105
10. AGRAÏMENTS	106
11. BIBLIOGRAFIA	107



ÍNDIX DE GRÀFICS

Gràfic. 1 velocitat en funció del temps mitjançant el descodificador	78
Gràfic. 2 velocitat en funció del temps mitjançant la càmera d'alta velocitat	79
Gràfic. 3 Mitjana de les velocitats en funció del temps	80



ÍNDEX DE FIGURES

Fig.1 Esquema d'un sistema d'injecció	10
Fig. 2 Esquema de funcionament d'un multiplicador.	13
Fig. 3 Geometria del motlle	16
Fig. 4 Detall del perfil utilitzat	17
Fig. 5 Detall de l'estructura del muntatge.....	18
Fig. 6 Placa d'acer situada a la part inferior del muntatge	18
Fig. 7 Detall de les potes de goma.....	19
Fig. 8: Geometries proposades per la literatura.....	20
Fig. 9 Distribució del desplaçament en la direcció de l'espessor del motlle sota la màxima pressió de l'aigua injectada. Simulació numèrica realitzada amb el programa de càlcul ABAQUS 6.9. Vista superior.	23
Fig. 10 Vista des de la part inferior dels resultats del mateix càlcul de la Fig. 9.....	23
Fig.11 Imatge frontal del motlle.....	25
Fig. 12 Perfil del sistema de tancament del motlle.....	27
Fig. 13 Perfil del cargol M12	28
Fig. 14 Perfil de la femella M12 i la volandera M12	29
Fig. 15 Perfil de Subjecció	30
Fig. 16 Perfil de protecció de goma	31
Fig. 17 Esquema de les propietats de les molles.....	32
Fig. 18 Detall del sistema de tancament del motlle.....	33
Fig. 19 Detall del sistema de tancament del motlle.....	33
Fig. 20 Disseny inicial del motlle amb entrada lateral	35
Fig. 21 Disseny amb entrada frontal	36
Fig. 22 Nou disseny del motlle amb entrada frontal.....	37
Fig. 23 Nou disseny amb incorporació de vents	38
Fig. 24 Vista del nou disseny inferior	39
Fig. 25 Vista del nou disseny superior	40
Fig. 26 Detall del cilindre pneumàtic C95 i l'electrovàlvula SY7220	42
Fig. 27 Resultat del càlcul de característiques del programa SMC	44
Fig. 28 Esquema de funcionament de la injectora.....	46
Fig. 29 Detall de la injectora i les connexions	47
Fig. 30: Esquema del muntatge del circuit d'aigua sanitària.....	48
Fig. 31 Aixeta LEGRIS 6402.....	50



Fig. 32 Aixeta <i>LEGRIS</i> 0489	51
Fig. 33 Endoll ràpid <i>LEGRIS</i> 3675	51
Fig. 34 Endoll amb forma de T <i>LEGRIS</i> 3693.....	52
Fig. 35 Endoll amb forma de L <i>LEGRIS</i> 3609	53
Fig. 36 Funcionament de la injectora i la vàlvula unidireccional	54
Fig. 37 Diagrama que mostra la pressió que pot suportar	55
Fig. 38 Muntatge del sistema elèctric.....	56
Fig. 39 Detall de la mampara protectora dels fluorescents.....	57
Fig. 40 Esquema elèctric del muntatge.....	58
Fig. 41 Detall del manòmetre amb agulla d'arrossegament.....	59
Fig. 42 Detall del sensor de velocitats i el sistema de captació	60
Fig. 43 Detall del display	61
Fig. 44 Sistema de col·locació de la càmera d'alta velocitat.....	62
Fig. 45 Detall de l'equip de protecció i la mampara mòbil.....	64
Fig. 46 Plaques superiors de metacrilat.....	65
Fig. 47 Placa de metacrilat abatible	66
Fig. 48 Detall del sistema de recuperació del fluid.....	68
Fig. 49 Detall dels col·lectors	69
Fig. 50 Imatge representativa dels vasos d'expansió	70
Fig. 51 Detall dels col·lectors	70
Fig.52 Detall de la subjecció del col·lector	71
Fig. 53 Detall del col·lector de niló amb les juntes tòriques	72
Fig. 54 Il·lustració de les mancances de l'extracció de l'aire	73
Fig. 55 Detall del nou col·lector d'alumini amb les juntes tòriques.....	74
Fig. 56 Millora de l'extracció de l'aire	75
Fig. 57 Detall de la fractura del motlle.....	76



1. OBJECTE

Disseny i construcció d'un equip experimental basat en el conformat per injecció a fi de validar un conjunt de simulacions realitzades amb el programa d'elements finits *FLUENT* [1].

2. ABAST

En el present projecte es dissenyarà i es construirà un equip experimental d'omplerta per injecció.

No es realitzaran les simulacions de la injecció del model que es pretén validar ni tampoc s'obtingran conclusions de les dades obtingudes de l'equip de mesura ni de les simulacions obtingudes.



3. INTRODUCCIÓ

Fa uns quants anys es desconeixia el gran ventall d'aplicacions de l'alumini en els diferents camps de la indústria.

L'alumini és un metall que té pocs anys d'ús, va ser cap a principi del 1900 quan es va començar a utilitzar en l'àmbit industrial. Abans que succeís aquest fet, era considerat un metall preciós a causa de les dificultats per obtenir-lo.

Avui en dia aquesta idea és impensable, ja que s'ha implantat de tal manera en les nostres vides que seria difícil viure sense aquest metall.

L'alumini reuneix una sèrie de propietats mecàniques excel·lents dins del grup dels metalls no ferris, motiu pel qual és tan utilitzat en el món de l'enginyeria.

Aquest metall s'ha expandit per diferents sectors industrials. El fet que l'alumini encaixi tan bé en diferents mercats es deu a la relació de propietats que té, com la rigidesa i la densitat, que és tres vegades menor que la del ferro. Per aquest motiu, cada dia veiem més components que són substituïts per l'alumini, com ara parts del xassís, la carrosseria dels cotxes o suspensions de vehicles.

A la vegada, és possible crear diverses aliatges que aporten alta resistència mecànica, fins i tot a alta temperatura. Aquest fet provoca que s'incorporin cada vegada més, aliatges d'alumini en el món de l'aeronàutica, que és un dels sectors més exigents, ja que es busquen materials lleugers i resistents a la vegada.

També presenta una alta conductivitat tèrmica i elèctrica, la qual cosa el fa molt interessant per a la indústria elèctrica.

L'alumini també posseeix unes propietats magnífiques contra la corrosió gràcies a la pel·lícula d'alúmina que crea de manera espontània en la superfície.

Un dels aspectes que es promou és el reciclatge d'alumini, ja que tot i que aquest metall abunda a l'escorça terrestre, durant la seva producció es realitza una gran despesa d'energia. D'aquesta manera la indústria pot abaratir costos de producció.



Per altra banda, s'han desenvolupat noves tècniques de conformació gràcies a la facilitat que presenta aquest material alhora d'aplicar-li un procés. Una de les tècniques que ha suposat una revolució en la indústria ha estat el moldeig per injecció d'alumini en motlles. Amb aquesta tècnica es poden aconseguir geometries molt complexes que fins ara eren complicades d'obtenir.



4. PROCÉS D'INJECCIÓ

En els processos d'injecció, el material fos s'injecta a alta pressió i a gran velocitat a l'interior d'un motlle permanent constituït amb un acer d'eines que és capaç de resistir altes temperatures.

Els materials que s'usen en els processos d'injecció són els metalls que tenen una baixa temperatura de fusió, com ara l'alumini, amb els seus respectius aliatges com AISi.

Quan el caldo metàl·lic es troba a l'interior de la cavitat del motlle, es manté a pressió constant per tal de contribuir a una bona solidificació, i d'aquesta manera s'assegura que el material fos adopta la mateixa geometria que aquest.

Utilitzant aquest sistema de conformat s'aconsegueix fabricar peces de geometries complexes, amb parets molt fines i amb una elevada exactitud de les toleràncies dimensionals.

Un dels altres avantatges que té és la disminució de possibles tractaments superficials, que s'haurien de dur a terme posteriorment.

Els avantatges que proporciona aquest procés són els següents [2]:

- Exactitud de les toleràncies dimensionals
- Elaboració de peces sense tractaments posteriors
- Fabricació de peces de geometria complicada i parets fines
- Elaboració de peces amb superfícies llises
- Bones propietats mecàniques
- Un volum de producció considerable
- Optimització del material que forma la peça

En la següent imatge s'observa un sistema d'injecció utilitzat en la indústria (**fig. 1**).

En aquesta imatge, es representa la maquinària utilitzada per dur a terme aquesta activitat.



En primer lloc, es pot observar el sistema d'injecció, que estar format per un èmbol amb contacte amb el metall fos. Aquest èmbol impulsa el caldo metàl·lic que es troba al interior d'un gresol conduint-lo cap a l'interior d'un motlle amb l'objectiu de reproduir la mateixa geometria que la cavitat d'aquest element.

Posteriorment, el caldo metàl·lic es solidifica al interior de la cavitat reproduint la geometria exacte d'aquest, un cop el material estar solidificat s'extreu.

En segon lloc també es pot veure representat el sistema de tancament format per un cilindre hidràulic. La finalitat d'aquest equip és exercir una pressió sobre el motlle per impedir la seva obertura durant el procés.

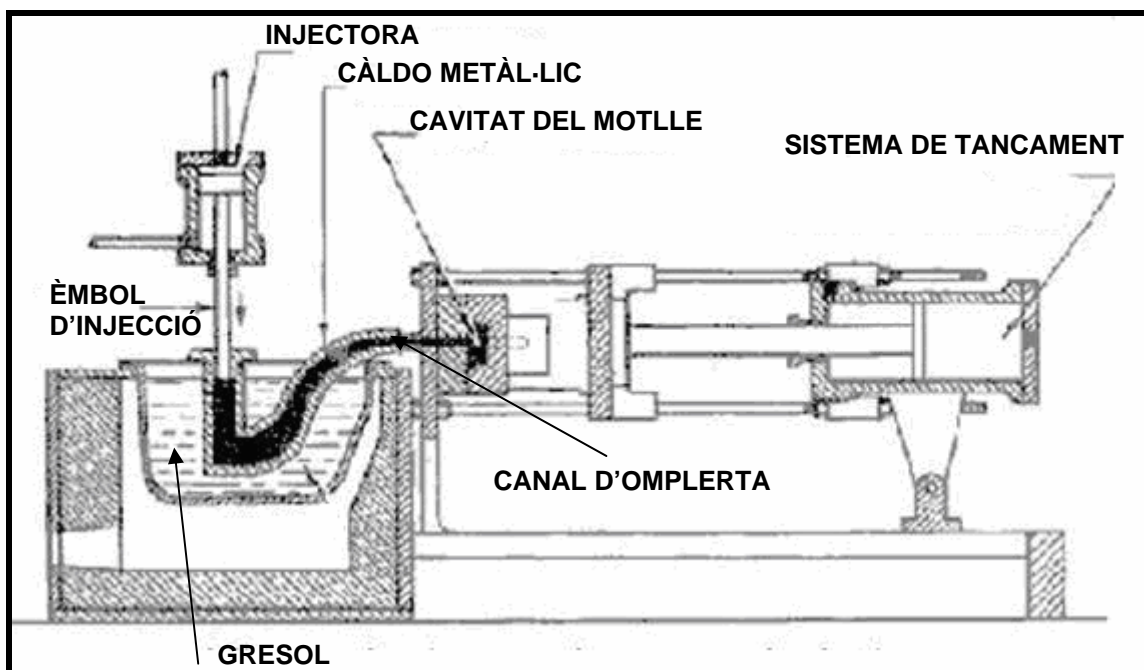


Fig.1 Esquema d'un sistema d'injecció



4.1 FASES DE LA INJECCIÓ

Els processos d'injecció industrial es resumeixen en tres fases, que són primordials per aconseguir una fabricació del producte adequada [2].

Aquestes tres fases són:

- **FASE 1:** Aproximació del caldo líquid al canal d'alimentació
- **FASE 2:** Injecció del caldo metàl·lic a l'interior del motlle
- **FASE 3:** Compactació de l'alumini que es troba a l'interior del motlle

4.1.1 Descripció de les fases

FASE 1:

En la primera fase el caldo d'alumini es diposita a l'interior de la cavitat del cilindre per tal de ser aproximat fins al canal d'alimentació.

En aquesta etapa s'efectua un primer moviment del cilindre a baixa pressió i a unes velocitats relativament baixes.

FASE 2:

En aquesta fase, el caldo líquid es troba al canal d'entrada, a punt per ser dipositat a la cavitat d'aquest element.

Aquesta segona fase es duu a terme a gran velocitat, aproximadament entre 1,5 m/s i 7 m/s i amb una pressió elevada, entre 55 bars i 70 bars [2].

Com a conseqüència de la pressió i de la velocitat que assoleix el caldo líquid, penetra violentament cap a l'interior del motlle i crea turbulències en les diverses parts del motlle.



En aquesta fase, els vents, que són petits canals que comuniquen l'interior del motlle amb l'exterior, tenen la funció d'evacuar tot l'aire que pot quedar a l'interior del motlle en el moment de ser injectat.

Cal dir que la disposició dels vents ha d'estar ben estudiada per tal d'extreure la màxima quantitat d'aire possible, ja que tot l'aire que pot quedar retingut a l'interior es transforma en petits porus que debiliten la peça a nivell mecànic.

FASE 3:

En aquesta fase, el cilindre augmenta la pressió fins a 210 bars [2] a baixa velocitat per tal de compactar tota la peça que es troba a l'interior de la cavitat.

La finalitat de la tercera fase, a part de compactar la peça, també consisteix a eliminar els petits porus que es puguin haver produït en la segona fase.

En aquesta fase cal esmentar la utilització del multiplicador que es troba solidari amb l'èmbol i la finalitat d'aquest element és augmentar la pressió fins a un valor molt elevat. D'aquesta manera minimitzem l'aparició de porositats a les peces que poden ser causants de falles mecàniques. En l'esquema següent (**Fig. 2**) s'observa el funcionament d'un cilindre i un multiplicador amb un sistema d'injecció.



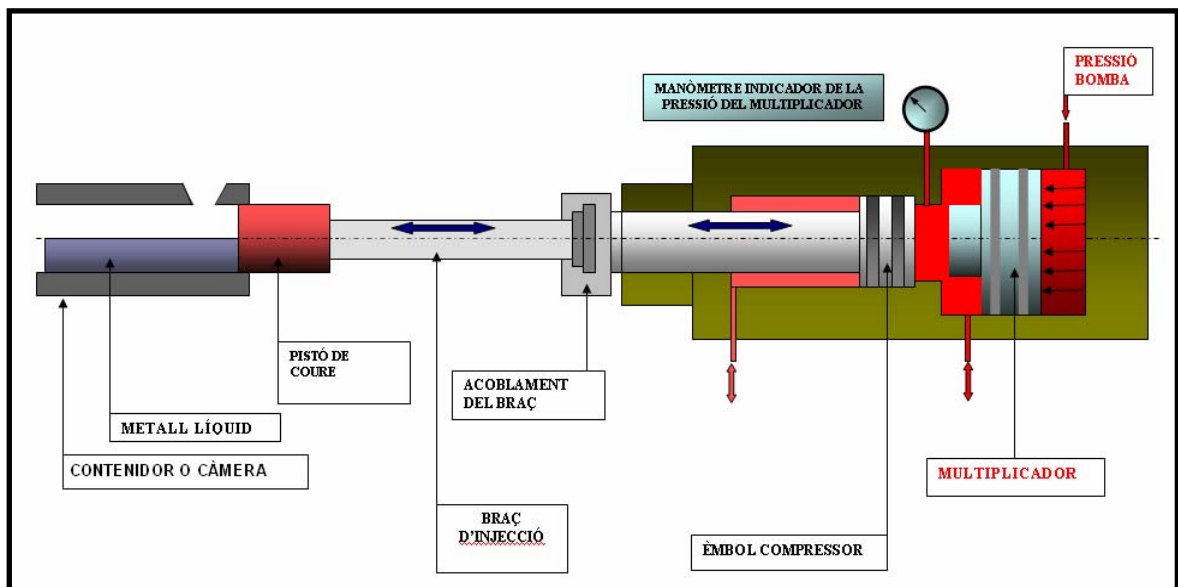


Fig. 2 Esquema de funcionament d'un multiplicador.



4.2 EL MOTLLE

En els processos d'injecció industrial és molt important l'elecció del material del motlle, ja que el caldo metàl·lic s'injecta a alta pressió i a una temperatura elevada.

A més a més, els components del motlle se sotmeten constantment a xocs tèrmics. Per aquests motius s'acostumen a utilitzar acers que contenen les següents propietats:

- Bona resistència als canvis de temperatura sobtats
- Resistència als impactes del metall fos
- Resistència química del caldo líquid
- Facilitat per ser reparat o modificat
- Dificultat a l'hora de ser deformat a causa del calor

Els acers de treball amb calent són: Cr, Mo, V i W.

La fabricació dels motlles és una tasca complicada en què es necessiten moltes hores de mecanització i ajustaments de les superfícies, ja que les imperfeccions influeixen de manera considerable al hora d'elaborar les peces.

Els motlles són construïts amb acers forjats i la majoria de vegades se subministren amb un tractament de trempat. En alguns casos s'ha de fer un tractament de trempat, fet que encareix considerablement el mecanitzat que s'aplica posteriorment.

El disseny del motlle és elaborat de tal manera que es produeixen des de 40.000 fins a 150.000 peces.

Les dimensions màximes de les peces que es creen en processos d'injecció depenen exclusivament de la força de tancament de la màquina i de la màxima pressió aplicable.

Quan es fabriquen peces petites i relativament senzilles es creen motlles múltiples per tal de produir diverses peces d'una sola injectada. D'aquesta manera, s'abarateix el cost de fabricació i se n'augmenta la producció.



5. EQUIP EXPERIMENTAL DE MOLDEIG PER INJECCIÓ

L'objectiu de l'equip experimental és crear un flux amb característiques similars a les d'una injecció d'alumini i a la vegada observar el comportament d'aquest a l'interior d'un motlle transparent.

Per tal de dur a terme l'equip experimental, ha estat necessari basar-se en articles relacionats [3,10], els quals descriuen la geometria de la cavitat, les especificacions que havia de complir l'equip i un esquema de muntatge.

En aquest equip hi havia de constar:

- Un sistema d'injecció que aportés una pressió fins a 15 bars, i una velocitat màxima del fluid de 8,6 m/s.
- Un motlle transparent, amb la geometria definida per l'article inscrita i amb una profunditat de la cavitat de 2 mm.
- Un sistema de captura d'imatges, format per una càmera d'alta velocitat per tal d'obtenir un conjunt d'imatges de l'omplerta del motlle durant els assajos.

En el moment de realitzar els assajos d'injecció, el fluid que s'injectarà a l'interior de la cavitat del motlle serà aigua sanitària a temperatura ambient, ja que té un comportament molt similar a l'alumini quan està en estat líquid [3,10].

A més a més, a la geometria que s'ha escollit per realitzar els assajos, s'hi ha incorporat uns orificis que comuniquen amb l'exterior del motlle anomenats vents. La finalitat d'aquests orificis, dins dels processos d'injecció industrial, és extreure l'aire retingut al interior de la cavitat i prevenir la creació de porus i rebeguts en algunes seccions de les peces.

En aquesta imatge (**Fig. 3**) es veu d'una manera esquemàtica la geometria del motlle que s'ha utilitzat i la circulació del flux per l'interior de la cavitat i els vents utilitzats.



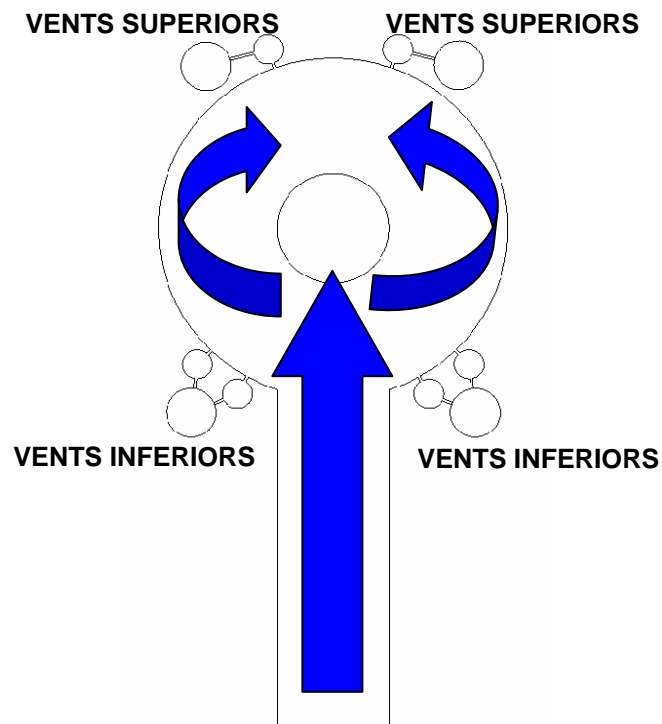


Fig. 3 Geometria del motlle

Per altra banda, el disseny de l'equip experimental que es crearà intenta compartir forces símilis amb els processos d'injecció industrials. Un dels exemples clars és la injectora, ja que es parteix d'un èmbol que impulsa un volum d'aigua a l'interior del motlle amb una pressió elevada i a una velocitat específica. A més a més, s'ha intentat complir amb les velocitats i la pressió del fluid quan penetra a l'interior de la cavitat.

Les gravacions que s'obtinguin dels assajos, s'utilitzaran per contrastar els resultats obtinguts amb el model creat amb el programari *FLUENT* [1].

Per tal d'ajustar el model creat per elements finits, s'han dipositat sensors i sistemes de mesura a l'equip experimental que permetran quantificar les variables del projecte, com ara la pressió, la velocitat i el cabal.



5.1 ESTRUCTURA I SUPORT DE L'EQUIP

Per poder subjectar tots els elements que formen part del muntatge experimental s'ha dissenyat una estructura metàl·lica amb un perfil de la casa comercial *MECALUX* (**Fig. 4**). Les dimensions del perfil són de 40 mm per 40 mm, amb uns orificis de M8 separats entre si per 25 mm. Aquest perfil és molt utilitzat per a construir prestatges en magatzems, ja que disposa de versatilitat a l'hora de disposar les postades.



Fig. 4 Detall del perfil utilitzat

Un dels grans avantatges que té el perfil és la facilitat que presenta a l'hora d'acoblar-hi nous elements, ja que gràcies als orificis de què disposa, aquests es poden acoblar d'una manera ràpida i senzilla.

La disposició de l'esquelet metàl·lic s'ha repartit en dos blocs (**Fig. 5**). El bloc superior és on hi ha el motlle i el bloc inferior és on es troben tots els elements hidràulics, com ara la injectora o els elements pneumàtics, com per exemple el cilindre.



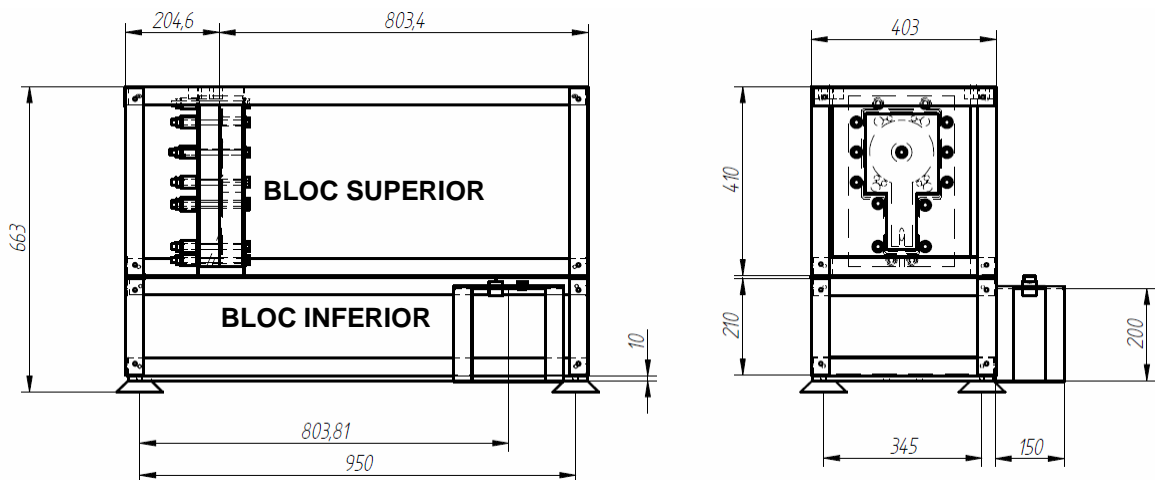


Fig. 5 Detall de l'estructura del muntatge

Per altra banda, també s'ha afegit una safata metàl·lica a la part inferior del muntatge (**Fig. 6**), per tal d'aportar més rigidesa a l'esquelet i, per altra banda, per subjectar-hi la injectora i el cilindre pneumàtic. També cal dir que per obtenir configuracions del muntatge diferents s'hi ha mecanitzat un traucolís al centre de la placa, i així la injectora i el cilindre pneumàtic es poden desplaçar segons convingui.

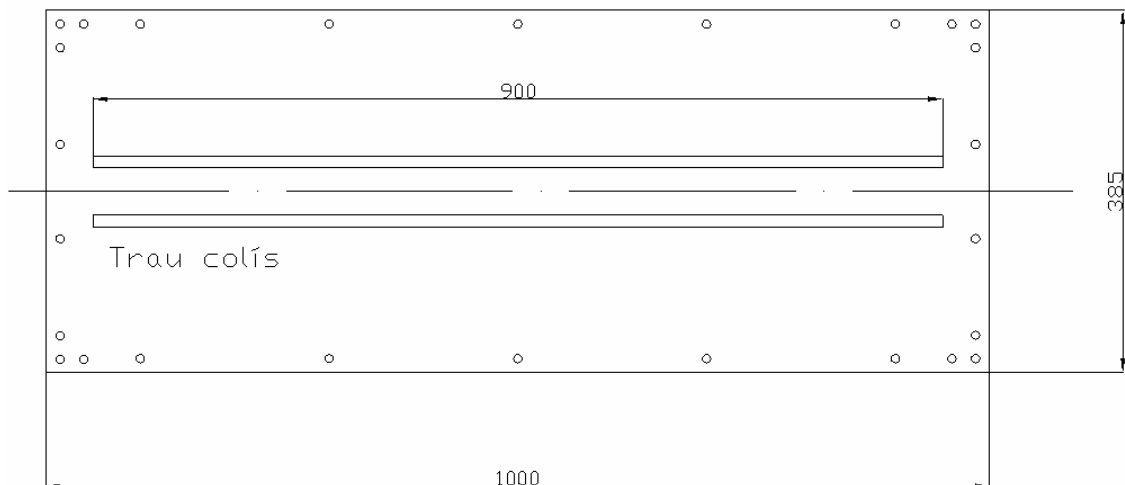


Fig. 6 Placa d'acer situada a la part inferior del muntatge



L'últim aspecte que cal comentar és que a l'esquelet s'hi han incorporat uns peus de goma (**Fig. 7**) per tal d'augmentar l'estabilitat del conjunt i per regular l'altura, de manera que tot el conjunt es trobi en el mateix nivell.



Fig. 7 Detall de les potes de goma



5.2 EL MOTLLE

Un dels punts claus del projecte, serà la constitució del motlle, el qual estarà sotmès assajos d'injecció per tal d'obtenir gravacions de la propagació del flux.

Aquest element, imprescindible per els processos d'injecció, estarà fabricat per dues peces, d'un material transparent per poder observar la cavitat. A més a més s'hi descriurà la geometria definida per la literatura, [3,10] la qual proposa tres models a escollir basats en geometries simple (**Fig. 8**). El model escollit incorpora un trenc aigües al centre de la cavitat, fet que la fa molt interessant ja que causa un trencament de flux i aquest és un dels aspectes que es pretén controlar.

A continuació es mostraran les tres geometries proposades per la literatura:

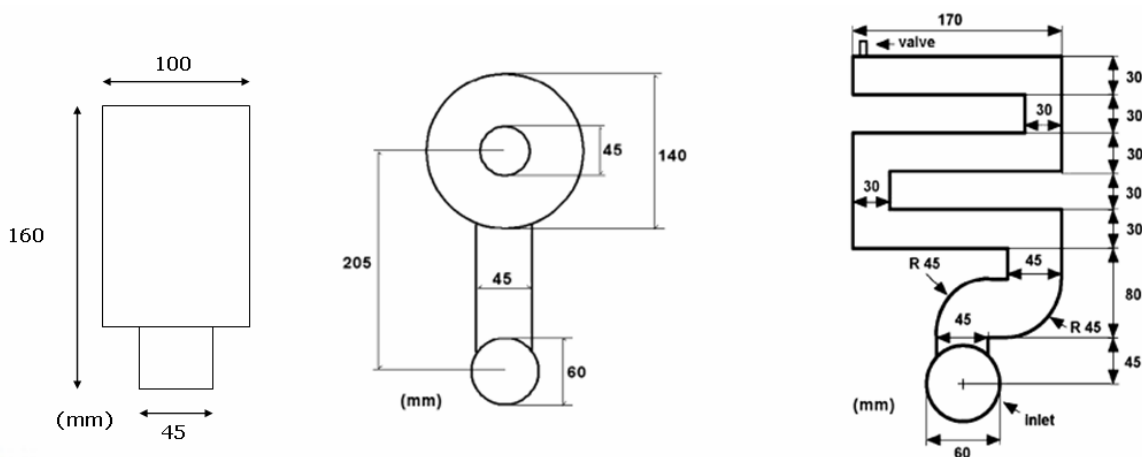


Fig. 8: Geometries proposades per la literatura

A més a més, en la geometria escollida s'incorporaran uns canals anomenat vents a fi d'aproximar aquest model als processos d'injecció industrials.

Per altra banda és imprescindible elaborar un bon sistema de tancament, ja que degut a la pressió del fluid, podria causar la separació de les dues peces del motlle i l'aparició de fuites.



Per tal de dur a terme el disseny d'aquest element de forma satisfactòria, s'han descrit tres estratègies que s'esmenten a continuació:

- Un sistema de tancament i subjecció
- Un material transparent i resistent
- Un disseny de la cavitat adient



5.2.1 Propietats mecàniques del material del motlle

El material que s'utilitzarà per la fabricació del motlle, serà metacrilat, ja que aquest té una suficient resistència mecànica i ofereix una bona transparència de la cavitat.

Degut a la pressió del fluid en el moment de la injecció, el motlle és sotmès a esforços que podrien provocar que s'obris i s'escapés el fluid. Per aquest motiu, es van simular tres models amb espessors diferents: 50, 25 i 10 mm. per comprovar quina era la deformació en cada cas.

El software que s'ha utilitzat per simular aquests models és l'*ABAQUS 6.9* [4] (**Fig. 9 i 10**). En aquestes figures, es pot observar la distribució del desplaçament obtingut en la geometria actual d'espessor 50 mm.

Un cop observades les deformacions obtingudes en els diferents casos, s'ha cregut necessari utilitzar el model de 50 mm perquè amb una pressió de 40 bars té una deformació màxima de 0,153 mm.



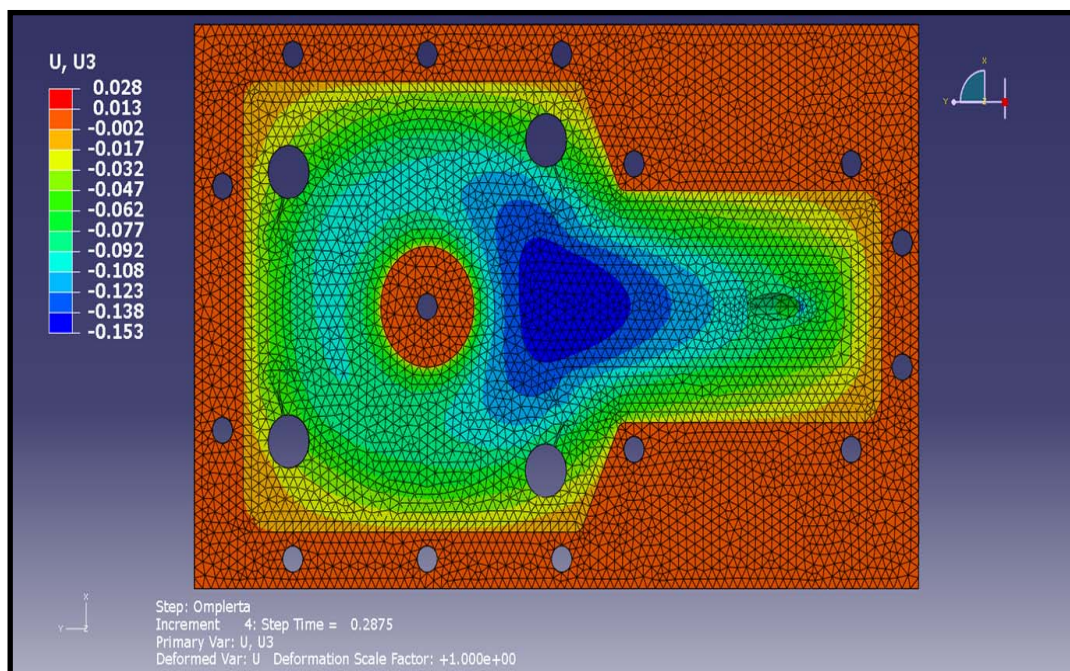


Fig. 9 Distribució del desplaçament en la direcció de l'espessor del motlle sota la màxima pressió de l'aigua injectada. Simulació numèrica realitzada amb el programa de càlcul **ABAQUS 6.9**. Vista superior.

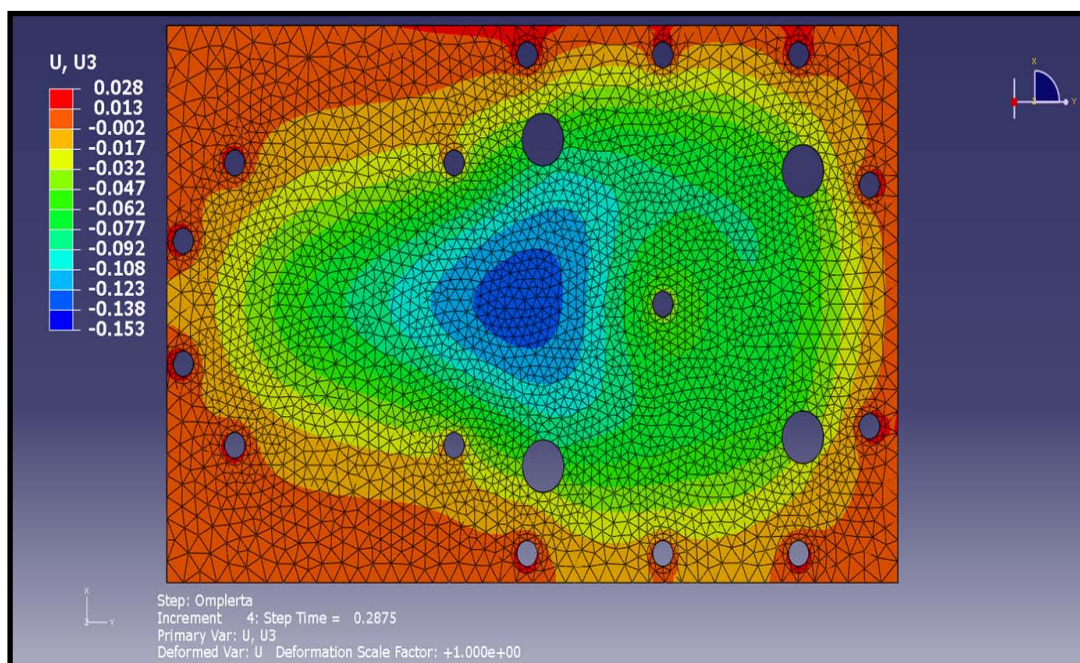


Fig. 10 Vista des de la part inferior dels resultats del mateix càlcul de la Fig. 9.



5.2.1.1 Característiques tècniques del material del motlle

El metacrilat comparteix similituds amb el policarbonat o el poliestirè, però se'n diferencia per la resistència a l'ambient, la transparència i l'oposició que presenta a l'hora de ser rallat.

La forma més habitual en què es pot trobar és granulat o en làmines. Quan el trobem granulat, s'usa per a realitzar processos d'injecció o d'extrusió, mentre que quan es presenta en làmines es fa servir per a realitzar processos de mecanitzat.

El metacrilat presenta un gran ventall d'aplicacions en els camps de la indústria de l'automòbil, la construcció o l'òptica, pel fet que és molt apreciat per la transparència, les seves propietats mecàniques i la resistència que oposa a l'ambient corrosiu.

També s'utilitza la resina de polimetacrilat en el camp de la medicina, per a fabricar pròtesis òssies o dentals. Aquest material també s'utilitza com a additiu en els fàrmacs que es prenen per via oral, ja que n'endarrereix el temps de descomposició.

La característica principal del metacrilat, però, és la transparència, que és del 93%. Per aquest motiu, aquest polímer s'utilitza amb freqüència en el món de l'enginyeria. També presenta unes bones propietats mecàniques, com ara un bon aïllament acústic i tèrmic i una resistència a l'impacte superior a la que té el vidre. A més a més, té una densitat de 1.150-1.190 kg/m³. La resistència a la tracció és de 80 N/mm² segons el DIN53455 i un mòdul elàstic de 3.300 N/mm² segons el DIN53457.

En la imatge que es mostra a continuació es mostra el motlle de metacrilat (**Fig. 11**).



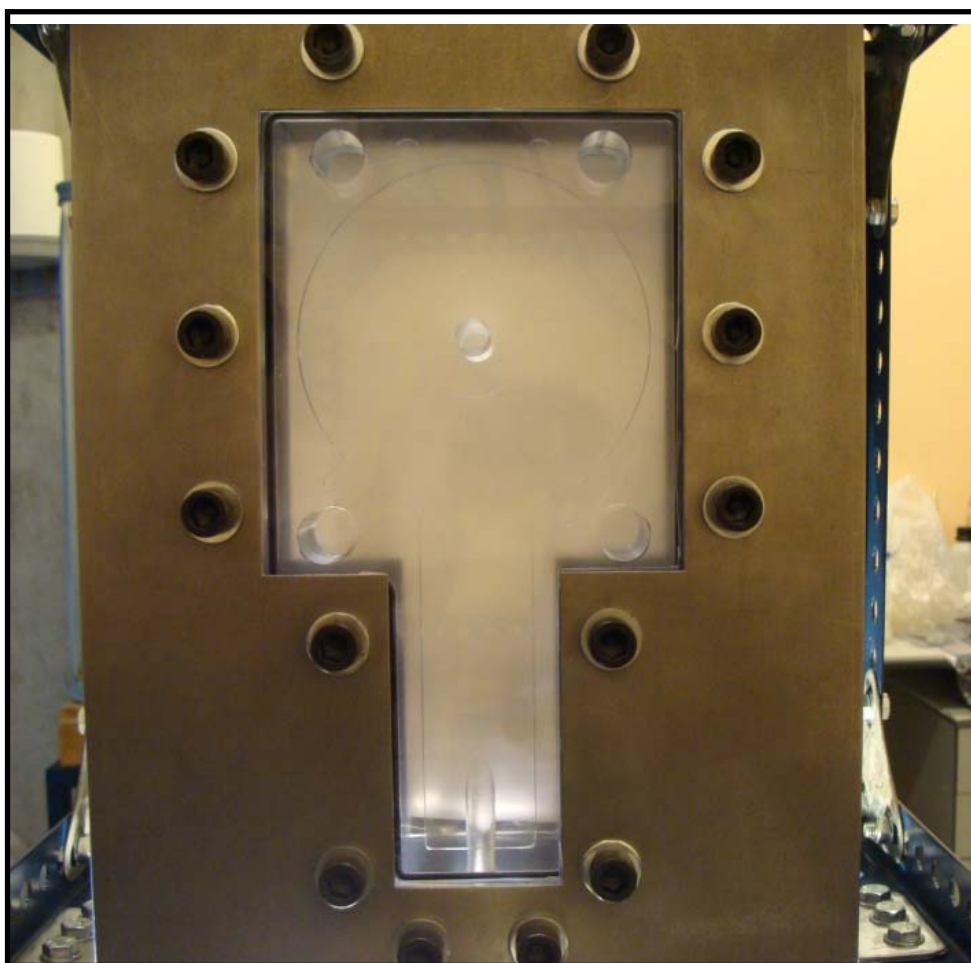


Fig.11 Imatge frontal del motlle



5.2.2 Elements de subjecció

Un dels primers problemes que ha sorgit a l'hora de realitzar el projecte ha estat el sistema de tancament de les dues parts del motlle.

S'han estudiat diverses opcions, com ara subjectar les dues parts mitjançant sistemes hidràulics o amb un sistema a pressió. Finalment l'opció que s'adequa més és mitjançant un sistema d'unions cargolades.

Aquest sistema de subjecció proporciona un seguit d'avantatges com ara: un cost unitari molt baix i una bona visibilitat de la cavitat. També cal dir que aquest sistema té alguns inconvenients, com ara la llarga estona de preparació i la dificultat alhora de netejar la cavitat després d'un assaig o la incertesa de la força de tancament.

Com que la força de tancament és un valor que s'ha de controlar, ha estat necessari implementar un conjunt de molles de matriceria. D'aquesta manera, amb la constant elàstica de la molla i el desplaçament efectuat, es pot calcular la força que efectua cada cargol.

A més a més, per aconseguir una distribució homogènia de les forces sobre la superfície, s'ha dissenyat un perfil d'acer de 2 mm d'espessor. També s'ha pensat que seria necessari incorporar una banda de goma per no malmetre la superfície del motlle.

La següent imatge (**Fig. 12**) representada és un perfil del conjunt de la unió cargolada, en què es poden observar els diferents elements que en formen part i a la vegada es visualitza el conjunt en detall.



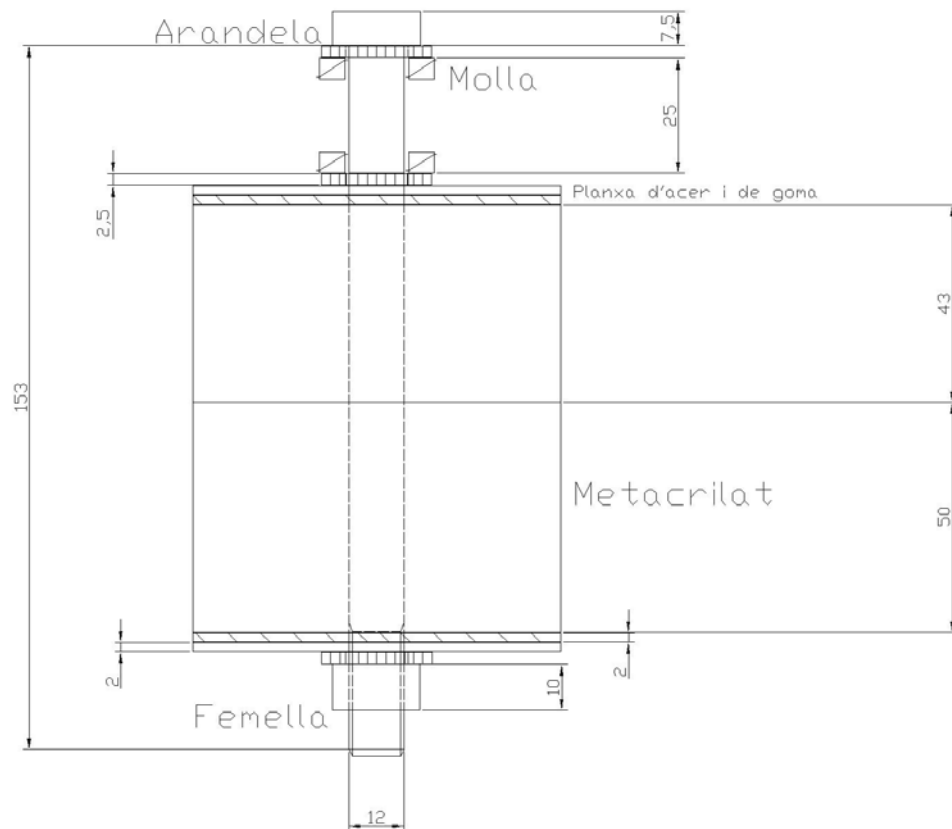


Fig. 12 Perfil del sistema de tancament del motlle



5.2.2.1 Cargol

Els cargols que s'han escollit per el tancament del motlle, han de tenir una longitud determinada i un tractament antioxidant a més a més han de resistir una força de 2.555,35 N.

Un cop exposades aquestes característiques, el cargol que s'adequa millor és el DIN 960, amb una qualitat de 8.8 i amb un tractament superficial de pavonat.

El cargol és un M12, amb una longitud total de 160 mm i 30 mm de rosca. El pas de rosca és d'1,25 mm. La cabota del cargol és hexagonal interior i té una alçada de 7,5 mm. El pes total del cargol és de 0,1546 kg (**Fig. 13**).



Fig. 13 Perfil del cargol M12



5.2.2 Femella i Volandera

A més a més del cargol, també ha calgut escollir els elements que configuren la unió: la femella i la volandera (**Fig. 14**).

La femella que s'ha escollit és una DIN 555 de M12. El casquet té una amplada de 19 mm i l'espessor és de 10 mm, amb una qualitat 8.8.

La volandera és una DIN 126 de M12 plana, el diàmetre exterior és de 24 mm i el diàmetre interior, de 13,5 mm. Té una espessor de 2,5 mm.

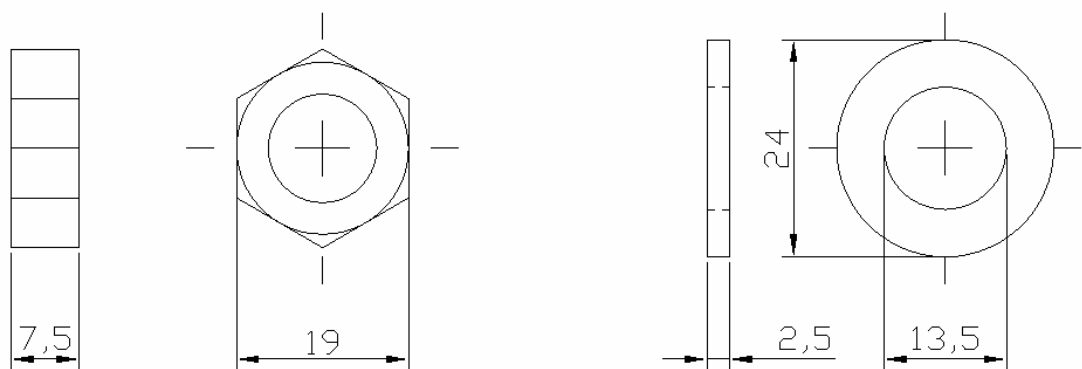


Fig. 14 Perfil de la femella M12 i la volandera M12



5.2.2.3 Perfil d'acer i de goma

Durant els assajos, el motlle de metacrilat està sotmès a altes pressions, a la vegada aquestes pressions generen esforços importants a l'interior de la cavitat que podien arribar a separar les dues peces.

Per contrarestar aquest fet, es va dissenyar un perfil d'acer (**Fig. 15**) amb un espessor de 2 mm que reparteix de manera homogènia les forces de compressió generades per les unions.

Seguint la mateixa idea que el perfil d'acer, es va dissenyar un perfil de goma (**Fig. 16**) de 2 mm. La finalitat d'aquest perfil era protegir dels possibles danys que podien causar els cargols o bé el mateix perfil d'acer a sobre la superfície del motlle.

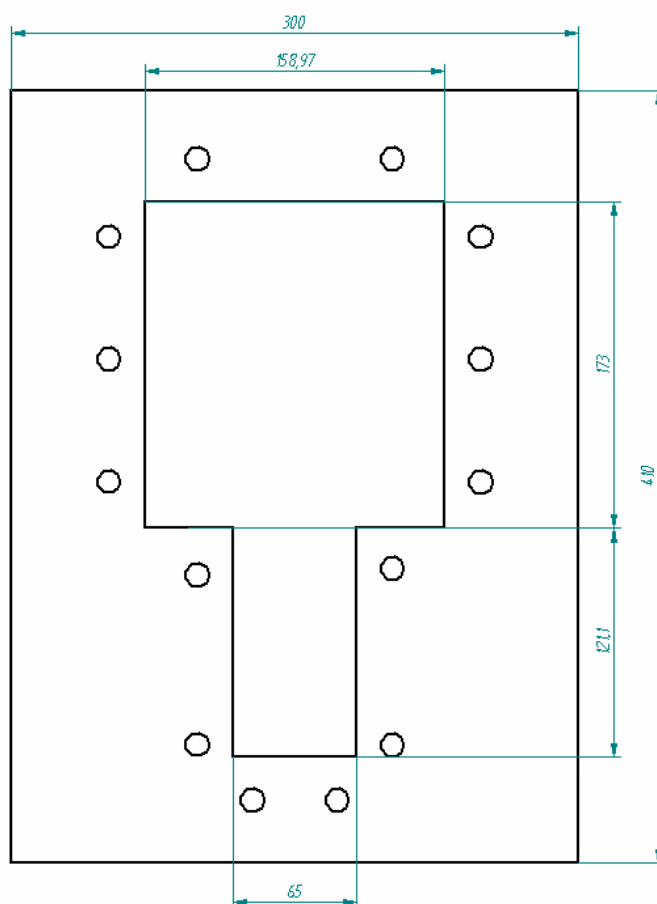


Fig. 15 Perfil de Subjecció



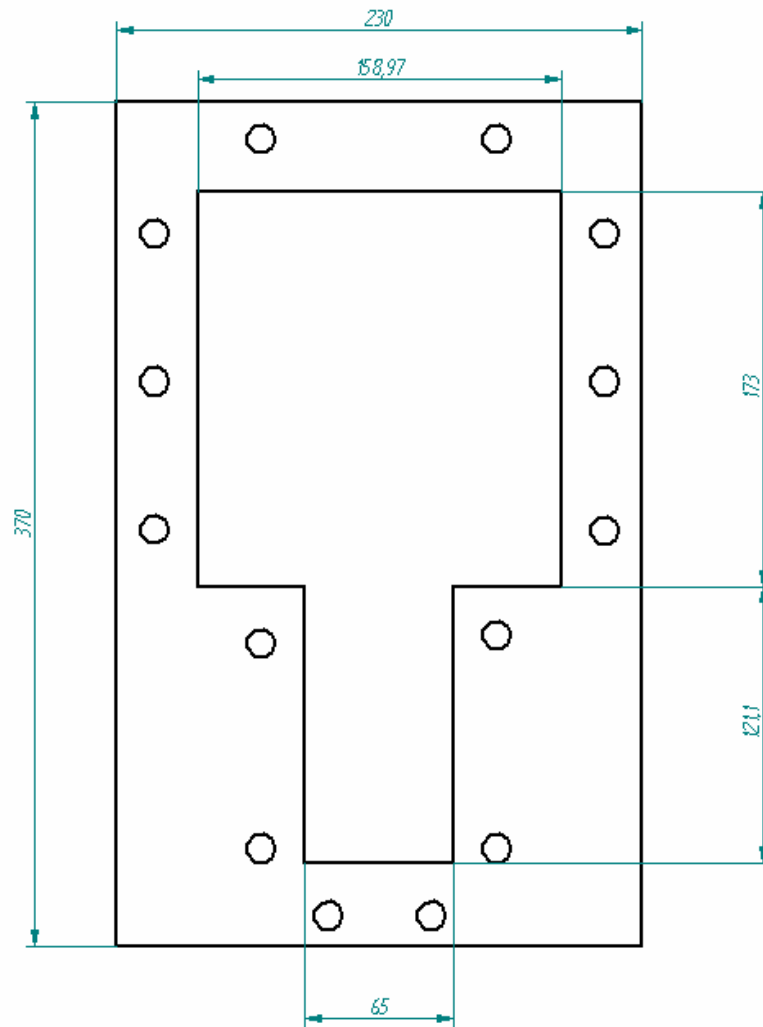


Fig. 16 Perfil de protecció de goma



5.2.2.4 Molles

Durant el transcurs dels assajos del projecte s'ha hagut de controlar amb especial rigor la bona estanquitat entre totes dues parts del motlle, per tal d'evitar possibles fuites d'aigua o d'aire per la junta tòrica.

D'aquesta manera, un cop determinat la constant elàstica de la molla i el desplaçament efectuat, es pot calcular la força que apliquen els cargols a sobre la superfície del motlle.

Les molles que s'utilitzen per efectuar els assajos són les que es fan servir en tasques de matriceria, ja que són estandarditzades i relativament fàcils d'adquirir.

Les que s'han escollit per aquesta tasca són les DIN 2095 (**Fig. 17**) amb un perfil de 5,6 x 4,6 mm. La constant elàstica és de $374,4 \pm 10\%$ N / m. Tenen un diàmetre exterior de 25 mm (Dh) i un diàmetre interior de 12,5 mm (Dd) .

L'alçada de la molla és de 32 mm (Lo) i el treball màxim s'efectua quan la compressió és de $8 \pm 25\%$ mm (Ln).

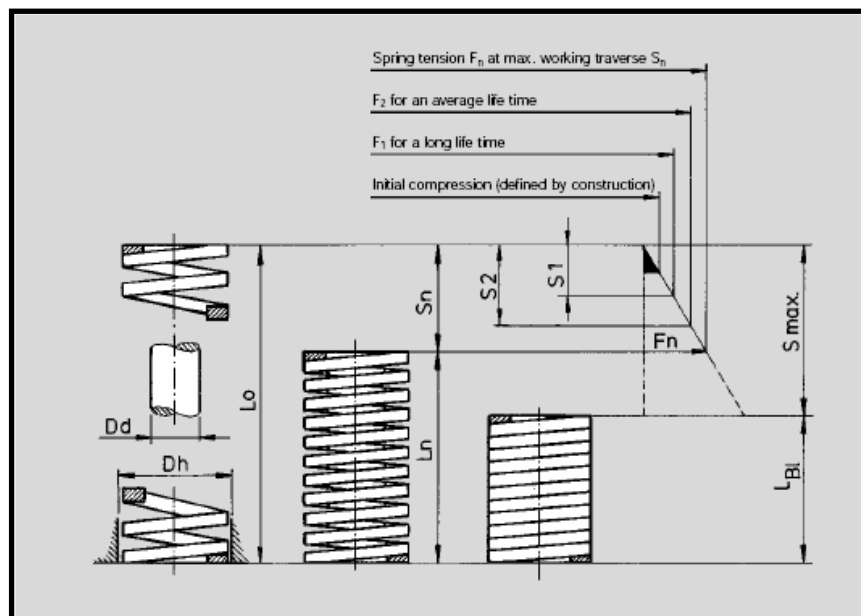


Fig. 17 Esquema de les propietats de les molles



A continuació es mostren unes imatges del motlle amb les seves subjeccions (Fig. 18 i 19).

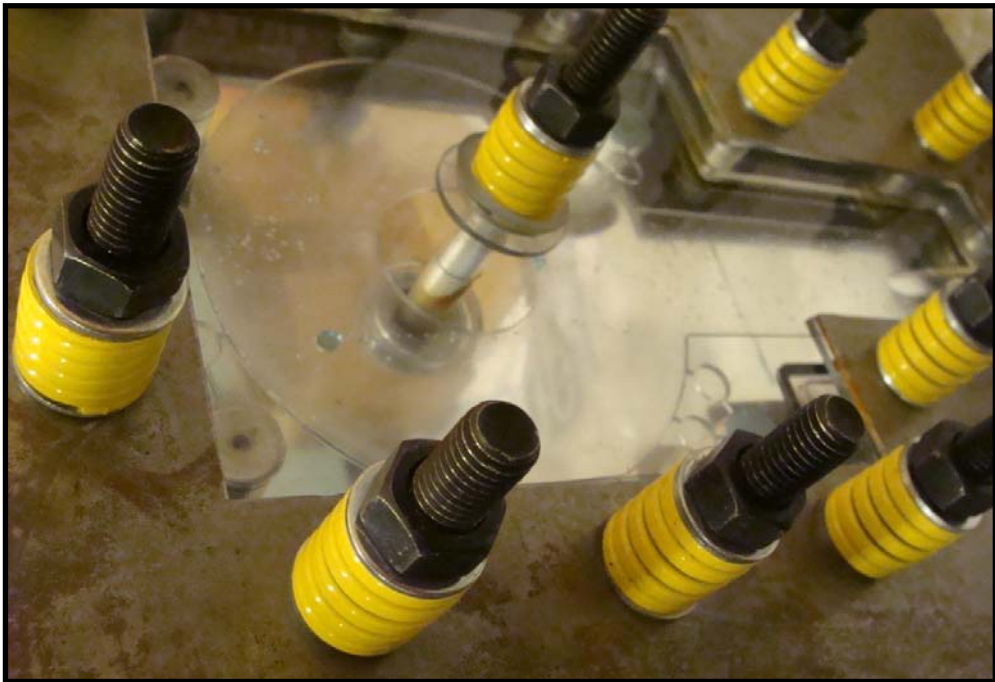


Fig. 18 Detall del sistema de tancament del motlle

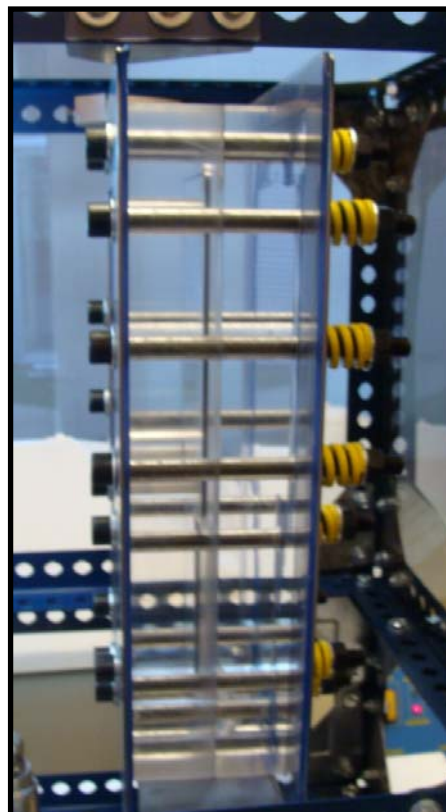


Fig. 19 Detall del sistema de tancament del motlle



5.2.3 Disseny de la cavitat

Des d'un bon principi, la geometria que havia de tenir la cavitat del motlle estava ben definida per la literatura [3,10]. Però els aspectes que no estaven del tot clars eren com es plasmaria aquesta geometria en una superfície plana i transparent. Per aquest motiu es van estudiar varies estratègies per tal d'assolir l'objectiu esmentat.

El disseny del motlle, que ha tingut més acceptació, s'ha basat en la utilització d'una placa de metacrilat de 50 mm d'espessor com a base, i mitjançant un procés de mecanitzat, s'ha gravat la geometria desitjada.

El primer model que s'ha presentat (**Fig. 20**), s'ha basat en una placa de 250 mm de llarg i 200 mm d'ampla i amb un petit canal d'alimentació que entra pel lateral. El disseny d'aquest motlle no ha estat acceptat, ja que l'omplerta es realitza de forma lateral i genera turbulències a l'entrada de la cavitat. Per aquest motiu s'ha continuat dissenyant un nou sistema d'omplerta.



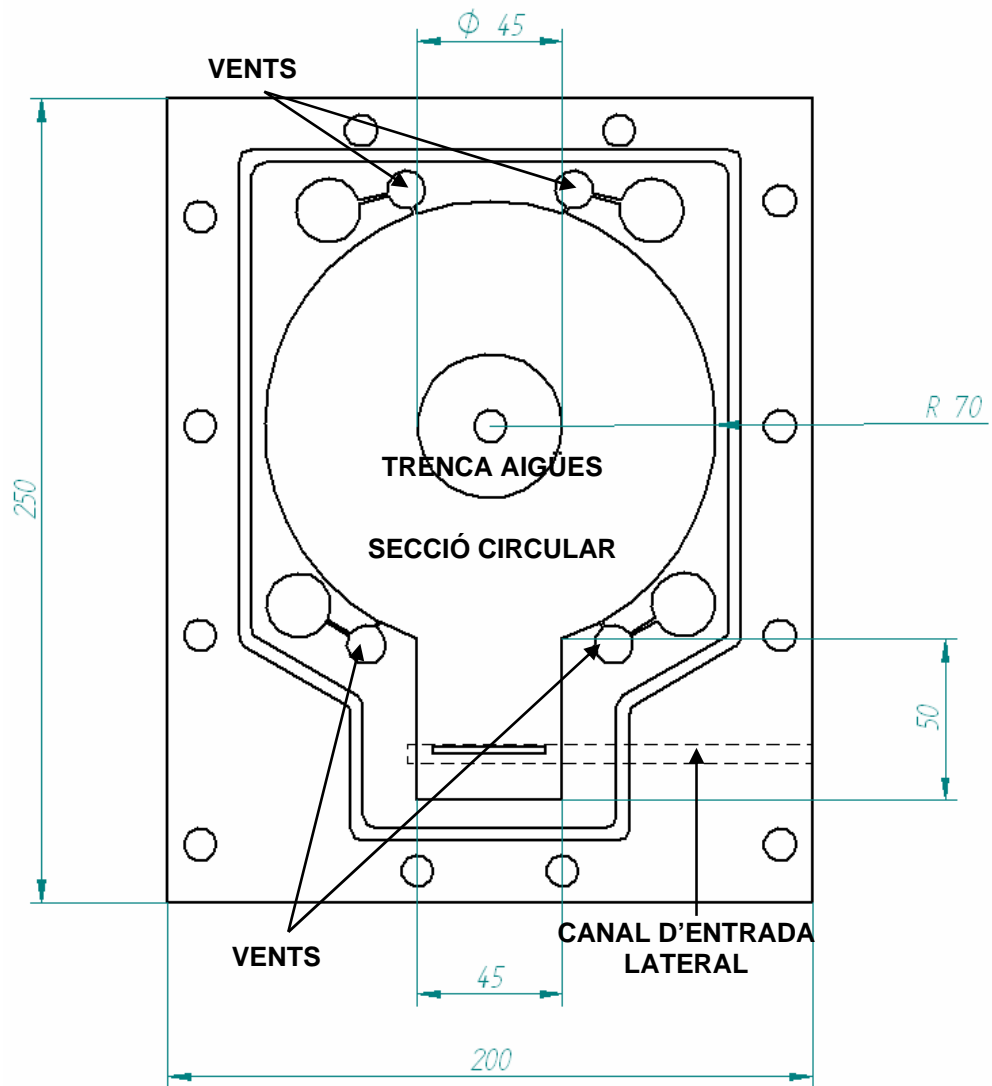


Fig. 20 Disseny inicial del motlle amb entrada lateral

En el nou disseny que es va realitzar (**Fig. 21**) es va substituir el canal d'entrada lateral per un canal d'entrada frontal. D'aquesta manera el fluid entra de manera més directa i es poden eliminar les turbulències degudes als colzes i als canvis de secció bruscs que conté el canal lateral.



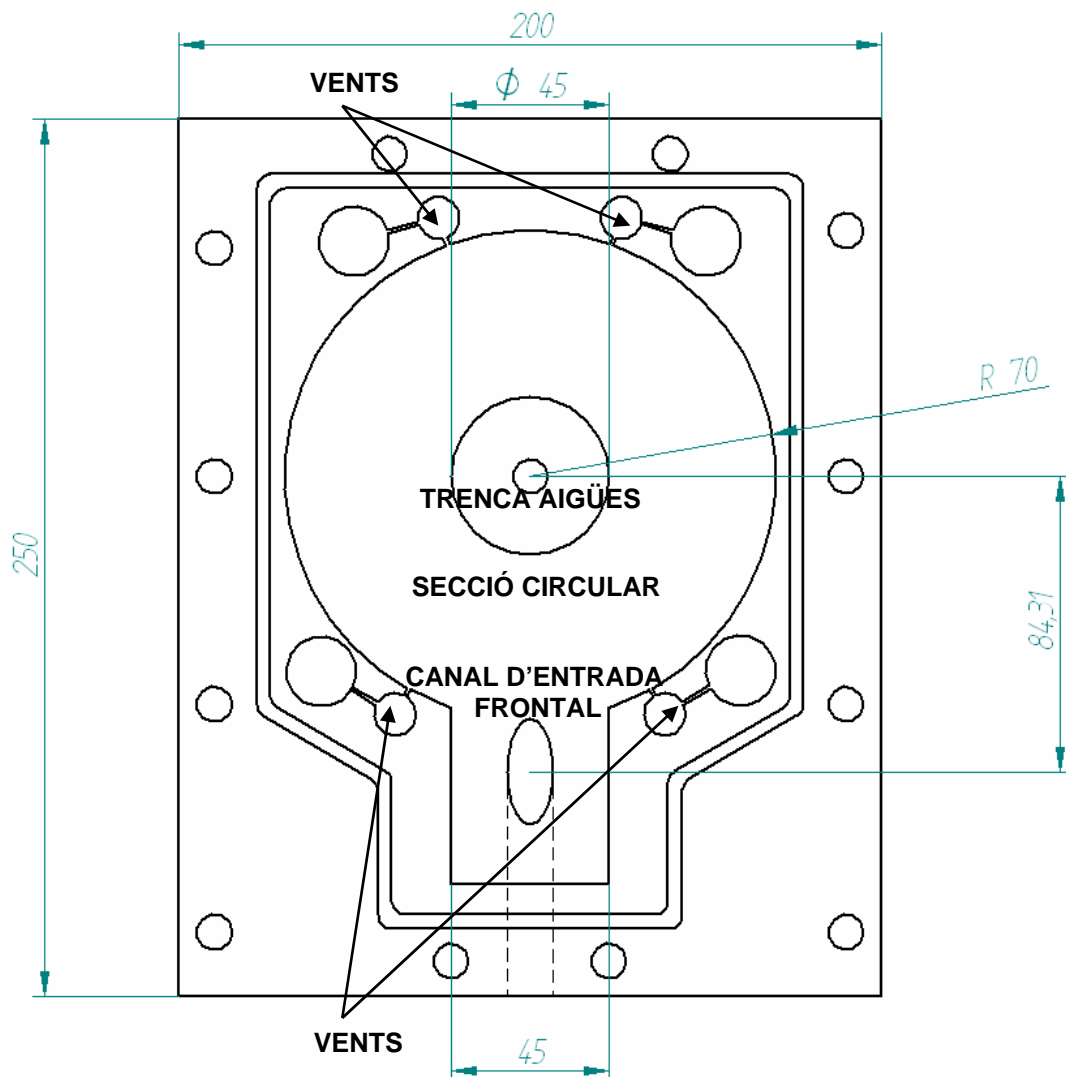


Fig. 21 Disseny amb entrada frontal

Com que el canal d'entrada frontal està molt pròxim a la secció circular de la cavitat s'ha realitzat un nou disseny, ja que de cara a les simulacions s'han de tenir les condicions de contorn ben definides en el moment inicial de la injecció (**Fig. 22**).

En el nou disseny que s'ha presentat, ha consistit en augmentar el canal d'entrada amb una distància de 138,71 mm. Aquest augment, ajuda a guiar el fluid fins a la cavitat del motlle de forma laminar i establir unes bones condicions de contorn en el moment inicial. Per altra banda, també s'ha augmentat la geometria del motlle, que va passar a ser de 370 mm de llargada i 230 mm d'amplada amb un gruix de 50 mm.



A més a més, el fet d'augmentar les dimensions de la superfície del motlle ha ajudat a realitzar una nova distribució dels forats per on han de passar els cargols i el canal de la junta tòrica.

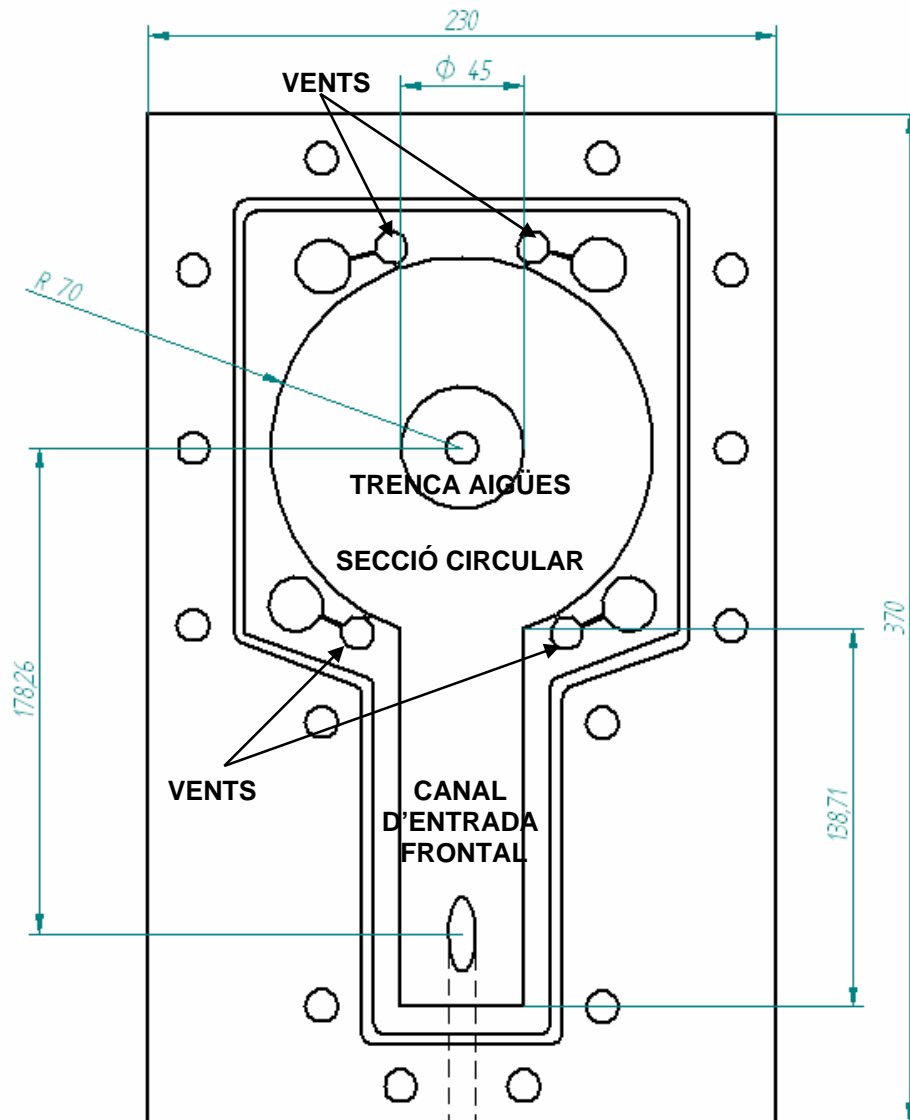


Fig. 22 Nou disseny del motlle amb entrada frontal

Després de realitzar l'aprovació d'aquest disseny, s'ha analitzat la disposició dels vents i l'eficiència d'aquests. Per tal de realitzar aquesta tasca s'han utilitzat uns estudis desenvolupats pel Departament de Fluids de la Universitat Politècnica de Barcelona [5] en què argumenten l'eficàcia d'aquests segons la seva disposició i quantitat.



Després d'haver llegit les conclusions d'aquests articles, s'ha cregut oportú afegir dos vents a la part inferior del motlle (**Fig. 23**) per tal de millorar l'extracció de l'aire que pot haver quedat retingut a l'interior.

Per tant la nova geometria que s'ha dissenyat és la següent:

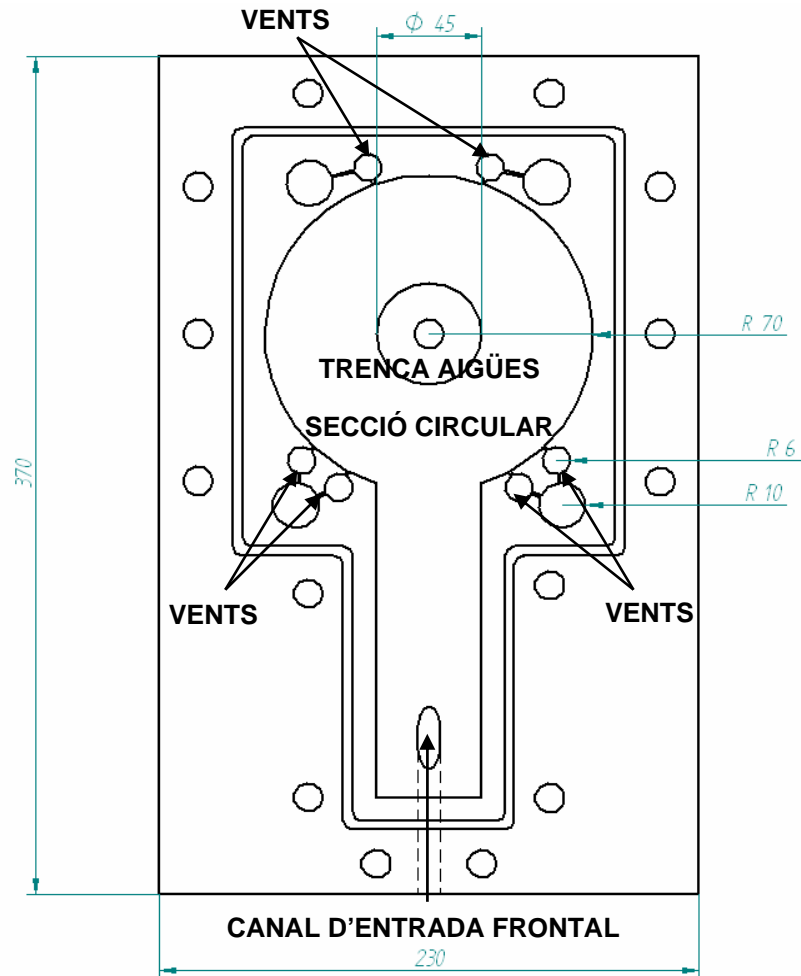


Fig. 23 Nou disseny amb incorporació de vents

La última millora que s'ha fet, és el sistema de tancament de les dues peces del motlle, que consisteix en un rebaix que obliga a encaixar les dues peces de metacrilat (**Fig. 24 i 25**).

D'aquesta manera s'evita que s'escapi el fluid per les parets de la cavitat.



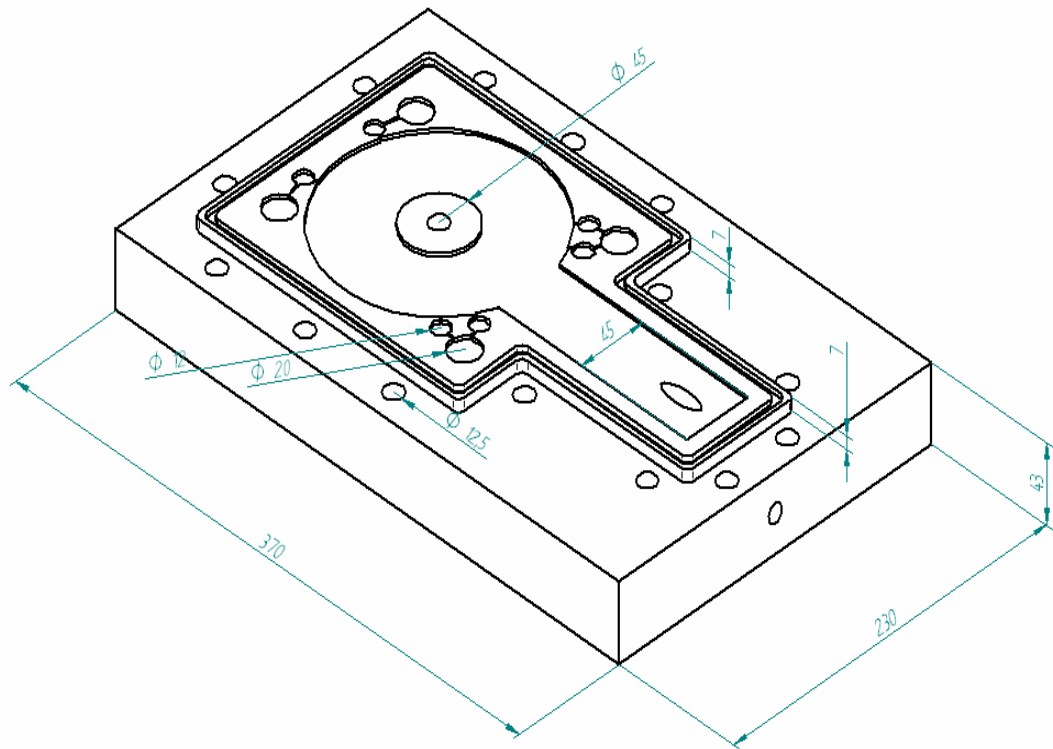


Fig. 24 Vista del nou disseny inferior



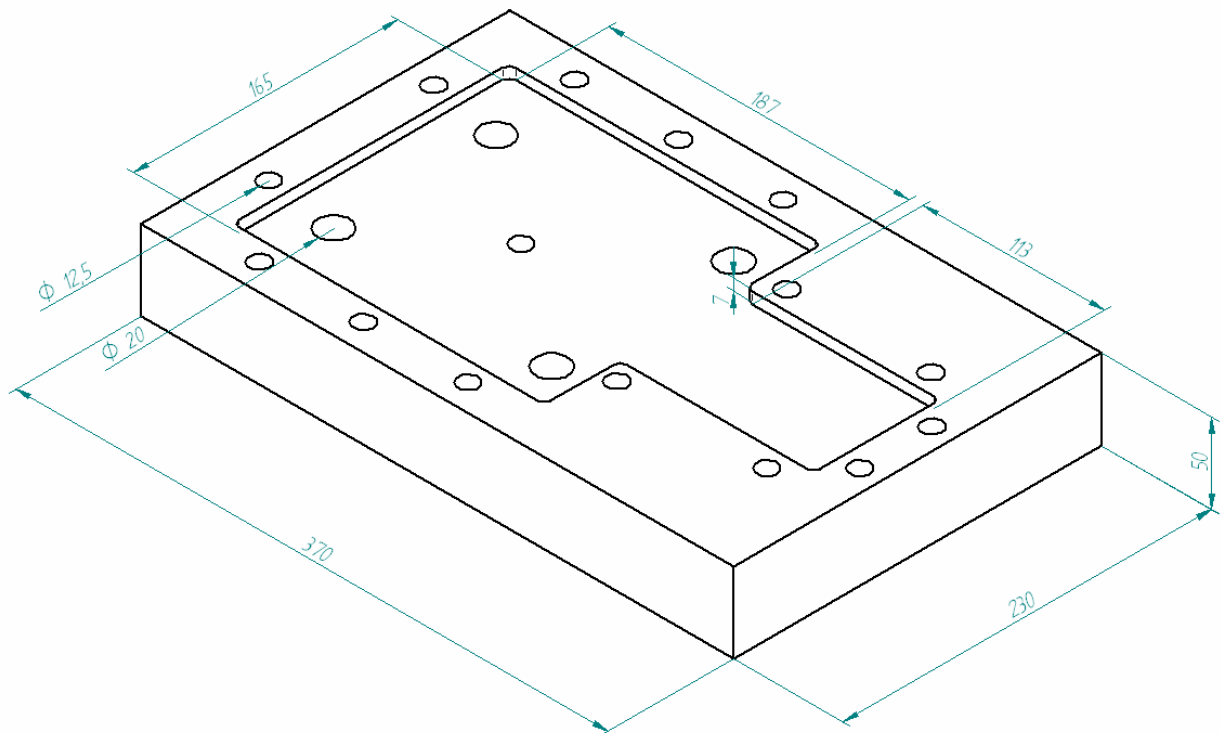


Fig. 25 Vista del nou disseny superior



5.3 CILINDRE PNEUMÀTIC

En els processos d'injecció d'alumini, les empreses utilitzen grans màquines que impulsen el caldo metàl·lic cap a l'interior del motlle, a gran velocitat i amb una pressió elevada, amb l'ajuda d'un èmbol.

El present muntatge, ha intentat seguir els mateixos passos i aconseguir d'aquesta manera un resultat força similar al de la indústria, per aquest motiu s'ha escollit un cilindre pneumàtic per impulsar el fluid.

L'elecció del cilindre ha estat un dels passos més laboriosos, ja que durant la injecció intervenen paràmetres importants que s'han de controlar per mitjà d'aquest component.

Aquests paràmetres que s'han de controlar són la força que desenvolupa l'èmbol durant la impulsió, el temps en què es realitza la carrera i el volum d'aigua injectat.

Un bon control d'aquests paràmetres proporcionarà una pressió constant a la cavitat del motlle i un temps d'omplerta adient.

Cal comentar que s'ha fet ús d'un simulador d'elements pneumàtics per analitzar el comportament del cilindre, obtenir possibles configuracions del muntatge i estimar resultats com ara la velocitat o el temps de carrera.



5.3.1 Característiques tècniques del cilindre pneumàtic

El cilindre que s'ha escollit per a dur a terme els assajos experimentals ha estat el C95 de doble efecte de la casa *SMC*. El diàmetre estimat de l'èmbol és de 80 mm, amb una carrera de 80 mm. D'aquests 80 mm de carrera de què disposa el cilindre, s'utilitzaran 45 mm, ja que efectuant aquest recorregut, s'injecta el volum d'aigua necessari per a omplir el motlle.

La pressió de subministrament d'aire del cilindre oscil·la entre els 7 bars i els 7,2 bars. Amb aquesta pressió de servei, l'element efectua una força d'impulsió de 3.267 N, que és suficient per desplaçar el fluid cap a l'interior del motlle amb una pressió de 15 bars.

El C95 (**Fig. 26**) és un cilindre que pot assolir una velocitat màxima de 1.00 m/s, quan es troba lliure de càrrega i a la vegada és prou resistent per absorbir impactes bruscs. La subjecció d'aquest accionador pneumàtic es realitzarà mitjançant unes esquadres que es troben posicionades tant a la part davantera com a la part posterior. Aquestes esquadres són estandarditzades i distribuïdes per la mateixa casa *SMC*.

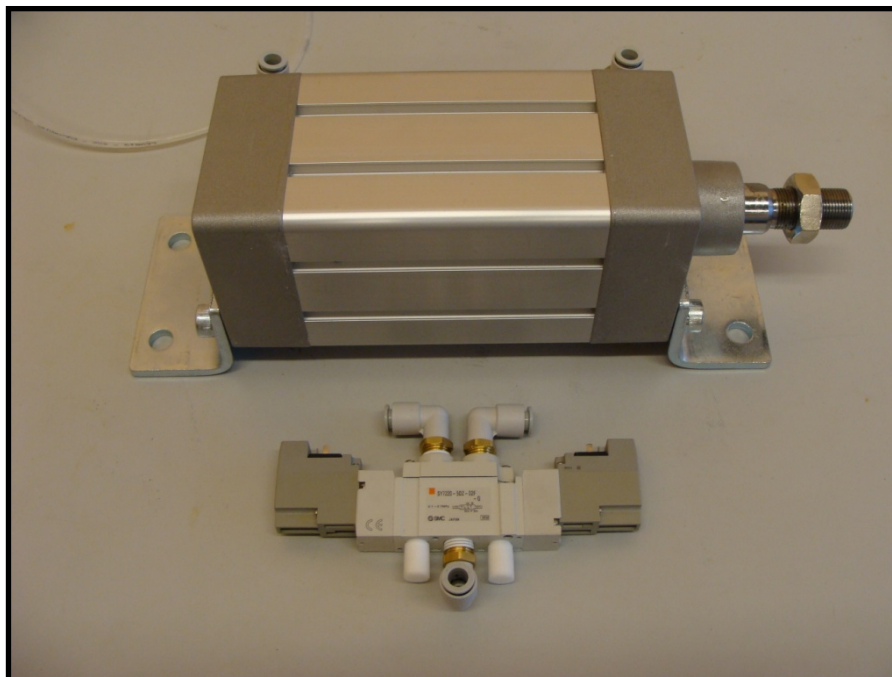


Fig. 26 Detall del cilindre pneumàtic C95 i l'electrovàlvula SY7220



5.3.2 Complementes del cilindre pneumàtic

Per tal de governar el cilindre pneumàtic, s'haurà d'utilitzar una electrovàlvula que permetrà efectuar la sortida de l'èmbol quan es desitgi. Aquesta electrovàlvula és la SY7220, de doble bobinat de la casa *SMC*.

A l'hora d'ajustar la velocitat de sortida d'aquest element pneumàtic, s'utilitzaran uns reguladors de cabal que es trobaran situats tant a l'entrada com a la sortida d'aire del cilindre. Gràcies a aquests elements, s'estrangula o s'obren els conductes per on circula l'aire a pressió i es provoca una circulació més ràpida o més lenta, segons convingui.

També s'utilitzaran uns tubs de poliuretà que conduiran l'aire a pressió fins als diversos components del muntatge. Aquest tub tindrà una longitud de 1 metre, un diàmetre exterior de 8 mm i un diàmetre interior de 5 mm.

5.3.3 Software d'instal·lacions pneumàtiques

Amb la utilització d'aquest software (**Fig. 27**) cedit per la casa *SMC Corporation*, s'ha pogut determinar quin era el millor model de cilindre pel projecte.

El software empleat calcula el temps de carrera, representa la corba de velocitat respecte del temps i anomena els controladors pneumàtics que són necessaris per governar aquest equip.



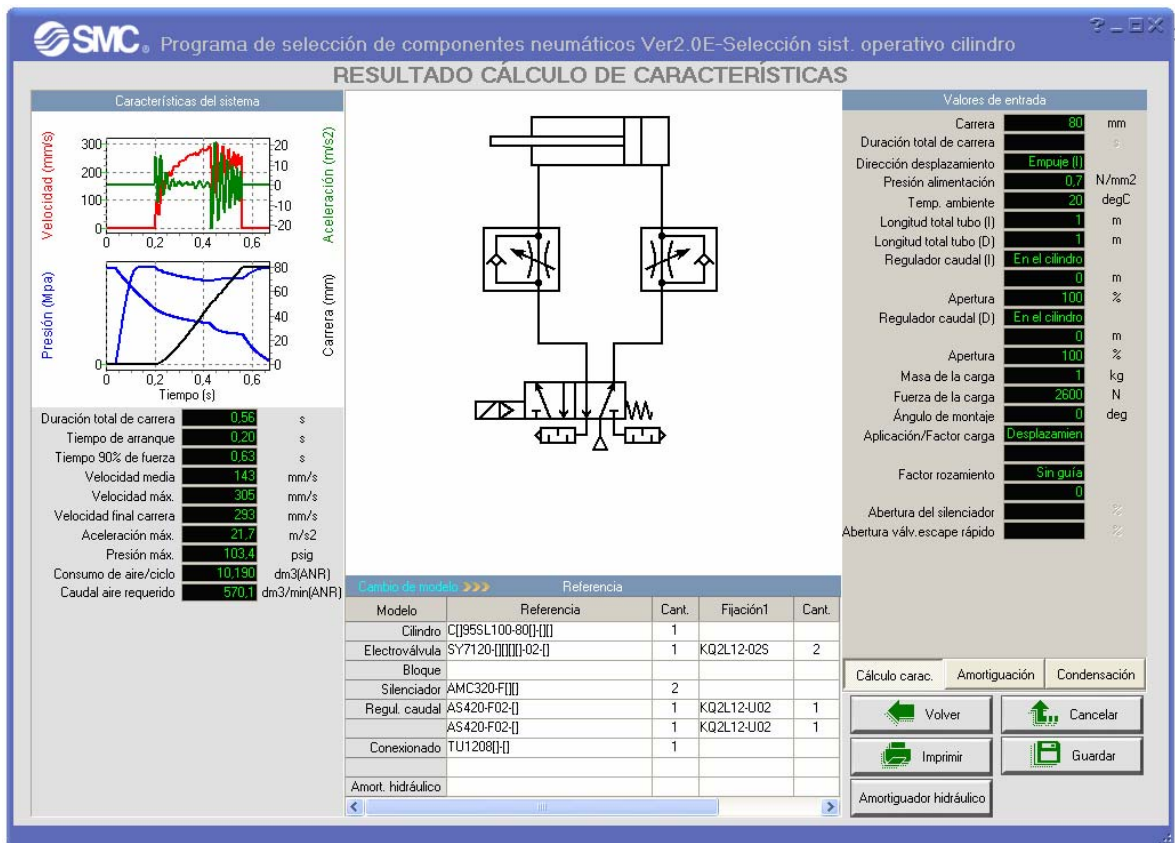


Fig. 27 Resultat del càlcul de característiques del programa SMC



5.4 INJECTORA

En el muntatge del projecte, ha estat necessari implementar un element dosificador de fluid. Aquest element que s'utilitzarà per tal d'aconseguir un control sobre el fluid és la injectora.

El funcionament d'aquest element és força semblant al d'una xeringa domèstica. Un èmbol impulsa un volum d'aigua cap a l'exterior amb una pressió específica i amb una velocitat controlada.

5.4.1 Característiques tècniques de la injectora

La injectora (**Fig. 28**) està formada per un cos cilíndric, amb una cavitat interior de 50 mm de diàmetre i una longitud de 100 mm. En aquesta cavitat s'hi desplaça un èmbol que serà impulsat pel cilindre pneumàtic.

Les parets de la cavitat tenen un gruix de 10 mm, ja que han de resistir una pressió de com a mínim 20 bars. El material de fabricació d'aquest equip és acer inoxidable AISI304*, per tal de que l'interior no s'oxidi i el component no es malmeti.

Aquest element també disposarà d'una entrada de fluid per on s'introduirà el volum d'aigua i una sortida que serà per on fluctuarà, amb una pressió màxima de 15 bars i a una velocitat aproximada de 6 m/s.

L'empresa encarregada de fabricar aquest component és *FLUIDTECNIK*, que té la fàbrica a Girona. El pressupost de fabricació és de 502,58 €.

Per tal de suportar la força aplicada a la injectora, s'han dissenyat unes esquadres d'acer de 4 mm d'espessor que estan situades tant a la part davantera com a la part posterior. Aquestes esquadres han de resistir forces de 3.532 N.

* AISI 304: aliatge de 18% de crom i del 8% de níquel utilitzat per a juntes industrials en la indústria automotora.



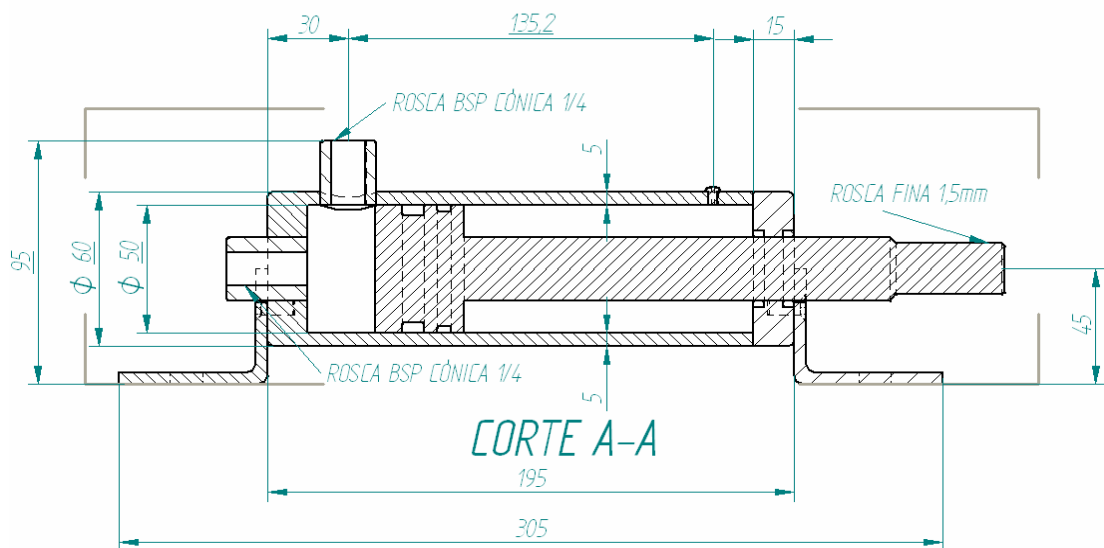


Fig. 28 Esquema de funcionament de la injectora

Com que l'èmbol d'aquest equip a d'efectuar els moviments d'absorció i d'injecció, aquest component està unit, per un casquet roscat de 40 mm de longitud amb una rosca interior de 1,5 mm de pas, al cilindre pneumàtic.

Per altra banda, per tal de direccionar el fluid impulsat per la injectora, s'ha incorporat una vàlvula antiretorn a l'entrada d'aquest equip. Amb la incorporació d'aquesta vàlvula, el fluid és obligat a circular cap a una sola direcció i, per tant, s'impedeix que retrocedeixi.

En la imatges que es mostra a continuació es veu en detall la injectora i les connexions que en formen part (**Fig. 29**).



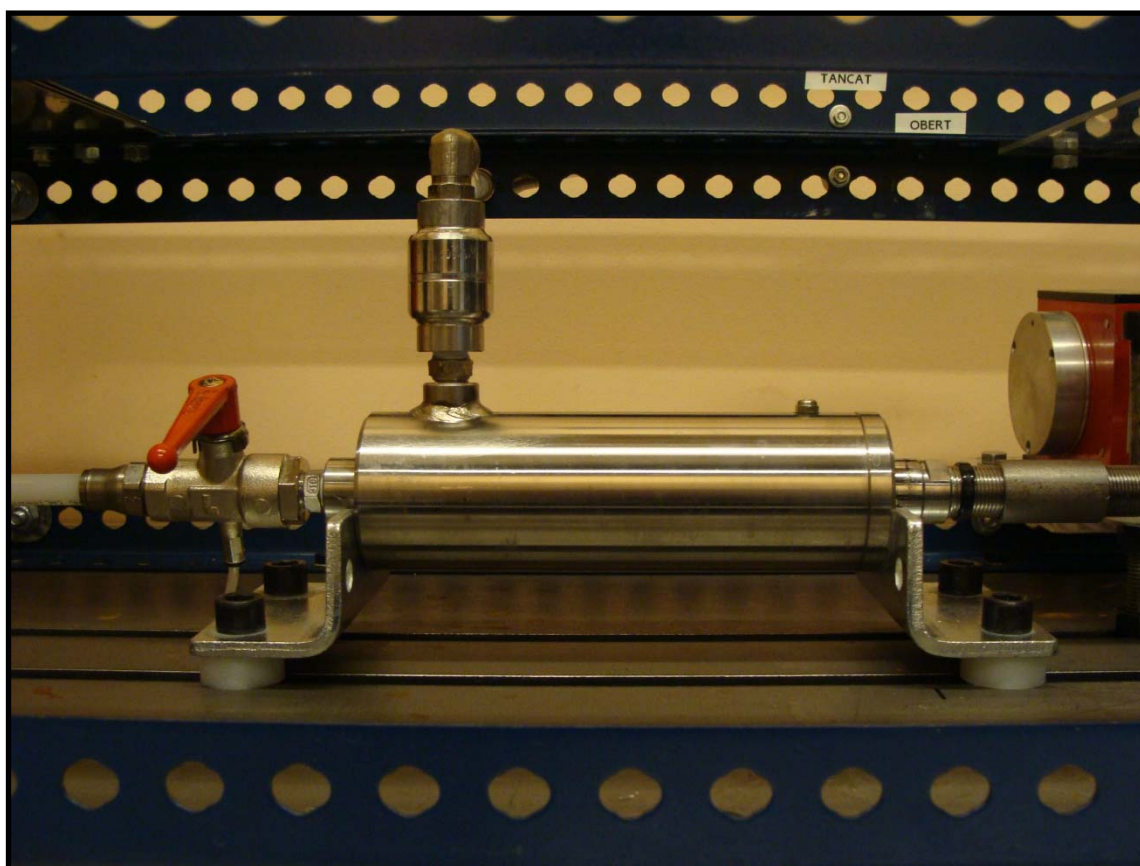


Fig. 29 Detall de la injectora i les connexions



5.5 CONNEXIONS HIDRÀULIQUES

Per tal de conduir el fluid des del dipòsit fins al motlle, s'ha ideat un circuit d'aigua sanitària. El circuit que s'ha dissenyat estar compost en dos parts, una part que actua per gravetat, que va des del dipòsit fins a l'entrada de la injectora, i l'altre part que actua per pressió, que va des de la sortida de la injectora fins a la boca del motlle.

En la imatge que es mostra a continuació, es pot observar amb detall l'esquema del circuit d'aigua (**Fig. 30**).

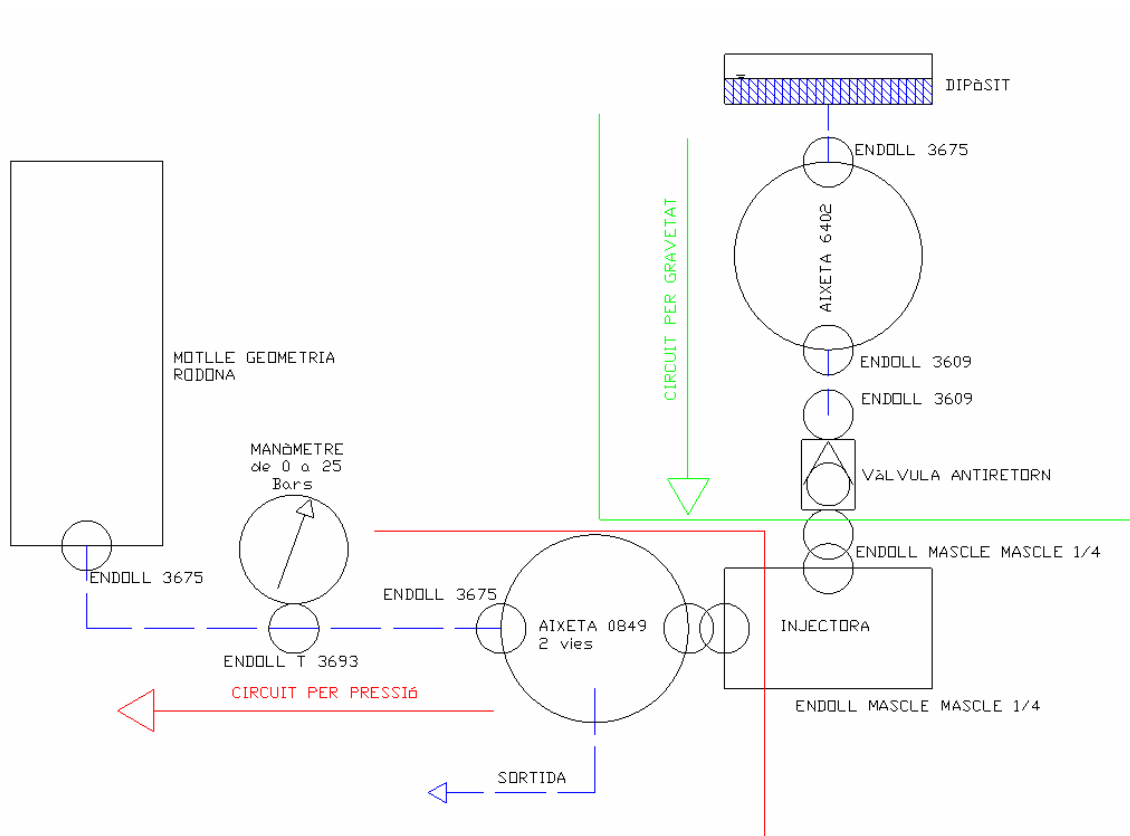


Fig. 30: Esquema del muntatge del circuit d'aigua sanitària

Un dels aspectes en els quals s'ha tingut més cura a l'hora de dissenyar el circuit ha estat la pressió que assolirà el fluid en el moment de ser injectat i la velocitat a la qual fluirà per l'interior dels conductes. La pressió màxima que s'assolirà és de 15 bars i la velocitat a la qual es podrà arribar a desplaçar és 6,5 m/s. Per aquest motiu, els



conductes i les connexions que s'han adquirit són adequades per a resistir pressions elevades per tal de que no sorgeixin possibles fuites ni pèrdues de pressió.

Les connexions que s'han utilitzat s'anomenen d'endoll ràpid, ja que el tub és subjectat a pressió i queda fixat per unes mordasses. També cal dir que aquestes connexions són les que s'utilitzen a les indústries alimentàries i farmacèutiques, perquè gràcies al tractament superficial de níquel s'evita l'oxidació.

També cal esmentar que s'han incorporat aixetes que permeten obrir i tancar el circuit. D'aquesta manera, en cas que sigui necessari dur a terme tasques de manteniment es pot tallar la circulació del fluid i reparar la part que s'hagi malmès.

La casa comercial que subministrarà aquests components és *LEGRIS*, ja que es té bones referències dels seus productes i els components que fabriquen són de qualitat. A més a més, disposen d'una àmplia gamma de productes que s'adeqüen el perfil de projecte.



5.5.1 Unions hidràuliques

El fluid que es propaga pel muntatge és aigua amb colorant, per aquest motiu s'han d'incorporar unions especialitzades del camp sanitari per tal d'assolir l'objectiu desitjat. D'aquesta manera, evitarem l'oxidació a les superfícies dels elements i possibles pèrdues de fluid o danys causats per la pressió.

5.5.2 Aixeta *LEGRIS* 6402

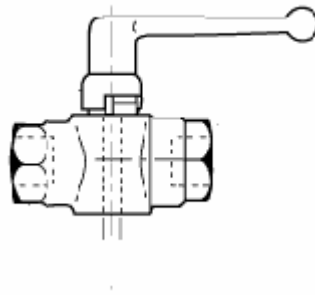


Fig. 31 Aixeta *LEGRIS* 6402

Els elements necessaris per a realitzar el projecte són diversos. En primer lloc, serà útil la utilització d'una aixeta de llautó de doble femella del model lleuger BSP cilíndric amb un rosca interior de $\frac{1}{4}$ de polzada de la sèrie 6402 (**Fig.31**), per tal d'obrir o tancar el circuit a l'entrada de la injectora.



5.5.3 Aixeta *LEGRIS* 0489

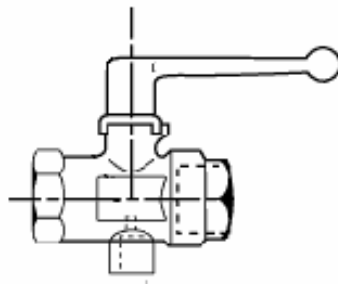


Fig. 32 Aixeta *LEGRIS* 0489

Per altra banda, també serà necessari situar una aixeta de doble femella amb una vàlvula de purga. L'aixeta escollida és el model 0489 de la casa comercial *LEGRIS* (**Fig.32**). El motiu pel qual es va escollir aquesta aixeta és perquè disposa de 3 vies i 2 sentits de direcció. Un dels sentits de direcció va des de la sortida de la injectora fins a l'interior del motlle, i si es gira la maneta 90° l'aigua que pot haver quedat a l'interior del motlle és evacuada cap a l'exterior per una petita vàlvula que disposa aquesta aixeta .

5.5.4 Endoll ràpid *LEGRIS* 3675

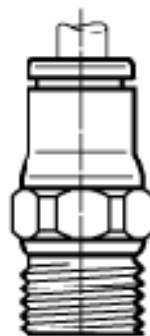


Fig. 33 Endoll ràpid *LEGRIS* 3675



Altres elements emprats són els endolls ràpids (**Fig.33**). Aquests endolls fan una pressió sobre el tub i eviten que s'escapi. A més a més, són fàcils de muntar i desmuntar. El sistema de fixació d'aquestes connexions és d'entrada recta amb una rosca mascle BSP¹ cònica de diàmetre 13 mm de la sèrie 3675, amb un preu unitari de 5,01 €. L'orifici on s'incorpora el tub té un diàmetre interior de 12 mm.

5.5.5 Endoll amb forma de T *LEGRIS* 3693

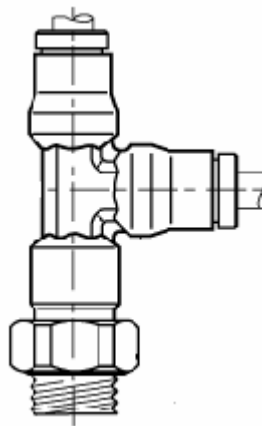


Fig. 34 Endoll amb forma de T *LEGRIS* 3693

Per altra banda, també necessitarem un endoll amb forma de T, on incorporarem el monòmetre que mesurarà la pressió d'entrada del motlle (**Fig.34**). Aquest perfil és de la sèrie 3693 i té un preu de 8,64 € la unitat. El component té dos orificis rectes que fixen el tub i actuen a pressió, i la tercera sortida té una rosca de 1/8 de polzada i és el punt a on s'incorpora el manòmetre. D'aquest element només en necessitarem una unitat

1. Terme en anglès britànic: Rosca Cònica Paral·lela.



5.5.6 Endoll amb forma L *LEGRIS 3609*

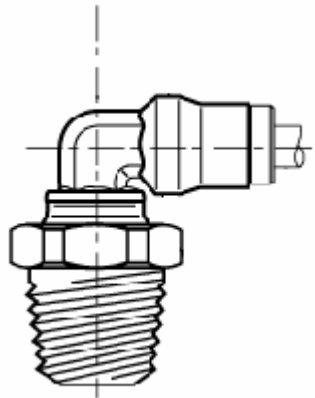


Fig. 35 Endoll amb forma de L *LEGRIS 3609*

A més a més, s'ha utilitzat un endoll ràpid amb perfil de L per tal d'unir el conducte que prové del dipòsit i amb la vàlvula antiretorn situada a l'entrada de la injectora. El model escollit és el 3609 amb rosca de $\frac{1}{4}$ BSP cònica (**Fig.35**).

També s'ha utilitzat una vàlvula antiretorn de 0,5 bars de pressió per tal que el fluid es desplaci cap a una única direcció. Aquesta vàlvula ens permet l'entrada del fluid cap a l'interior de la injectora i priva que retrocedeixi pel mateix orifici pel qual ha entrat. D'aquesta manera, el fluid únicament pot circular cap a un únic sentit.

A la imatge que es mostra a continuació, es pot veure amb detall el funcionament de la injectora i la vàlvula antiretorn (**Fig. 36**).



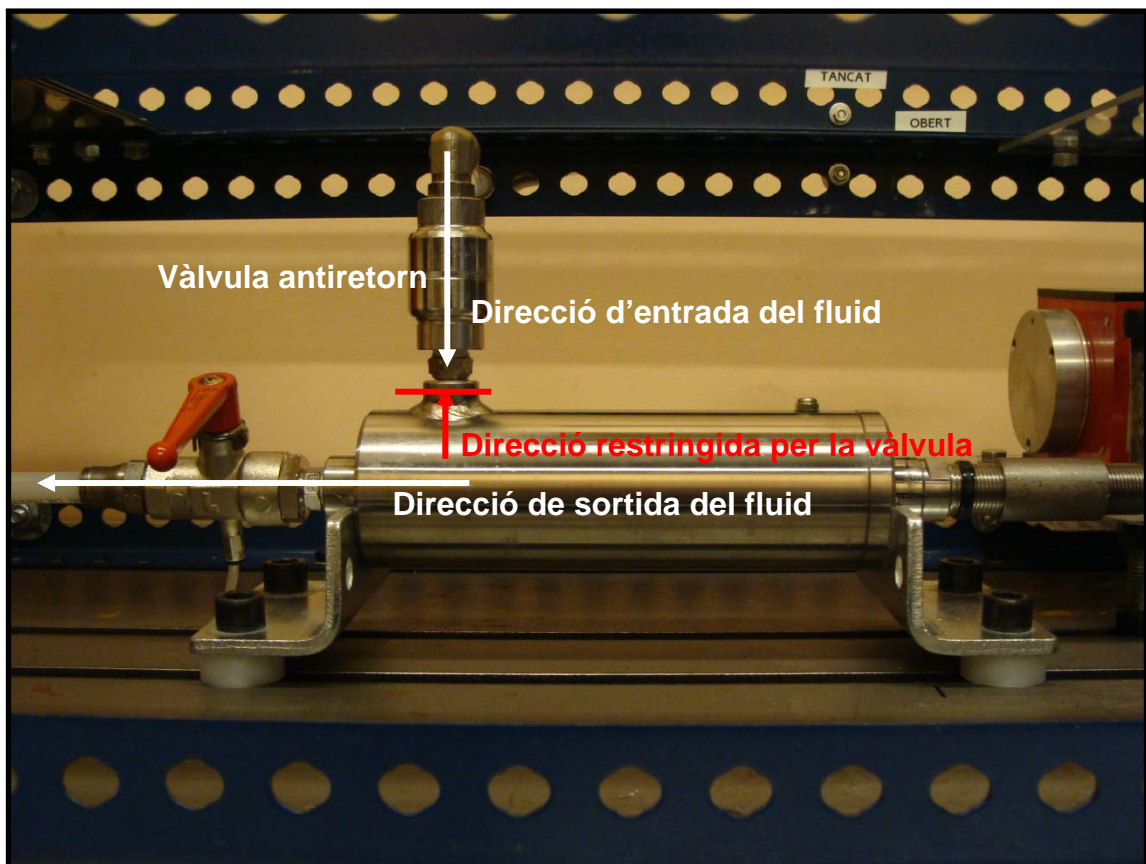


Fig. 36 Funcionament de la injectora i la vàlvula unidireccional

L'últim element que queda per completar el circuit és el tub de polietilè capaç de suportar una pressió de fins a 25 bars. El diàmetre del tub, s'ha escollit mitjançant el gràfic que es mostra a continuació, que comparant la pressió del fluid amb el diàmetre exterior es pot determinar la pressió d'esclat (**Fig. 37**).

El tub que s'ha escollit finalment, té un diàmetre interior de 9 mm i un diàmetre exterior de 12 mm. El preu de venda del tub és d'1,30 €.



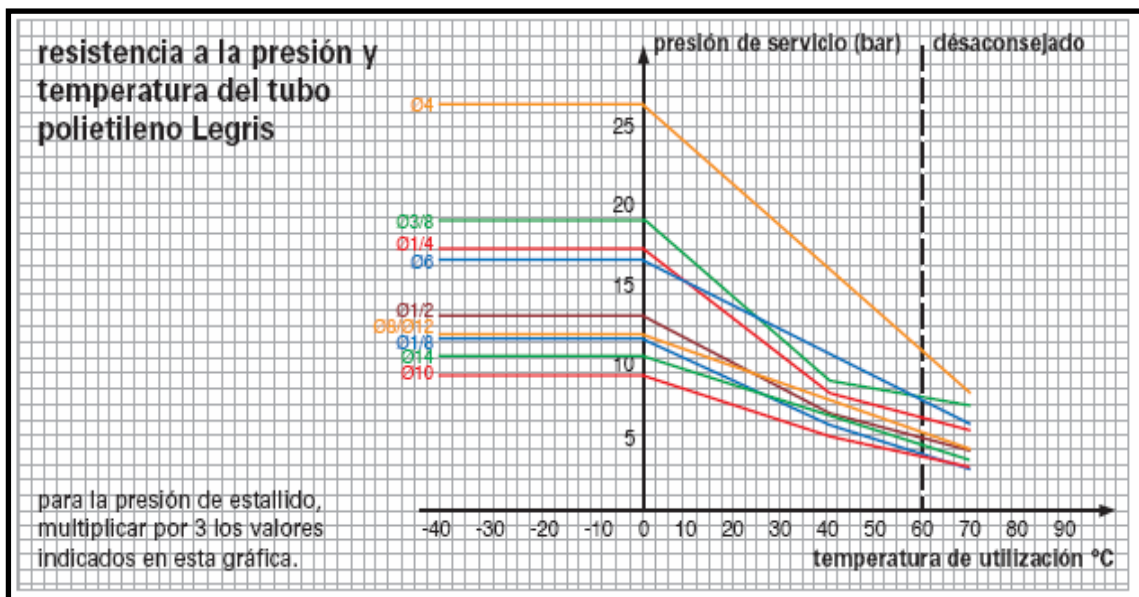


Fig. 37 Diagrama que mostra la pressió que pot suportar



5.6 SISTEMA ELÈCTRIC I PROTECCIÓ

En el muntatge de l'equip experimental s'ha anat especialment amb compte amb la instal·lació elèctrica, ja que tenim instruments electrònics que són sensibles als augments d'intensitat. Per altra banda, a l'interior de l'equip experimental circula aigua a pressió que podria causar un curtcircuit o també una fuga de corrent elèctric.

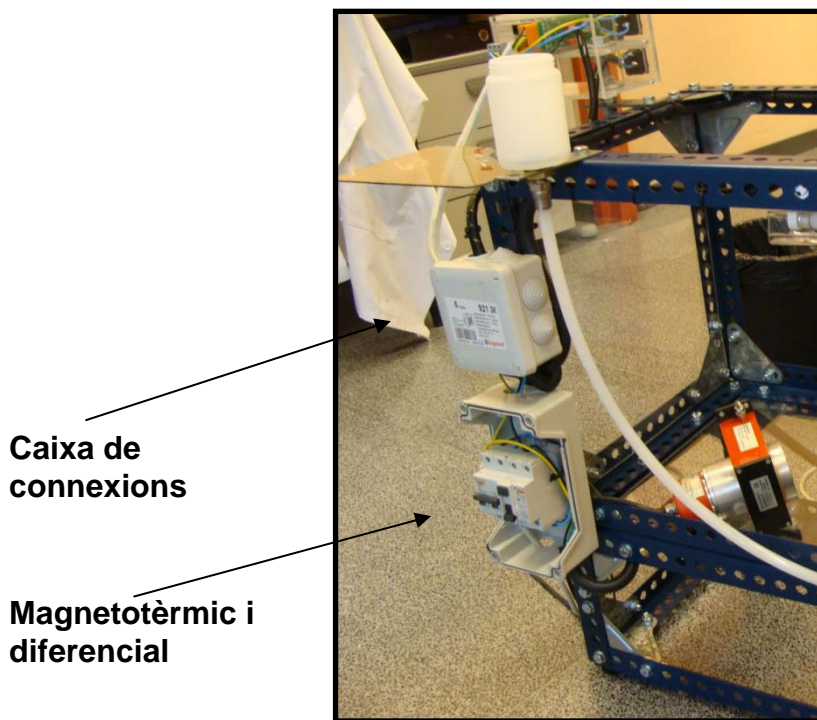


Fig. 38 Muntatge del sistema elèctric

Els equips de protecció que s'han instal·lat en el muntatge són bàsicament dos): un interruptor magnetotèrmic i un interruptor diferencia (Fig. 38). L'interruptor magnetotèrmic s'ha instal·lat per tal de prevenir un augment d'intensitat superior a 30mA; en canvi, l'interruptor diferencial s'ha instal·lat per tal d'evitar possibles fugues de corrent que hi podria haver a causa d'un mal aïllament dels conductors.

Per altra banda, els diversos elements de l'equip estan connectats amb una base de terres per evitar que el corrent elèctric es transmeti a la persona en cas que hi hagués una deficiència en l'aïllament d'un conductor.



La secció dels conductors és de 2 mm² exceptuant la línia de terres, que és de 2,5 mm² segons la ITC-BT-19. També cal esmentar que els conductors que transporten el corrent per les diferents zones del muntatge estan protegits amb un tub de PVC, a més a més de l'aïllant que ja tenen incorporat.

Una de les particularitats dels fluorescents és que se'ls ha incorporat una pantalla protectora de metacrilat que actua com a sistema de seguretat en cas que hi hagués una fuga d'aigua, ja que podria causar un curtcircuit. En la imatge següent podem observar la mampara protectora que s'ha afegit als fluorescents (**Fig. 39**).



Fig. 39 Detall de la mampara protectora dels fluorescents

L'esquema de circuit (**Fig. 40**) que s'ha dissenyat per tal de subministrar corrent a tots els equips és el següent:



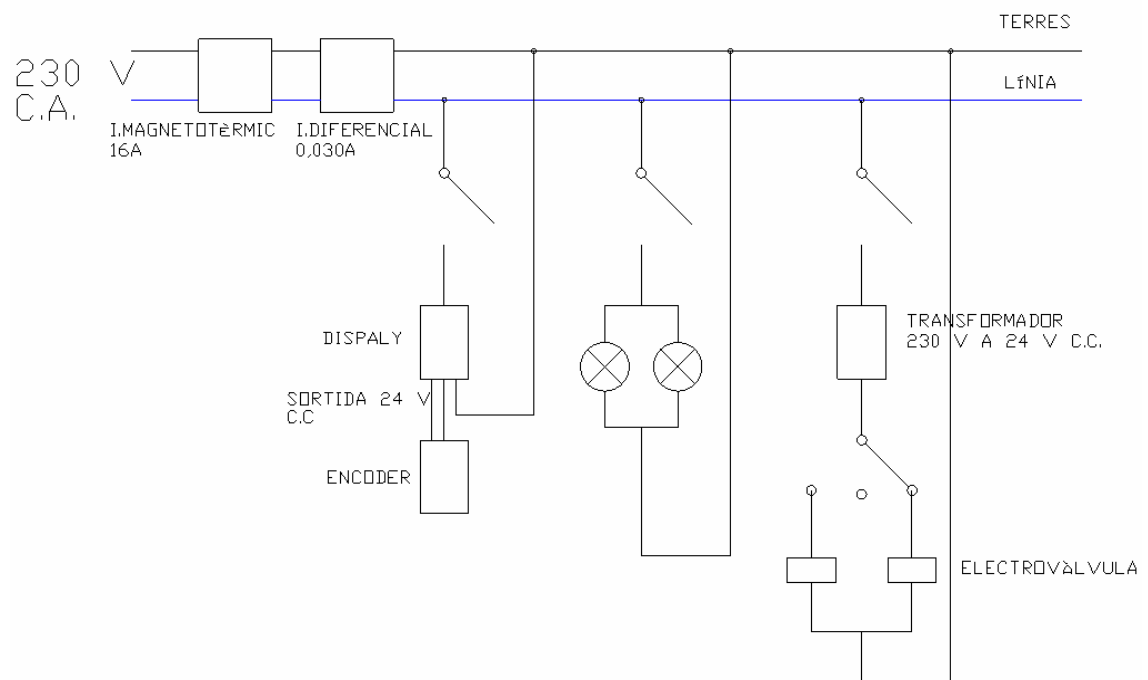


Fig. 40 Esquema elèctric del muntatge



5.7 SISTEMES DE MESURA

Una de les parts importants del projecte és l'obtenció de resultats durant els assajos experimentals. Les dades obtingudes s'han d'analitzar i a la vegada s'utilitzaran per crear un model idèntic mitjançant un programa d'elements finits. Els paràmetres que es volen quantificar i analitzar són el cabal, la pressió del motlle i les imatges d'omplerta del motlle.

5.7.1 Manòmetre

Per aquest motiu, en diversos punts del muntatge s'han dipositat diversos sistemes de mesura per obtenir el valors experimentals mitjançant sistemes directes o bé indirectes. Per tal de obtenir la pressió del motlle s'ha utilitzat un manòmetre que es troba situat a la boca del motlle (**Fig. 41**). Aquest manòmetre ens indica la pressió que ha experimentat el motlle durant el procés d'injecció.



Fig. 41 Detall del manòmetre amb agulla d'arrossegament



Per altra banda, també hem dipositat un sensor de velocitat que analitza la velocitat que assoleix el cilindre pneumàtic (**Fig. 42**) en el moment d'efectuar la carrera també es pot obtenir el cabal que circula pel circuit hidràulic. El codificador utilitzat és de la casa comercial *HÖHNER* i té una sensibilitat de captura de 200 impulsos per volta.

5.7.2 Sensor de Velocitat i Display

Per altra banda, aquest equip de mesura està connectat a un display (**Fig. 43**) que ens mostra els valors. També cal esmentar que el display porta incorporada una sortida RS32, per tal d'enviar les dades al port COM1 del PC i representar-les amb un full Excel.

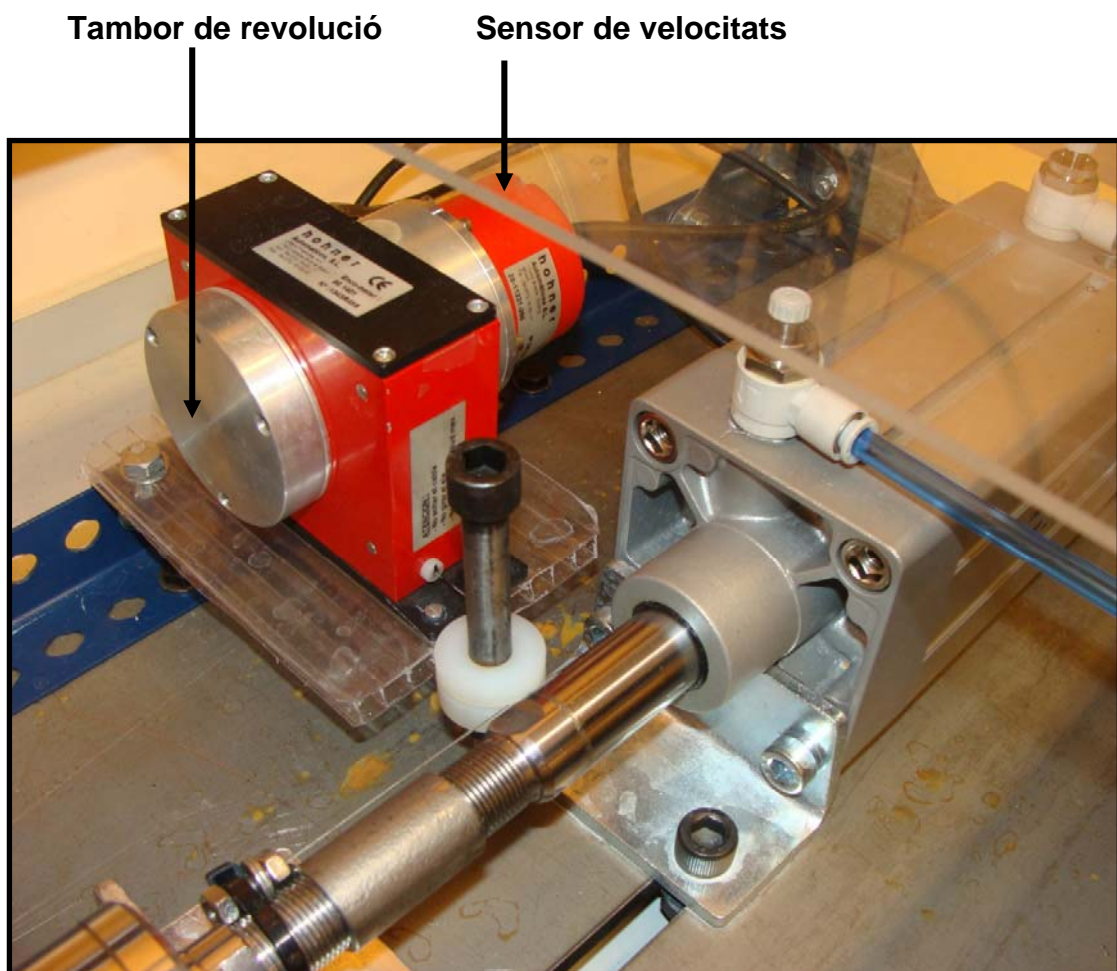


Fig. 42 Detall del sensor de velocitats i el sistema de captació



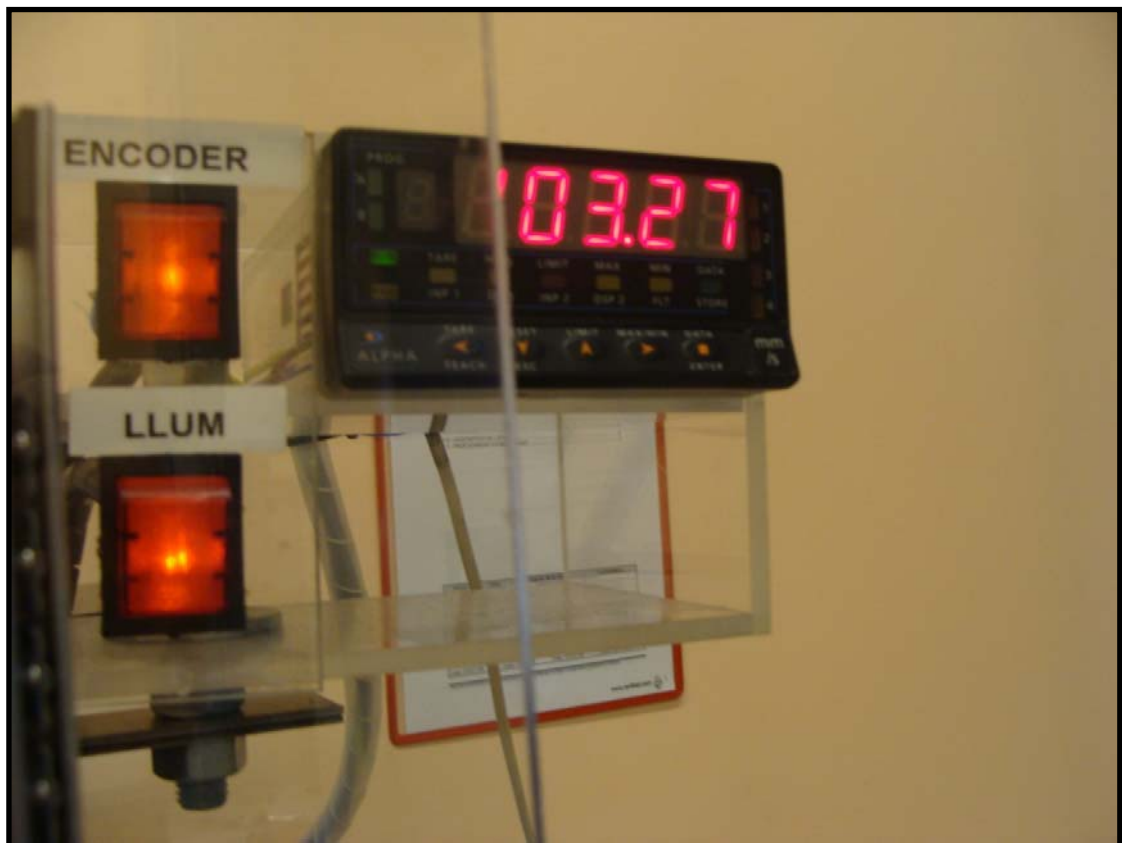


Fig. 43 Detall del display

5.7.3 Càmera d'alta velocitat

L'últim equip que s'ha instal·lat per poder obtenir dades rellevants és una càmera d'alta velocitat de la casa comercial *BASLER*. La càmera és capaç d'obtenir 80 fotogrames per segon (**Fig. 44**), la qual cosa significa que es pot aconseguir una gran quantitat d'imatges durant la injecció. La finalitat de la càmera de vídeo és filmar l'omplerta del motlle i posteriorment analitzar les imatges. També cal esmentar que la utilització de la càmera durant el procés de muntatge ha servit de gran ajuda, ja que ha permès observar els errors que hi esdevenien i posteriorment s'han pogut corregir.



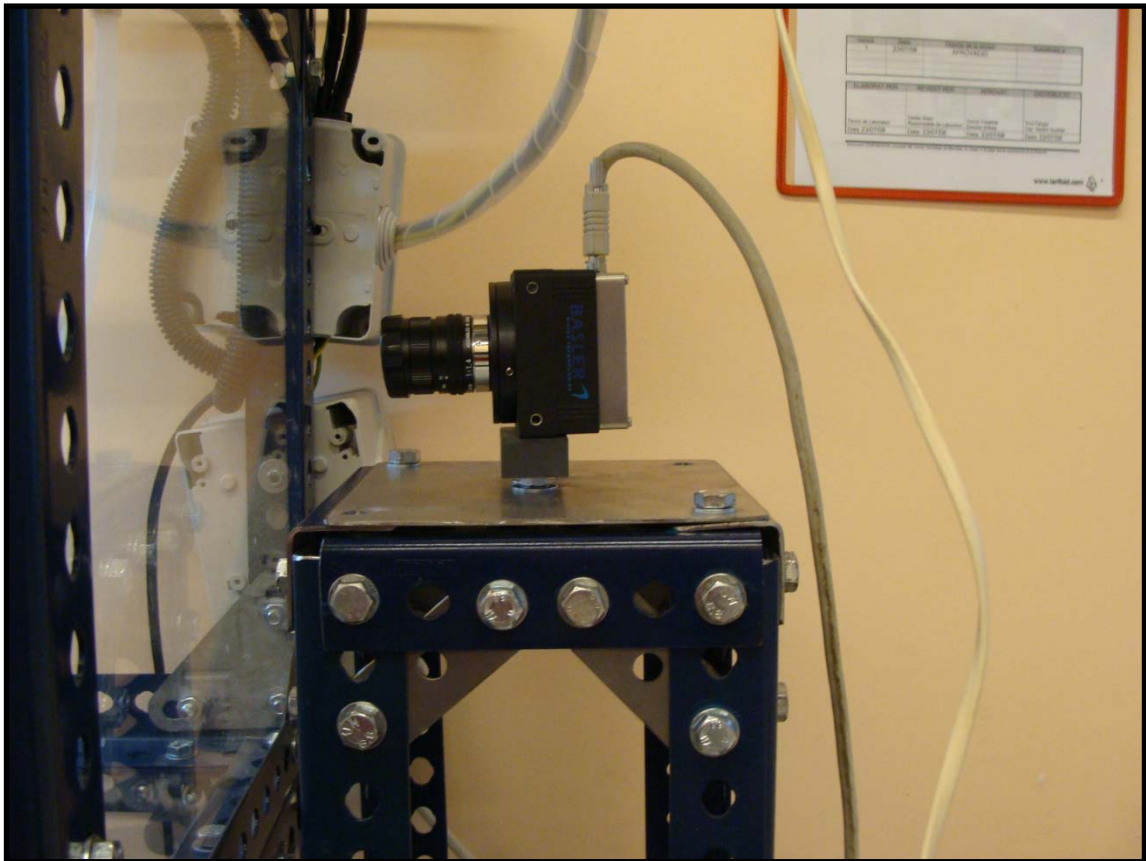


Fig. 44 Sistema de col·locació de la càmera d'alta velocitat

Gràcies a la utilització de la càmera d'alta velocitat s'ha pogut concloure que el temps d'injecció aproximat és de 0,5 segons.



5.8 PLAQUES DE SEGURETAT

Un dels punts crítics del projecte és l'elevada pressió que hi ha a l'interior del circuit hidràulic i del motlle. La pressió que es pot arribar a assolir, oscil·la entre els 14 i 15 bars, la qual cosa significa que s'han de incorporar proteccions ja que en cas de fractura podria causar danys materials o físics.

Per aquest motiu s'han instal·lat unes plaques protectores de metacrilat transparents que protegeixen les persones que es puguin trobar al costat del muntatge (**Fig. 45**). Les plaques van collades a la mateixa estructura metàl·lica mitjançant uns cargols de M8.

Per altra banda, també es disposa d'una mampara mòbil per tal de poder accedir a l'interior sense adoptar posicions incòmodes. La part superior de l'estructura disposa d'una placa fixada mitjançant unes frontisses que permeten que es pugui obrir o tancar (**Fig. 46 i 47**).



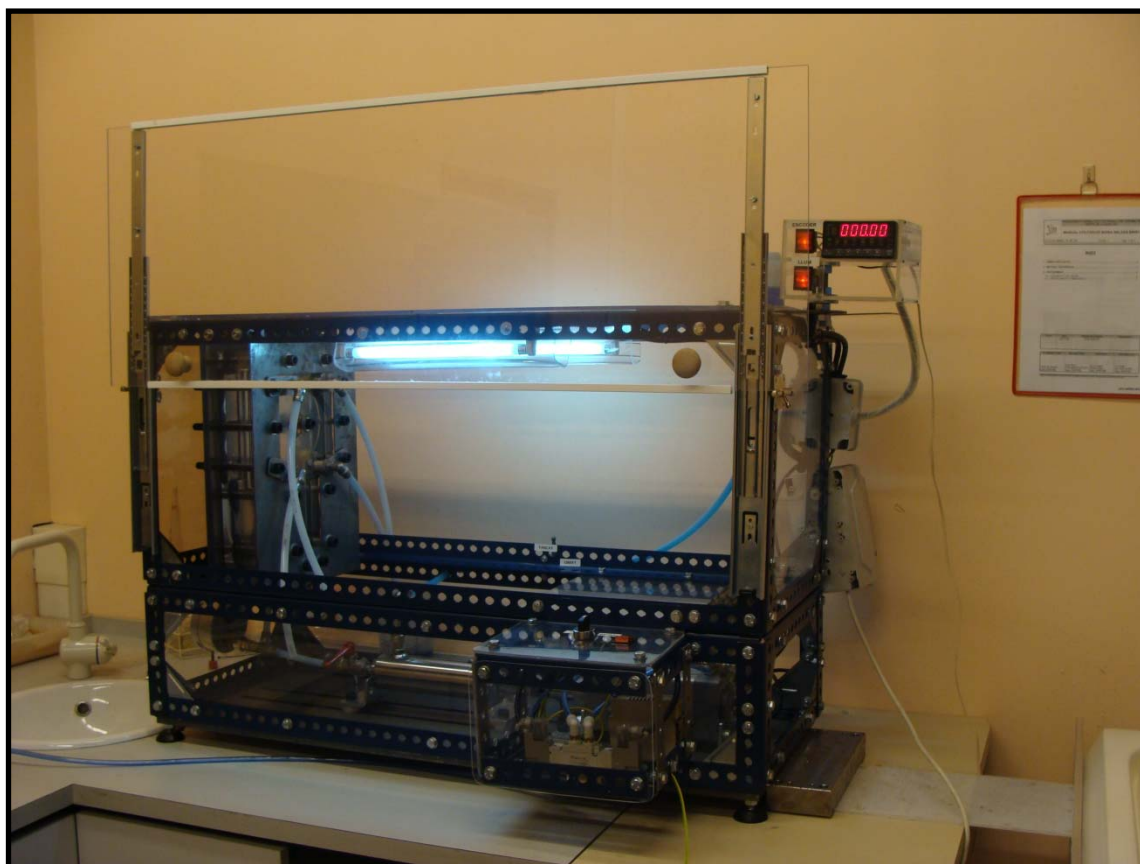


Fig. 45 Detall de l'equip de protecció i la mampara mòbil



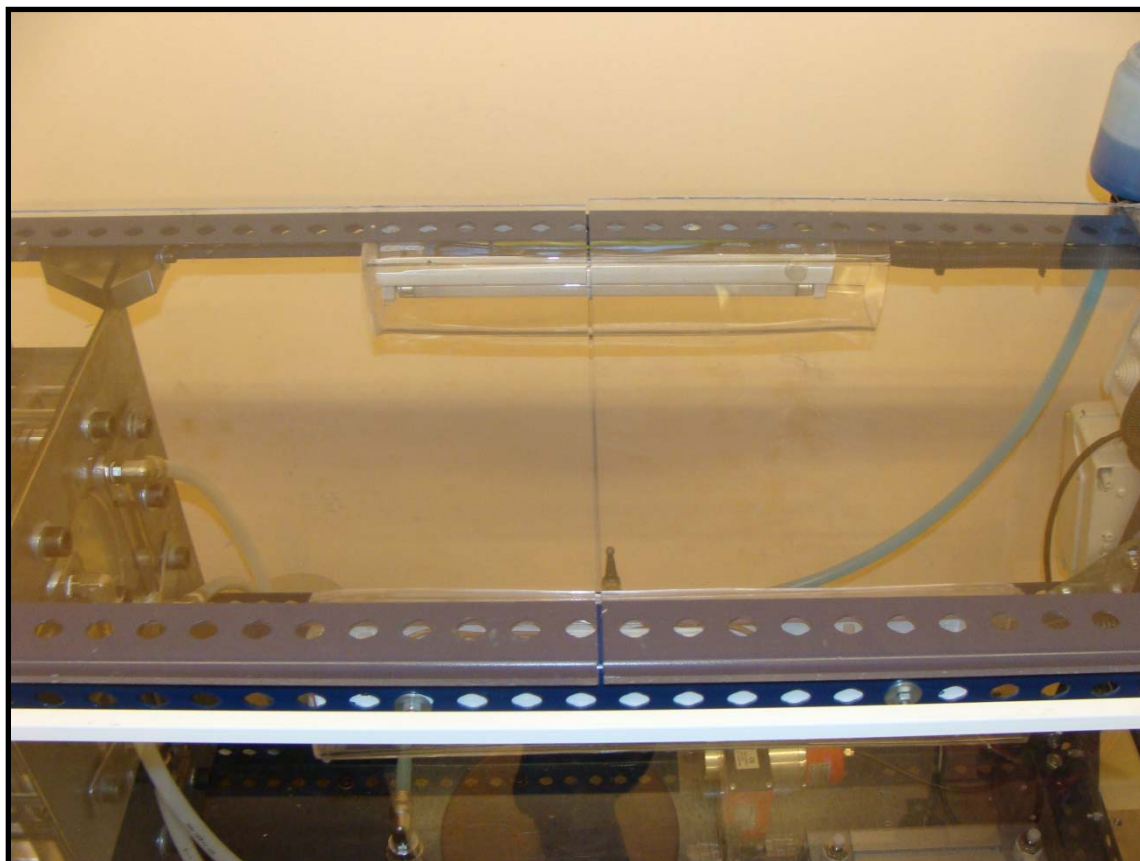


Fig. 46 Plaques superiors de metacrilat



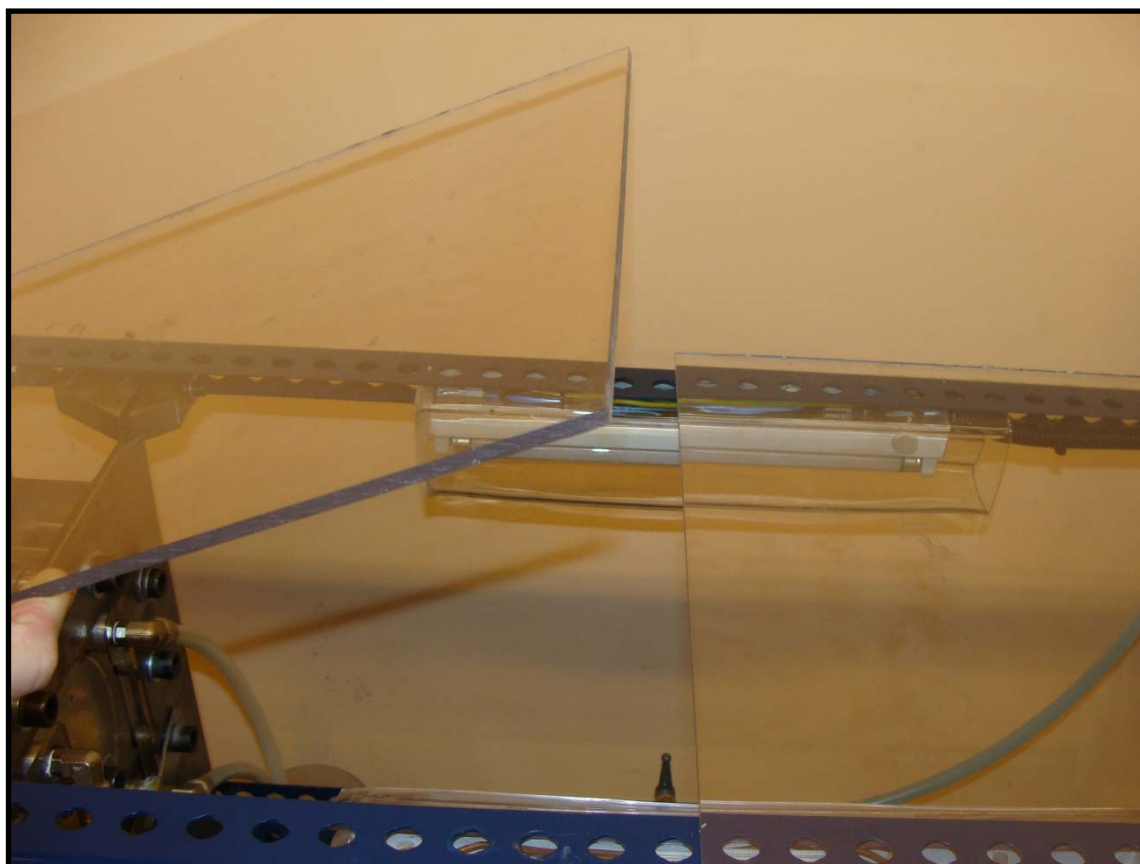


Fig. 47 Placa de metacrilat abatible



6. MEMORIA DE LA POSADA EN MARXA

6.1 SISTEMA D'INJECCIÓ

Quan s'han anat duent a terme els assajos i els ajustaments del muntatge, hi ha hagut diversos contratemps que han requerit un nou plantejament del projecte per tal d'assolir l'objectiu que es desitjava.

Les primeres injeccions que es van realitzar van servir per observar el funcionament de l'equip experimental i poder treure les primeres conclusions sobre el seu funcionament. Amb aquestes primeres injeccions, es va observar que els vents, que són unes obertures que comuniquen amb l'exterior i que permeten l'extracció de l'aire que pot haver quedat retingut a l'interior del motlle, eren de dimensions massa grans, i com a conseqüència d'això s'escapava una gran quantitat de fluid.

Per tant, es va concloure que s'havia d'idear un nou sistema per restringir l'escapatòria del fluid i a la vegada guiar-lo cap a un recipient.



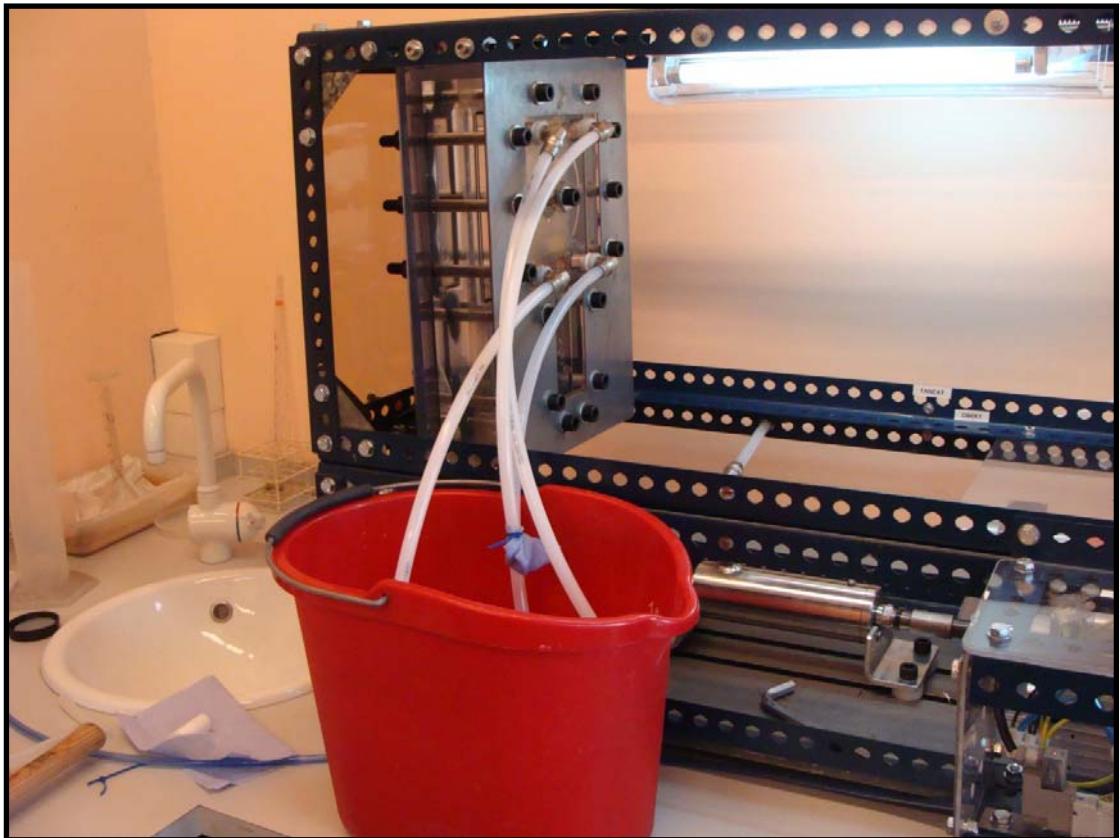


Fig. 48 Detall del sistema de recuperació del fluid

Una de les solucions que es van proposar va ser conduir el fluid que pogués sortir de l'interior del motlle cap a la cavitat d'un recipient mitjançant uns col·lectors (**Fig. 48**). Els col·lectors se situen a les sortides dels vents i tot el fluid que pugui sortir del motlle és recollit conduït fins a un recipient amb l'ajuda d'un tub de poliuretà.



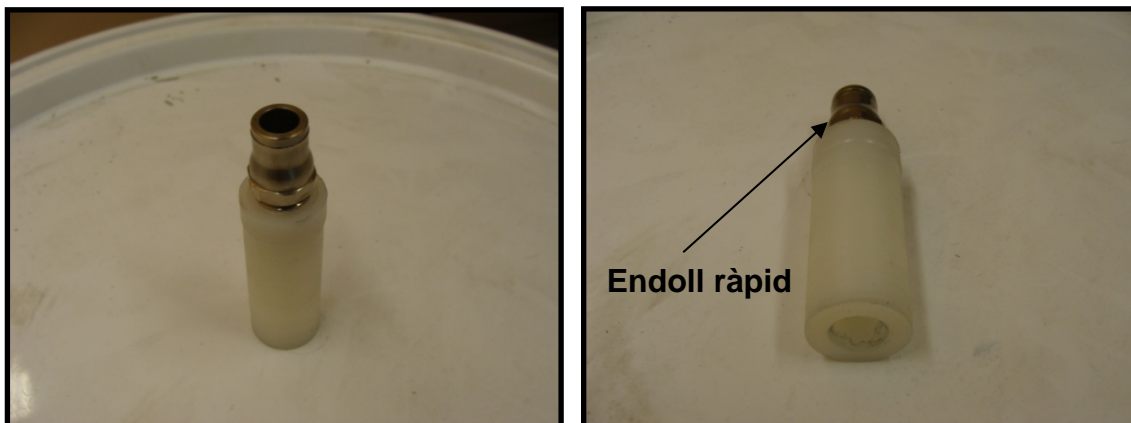


Fig. 49 Detall dels col·lectors

Els col·lectors que es van dissenyar tenen un diàmetre exterior de 20 mm i un canal intern de 11,5 mm de diàmetre (**Fig. 49**).

A la part posterior del col·lector hi ha una rosca interna de $\frac{1}{4}$ de polzada per tal de subjectar-hi un endoll ràpid i conduir el fluid que s'escapi cap a l'interior d'un recipient amb l'ajuda d'uns tubs de poliuretà. La subjecció d'aquests col·lectors als orificis dels vents s'assegura amb una fina capa de tefló embolicada al voltant del tap. Aquesta fina capa de tefló reté l'aigua que es pugui escapar i fixa el col·lector.

El contratemps que va sorgir amb aquests col·lectors va ser que el fluid sortia del motlle de manera lliure sense ser retingut mínimament i la pressió màxima era de 5 bars. Per aquest motiu es va desenvolupar un nou disseny que augmentés la pressió a l'interior del motlle.

Posteriorment, es va idear un nou sistema en el qual es pretenia simular uns vasos d'expansió (**Fig. 50**). La finalitat era retenir el fluid i comprimir-lo per tal de restringir la llibertat d'aquest quan s'escapava de l'interior del motlle. Aquesta simulació amb vasos d'expansió consistia a incorporar uns globus a les sortides dels vents. El resultat de l'experiment va ser desfavorable ja que no hi havia prou volum d'aire a extreure i no es comprimia el fluid.



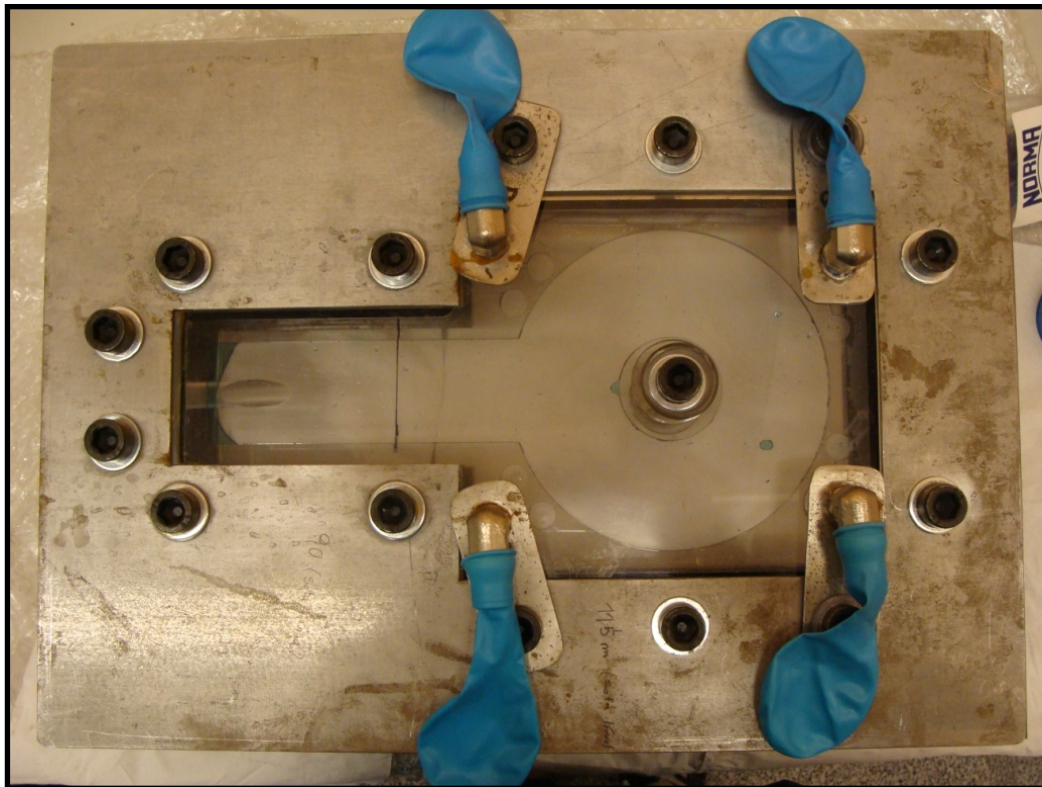


Fig. 50 Imatge representativa dels vasos d'expansió

Juntament amb els vasos d'expansió, es va realitzar un nou disseny que va suposar un gran avenç. La proposta va ser un reductor de cabal que consistia en un tap de niló de 20 mm de diàmetre exterior i un petit canal de 2 mm que el travessava de cap a cap (**Fig. 51**). A l'altre extrem hi havia un endoll ràpid i amb l'ajuda d'un tub de poliuretà es conduïa el fluid que s'escapava cap a l'interior d'un recipient.

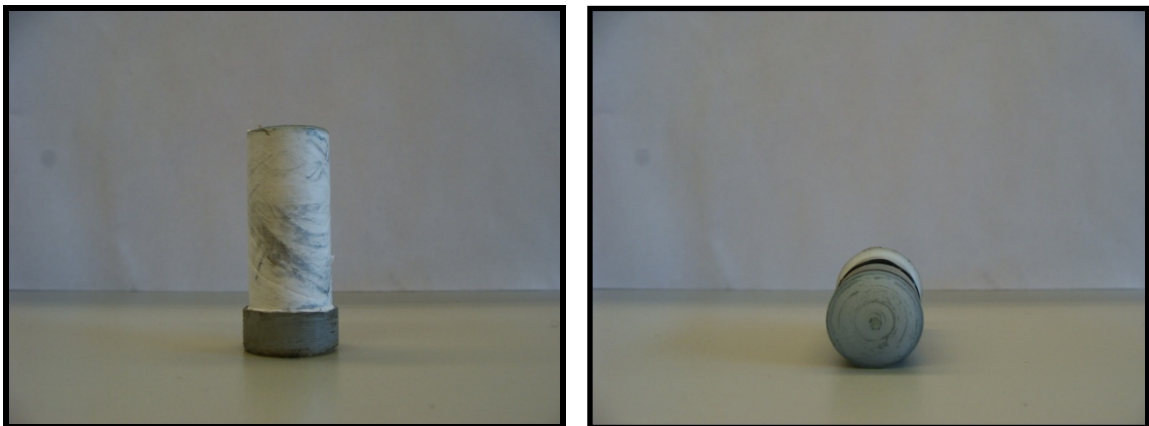


Fig. 51 Detall dels col·lectors



Com ja s'ha esmentat, aquest nou disseny va suposar un gran avenç, ja que augmentava la pressió del motlle fins als 15 bars i dificultava de manera notable l'escapatòria del fluid cap a l'exterior.

El sistema de subjecció del reductor de cabal va continuar sent la fina capa de tefló. L'únic inconvenient d'aquest mètode, però, va ser la poca precisió que es tenia a l'hora de fixar tots els taps al mateix nivell i, a més a més, en alguns casos, degut a la pressió del fluid, els taps sortien disparats a gran velocitat. Per tant, s'havia de buscar alguna solució per subjectar els taps i impedir que sortissin de la cavitat on eren fixats.

Posteriorment es va ser crear uns nous taps de niló i es va aconseguir una geometria pràcticament igual en tots els taps, i amb unes toleràncies dimensionals molt precises. Tot i això, a causa del fet que el material que mecanitzàvem era niló, les toleràncies podien variar $\pm 0,10$ mm i aquesta imprecisió es reflectia alhora de fer les injeccions. Per altra banda, per tal de millorar la subjecció dels taps es van crear unes lligadures d'acer que retenien el tap i impedien que es mogués de la cavitat on es trobava (**Fig. 52**).

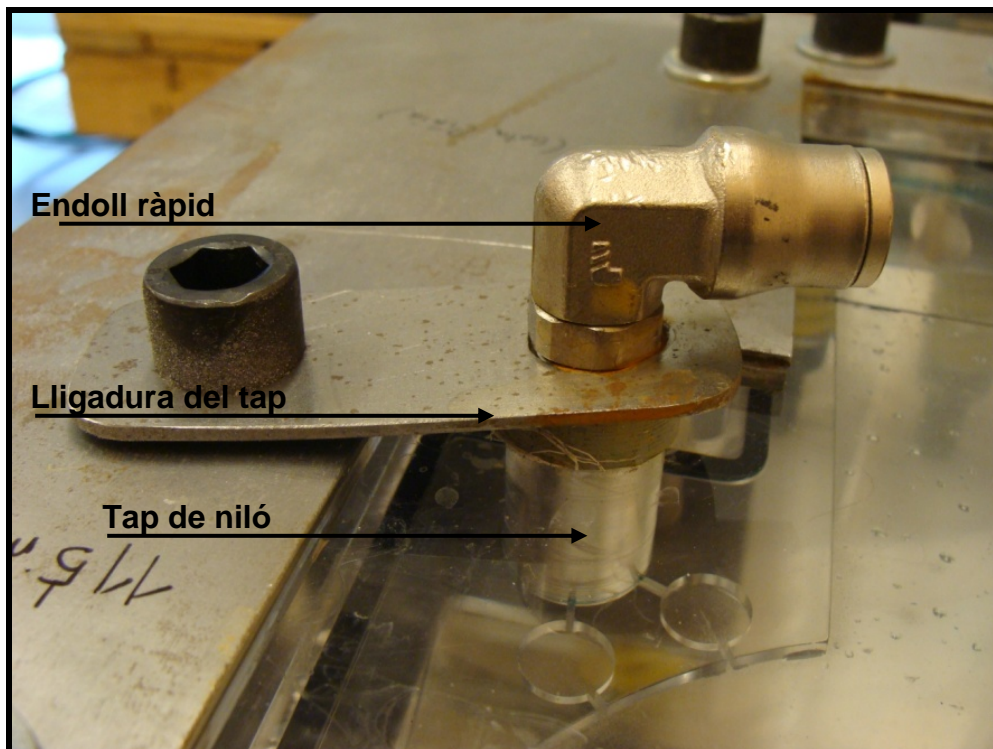


Fig.52 Detall de la subjecció del col·lector



El disseny es va anar millorant, però tot i això els resultats continuaven sent poc fiables.

Per aquest motiu es va pensar en dur a terme modificacions dels taps ja que es pensava que l'estanquitat no era prou i la fina capa de tefló que s'hi afegia causava algunes diferències alhora d'anivellar els taps, i com a conseqüència d'això, s'alteraven els resultats.

Es va pensar que l'element que s'havia de substituir per tal de millorar l'estanquitat del tap era la fina capa de tefló mitjançant unes juntes tòriques de diàmetre interior de 17 mm i amb un guix de junta de 2 mm (**Fig. 53**).



Fig. 53 Detall del col·lector de niló amb les juntes tòriques

Per aquest motiu els taps van ser mecanitzats de nou per incorporar-hi dos petits canals i retenir així les juntes tòriques. Tot i això, hi havia petites diferències entre els mateixos taps i els resultats es veien alterats de manera significativa (**Fig. 54**). Per aquest motiu, els resultats obtinguts no es van donar com a vàlids.



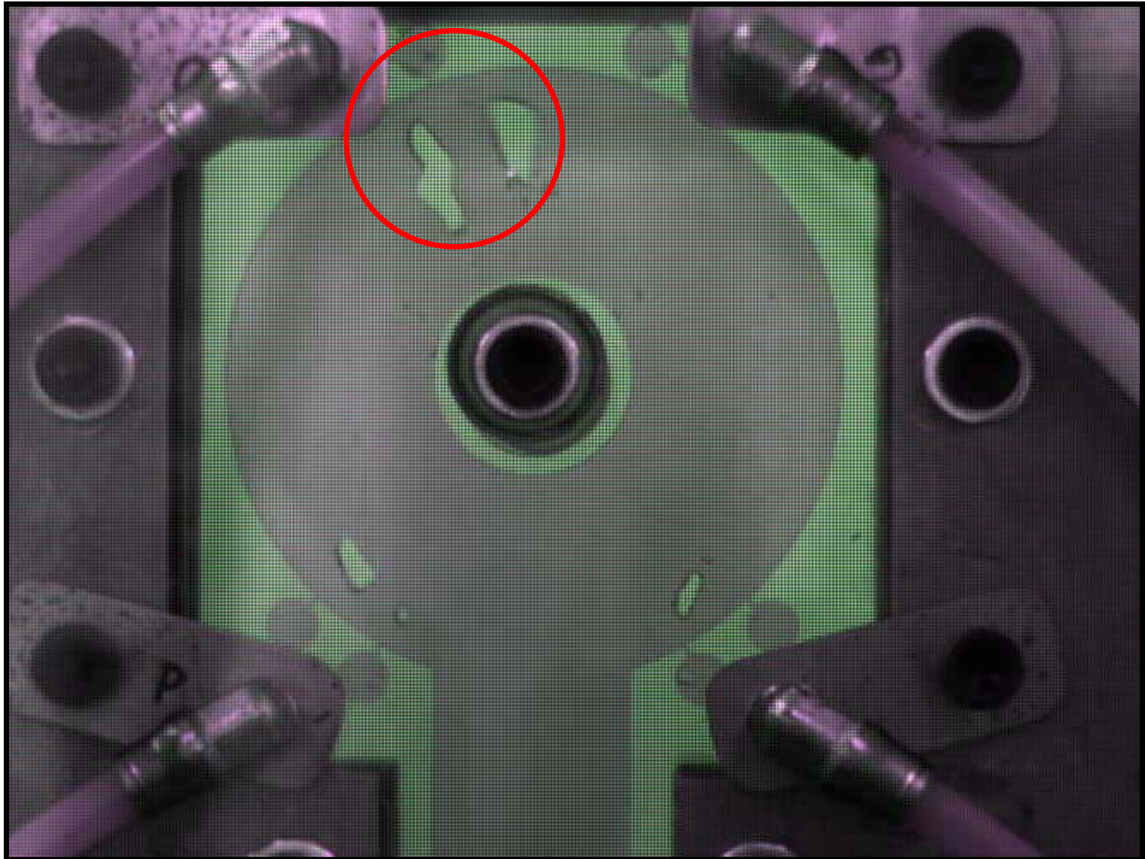


Fig. 54 Il·lustració de les mancances de l'extracció de l'aire

Tal com es veu en la imatge anterior, l'extracció d'aire de la part superior del motlle s'efectua per un mateix vent. Aquest fet feia pensar que hi havia diferències significatives entre els dos reductors de cabal. Per aquest motiu es va prendre la iniciativa de crear un nou disseny.

La nova proposta que es va presentar, va consistir en un canvi de material dels taps reductors. Es va creure oportú substituir el niló per l'alumini (**Fig. 55**).





Fig. 55 Detall del nou col·lector d'alumini amb les juntes tòriques

D'aquesta manera, augmentaríem precisió alhora de crear la geometria dels taps reductors i les toleràncies dimensionals serien molt acurades.

També es van continuar incorporant les juntes tòriques, ja que els dissenys anteriors havien significat un avenç i, a més a més, alhora de col·locar els taps es podrien deixar al mateix nivell en una i altra banda.

Els resultats obtinguts amb aquests nous elements es van donar com a vàlids (**Fig. 56**), ja que garantien uns resultats força similars i les discrepàncies que podien sorgir eren menors.



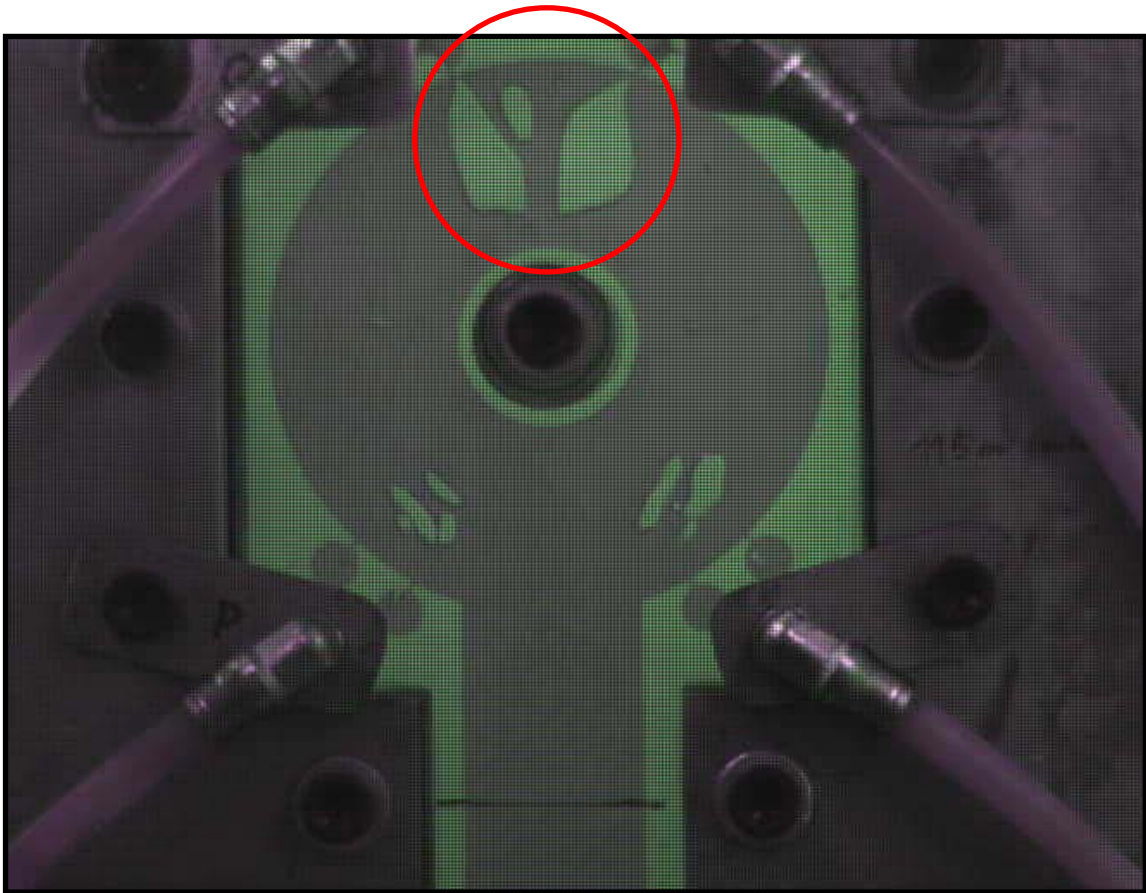


Fig. 56 Millora de l'extracció de l'aire

Tal com es veu en la imatge anterior, les bombolles d'aire que es troben a l'interior de la cavitat superior del motlle flueixen de la mateixa manera. Per aquest motiu els resultats es van acceptar com a vàlids i es van iniciar el assajos que ens havien de proporcionar els resultats pel projecte.



6.2 FRACTURA DEL MOTLLE

Durant la posada en marxa de l'equip experimental el motlle va sofrir una fractura. Aquesta fet va suposar un greu problema i es va haver d'efectuar una ràpida intervenció (**Fig. 57**).

Durant els assajos, es va detectar que el motlle havia tingut una petita ruptura en una de les parets que suporten la junta tòrica. Aquesta petita fractura permetia que la junta tòrica tingués llibertat per desplaçar-se i com a conseqüència disminuïa la pressió interna del motlle en el moment de la injecció.

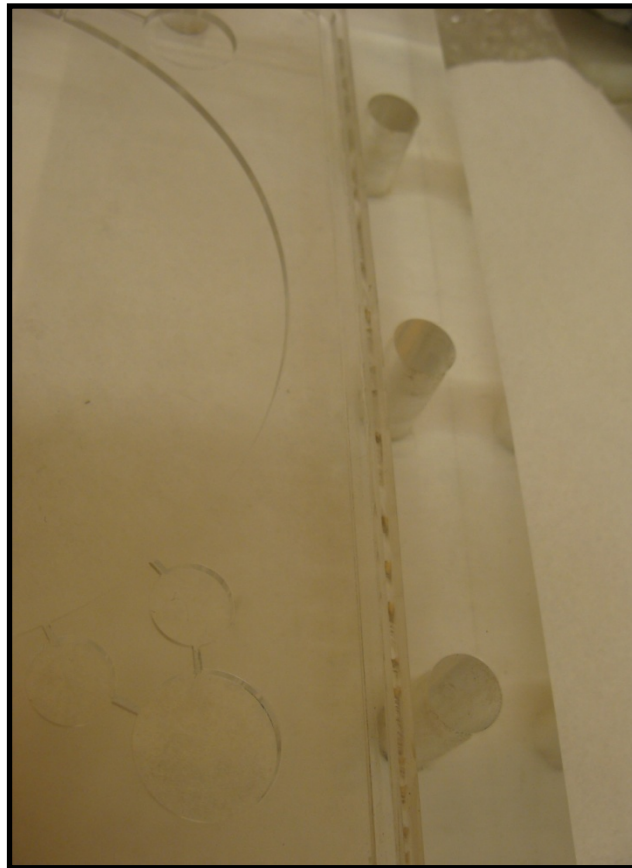


Fig. 57 Detall de la fractura del motlle



Per aquest motiu, es va decidir reparar l'element. Com que la fractura era d'unes dimensions poc considerables, es va enganxar el fragment que s'havia desprès.

La cola que es va utilitzar va ser una dissolució d'encenalls de metacrilat amb acetona. Aquesta dissolució solda els dos polímers i efectua una adhesió molt forta. Un cop aplicada la dissolució a la fractura, es va deixar assecar durant tres dies. Després de comprovar-ho, es va veure que el motlle havia quedat reparat.

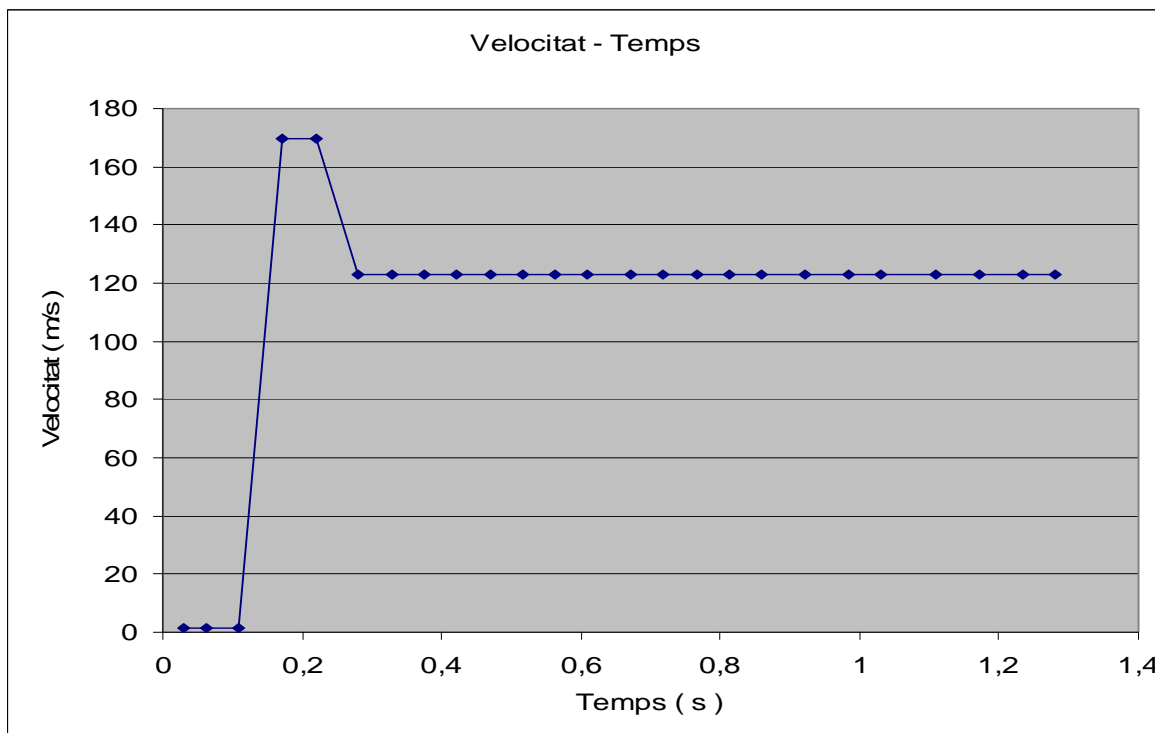


6.3 MESURA DE LA VELOCITAT

A més a més, es va dur a terme les primeres captures de dades amb el sensor de velocitats. El sensor de velocitats és un instrument de mesura que captura la velocitat del cilindre pneumàtic i la representa en un display i, si es desitja, es pot crear una gràfica amb un full de càlcul (**Gràf.1**).

Amb la tasca de captura de dades, es va decidir augmentar la sensibilitat del descodificador per tal de capturar més impulsos i dibuixar la corba amb més punts.

Gràfic. 1 velocitat en funció del temps mitjançant el descodificador



Amb aquesta gràfica representada es pot observar a l'eix de les "X" el temps i a l'eix de les "Y" la velocitat en mm/s. Tal com es veu a la gràfica, el control de la velocitat de l'element pneumàtic és força baix, ja que la corba que s'ha representat està constituïda per pocs punts.

Després de diversos intents de millora utilitzant aquest equip, es va comprovar que no era possible augmentar la sensibilitat de captura de dades d'aquest element. Per

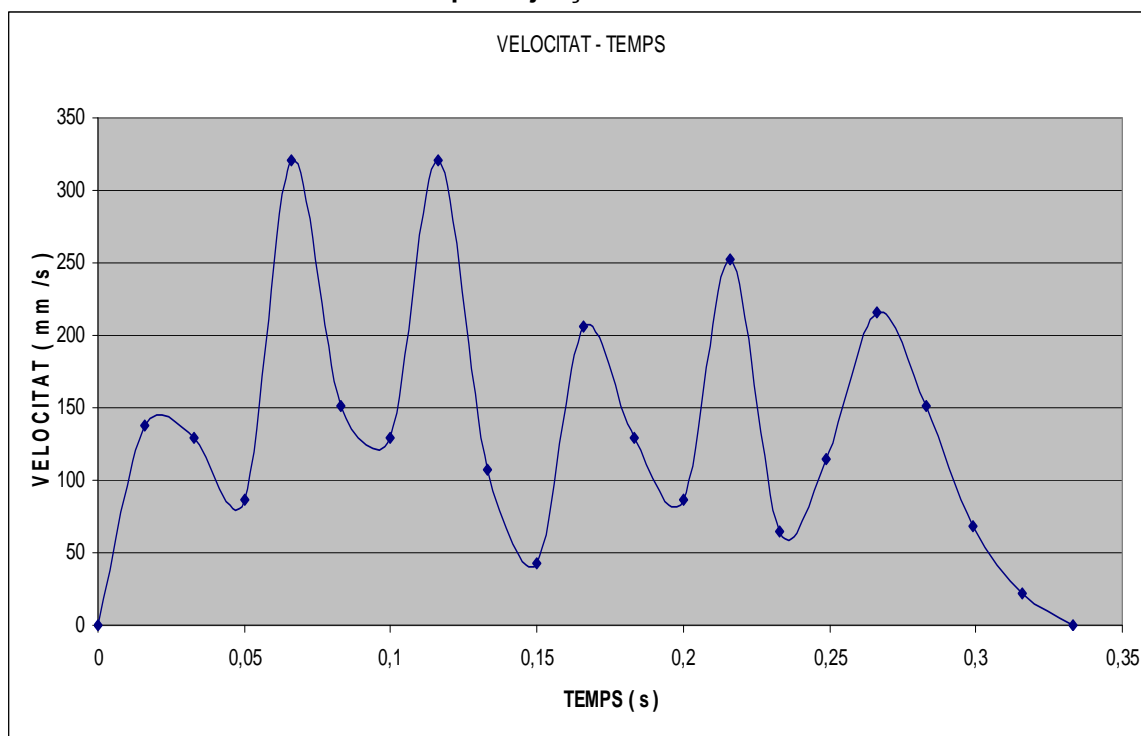


aquest motiu es va utilitzar la càmera fotogràfica d'alta velocitat per extreure un gràfic de velocitats com l'anterior i poder contrarestar la informació.

El sistema va consistir en una filmació del moviment del cilindre i posteriorment calcular el desplaçament efectuat en cada fotograma de la filmació en un interval de temps.

El resultat que es va obtenir va ser el següent (**Gràf.2**) :

Gràfic. 2 velocitat en funció del temps mitjançant la càmera d'alta velocitat



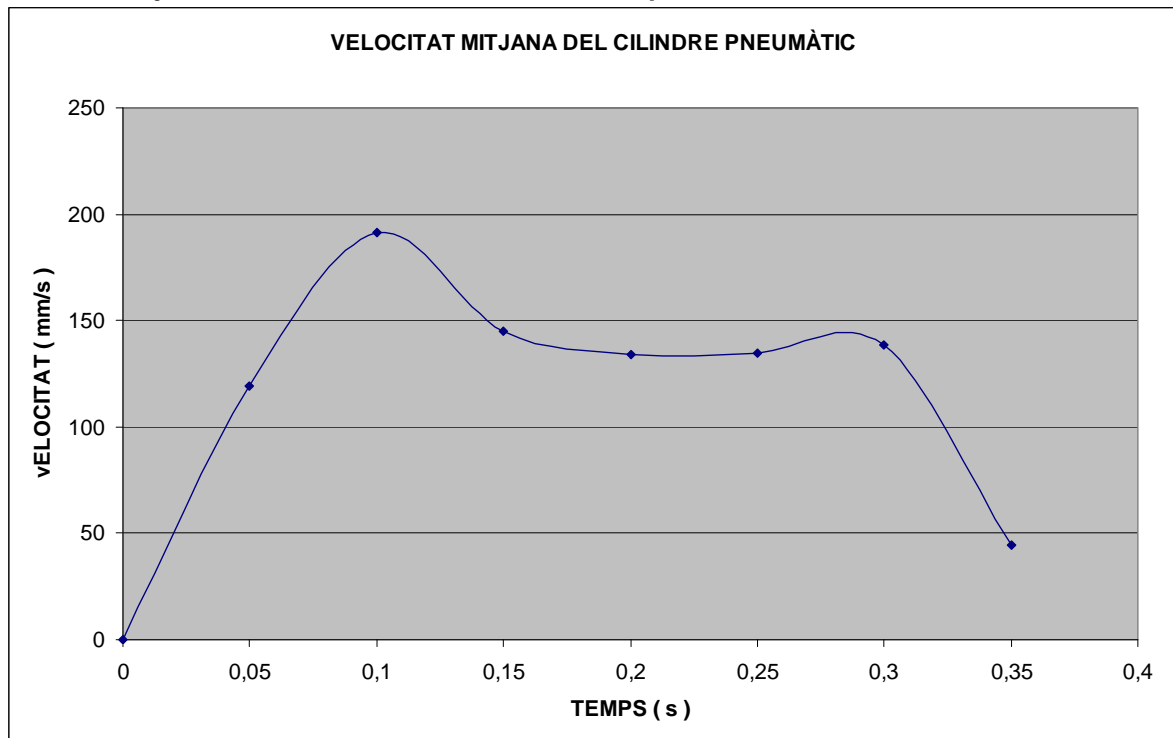
En aquesta gràfica es veu representat el temps en segons a l'eix de les "X" i la velocitat del cilindre en mm/s en l'eix de les "Y".

Tal com es veu a la gràfica, la velocitat fluctua de manera important i es va creure que el resultat obtingut era força més coherent que no pas els resultats obtinguts amb l'altre equip de mesura, ja que el sistema pneumàtic no emet un flux constant d'aire, sinó que fluctua a causa de la compressió i descompressió del flux.



Com que es va veure que la gràfica fluctuava molt, es va pensar que seria adient obtenir una velocitat mitjana per tal d'obtenir una corba més constant. La gràfica que es s'ha obtingut realitzant la mitjana dels assajos és la següent (**Gràf.3**):

Gràfic. 3 Mitjana de les velocitats en funció del temps



Amb aquesta velocitat mitjana és més fàcil crear models nous, ja que la velocitat és més constant i fluctua menys. Per aquest motiu, la velocitat mitjana es va determinar com la velocitat vàlida i es va consensuar que es treballaria sobre aquest perfil de velocitats.



7. FASE D'EXPERIMENTACIÓ

Després d'haver fet la construcció i la posada a punt de l'equip, l'última fase que falta per acabar el projecte és la d'experimentació.

La fase d'experimentació consisteix a dur a terme un seguit d'assajos per tal d'estudiar-los i comparar-los entre ells, el nombre d'assajos que s'ha realitzat ha estat un total de 10. Cal esmentar que a part d'haver obtingut filmacions de l'omplerta del motlle, també s'han obtingut les dades dels equips de mesura per tal d'acotar més les variables del projecte. A més a més, aquestes dades han estat processades i classificades per les persones responsables de realitzar el model d'elements finits.

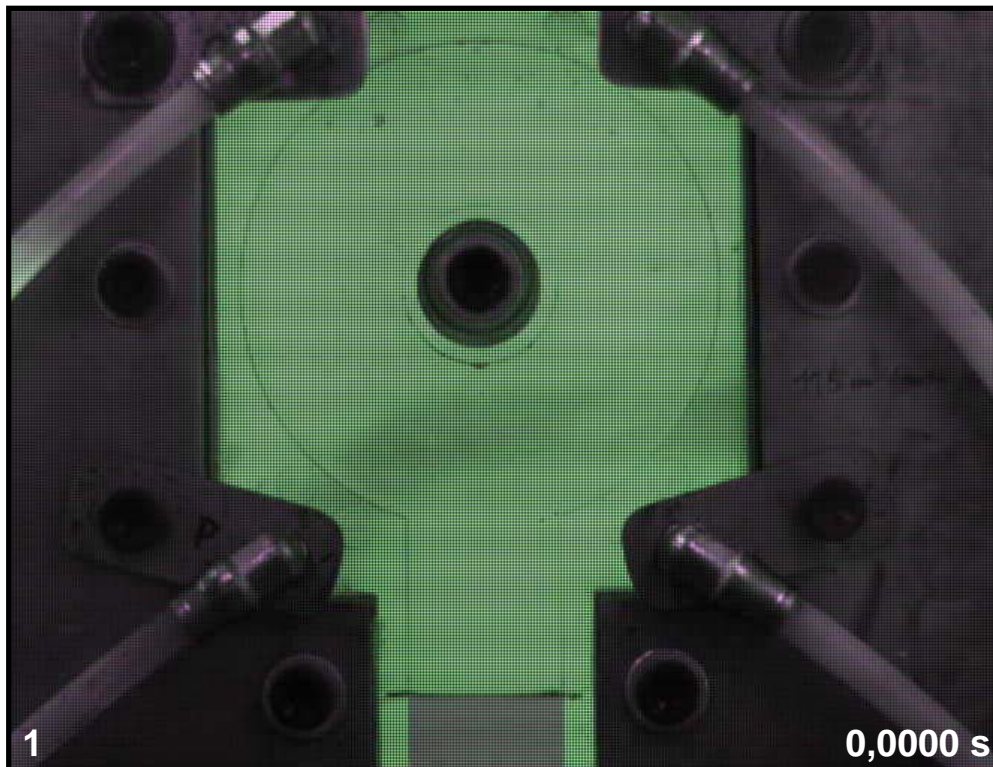
Ara per ara, els resultats que s'han obtingut segueixen un patró força comú, la qual cosa fa pensar que l'equip desenvolupat funciona correctament.

Per altra banda, també cal comentar que la desviació entre els diferents valors és lleugera, i aquest aspecte indica que hi ha poques diferències entre un assaig i un altre.



7.1 ANÀLISI DELS ASSAJOS

En aquest apartat, es mostren els fotogrames obtinguts durant els assajos. Aquestes imatges s'utilitzaran per comparar els resultats obtinguts amb les simulacions.

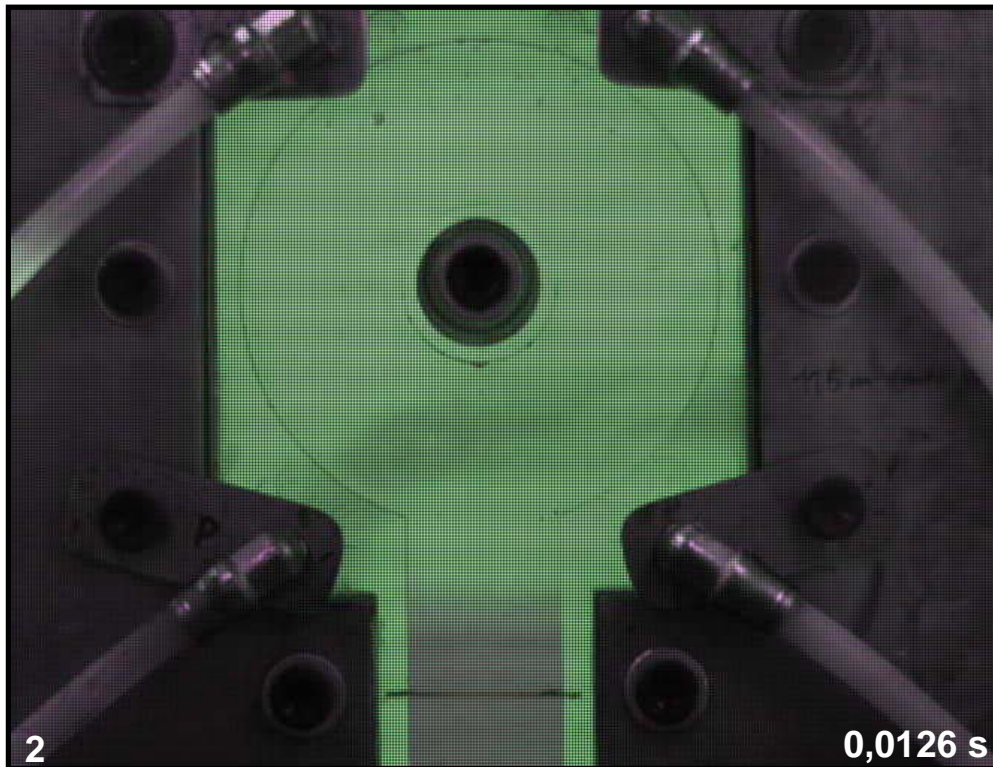


1. En primer lloc, tal com es veu en la imatge, l'aigua està anivellada en un punt determinat. Aquest punt es troba situat a 90 mm respecte de la part inferior del motlle o a 115 mm respecte del punt mig (centre del trencaigües).

Els motius pels quals s'anivella l'aigua en aquest punt són bàsicament tres:

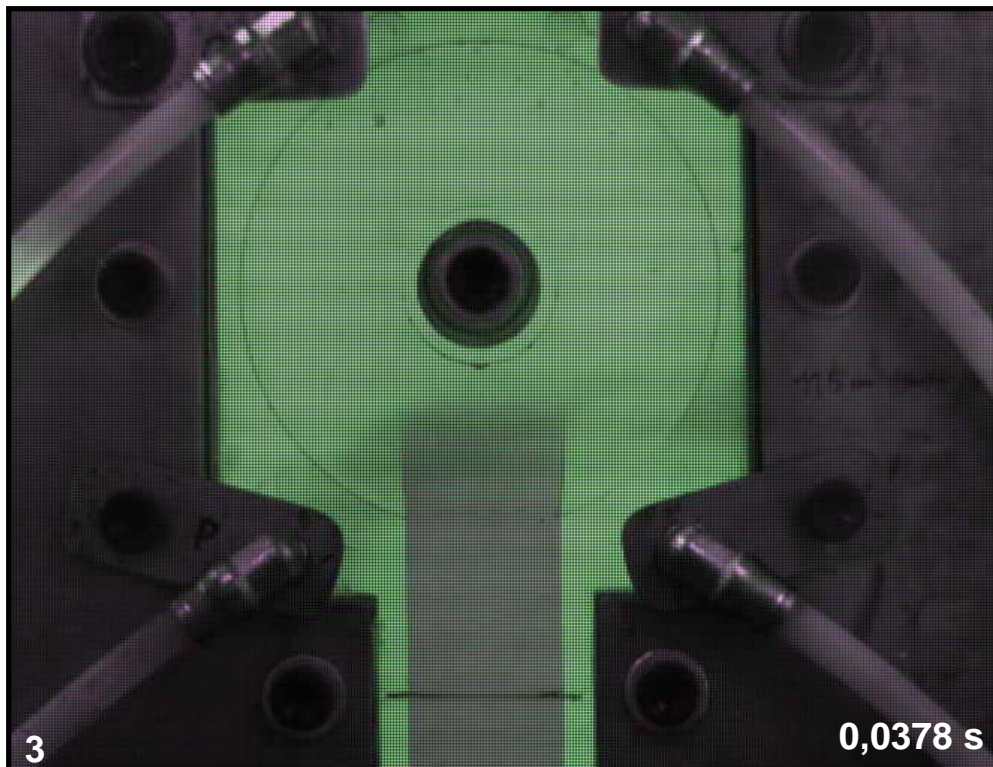
- Tenir controlades les condicions de contorn en el moment inicial
- Evitar turbulències a l'entrada del motlle.
- Simular un procés d'injecció el més real possible





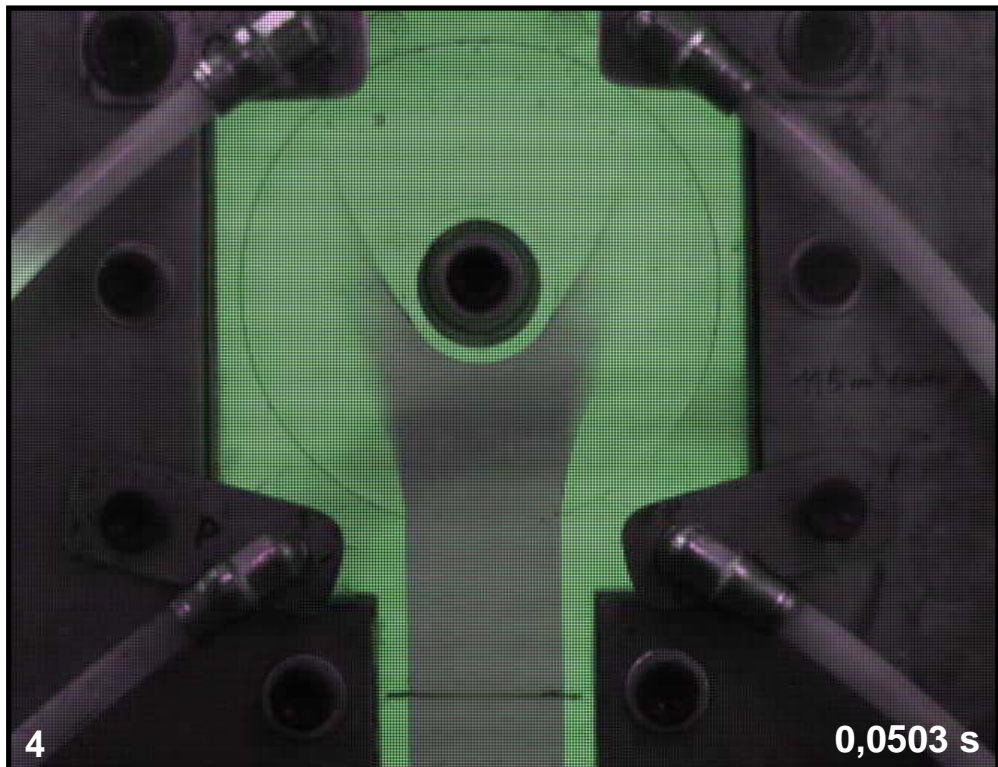
2. En el moment en què el cilindre pneumàtic comença a moure's, el fluid es desplaça cap a l'interior de la cavitat. En aquest instant inicial el fluid circula a una velocitat de 1,16 m/s, aquesta velocitat s'ha obtingut calculant el desplaçament del front d'aigua respecte el punt inicial. Un dels aspectes essencials que cal destacar, és que en aquest moment el fluid es desplaça de forma homogènia ja que es troba al canal d'entrada.





3. En aquesta imatge, el fluid continua avançant a una velocitat de 3,68 m/s ja que el cilindre pneumàtic està accelerant. A la imatge s'observa que el fluid ha sortit del canal d'entrada i ha arribat a la cavitat circular, per aquest motiu el front es dispersa cap als laterals a causa de la velocitat a la qual avança i el fregament amb la superfície de la cavitat.

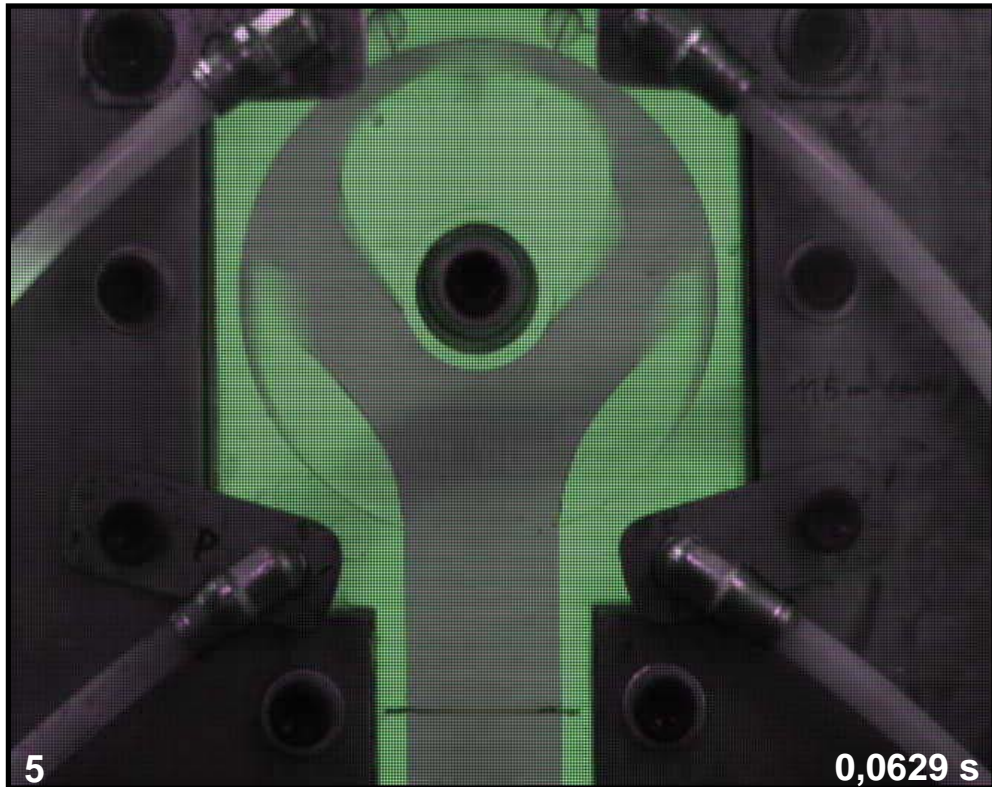




4. El fotograma següent s'observa com el front d'aigua impacta en el trencaigües i es creen dos fronts nous que es separen cap els laterals de la cavitat.

Aquest trencament de flux, és important que també aparegui a les simulacions ja que és una de les característiques d'aquest model.



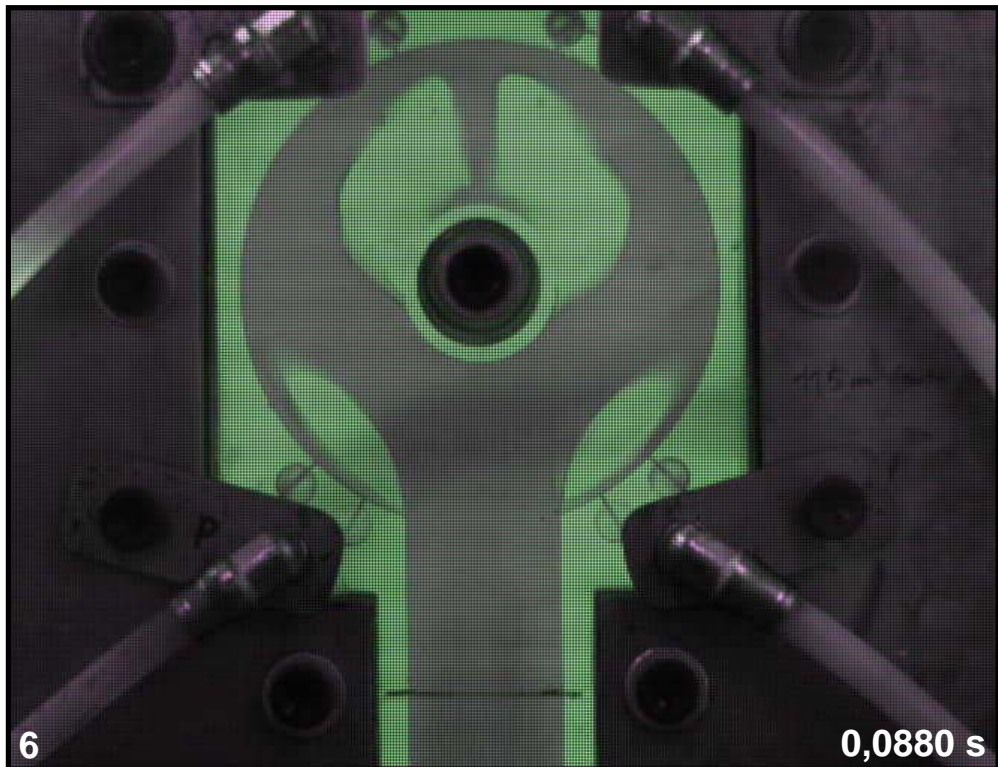


5. El fluid impacta en les parets laterals del motlle tot creant 3 bombolles d'aire. Tal com es pot observar a la imatge, a la part superior del motlle, el fluid ha aïllat els vents de la bombolla d'aire, impedit que aquesta es pugui escapar cap a l'exterior.

Per altre banda, també es pot observar com el fluid avança creant alguna turbulència degut a la velocitat que adopta i els impactes soferts en les diferents superfícies de la cavitat.

També es pot observar com el fluid descendeix per les superfícies laterals del motlle cap als vents inferiors.

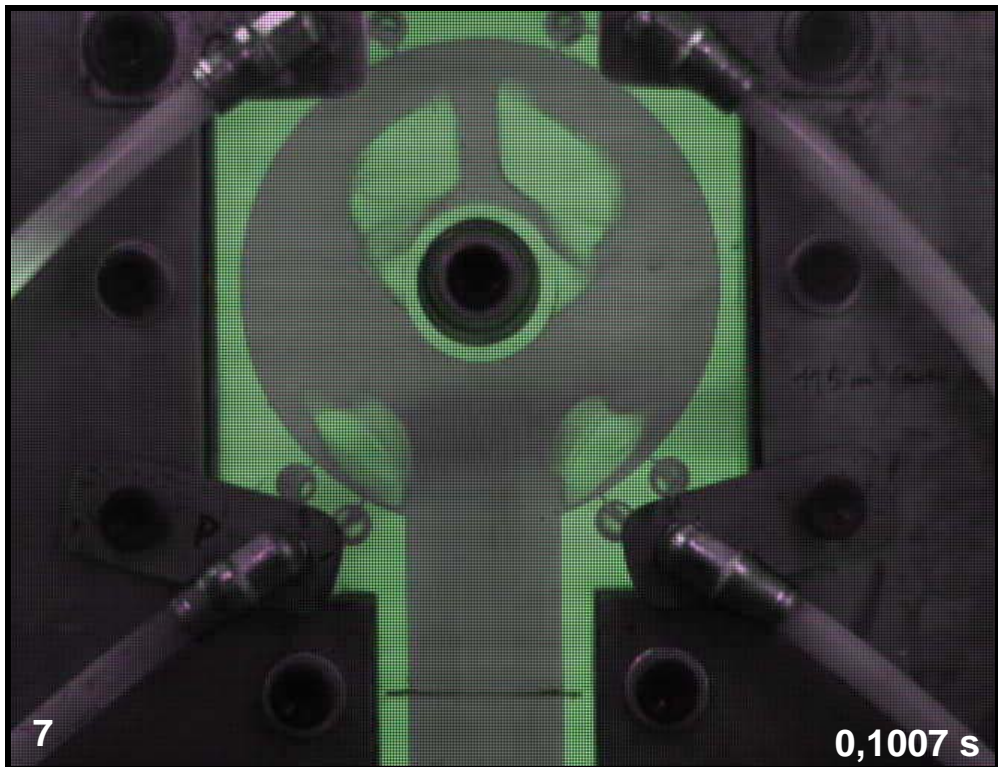




6. A partir d'aquests instant el front d'aigua torna a impactar en el trencaaigües i crea les quatre bombolles d'aire característiques d'aquest model. Aquestes quatre bombolles romandran estanques a l'interior de la cavitat degut a que el fluid les ha aïllat dels vents.

Per altra banda, gràcies a la presència d'aquestes bombolles, es podrà determinar el moment de màxima pressió, ja que degut a la pressió del fluid, les bombolles experimentaran una reducció de mida.



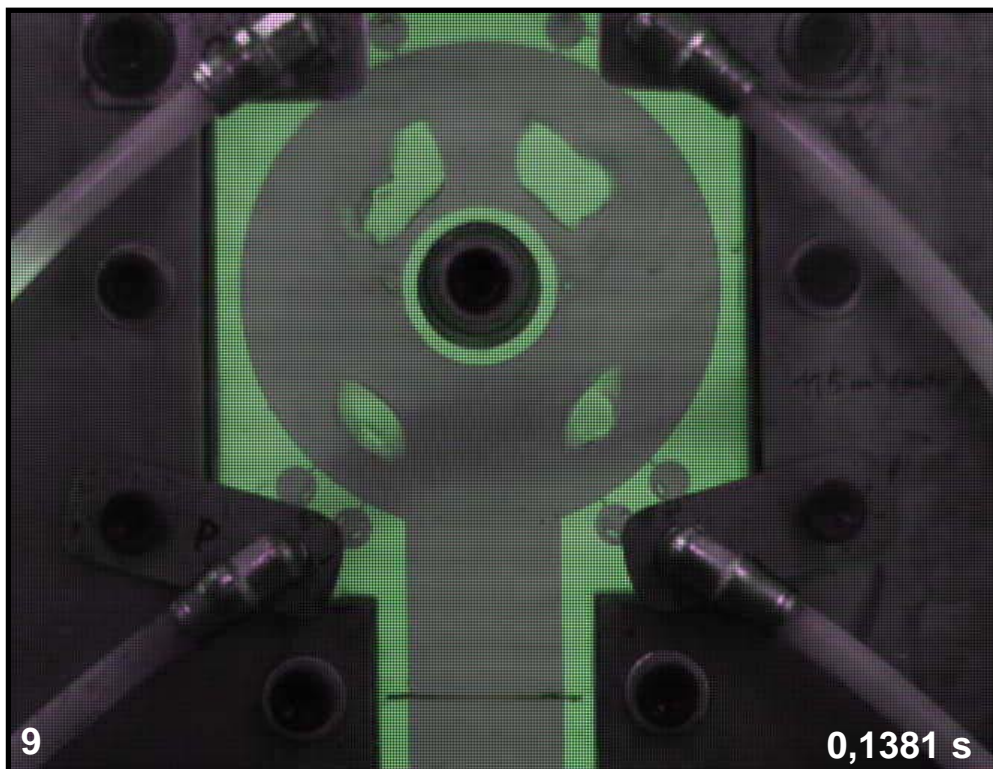
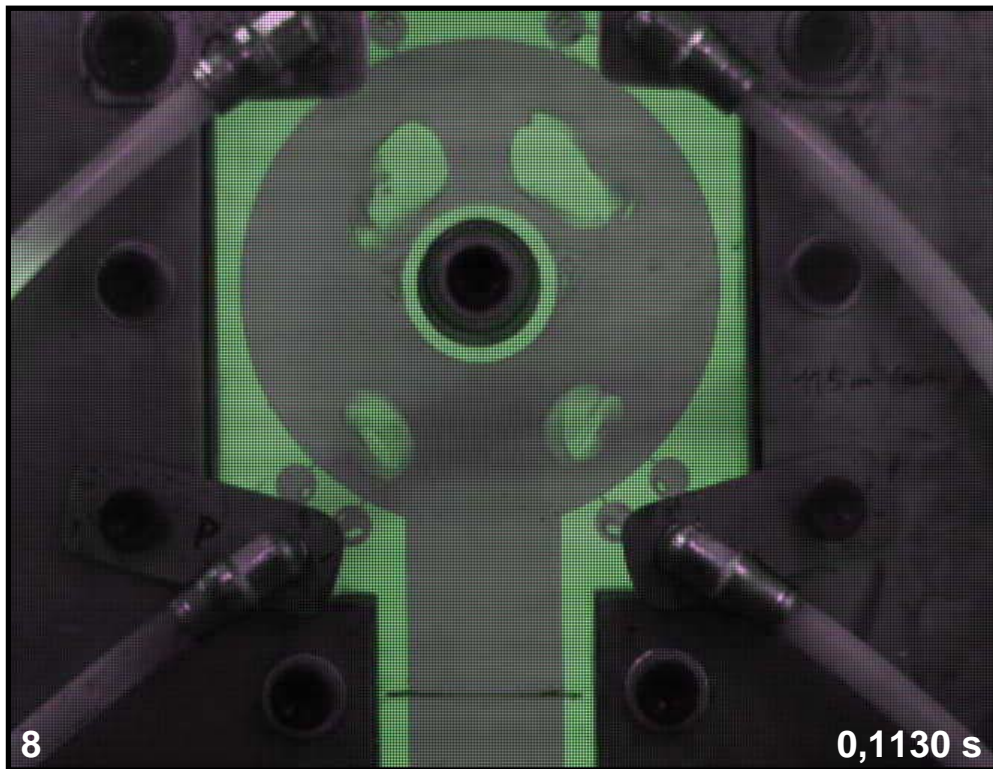


7. En aquest fotograma el fluid comença a manifestar-se com a règim turbulent ja que s'observen aurores d'aigua al contorn de les bombolles. És a partir d'aquests instants quan apareixen algunes diferències entre els diferents assajos realitzats.

Per altra banda, el front d'aigua embolcalla el trencaigües creant unes petites cavitats al lateral d'aquesta superfície.

També cal esmentar que els vents s'omplen de fluid que empeny l'aire cap a l'exterior.



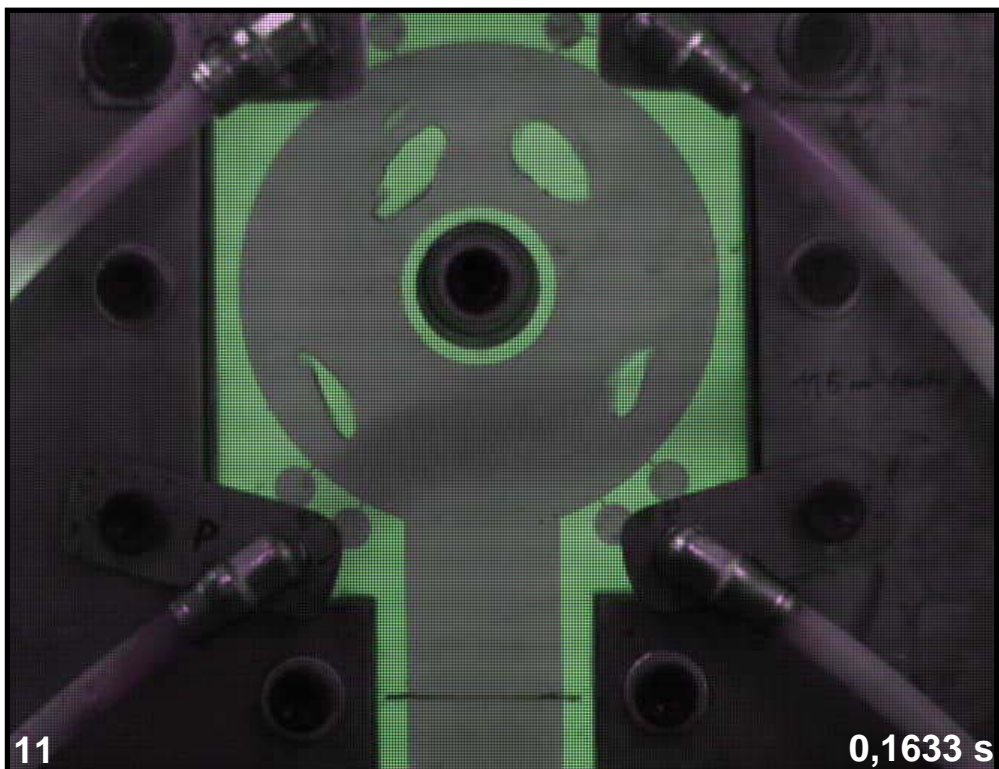
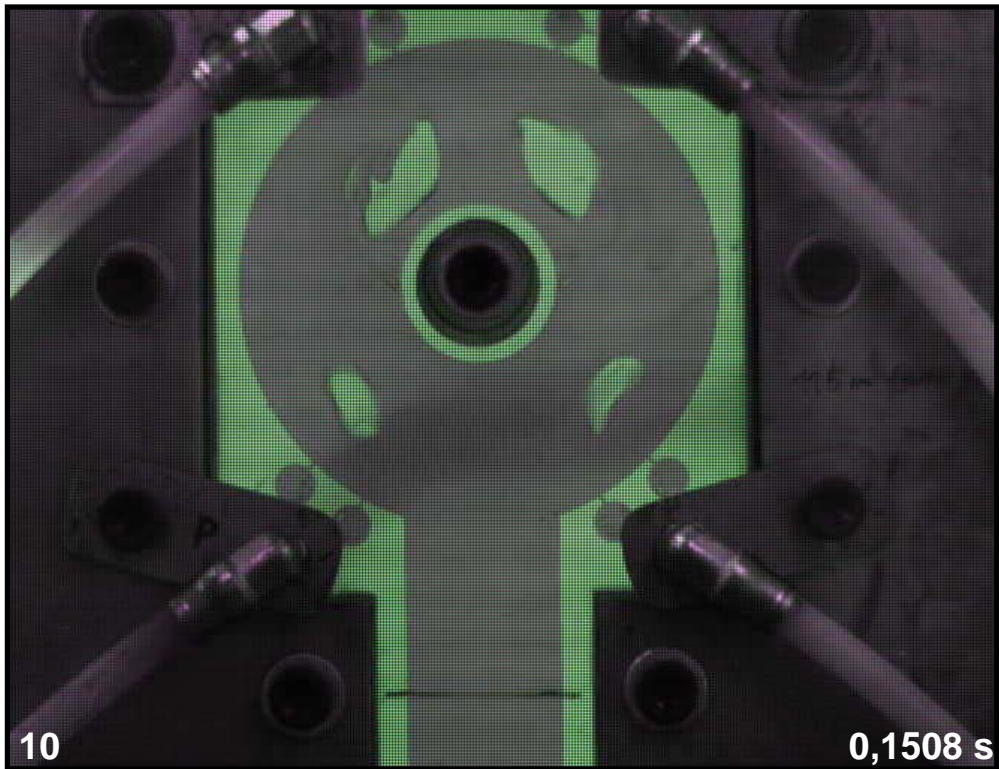


8 i 9. En les imatges següents comença a sorgir alguna diferència entre les dues bandes del motlle. Es veu clarament com la bombolla de l'esquerra es troba en una posició una mica més inferior que la bombolla de la dreta.

També cal dir, que les bombolles que queden retingudes en aquests punts, resulta difícil eliminar-les, ja que el fluid les manté estancades i comprimides.

Per altra banda, en els vents inferiors continuen havent petites bombolles d'aire que encara no s'han extret. Tal com s'ha esmentat en la imatge anterior, als laterals del trencaaigües s'observen petites bombolles degut a les cavitats d'aire formades en la imatge 7.

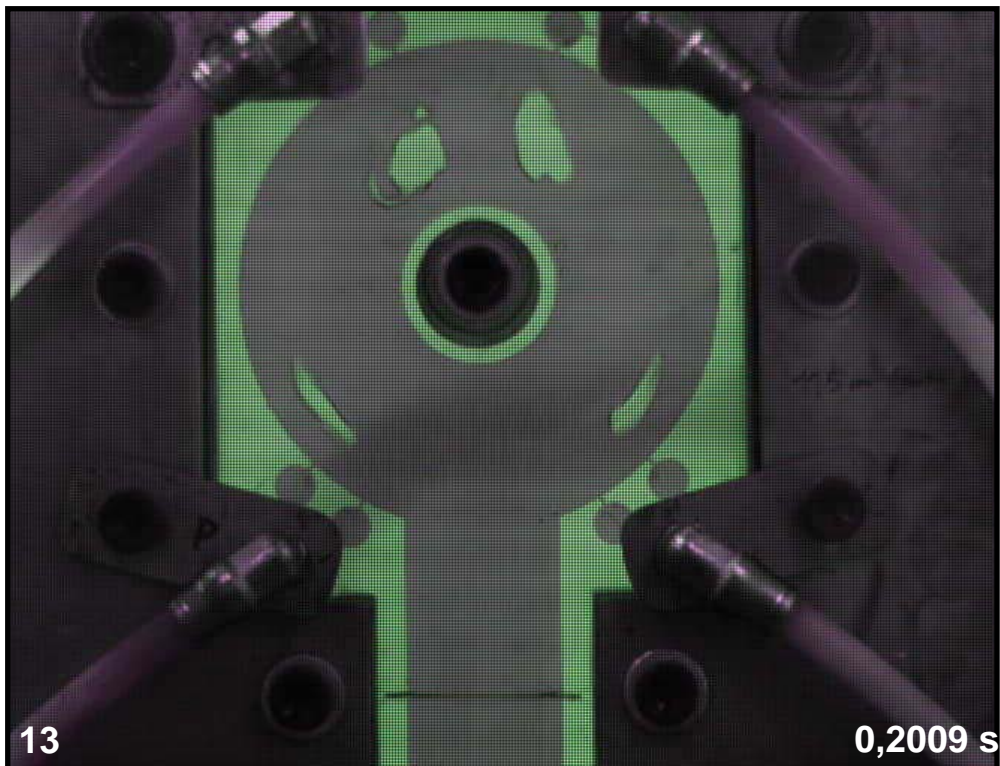
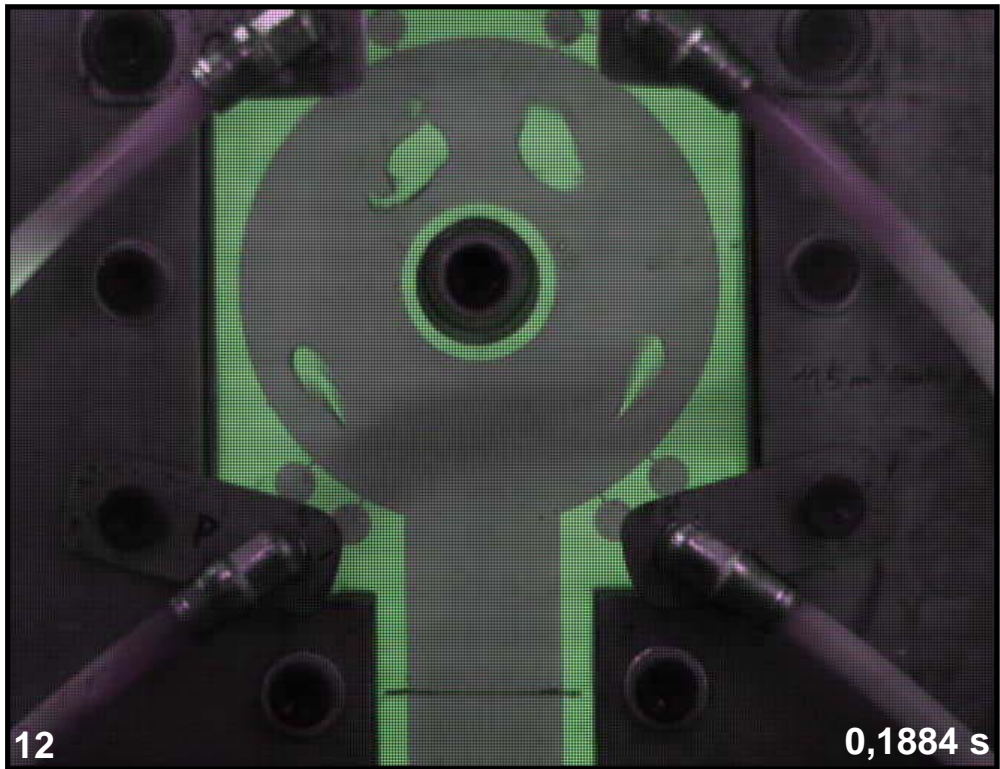




10 i 11. En aquestes imatges es pot comprovar com les bombolles d'aire cada vegada es fan més petites i adopten una geometria allargada, ja que es comprimeixen a causa de la pressió del fluid i s'estiren perquè aquest les empeny cap als laterals.

En aquests instants també s'observa com els vents estant plens de fluid, a més a més en continuen absorbint i el comencen a extreure. Aquest fet es comprovable, ja que els tubs de poliuretà han adoptat un color morat.

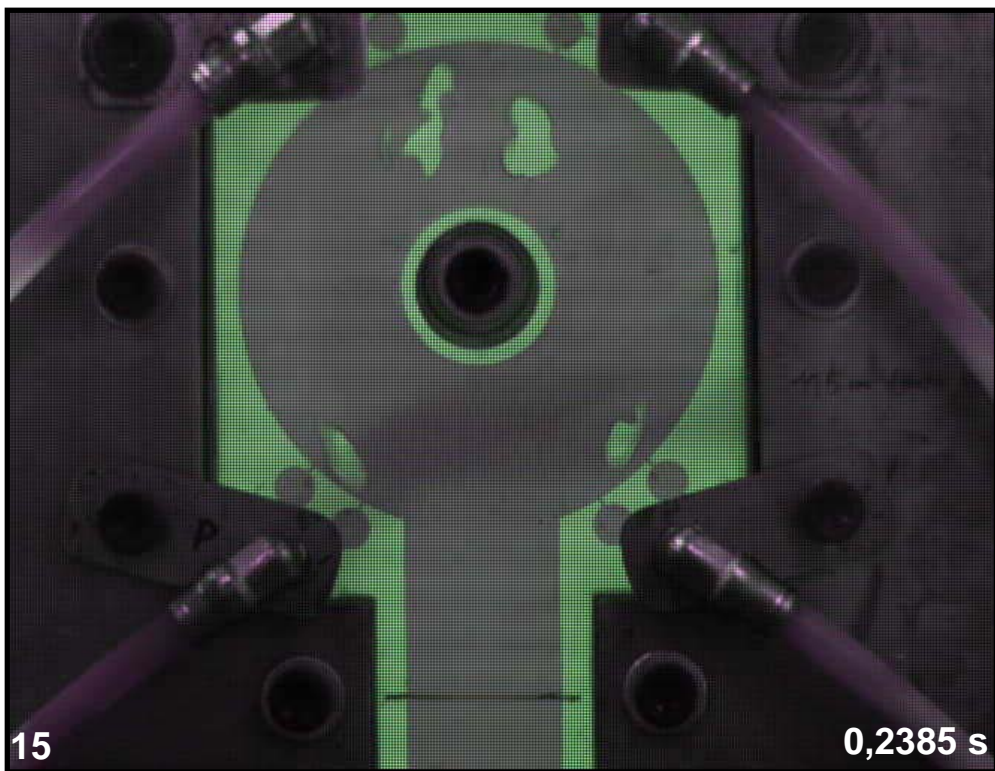
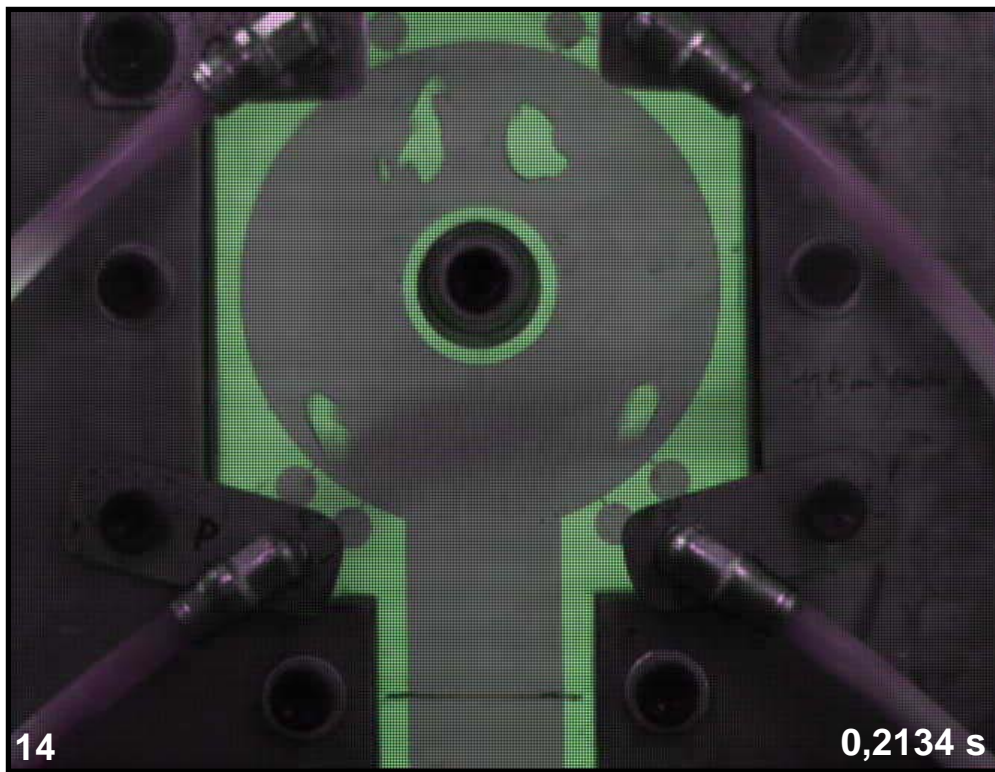




12 i 13. En aquest moment, les bombolles comencen a tenir un comportament diferent entre els diferents assajos que s'han realitzat. Un exemple clar és la bombolla superior esquerra, on es veu com es crea una petita cua que no apareix en la resta d'assajos.

Per altra banda les bombolles inferiors s'allarguen seguint la geometria de la paret del motlle i descendeixen cap als vents inferiors. Es creu que aquest fet succeeix perquè continua entrant fluid a l'interior de la cavitat i aquest les empeny cap els laterals.

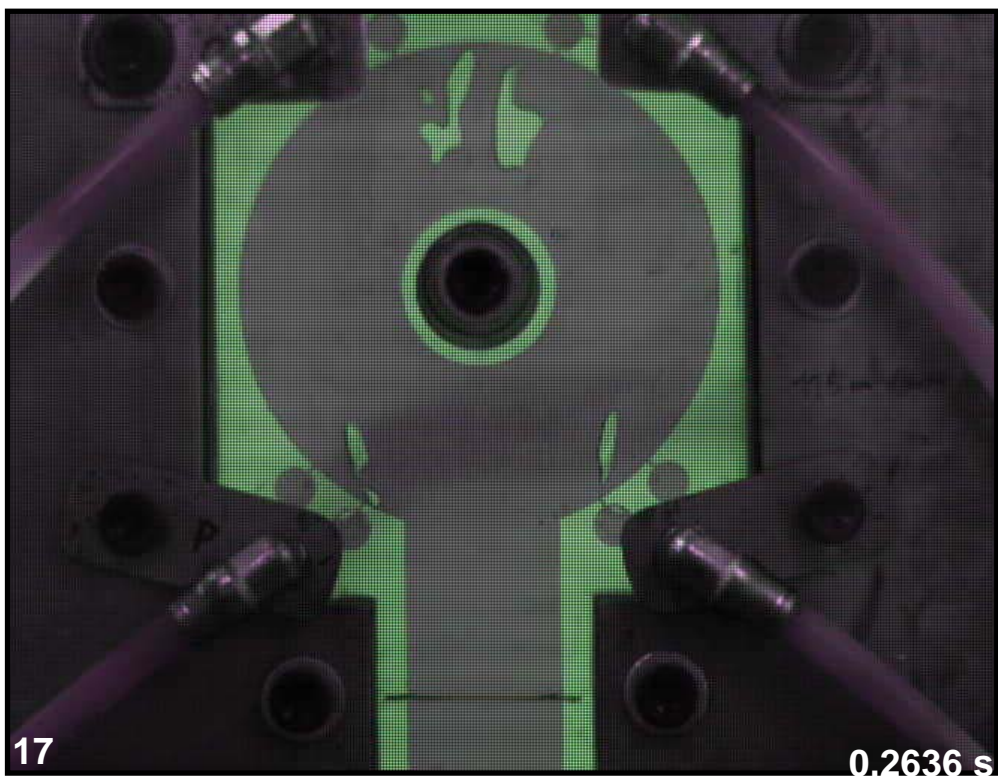
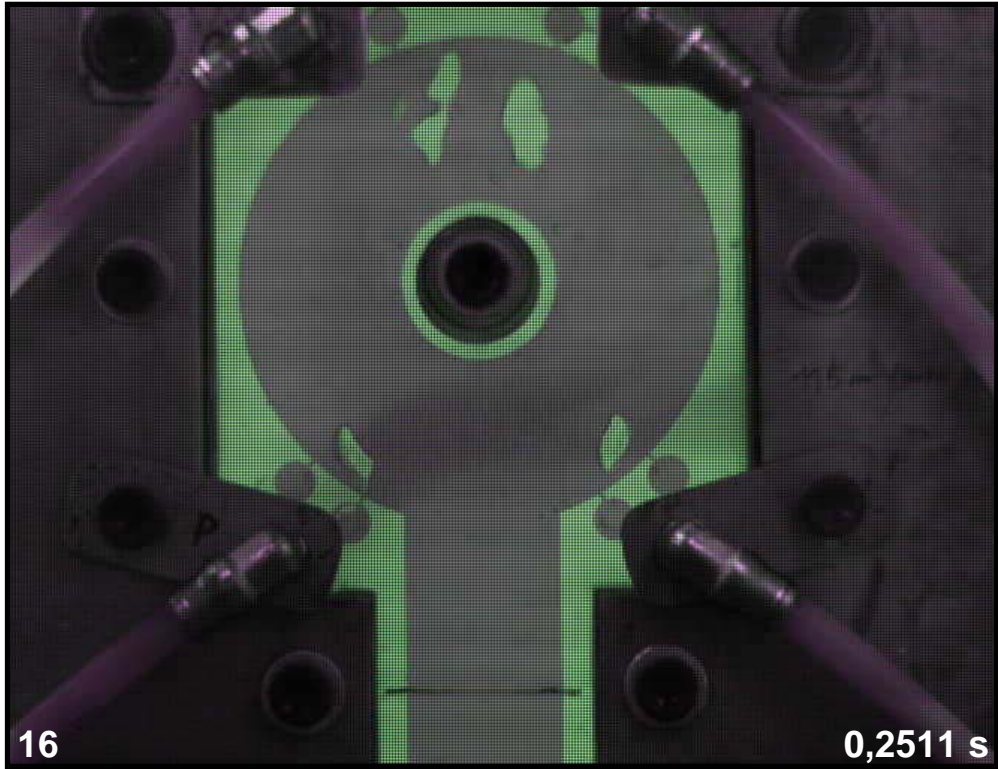




14 i 15. Com que la injectora continua aportant aigua cap al interior de la cavitat, i els vents no tenen la suficient capacitat per evacuar el fluid, les bombolles redueixen les dimensions de manera considerable degut a la pressió del fluid.

També s'observa com a les bombolles han adoptat una nova geometria més arrodonida i les que es troben situades a la banda esquerra del motlle tenen més tendència a aproximar-se als vents.



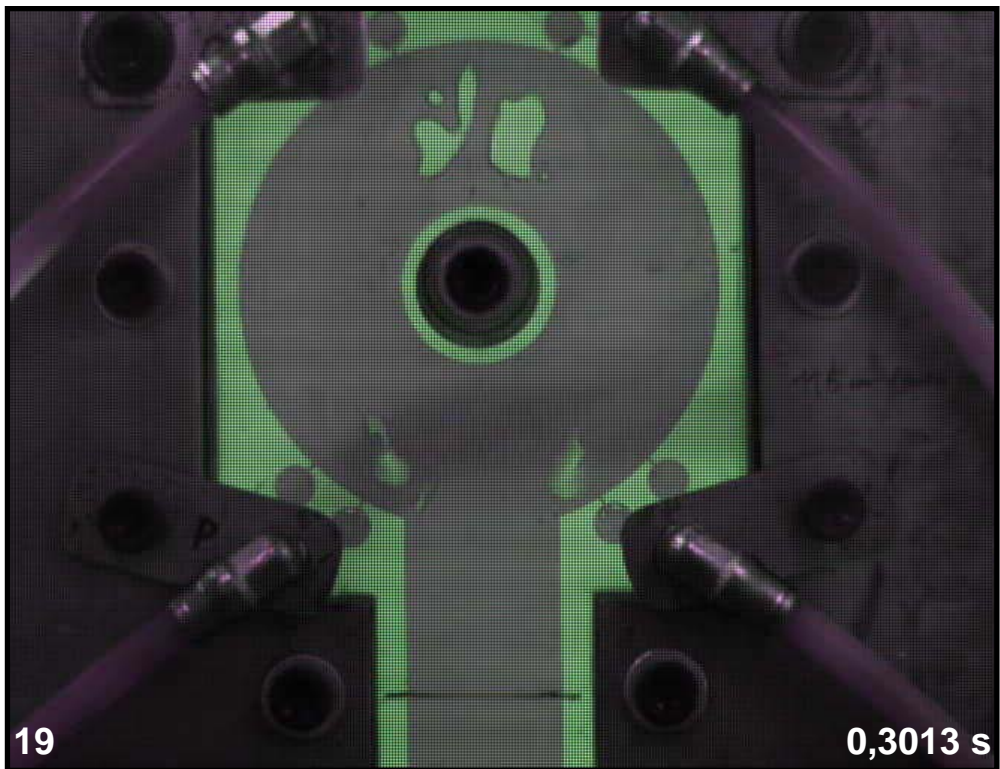
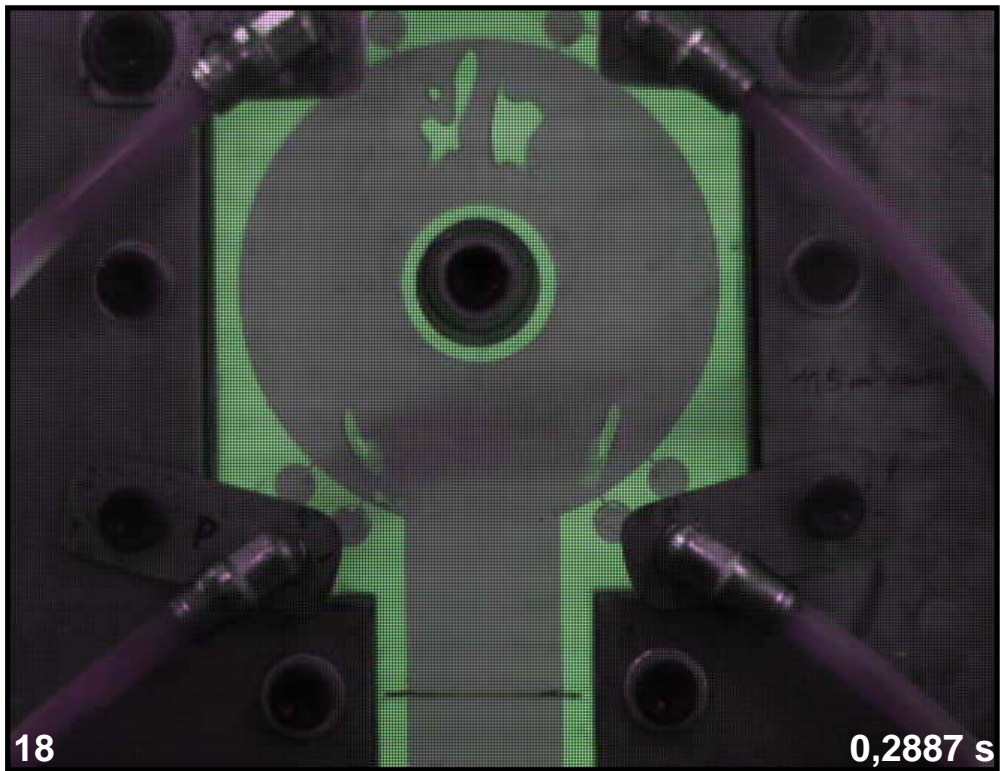


16 i 17. En aquestes imatges s'observa com una petita part de les bombolles inferiors s'aproximen cap als vents i són absorbides per aquests.

Degut a que el volum d'aire és major a la part superior que a la inferior, es pot concloure que l'extracció per la part inferior és més eficient que no pas per la part superior. Aquest fet ens fa pensar que en un nou disseny hi hauria d'haver més sortides a l'exterior ubicades a la part superior del motlle.

Per altra banda, com que la mida de les bombolles és més petita que en els altres fotogrames, es creu que el procés es troba en el moment de màxima pressió.

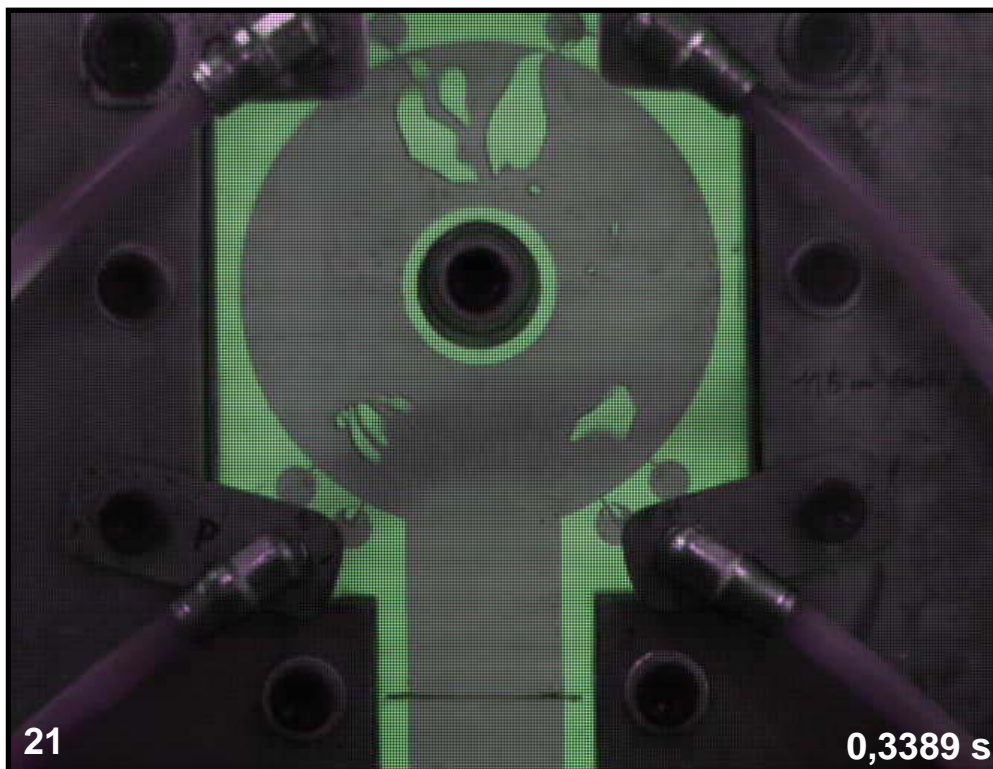
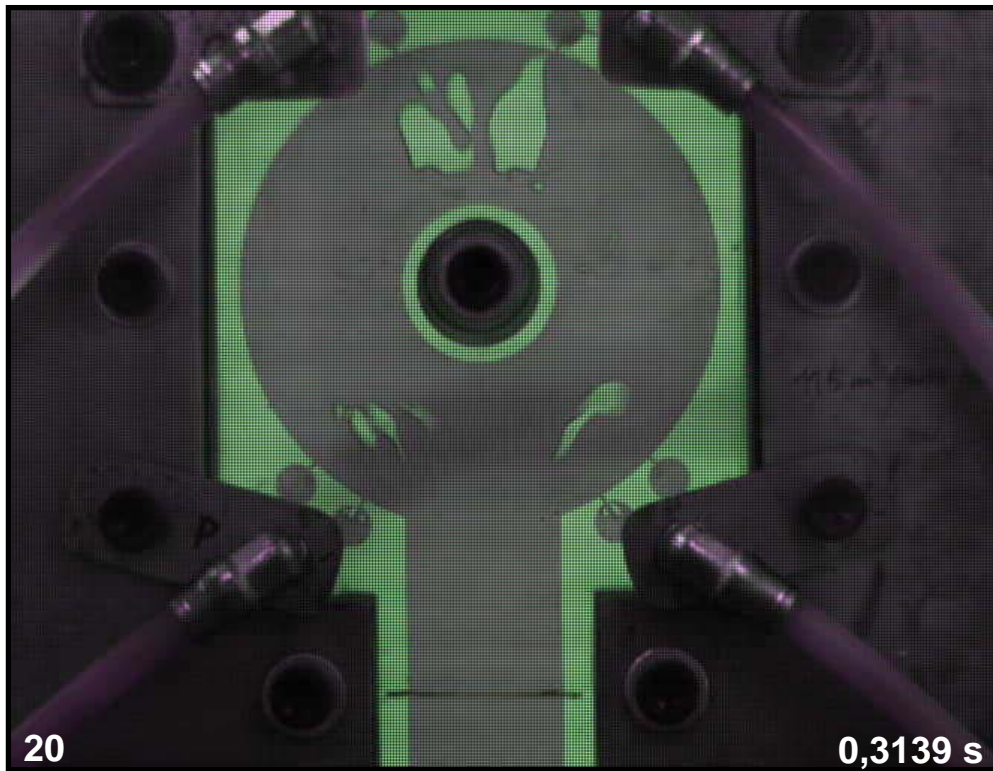




18 i 19. Tal com es veu a les imatges, la part superior del motlle hi ha una bombolla que ha adoptat una geometria diferent respecte a la que es troba a la banda dreta.

Per altra banda, en aquestes imatges es pot veure com les bombolles augmenten de dimensions. Aquest fet succeeix perquè s'està perdent pressió ja que el cilindre pneumàtic s'ha aturat i no impulsa més fluid cap a l'interior del motlle.





20 i 21. En aquesta etapa les bombolles d'aire comencen a ascendir degut a la descompressió del motlle i, a més a més, es fragmenten en bombolles més petites. També cal comentar que com que l'aire és menys dens que l'aigua, les bombolles que poden haver quedat a l'interior ascendeixen fins a sortir pels vents superiors.

El següent pas es produirà un buidament del motlle pels respectius vents ja que la pressió exterior és menor que l'interior.

Sobre aquesta imatge s'ha de comentar el fet que aquelles petites bombolles que havien quedat retingudes als laterals del trencaaigües ara tornen a sorgir després de la descompressió.

S'ha pogut observar en els diferents assajos que el temps del procés d'injecció està al voltant dels 0,35 segons.



8. CONCLUSIONS

El projecte de disseny i construcció d'un equip experimental de moldeig per injecció, ha estat una necessitat per poder validar els càlculs realitzats per les simulacions d'elements finits.

Durant el transcurs del projecte, s'han observat diferents aspectes interessants que es poden numerar de la següent forma:

- S'ha observat que amb la construcció d'un equip senzill es pot arribar a reproduir un sistema d'injecció.
- La utilització del cilindre pneumàtic i la injectora com a mecanisme de sistema d'injecció, ha resultat ser un mecanisme senzill, fàcil d'adquirir i de manipular i ha donat un resultat satisfactori.
- Les gravacions realitzades de l'omplerta del motlle, aporten una seqüència d'imatges del què succeeix a la cavitat d'aquest element i a la vegada ajuden a comprendre el moviment del fluid.
- La substitució dels col·lectors de niló per els d'alumini, ha suposat un avenç ja que s'ha aconseguit una geometria exacte per a tots. D'aquesta manera s'ha evitat diferències amb les toleràncies dimensionals.
- Tot i treballar amb un flux d'aigua amb una velocitat relativament alta s'han adquirit característiques molt semblants en els diferents assajos. Aquest fet és important ja que un flux amb aquestes condicions és sensible a variacions degut a les condicions de contorn.
- Degut a la poca fiabilitat del sistema de mesura en el moment de capturar la velocitat del cilindre, ha estat necessari utilitzar un nou sistema de mesura mitjançant la càmera d'alta velocitat i un software de tractament d'imatge. D'aquesta forma s'han aconseguit descriure de forma precisa la velocitat del cilindre pneumàtic durant la injecció.



- S'ha experimentat dificultats en l'instant de netejar la cavitat del motlle ja que era difícil d'accedir-hi, i en alguns casos quedaven gotes d'aigua enganxades a la paret.
- La situació dels vents en el motlle és fonamental per garantir l'extracció de l'aire retingut a l'interior. També cal esmentar que degut a les turbulències i a l'absència de vents a la part central del motlle, es generen petites bombolles al voltant de la superfície del trencaigües.
- El fet d'augmentar la quantitat de vents a la part inferior de la cavitat del motlle, ha afavorit que en aquest punt, la quantitat d'aire retingut fos menor que a la part superior.
- Degut els canvis de pressió de l'aire comprimit de la Fundació CTM, els assajos s'han realitzat amb una pressió que ha oscil·lat entre 6,7 i 7,5 bars. Aquest fet fa augmentar o disminuir la força efectuada pel cilindre pneumàtic i com a conseqüència pot fer variar els resultats de les injeccions.



9. IMPACTE AMBIENTAL

Un cop finalitzat l'equip experimental s'haurà d'iniciar un procés de desmantellament i de gestió de reciclatge dels components que en formen part.

El material més abundant a l'equip és acer, aproximadament uns 30 kg. Aquests elements seran portats a la deixalleria per tal de que siguin reciclats. El procés de reciclatge d'aquest material es basa en transportar-lo en una foneria per fondre'l i emmotllar-lo a fi d'obtenir noves peces d'acer.

Per altra banda un altre material que també és força abundant, és el metacrilat en forma de làmina. Com que les làmines que s'han utilitzat són de grans dimensions, es podrien tallar i reutilitzar-les. En cas que no fos possible s'hauria de reciclar com a material plàstic. Aquest material seria transportar a una planta de tractament i serà sotmès a una etapa de trituració i rentat, posteriorment s'aplicarà un procés d'extrusió o de peletització amb l'objectiu d'obtenir nous usos.

Altres equips que es podrien reutilitzar per altres usos seria el cilindre pneumàtic que és d'alumini i la injectora que és d'acer inoxidable. Tant l'alumini com l'acer inoxidable, gaudeixen d'una fina capa protectora que evita que s'oxidi i es malmeti l'equip.

Els sistemes de mesura que s'han empleat seran desmuntats i utilitzats per altres equips experimentals. Aquests equips són el sensor de velocitats, el display i la càmera d'alta velocitat.

La instal·lació elèctrica, que està formada per conductors de coure i fluorescents, seran portats a la deixalleria perquè en gestionin el seu reciclatge.

Amb el reciclatge d'aquests components, es prenent disminuir la generació de residus i contribuir en la sostenibilitat del medi ambient.



10. AGRAÏMENTS

L'autor d'aquest treball vol agrair el suport del consorci del projecte *ALTERMO* (finançat per ACC1Ó) en la realització del present projecte.

M'agradaria agrair a la Dra. M^a Dolors Riera la tutoria i l'ajuda per aquest projecte i el suport i la confiança que m'ha aportat dia a dia.

També a la Dra. Sílvia Molas i el Sr. Albert Llobet per proporcionar-me solucions quan creia que no n'hi havia, als meus companys de departament Marc, Ricardo, Raul, Albert, Xavi, Carles i Xavi per fer-me sentir un més dins d'aquest equip de tècnics.

Agrair als operaris del taller de la fundació CTM la paciència que han tingut durant el muntatge de l'equip experimental.



11. BIBLIOGRAFIA

- [1] www.fluent.com
- [2] H. Hufnagel, "Manual del aluminio" 2ª edició, Ed. Reverté S.A. (2001)
- [3] P.W. Cleary, J. Ha, M. Prakash, T. Nguyen, "3D SPH flow prediction and validation for high pressure die casting of automotive components". *Applied Mathematical Modeling*, **30**, 1406-1427 (2006).
- [4] Dassault Simulia. www.simulia.com
- [5] P. Charavin, "Modelización de la inyección durante el proceso de moldeo bajo alta presión: High Pressure Die Casting". Universitat Politècnica de Catalunya (2009).
- [6] M. Assael, K. Kakosimos, M. Banish, J. Brillo, I. Egry, R. Brooks, P. Quested, K. Mills, A. Nagashima, Y. Sato, W. Wakeham "Reference Data for the Density and Viscosity of Liquid Aluminum and Liquid Iron" *American Institute of Physics* **35**, No. 1, (2006).
- [7] C. Mmataix, "Mecánica de fluidos y Máquinas hidráulicas". Ediciones del Castillo, S.A. (1972)
- [8] F. Ashby, "Materiales para Ingeniería 1: Introducción a las propiedades, Las aplicaciones y el diseño" 1ª edició, Editoria Reverté S.A. (2008)
- [9] P. Homayonifar, R. Babaei, E. Attar, S. Shahinfar, P. Davami, "Numerical modeling of splashing and air entrpment in high-pressure die casting". *Int J Adv Manuf Techno* **39**, 219-228. (2008).
- [10] M. Schmid, F. Klein, "Fluid Flow in Die Cavities Experimental and Numerical Simulation". *Indianapolis T95-034*.
- [11] J. Ha, P. Cleary, "Comparison of SPH simulations of high pressure die casting with the experiments and VOF simulations of Schmid and Klein". *Int. J. Cast Metals Res* **12**, 409 – 418. (2000).



[12] J. Shigley, C. Mischke, "Diseño en ingeniería mecánica" 6ª edición, Ed. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

[13] F. Hernández-Abad, V. Hernández-Abad, M. Ochoa-Vives, J. Font-Andreu. "Ingeniería Gráfica introducción a la normalización" 2ª edición, Unicopi 2001 S.L. (2006)

[14] Paul A. Tipler, Gene. Mosca, "Física para la ciencia y la tecnología 1" 5ª edición, Editorial Reverté S.A (2005)

[15] A.L. Casillas, "Máquinas" 36a edición, Artes graficas ENCO, (1997)

- Casa comercial d'unions de baixa pressió:
<http://www.legris.com>
- Casa comercial dels elements pneumàtics SMC:
<http://www.smc.eu/>
- Casa comercial dels elements pneumàtics FESTO:
http://www.festo.com/cms/es_es/index.htm
- Casa comercial dels elements pneumàtics BOSCH:
<http://www.boschrexroth.com/pneumatics-catalog>
- Casa comercial dels elements pneumàtics WAIRCOM:
<http://www.waircom.com/>
- Casa comercial de bombes GRUNDFOS:
<http://www.grundfos.com/web/homees.nsf>
- Casa comercial de bombes ESPA:
<http://www.espa.com>
- Història i conceptes bàsics de l'alumini:



<http://es.wikipedia.org/wiki/Aluminio>

- Casa comercial de les unions cargolades:
<http://www.tindsa.com/>
- Casa comercial del codificador de velocitat:
<http://www.hohner.es/>
- Casa Comercial del Display i tacòmetre:
<http://www.ditel.es/>
- Casa Comercial de la càmera d'alta velocitat:
<http://www.baslerweb.com/>
- Comercial de subministrament de productes *LEGRIS* de Manresa:
<http://www.neofluid.com/>
- Comercial de subministrament de productes *SMC* de Manresa:
<http://www.tecnical.org/>
- Ferreria *RS-ONLINE*:
<http://es.rs-online.com/web/>
- Comercial del metacrilat:
<http://www.serveiestacio.com/>
- Comercial de juntes tòriques de Manresa:
<http://www.indicom.es/>



Projecte de Final de Carrera

Enginyer Tècnic Industrial Mecànica

**DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UN EQUIP EXPERIMENTAL BASAT EN EL
CONFORMAT PER MOLDEIG MITJANÇANT UN SISTEMA D'INJECCIÓ A FI DE
VALIDAR UN CONJUNT DE SIMULACIONS REALITZADES AMB UN PROGRAMARI
D'ELEMENTS FINITS**

ANNEX I: PLÀNOLS

Autor: Jordi Ricart Coll
Director: M^a Dolors Riera Colom
Convocatòria: Juny del 2010



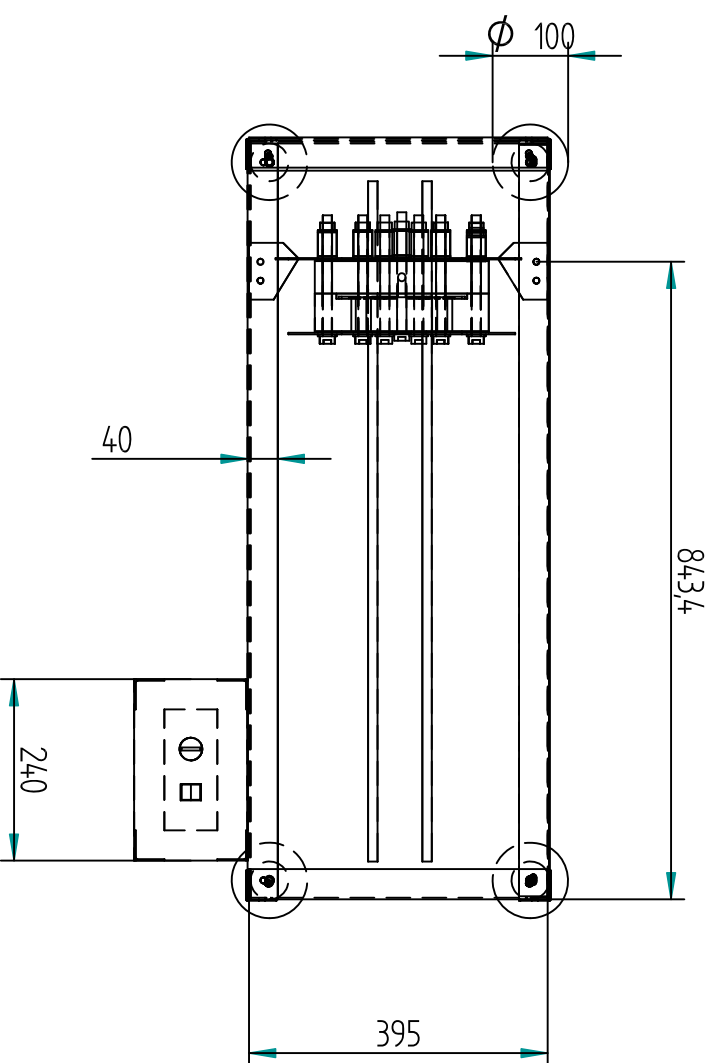
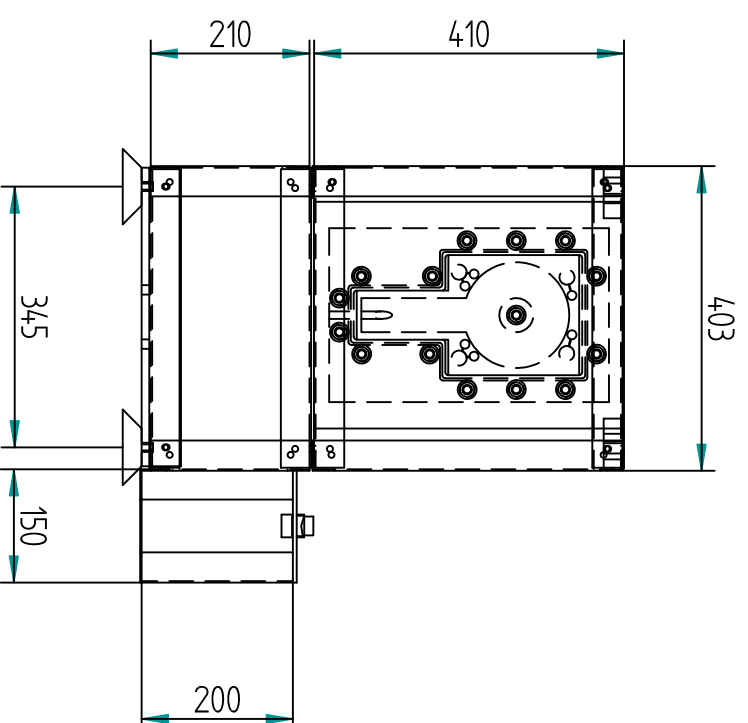
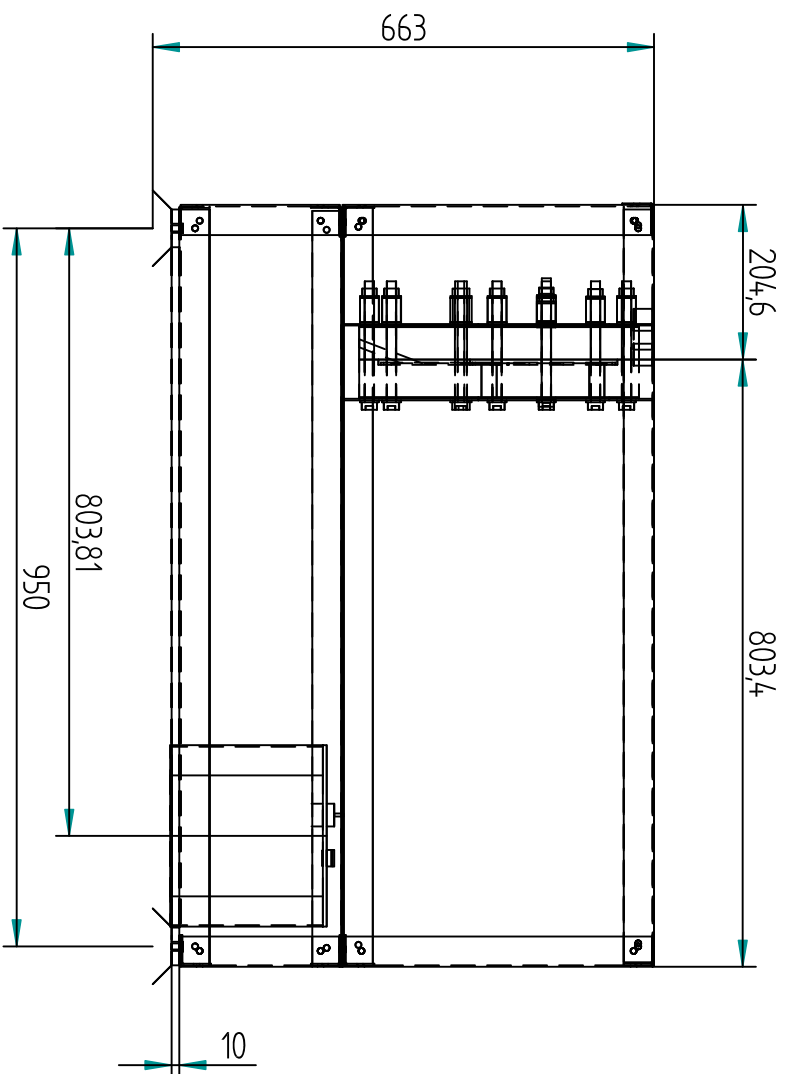
**Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Manresa**



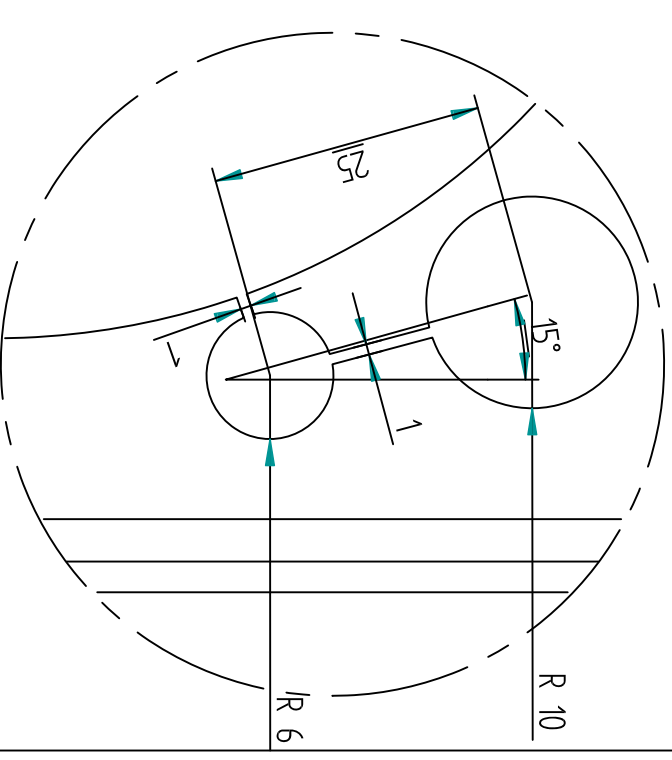
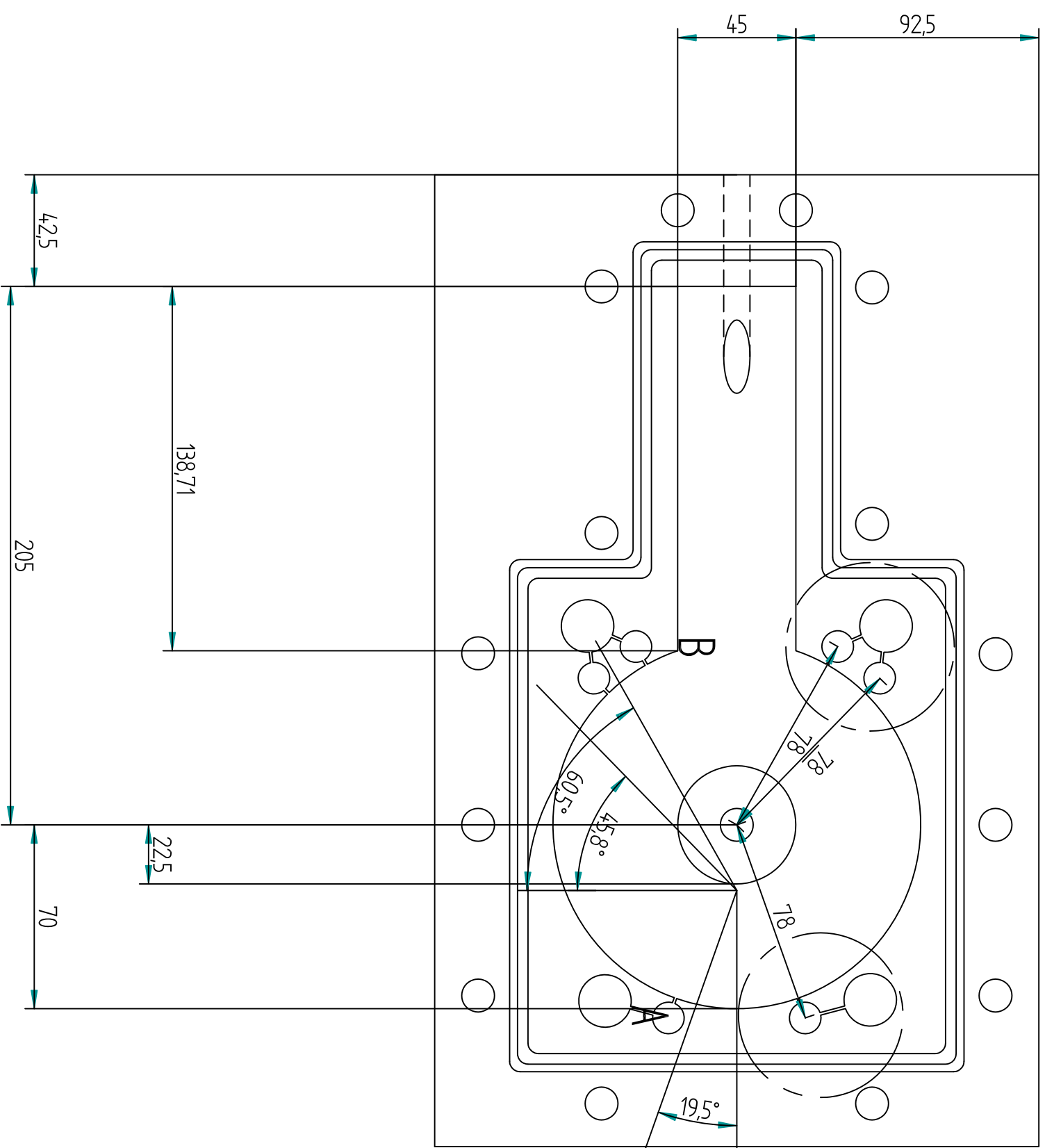
ÍNDEX DE L'ANNEX I

000. CONJUNT ESCALET	1
100. GEOMETRIA RODONA INFERIOR 370x230	2
101. GEOMETRIA RODONA INFERIOR ORIFICIS 370x230.....	3
102. GEOMETRIA RODONA JUNTA TÒRICA 370x230.....	4
103. GEOMETRIA RODONA SECCIÓ_1 370x230.....	5
104. GEOMETRIA RODONA SECCIÓ_2 370x230.....	6
105. GEOMETRIA RODONA SUPERIOR 370x230.....	7
106. GEOMETRIA RODONA VENTS SUPERIORS 370x230	8
107. GEOMETRIA RODONA SUPERIOR ORIFICIS 370x230	9
108. GEOMETRIA RODONA SECCIÓ CONJUNT 370x230	10
200. CONJUNT DEL MOTLLE	11
201. SUPORT D'ACER 410x300	12
202. SUPORT DE GOMA 370x230	13
300. DETALL PRINCIPAL DE LA INJECTORA	14
301. DETALL DE LA INJECTORA	15
302. COS DE LA INJECTORA.....	16
304. DETALL DE L'ÈMBOL DE LA INJECTORA	17
305. TAPA POSTERIOR DE LA INJECTORA.....	18
306. CANAL DE SORTIDA DE LA INJECTORA.....	19
307. PEU DE LA INJECTORA	20
308. CANAL D'ENTRADA DE LA INJECTORA.....	21
309. COXINET DE LA INJECTORA.....	22

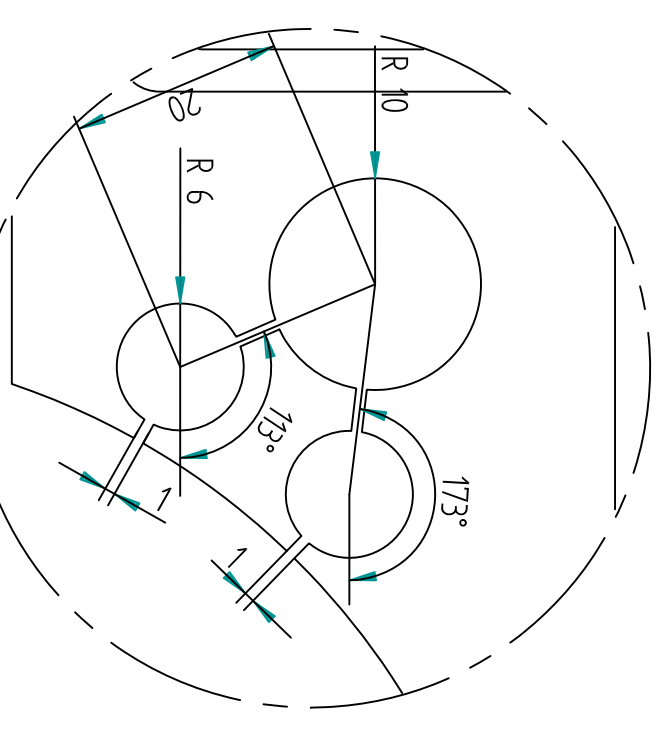




NOM: JORDI RICART COLL		SOLID EDGE	
DATA: 04/06/2010		EDS-PLM SOLUTIONS	
REVISAT: JORDI RICART COLL		CONJUNT ESCALET	
DATA: 04/06/2010		A3	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1º		PLÀNOL: ESCALET	
		SÈRIE: 000	
		Rev	
		ESCALA: 1:10	
		PLÀNOL: 1/22	

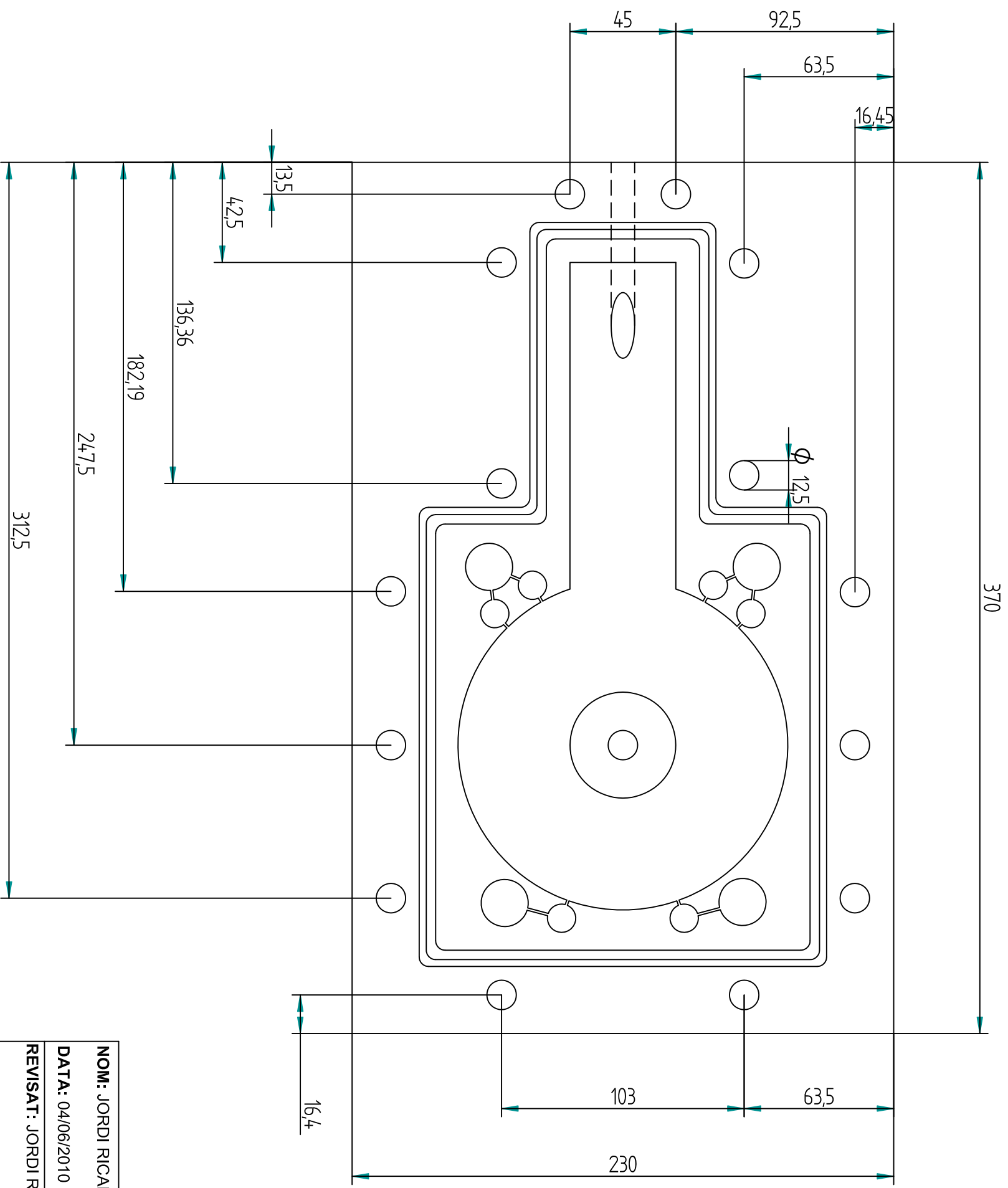


DETALLE A

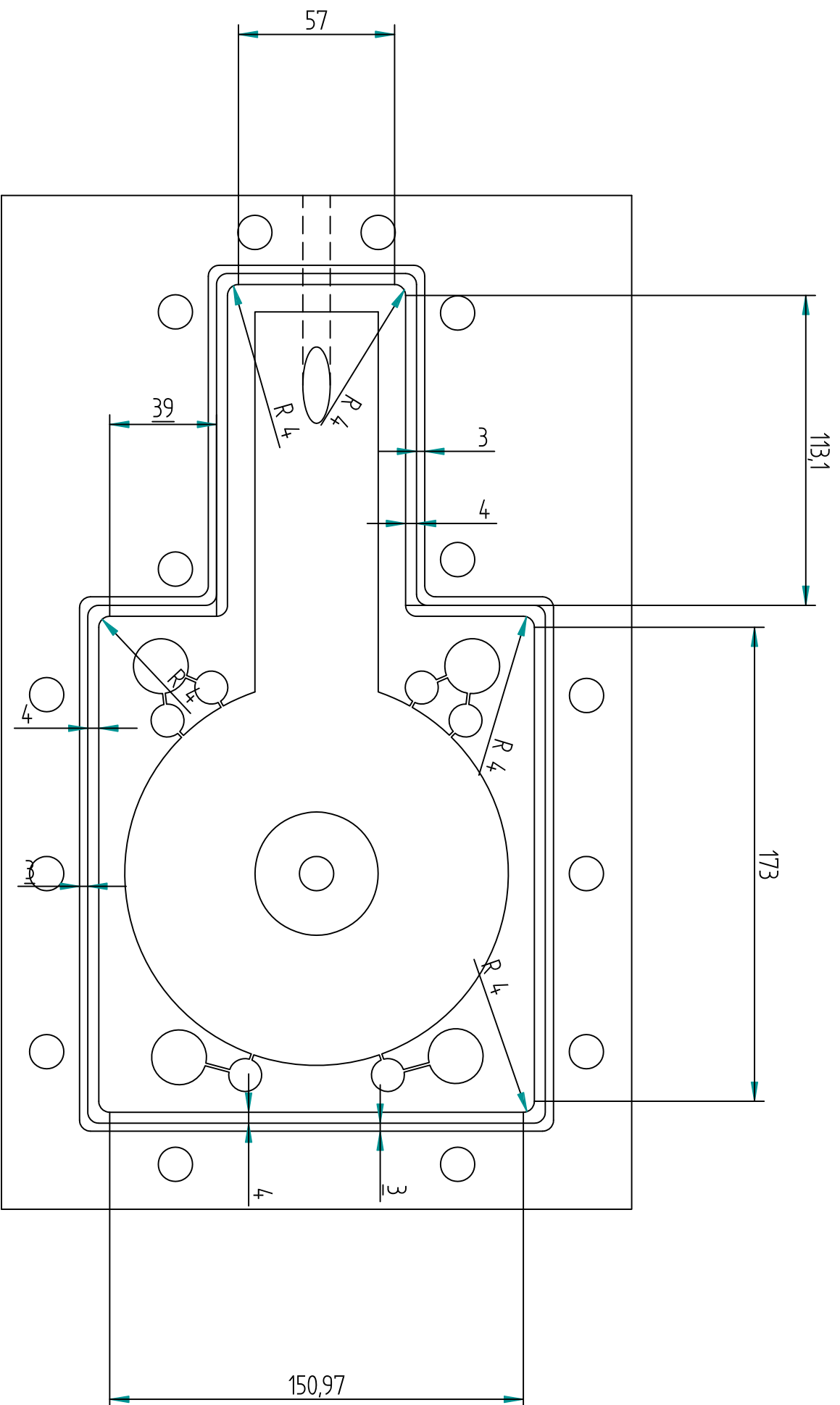


DETALLE B

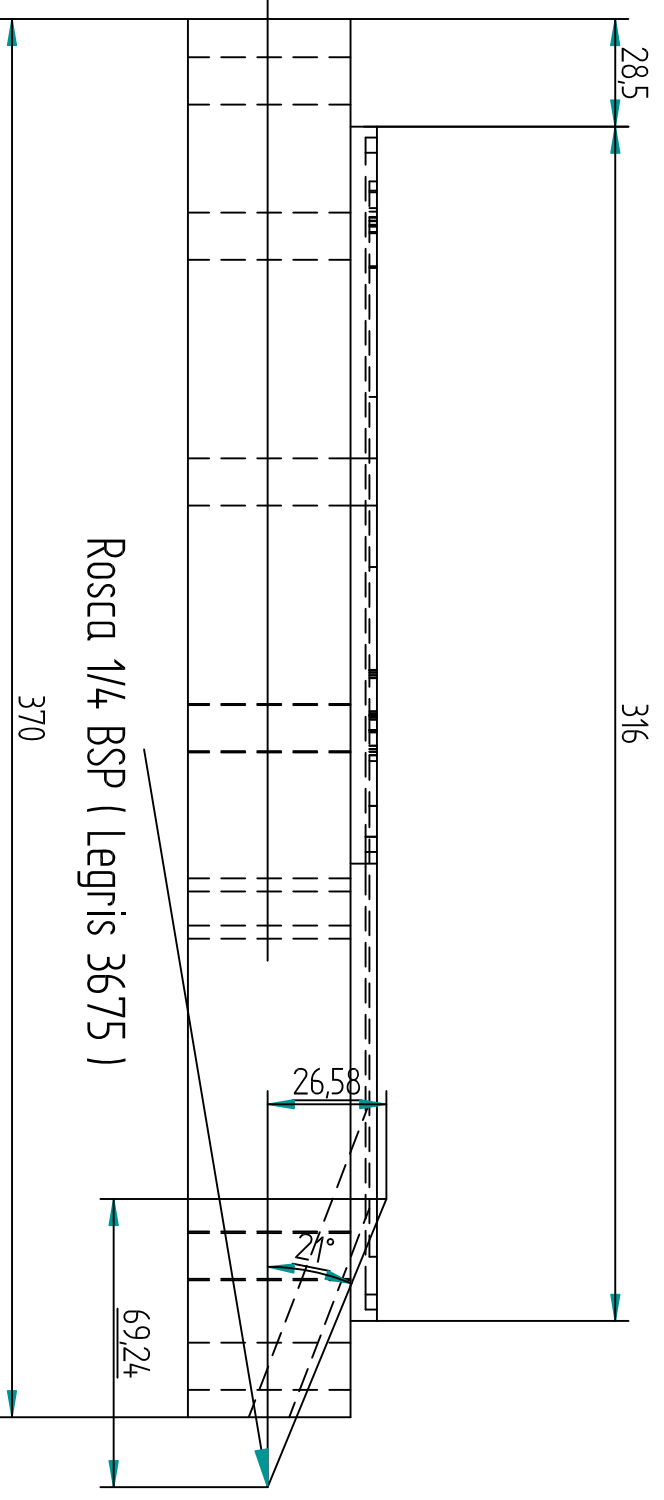
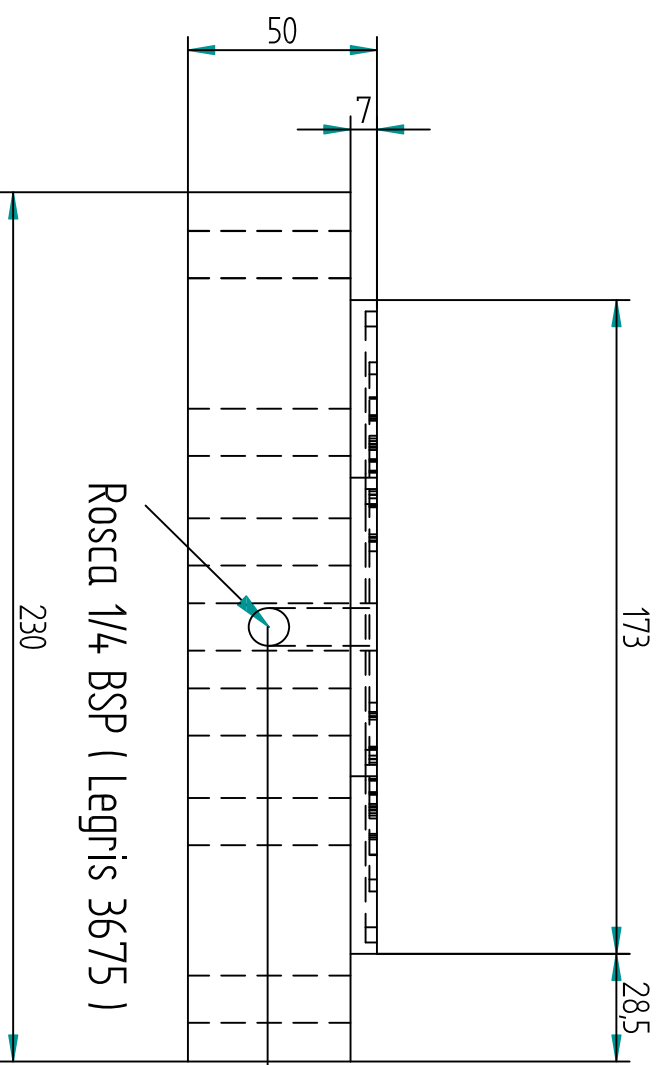
NOM: JORDI RICART COLL		SOLID EDGE	
DATA: 04/06/2010		EDS-PIM SOLUTIONS	
REVISAT: JORDI RICART COLL		GEOMETRIA RODONA INFERIOR 370X230	
DATA: 04/06/2010		A3	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±1º		PLÀNOL: MOTTLE	
		SÈRIE: 100	
		Rev	
		ESCALA: 1:2	
		PLÀNOL: 2/22	



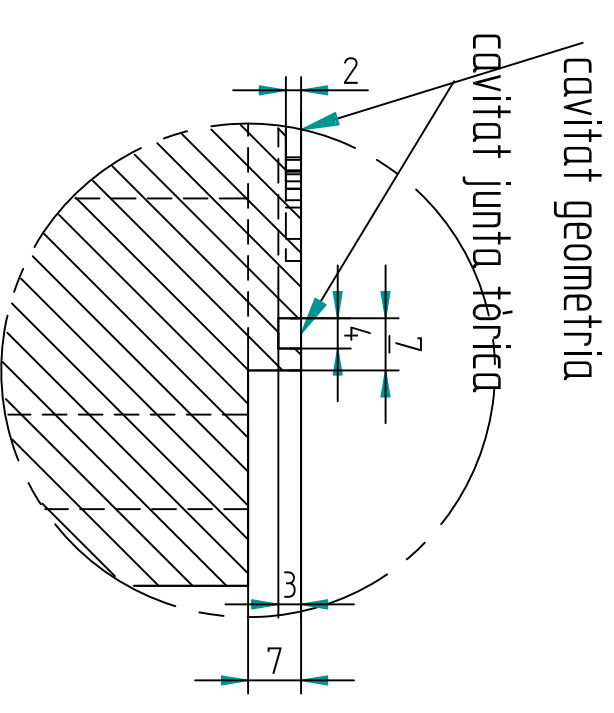
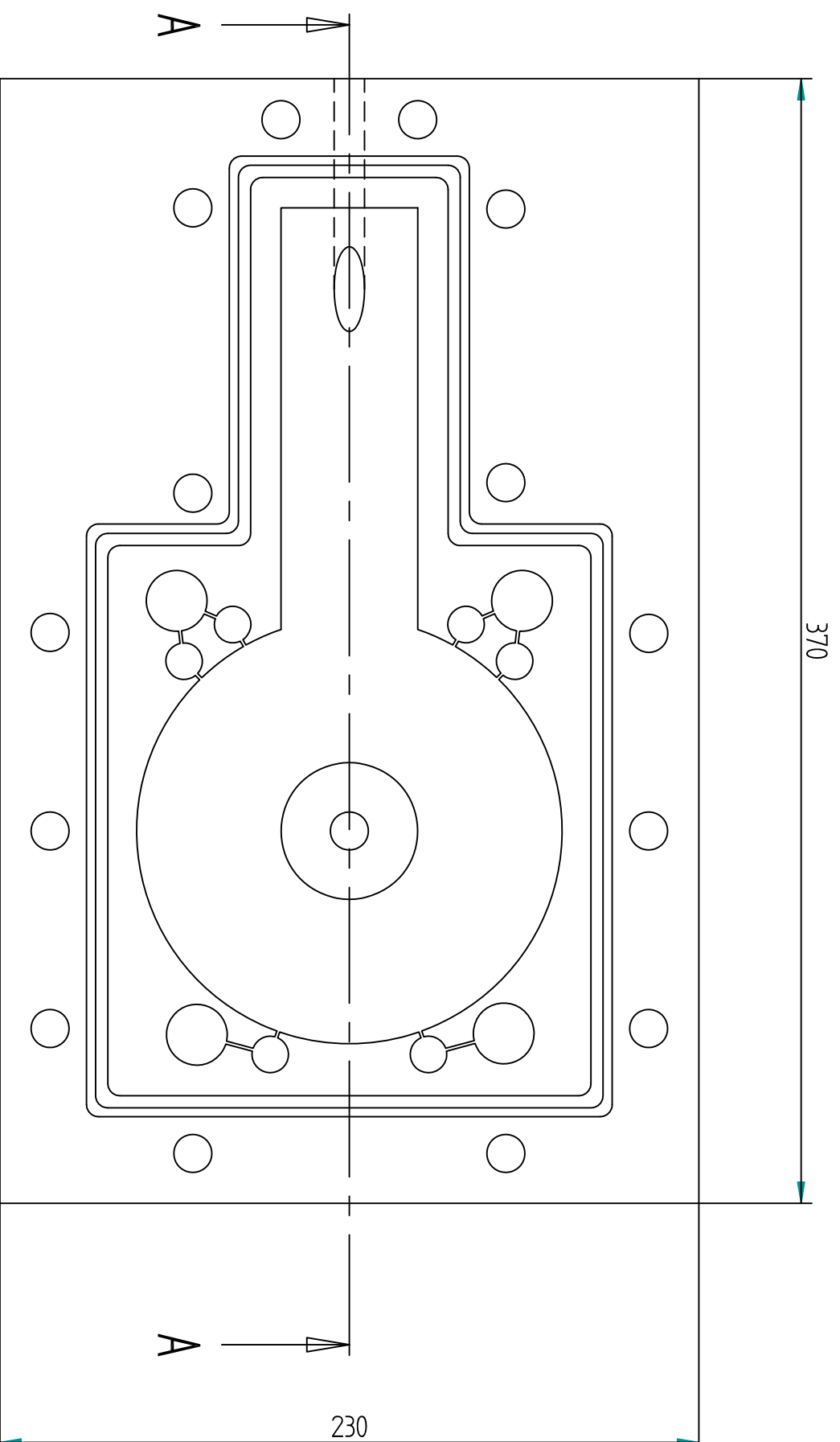
NOM: JORDI RICART COLL		SOLID EDGE	
DATA: 04/06/2010		EDS-PLM SOLUTIONS	
REVISAT: JORDI RICART COLL		GEOMETRIA RODONA INFERIOR ORIFICIS 370X230	
DATA: 04/06/2010		A3	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1º		PLÀNOL: MOTTLE	
		SÈRIE: 101	
		ESCALA: 1:2	
		PLÀNOL: 3/22	



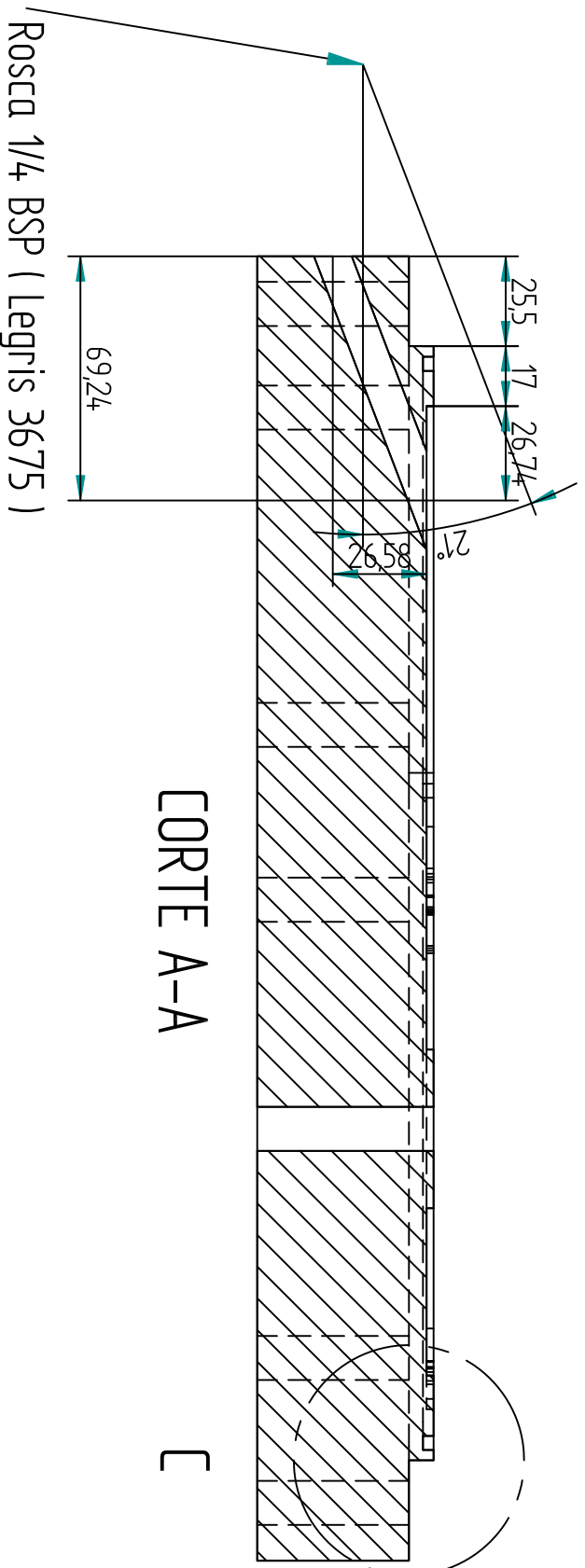
NOM: JORDI RICART COLL		SOLID EDGE	
DATA: 04/06/2010		EDS-PLM SOLUTIONS	
REVISAT: JORDI RICART COLL		GEOMETRIA RODONA JUNTA TÒRICA 370X230	
DATA: 04/06/2010		A3	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1º		PLÀNOL: MOTTLE	
		SÈRIE: 102	
		Rev	
		ESCALA: 1:2	
		PLÀNOL: 4/22	



NOM: JORDI RICART COLL		SOLID EDGE	
DATA: 04/06/2010		EDS-PLM SOLUTIONS	
REVISAT: JORDI RICART COLL		GEOMETRIA RODONA SECCIÓ_1 370X230	
DATA: 04/06/2010		A3	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1º		PLÀNOL: MOTTLE	
		Rev	
		SÈRIE: 103	
		ESCALA: 1:2	
		PLÀNOL: 5/22	

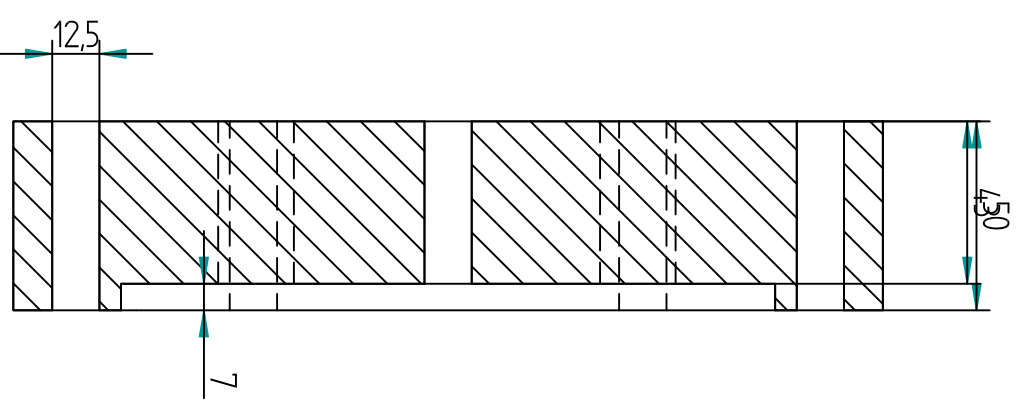
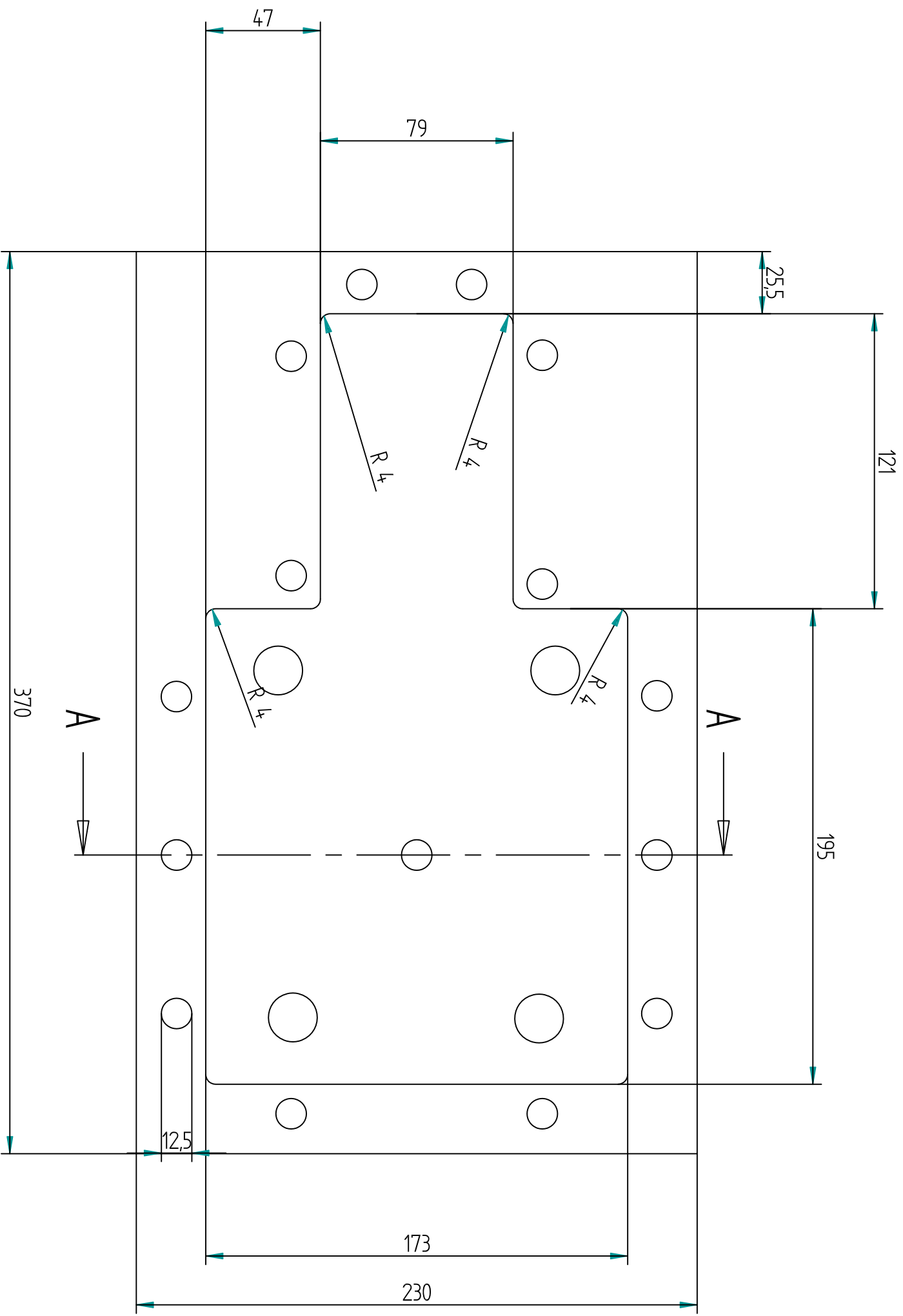


DETALLE C
1:1



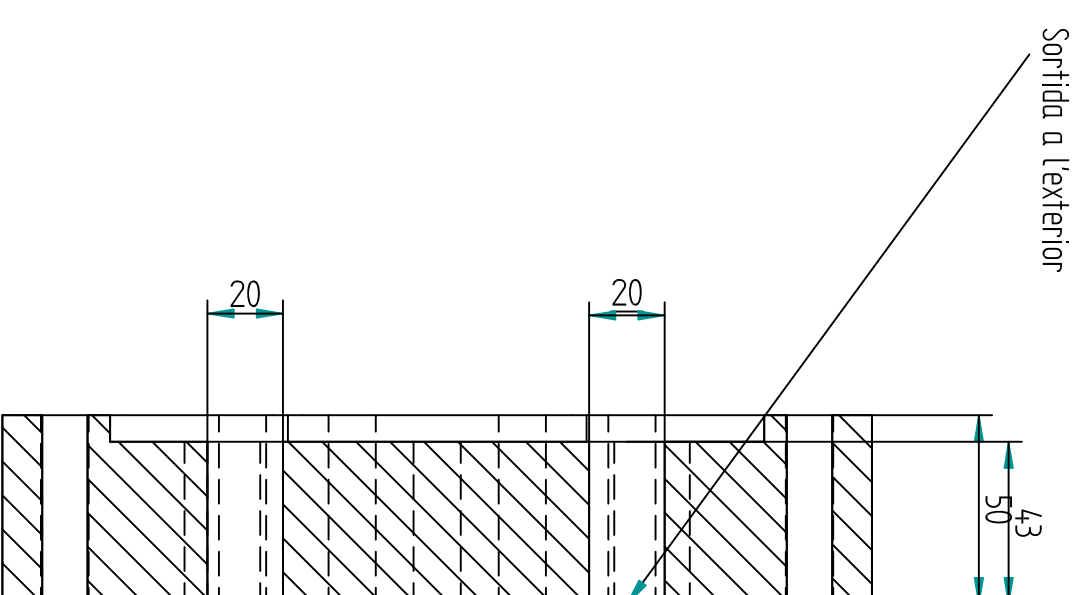
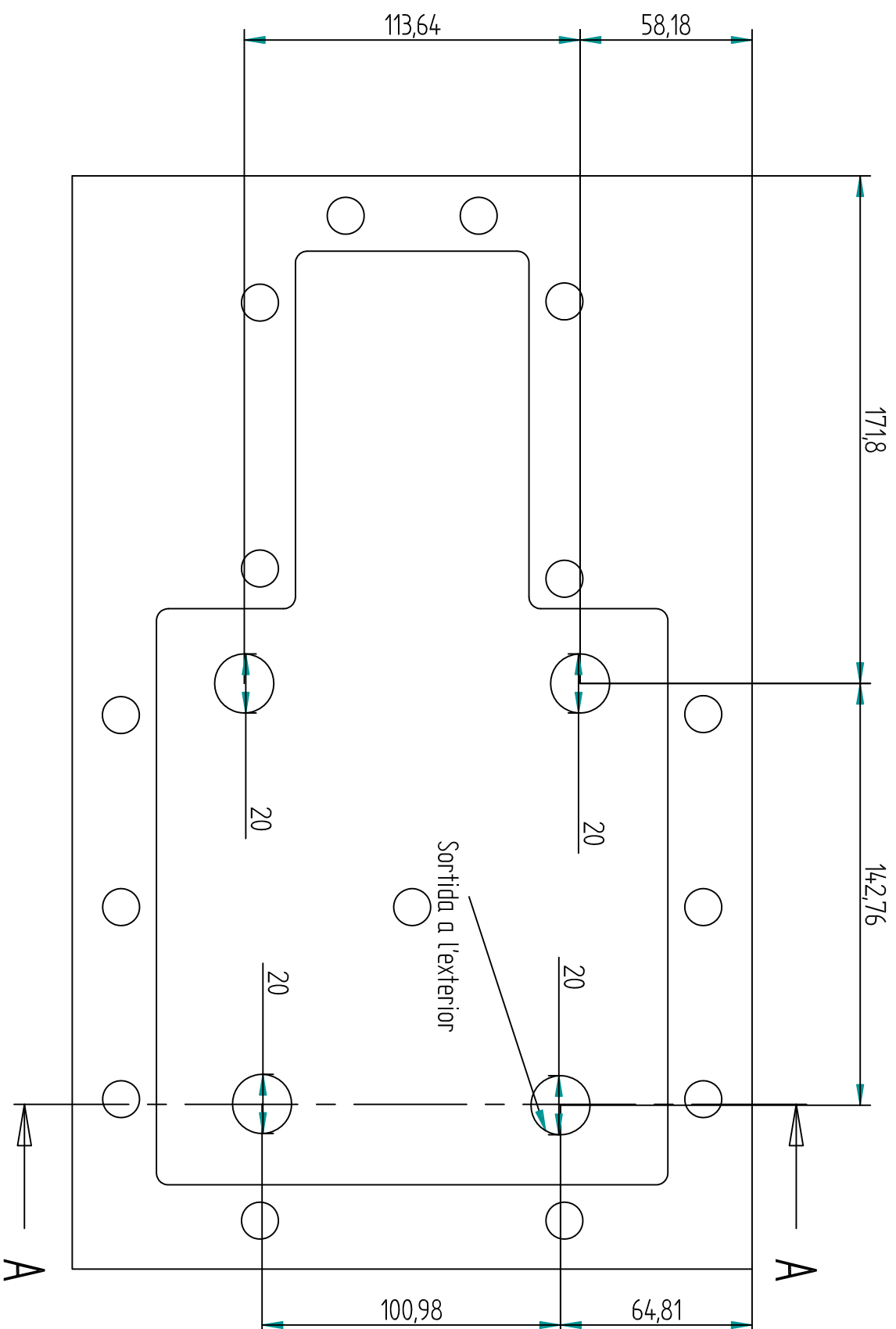
CORTE A-A

NOM: JORDI RICART COLL		SOLID EDGE	
DATA: 04/06/2010		EDS-PLM SOLUTIONS	
REVISAT: JORDI RICART COLL		GEOMETRIA RODONA SECCIÓ 2 370X230	
DATA: 04/06/2010		A3	Rev
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°		PLÀNOL: MOTLLE	SÈRIE: 104
		ESCALA: 1:2	PLÀNOL: 6/22



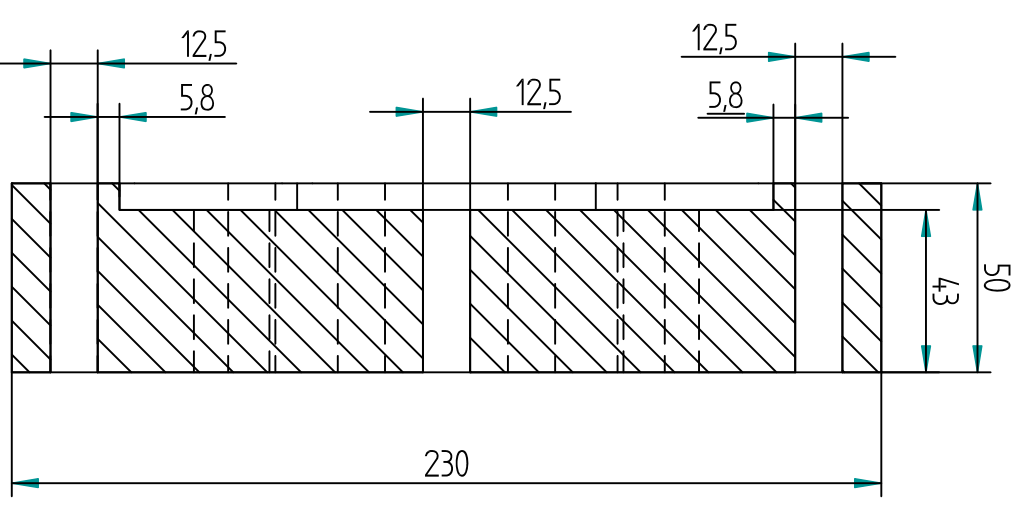
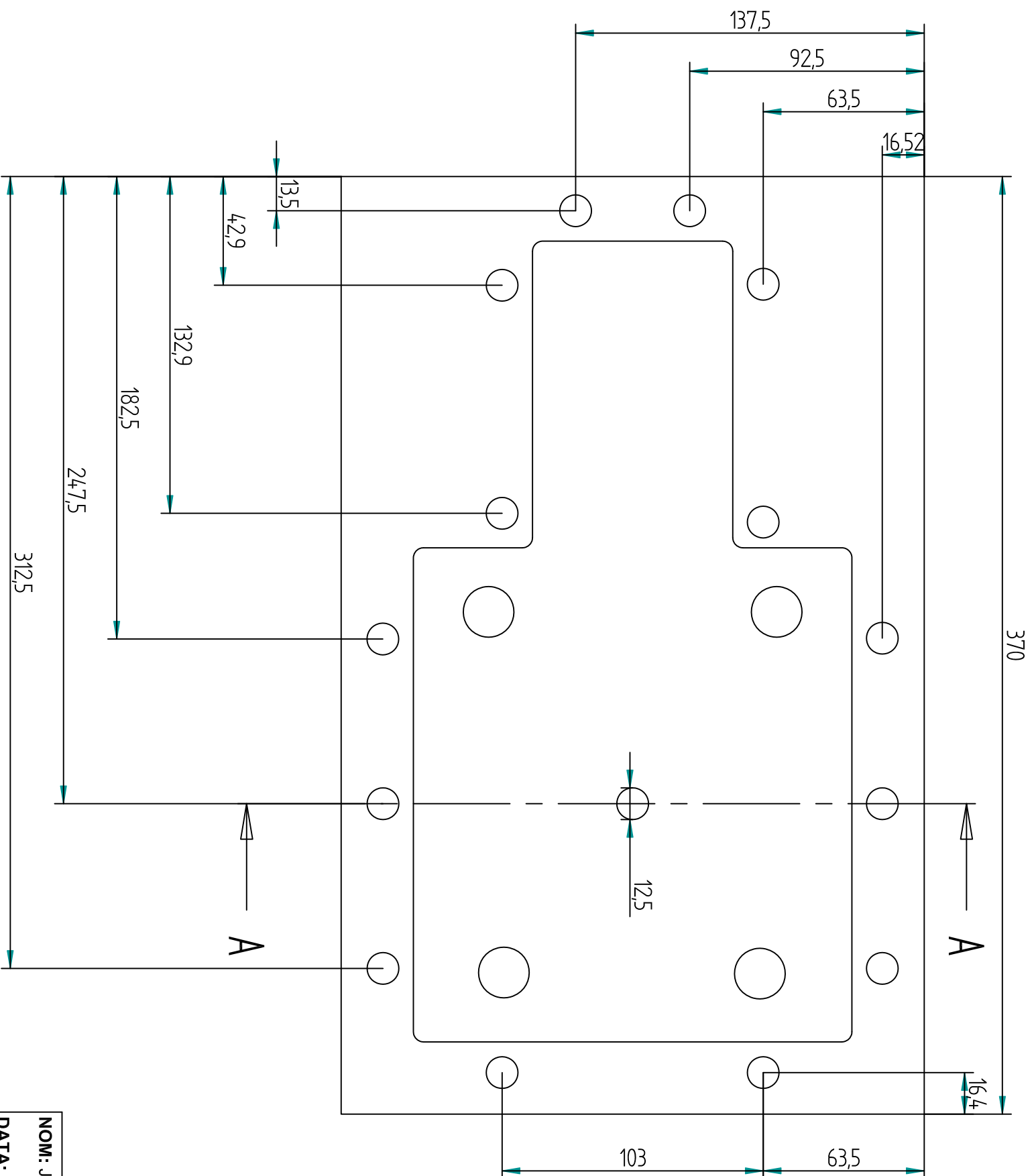
CORTE A-A

NOM: JORDI RICART COLL		SOLID EDGE	
DATA: 04/06/2010		EDS-PLM SOLUTIONS	
REVISAT: JORDI RICART COLL		GEOMETRIA RODONA SUPERIOR 370X230	
DATA: 04/06/2010		A3	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1º		PLÀNOL: MOTTLE	
		SÈRIE: 105	
		ESCALA: 1:2	
		PLÀNOL: 7/22	

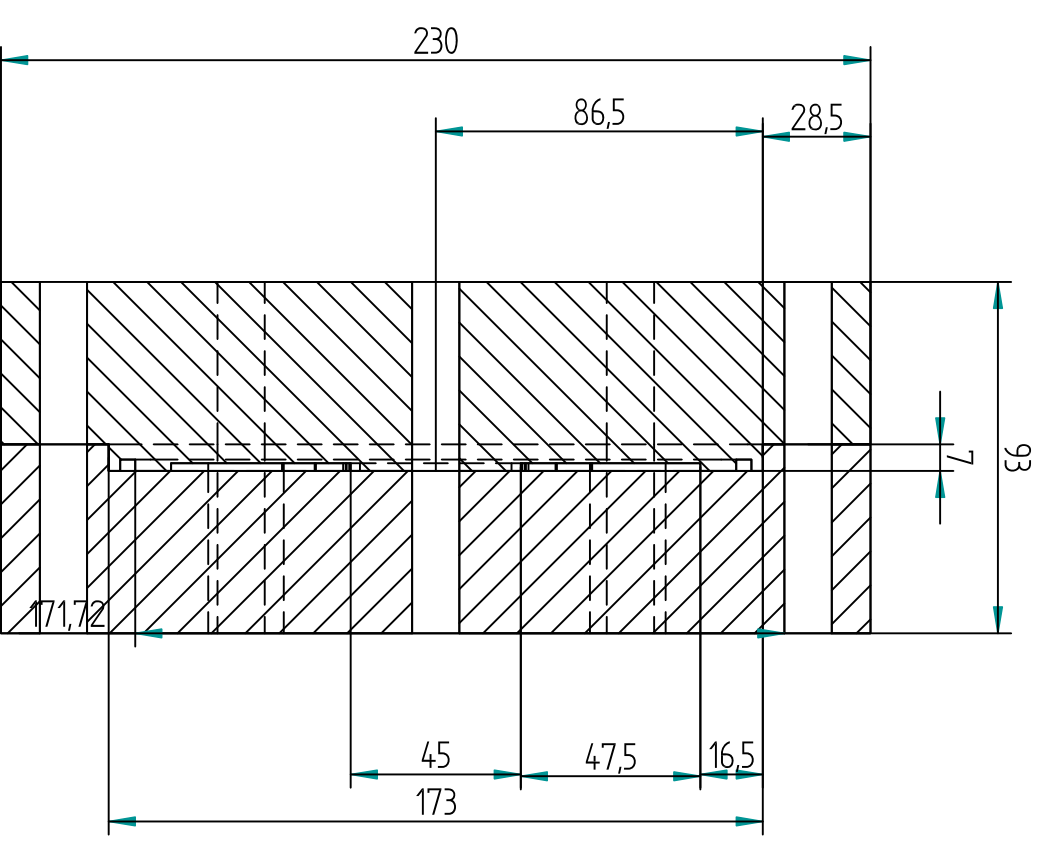
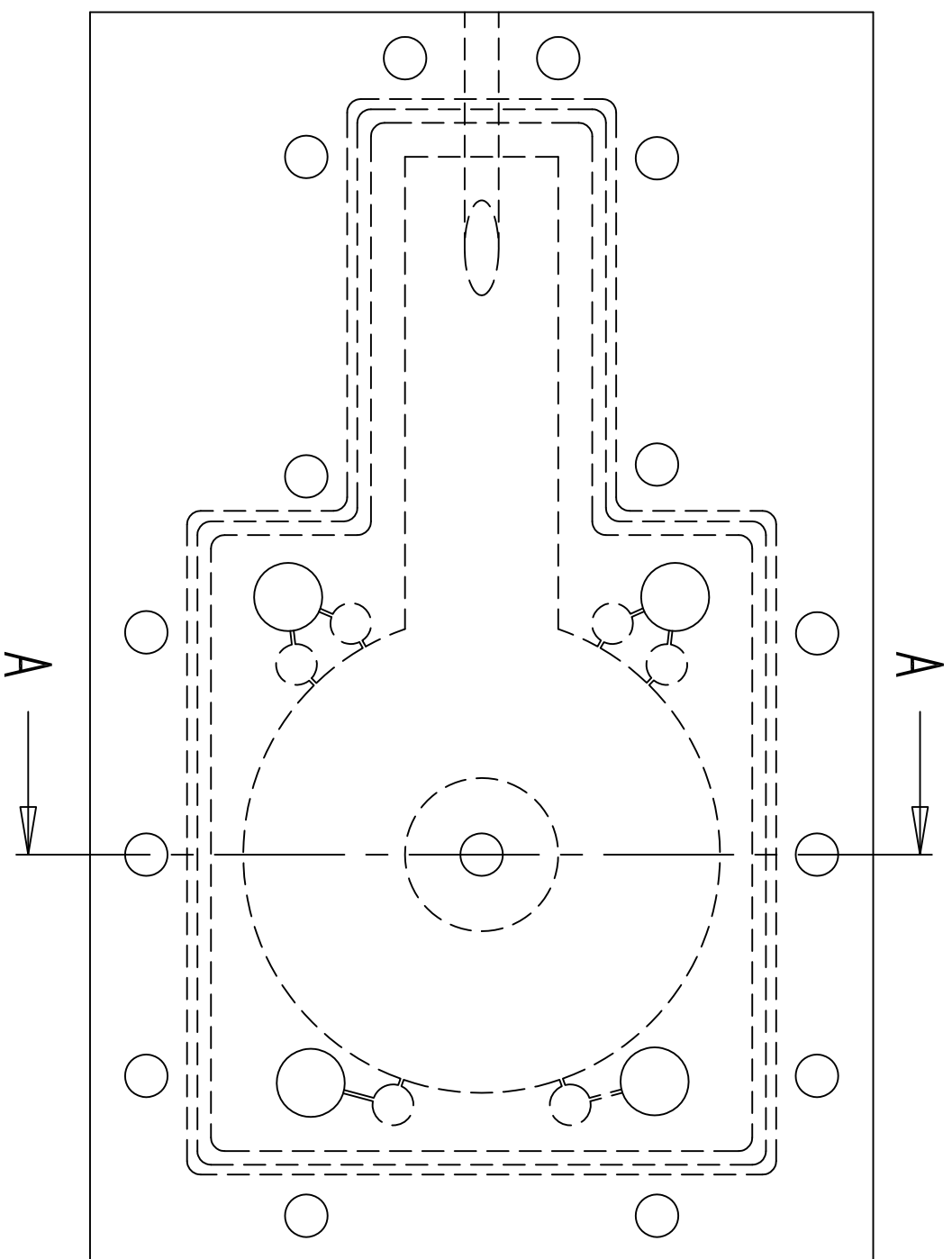


CORTE A-A

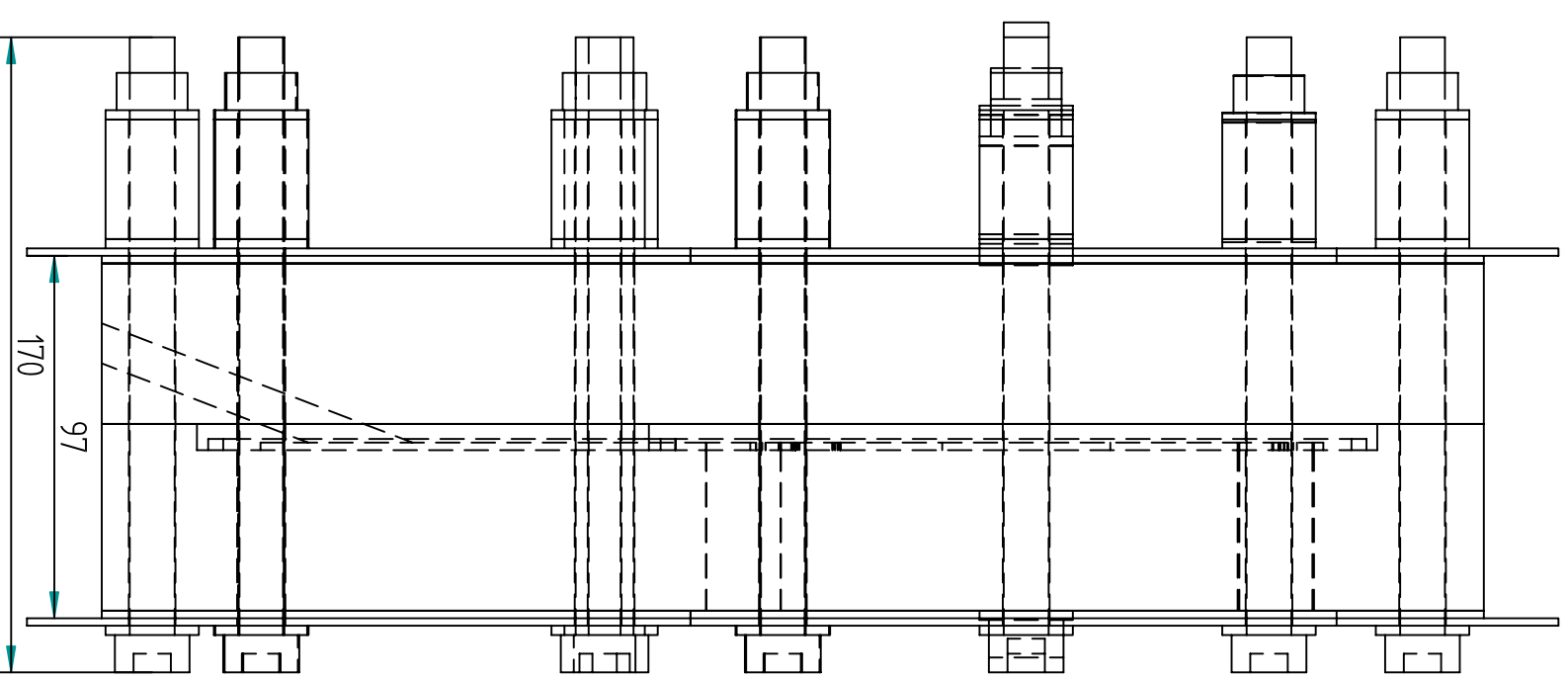
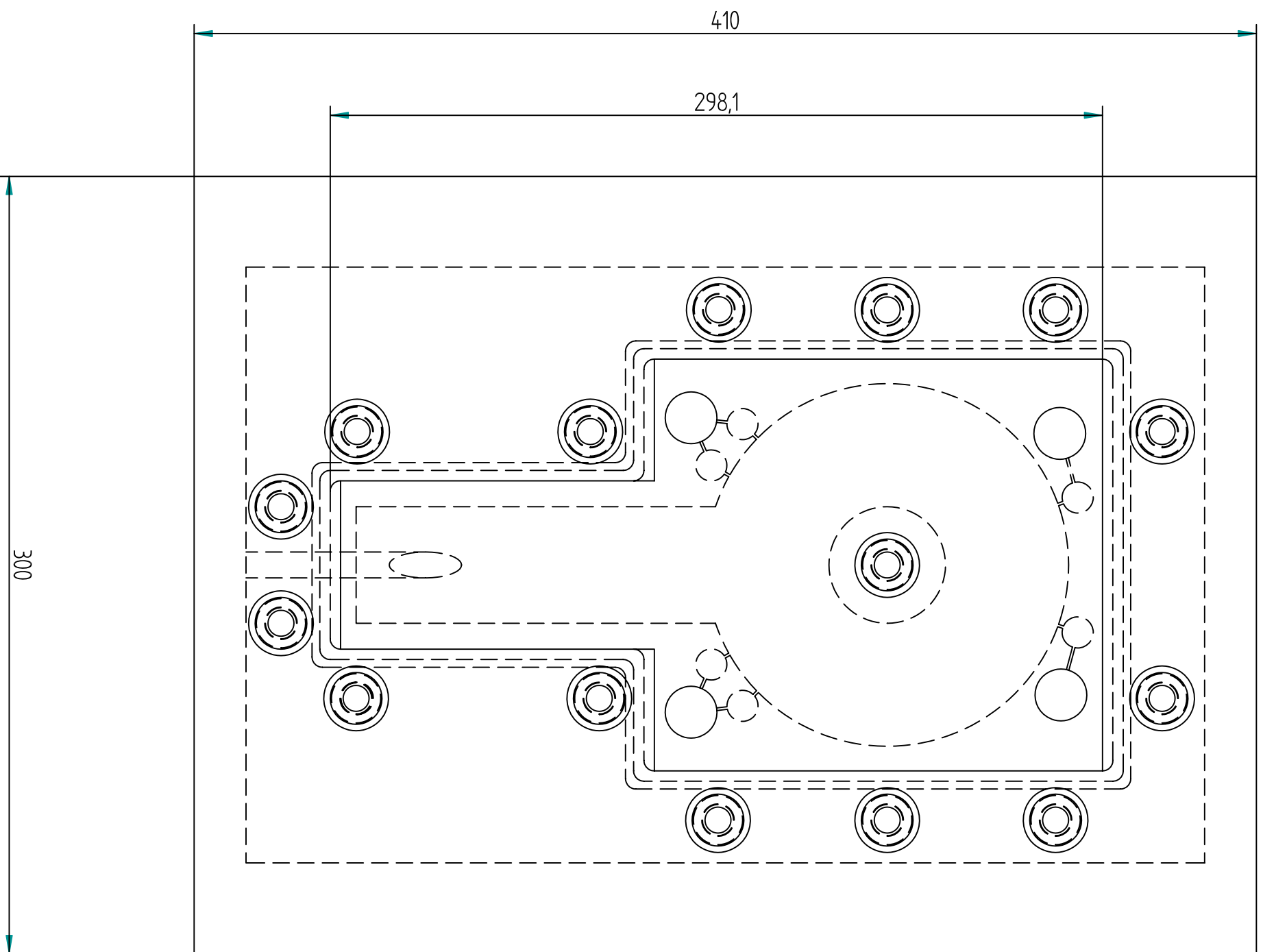
NOM: JORDI RICART COLL		SOLID EDGE	
DATA: 04/06/2010		EDS-PLM SOLUTIONS	
REVISAT: JORDI RICART COLL		GEOMETRIA RODONA VENTS SUPERIOR 370X230	
DATA: 04/06/2010		A3	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1º		PLÀNOL: MOTTLE	
		SÈRIE: 106	
		Rev	
		ESCALA: 1:2	
		PLÀNOL: 8/22	



NOM: JORDI RICART COLL		SOLID EDGE	
DATA: 04/06/2010		EDS-PLM SOLUTIONS	
REVISAT: JORDI RICART COLL		GEOMETRIA RODONA SUPERIOR ORIFICIS 370X230	
DATA: 04/06/2010		A3	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1º		PLÀNOL: MOTTLE	
		SÈRIE: 107	
		Rev	
		ESCALA: 1:2	
		PLÀNOL: 9/22	



NOM: JORDI RICART COLL		SOLID EDGE	
DATA: 04/06/2010		EDS-PLM SOLUTIONS	
REVISAT: JORDI RICART COLL		GEOMETRIA RODONA SECCIÓ CONJUNT 370X230	
DATA: 04/06/2010		A3	Rev
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		PLÀNOL: MOTTLE	
		SÈRIE: 108	
		ESCALA: 1:2	
		PLÀNOL: 10/22	



NOM: JORDI RICART COLL

DATA: 04/06/2010

REVISAT: JORDI RICART COLL

DATA: 04/06/2010

SOLID EDGE

EDS-PLM SOLUTIONS

CONJUNT DEL MOTILLE

A3

PLÀNOL: CONJUNT MOTILLE

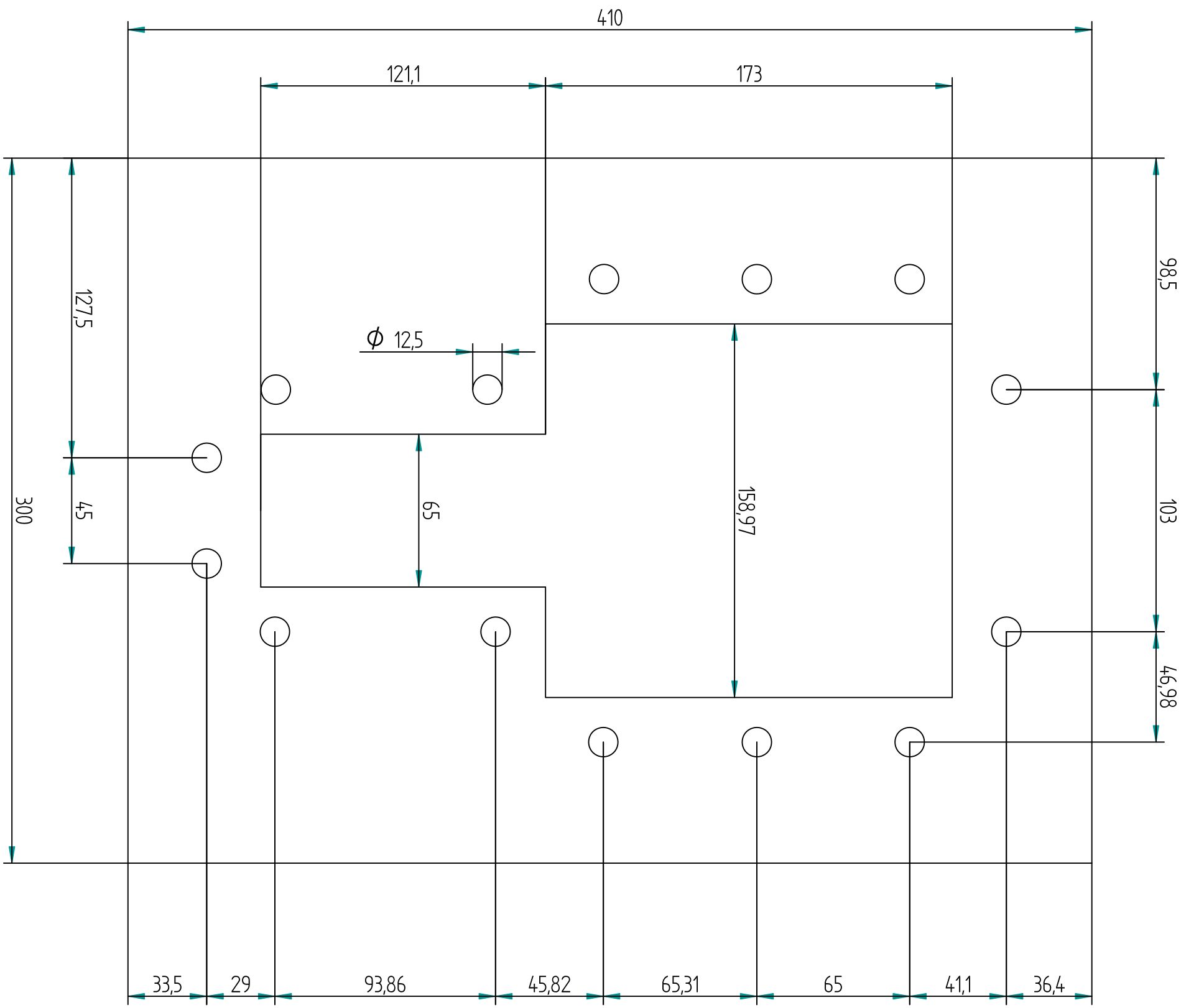
Rev

SÈRIE: 200

ESCALA: 1:2

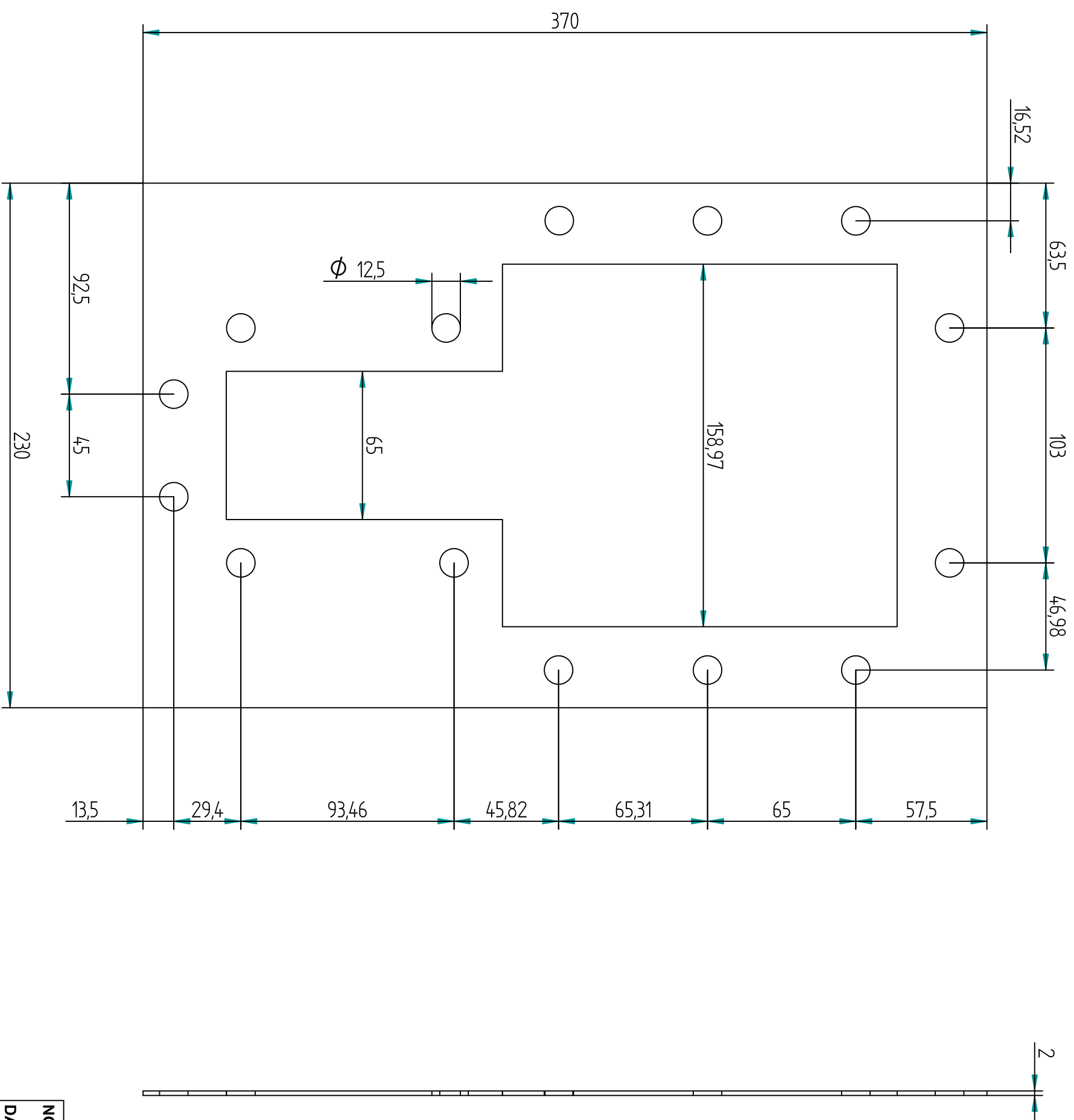
PLÀNOL: 11/22

Salvo indicación contraria
 cotas en milímetros
 ángulos en grados
 tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$



Ø 2

NOM: JORDI RICART COLL		SOLID EDGE	
DATA: 04/06/2010		EDS-PLM SOLUTIONS	
REVISAT: JORDI RICART COLL		SUPORT D'ACER 410X300	
DATA: 04/06/2010		A3	Rev
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1º		PLÀNOL: CONJUNT MOTLLE	
		SÈRIE: 201	
		ESCALA: 1:2	PLÀNOL: 12/22



NOM: JORDI RICART COLL

DATA: 04/06/2010

REVISAT: JORDI RICART COLL

DATA: 04/06/2010

Salvo indicación contraria
 cotas en milímetros
 ángulos en grados
 tolerancias ±0,5 y ±1º

SOLID EDGE
 EDS-PLM SOLUTIONS

SUPORT DE GOMA 370x230

A3

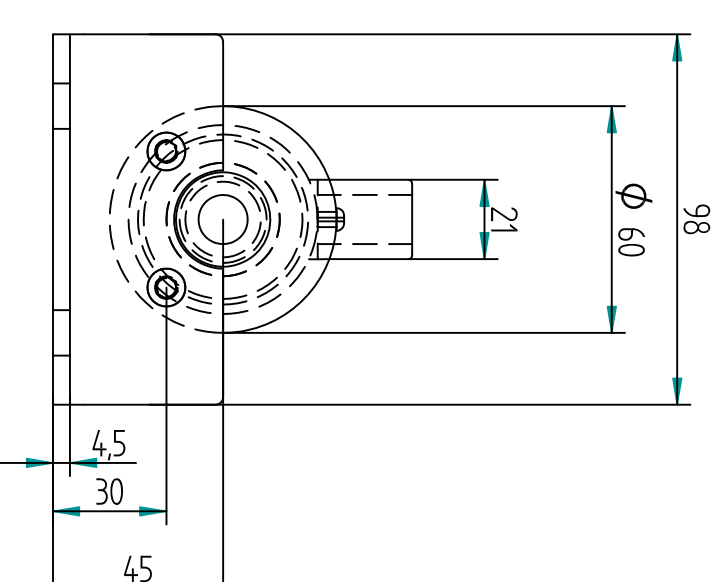
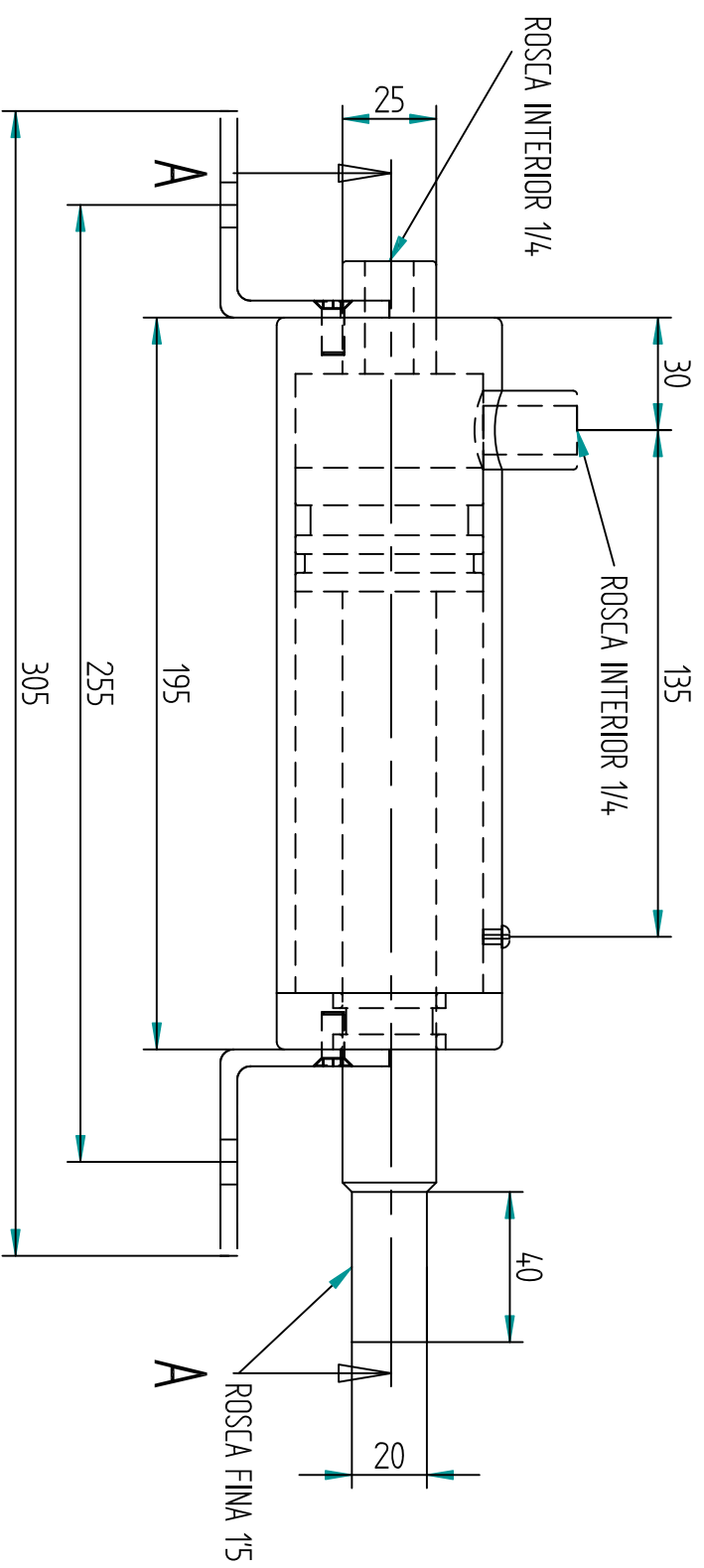
PLÀNOL: CONJUNT MOTLLE

Rev

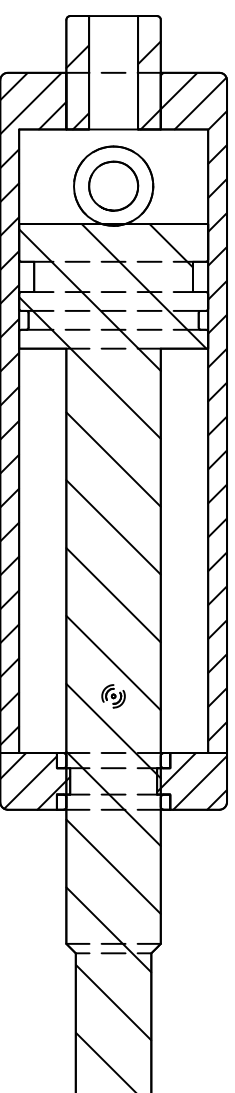
SÈRIE: 202

ESCALA: 1:2

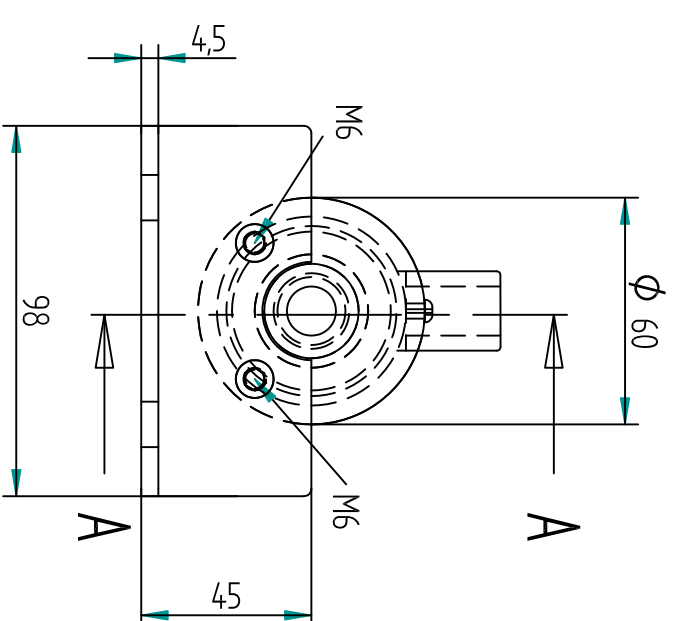
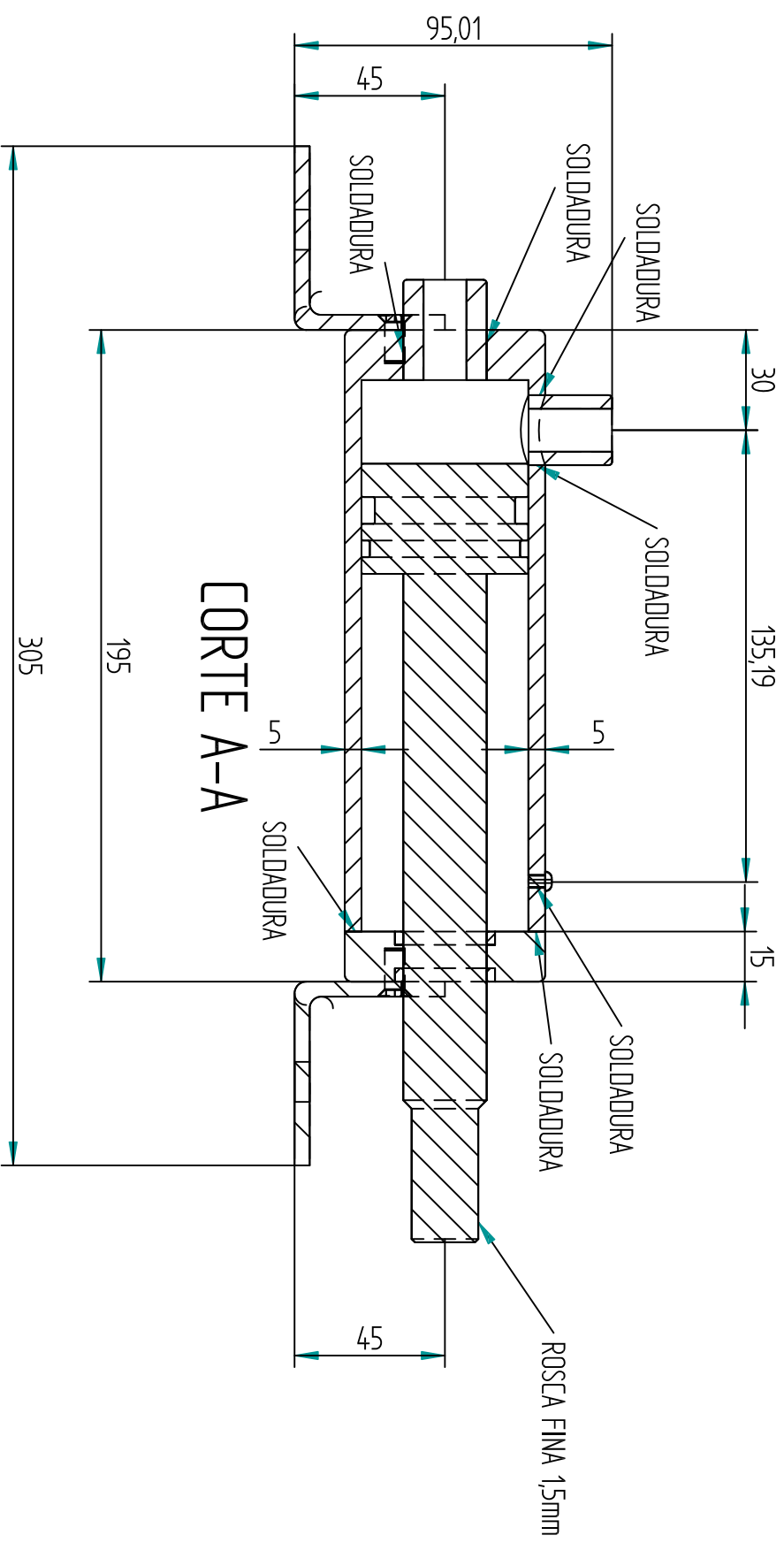
PLÀNOL: 13/22



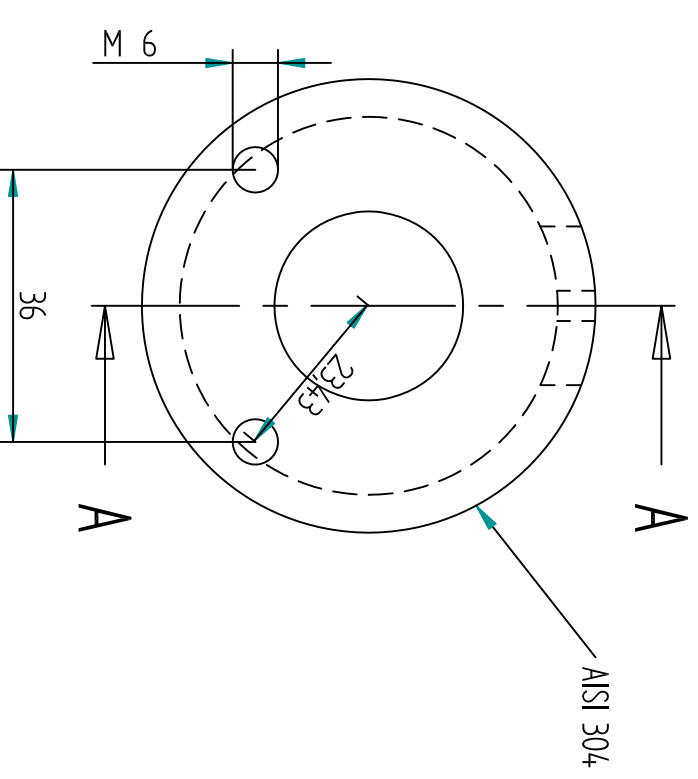
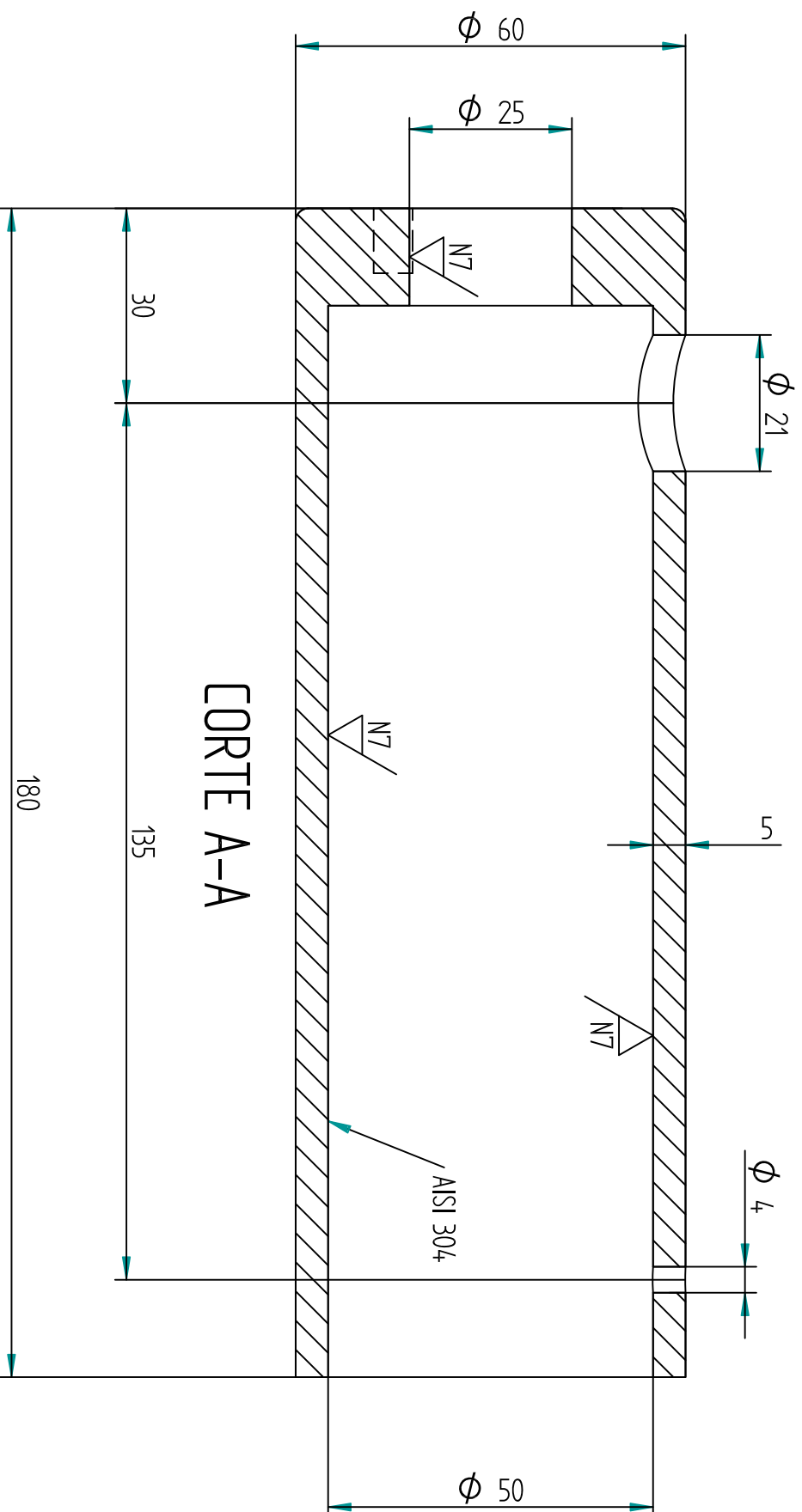
CORTE A-A



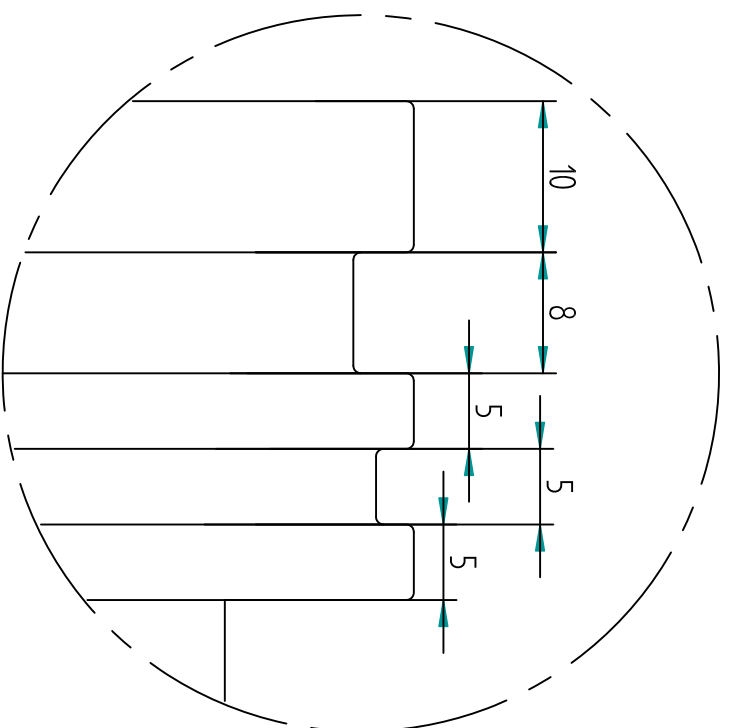
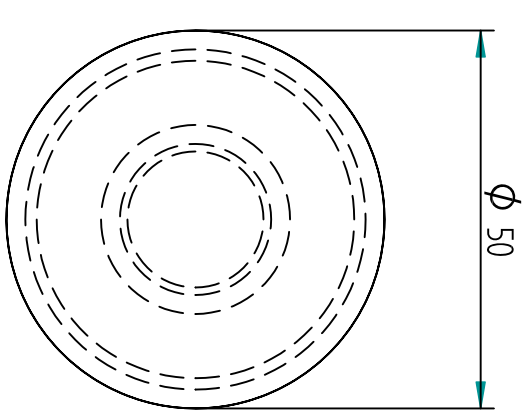
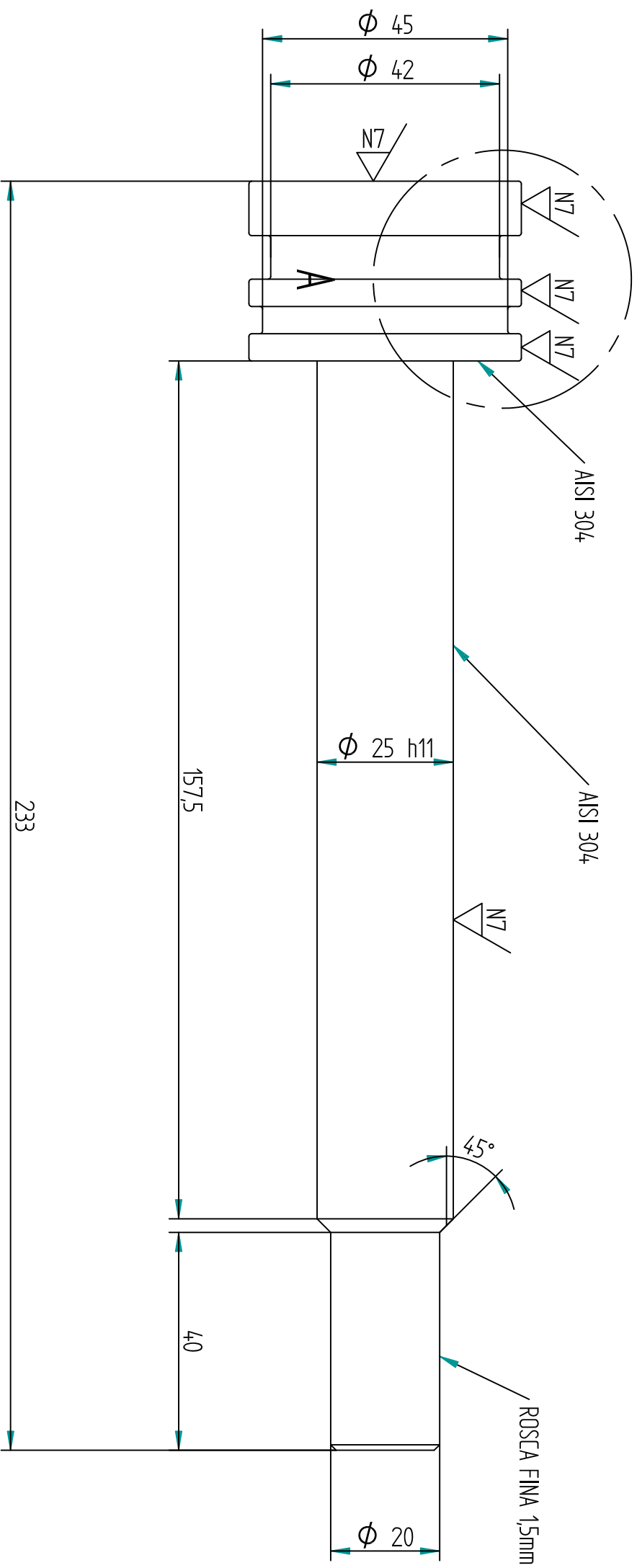
NOM: JORDI RICART COLL		SOLID EDGE	
DATA: 04/06/2010		EDS-PLM SOLUTIONS	
REVISAT: JORDI RICART COLL		DETALL PRINCIPAL DE LA INJECTORA	
DATA: 04/06/2010		A3	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1º		PLÀNOL: CONJUNT INJECTORA	
		SÈRIE: 300	
		Rev	
		ESCALA: 1:2	
		PLÀNOL: 14/22	



NOM: JORDI RICART COLL		SOLID EDGE	
DATA: 04/06/2010		EDS-PLM SOLUTIONS	
REVISAT: JORDI RICART COLL		DETALL DE LA INJECTORA	
DATA: 04/06/2010		A3	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1º		PLÀNOL: CONJUNT INJECTORA	
		SÈRIE: 301	
		Rev	
		ESCALA: 1:2	
		PLÀNOL: 15/22	

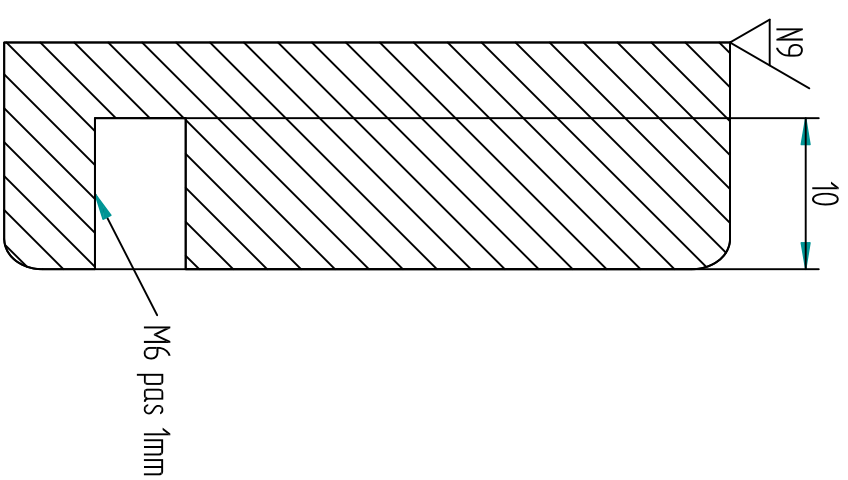
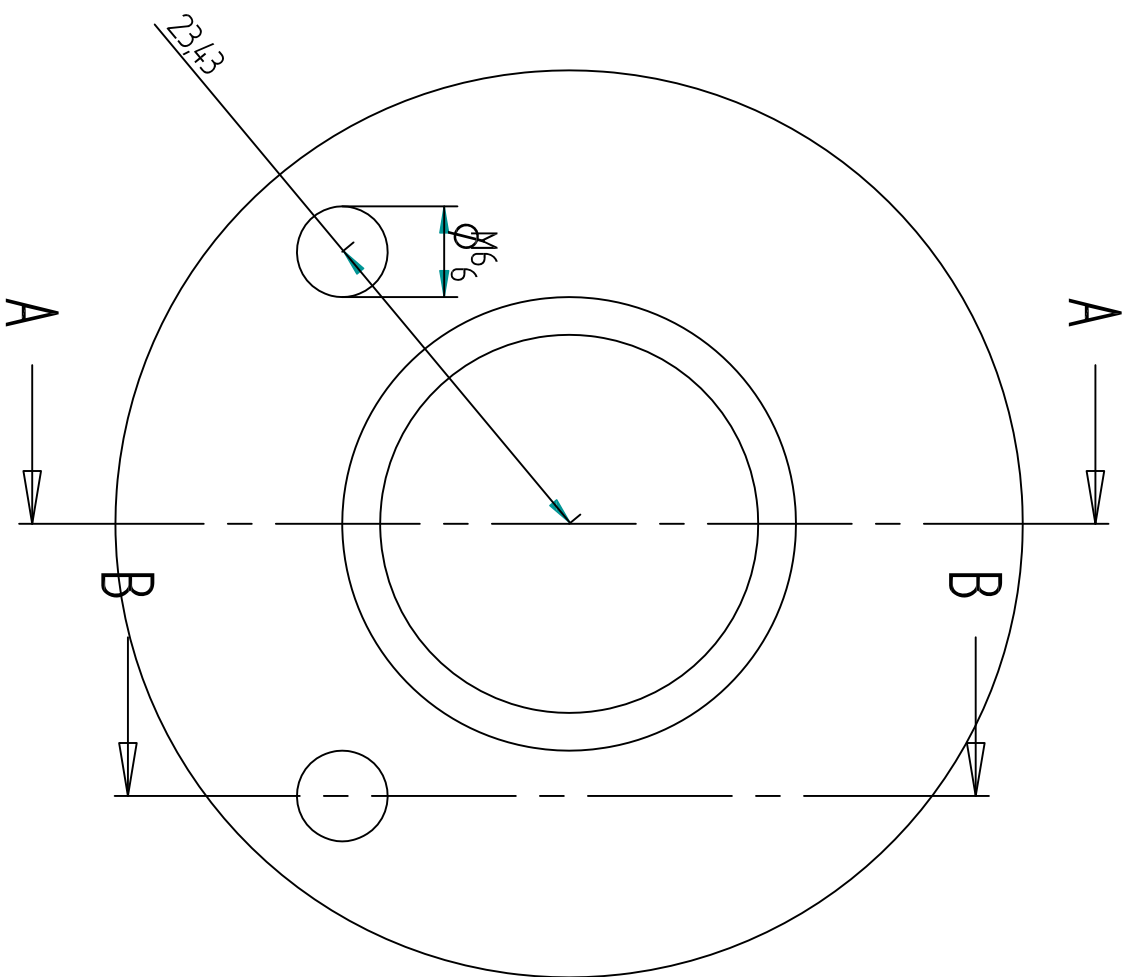


NOM: JORDI RICART COLL		SOLID EDGE	
DATA: 04/06/2010		EDS-PLM SOLUTIONS	
REVISAT: JORDI RICART COLL		COS DE LA INJECTORA	
DATA: 04/06/2010		A3	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1º		PLÀNOL: CONJUNT INJECTORA	
		SÈRIE: 302	
		Rev	
		ESCALA: 1:1	
		PLÀNOL: 16/22	

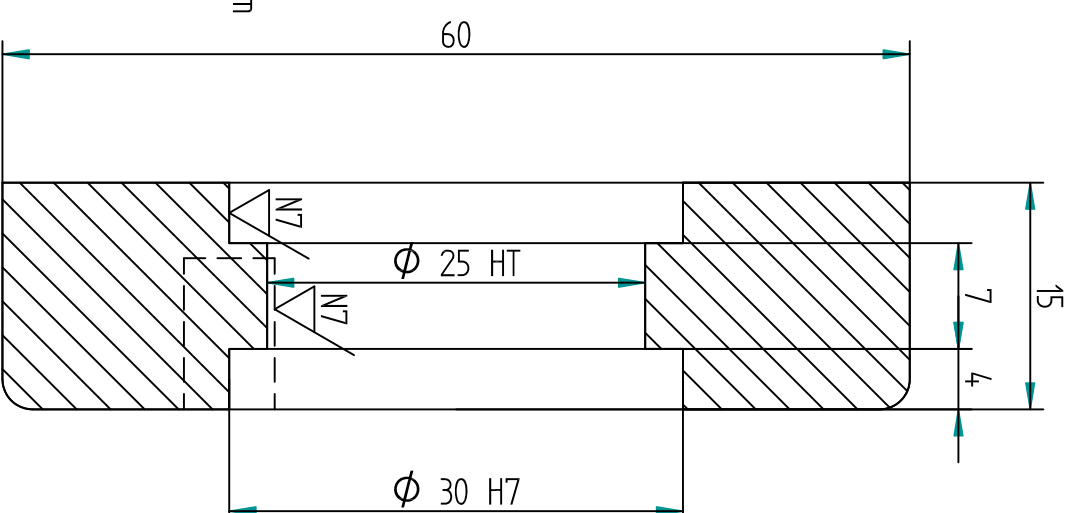


DETALLE A 2:1

NOM: JORDI RICART COLL		SOLID EDGE	
DATA: 04/06/2010		EDS-PLM SOLUTIONS	
REVISAT: JORDI RICART COLL		DETALL DE L'ÈMBOL DE LA INJECTORA	
DATA: 04/06/2010		A3	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1º		PLÀNOL: CONJUNT INJECTORA	
		Rev	
		SÈRIE: 304	
		ESCALA: 1:1	
		PLÀNOL: 17/22	

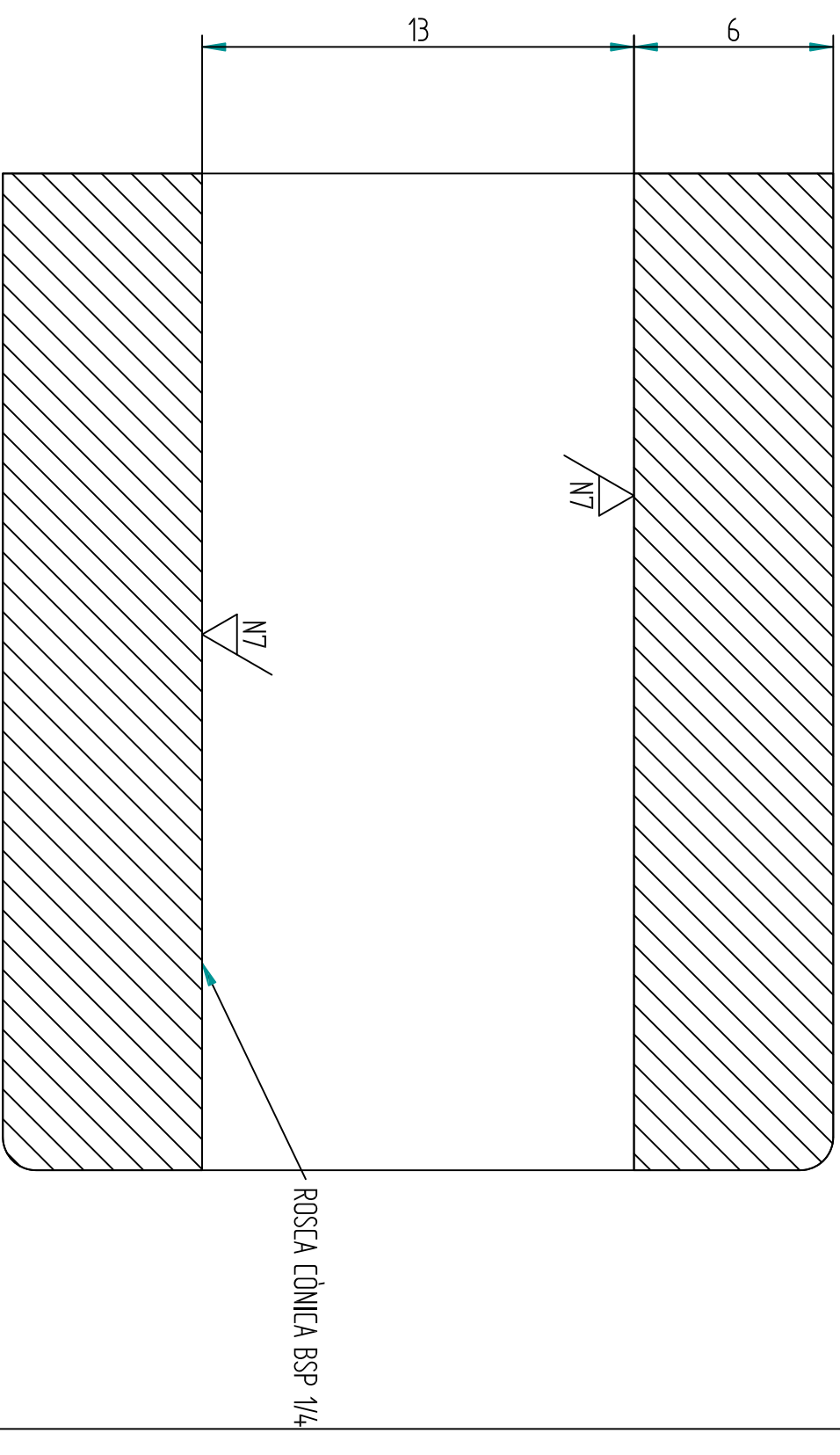
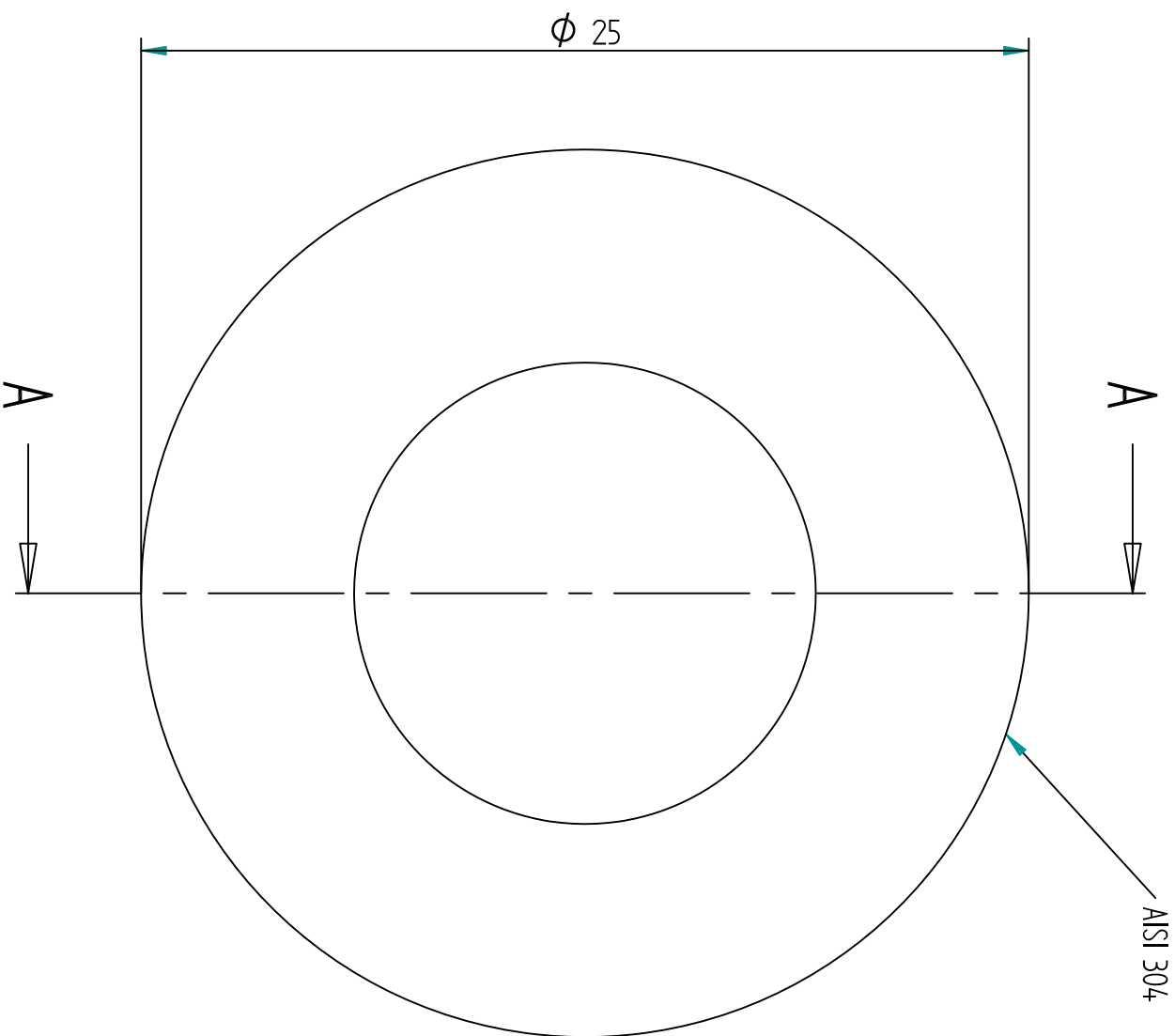


CORTE B-B



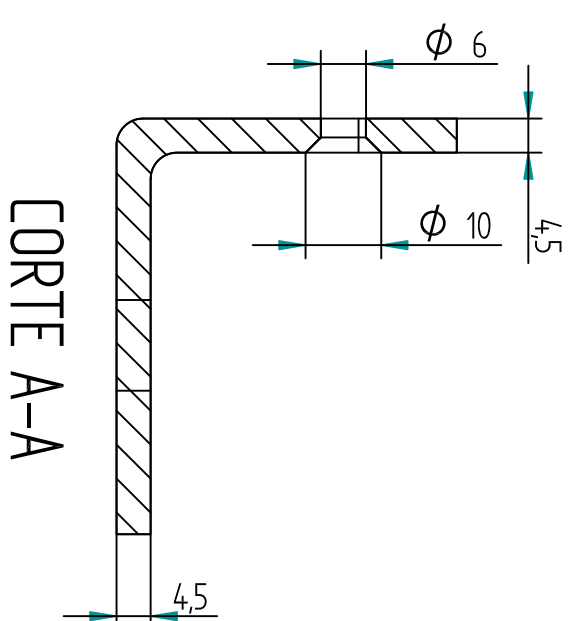
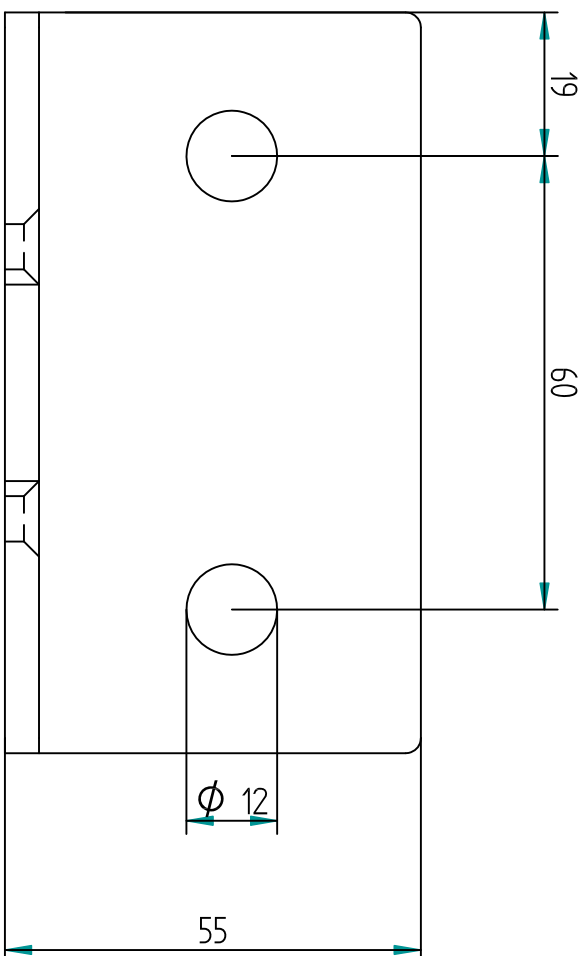
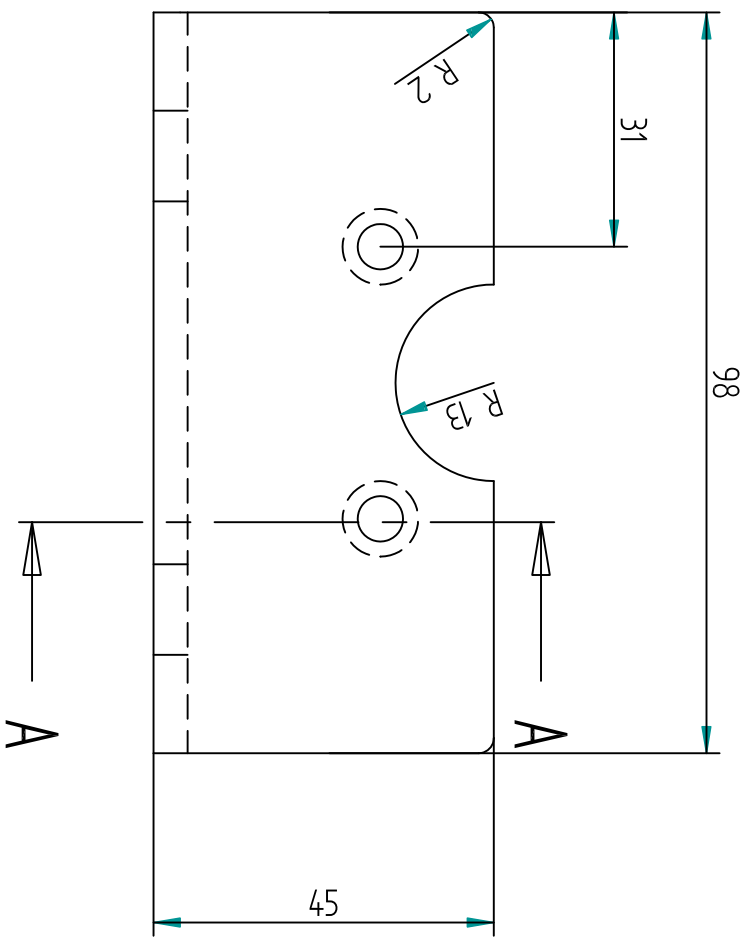
CORTE A-A

NOM: JORDI RICART COLL DATA: 04/06/2010 REVISAT: JORDI RICART COLL DATA: 04/06/2010		SOLID EDGE EDS-PLM SOLUTIONS	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		TAPA POSTERIOR DE LA INYECTORA	
A3	PLÀNOL: CONJUNT INYECTORA	Rev	
ESCALA: 2:1		SÈRIE: 305 PLÀNOL: 18/22	



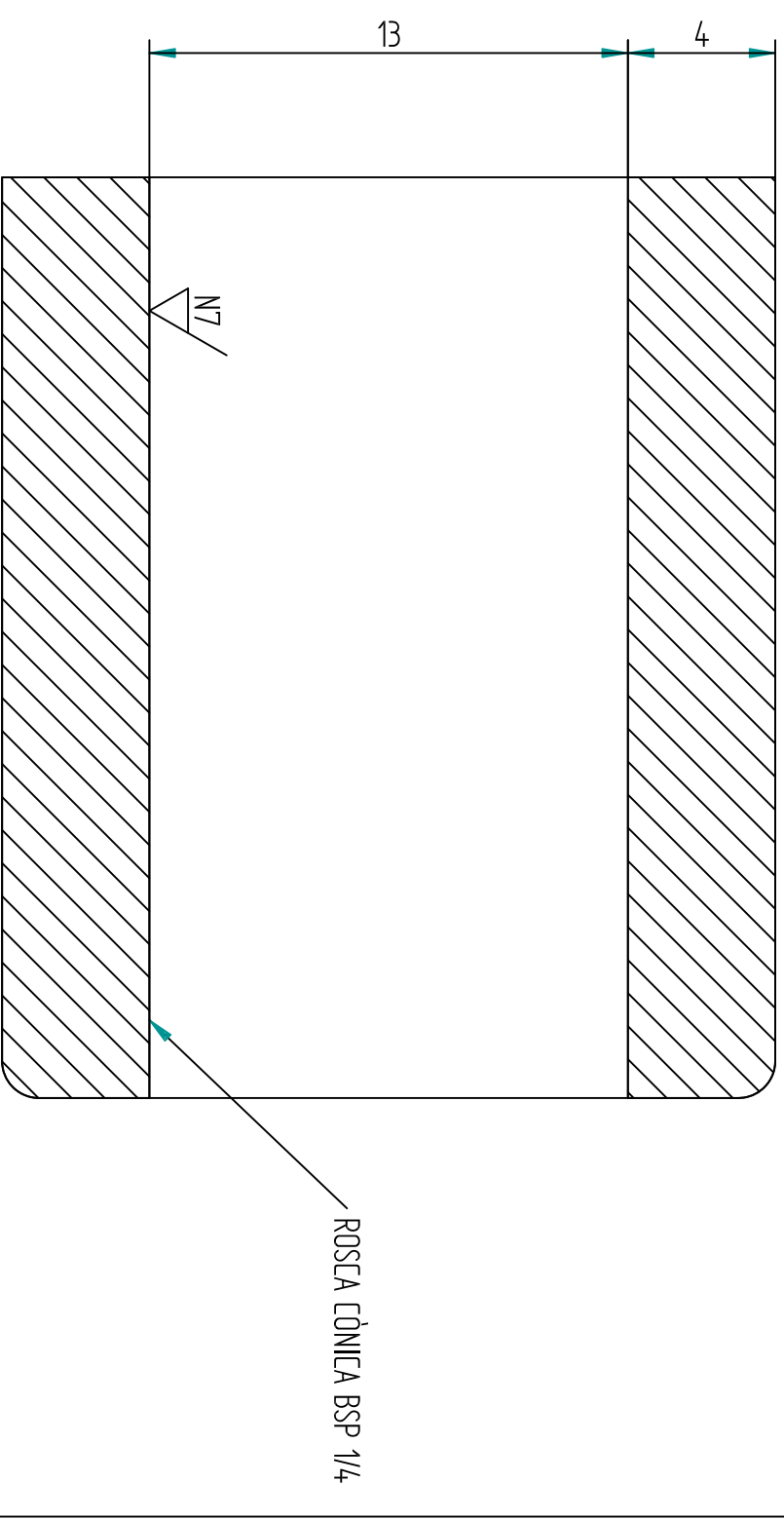
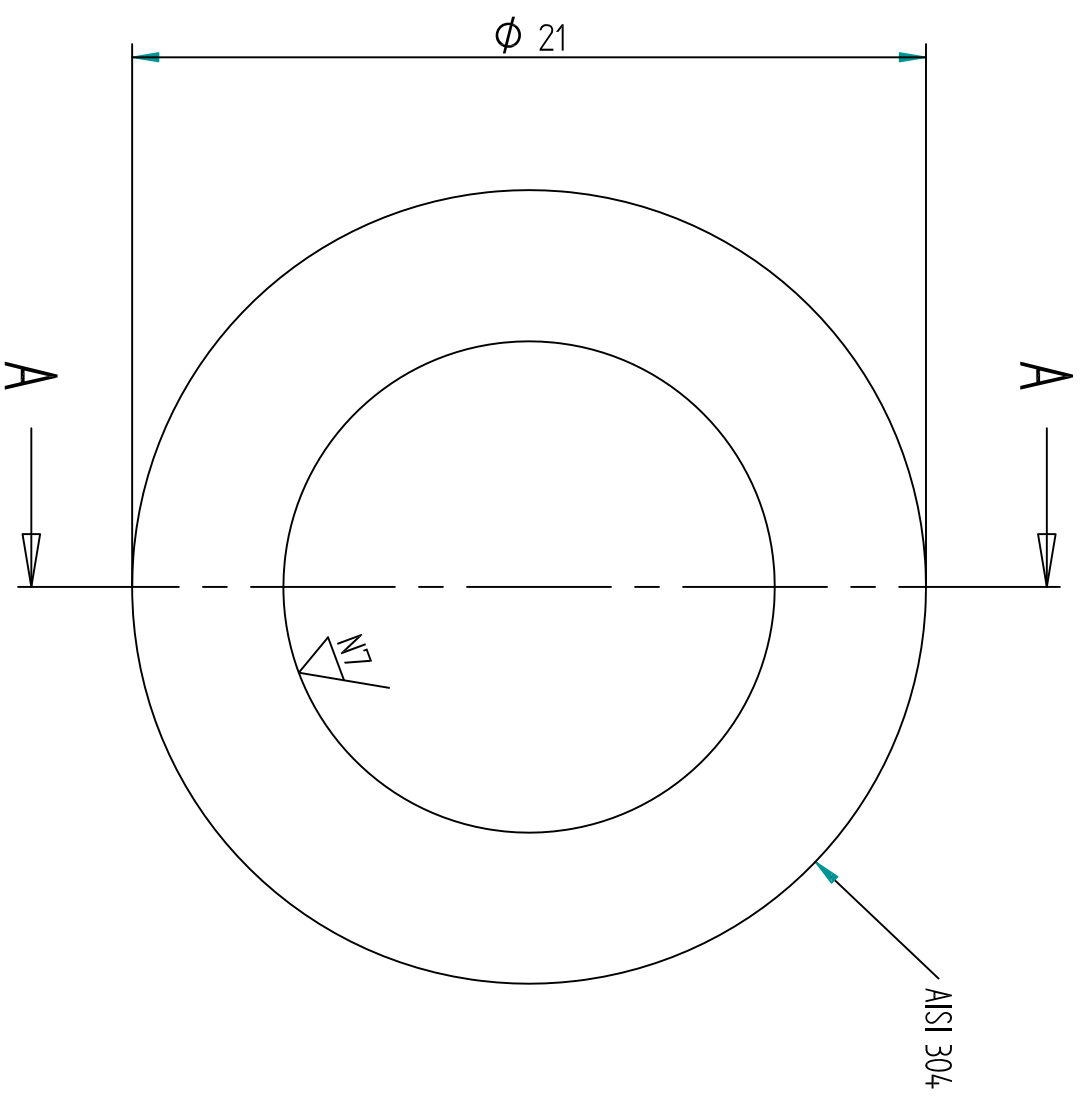
CORTE A-A

NOM: JORDI RICART COLL		SOLID EDGE	
DATA: 04/06/2010		EDS-PLM SOLUTIONS	
REVISAT: JORDI RICART COLL		CANAL DE SORTIDA DE LA INJECTORA	
DATA: 04/06/2010		A3	Rev
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		PLÀNOL: CONJUNT INJECTORA	
		SÈRIE: 306	
		ESCALA: 5:1	PLÀNOL: 19/22



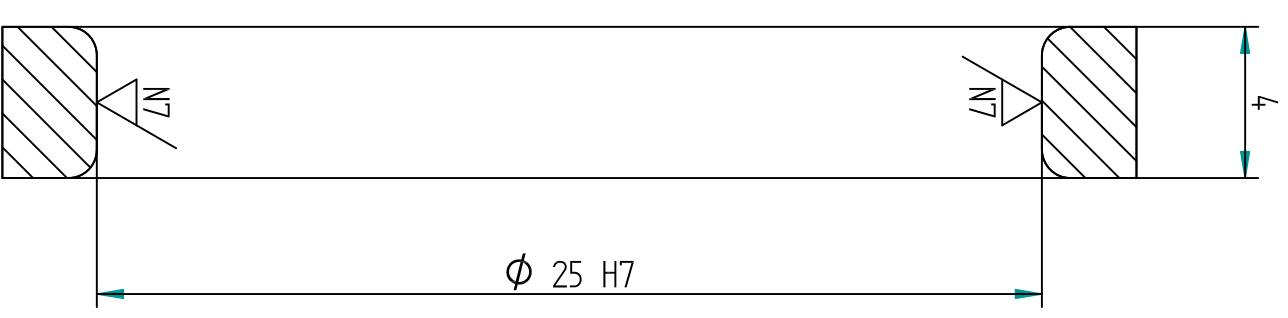
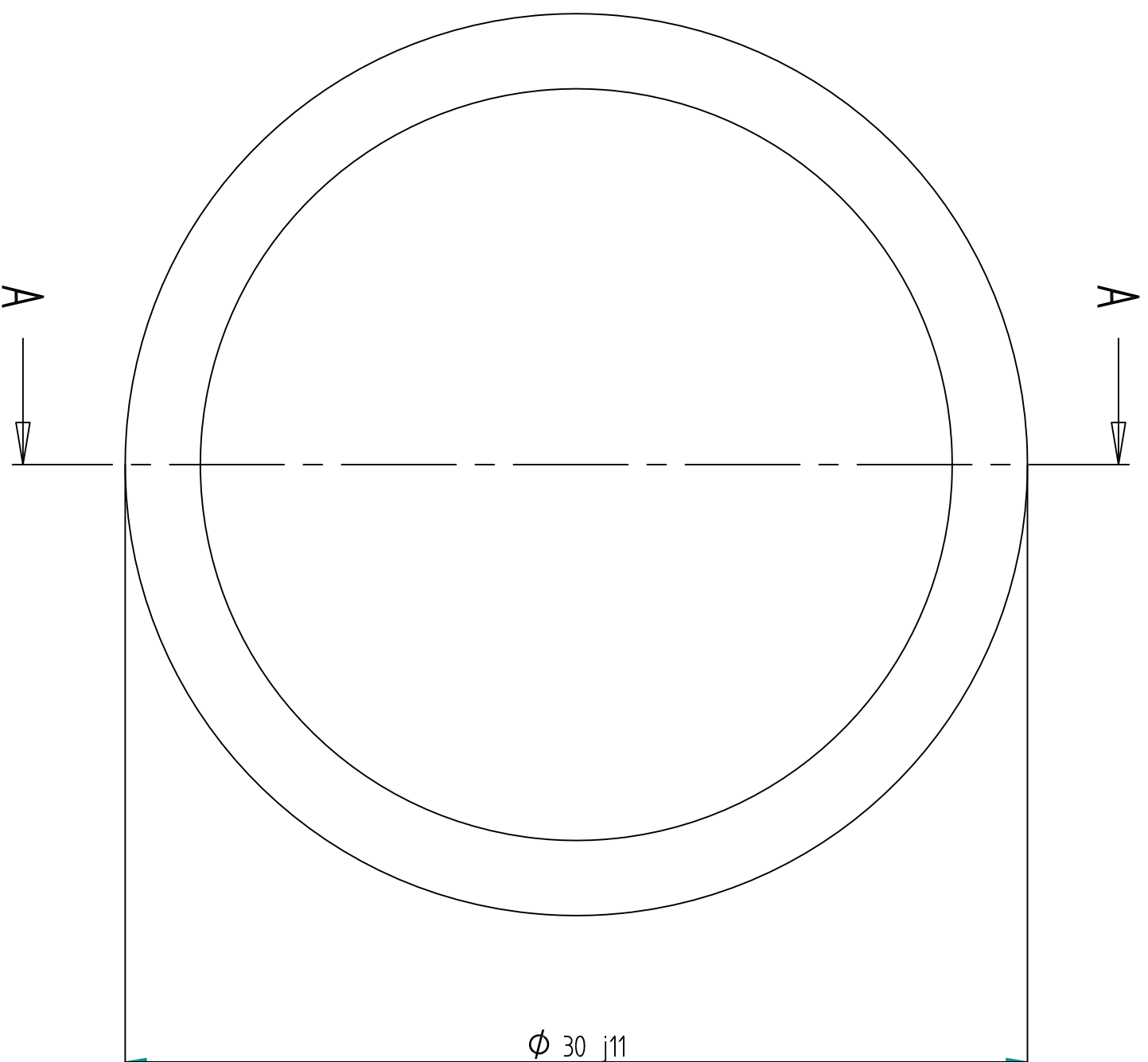
CORTE A-A

NOM: JORDI RICART COLL		SOLID EDGE	
DATA: 04/06/2010		EDS-PLM SOLUTIONS	
REVISAT: JORDI RICART COLL		PEU DE LA INJECTORA	
DATA: 04/06/2010		A3	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		PLÀNOL: CONJUNT INJECTORA	
		SÈRIE: 307	
		Rev	
		ESCALA: 1:1	
		PLÀNOL: 20/22	



CORTE A-A

NOM: JORDI RICART COLL		SOLID EDGE	
DATA: 04/06/2010		EDS-PLM SOLUTIONS	
REVISAT: JORDI RICART COLL		CANAL D'ENTRADA DE LA INJECTORA	
DATA: 04/06/2010		A3	Rev
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		PLÀNOL: CONJUNT INJECTORA	
		SÈRIE: 308	
		ESCALA: 5:1	PLÀNOL: 21/22



CORTE A-A

NOM: JORDI RICART COLL		SOLID EDGE	
DATA: 04/06/2010		EDS-PLM SOLUTIONS	
REVISAT: JORDI RICART COLL		COIXINET DE LA INJECTORA	
DATA: 04/06/2010		A3	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		PLÀNOL: CONJUNT INJECTORA	
		SÈRIE: 309	
		Rev	
		ESCALA: 5:1	
		PLÀNOL: 22/22	

Projecte de Final de Carrera
Enginyer Tècnic Industrial Mecànica

**DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UN EQUIP EXPERIMENTAL BASAT EN EL
CONFORMAT PER MOLDEIG MITJANÇANT UN SISTEMA D'INJECCIÓ A FI DE
VALIDAR UN CONJUNT DE SIMULACIONS REALITZADES AMB UN PROGRAMARI
D'ELEMENTS FINITS**

ANNEX II: CÀLCULS

Autor: Jordi Ricart Coll
Director: M^a Dolors Riera Colom
Convocatòria: Juny del 2010



**Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Manresa**



ÍNDIX DE L'ANNEX II

1. CÀLCULS I AMIDAMENT PER A LA INJECTORA	2
2. FLUX TURBULENT	5
2.1 PROPIETATS DE L'ALUMINI I L'AIGUA SANITÀRIA	7
2.2 CÀLCUL DE LA PÈRDUA DE CÀRREGA.....	9
2.3 TEMPS D'OMPLERTA	13
3. CÀLCUL DE LA VELOCITAT	15



ÍNDEX DE GRÀFICS

Gràfic 1: Diagrama de Moody. Utilitzat per determinar el coeficient de fricció.....	10
Gràfic 2: Velocitat instantània en funció del temps	19
Gràfic 3: Expressa la velocitat mitjana en funció del temps	21

ÍDEX DE TAULES

Taula 1: En aquestes taules hi ha representat la viscositat de l'alumini i de l'aigua a diferents temperatures.	7
Taula 2: Dades de la velocitat del cilindre obtingudes amb la càmera d'alta velocitat	18
Taula 3. Classificació de les velocitats en diferents intervals	20

ÍNDEX DE FIGURES

Fig. 1: Flux turbulent i flux laminar	6
---	---



1. CÀLCULS I AMIDAMENT PER A LA INJECTORA

Alhora de dissenyar la injectora ha estat necessari realitzar un conjunt de càlculs per tal de dimensionar aquest equip a les especificacions del projecte com ara: generar una pressió com a màxim de 15 bars i aportar una velocitat màxima el flux de 8 m/s.

Avanç de dissenyar la injectora, s'ha escollit el cilindre pneumàtic amb el qual es treballaria. Un cop escollit el cilindre pneumàtic, (C95, de 80 mm de diàmetre) s'ha determinat la força que pot efectuar aquest equip amb una pressió d'alimentació de 7 bars **(Eq.1)**. El segon pas és dimensionar la injectora per tal que compleixi amb les especificacions del projecte.

$$\begin{aligned}
 P &= 7 \times 10^5 \text{ N} \\
 s &= \frac{\pi}{4} \cdot 0,08^2 \text{ m} \\
 F &= P \cdot s \\
 F &= 7 \times 10^5 \cdot 5,03 \times 10^{-3} \\
 F &\approx 3.500 \text{ N}
 \end{aligned}
 \tag{Eq.1}$$

El primer pas que s'ha realitzat ha estat determinar la superfície de l'èmbol de la injectora per tal d'assolir els 15 bars de pressió **(Eq.3) [10]**. Aquest valor s'obté de la manera següent:

$$\begin{aligned}
 P_{MÀX} &= 15 \text{ bars} \\
 15 \text{ bars} &= 1.500.000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \\
 F_{CILINDRE} &= 3.500 \text{ N}
 \end{aligned}
 \tag{Eq.2}$$

$$\begin{aligned}
 S_{INJECTORA} &= \frac{F_{CILINDRE}}{P_{MÀX}} \\
 S_{INJECTORA} &= \frac{3.500 \text{ N}}{1.500.000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} \\
 s &= 0,0233 \text{ m}^2
 \end{aligned}
 \tag{Eq.3}$$



Ara, tant sols s'ha de calcular el diàmetre de la injectora en funció de la superfície **(Eq.4)** :

$$s = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

$$d = \sqrt{\frac{0,00233m^2 \cdot 4}{\pi}} \quad (\text{Eq.4})$$

$$d = 0,0544m$$

$$d = 54,4m$$

Segons els càlculs que s'ha realitzat, el diàmetre de la injectora haurà de ser de 54,4 mm. Com que aquest diàmetre no és estandarditzat, s'optarà per utilitzar un diàmetre de 50 mm ja que aquest sí que ho és. A continuació es calcularà, primer la nova superfície de l'èmbol i després la pressió que pot efectuar **(Eq.5 i Eq.6)**:

$$d_{INJECTORA} = 50mm$$

$$s_{INJECTORA} = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad (\text{Eq.5})$$

$$s = \frac{\pi}{4} \cdot 0,05^2 m$$

$$s = 0,001963 m$$

$$P_{MÀX} = \frac{F_{CILINDRE}}{s_{INJECTORA}}$$

$$P = \frac{3500N}{0,001962m} \quad (\text{Eq.6})$$

$$P = 1.783,89 \frac{N}{m^2}$$

$$P = 17,83bars$$

El fet que la injectora creï una pressió més elevada de 15 bars no suposa cap inconvenient, ja que s'ha de preveure que en el circuit hi ha components que crearan una pèrdua de càrrega. Per altra banda, degut a la velocitat que assoleix el fluid en el procés d'injecció, també apareixeran pèrdues de càrrega a causa de les turbulències.



2. FLUX TURBULENT

S'anomena flux turbulent o corrent turbulent el moviment d'un fluid en què es propaga de forma caòtica, i les seves partícules es mouen desordenadament i la trajectòria que descriuen són petits remolins aperiòdics (**Fig.1**). Aquest fenomen sorgeix per exemple amb canals de fort pendent, o tubs tancats en què el fluid circula a gran velocitat

Quan es vol arribar a determinar el nivell de turbulència d'un fluid, s'utilitza el número de Reynolds. Aquest número ens indica fins a quin nivell dins d'una escala numèrica el flux és turbulent o no.

Si número de Reynolds és:

- **$Re \leq 2000$** el flux es manté estacionari y es comporta com si estigués format per làmines molt fines, que només actuen en base esforços tangencials. Per aquest motiu aquest flux s'anomena laminar.
- Si el valor del número de Reynolds es troba comprés **$2000 \leq Re \leq 4000$** les capes estacionaries comencen a perdre estabilitat, tot formant petites ondulacions que varien en el temps. Quan succeeix aquest fet es diu que el flux estar amb règim transitori.
- Quans els valors del número de **$Re \geq 4000$** , les làmines comencen a oscil·lar de forma variable, es formen ondulacions arbitràries. És en aquest moment quan parlem de flux turbulent, caracteritzat per un moviment desordenat, no estacionari i tridimensional.



Per determinar el nombre de Reynolds s'utilitzà l'equació següent [12].

$$Re = \frac{v_s D}{\nu}$$

- Velocitat específica del fluid
- Diàmetre del tub
- Viscositat cinemàtica del fluid

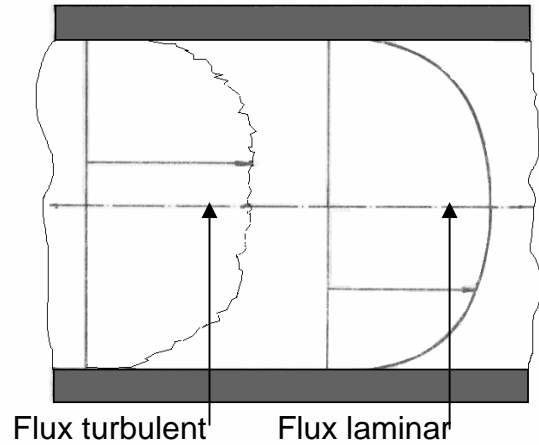


Fig. 1: Flux turbulent i flux laminar

$$Re = \frac{\rho v_s D}{\mu}$$

- Densitat del fluid
- Velocitat específica del fluid
- Diàmetre del tub
- Viscositat dinàmica del fluid



2.1 PROPIETATS DE L'ALUMINI I L'AIGUA SANITÀRIA

En aquest apartat es mostrarà com l'alumini té un comportament força similar a l'aigua quan estar en estat líquid.

Les taules que es mostren a continuació expressen la viscositat de l'alumini i de l'aigua dins d'un interval de temperatura [6].

Tal com es pot observar, a les dues taules, la viscositat de l'alumini a 950 °C és lleugerament superior a la viscositat de l'aigua a 15 °C.

Taula 1: En aquestes taules hi ha representat la viscositat de l'alumini i de l'aigua a diferents temperatures.

Liquid aluminum		Liquid iron		temperatura (°C)	η (cp)
Temperature (T/K)	Viscosity (η /mPa s)	Temperature (T/K)	Viscosity (η /mPa s)		
950	1.298	1850	5.443	0	1.787
975	1.235	1900	4.983	5	1.519
1000	1.178	1950	4.583	10	1.307
1025	1.126	2000	4.232	15	1.139
1050	1.079	2050	3.924	20	1.002
1075	1.035	2100	3.651	25	0.8904
1100	0.996	2150	3.408	30	0.7975
1125	0.959	2200	3.192	35	0.7194
1150	0.925	2250	2.998	40	0.6529
1175	0.894	2300	2.824	45	0.5960
1200	0.865	2350	2.666	50	0.5468
		2400	2.523		
		2450	2.394		
		2500	2.276		

Per caracteritzar el moviment d'un fluid a l'interior d'una secció circular s'utilitza el nombre de Reynolds.

$$Re = \frac{v_s D}{\nu}$$

Si s'utilitza el nombre de Reynolds per caracteritzar el comportament d'aquests fluids quan es propaguen per a l'interior d'un tub de 0,1 m a una velocitat específica de 6,54 m/s s'observa que pràcticament comparteixen el mateix valor **(Eq.6)**.

$$Re = \frac{v_s D}{\nu} \quad (\text{Eq.6})$$



$$\text{Re}_{(ALUMINI)} = \frac{6,54 \text{ m/s} \cdot 0,01 \text{ m}}{1,298 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 50.385$$

$$\text{Re}_{(AIGUA)} = \frac{6,54 \text{ m/s} \cdot 0,01 \text{ m}}{1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 65.400$$

En primer lloc, el nombre de Reynolds, indica que l'alumini i l'aigua quan es desplaçant a una velocitat de 6,54 m/s per a l'interior d'una superfície circular de 0,01 m, el flux es troba en règim turbulent ja que el nombre de Reynolds sobre passa els 4000 i degut a les turbulències, s'originen pèrdues de càrrega. Per altra banda, el comportament de l'alumini a 950 °C i l'aigua sanitària a 15°C és força similar, ja que els dos fluids es troben dins d'un règim turbulent.



2.2 CÀLCUL DE LA PÈRDUA DE CÀRREGA

Per calcular la pèrdua de càrrega degut a les turbulències s'ha de calcular el nombre de Reynolds (**Eq.7**), ja que s'ha de determinar si el flux que circula pels conductes és turbulent. En cas que el flux adopti turbulències, el pas següent és quantificar la pèrdua de càrrega que hi ha, ja que la pressió del circuit es veurà reduïda [7].

$$Re = \frac{v_s D}{\nu} \quad (\text{Eq.7})$$

$$Re = \frac{6,54 \frac{m}{s} \cdot 0,1m}{10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 65.410$$

Com que el nombre de Reynolds és 65.410, el flux és clarament turbulent. Per aquest motiu s'ha de calcular la pèrdua de càrrega que es produirà a causa de la turbulència. Per calcular la pèrdua de càrrega s'utilitza el diagrama de Moody (**Gràf.1**), que ens determina el coeficient de la pèrdua de càrrega (**Eq.9**).

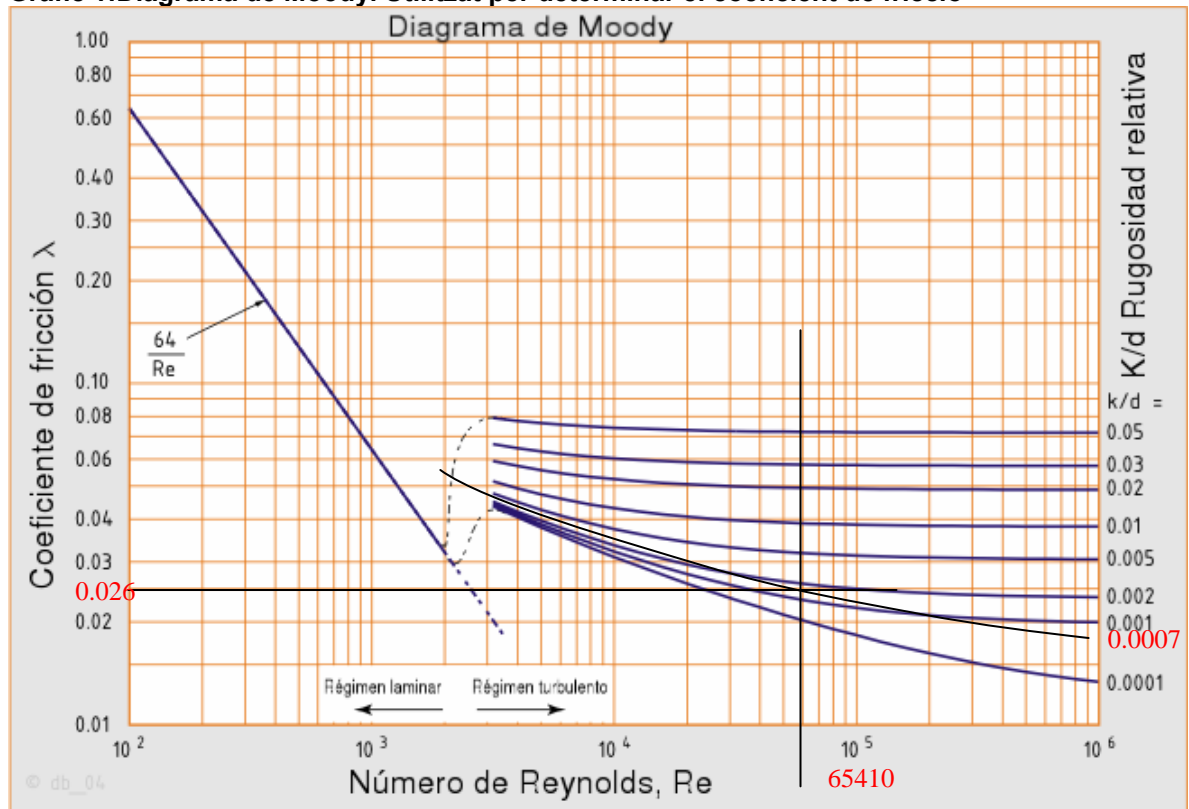
$$\varepsilon = \frac{\varepsilon}{D} \quad (\text{Eq.8})$$

$$\varepsilon = \frac{0,007}{10} = 7 \cdot 10^{-4}$$

$$Re = 65.410$$



Gràfic 1: Diagrama de Moody. Utilitzat per determinar el coeficient de fricció



Utilitzant aquest diagrama es determina el factor "f", que és el coeficient de la pèrdua de càrrega.

$$f = 0,026 \quad (\text{Eq.9})$$

$$H_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \text{ m.c.a} \quad (\text{Eq.10})$$

Aquesta equació s'utilitza per determinar la pèrdua de càrrega degut a les turbulències (Eq.10) que hi ha en al muntatge a causa de la velocitat a la qual es propaga el fluid pel conducte que uneix la injectora amb el motlle.



$$H_L = 0,026 \cdot \frac{40 \times 10^{-2}}{1 \times 10^{-2}} \cdot \frac{6,54^2}{2 \cdot 9,81} = 2,27 \text{ m.c.a}$$

aquest valor equival a 0,227 bars.

A causa de la turbulència del fluid es perd aproximadament 0,25 bars

Per altra banda, s'ha calculat la pèrdua de càrrega com a conseqüència de les connexions que hi ha al circuit sanitari [7].

Al circuit hi ha:

- 2 endolls ràpids $K=0,5$
- 1 connector mascle-mascle $K = 0,5$
- 1 aixeta $K = 1$
- 1 connector en forma de T $K = 1,80$
- 1 reducció de secció $K= 1,5$

El càlcul de pèrdua de càrrega és el següent (**Eq.11**):

$$H_L = \frac{v^2}{2g} \cdot \sum K \quad (\text{Eq.11})$$

$$H_L = \frac{6,54^2}{2 \cdot 9,81} \cdot (0,5 + 0,5 + 1 + 0,5 + 1,80 + 1,5) \quad (\text{Eq.12})$$

$$H_L = 12,64 \text{ m.c.a} \quad (\text{Eq.13})$$

Els 12,64 m.c.a equivalen a 1,26 bars.

Per tant, la pèrdua de càrrega a causa de les turbulències del fluid i dels connectors del circuit sanitari és de:

$$1,26 + 0,23 = 1,49 \text{ bars}$$



Per tal de rectificar aquesta pèrdua la injectora proporciona més pressió de la necessària, exactament 17,83 bars. Si es calcula la diferència s'obté un total de 16,34 bars útils que circulen pel circuit.



2.3 TEMPS D'OMPLERTA

Ara es calcularà el temps que tarda la injectora a omplir el motlle (**Eq.27**).

El primer punt que s'ha determinat és la velocitat mitjana que pot assolir el cilindre pneumàtic en el moment d'efectuar la carrera. Durant les diferents simulacions que s'han fet s'ha observat que la velocitat mitjana és aproximadament de 0,143 m/s. Si s'adopta aquesta velocitat mitjana com vàlida, el cabal mitjà que impulsa la injectora és de (**Eq.14**) [7]:

$$Q = V_{CILINDRE} \cdot S_{INJECTORA} \quad (\text{Eq.14})$$

$$Q = 0,143 \frac{m}{s} \cdot 0,001962 m^2$$

$$Q = 2,8056 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$Q = 2,8 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

Càlcul del volum del motlle (**Eq.15**).

$$Area - circumferència = \frac{\pi}{4} \cdot 0,140^2 - \frac{\pi}{4} \cdot 45^2 = 0,0138 m^2 \quad (\text{Eq.15})$$

$$Area - vents = \frac{\pi}{4} \cdot 0,012^2 \cdot 6 = 6,78 \times 10^{-4} m^2$$

$$Area - surtides = \frac{\pi}{4} \cdot 0,02^2 \cdot 4 = 1,256 \times 10^{-3} m^2$$

$$Area _ tram _ recta = 0,045 \cdot 0,04871 = 2,192 \times 10^{-3} m^2$$

$$Total = 0,01792 m^2$$

$$Volum _ motlle = 0,01792 m^2 \cdot 0,002 m = 3,585 \times 10^{-5} m^3$$



A partir del volum del motlle es calcularà el temps del procés **(Eq.16)**.

$$t = \frac{Vm^3}{Q \frac{m^3}{s}} \quad (\text{Eq.16})$$

$$t = \frac{3,58 \times 10^{-5} m^3}{2,80 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}}$$

$$t = 0,13s$$

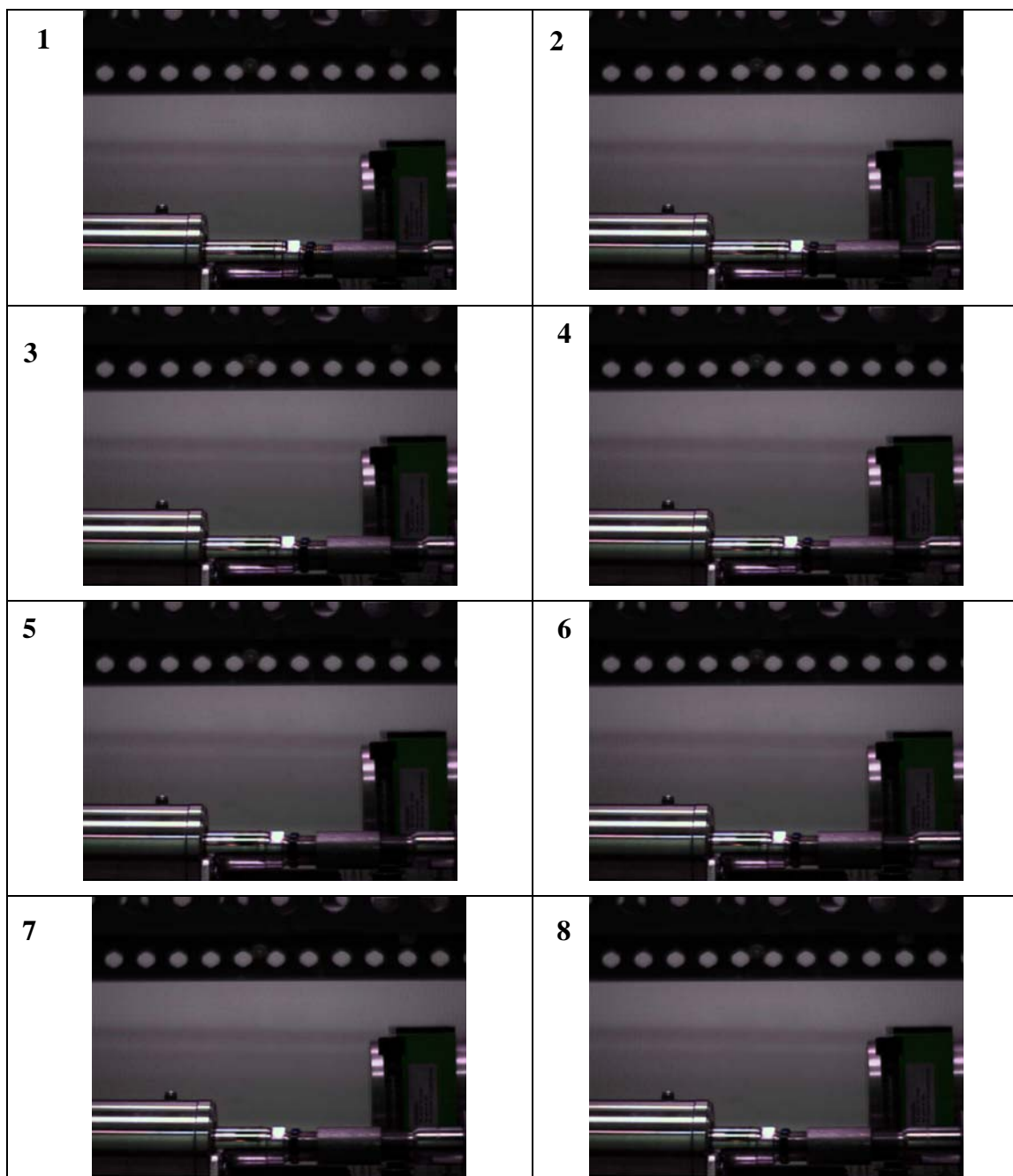
Aquest temps seria l'ídoni, però la realitat és que el temps d'ompliment és més elevat degut a la velocitat irregular del cilindre pneumàtic i la pressió que hi ha a l'interior del motlle.

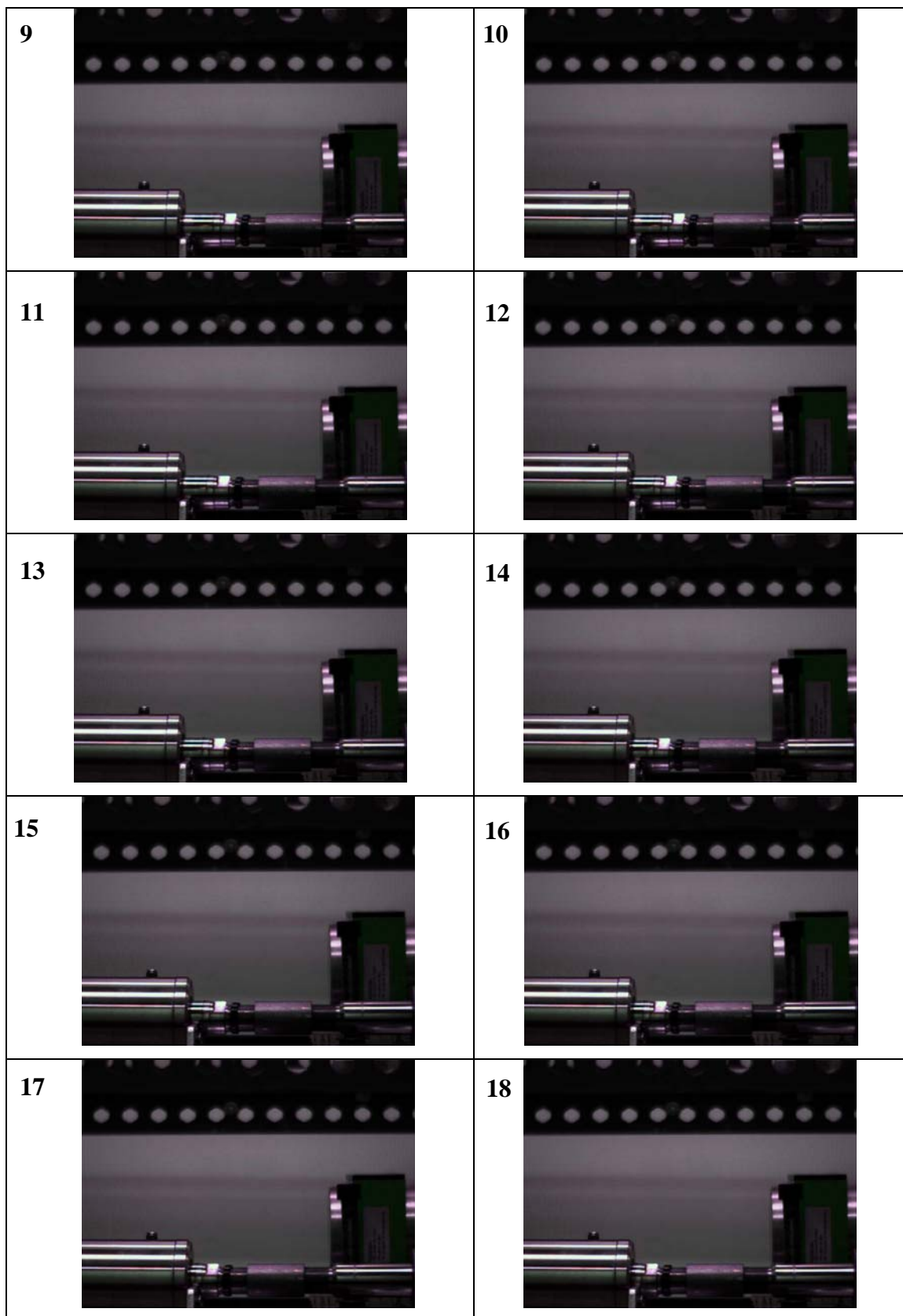


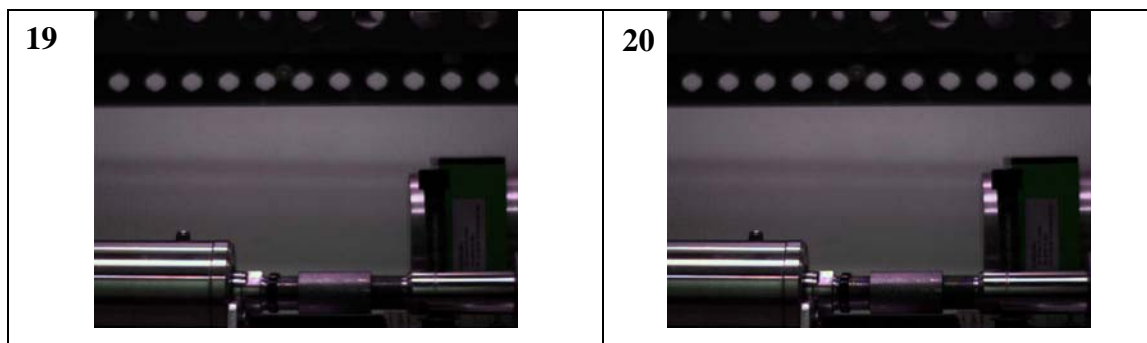
3. CÀLCUL DE LA VELOCITAT

El sistema de mesura que s'ha utilitzat per calcular la velocitat del cilindre i determinar el cabal que fluctua cap a l'interior del motlle, és amb la càmera d'alta velocitat.

L'anàlisi que s'ha dut a terme, consisteix en filmar el moviment i, posteriorment efectuar un tractament d'anàlisi d'imatge per tal de determinar la velocitat.







Mitjançant aquests fotogrames i el software d'anàlisi d'imatge GIMP s'ha aconseguit determinar les velocitats en cada instant. En primer lloc, s'estableix una relació entre píxels i mm. Mitjançant aquesta relació, s'obté el desplaçament efectuat en mil·límetres per un interval de temps.

Les dades obtingudes de la velocitat de la injectora s'han classificat (**Taula 2**) amb l'objectiu de realitzar un gràfic per observar la velocitat que descriu aquest component.



Taula 2: Dades de la velocitat del cilindre obtingudes amb la càmera d'alta velocitat

Desplaçament en mm	temps (s)	Velocitat (mm/s)
0	0	0
2,2014	0,016	137,5875
4,4028	0,033	129,4941176
5,8704	0,05	86,32941176
11,007	0,066	321,0375
13,5753	0,083	151,0764706
15,7767	0,1	129,4941176
20,9133	0,116	321,0375
22,7478	0,133	107,9117647
23,4816	0,15	43,16470588
26,7837	0,166	206,38125
28,9851	0,183	129,4941176
30,4527	0,2	86,32941176
34,4886	0,216	252,24375
35,5893	0,233	64,74705882
37,4238	0,249	114,65625
41,0928	0,266	215,8235294
43,6611	0,283	151,0764706
44,7618	0,299	68,79375
45,1287	0,316	21,58235294
45,1287	0,333	0

El pas següent és aplicar l'equació del moviment rectilini uniforme **(Eq.17)** [14]:

$$x = x_0 + vt \quad (\text{Eq.17})$$

S'expressa la velocitat en funció del temps i de la posició **(Eq.18)** [14]:

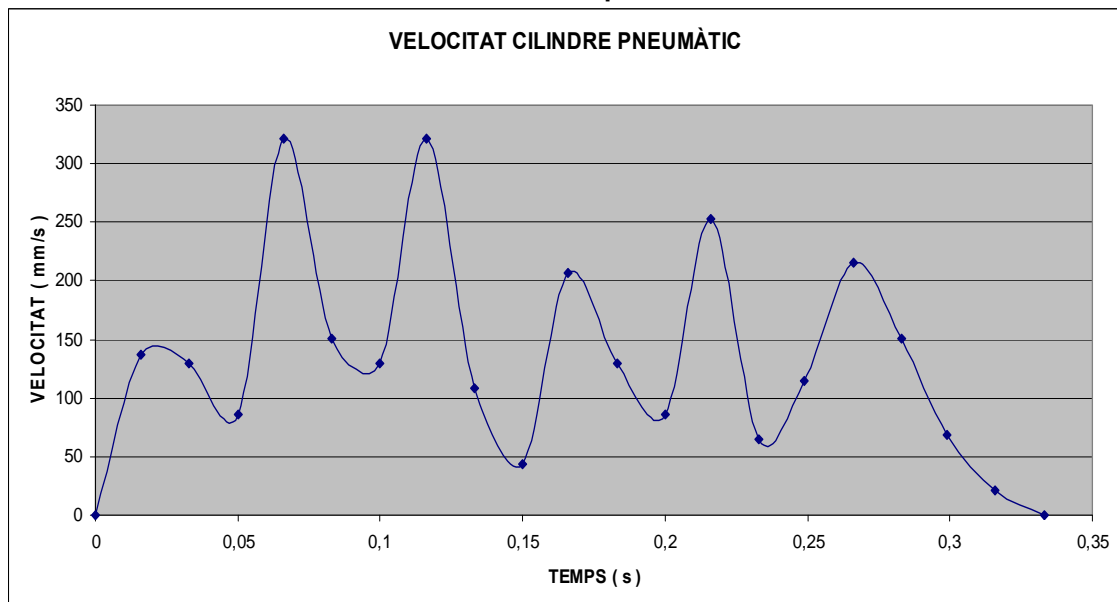


$$v = \frac{x - x_0}{t} \quad (\text{Eq.18})$$

I posteriorment s'obté la velocitat instantània.

Si es representen les dades que s'han obtingut mitjançant una gràfica s'obindrà el següent resultat (**Gràf.2**):

Gràfic 2: Velocitat instantània en funció del temps



En el gràfic s'observa com la velocitat del cilindre fluctua de manera notable. Aquests fet succeeix degut a la compressió i descompressió de l'aire del circuit pneumàtic. També s'observa que la velocitat màxima del cilindre és de 321 mm/s i la velocitat mínima és de 43 mm/s.

En canvi, la velocitat mitjana s'ha obtingut de la manera següent:

En primer lloc s'han ordenat totes les velocitats que s'han assolit durant els deus assajos i posteriorment s'han classificat en set intervals.



El pas següent ha consistit en realitzar la mitjana de les velocitats de cada interval (**Taula 3**) i posteriorment s'ha obtingut la velocitat mitja de cada interval.

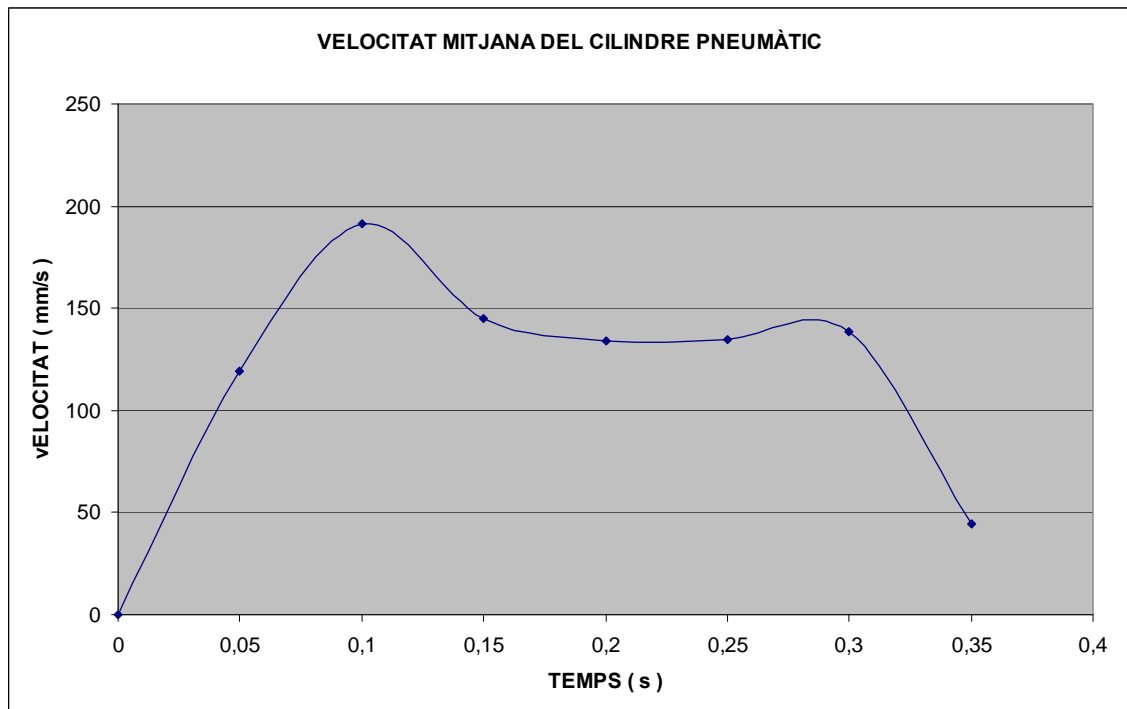
Taula 3. Classificació de les velocitats en diferents intervals

INTERVAL DE TEMPS	INTERVAL	V. MITJANA (mm/s)
0 a 0,05 segons	0,05	119,22
0,05 a 0,1 segons	0,1	191,04
0,1 a 0,15 segons	0,15	144,92
0,15 a 0,2 segons	0,2	133,81
0,2 a 0,25 segons	0,25	134,75
0,25 a 0,3 segons	0,3	138,44
0,3 a 0,35 segons	0,35	44,44



Per tant, si es dibuixa la corba amb els punts obtinguts, el gràfic que s'obté és el següent (Gràf.3):

Gràfic 3: Expressa la velocitat mitjana en funció del temps



Els motiu pel qual s'ha calculat la velocitat mitjana per intervals a estat per homogenitzar la corba i, d'aquesta manera simplificar la definició de les velocitats del fluid en el model de simulació.



Projecte de Final de Carrera
Enginyer Tècnic Industrial Mecànica

**DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UN EQUIP EXPERIMENTAL BASAT EN EL
CONFORMAT PER MOLDEIG MITJANÇANT UN SISTEMA D'INJECCIÓ A FI DE
VALIDAR UN CONJUNT DE SIMULACIONS REALITZADES AMB UN PROGRAMARI
D'ELEMENTS FINITS**

PRESSUPOST DEL MUNTATGE

Autor: Jordi Ricart Coll
Director: M^a Dolors Riera Colom
Convocatòria: Juny del 2010



**Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Manresa**



PRESSUPOST DEL MUNTATGE

MATERIAL	UNITATS	PREU UNITAT	TOTAL
Placa de metacrilat 250x250x20	1	22,56 €	22,56 €
Placa de metacrilat 230x370x50	2	106,71 €	213,42 €
Placa de policarbonat 2050x750x5	1	40,54 €	40,54 €
Mecanitzat del motlle de metacrilat	1	250,00 €	250,00 €
ELEMENTS PNEUMATICS			
Cilindre SMC C95 dià. 80 carr. 80mm	1	122,25 €	122,25 €
Electrovàlvula SY7120	1	65,40 €	65,40 €
Ràcor KQ2L08	1	2,12 €	2,12 €
Silenciador AN202-02	2	4,85 €	9,70 €
Regulador Caudal AS320	2	4,85 €	9,70 €
5m de tub	1	5,00 €	5,00 €
INJECTORA			
Injectora Fluidtechnik dia. 50 carr. 100	1	433,26 €	433,26 €
CONNEXIONS HIDRÀULIQUES			
Ràcord <i>LEGRIS</i> 3675	10	5,00 €	50,00 €
Ràcord <i>LEGRIS</i> T 3698	2	8,64 €	17,28 €
Aixeta <i>LEGRIS</i> 6402	1	17,50 €	17,50 €
Aixeta <i>LEGRIS</i> 4810	1	16,09 €	16,09 €
Aixeta <i>LEGRIS</i> 0849	1	19,20 €	19,20 €
Manòmetre	1	35,00 €	35,00 €
Vàlvules unidireccionals	2	14,95 €	29,90 €
Tub 9-12	3	1,30 €	3,90 €
Juntes tòriques r=144,6 i 4mm	3	10,00 €	30,00 €
ÚTILS METAL·LÚRGIA BUSQUETS			
Planxa d'acer 1000x65x10	1	63,35 €	63,35 €
Perfil protector motlle 2mm gruix	2	10,00 €	20,00 €
fixador d'acer	4	148,00 €	592,00 €
ALTRES			
Juntes tòriques taps 17x2mm	8	2,42 €	19,36 €
Al·lògens llum	2	7,60 €	15,20 €
Guies rodament	2	3,20 €	6,40 €
Perfil alumini	2	2,95 €	5,90 €
pastells	2	1,80 €	3,60 €
Perfil de <i>MECALUX</i> 35x35x3500	6	4,00 €	24,00 €
Caixa de 100 cargols M8 de 35mm	1	9,35 €	9,35 €
Fungibles tallers	1	250,00 €	250,00 €
Interruptor diferencial	1	65,00 €	65,00 €
Interruptor Magnetotèrmic	1	22,00 €	22,00 €
Fluorescents	3	5,20 €	15,60 €



Transformador 230V-24V	1	63,00 €	63,00 €
		SUBTOTAL	2.567,58 €
SALARI BECARI			
Des de 15/06/09 fins 23/06/09	700	6,00 €	4.200,00 €
Des de 10/01/10 fins 29/04/10	400	7,00 €	2.800,00 €
		SUBTOTAL	7.000,00 €
		TOTAL	9.567,58 €

