



Universitat
de les Illes Balears

TREBALL DE FI DE MÀSTER

DISSENY D'UN SISTEMA DE DOSIFICACIÓ PER SUBSTÀNCIES D'ALTA VISCOSITAT

Pere Antoni Bibiloni Mulet

Màster Universitari en Enginyeria Industrial

Centre d'Estudis de Postgrau

Any Acadèmic 2021-2022

DISSENY D'UN SISTEMA DE DOSIFICACIÓ PER SUBSTÀNCIES D'ALTA VISCOSITAT

Pere Antoni Bibiloni Mulet

Treball de Fi de Màster

Centre d'Estudis de Postgrau

Universitat de les Illes Balears

Any Acadèmic 2021-2022

Paraules clau del treball:

Bomba d'engranatges, CFX, Dosificador

Nom Tutor/Tutora del Treball: Víctor Martínez Moll

Resum

En aquesta memòria s'exposa el procés d'estudi, disseny, construcció i anàlisi d'un sistema hidràulic enfocat a la dosificació de substàncies viscoses.

Després de l'estudi de diferents alternatives s'ha decidit utilitzar una bomba d'engranatges com a mètode de dosificació. Mitjançant eines de simulació s'han extret conclusions que han estat utilitzades per a definir un disseny plenament operatiu.

Un cop completat el procés de construcció i assemblatge s'ha assajat el sistema hidràulic amb la intenció de definir-lo completament. Així s'han pogut extreure unes conclusions sobre el seu funcionament i sobre les millores que s'hi podrien aplicar.

Sumari

RESUM	3
1. INTRODUCCIÓ	14
1.1. Objectius del projecte	14
1.2. Estudi d'alternatives	14
1.2.1. Bombes de desplaçament positiu i bombes rotodinàmiques.....	15
1.2.2. Elecció del tipus de bomba.....	19
2. DESCRIPCIÓ DEL PROCÉS DE DISSENY	22
2.1. Disseny del rotor.....	25
2.1.1. Elecció del tipus d'engranatges	25
2.1.2. Perfil d'evolvent	26
2.1.3. Desenvolupament del perfil	28
2.2. Motors pas a pas	34
2.2.1. Característiques del motor	34
2.2.2. Electrònica de control	35
2.2.3. GRBL-Mega-5X.....	37
2.3. Disseny del sistema hidràulic	38
2.3.1. Parts fabricades o mecanitzades	39
2.3.2. Junta estanca	45
2.3.3. Coixinets	46
2.3.4. Toleràncies entre components	47
3. ANÀLISIS NUMÈRIC DEL MODEL	50
3.1. Estimació de la potencia.....	50
3.2. Tipus de model	53
3.2.1. Mètode numèric.....	53
3.3. Simulació del model	54
3.3.1. Simulació de les zones d'absorció i extracció del fluid	54
3.4. Aplicació a la bomba d'engranatges, comparació amb els resultats experimentals	57
3.4.1. Dominis rotatius.....	57
3.4.2. Simulació amb ANSYS CFX	57
4. CONSTRUCCIÓ I ASSAIG DE PROTOTIP	62
4.1. Descripció del procés de construcció i posada en marxa	62

4.2.	Anàlisi de les corbes de bombeig	71
4.3.	Mesura del parell "real"	73
4.3.1.	Cal·libració del sistema de mesura.....	76
4.3.2.	Resultats	77
5.	PRESSUPOST DEL SISTEMA HIDRÀULIC	80
6.	CONCLUSIONS	82
7.	BIBLIOGRAFÍA	83

ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1. Tipus de bombes rotodinàmiques [2].....	15
Figura 2. Exemple de bomba de membrana [6].....	16
Figura 3. Bomba de paletes [7].....	17
Figura 4. Bomba de pistons simple [8].....	17
Figura 5. Bomba d'engranatges extern i intern [9]	18
Figura 6. Bomba de lòbuls [11].....	19
Figura 7. Contenidor del fluid utilitzat. (Font pròpia).....	23
Figura 8. Exemples de viscositats de diferents materials [14].....	25
Figura 9. Detall de contacte a un engranatge [16]	26
Figura 10. Esquema de les magnituds més importants d'un engranatge recte [17].....	27
Figura 11. Àrea de desplaçament del fluid (Font pròpia)	28
Figura 12. Àrea de retorn de fluid (Font pròpia)	29
<i>Figura 13. Relació entre paràmetres de l'engranatge i el cabal. [18]</i>	<i>31</i>
Figura 14. Àrea de desplaçament del fluid final i àrea de retorn del fluid final. (Font pròpia)	33
Figura 15. Esquemàtic de la RAMPS 1.4 [19].....	36
Figura 16. Connexió del Trinamic TMC2209 a la Ramps 1.4 (Font pròpia)	36
Figura 17. Configuració utilitzada (Font pròpia)	37
Figura 18. Vistes del sistema hidràulic en SolidWorks (Font pròpia)	38
Figura 19. Model CAD de l'engranatge motor (Font pròpia).....	40
Figura 20. Model CAD del cos central (Font pròpia).....	40

Figura 21. Vistes frontal, posterior i de secció de la tapa posterior (Font pròpia).....	41
Figura 22. Disseny del sistema antiretorn (Font pròpia)	42
Figura 23. Suport del motor i peces centradores respectivament (Font pròpia).....	42
Figura 24. Model del tap pel dipòsit. (Font pròpia).....	43
Figura 25. Model de ta tapa frontal (Font pròpia).....	43
Figura 26. Model de l'eix motor (Font pròpia)	44
Figura 27. Model del tub de sortida (Font pròpia)	45
Figura 28. Toleràncies per a la cavitat de l'anell tòric [20].....	45
Figura 29. Vista de secció del model CAD de la junta estanca (Font pròpia)	46
Figura 30. Dimensions dels coixinets de fricció. [21]	46
Figura 31. Corbes de parell en relació a la velocitat angular del NEMA 23HS22-2804S. [22]	51
Figura 32 i Figura 33. Distribució de pressions a la sortida del dosificador per a 12 l/min i distribució de pressions a l'entrada del dosificador per a 12 l/min (Font pròpia).....	52
Figura 34. Elements a l'entrada de la bomba d'un model mitjançant ANSYS (Font pròpia)	54
Figura 35. Vista del pla mig de la malla de la simulació del tub d'absorció (Font pròpia)..	55
Figura 36. Vista del pla mig de la malla de la simulació del tub d'extracció (Font pròpia).	56
Figura 37. Geometria utilitzada en la simulació. (Font pròpia)	58
Figura 38. Malla utilitzada en la simulació	58
Figura 39. Cabal màssic extret a la primera iteració (Font pròpia).....	60
Figura 40. Cabal màssic extret al final de les iteracions. (Font pròpia)	61
Figura 41. Unió de l'engrenatge motor amb l'eix (Font pròpia)	62

Figura 42. Mascle de roscar utilitzat (Font pròpia)	63
Figura 43. Mascle $\frac{3}{4}$ ' de polietilè utilitzat a la sortida de la bomba i detall de la unió respectivament (Font pròpia)	64
Figura 44. Cara del llit i detall de la conicitat als orificis respectivament (Font pròpia)	64
Figura 45. Vista de la cara interior de la tapa i unió amb el suport i detall de la unió amb el suport del motor (Font pròpia)	65
Figura 46. Detall de la zona d'entrada i sortida de l'eix motor i de la junta estanca (Font pròpia)	66
Figura 47. Vàlvula antiretorn (Font pròpia)	66
Figura 48. Detall de la unió del suport del motor (Font pròpia)	67
Figura 49. Detall de l'entrada del tub d'absorció al contenidor (Font pròpia)	67
Figura 50. Detall de la sortida de la bomba. (Font pròpia)	68
Figura 51. Detalls de l'orifici pels rodaments (Font pròpia)	69
Figura 52. Simulació de la trajectòria de les operacions de la fresadora CNC. (Font pròpia)	69
Figura 53. Acoblador rígid per a NEMA 23 a eix de 8 mm. [23]	70
Figura 54. Relació entre el cabal extret i la velocitat de gir del motor amb font d'alimentació de 12 V (Font pròpia)	71
Figura 55. Relació entre el cabal extret i la velocitat de gir del motor amb font d'alimentació de 24 V (Font pròpia)	72
Figura 56. Galga extensomètrica C2A-13-125LW-120. [24]	73
Figura 57. Deformacions unitàries normal en direcció Y (Font pròpia)	74
Figura 58. Model CAD del suport per al càlcul del parell real (Font pròpia)	74
Figura 59. Posició de les galgues en el suport (Font pròpia)	75

Figura 60. Configuració del pont de Wheatstone utilitzada. [25].....	75
Figura 61. Relació entre la força aplicada i el voltatge a l'input (Font pròpia)	76
Figura 62. Muntatge del sistema bomba-suport (Font pròpia)	77
Figura 63. Parell desenvolupat pel motor durant una mateixa operació a 150 RPM amb la font de 12 A (Font pròpia).....	78
Figura 64. Parell mitjà i parell màxim amb la font de 12 V i 5A i Figura 65. Parell mitjà i parell màxim amb la font de 24 V i 3A (Font pròpia).....	78

ÍNDIX D'EQUACIONS

Equació 1. Densitat del fluid	23
Equació 2. Densitat de l'esfera	23
Equació 3. Equació de la velocitat [13]	24
Equació 4. Viscositat del fluid a bombejar	24
Equació 5. Mòdul d'un engranatge [17]	27
Equació 6. Diàmetre primitiu [17]	27
Equació 7. Diàmetre exterior [17]	27
Equació 8. Diàmetre interior [17]	27
Equació 9. Distància entre centres [17]	28
Equació 10. Cabal de desplaçament (Font pròpia)	29
Equació 11. Cabal de retorn (Font pròpia)	29
Equació 12. Cabal teòric total (Font pròpia)	29
Equació 13. Càlcul de la llargària de l'engranatge. (Font pròpia)	33
Equació 14. Potència d'un motor	50
Equació 15. Estimació de la potència desenvolupada pel motor	50
Equació 16. Estimació de la potència.	51
Equació 17. Potència necessària per a elevar el fluid del dipòsit a la sortida del sistema hidràulic (Font pròpia)	52
Equació 18. Cabal extret.	71
Equació 19. Potència estimada de funcionament a 150 RPM (Font pròpia)	79

ÍNDIX DE TAULES

Taula 1. Distàncies i temps de l'experiment de la viscositat	24
Taula 2. Característiques de la malla (Font pròpia)	59
Taula 3. Pressupost del sistema hidràulic.....	81

ÍNDEX DE PLÀNOLS

Plànol 1. Cos Central

Plànol 2. Tapa Frontal

Plànol 3. Tapa Posterior

Plànol 4. Eix Motor

Plànol 5. Eix No Motor

Plànol 6. Engranatge Motor

Plànol 7. Engranatge No Motor

Plànol 8. Coixinet Tapa Posterior

Plànol 9. Coixinet Tapa Frontal

Plànol 10. Suport Nema 23

Plànol 11. Peça Centradora

Plànol 12. Tub De Sortida

Plànol 13. Tap Del Dipòsit

Plànol 14. Vàlvula Antiretorn (Part 1)

Plànol 15. Vàlvula Antiretorn (Part 2)

Plànol 16. Suport pel càlcul del parell real

Plànol 17. Vista explosionada

ÍNDIX DE D'ANNEXOS

Annex 1. NEMA 23HS22-2802S

Annex 2. Diagrama de pins de l'Arduino Mega 2560

Annex 3. Propietats del PETG

Annex 4. Galgues C2A-13-125LW-120

Annex 5. ADAM 3016

Annex 6. ADC-24

1. Introducció

Els dispositius de dosificació de productes de neteja i desinfecció son una eina molt important per assegurar que els productes s'empren en concentracions adequades tant per assegurar la seva funció com per la seguretat dels treballadors i del medi ambient.

La majoria de dispositius disponibles al mercat es basen en bombes peristàltiques de desplaçament positiu, que funcionen bé per productes amb una baixa viscositat, però per productes amb viscositats elevades, els usuaris es queixen que acaben presentant problemes de funcionament tals com obstruccions, o degradació prematura del tub de silicona. A més, les que son econòmiques disposen d'un cabal molt baix i per les que sí que satisfan el cabal necessari els preus son molt elevats.

Degut a aquesta problemàtica la dosificació d'aquest tipus de productes s'està fent de forma manual comportant, no solament el contacte dels treballadors amb productes químics sinó la utilització d'envasos de mides que puguin ser manipulats manualment (fins a 5 litres) que acaben al contenidor groc sense tenir un procés de reutilització. La possibilitat d'usar sistemes de dosificació podria impulsar un nou model orientat a la reutilització de les garrafes industrials i obrir la possibilitat d'utilitzar-ne de més volum.

Per aquest motiu, es proposa l'anàlisi del disseny i la proposta de millores o d'un disseny alternatiu per aquests dispositius.

1.1. Objectius del projecte

La finalitat d'aquest projecte és dissenyar, desenvolupar i construir un prototip de dosificador per a fluids d'alta viscositat orientat a productes de neteja i desinfecció.

Aquest prototip serà capaç de moure les quantitats necessàries de fluid d'un recipient a un altra en un temps relativament baix.

1.2. Estudi d'alternatives

Els productes de desinfecció i neteja que s'utilitzen actualment son, en la seva majoria, fluids. Aquests, poden tenir diferents propietats; com la viscositat amb valors molt diferents o d'altres com la capacitat de corroure alguns materials...

Això ha provocat que existeixin una quantitat elevada de sistemes de dosificació específics per a cada fluid.

1.2.1. Bombes de desplaçament positiu i bombes rotodinàmiques

Segons el criteri en que es produeix la transferència d'energia al fluid les bombes es poden classificar com de desplaçament positiu o rotodinàmiques [1]:

- **Bombes rotodinàmiques:** A l'actualitat, dins aquest grup s'inclouen només les bombes que roten i s'exclouen les bombes sense parts mòbils. Un dels exemples més utilitzats son les bombes centrífuges, tot i que n'hi ha d'altres (vegeu *Figura 1*).

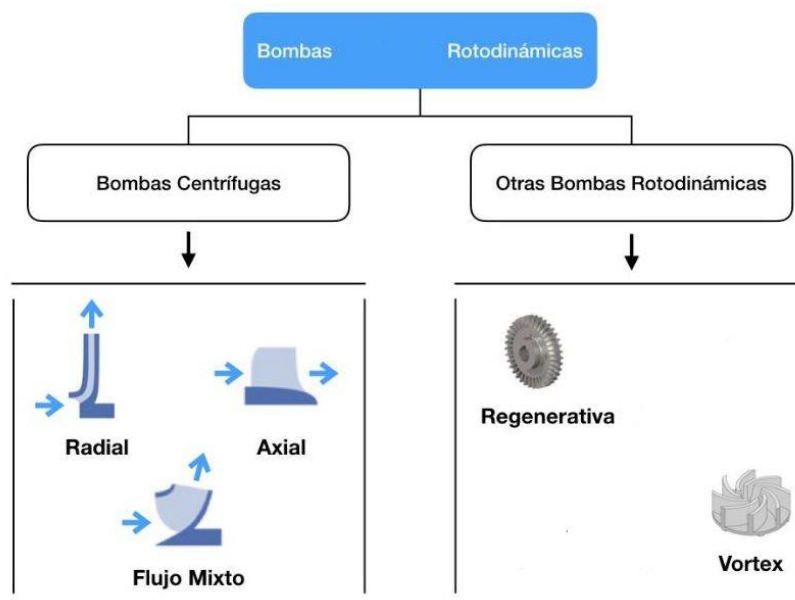


Figura 1. Tipus de bombes rotodinàmiques [2]

- **Bombes de desplaçament positiu:** Aquest tipus de bombes aprofiten l'actuació de l'element de bombeig per a tancar dins una cavitat el fluid i entregar-lo a la sortida; ja sigui utilitzant un moviment alternatiu o giratori. Les bombes d'engranatges, les de paletes, les de diafragma, les d'èmbol... son exemples d'aquest tipus [3].

En aquest estudi ens centrem en les bombes de desplaçament positiu ja que, per les seves característiques, presenten uns avantatges que les fan més idònies per a la funció de dosificar:

- Cabal constant: El cabal en una bomba de desplaçament positiu es mantindrà constant tot i que hi hagi canvis en la pressió. En canvi, en les bombes centrífugues el cabal depèn de les variacions de pressió [4] [5].
- Eficiència volumètrica amb líquids viscosos: De forma contraria a les bombes rotodinàmiques el cabal d'una bomba de desplaçament positiu augmenta a mesura que augmenta la viscositat. Això és degut a la dificultat que tenen els fluids viscosos per circular per espais petits [4] [5].

1.2.1.1. Bombes de membrana i de doble membrana

Les bombes de membrana o de diafragma son bombes de desplaçament positiu reciprocant o alternatives (veure *Figura 2*).

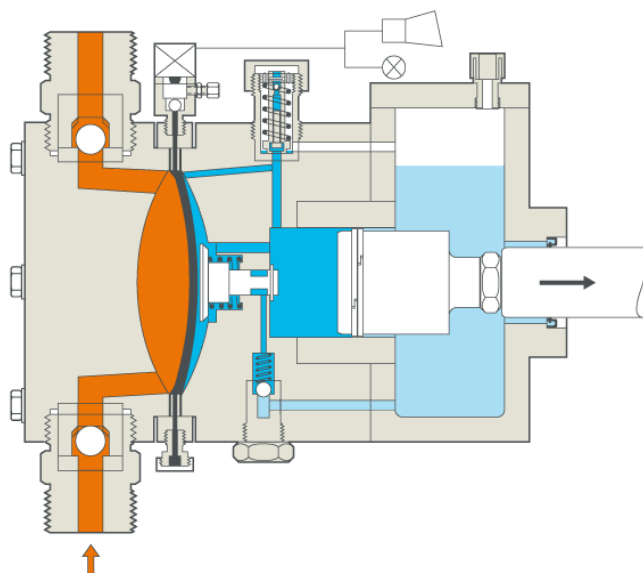


Figura 2. Exemple de bomba de membrana [6]

El funcionament d'aquest tipus de bombes es basa en el moviment del diafragma que provoca, alternativament, la succió i la compressió del fluid. Aquesta característica fa que el flux surti amb pulsació.

1.2.1.2. Bombes de paletes

Les bombes de paletes disposen d'un conjunt d'aletes o paletes amb cinemàtica radial que oscil·len en un cilindre buit amb ranures radials al rotor. L'eix del cos de la bomba està col·locat de forma excèntrica al rotor permetent aquest moviment de vaivé de les paletes.

La cavitat que s'omple està delimitada per l'estator, el rotor i dues paletes. Durant el gir, el volum augmenta i disminueix gràcies a l'excentricitat del model que provoca la impulsió del fluid quan s'arriba a la cavitat corresponent.

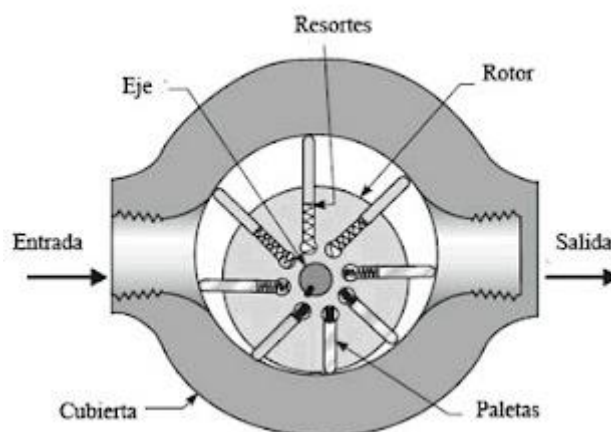


Figura 3. Bomba de paletes [7]

1.2.1.3. Bombes de pistons

Aquest tipus de bombes utilitzen un pistó per a la succió i extracció d'un fluid de dins un cilindre. Cada moviment del pistó expulsa el volum equivalent al del cilindre contenidor.

Existeixen moltes variants degut a la simplicitat del seu disseny; però el model més senzill es basa en disposar d'una entrada i una sortida, que es tancaran durant l'expulsió i l'admissió del fluid respectivament.

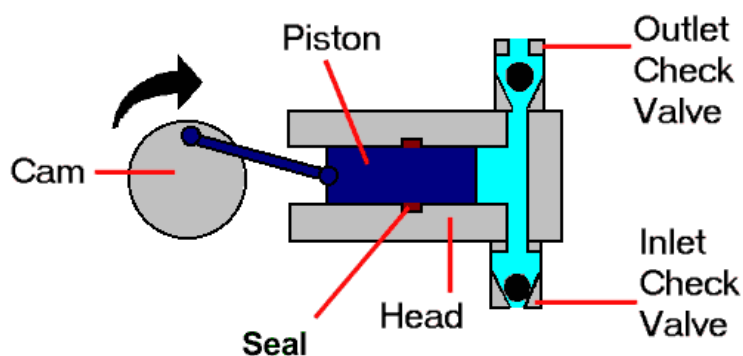


Figura 4. Bomba de pistons simple [8]

1.2.1.4. Bombes d'engranatges

Les bombes d'engranatges es basen en el desplaçament del fluid mitjançant engranatges, ja siguin externs o interns (veure *Figura 5*).

En la bomba d'engranatges externs, un eix mou un dels engranatges que, amb el seu propi moviment, exerceix una força sobre l'altra engranatge provocant el seu moviment. Així, el fluid es desplaçat des de la zona d'admissió fins a la de sortida, on, per la reducció de l'espai entre dents és expulsat.

El principi de funcionament és el mateix en la bomba d'engranatges interns. La diferència radica en que l'engranatge intern, que és també l'engranatge motor, gira encaixant dins les dents de l'engranatge extern, provocant la mateixa reducció de volum que obliga al fluid a sortir.

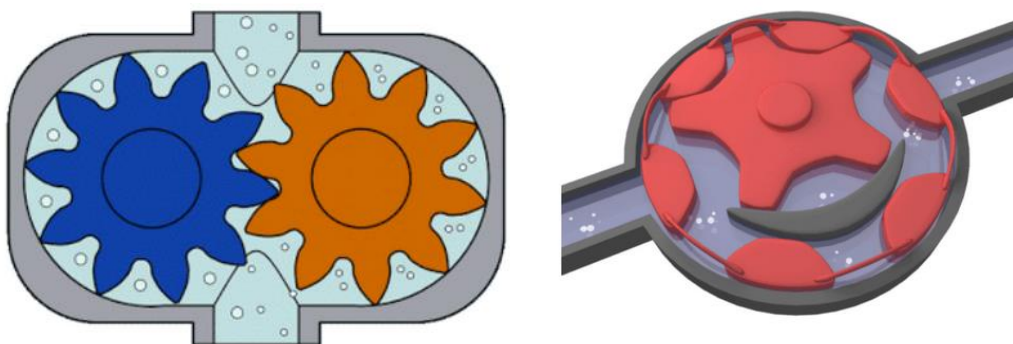


Figura 5. Bomba d'engranatges extern i intern [9]

1.2.1.5. Bombes de lòbuls

Les bombes de lòbuls funcionen de forma molt similar a les d'engranatges externs amb la diferenciació de que els lòbuls no es mouen mitjançant el contacte directe entre ells, sinó, que són accionats per uns engranatges que es troben a la part exterior de la bomba.

Aquest tipus de bombes són molt eficients quan el fluid a transportar té una alta concentració de sòlids en suspensió, però perd molta eficiència quan es tracta de fluids viscosos [10].

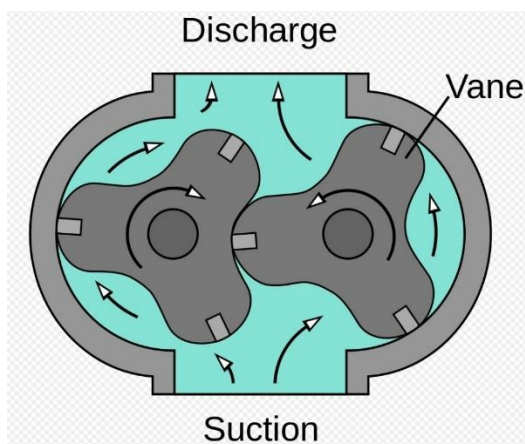


Figura 6. Bomba de lòbuls [11]

1.2.2. Elecció del tipus de bomba

Com ja s'ha exposat a l'apartat 1.2.1 s'ha decidit utilitzar una bomba de desplaçament positiu per a dissenyar el sistema de dosificació. Així mateix, s'han determinat i analitzat els factors que més influeixen en el funcionament del dosificador per tal d'elegir el tipus de bomba més indicat:

Els factors exposats a continuació són els que s'han tingut en compte a l'hora de decidir:

- Automatització i control del procés de dosificació: Un gran nombre de sistemes de dosificació en el mercat actual són d'accionament manual. Aquesta característica comporta que la seva automatització i control sigui molt difícil.

Per aquest motiu, el sistema de dosificació al que es vol arribar ha de poder ser utilitzat mitjançant un sistema electrònic que permeti l'obtenció d'uns volums coneguts. Aquest sistema, a més, permetrà poder dur un control sobre les quantitats de fluid utilitzat, el moment de la seva dosificació, el personal que l'està emprant...

- Ergonomia i facilitat d'utilització: Com s'ha comentat en el punt anterior, la utilització d'un sistema motoritzat per a l'accionament de la bomba és molt important per motius de control; però també ho és per a que pugui ser utilitzat amb facilitat i rapidesa per tot tipus d'usuaris, independentment de les seves característiques físiques.

A més, s'ha de tractar d'un sistema ràpid, còmode i sense variacions en el seu funcionament.

- Sistema de fabricació: La facilitat de fabricació pot ser un factor clau en la reducció de costos.

La bomba que es vol dissenyar s'emprarà per a diferents fluids. Alguns aquests poden ser molt corrosius i, depenent del material de construcció, això pot ocasionar problemes en el correcte funcionament.

Per aquest motiu s'ha decidit utilitzar la impressora 3D per a la fabricació del prototip. Això permet la utilització de PETG (*tereftalat de polietilè modificat amb glicol*) un material hidrofòbic i amb bones qualitats mecàniques i d'acabat.

A més, si fos necessari, la utilització d'aquest material permetria la seva fabricació en sèrie mitjançant processos de fabricació industrials.

Tenint en compte aquests factors s'ha elegit la bomba d'engranatges externs com a la millor opció. Els motius són els següents:

- La seva fabricació i assemblatge enfront de les bombes de membrana i les de paletes és un procés molt més senzill. La gran majoria de peces poden ser impreses en 3D utilitzant el mateix material.
- La durabilitat de les peces d'una bomba d'engranatges és major al no disposar de peces fràgils, com la membrana o el ressorts de la bomba de paletes. A més, substituir alguna peça és un procés senzill i barat.
- L'automatització de la bomba és més fàcil de fer en les bombes que disposen d'un rotor. Això és degut a que el motor utilitzat pot ser directament connectat a l'eix motor sense necessitat de lleves.

Aquesta característica redueix les dimensions de l'assemblatge així com el nombre de peces que intervenen en el seu funcionament evitant possibles desajustos i simplificant el model.

- El flux de fluid que poden aconseguir les bombes de pistons i les de membrana consta d'unes pulsacions molt més marcades que en el cas de la bomba d'engranatges. Això és degut a que la bomba consta de dos processos separats; admissió i ejecció.

La solució d'aquest inconvenient passa per complicar el model amb dues entrades i dues sortides per a reduir l'efecte dels polsos.

En canvi, en les bombes d'engranatges, tot i també produir-se aquest efecte és de menys magnitud i a més, és pot mitigar de formes més senzilles.

- La facilitat de controlar el cabal extret de la bomba és un factor clau en un sistema de dosificació.

En les bombes d'engranatges aquest control és senzill de realitzar. Un cop caracteritzada la bomba, només s'ha de controlar el nombre de voltes que dona l'eix del motor per extreure el cabal desitjat de forma exacta.

- Les bombes d'engranatges interns i externs comparteixen moltes de les qualitats per les quals s'ha decidit utilitzar les segones. Així i tot hi ha algunes diferències en quan a en quines circumstàncies és millor utilitzar-ne unes o les altres.

Les bombes d'engranatges interns tenen un disseny més robust, però les toleràncies entre els engranatges tendeixen a ser majors. Per aquest motiu aquest tipus de bombes funciona millor per a fluids amb viscositats molt altes, ja que, a revolucions relativament baixes (100-200 RPM) els fluids amb poca viscositat no serien bombejats amb la mateixa eficiència [12].

De fet, pel rang de viscositats dels fluids que s'utilitzaran en aquest dosificador disposar de toleràncies menors produirà una major eficiència.

- Les bombes de lòbuls necessiten per al seu accionament un sistema d'engranatges que transmeti el moviment de l'eix als dos lòbuls. Aquesta característica fa que la l'espai ocupat per tot el sistema sigui major i a més que un nombre major de peces es vegi involucrat en el procés.

2. Descripció del procés de disseny

Un cop elegit el tipus de bomba que s'utilitzarà, s'han definit els paràmetres necessaris per a caracteritzar totalment la geometria de la bomba. Les dimensions de la bomba han d'estar d'acord amb la seva finalitat:

- Cabal volumètric esperat: Tenint en compte que la funció d'aquesta bomba és moure un fluid d'un contenidor a un altra s'ha de definir amb quina velocitat es durà això a terme.

El contenidor que ha estat proporcionat té 20 litres de fluid i aquest, ha de ser dosificat en quantitats mig o d'un litre per a poder ser transportats i utilitzats fàcilment per tot tipus d'usuaris. Per aquest motiu, s'ha pensat que un litre cada deu segons (**6 litres/ minut**) és un cabal més que suficient.

- Alçada a vèncer: S'ha pensat que el contenidor de vint litres es trobarà a nivell del terra o, com a molt, a sobre d'una plataforma transportadora d'una alçada pròxima als vint centímetres.

Per a poder utilitzar de forma còmode el sistema de dosificació, aquest ha de disposar de la sortida a una alçada on els usuaris no hagin de fer un esforç físic per a arribar.

Així, s'ha pensat que la altura de la sortida de la bomba es podria situar a uns **80 centímetres** en distancia vertical de l'entrada.

- Característiques del contenidor del fluid: La geometria del contenidor (veure *Figura 7*) d'on s'ha d'extreure el fluid és important a l'hora de dissenyar, no només el sistema hidràulic sinó també la pròpia bomba. A continuació s'exposen les dimensions:
 - Llargària: 28 cm
 - Amplada: 23 cm
 - Alçada: 38 cm
 - Obertura: 47,5 mm
 - Volum de fluid: 20 litres



Figura 7. Contenidor del fluid utilitzat. (Font pròpia)

- Ergonomia i espai ocupat: Com ja s'ha comentat anteriorment és molt important que el sistema sigui de fàcil utilització. A més, el disseny ha de ser compacte i poc voluminós per a que pugui ser fàcilment instal·lat en espais reduïts.
- Característiques del fluid: S'han realitzat algunes proves amb el fluid que se'ns ha proporcionat. Es tracta d'un sabó utilitzat en hotels, restaurants... A continuació s'exposen els càlculs realitzats per a la seva caracterització.
 - Càlcul de la densitat del fluid: Per a calcular la densitat del fluid s'ha pesat un volum conegut d'aquest.

$$\rho_{fluid} = \frac{248,9 \text{ g}}{250 \text{ ml}} = \frac{0,2489 \text{ kg}}{0,00025 \text{ l}} = 995,6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Equació 1. Densitat del fluid

- Càlcul de la densitat de l'esfera: Per a l'experiment s'ha utilitzat una esfera de vidre.

$$\rho_{esfera} = \frac{massa}{\frac{4}{3} * \pi * radi^3} = \frac{5,2 * 10^{-3}}{\frac{4}{3} * \pi * 0,008^3} = 2424,63 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Equació 2. Densitat de l'esfera

- Determinació de la viscositat dinàmica: S'ha realitzat un procediment on es deixa caure una esfera de vidre de densitat coneguda dins un tub d'assaig ple del fluid de també densitat coneguda i s'ha calculat el temps que tarda a passar entre dos punts. Així, s'ha calculat la velocitat de l'esfera (veure Equació 3).

Distància	Temps
350 mm	0,85 s
350 mm	0,9 s
350 mm	0,85 s
350 mm	0,84 s
350 mm	0,87 s
Mitjana	
350 mm	0,862 s

Taula 1. Distàncies i temps de l'experiment de la viscositat

$$velocitat = \frac{distància}{temps} = \frac{2 * 9,81 * (\rho_{esfera} - \rho_{fluid}) * radi\ esfera^2}{9 * viscositat}$$

Equació 3. Equació de la velocitat [13]

A partir de l'Equació 3 i amb els valors extrets de la Taula 1, l'Equació 1 i l'Equació 2 es pot extreure la viscositat del fluid.

$$viscositat = \frac{2 * 9,81 * (2424,63 - 995,6) * 0,008^2}{9 * \frac{0,35}{0,862}} = 0,491 Pa * s$$

Equació 4. Viscositat del fluid a bombejar

2.1. Disseny del rotor

La bomba d'engranatges consta de dos engranatges que giren en sentit oposat. Un d'ells és el que s'anomena engranatge motor, ja que, està directament connectat al motor mitjançant un eix. L'altra engranatge gira solidàriament però en sentit oposat degut a la força que l'engranatge motor exerceix sobre ell.

2.1.1. Elecció del tipus d'engranatges

Els engranatges de la bomba poden ser rectes o helicoidals depenent de les característiques del fluid que s'ha de bombejar.

Amb el resultat de l'Equació 4 i comparant amb la Figura 8, es pot comprovar com la viscositat del fluid de treball no és molt elevada. Tot i així, és molt més viscos que l'aigua i que l'oli d'oliva.

Líquido	Viscosidad aproximada (Pa-s)
Vidrio fundido(500°C)	10^{12}
Bitumen	10^8
Polímeros fundidos	10^3
Jarabes	10^2
Miel líquida	10^1
Glicerol	10^{-1}
Aceite de oliva	10^{-2}
Agua	10^{-3}
Aire	10^{-5}

Figura 8. Exemples de viscositats de diferents materials [14]

Per a la viscositat del fluid que s'utilitzarà, les bombes d'engranatges externs helicoidals podrien funcionar bé. A més, aquest tipus d'engranatges podria proporcionar alguns beneficis, com la disminució de polsos en el flux.

Per contra, aquest tipus d'engranatges necessita de toleràncies molt baixes que compliquen

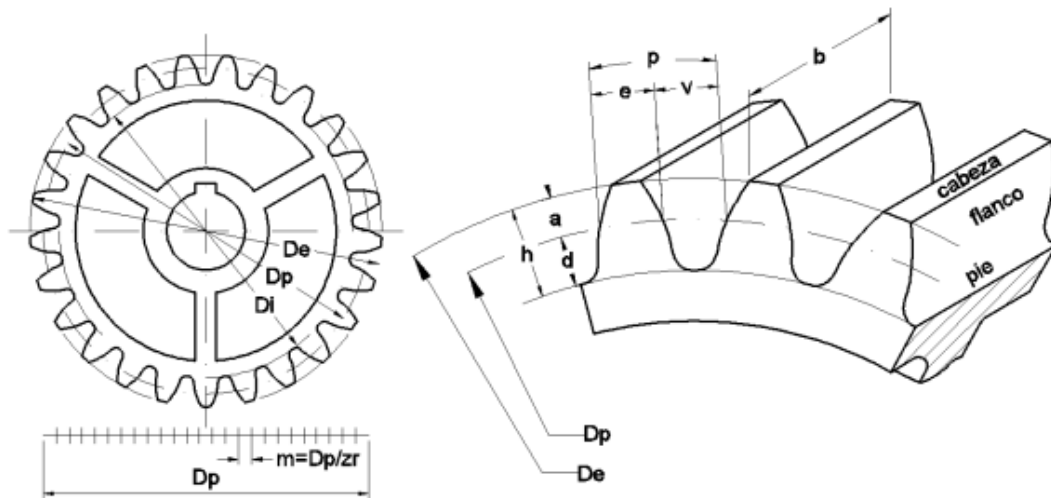


Figura 10. Esquema de les magnituds més importants d'un engranatge recte [17]

- Mòdul (m): És la relació entre el diàmetre primitiu i el nombre de dents que també és la mateixa relació que hi ha entre el pas i el nombre pi.

$$m = \frac{Dp}{z} = \frac{p}{\pi}$$

Equació 5. Mòdul d'un engranatge [17]

- Nombre de dents (z): El nombre de dents és un factor important en la transmissió de potència entre engranatges, però en el cas de una bomba d'engranatges encara té més importància. En l'apartat 2.1.3 s'aprofundirà en aquesta qüestió.
- Diàmetre primitiu (Dp): És la circumferència corresponent a la relació de transmissió.

$$Dp = m * z$$

Equació 6. Diàmetre primitiu [17]

- Diàmetre exterior (De): És la circumferència del cap de les dents.

$$De = Dp + 2 * m$$

Equació 7. Diàmetre exterior [17]

- Diàmetre interior (Di): És la circumferència on es troba el peu de la dent.

$$Di = Dp - 2,5 * m$$

Equació 8. Diàmetre interior [17]

També s'han de tenir en compte els paràmetres que afecten directament a la relació que hi ha entre el dos engranatges.

- Distància entre centres: És la distància que hi ha entre els dos centres de les circumferències que formen el diàmetres primitius.

$$L = \frac{Dp1 + Dp2}{2}$$

Equació 9. Distància entre centres [17]

- Angle de pressió (α): És l'angle que forma la línia de pressió amb la tangent a les dues circumferències primitives.

2.1.3. Desenvolupament del perfil

Les magnitud exposades a l'apartat anterior condicionen la grandària de l'engranatge i, per tant, la quantitat de volum que es desplaça per a cada volta.

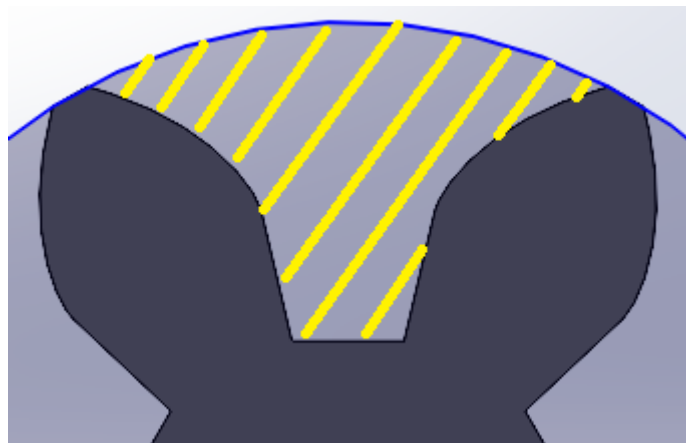


Figura 11. Àrea de desplaçament del fluid (Font pròpia)

L'àrea marcada en color groc de la *Figura 11* representa l'espai en dues dimensions que s'omplirà i que serà transportat de l'entrada de la bomba fins a la sortida. Al volum que ocuparà aquest espai se li ha de restar el que queda atrapat entre les dues dents en el moment del contacte entre els engranatges i que serà retornar a la zona d'entrada de la bomba (veure *Figura 12*).

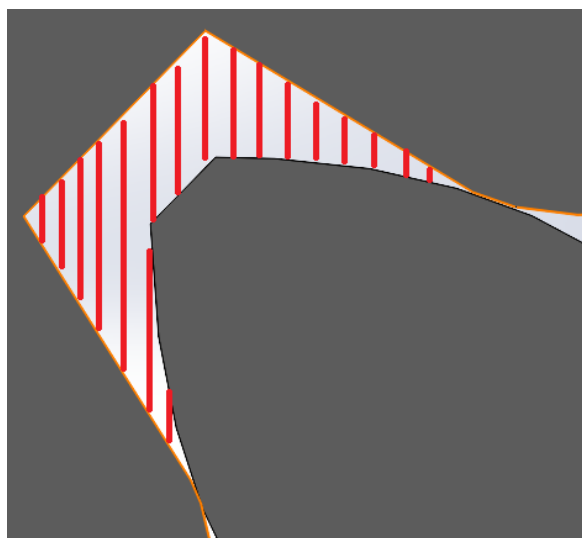


Figura 12. Àrea de retorn de fluid (Font pròpia)

Aquests dues àrees són les que defineixen, juntament amb la llargària de l'engranatge, el volum desplaçat i el de retorn respectivament.

A partir d'aquí es pot treure l'Equació 10, l'Equació 11 i l'Equació 12 que permeten calcular el cabal teòric de la bomba.

$$Q_{desplaçament} = 2 * [\omega * Llargària * N^{\circ} \text{ de Dents} * \text{Àrea de desplaçament}]$$

Equació 10. Cabal de desplaçament (Font pròpia)

$$Q_{retorn} = 2 * [\omega * Llargària * N^{\circ} \text{ de Dents} * \text{Àrea de retorn}]$$

Equació 11. Cabal de retorn (Font pròpia)

$$\begin{aligned} Q_{total} &= Q_{desplaçament} - Q_{retorn} \\ &= 2 * \omega * Llargària * N^{\circ} \text{ de Dents} * [\text{Àrea de desplaçament} \\ &\quad - \text{Àrea de retorn}] \end{aligned}$$

Equació 12. Cabal teòric total (Font pròpia)

L'Equació 12 serveix per a calcular el cabal que la bomba extrauria si no hi hagués cap pèrdua. Aquestes pèrdues són les que sorgeixen al deixar unes toleràncies entre les dents de l'engranatge i el cos de la bomba.

Aquestes toleràncies són necessàries ja que s'ha d'evitar el fregament entre els components rotatius i els estàtics per alentir la degradació d'aquests i a més per a aconseguir un gir més net.

Per aquest motiu, i sabent que el cabal de la bomba al que es volia arribar son 6 litres per cada minut, s'han dimensionat els components per a extreure un major cabal teòric.

2.1.3.1. Longitud i diàmetre primitiu

Tenint en compte l'*Equació 5* veiem com el diàmetre de l'engranatge és directament proporcional al nombre de dents i al mòdul. Així mateix, el cabal teòric augmenta a mesura que augmenta el diàmetre primitiu.

Per tant, com més dents tingui l'engranatge o major sigui el mòdul, major serà el volum extret a cada revolució. Però també, major serà l'espai que ocuparà la bomba i major serà la força que haurà de fer el motor per a realitzar cada volta.

Interessa trobar una relació entre el volum extret i la grandària de la bomba.

Com s'exposarà a l'apartat 2.2 s'utilitzaran motors pas a pas. Aquests motors tenen la característica de que funcionen amb una velocitat angular relativament baixa. Així, s'ha decidit que la velocitat angular amb la que es dissenyarà la bomba és d'entre 100 i 200 RPM. Aquesta velocitat angular és el paràmetre ω de l'*Equació 12*.

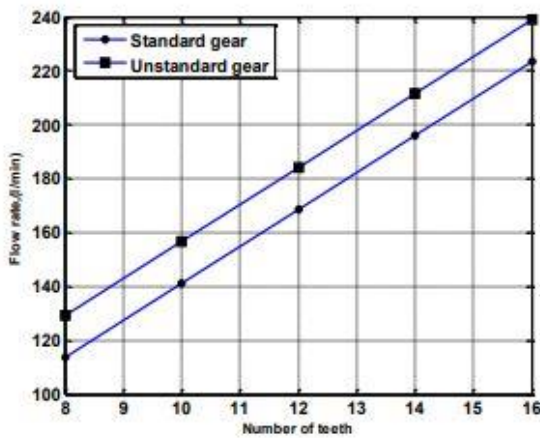


Fig. (5): Relation between number of teeth and theoretical flow rate

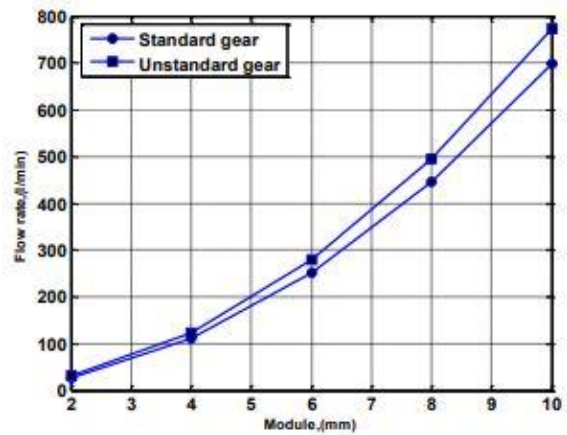


Fig.(6): Relation between module and flow rate

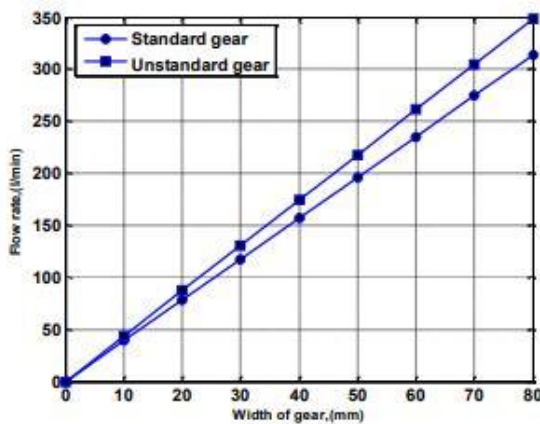


Fig. (7): Relation between width of gear and flow rate

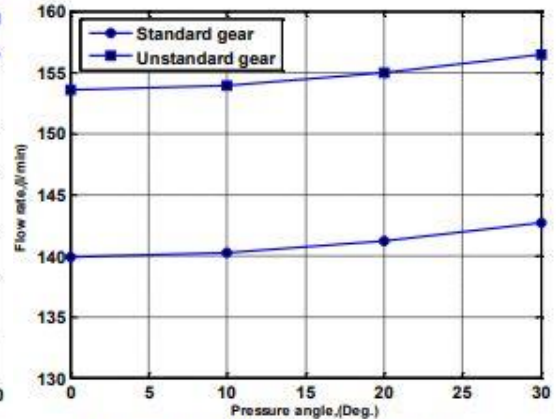


Fig.(8): Relation between pressure angle and flow rate

Figura 13. Relació entre paràmetres de l'engranatge i el cabal. [18]

Com s'ha pogut observar hi ha molts paràmetres relacionats amb els engranatges que influeixen en el cabal final extret. Per a optimitzar aquests paràmetres s'han seguit les conclusions extretes a l'estudi "Effect of Tooth Geometry on Gear Pump Performance" [18].

En aquest estudi es posa de manifest com augmentant l'angle de pressió (α) és pot veure un augment del cabal. En aquest estudi també s'exposa que si el perfil es modifica per reduir l'espai entre dents en el moment d'engranament és pot observar un augment en el cabal extret.

A partir de totes aquestes consideracions s'han definit els següents paràmetres:

- $Z = 6$ i $m = 7,5$: Això dona un $D_p = 45$ mm. Per tant el diàmetre exterior de l'engranatge serà, segons l'Equació 7, de 60 mm.

Com es normal, augmentant tant el nombre de dents com el mòdul el flux extret augmenta. Com es pot veure a la *Figura 13* augmenta més com més gros és el mòdul de l'engranatge que amb el nombre de dents. Per això ha primat augmentar el mòdul i mantenir un nombre de dents petit, sempre mantenint les suficients com a perquè les fluctuacions no siguin extremes.

Els 60 mil·límetres del diàmetre exterior són els que ens definiran una de les dimensions geomètriques de la bomba.

- Angle de pressió = 25° : Com ja s'ha comentat augmentar aquest valor és beneficiós en quant a augmentar el cabal de la bomba. Però, en les bombes d'engranatges externes es sol utilitzar un valor de com a màxim 25° .

Amb aquests paràmetres s'extreu un perfil d'evolvent com el de la *Figura 11*. Però com ja s'ha comentat, la base de la dent ha estat modificada per a reduir l'espai entre dents (veure *Figura 14*).

A més s'han hagut de fer uns canvis al perfil on, amb l'objectiu assegurar la correcta transmissió de moviment, s'han deixat unes toleràncies entre els engranatges. Aquestes toleràncies són necessàries degut a que seran fabricats en impressió 3D i si no és fa, s'hauria de dur a terme un procés d'acabat.

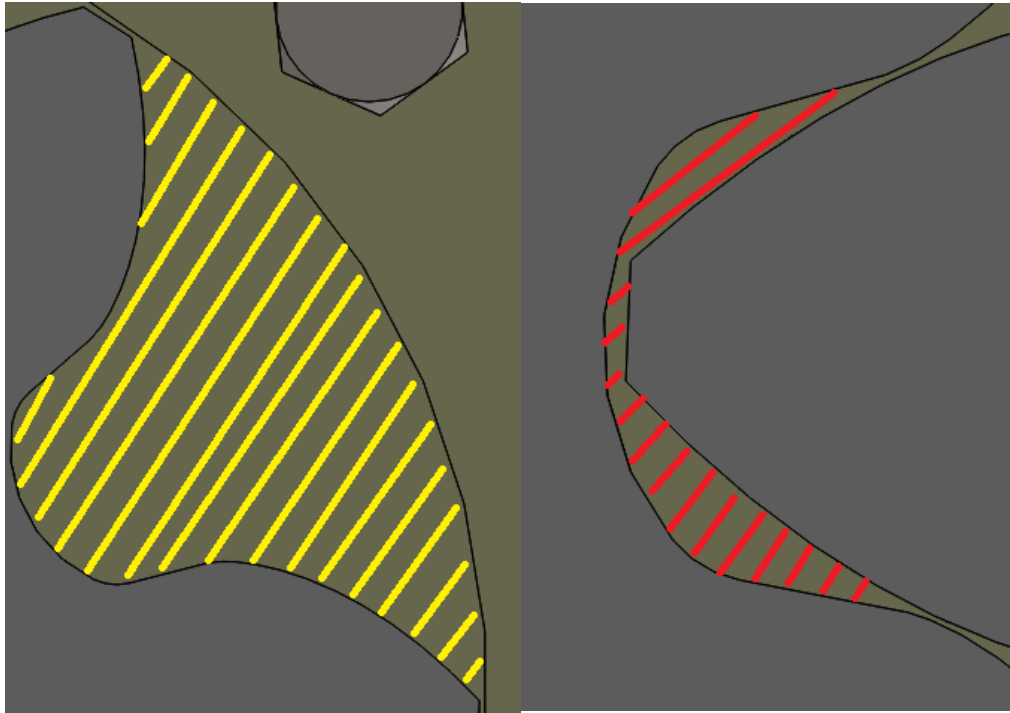


Figura 14. Àrea de desplaçament del fluid final i àrea de retorn del fluid final. (Font pròpia)

- Llargària = 40 mm: Com s'ha vist a la Figura 13 aquest és un paràmetre que afecta en menys magnitud al cabal que el mòdul. Per aquest motiu s'ha decidit el seu valor a partir de l'Equació 13.

$$\begin{aligned}
 Q_{total} &= 2 * \omega * Llargària * N^{\circ} \text{ de Dents} * [\text{Àrea de desplaçament} - \text{Àrea de retorn}] \\
 &= 2 * 150 \text{ RPM} * Llargària * 6 \text{ dents} * [210,68 \text{ mm}^2 - 35,34 \text{ mm}^2] = \\
 &\quad 12 \text{ litres/minut}
 \end{aligned}$$

Equació 13. Càlcul de la llargària de l'engranatge. (Font pròpia)

Aïllant el paràmetre de la llargària de l'equació anterior, per a una velocitat angular de 150 revolucions per minut, s'extreu un valor de 38,021 mm.

El valor de 12 litres per cada minut del cabal total s'ha elegit preveient que degut a les toleràncies i a la relativa viscositat del fluid les pèrdues pels petits espais entre engranatge i cos poden ser grans. Per aquest motiu s'ha decidit doblar el cabal en aquest càlcul.

Finalment per a utilitzar valors exactes s'ha decidit aproximar aquests 38,021 mil·límetres a 40.

2.2. Motors pas a pas

Tenint en compte que la finalitat del sistema desenvolupat és, a més de dosificar, augmentar l'altura d'un fluid; es necessitarà aplicar una potència. La forma de fer-ho serà mitjançant un motor pas a pas.

En aquest apartat s'exposen les característiques del motor utilitzat com tot el sistema de control d'aquest.

2.2.1. Característiques del motor

Els motors pas a pas són motors de corrent continua sense escombretes “*brushless*” on la rotació és divideix en un cert nombre de passos. Aquest tipus de motors tenen unes característiques que els fan molt útils en un sistema dosificador, ja que controlar el nombre de revolucions a la velocitat desitjada és senzill.

Els dos motors que s'han utilitzat en el prototip són el NEMA 17 i el NEMA 23. Aquests dos són motors pas a pas amb la diferència de la quantitat de parell que poden donar. En aquest apartat s'explicaran les característiques del NEMA 23 utilitzat, ja que, el NEMA 17 no disposa del parell necessari.

2.2.1.1. NEMA 23HS22-2804S

El full amb totes les característiques i dimensions d'aquest motor és poden veure a l'*Annex 1*. Aquí però, s'exposaran les més rellevants.

- Bipolar: La direcció del flux de corrent a les bobines del motor és variable. Aquesta facultat permet que és pugui canviar el sentit de rotació dels engranatges facilitant l'encebat de la bomba.
- Angle de pas 1,8°: Aquesta angle indica que una revolució completa de l'eix és divideix en 200 passos, un cada 1,8°. Així i tot, aquest passos és poden reduir mitjançant una electrònica de control adequada.
- Parell de retenció de 1,26 N*m: Aquests tipus de motors encara que no s'estiguin accionant disposen d'un parell a l'eix. Aquesta característica té com a benefici que els engranatges un cop s'acaba l'ordre d'accionament és queden totalment immòbils i per tant, la dosificació pot ser més precisa. Com a inconvenient hi ha el consum energètic, ja que, segueixen consumint tot i que no s'estigui utilitzant. Tot i que és poden apagar del tot perdent el parell de retenció.

- Relació Parell - Velocitat angular: La velocitat en que han de gira el engranatges és una velocitat relativament baixa. Aquest tipus de motors poden donar un parell elevat a baixes revolucions (veure *Figura 31*), el que els fa molt indicats per a desenvolupar aquesta funció.

2.2.2. Electrònica de control

Una de les característiques dels motors pas a pas, com ja s'ha comentat, és la possibilitat de controlar diferents aspectes del seu funcionament. Això permet adequar-lo a diferents necessitats i situacions.

2.2.2.1. Arduino Mega 2560

L'Arduino Mega 2560 és una placa de microcontrolador. Disposa de 54 entrades o sortides digitals, 16 entrades analògiques, 4 ports en sèrie de *hardware*, un oscil·lador de cristall de 16 MHz, una connexió USB, una presa d'alimentació, una capçalera ICSP i un botó de reinici. La corrent se li subministra per la connexió USB tot i que també es podria utilitzar una font externa. El diagrama de pins es pot veure a l'*Annex 2*.

2.2.2.2. Ramps 1.4

S'utilitza per a controlar motors pas a pas, generalment per a impressores 3D. De fet, pot controlar fins a cinc motors pas a pas amb una precisió de pas d'1/16, una interfície amb un fusor, un llit escalfable, un ventilador o un altra fusor, una pantalla LCD, una font d'alimentació de 12 V, fins a tres termistors i fins a sis finals de carrera[19].

Per a aquest treball només s'utilitzarà per a controlar un motor pas a pas, tot i que podria ser utilitzada per a afegir funcionalitats al sistema hidràulic en un futur. La connexió del motor s'ha fet als connectors que corresponen al motor de l'eix X.

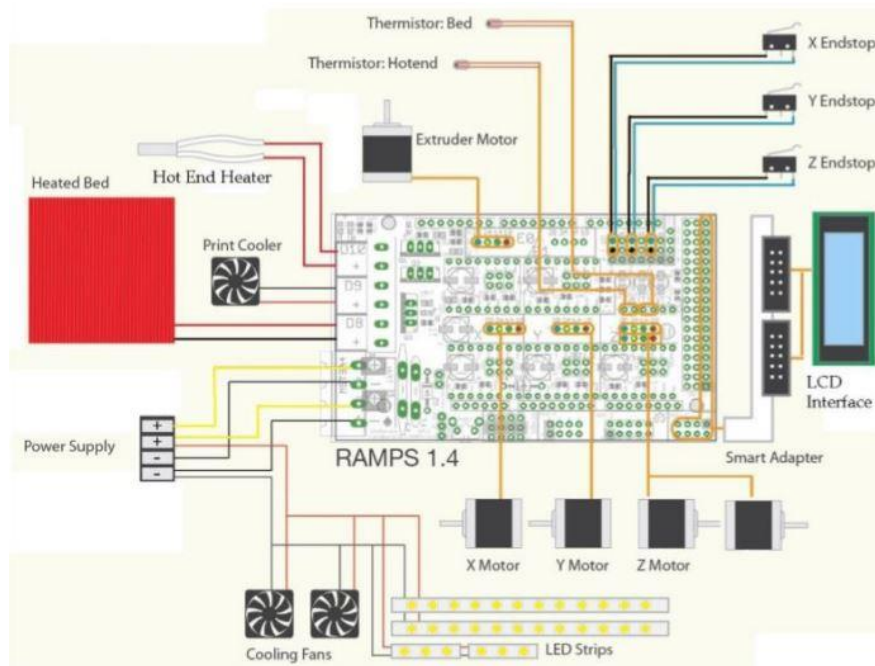


Figura 15. Esquemàtic de la RAMPS 1.4 [19]

2.2.2.3. Trinamic TMC2209

És un controlador de motors pas a pas de dues fases. Incorpora funcions per a detectar canvis ràpids de càrrega del motor, així com és capaç de detectar quan un motor no està en funcionament i reduir per tant el consum d'energia i el sobreescalfament. A més, incorpora funcions de seguretat i protecció contra sobreescalfament, curtcircuits...

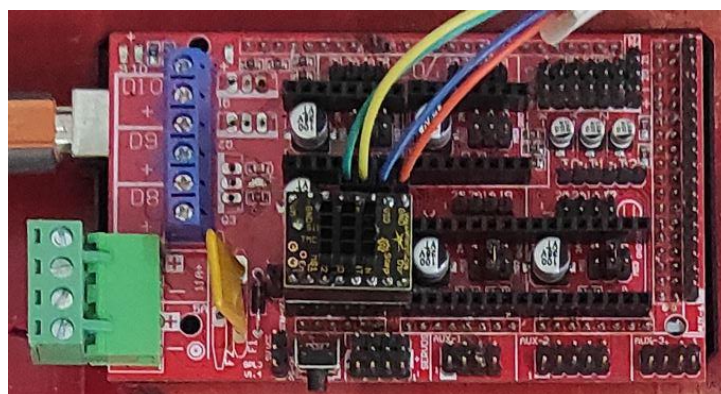


Figura 16. Connexió del Trinamic TMC2209 a la Ramps 1.4 (Font pròpia)

2.2.3. GRBL-Mega-5X

Grbl és una alternativa lliure al control de moviment basat en ports paral·lels per al fresat 3D que funciona amb l'*Arduino Mega 2560*. Es tracta d'un controlador redactat completament en llenguatge C altament optimitzat que és compatible amb el codi g utilitzat normalment en maquinària CNC.

Mega-5X és la versió de *Grbl* on es poden controlar cinc eixos, tot i que a aquest treball només n'emprarem un. La configuració utilitzada és la següent:

```
$0=0          $25=500.000
$1=128        $26=250
$2=0          $27=5.000
$3=0          $30=0
$4=0          $31=5
$5=1          $32=0
$6=0          $100=1600.000  $120=20.000
$10=63        $101=250.000  $121=-0.056
$11=0.000     $102=250.000  $122=0.000
$12=0.000     $103=2000.000 $123=0.000
$13=1         $104=500.000  $124=0.000
$20=0         $110=500.000  $130=-2147483.648
$21=0         $111=360000.000 $131=-0.000
$22=1         $112=3600.000  $132=0.000
$23=0         $113=3600.000  $133=-0.000
$24=100.000  $114=-200.000  $134=2147483.648
```

Figura 17. Configuració utilitzada (Font pròpia)

2.3. Disseny del sistema hidràulic

El sistema hidràulic està format per una vàlvula antiretorn connectada a un tub de 25 mm. Aquest tub es condueix el fluid des de la part inferior del dipòsit de sabó fins a l'entrada de la bomba. Tub i bomba estan connectats mitjançant la unió d'un mascle i una femella de $\frac{3}{4}$ ".

La sortida de la bomba disposa del mateix sistema que l'entrada, però el mascle es connecta a una peça en forma de T on la sortida superior es farà servir per a cebar la bomba i la lateral es connecta a un tub imprès en forma de grifo (veure *Figura 18*).

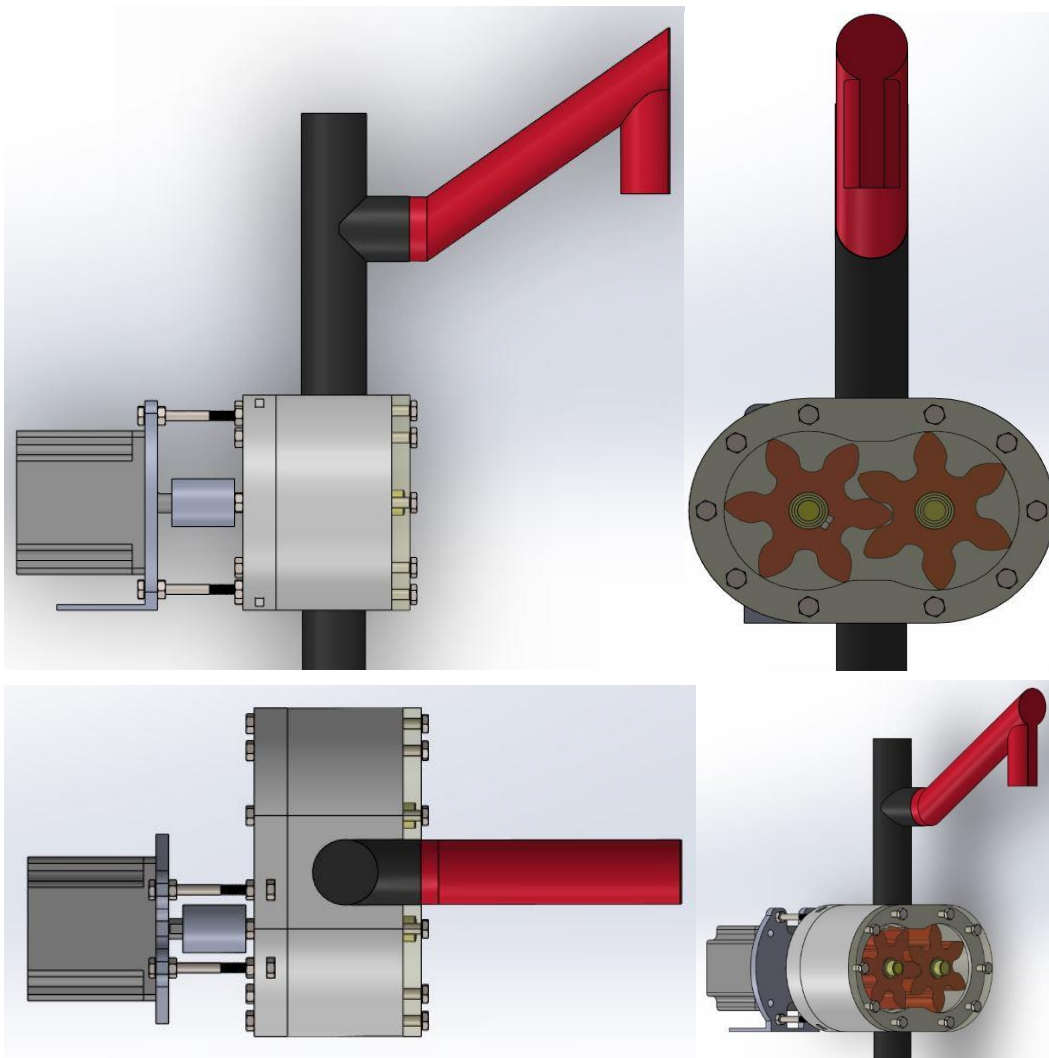


Figura 18. Vistes del sistema hidràulic en SolidWorks (Font pròpia)

2.3.1. Parts fabricades o mecanitzades

Les diferents parts que formen la bomba d'engranatges han estat fabricades de diferent forma, algunes han estat mecanitzades, d'altres impreses en 3D i també n'hi ha que s'han hagut d'imprimir en 3D i després s'han hagut de mecanitzar.

2.3.1.1. Parts impreses

Per a la fabricació d'algunes de les peces que conformen el sistema hidràulic s'ha utilitzat una impressora 3D. En concret la impressora utilitzada és una *Original Prusa i3 MK3S* i el material utilitzat és PETG (veure les propietats a l'*Annex 3*)

El procés per passar les peces dissenyades mitjançant *SolidWorks* al software de *PRUSA* passa per exportar-les a format STL. Les propietats en que s'ha exportat son desviació = 0,01 mm i angle 0,5°.

Les característiques de la impressió també s'han de definir; tot seguit s'exposaran les més importants:

- L'alçada de capes és de 0,2 mm.
- S'han posat 6 capes sòlides tant a l'inici com al final de la impressió.
- La temperatura d'impressió és de 230° al broquet i el llit es troba a 85°.
- La densitat de farciment "*infill*" és del 40%.
- A més s'ha augmentat en 0,05 mm alguns dels paràmetres de l'amplada de l'extrussió.

A partir d'aquí, segons la geometria i funció de cada peça la impressió es realitzarà en una direcció o una altra, ja que, algunes geometries no és poden imprimir de forma convencional.

- Engranatges: A l'apartat 2.1.2 s'ha parlat de quina seria la forma del perfil dels engranatges, però, a més necessitaran d'un eix mitjançant el qual podran rotar i per tant hauran de tenir un forat on encaixar aquest eix.

Primerament, pensant amb un eix d'alumini, la unió entre eix i engranatge s'ha dissenyat amb pernys que travessen l'engranatge i l'eix i fixats amb una femella per l'altra costat (veure *Plànol 7*)

S'ha de comentar que els dos engranatges son diferents degut a que només un

d'ells rep el moviment provinent del motor i l'altra és mou solidàriament. El primer l'anomenarem engranatge motor i al segon engranatge conduït.

Un cop s'ha anat avançant en el desenvolupament del model s'ha decidit utilitzar eixos calibrats d'acer inoxidable, els quals no son tant fàcils de trepanar. Per aquest motiu s'ha pensat en posar dos pernys presoners entre eix i engranatge, cosa que ha fet canviar la geometria d'aquests últims.

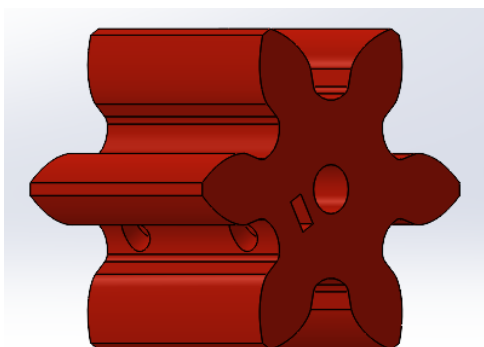


Figura 19. Model CAD de l'engranatge motor (Font pròpia)

L'engranatge motor és el que ha sofert aquestes modificacions i en canvi l'engranatge conduït s'ha encaixat a pressió al seu eix. El motiu és que només l'engranatge motor necessita captar el moviment del motor a través de l'eix, cosa que no passa a l'engranatge conductor. (veure *Figura 19* i *Plànol 6*)

- Cos central: El cos de la bomba està condicionat per les dimensions del engranatges. Com és pot veure a la *Figura 20* i al *Plànol 1* es tracta d'un recipient pels engranatges d'una llargària una mica superior per poder encaixar la tapa posterior i frontal de forma que la junta entre ells presenti dos plans diferents i així s'aconsegueixi una major estanqueïtat.

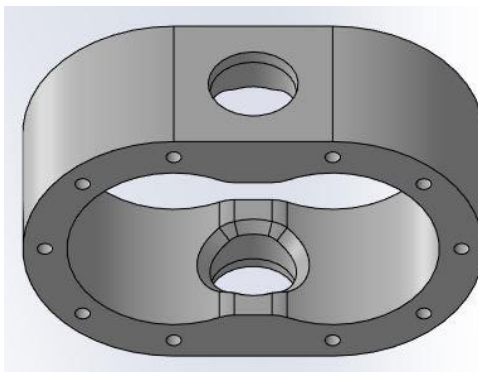


Figura 20. Model CAD del cos central (Font pròpia)

- Tapa posterior: La tapa té la funció de tancar l'espai que deixa el cos central (veure *Plànol 3*). La seva geometria ve a ser continuació del cos central amb la intenció de crear una caixa, juntament amb la tapa frontal, on hi vagin els engranatges. Per aquest motiu els dos orificis s'alineen un a un i a més presenta una zona amb més gruixa que encaixa a l'espai interior del cos central.

Aquesta tapa consta a més de dos orificis amb les dimensions dels rodaments a utilitzar i alineats amb la posició de l'eix dels engranatges.

També s'ha de comentar que disposa de quatre ranures als costats per on s'introduiran les femelles que fixaran les barres corrugades on es connectarà el suport del motor.

A tot això, se li ha d'afegir que aquí també s'hi troba el sistema de junta estanca que s'exposarà a l'apartat 2.3.2.

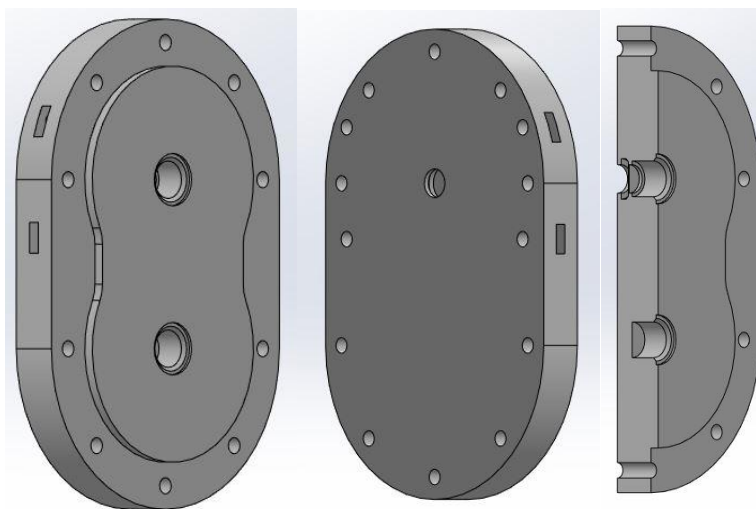


Figura 21. Vistes frontal, posterior i de secció de la tapa posterior (Font pròpia)

- Vàlvula antiretorn: La vàlvula antiretorn que s'ha utilitzat és una primera aproximació d'una vàlvula plenament funcional.

Aquest mecanisme està format per dues peces impreses en 3D i una bolla de vidre. La primera peça és un tub amb un diàmetre exterior igual al tub interior del tub que condueix fins a la bomba.

Aquesta peça a la part inferior augmenta el seu diàmetre quedant en forma de campana. Aquí és on, mitjançant una rosca, s'hi connecta la segona part impresa.

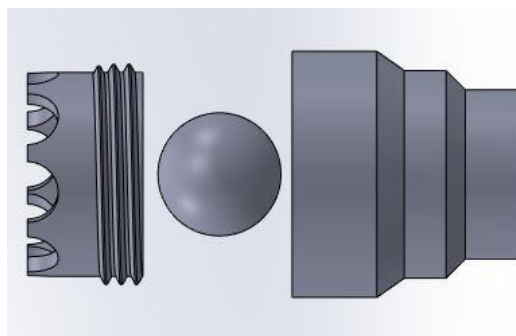


Figura 22. Disseny del sistema antiretorn (Font pròpia)

La bola al tenir una densitat superior a la del fluid tancarà l'obertura i no deixarà que el fluid de dins la bomba torni dins el dipòsit, però quan la bomba estigui succionant aquesta podrà moure's i permetre l'entrada de fluid (veure *Plànol 14* i *Plànol 15*).

- Suport i peces centradores: Aquestes peces no formen part directe del sistema de bombeig però ajuden a que sigui funcional i és mantingui estable, les seves dimensions es poden veure a la *Figura 23* i al *Plànol 11*.

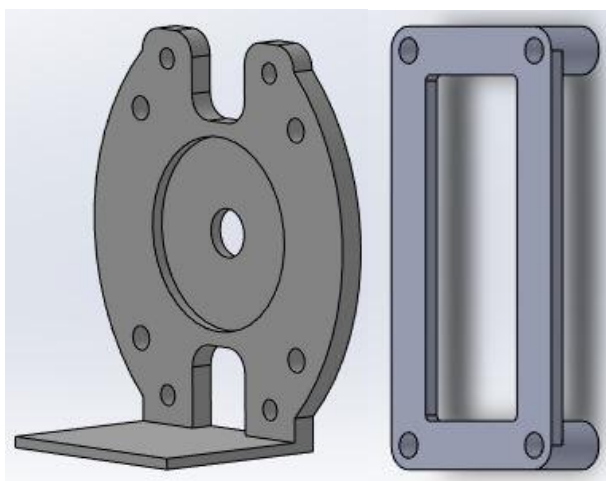


Figura 23. Suport del motor i peces centradores respectivament (Font pròpia)

- Tap dipòsit: Es tracta d'una peça destinada a tancar l'espai buit que queda entre el tub i l'entrada del dipòsit per evitar l'entrada de cossos estranys. Aquest s'enrosca a la sortida del dipòsit i consta d'un orifici pel qual surt el tub que va a l'entrada de la bomba (veure *Figura 24* i *Plànol 13*).

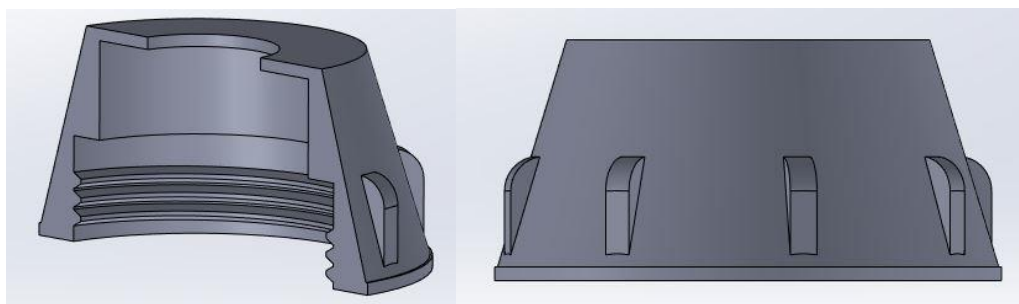


Figura 24. Model del tap pel dipòsit. (Font pròpia)

2.3.1.2. Tapa frontal

La tapa frontal s'ha decidit que per aquest prototip no es faria impresa. El motiu és poder observar com es comporten els engranatges i poder veure el moviment del fluid dins la bomba.

Degut al material que s'utilitza per a la impressió 3D, no és possible imprimir la peça d'un color que permeti veure bé l'interior de la bomba. Per aquest motiu s'ha decidit mecanitzar una placa de metacrilat amb les dimensions que es poden veure al *Plànol 2*.

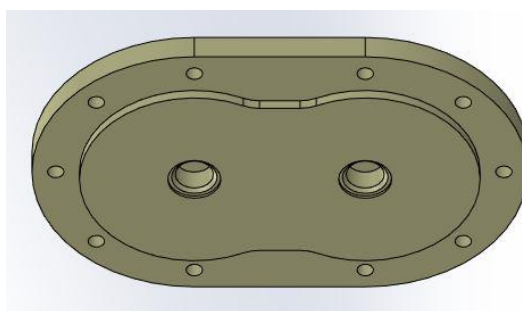


Figura 25. Model de la tapa frontal (Font pròpia)

La placa que s'ha utilitzat té una gruixa de 10 mil·límetres, cosa que ha obligat a fer alguns canvis en altres components. El procés de mecanitzat s'ha dut a terme a terme amb una fresadora CNC i s'exposa a l'apartat 4.1.

2.3.1.3. Eixos

Els eixos, com els engranatges, es poden separar per eix motor i eix conduït.

- Eix motor: Aquest eix és el que rep el moviment directament del motor mitjançant un acoblador i el transmet a l'engrenatge motor. Per tant necessita d'unes operacions específiques per a fer possibles les unions entre components.

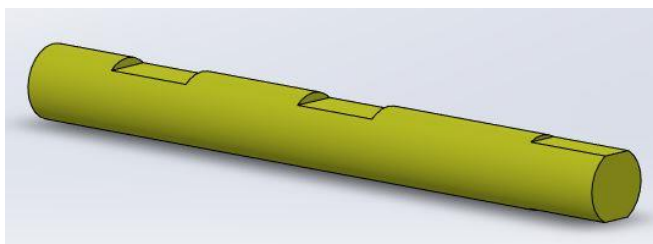


Figura 26. Model de l'eix motor (Font pròpia)

Es tracta d'un eix de 8 mil·límetres de diàmetre que disposa d'unes ranures que augmenten la pressió que els perns presoners podran fer sobre ell, millorant la transmissió de moviment (veure *Figura 26*). Aquestes unions s'expliquen a l'apartat 4.1.

La llargària de l'eix és la suficient com a per a encaixar dins la tapa frontal, deixant una tolerància al final, i per a sortir la distància suficient perquè l'acoblador pugui aplicar bé la pressió (veure *Plànol 4*).

- Eix conduït: Es tracta d'un eix de 8 mil·límetres amb la llargària necessària per a encaixar dins la cavitat que formen les dues tapes i el cos central deixant una tolerància als seus extrems (veure *Plànol 5*).
- Tub de sortida: Aquest tub s'ha dissenyat per anar enroscat a una sortida horitzontal just a sobre del del cos de la bomba. Així es conduïeix el fluid fins a l'altura suficient com a per poder col·locar un recipient al davall (veure *Figura 27* i *Plànol 12*).

Aquest pendent permet, a més, que la dosificació sigui molt més exacta que amb un tub horitzontal, ja que, quan l'engrenatge deixa de girar, el líquid que encara no hagi sortit quedarà a un nivell inferior del de la sortida d'aquest tub.

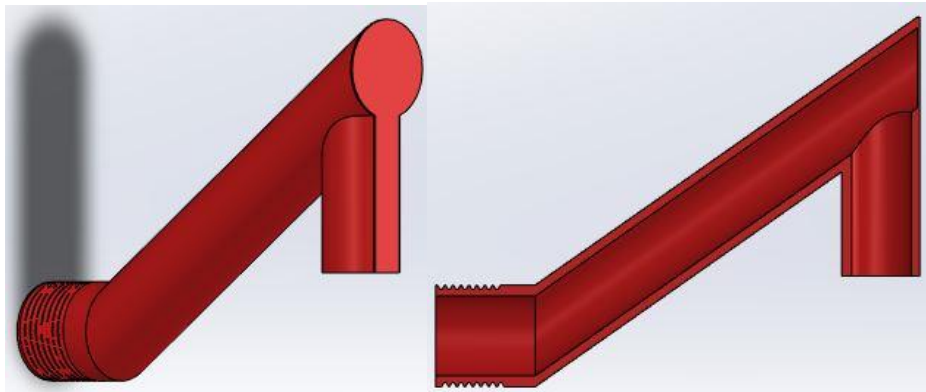


Figura 27. Model del tub de sortida (Font pròpia)

2.3.2. Junta estanca

La junta estanca està formada per dos elements, la tapa posterior i un anell tòric. Com es pot veure a la *Figura 29 i Plànol 3*, d'esquerra a dreta, la tapa posterior consta d'un orifici de 8 mil·límetres de diàmetre per on s'entrarà l'eix. Seguidament s'hi troba una cavitat amb un diàmetre de 11,36 mil·límetres on s'hi situarà l'anell tòric de 12 mil·límetres de diàmetre exterior i de 8 d'interior.

Per tant, degut a que l'anell tòric és d'un diàmetre major a la cavitat, aquest es comprimirà oferint una major estanqueïtat. Per a que l'anell no quedi massa comprimit s'ha deixat un espai buit que va disminuint de diàmetre.

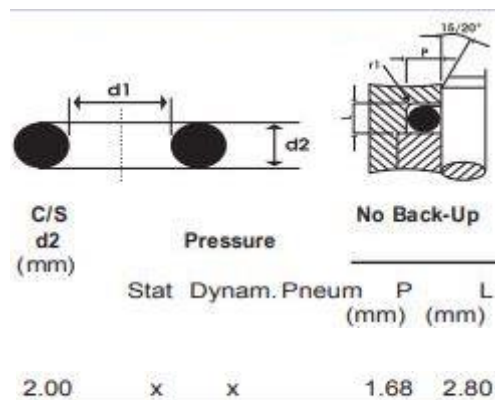


Figura 28. Toleràncies per a la cavitat de l'anell tòric [20]

A la dreta, seguint l'orientació de la *Figura 29*, es torna a un orifici de 8 mil·límetres pel que es separa la junta estanca del rodament. A aquesta figura és pot observar com per sobre l'eix hi ha una petita capa que sembla que el parteix, aquesta fina paret és un element

necessari per a la impressió que serà retirat abans del muntatge.

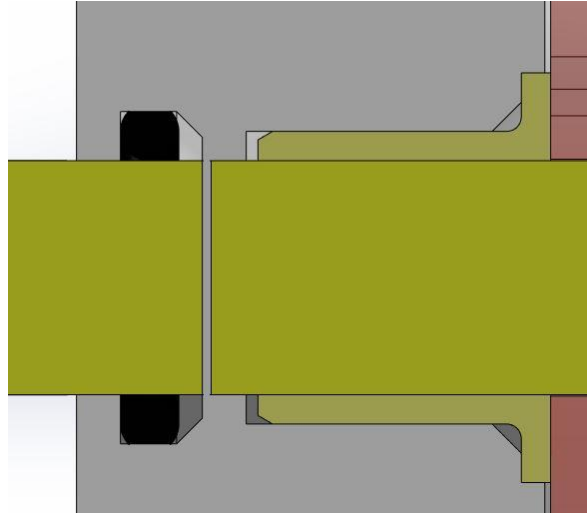


Figura 29. Vista de secció del model CAD de la junta estanca (Font pròpia)

2.3.3. Coixinets

S'han utilitzat quatre coixinets en aquest model, els elegits han estat coixinets de fricció de la marca IGUS i el model JFM-081014-10 les dimensions dels quals es poden veure a la Figura 30. L'elecció de coixinets de fricció en front als de bolles és degut a que es vol que siguin totalment de plàstic, que siguin resistents a la corrossió i de fàcil substitució.

Part Number	d1 ¹⁾	d2	d3	b1	b2	I.D. After Pressfit*		Housing Bore		Shaft Size	
						Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
JFM-081014-10	8.0	10.0	14.0	10.0	1.00			10.000	10.015	7.964	8.000

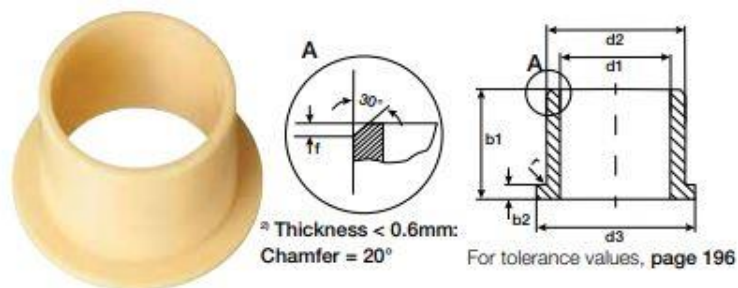


Figura 30. Dimensions dels coixinets de fricció. [21]

Tot i així, dos dels coixinets han estat modificats, les dimensions finals dels quatre utilitzats es poden veure al Plànol 8 i a Plànol 9.

2.3.4. Toleràncies entre components

En aquest apartat s'exposaran les toleràncies que s'han deixat entre alguns components per a millorar el funcionament de la bomba.

2.3.4.1. Toleràncies teòriques

Aquestes toleràncies corresponen a les que s'han dissenyat expressament en model CAD:

- Engranatge – Cos Central: S'ha deixat 0,3 mil·límetres entre el punt superior de les dents i al paret del cos central
- Engranatge – Tapa frontal: La distància entre les dues cares és de 0,2 mil·límetres.
- Engranatge – Tapa posterior: Igual que l'anterior.
- Engranatge – Eix: S'ha dissenyat l'orifici de l'engranatge per on s'introduirà l'eix 0,1 mil·límetres major.

En cap altra lloc s'han deixat toleràncies per a millorar el funcionament, tot i que, com es veurà a l'apartat següent degut als processos de fabricació han sorgit algunes toleràncies no desitjades.

2.3.4.2. Toleràncies reals

Algunes de les toleràncies del muntatge no es poden calcular amb les eines de les que es disposa. Aquestes son les toleràncies que és poden midar amb l'estudi de les peces fabricades:

- Engranatge – Cos Central: La tolerància amb el muntatge fet no s'ha pogut calcular, però si per les dimensions de cada part.
 - o Distància de dent a dent de l'engranatge: *59,77 mm*
 - o Diàmetre de la cavitat on es situa l'engranatge: *60,2 mm*

Per tant l'espai entre els dos seria de 0,215 mil·límetres, 0,085 mil·límetres menor al dissenyat.

- Engranatge – Tapa frontal – Tapa posterior: No s'ha pogut calcular la tolerància en el muntatge, però s'exposaran les dimensions part per part.
 - o Distància interior entre rodaments: L'amplada del cos central menys el que

sobresurt cada rodament de la tapa és l'espai disponible pels engranatges:
 $46,02 - (2,76 + 0,26) - (2,36 + 0,36) = 40,28 \text{ mm}$

- Amplada engranatges: $40,08 \text{ mm}$

Això significa que l'engranatge té almenys 0,2 mm a la part del davant o del darrera entre la seva cara i la del rodament que segons el disseny no tocarien existir. Això pot no ocasionar problemes de funcionament degut a que els engranatges estan fixats per altres elements mecànics, però sí que augmenta les pèrdues.

- Distància interior entre tapes: L'amplada del cos central menys l'altura de les tapes: $46,02 - 2,76 - 2,36 = 40,9 \text{ mm}$
- Amplada engranatges: $40,08 \text{ mm}$

Per tant l'espai lliure entre engranatge i tapes serà almenys de 0,82 mm repartits entre la part del davant i del darrera, quan segons el disseny hauria de ser de 0,4 mm.

- Engranatge – Eix: El forats de peces impreses s'espera que disminueixin el diàmetre respecte al seu disseny, i així ha estat en aquest cas.
 - Diàmetre engranatge motor: $7,92 \text{ mm}$
 - Diàmetre engranatge no motor: $7,94 \text{ mm}$
 - Diàmetre eix: $8,02 \text{ mm}$

Per aquest motiu els engranatges han quedat fixes a l'eix sense cap més element mecànic, tot i que per l'engranatge motor s'ha dut a terme un mètode per a assegurar que es transmet correctament el moviment (veure 4.1).

- Cos central – Tapa frontal: Entre aquests dos elements no hi hauria d'haver cap tolerància, però degut als processos de fabricació en podem trobar.
 - Diàmetres part interior cos central – Diàmetres tapa frontal: $60,2 - 59,58 = 0,62 \text{ mm}$
 - Distància lineal de la part central de la cavitat del cos central – Distància lineal de la part central de la tapa frontal: $52,72 - 51,98 = 0,7 \text{ mm}$
- Cos central – Tapa posterior: Entre aquests dos elements no hi hauria d'haver cap tolerància, però degut als processos de fabricació en podem trobar.
 - Diàmetres part interior cos central – Diàmetres tapa posterior: $60,2 - 60,18 = 0,02 \text{ mm}$
 - Distància lineal de la part central de la cavitat del cos central – Distància lineal de la part central de la tapa posterior: $52,72 - 52,7 = 0,02 \text{ mm}$

Com es pot observar en els dos punts anteriors els espais que queden entre components son molt majors entre el cos central i la tapa frontal. Això és degut a que durant el procés de fabricació de la tapa frontal es va utilitzar una fresadora CNC que, tot i que hauria de tenir millor acabat, si en la definició de la geometria de l'eina a utilitzar les dimensions no son exactament les correctes les dimensions finals de la peça mecanitzada no son precises.

3. Anàlisi numèric del model

En aquest apartat s'exposaran els anàlisis numèrics realitzats al model exposat a l'apartat anterior.

3.1. Estimació de la potència

La potència d'un motor es pot extreure relacionant el parell amb la velocitat angular com es pot veure a l'*Equació 14*.

$$P_{motor}[W] = \frac{Parell[N * m] * \omega[RPM] * 2 * \pi}{60}$$

Equació 14. Potència d'un motor

Aquests dos valor els podem extreure de les corbes *Parell-Velocitat Angular* del motor que s'utilitzarà per a les proves; el NEMA 23. A l'apartat 2.2 s'han comentat les característiques i s'ha exposat el model exacte que s'utilitzarà per aquest prototip.

A la *Figura 31* es poden observar els valors de parell a les qual es pot arribar a una velocitat angular determinada. D'aquí es pot extreure que a la velocitat mitjana de funcionament esperada pel prototip, 150 RPM, la potència desenvolupada serà de 12,17 W.

$$P_{motor}[W] = \frac{0,775[N * m] * 150[RPM] * 2 * \pi}{60} = 12,17 W$$

Equació 15. Estimació de la potència desenvolupada pel motor

Un mètode per estimar la potència que necessària en el motor és utilitzant l'*Equació 16*. Un cabal de 12 litres cada minut equival a $0,0002 \frac{m^3}{s}$, però per a l'increment de pressió, ΔP , s'haurà d'utilitzar un model d'elements finits.

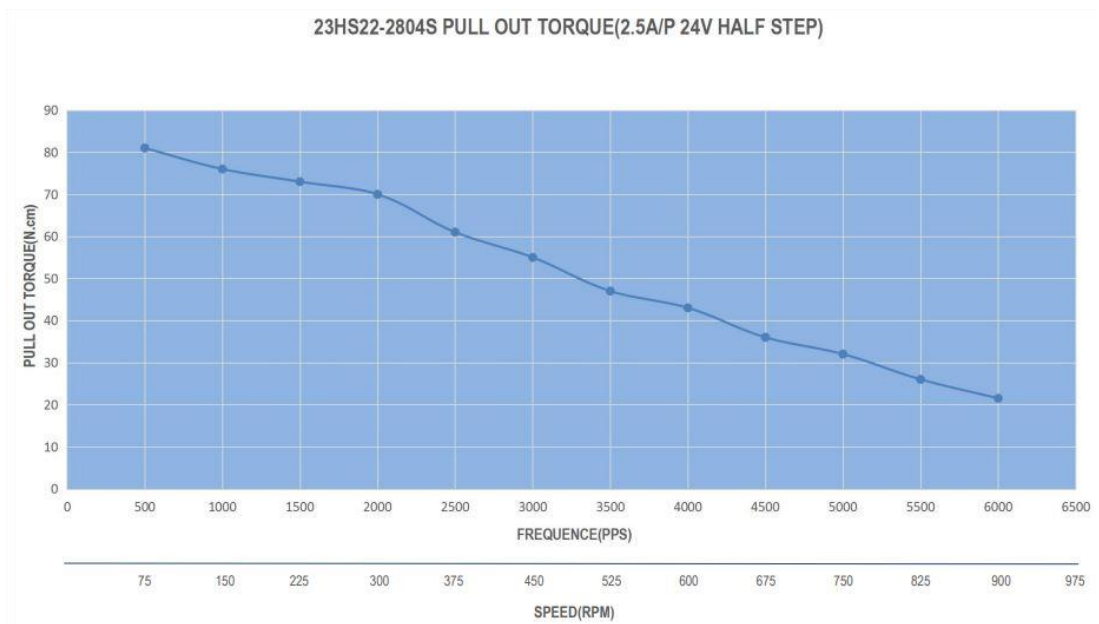


Figura 31. Corbes de parell en relació a la velocitat angular del NEMA 23HS22-2804S.
[22]

Per el model d'elements finits s'ha fet servir *SolidWorks Flow Simulation*, el model utilitzat és el mateix que a l'apartat 3.3.1 però la condició de contorn pel cabal en aquest cas és de 12 litres per a cada minut. A la *Figura 32* i a la *Figura 33* es poden veure les distribucions de pressions absolutes per al cabal esmentat a la sortida i a l'entrada de la bomba respectivament.

$$P = Q_{total} * \Delta P$$

Equació 16. Estimació de la potència.

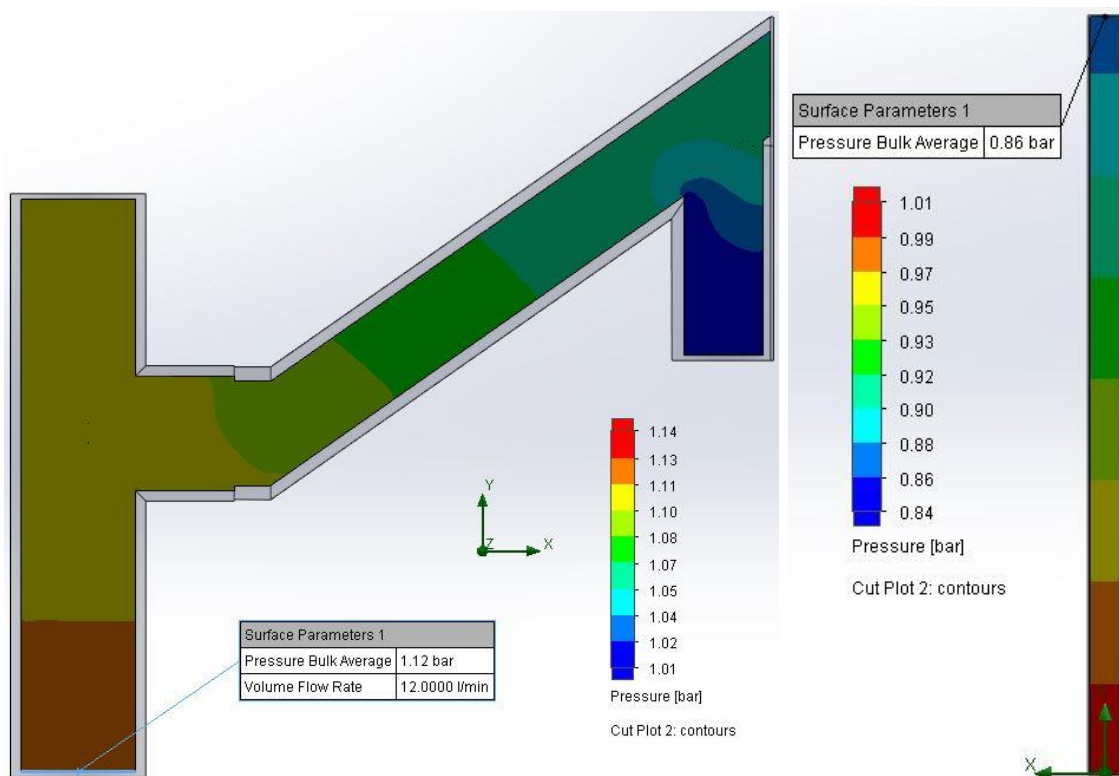


Figura 32 i Figura 33. Distribució de pressions a la sortida del dosificador per a 12 l/min i distribució de pressions a l'entrada del dosificador per a 12 l/min (Font pròpia)

Així, l'increment de pressions a l'entrada és de 0,153 bar i a la sortida de 0,107 bar. Utilitzant l'Equació 16 és pot aproximar la potència que és necessitarà per a aixecar el fluid del dipòsit a la sortida del sistema hidràulic (veure Equació 17).

$$P = 0,0002 \frac{m^3}{s} * 26338 Pa = 5,27 W$$

Equació 17. Potència necessària per a elevar el fluid del dipòsit a la sortida del sistema hidràulic (Font pròpia)

Per a la simulació no s'ha tengut en compte la vàlvula antirretorn, tot i que sí que s'ha pensat en la pèrdua de càrrega d'aquesta a l'hora de dimensionar la bomba.

3.2. Tipus de model

La simulació del comportament dels fluids és un procés complexa, i fins i tot, en el cas d'aquest estudi, estudiar el seu comportament dins una bomba d'engranatges pot resultar impossible amb molts dels programes especialitzats en la simulació mitjançant elements finits.

En aquest apartat es resumiran les simplificacions realitzades per a adaptar el model als programes de simulació disponibles així com el model més aproximat que s'ha aconseguit.

3.2.1. Mètode numèric

Principalment s'han utilitzat tres *softwares* especialitzats en la simulació com son *SolidWorks*, *ANSYS* i *Simscale*, els tres basats en la dinàmica de fluids computacional (CFD).

És una de les branques de la mecànica de fluids que utilitza mètodes numèrics i algorismes per a resoldre i analitzar problemes sobre el flux de fluids. Així, mitjançant una geometria relativament complexa, com pot ser el cos d'una bomba d'engranatges, és pot extreure una aproximació del seu funcionament real, cosa que seria impossible de fer manualment. El CFD es pot veure com un conjunt de metodologies computacionals que s'utilitzen per resoldre les equacions que regeixen el comportament del flux.

En tots els diferents programes es segueix una metodologia semblant:

- Crear el volum que ocuparia el fluid amb un model CAD.
- Dividir aquest volum en cel·les que poden tenir diferents formes i grandàries depenent de cada simulació (veure *Figura 34*). Com més petits son més precisa serà la simulació, però més llarg serà el procés de resolució.
- Definir el model físic i les condicions de contorn del model. El pas crític és aquest darrer punt, on es decideixen quines condicions de contorn i equacions s'han d'utilitzar.
- Començar la simulació i les equacions que hi intervenen es resolen iterativament.
- Finalment és pot visualitzar la solució de la simulació i procedir a analitzar el que es consideri més important.

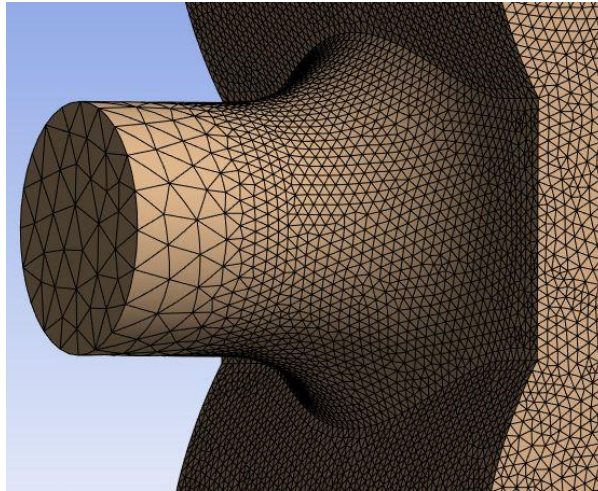


Figura 34. Elements a l'entrada de la bomba d'un model mitjançant ANSYS (Font pròpia)

3.3. Simulació del model

En aquest treball es poden diferenciar dos tipus de simulacions, una pel flux del fluid en els tubs i l'altra pel moviment del fluid dins de la bomba d'engranatges. Per aquest motiu s'han hagut de fer dos models i s'han hagut de simular de forma separada els dos.

A més, degut a la complexitat de la simulació de la bomba no s'ha pogut utilitzar el programari del qual és disposta de llicència d'estudiant per a la seva simulació.

3.3.1. Simulació de les zones d'absorció i extracció del fluid

L'entrada i al sortida del sistema hidràulic s'han simulat mitjançant *SolidWorks*. El motiu és que es disposa d'una llicència d'estudiant i que, a més, per a la simulació de geometries simples, com son els tubs, és molt útil i rapid.

El procés seguit és com el descrit a l'apartat 3.2.1 i seguidament s'exposaran les característiques d'aquest.

3.3.1.1. Tub d'absorció

En aquesta simulació es representa el tub que s'encarrega de transportar el fluid desde dins el diposit fins a la bomba d'engranatges. Una de les característiques de la simulació de fluids mitjançant *SolidWorks* és que la geometria creada no representa el fluid, sino el seu contenidor i és el propi programari qui interpreta la zona que correspon al fluid. Seguidament s'exposarà el procés de simulació:

- Es tracta d'un tub de 22 mil·límetres de diàmetre i de 55 centímetres d'alçada. Com ja s'ha comentat en aquest programari és crea el model CAD del contenidor i no dels contingut però es necessari crear una tapa a l'entrada i a la sortida del tub.
- Com es pot veure a la *Figura 35*, els elements que conformen la malla tenen diferents dimensions. El motiu és aconseguir una millor simulació de la interacció del fluid amb les parets del tub però, per contra, s'allarga el procés de simulació.

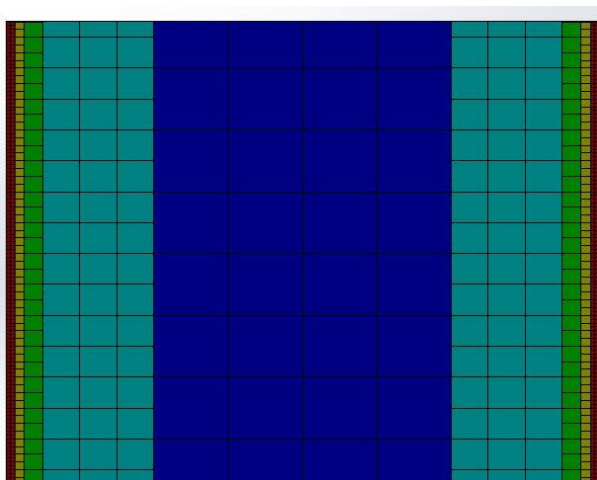


Figura 35. Vista del pla mig de la malla de la simulació del tub d'absorció (Font pròpia)

- Les condicions de contorn en aquest estudi son simples; la primera es defineix a l'entrada del tub com a pressió ambiental a una atmosfera i la segona a la sortida definint el cabal extret pel tub de 12 l/min. A més, es defineixen les constants físiques del model com la direcció i força de la gravetat, la densitat i viscositat dinàmica vistes a l'apartat 2 i també el tipus de flux, que en aquest cas és laminar.
- Finalment es defineixen les variables de sortida que es volen controlar i també les que interessin per a l'estudi. En aquest cas interessa saber la pressió de sortida del fluid, ja que, ens indicarà a quina pressió entraria a la bomba d'engranatges si el cabal fos de 12 litres cada minut. La solució es pot veure a la *Figura 32* de l'apartat 3.1.

3.3.1.2. Tub d'extracció

Les característiques d'aquesta simulació son molt similars a les del tub d'absorció amb algunes diferències que s'exposaran a continuació:

- La geometria representa una peça en forma de T tapada per la part superior i connectada a una altra en forma d'aixeta (veure la *Figura 18*).
- La malla s'ha refinat a les zones més conflictives així com a la paret del tub (veure *Figura 36*).

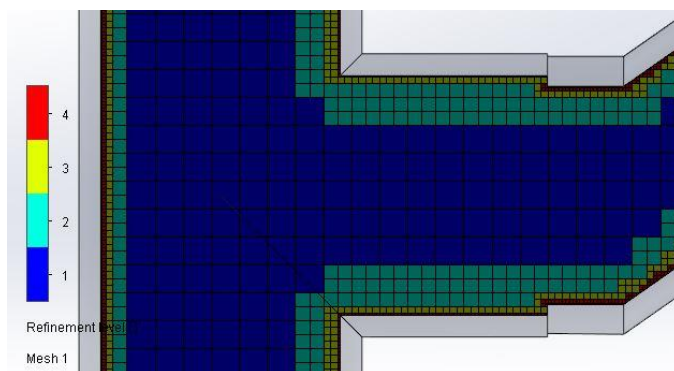


Figura 36. Vista del pla mig de la malla de la simulació del tub d'extracció (Font pròpia)

- Les condicions de contorn son: la pressió atmosfèrica a la sortida de l'aixeta i un cabal de 12 litres per minut a l'entrada del sistema. A més de les mateixes condicions físiques definides a la simulació anterior.
- En aquest cas interessa extreure quina és la pressió a la sortida de la bomba, o el que és el mateix, a l'entrada del sistema estudiat en aquesta simulació. La solució també es pot veure a la *Figura 32*.

3.3.1.3. Bomba d'engranatges

L'elecció del programari de simulació així com les característiques de la simulació s'exposen a l'apartat següent degut a les diferències amb les anteriors.

3.4. Aplicació a la bomba d'engranatges, comparació amb els resultats experimentals

El fluid per dins els tubs es mourà amb un flux relativament continu i amb una direcció i sentit constants. Aquestes característiques no son les que tindrà el fluid dins el cos de la bomba degut a la rotació dels engranatges.

Les dues grans dificultats en aquesta simulació radiquen en aquesta rotació i en la intersecció de dos dominis rotatius.

3.4.1. Dominis rotatius

Així com s'han exposat les simulacions dels dos tubs en els apartats 3.3.1.1 i 3.3.1.2 es podria definir una entrada i una sortida al disseny CAD del cos de la bomba. Coneixent el cabal i les pressions d'entrada i de sortida és podria saber quina és la potencia necessària per a fer funcionar la bomba en aquestes condicions.

SolidWorks diposa d'una opció on es poden definir dominis rotatius. Aquests es representen amb un cilindre en model CAD que és col·loca en el lloc on, en la realitat, hi hauria una peça en rotació. El que impossibilita aquesta solució és que els dominis rotatius no poden ser intersecants i això és una de les característiques principals en el funcionament d'una bomba d'engranatges. Per tant, s'han cercat alternatives a aquest programari.

Primerament s'ha pensat amb *Simscale* ja que es tracta d'un programari online lliure. El procés de simulació és molt similar al del *SolidWorks* amb algunes diferències com que el disseny CAD és el del fluid. En canvi els dominis rotatius es defineixen d'igual manera cosa que comporta que es tengui el mateix problema en les simulacions que amb el *SolidWorks*.

Després de buscar diferents opcions s'ha decidit que s'utilitzarà la versió gratuïta d'*ANSYS CFX*.

3.4.2. Simulació amb ANSYS CFX

El procés de simulació és el següent:

- Geometria: Com es pot veure a la *Figura 37* s'ha importat el disseny CAD on es troba el volum del negatiu del cos de la bomba i els dos engranatges.

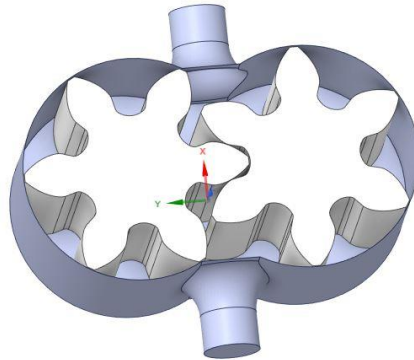


Figura 37. Geometria utilitzada en la simulació. (Font pròpia)

- Malla: La malla és un dels punts més importants en les simulacions i més encara en aquesta, ja que hi ha espais molts petits entre les dents i les parets de la carcassa.

A la versió que s'està utilitzant hi ha un límit d'elements que es poden tenir a la malla. Per a obtenir la millor simulació possible s'han refinat les zones on els espais són menors, aquests però són la majoria de la geometria... A les entrades i sortides, on el flux és més lineal i no hi ha espais tant petits s'han utilitzat elements de major grandària (veure Figura 38).

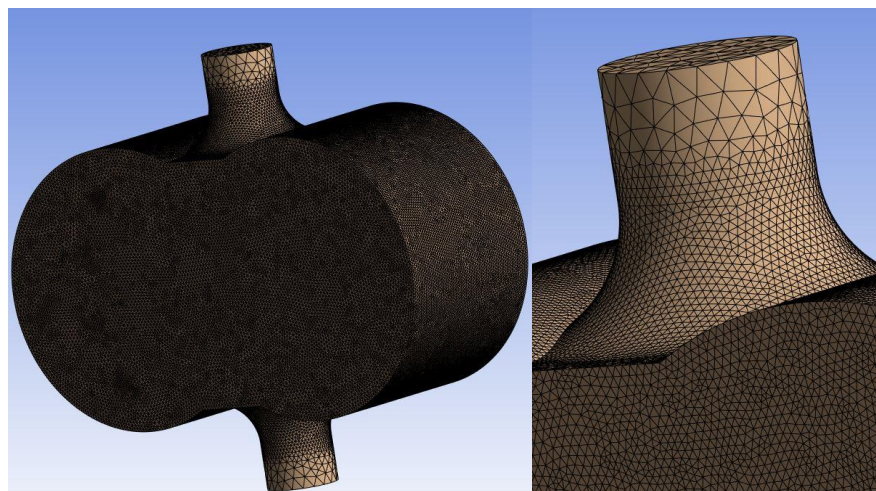


Figura 38. Malla utilitzada en la simulació (Font pròpia)

Tipus de malla	3D
Tipus d'element	Tetraèdric
Nombre de nodes	2.597.458
Nombre d'elements	1.349.820

Taula 2. Característiques de la malla (Font pròpia)

- Característiques de la simulació: Algunes de les característiques més importants que defineixen la simulació son les següents:
 - o L'estudi realitzat és un transitori de 0,6 segons amb uns *timestep* de 10^{-4} segons, representant així unes dues voltes de cada engranatge.
 - o El fluid definit és un líquid continuu que es comporta de forma laminar amb les propietats que s'han trobat a l'apartat 2.
 - o Les condicions inicials defineixen un fluid sense velocitat.

- Condicions de contorn: En aquest cas coneixem tant la pressió d'entrada com la de sortida per a un cabal de 12 litres al minut, -0,153 Bar i 0,107 Bar respectivament, les dues com a pressions relatives i la velocitat de rotació dels dos engranatges en sentits oposats.
 - o Velocitat angular = 150 RPM: Sabent que amb els càlculs manuals amb una velocitat de 150 RPM es tindrien els 12 litres per minut esperats i que en aquest càlcul s'hi havia d'afegir les pèrdues per les zones de toleràncies, s'ha realitzat un procés iteratiu per a calcular les RPM necessàries segons el model d'ANSYS.

Per tant, el cabal extret en la simulació no és de 12 litres al minut (degut a les pèrdues) sinó menor (veure *Figura 39*). Així s'han de tornar a fer les simulacions dels apartats 3.3.1.1 i 3.3.1.2 per a trobar les pressions per aquest cabal i repetir l'estudi a ANSYS. Aquest procés s'ha de repetir fins

que el cabal que es posa com a condició de contorn al *SolidWorks* és el mateix, o proper en mitjana, al que dona *ANSYS*.

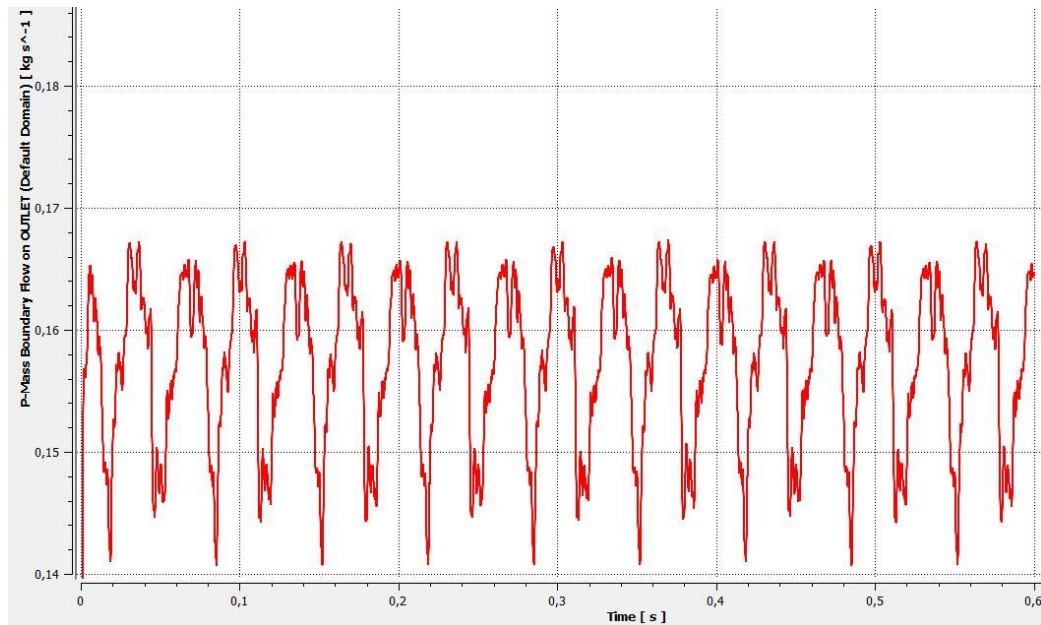


Figura 39. Cabal màssic extret a la primera iteració (Font pròpia)

Finalment, després d'acabar el procés iteratiu les pressions finals de l'entrada i sortida del cos de la bomba son de -0,123 bar i 0,087 bar. El cabal que indica la simulació, després de fer la conversió de cabal màssic a cabal volumètric, està comprès entre 9 i 10,5 litres al minut (veure *Figura 40*).

Com és d'esperar, degut a la forma en que es fa el transport del fluid cap a la sortida el cabal no és constant, com és pot veure a la *Figura 40* presenta unes pulsacions marcades, la mitjana del qual és de 9,94 litres al minut.

Aquest valor és inferior al del càlcul manual de l'apartat 2.1.3.1 degut a les toleràncies entre les parts que si que es tenen en compte a la simulació i en canvi, com és veurà més endavant, la simulació dona un valor de cabal major que el que és té realment. Això és degut també a que les toleràncies finals son majors que les de disseny.

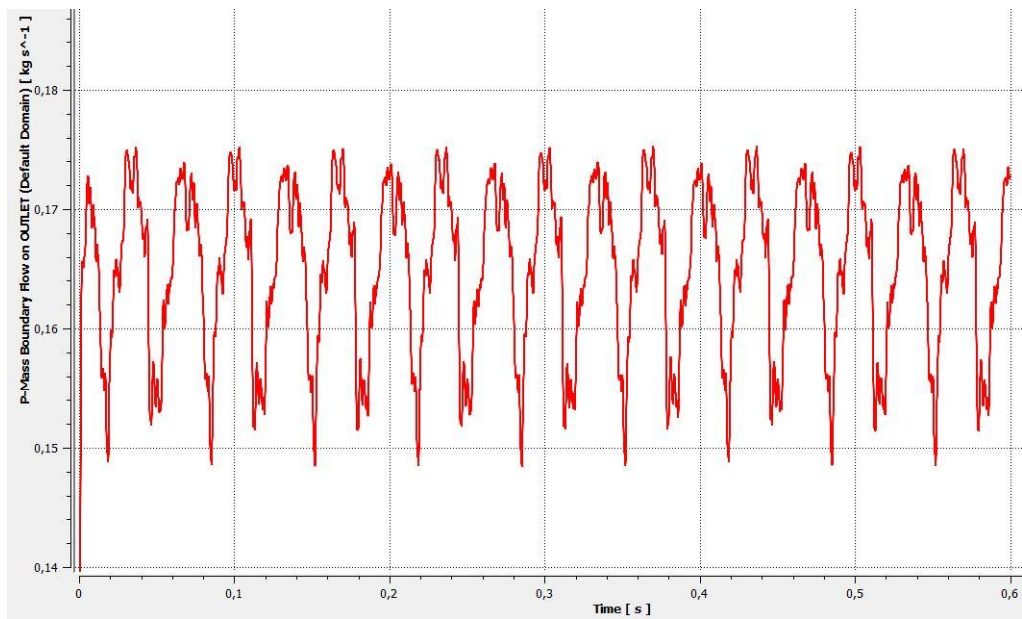


Figura 40. Cabal màssic extret al final de les iteracions. (Font pròpia)

4. Construcció i assaig de prototip

Cada una de les parts que conformen a bomba ha estat descrita a l'apartat 2.3. En aquest apartat s'exposarà el procés de fabricació de cada peça així com l'assemblatge de totes les parts.

4.1. Descripció del procés de construcció i posada en marxa

En aquest apartat s'exposarà el procés de fabricació de cada una de les peces descrites a l'apartat 2.3 així com l'assemblatge de totes les parts.

- Engranatge Motor: Degut a la seva geometria els engranatges han estat impresos amb el perfil d'evolvent tocant el llit de la impressora. En el cas de l'engranatge motor ja que disposa d'una ranura per a entrar les femelles, s'ha començat la impressió per la cara on no hi ha la ranura.

La unió d'aquesta peça amb l'eix s'ha fet amb un pern presoner (veure *Figura 41*). Les femelles al no poder rotar dins la ranura fixaran el pern i mantindran la pressió d'aquest sobre l'eix. Així es transmet el moviment de l'eix a l'engranatge.

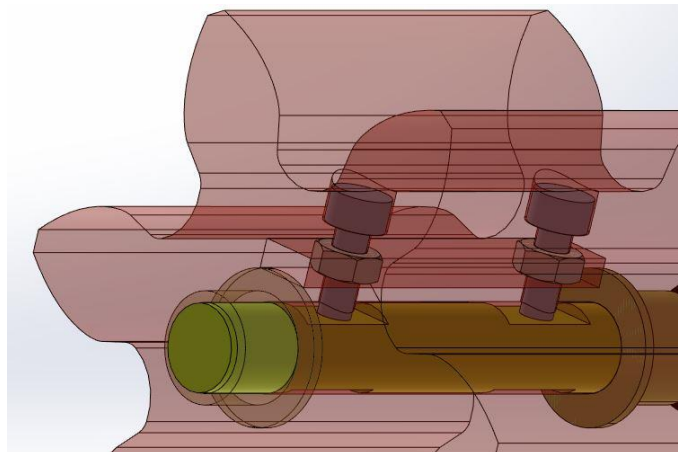


Figura 41. Unió de l'engranatge motor amb l'eix (Font pròpia)

- Engranatge No Motor: La direcció de la impressió és la mateixa que a l'engranatge motor tot i que en aquest cas no hi ha ranures.

Aquest engranatge rep el moviment de l'altra engranatge i no del seu eix. Per aquest motiu no ha estat necessari fixar-lo i simplement s'ha encaixat a pressió.

- Cos central: La cara que va al llit és qualsevol de les dues que van encaixades a les tapes frontal i posterior.

A aquesta peça és on hi ha l'entrada i la sortida de la bomba. Degut a la direcció de la impressió no s'ha pogut fer la rosca impresa i aquesta ha hagut de mecanitzar-se mitjançant un mascle de roscar (*Figura 42*). Mitjançant una fresadora CNC s'han realitzat els talls a la rosca del mascle perquè aquest fos més tallant. Tot i així, per assegurar que la unió era totalment rígida i estanca s'ha aferrat el mascle de polietilè al cos de la bomba mitjançant resina epòxid (veure *Figura 43*).



Figura 42. Mascle de roscar utilitzat (Font pròpia)

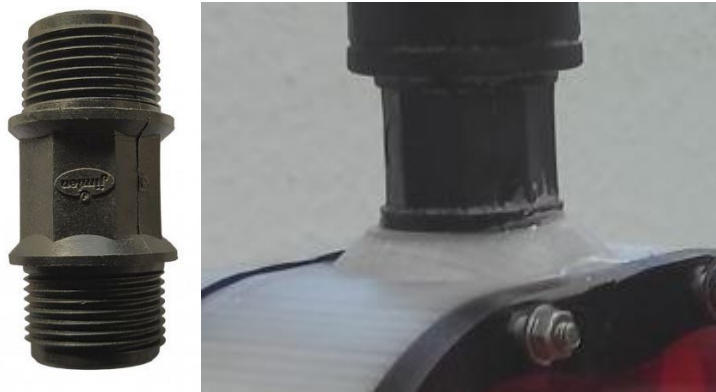


Figura 43. Mascle ¾ ' de polietilè utilitzat a la sortida de la bomba i detall de la unió respectivament (Font pròpia)

Per a facilitar el procés els dos orificis tenen una dimensió major a la rosca necessària a l'entrada i és va reduint el diàmetre progressivament (veure *Figura 44*).

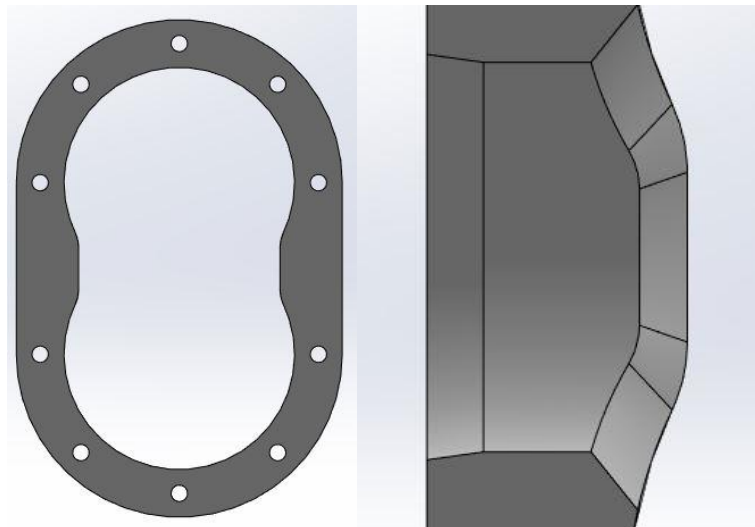


Figura 44. Cara del llit i detall de la conicitat als orificis respectivament (Font pròpia)

S'uneix a les tapes frontal i posterior mitjançant la pressió que li exerceixen les femelles de les barres corrugades de mètrica quatre que van per dins el orificis que es poden veure a la *Figura 44*. Entre les tapes i el cos s'hi ha posat un material plàstic que actua com a aïllant i evita que el líquid escapi per la junta.

- Tapa posterior: En aquesta tapa es troba el sistema de junta estanca de l'eix motor que s'ha exposat a l'apartat 2.3.2. La impressió s'ha realitzat de la cara exterior de la bomba cap a la cara interior degut a que per a millorar l'estanqueïtat part d'aquesta entra dins del cos de la bomba.

La unió amb el cos central s'ha exposat en el punt anterior. En aquesta peça hi van encaixats els rodaments i a dintre d'aquests els eixos. A més, de la cara de fora de la bomba en surten quatre barres que serviran per a connectar-hi el suport pel motor com es pot veure a la *Figura 45*.

Per tal de que aquestes barres estiguin ben alineades i que el motor estigui ben centrat s'han fabricat unes peces auxiliars (veure *Figura 45*).

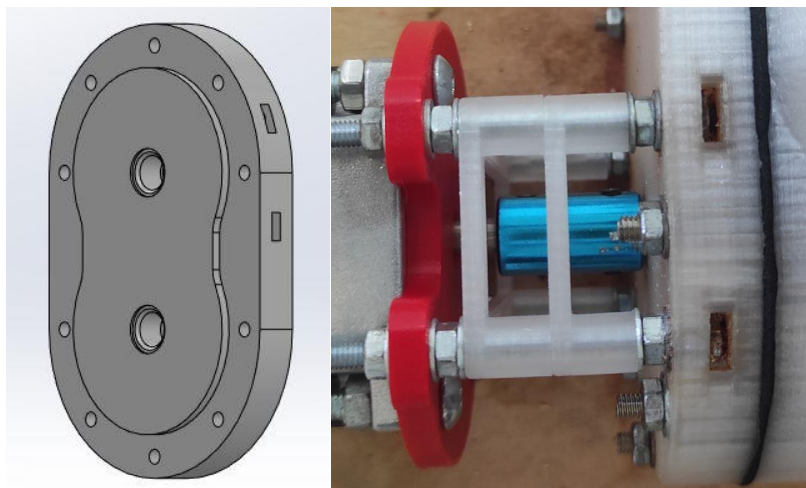


Figura 45. Vista de la cara interior de la tapa i unió amb el suport i detall de la unió amb el suport del motor (Font pròpia)

La junta estanca també ha necessitat d'un procés de mecanització posterior a la impressió. La zona marcada amb un 1 a la *Figura 46* és on hi ha situada una junta tòrica de 8 mil·límetres de diàmetre i 2 de gruixa, fet pel qual queda comprimida entre l'eix i la cavitat millorant l'estanqueïtat. La zona amb un 2 està dissenyada perquè permeti la correcta impressió del topall del rodament de la zona 3. Per tant, la capa marcada amb un 2 ha estat eliminada un cop la peça ha estat impresa.

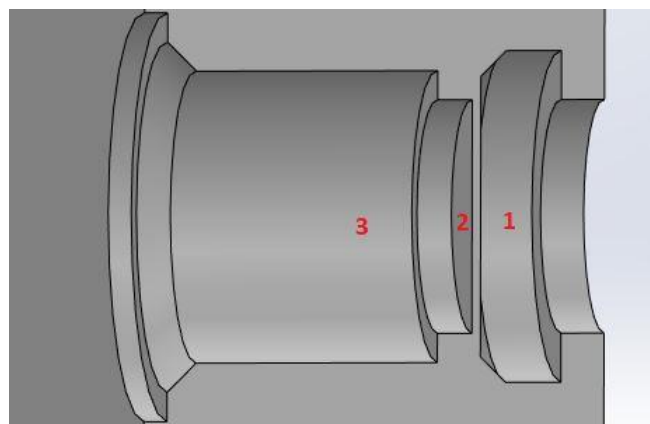


Figura 46. Detall de la zona d'entrada i sortida de l'eix motor i de la junta estanca (Font pròpia)

- Vàlvula antiretorn: Les dues peces s'han imprès en la mateixa direcció de la Figura 22. La rosca s'ha cobert amb tefló per a millorar l'estanqueïtat i s'ha col·locat la bola de vidre a l'interior de les dues peces impreses abans de procedir a rosca-les.

-

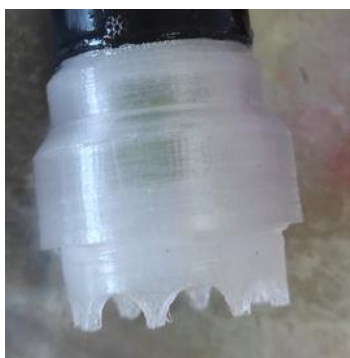


Figura 47. Vàlvula antiretorn (Font pròpia)

La vàlvula s'introdueix dins el tub a pressió i s'aferra mitjançant una cola adhesiva de precisió (veure Figura 47).

- Suport i peces centradores: Com s'ha vist anteriorment, el suport del motor s'uneix a la tapa posterior mitjançant unes barres corrugades de mètrica quatre. La distància entre aquestes dues parts és manté constant gràcies a les peces centradores que a més mantenen l'eix del motor alineat amb l'eix d'acer. Mitjançant dinerets i femelles es manté tot el sistema en la posició requerida pel funcionament.

Gràcies a la plataforma que té el suport tot el sistema queda estabilitzat i en la posició correcta.

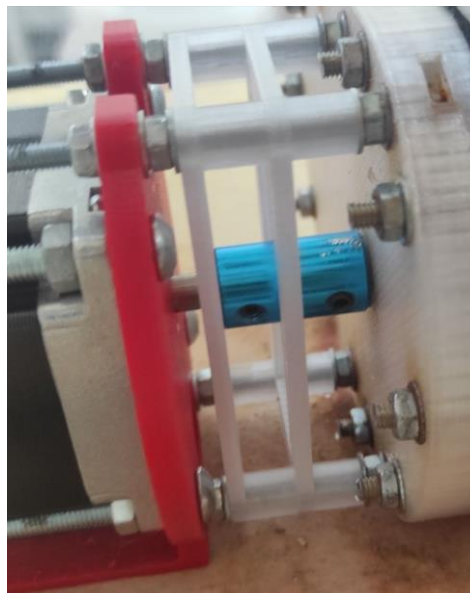


Figura 48. Detall de la unió del suport del motor (Font pròpia)

La unió amb el motor s'ha realitzat mitjançant perns i femelles de mètrica cinc.

- Tap dipòsit: La peça ha estat impresa en la direcció vertical contrària a la de la *Figura 24*. Tot i que la peça a mesura que es va imprimint va augmentant el seu diàmetre ha estat possible imprimir-la en aquesta direcció gràcies a que l'angle amb que s'ha dissenyat així ho permet. Gràcies a això s'ha pogut deixar el forat per on passarà el tub.



Figura 49. Detall de l'entrada del tub d'absorció al contenidor (Font pròpia)

Aquest tap s'enrosca al contenidor del fluid i deixa passar de forma justa el tub que permet la succió.

- Tub sortida: El disseny s'ha adequat a les necessitats d'impressió. Per a poder disposar d'una rosca s'ha d'imprimir en forma vertical i, per tant, tot el tub s'ha d'imprimir també de forma vertical. La part exterior del tub disposa d'una zona plana que permet col·locar-la al llit de la impressora 3D (part dreta de la *Figura 50*).



Figura 50. Detall de la sortida de la bomba. (Font pròpia)

- Tapa frontal: Aquesta peça és el resultat de mecanitzar una placa de metacrilat de 10 mil·límetres de gruixa. Com es pot veure a l'apartat 2.3.1.2 la tapa frontal segueix el mateix sistema que la tapa posterior però sense el sistema de la junta estanca. Com que les plaques de metacrilat de les que es disposava son de 10 mil·límetres, s'ha hagut de modificar el disseny fent el forat pels rodaments menys profund, cosa que ha obligat a mecanitzar també el rodaments. Així els rodaments s'encaixen dins els forats (veure *Figura 51*).

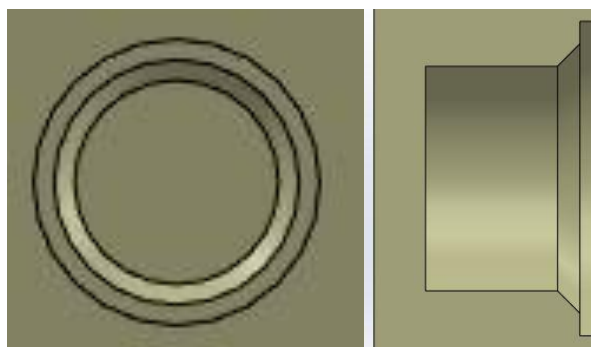


Figura 51. Detalls de l'orifici pels rodaments (Font pròpia)

La placa s'ha fixat al llit de la fresadora CNC, s'ha elegit un capçal de 3 mm per a la fresadora i s'ha procedit a mecanitzar-la mitjançant el software controlador.

El procés consisteix en exportar el model de la tapa a un software de disseny lliure anomenat *FreeCad*. Aquest programa permet la simulació de les operacions necessàries que s'han de realitzar amb la fresadora a la placa de metacrilat per a arribar a la peça final i posteriorment exportar-ho al codi adequat per a la fresadora CNC (veure *Figura 52*).

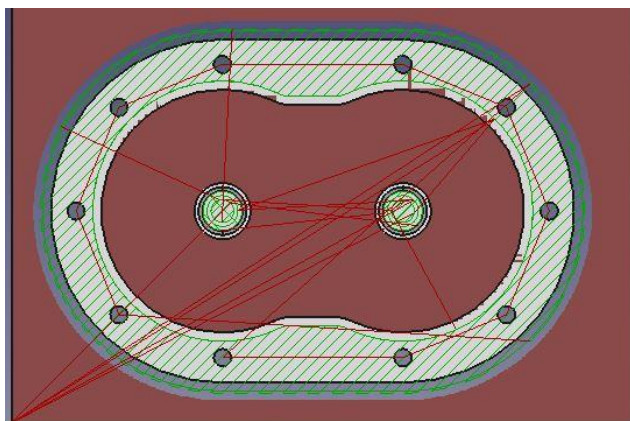


Figura 52. Simulació de la trajectòria de les operacions de la fresadora CNC. (Font pròpia)

Per a simular el procés s'han de definir tots els paràmetres de la fresadora, tipus de broca, velocitat de gir, velocitat dels eixos... I a més, s'han de definir totes les operacions que es volen realitzar per separat tenint en compte que l'ordre en que es fan i que el camí de la fresadora no interfereixen amb el sistema de suport.

- Eixos: Primerament es varen utilitzar uns eixos d'alumini però degut a que aquests eixos no estaven calibrats i les toleràncies finals eren excessives s'han canviat per eixos d'acer inoxidable calibrats.

La mecanització dels eixos d'alumini s'ha fet mitjançant un trepant de columna, manualment, fent dos forats de tot el diàmetre de l'eix. En canvi pels eixos d'acer inoxidable s'han realitzat les ranures vistes a la *Figura 26*, per a poder aplicar pressió amb pern presoners, de forma manual amb un disc.

La forma en que es fa la unió entre engranatge i eix motor s'ha vist anteriorment. El sistema de unió entre l'acoblador (veure *Figura 53*) que transmet el moviment rotatori del motor a l'eix motor és el mateix tot i que el propi acoblador disposa del sistema de pern presoner ja integrat i només s'ha hagut d'allisar l'eix.



Figura 53. Acoblador rígid per a NEMA 23 a eix de 8 mm. [23]

L'eix conduït s'ha tallat amb les dimensions necessàries i s'ha encaixat a pressió dins del forat de l'engranatge.

- Rodaments: Degut a la menor guixa de la placa de metacrilat s'han retallat els dos rodaments que van a la tapa frontal. Per tant, s'ha passat dels 10 mil·límetres que tenien en un principi a 7.

Els rodaments s'encaixen a les cavitats de les dues tapes (veure *Figura 51*). A més, els rodaments separen les tapes dels engranatges 0,2 mil·límetres reduint un fregament que, entre dues peces impreses en 3D, seria molt elevat.

4.2. Anàlisi de les corbes de bombeig

S'han realitzat dues proves amb font d'alimentació diferents, la primera de 12 V i 5 A i la segona de 24 V i 3 A. Les proves per a calcular el cabal de la bomba s'han realitzat de la mateixa forma amb les dues fonts d'alimentació.

El procés consisteix en, mitjançant el contenidor, calcular el volum de líquid extret per la bomba durant vint voltes de l'eix. Degut a que es coneix la velocitat a la que és fa girar el motor és possible conèixer el cabal a cada velocitat utilitzant l'Equació 18.

$$Q\left[\frac{l}{min}\right] = \frac{Volum[l] * \omega[RPM]}{Voltes}$$

Equació 18. Cabal extret.

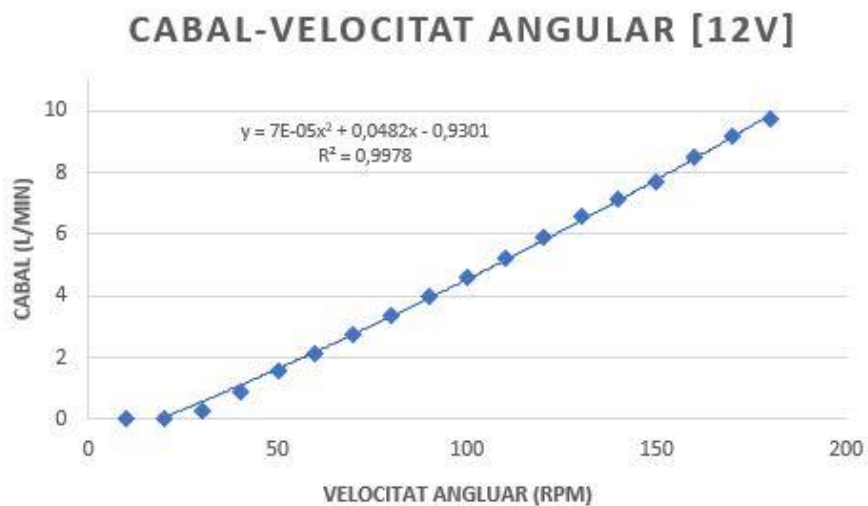


Figura 54. Relació entre el cabal extret i la velocitat de gir del motor amb font d'alimentació de 12 V (Font pròpia)

CABAL-VELOCITAT ANGULAR [24V]

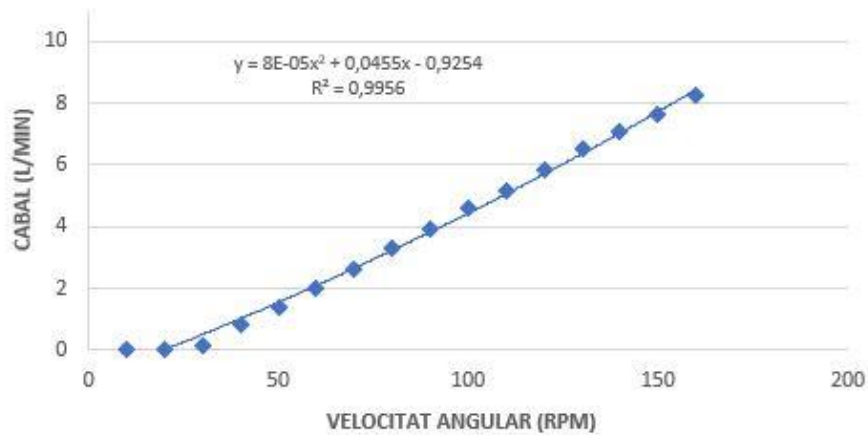


Figura 55. Relació entre el cabal extret i la velocitat de gir del motor amb font d'alimentació de 24 V (Font pròpia)

A les Figura 54 i Figura 55 es pot comprovar com el cabal extret va augmentant a mesura que la velocitat de gir del motor és més alta, un fenomen que idealment no s'hauria de produir. De fet, es pot observar com per a revolucions molt baixes la bomba no és capaç d'extreure líquid. A més, en aquestes corbes es pot observar com, per una velocitat angular compresa entre 120 i 130 RPM, és supera l'objectiu de 6 litres per minut.

El motiu d'aquesta relació entre el cabal i la velocitat de gir del motor és l'espai que hi ha entre els engranatges i el seu contenidor que, mentre l'engranatge gira, deixa que el líquid recirculi d'una cavitat a l'altra sense arribar a sortir de la bomba.

Una forma de comprovar de que es tracta d'aquest problema és, amb la bomba encebada, tapar la sortida i fer funcionar la bomba, així, idealment, el motor no hauria de tenir força per fer girar els engranatges. Per tant, una millora del model seria aconseguir que el parell necessari per a revolucions baixes fos el més alt possible.

S'ha comprovat amb aquest mètode i s'ha vist que el motor és capaç de girar fins a les 80 RPM tot i tenir la sortida tapada. Aquest límit de 80 RPM el tenim degut al parell que és capaç de donar el motor que s'ha calculat de mitjana de 0,3535 N*m i de màxim 0,3926 N*m de la mateixa forma que a l'apartat 4.3.

4.3. Mesura del parell “real”

Una de les incògnites un cop s’ha tingut el sistema muntat i en funcionament era saber realment el parell que estava realitzant el motor. Aquest valor, a més de per a definir completament el sistema serveix per a poder prendre la decisió, posteriorment, d’eleger un altra motor amb més parell si escau. El procés per a calcular-lo no és directe i ha necessitat dels elements i proves auxiliars que s’exposaran a continuació.

S’ha decidit utilitzar galgues extensomètriques per a determinar el parell per a cada velocitat de gir. Aquestes son sensors que aprofiten la propietat física de la conductància y la seva dependència de la geometria del conductor. Quan la galga s’estira el conductor disminueix el seu diàmetre augmentant la resistència elèctrica i el contrari ocorre quan es comprimeix.

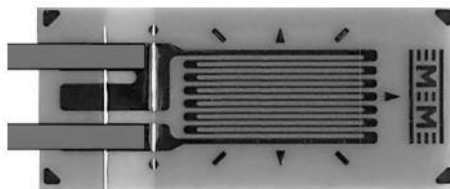


Figura 56. Galga extensomètrica C2A-13-125LW-120. [24]

El suport del que s’ha parlat a l’apartat 2.3.1.1 no és adequat per a utilitzar en aquest experiment i per tant se n’ha dissenyat un de nou. El disseny CAD s’ha fet amb *SolidWorks* (veure *Figura 58*) i posteriorment s’ha comprovat mitjançant elements finits que la força aproximada que el motor farà sobre el suport és suficient com a per a deformar les barres de forma que pugui ser captat per la galga (veure *Figura 57*). La simulació s’ha fet aplicant una força de 2,5 N a cada un dels punts de suport (fletxes liles) i fixant les barres on es connecta amb el motor, per tant representa un parell de 0,3815 N*m.

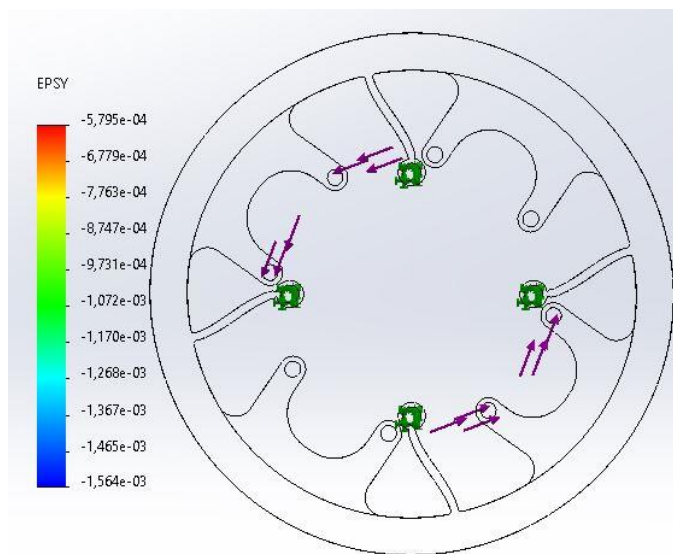


Figura 57. Deformacions unitàries normal en direcció Y (Font pròpia)

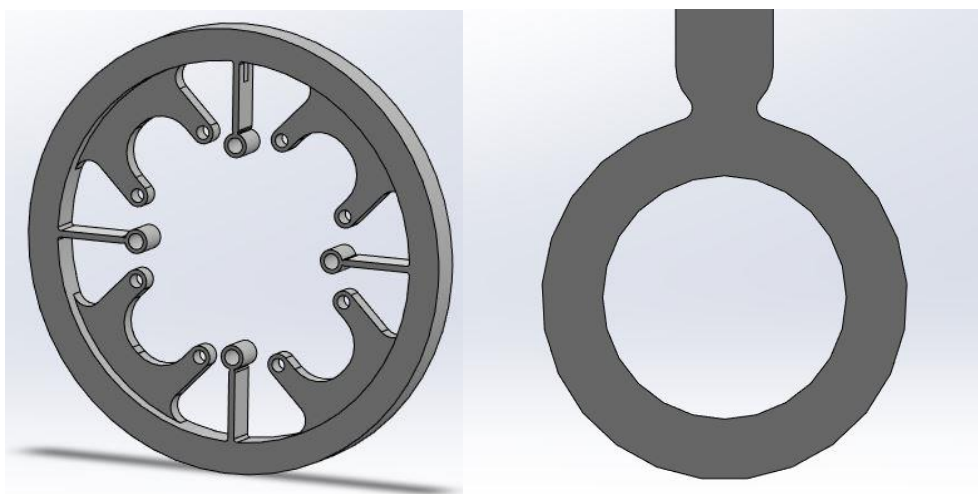


Figura 58. Model CAD del suport per al càlcul del parell real (Font pròpia)

A la Figura 58 i al Plànol 16 es pot veure la geometria del suport. Les quatre barres corresponen als punts que es connectaran amb el motor i per tant, s'han dissenyat de forma que la flexió sigui la que actuï. El suport es connectarà a la carcassa de la bomba mitjançant quatre dels vuit forats dels que disposa, a més dels de les barres. El motiu de que quatre dels forats no s'utilitzin és per a aconseguir la simetria i a més per a rigiditzar tot el que no siguin les barres de suport del motor. A la part de la dreta de la Figura 58 es pot veure com la barra s'estreny abans d'arribar al punt de la unió, això s'ha fet per a crear una articulació que permeti el gir.

Gràcies a la simetria del suport només serà necessari estudiar, amb les galgues, una de les barres. Les especificacions de les galgues es poden veure a l'Annex 4.

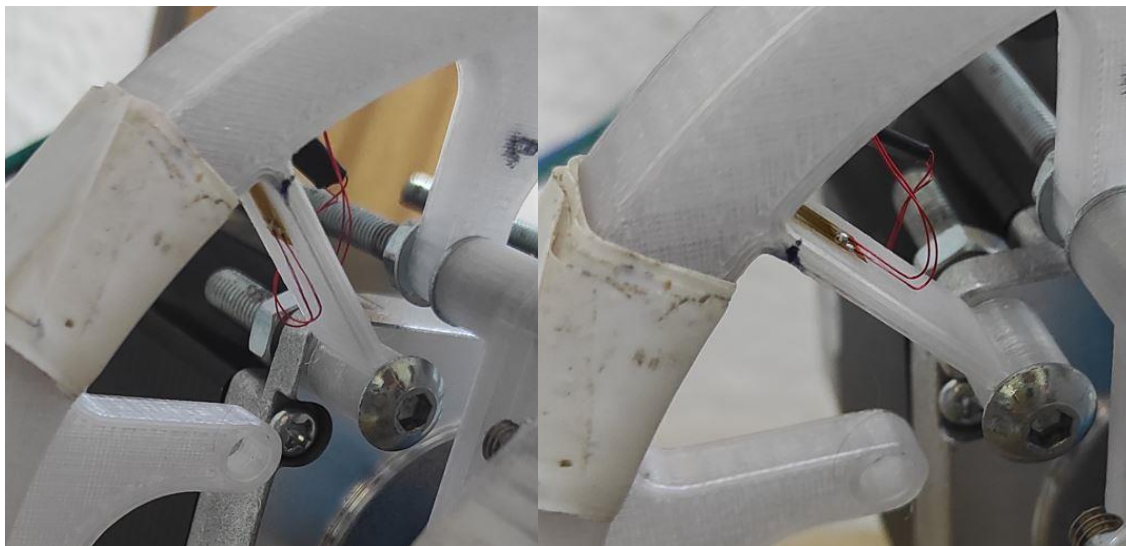


Figura 59. Posició de les galgues en el suport (Font pròpia)

Les galgues s'han col·locat a la zona de major moment flector, tot i així, la galga fa la mitjana en tota la seva llargària i per tant el que s'obté és un valor mitjà de tota la zona de la resistència.

Les galgues es connecten mitjançant un pont de Wheatstone, ja que permet midar els canvis relatius en la resistència de la galga. Concretament en aquesta aplicació s'ha utilitzat una configuració de mig pont col·locant dues galgues a les cares oposades de l'estructura (veure Figura 60). En el cas d'aquest estudi R_4 i R_3 representen resistències de 120Ω i R_1 i R_2 les galgues.

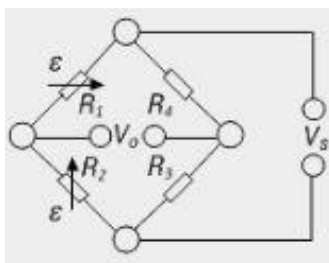


Figura 60. Configuració del pont de Wheatstone utilitzada. [25]

Aquest circuit s'ha construït mitjançant un mòdul d'entrada de galgues extensomètriques ADAM-3016 propietats del qual es poden veure a l'Annex 5. El rang de l'input i l'output es configuren mitjançant uns botons que permeten escollir el més adient, i en aquest cas s'han elegit de +/- 10 mV i de +/- 5V.

L'excitació (V_s a la Figura 60) s'ha calibrat de 3,33 V mitjançant l'ADAM-3016. El motiu és que al estar sobre un material plàstic, la dissipació del calor no és bona i uns voltatges més elevats podrien cremar la galga. L'ADAM-3016 s'alimenta amb una font de corrent de 24 V.

La V_o de la Figura 60 representa l'input del sistema i és la sortida que s'ha utilitzat per a les mesures. El motiu d'utilitzar aquesta i no l'output és que es disposa d'un sistema d'adquisició de dades ADC-24 propietats del qual es poden veure a l'Annex 6. L'entrada d'aquest s'ha configurat a +/- 39 mV, més que suficient per l'estudi actual.

4.3.1. Cal·libració del sistema de mesura

Un cop el sistema d'adquisició i el pont de Wheatstone han estat connectats s'ha procedit a la cal·libració del sistema. Aquest procés ha consistit en fer mesures mitjançant uns pesos coneguts. La barra amb les galgues s'ha col·locat en posició horitzontal i d'ella s'hi han penjat els pesos que simulen la força que s'espera que el motor farà.

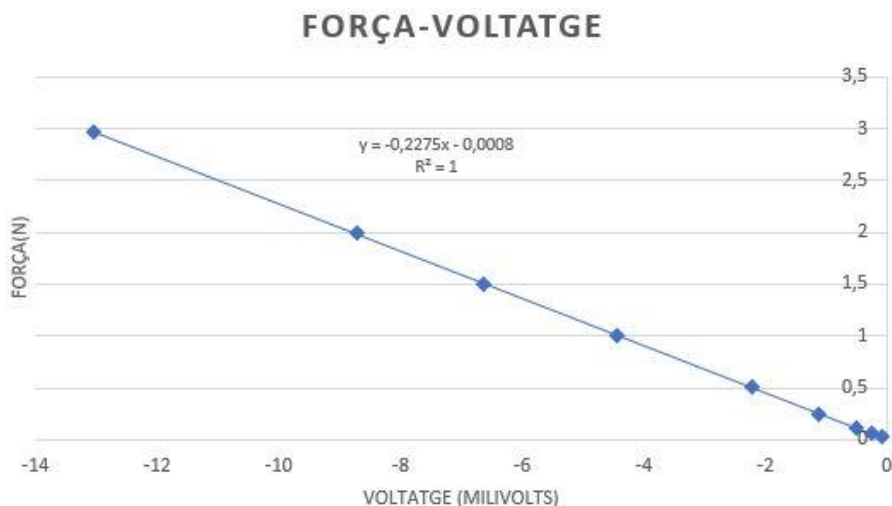


Figura 61. Relació entre la força aplicada i el voltatge a l'input (Font pròpia)

Mitjançant el software del sistema d'adquisició s'ha pogut captar, en milivolts, la resposta de la galga davant aquests esforços durant un temps determinat. S'ha realitzat la mitjana d'aquests i, relacionant-ho amb la força aplicada, s'ha extret la recta de la Figura 61.

4.3.2. Resultats

Un cop s'ha tengut la recta definida s'ha conectat el suport a la bomba i el motor al suport i seguidament s'ha fixat tot el sistema mitjançant brides i s'ha assegurat que cap element extern influeix a la rotació del motor (veure *Figura 62*).

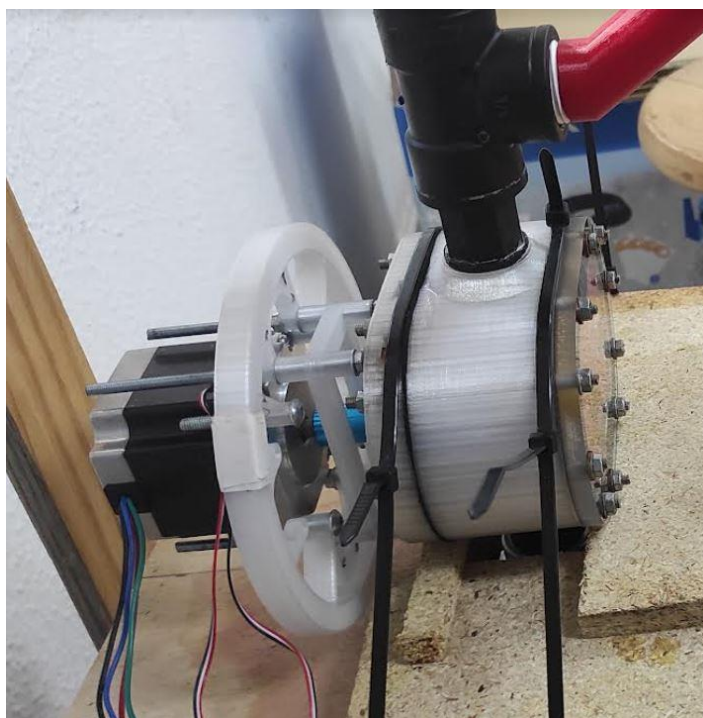


Figura 62. Muntatge del sistema bomba-suport (Font pròpia)

Com ja s'ha comentat anteriorment s'han fet els experiments amb dues fonts de corrent diferents, una de 12 V i una altra de 24 V, el procediment però, és el mateix per a les dues.

El procés és el mateix que durant el sistema de cal·libració, només que ara, la força la fa el motor i no és coneguda. Però, igualment, mitjançant el sistema d'adquisició és capta la resposta de la galga.

S'ha de tenir en compte que degut a la geometria de les barres, col·locades a 45° i en direcció radial, tenim uns avantatges i inconvenients. L'inconvenient principal és que el pes del motor afecta a les mesures del parell i per tant, s'hauran de tractar les dades. L'avantatge és totalment radial cosa que permet realitzar l'estudi d'aquesta forma.

La forma de solucionar el problema del pes del motor és calcular la resposta de les galgues davant solament al pes i restar-ho a la que dona durant el bombeig. Seguidament

s'exposaran el resultats.

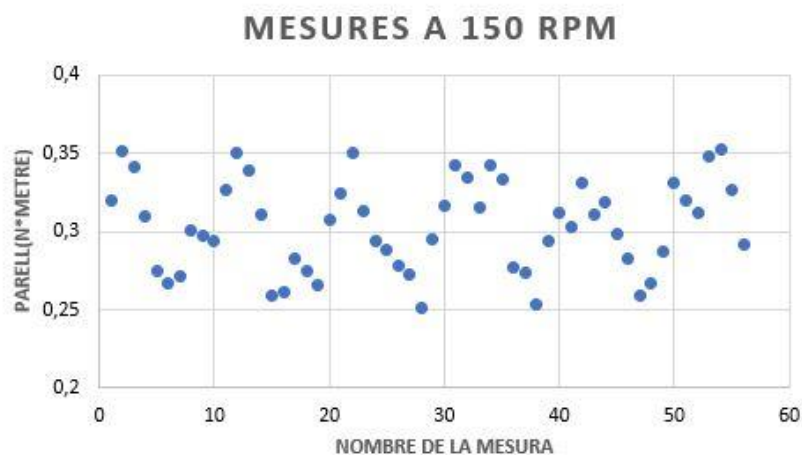


Figura 63. Parell desenvolupat pel motor durant una mateixa operació a 150 RPM amb la font de 12 A (Font pròpia)

La figura anterior mostra la variació del parell durant una mateixa operació. Es pot distingir un patró sinusoidal que es deu a les pulsacions provocades per les dents dels engranatges.

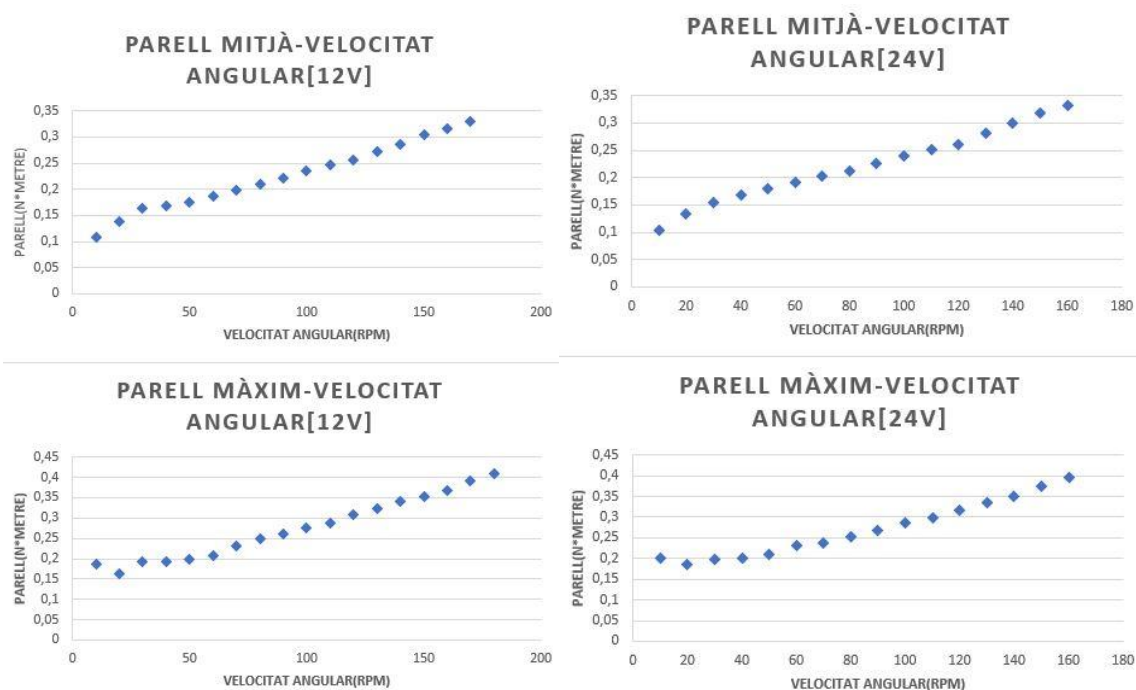


Figura 64. Parell mitjà i parell màxim amb la font de 12 V i 5A i Figura 65. Parell mitjà i parell màxim amb la font de 24 V i 3A (Font pròpia)

S'han realitzat les proves amb intervals de 10 RPM i com es pot veure a la *Figura 64* i la *Figura 65* s'ha arribat a les 180 RPM i a les 160 RPM respectivament.

Les gràfiques que mostren el parell mitjà mostren un comportament i valors de parell molt similars. Aquest és el comportament esperat, ja que independentment de la font d'alimentació el parell que realitza el motor ha de ser el mateix per a cada velocitat. Es pot veure com va creixent a mesura que augmenta la velocitat de gir del motor. També es interessant veure com a velocitats compreses entre 10 i 30 RPM, on el cabal extret és nul o molt petit, el parell augmenta mes ràpidament.

Les gràfiques amb el parell màxim serveixen per a determinar quin ha estat la màxima força que el motor ha pogut realitzar abans de fallar, ja que, el parell realitzat durant el funcionament, a una mateixa velocitat angular, no és constant com es pot veure a la *Figura 63*. Així, tot i poder arribar a 180 RPM amb la font de 12 V i només a 160 RPM amb la de 24 V el parell màxim al que han arribat en aquest punt és pràcticament el mateix, cosa que indica que la impossibilitat de funcionar a més revolucions no es deu a la tensió d'alimentació sinó al límit del motor de un valor de parell proper a 0,4 N*m.

Comparant la *Figura 31* amb la *Figura 65* es pot observar com per a les velocitats angulars màximes a les que s'ha pogut arribar, teòricament el motor podria donar un parell proper als 0,75 N*m però, realment, només s'arriben als 0,4 N*m. Una explicació podria ser la necessitat d'utilitzar una font d'alimentació capaç de donar més amperatge, però això no sembla ser la resposta, ja que com es mostra una mica més avall ambdues fonts assajades tenen una potència superior a la requerida fins i tot suposant un rendiment del motor extremadament baix. L'altra possible explicació és que s'està funcionant a 1/16 *microsteps* mentre que la figura que tenim de parell teòric està feta per 1/2 *steps*, això fa que la freqüència d'alimentació sigui molt alta i es pugui arribar al límit del *driver* o del motor per a reaccionar correctament.

Finalment, és important saber la potència necessària i que es pot deduir d'aquest assaig. Per al funcionament de la bomba a 150 RPM, sabent que el parell és un nombre proper als 0,31 N*m amb les dues fonts d'alimentació, s'arriba a la conclusió de que la potència necessària és de 4,87 W.

$$Potència = Parell[N * m] * velocitat angular \left[\frac{rad}{s} \right] = 0,31 * 15,708 = 4,87 W$$

Equació 19. Potència estimada de funcionament a 150 RPM (Font pròpia)

5. Pressupost del sistema hidràulic

Part	Peça	Cost unitari	Unitats	Cost total
Bomba d'engranatges	Coixinets	4,562 €	4	18,25 €
	Varilla acer inox. calibrada	8,48 €	1	8,48 €
	Material aïllant	6,98 €	1/2	3,49 €
	Volanderes M4	0,01 €	20	0,2 €
	Famelles M4	0,02 €	20	0,4 €
	Varilla roscada M4 acer inox.	4,99 €	0,7	3,49 €
	Pern M2	0,065 €	2	0,13 €
	Famelles M2	0,07 €	2	0,14 €
	Bobines PETG	17,99 €/kg	334,26 g	6,01 €
	Placa metacrilat	21,85 € / DIN A3	0,09	1,93 €
Motor i sistema de suport	NEMA 23	18,22 €	1	18,22 €
	Volanderes M4	0,01 €	20	0,2 €
	Famelles M4	0,02 €	12	0,24 €
	Varilla roscada M4 acer inox.	4,99 €	0,2	0,99 €
	Pern M5	0,08 €	4	0,32 €

	Famelles M5	0,03 €	4	0,12 €
	Bobines PETG	17,99 €/kg	41,24 g	0,74 €
Sortida	Peça en T	1,96 €	1	1,96 €
	Bobina PETG	17,99 €/kg	35,04 g	0,63 €
	Mascle ¾"	0,61 €	1	0,61 €
Entrada	Tub	21,99 €	0,5/50	0,22 €
	Mascle ¾"	0,61 €	1	0,61 €
	Enllaç rosca famella	1,19 €	1	1,19 €
Vàlvula antirretorn	Bobina PETG	17,99 €/kg	11,54 g	0,21 €
	Bolla de vidre	9,99 €	1/100	0,1 €
Acoblador	Acoblador	4,99 €	1	4,99 €
Tap dipòsit	Bobina PETG	17,99 €	42,84 g	0,32 €
Electrònica de control	Arduino Mega 2560	27,81 €	1	27,81 €
	Ramps 1.4	9,79 €	1	9,79 €
	Trinamic TMC2209	7 €	1	7 €
Total				118,79 €

Taula 3. Pressupost del sistema hidràulic.

El cost d'aquests components és major del que seria per a la fabricació en sèrie. Per tant, el cost de 118,79€ podria ser molt menor a mesura que es compressin en majors quantitats.

6. Conclusions

Després de l'anàlisi del funcionament del sistema hidràulic s'han pogut extreure una sèrie de conclusions sobre quines parts del sistema poden ser optimitzades per a millorar el funcionament global.

Les simulacions que s'han anat realitzant han servit per a determinar, primer, la magnitud de la potència que es necessitaria per el motor i per a comprovar, després dels càlculs manuals de cabal, que, després de les pèrdues per les toleràncies de disseny, encara s'obtenia un cabal superior al que s'havia marcat com a objectiu.

Com s'ha vist a l'apartat 4.2 el cabal real extret a 150 RPM és superior al que s'havia posat com a objectiu. Així mateix, és inferior al que teòricament es podria extreure degut a les pèrdues que existeixen provocades per les toleràncies entre components. Per tant, es podria veure una millora substancial en el cabal si s'aconseguissin reduir aquestes toleràncies.

En quant al parell i la potència desenvolupada pel motor s'ha de comentar que el parell que teòricament podria donar el motor és inferior al màxim que s'ha aconseguit, tot i que ha estat suficient per a complir els objectius. S'han fet comprovacions amb diferents fonts d'alimentació de 12 i de 24 volts i s'han observat algunes diferències però no expliquen aquest fenomen totalment. Una altra opció seria la freqüència d'alimentació, que és de 1/16 *microsteps* en el cas d'aquest estudi i de 1/2 *steps* pel parell teòric.

Finalment, gràcies a l'estudi del sistema un cop construït, es podrien dur a terme una sèrie de millores que optimitzarien el seu funcionament. Així, s'ha de comentar que amb el prototip actual s'han complit els objectius del treball de desenvolupar un sistema de dosificació per a productes viscosos que funciona correctament i és capaç de moure el fluid d'un recipient a un altra de forma còmode i ràpida.

7. Bibliografía

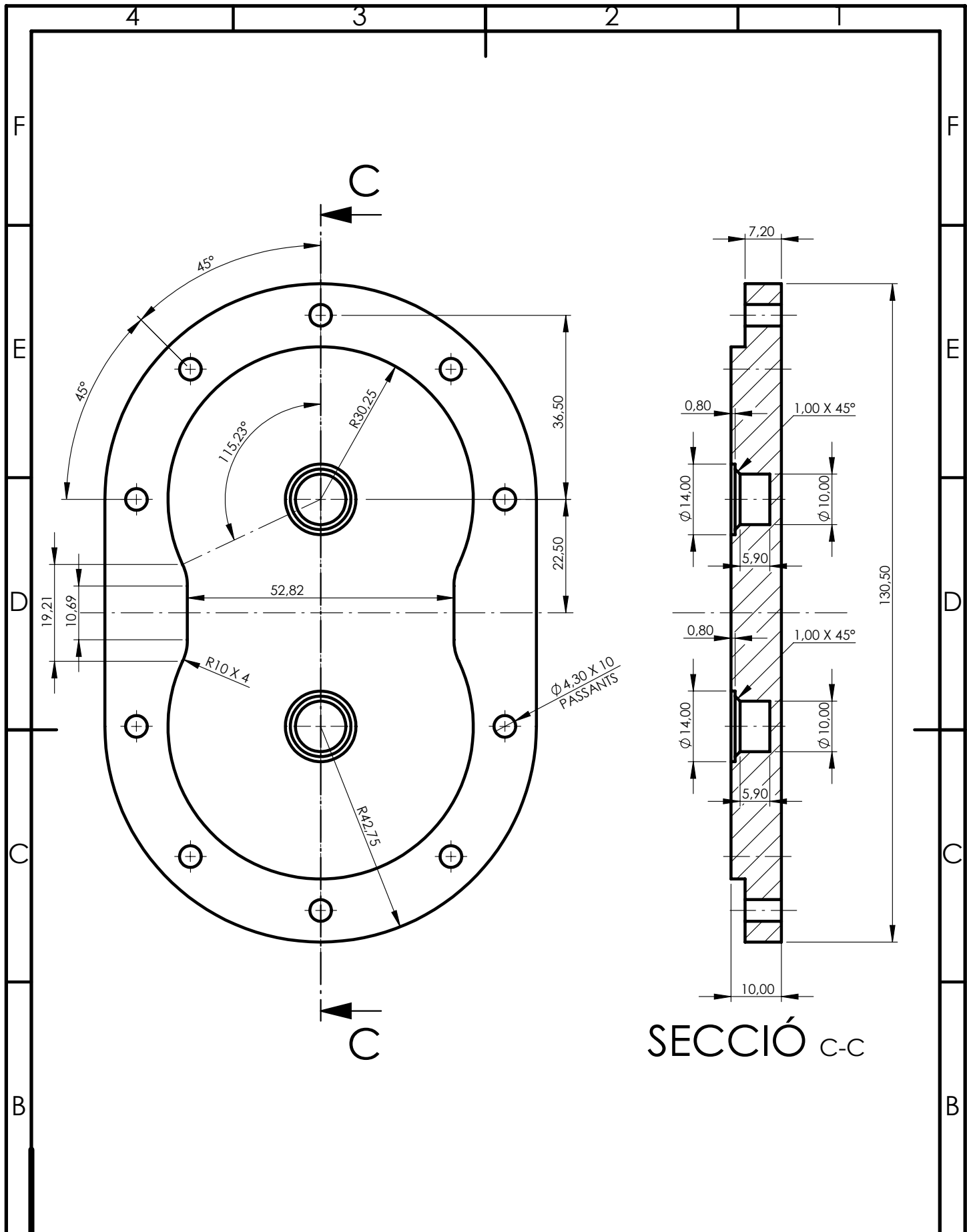
- [1] «BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO: TIPOS», *Flowtrend*, 2020. <https://flowtrend.com/en-us/news/bombas-de-desplazamiento-positivo-tipos> (consulta abr. 26, 2022).
- [2] J. Jiménez Mur, «Tipos de bombas rotodinámicas», *PumpsBombas*, 2022. <https://pumpsbombas.com/tutorial-tipos-bombas-rotodinamicas/> (consulta abr. 26, 2022).
- [3] J. Jiménez Mur, «Tipos de bombas de desplazamiento positivo», *PumpsBombas*, 2022. <https://pumpsbombas.com/tutorial-tipos-bombas-desplazamiento-positivo/> (consulta abr. 26, 2022).
- [4] EddyPump Corporation, «Bomba Eddy vs bomba de desplazamiento positivo», 2022. <https://eddyump.com/es/education/eddy-pump-vs-positive-displacement-pump/> (consulta abr. 27, 2022).
- [5] Lakeside Equipment Corporation, «Centrifugal Pumps vs. Positive Displacement Pumps», 2018. <https://www.lakeside-equipment.com/centrifugal-pumps-vs-positive-displacement-pumps/#:~:text=One of the main advantages,react to changes in pressure.> (consulta abr. 27, 2022).
- [6] Jorge Jiménez Mur, «Tipos de bombas de desplazamiento positivo», *PumpsBombas*, 2022.
- [7] Automatización Industrial, «Bombas Hidráulicas: Bombas de Engranajes y Bombas de Paletas », *Automatización Industrial*, 2013. <http://andresgo9104.blogspot.com/2013/07/bombas-hidraulicas-bombas-de-engranajes.html> (consulta jul. 18, 2022).
- [8] Askix, «Bomba de pistón simple», *Askix*, 2022. <https://www.askix.com/bomba-de-piston-simple.html> (consulta jul. 18, 2022).
- [9] Fluideco, «¿Qué es una bomba de engranajes y cómo funciona?», *Fluideco*, 2020. <https://fluideco.com/que-es-una-bomba-de-engranajes-y-como-funciona/> (consulta jul. 18, 2022).
- [10] Michael Smith Engineers LDT, «Comparing 4 Types of Positive Displacement

Pumps».

- [11] «Lobe Pump», *Wikipedia*, 2022. https://en.wikipedia.org/wiki/Lobe_pump#/media/File:LobePump_en.svg (consulta jul. 19, 2022).
- [12] Michael Smith Engineers LTD, «Useful information on Gear Pumps», *Michael Smith Engineers LTD*, 2022. <https://www.michael-smith-engineers.co.uk/resources/useful-info/gear-pumps> (consulta jul. 19, 2022).
- [13] Angel Franco García, «Viscosidad de un fluido.», 2016. <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/fluidos/stokes/stokes.html> (consulta ago. 24, 2022).
- [14] J. García Quesada, «TEMA 2. FLUIDOS VISCOSOS.»
- [15] Thomas TM, «All About External Gear Pumps - What They Are and How They Work», *Thomas TM*, 2022. <https://www.thomasnet.com/articles/pumps-valves-accessories/external-gear-pumps/> (consulta jul. 19, 2022).
- [16] U. J. I. Departamento de Ingeniería Mecánica y de Construcción, «Perfil de evolvente», *Mecapedia*, 2020. http://www.mecapedia.uji.es/perfil_de_evolvente.htm (consulta jul. 19, 2022).
- [17] Universidad de Cantabria, «5.1 Transmisión de movimiento». Consulta: jul. 20, 2022. [En línea]. Available: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjxuej0jlf5AhXPxqQKHdVxDfYQFnoECCwQAQ&url=https%3A%2F%2Focw.unican.es%2Fpluginfile.php%2F228%2Fcourse%2Fsection%2F139%2Ftema_5%25201.pdf&usg=AOvVaw0mkT2_I9ScV-aS6K6QAofZ
- [18] A. M. Saleem, «Effect of Tooth Geometry on Gear Pump Performance», 2009.
- [19] «RAMPS 1.4 Assembly Guide 3D Printer Czar». Consulta: ago. 08, 2022. [En línea]. Available: https://www.reprap.org/mediawiki/images/0/06/RAMPS_dossier.pdf
- [20] SEAL & DESIGN INC., «METRIC O-RING GROOVE DESIGN». <https://www.sealanddesign.com/technical/o-ring-groove-design/o-ring-groove-design-metric/> (consulta ago. 21, 2022).

- [21] IGUS, «When to use it?» Consulta: ago. 09, 2022. [En línea]. Available: https://igus.widen.net/content/meclu4aegb/original/iglide_J_USen.pdf?download=true
- [22] «23HS22-2804S_Torque_Curve», OYOSTEPPER, Consulta: ago. 05, 2022. [En línea]. Available: https://www.oyostepper.com/images/upload/File/23HS22-2804S_Torque_Curve.pdf
- [23] «Acoplador rígido», Amazon. <https://www.amazon.com/-/es/pulgadas-acoplamiento-tornillo-acoplador-accesorios/dp/B07P969MJB> (consulta ago. 19, 2022).
- [24] MicroMeasurements, «General Purpose Strain Gages—Linear Pattern». Consulta: ago. 19, 2022. [En línea]. Available: <http://www.vishaypg.com/docs/11200/125lw.pdf>
- [25] HBM, «Explicación del puente de Wheatstone». <https://www.hbm.com/es/7163/el-puente-de-wheatstone-galgas-extensometricas/> (consulta ago. 20, 2022).

PLÀNOLS

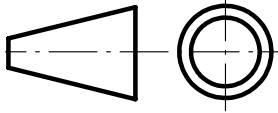


SECCIÓ C-C



Universitat de les Illes Balears

TOTES LES COTES EN MIL·LÍMETRES



MATERIAL: METACRILAT

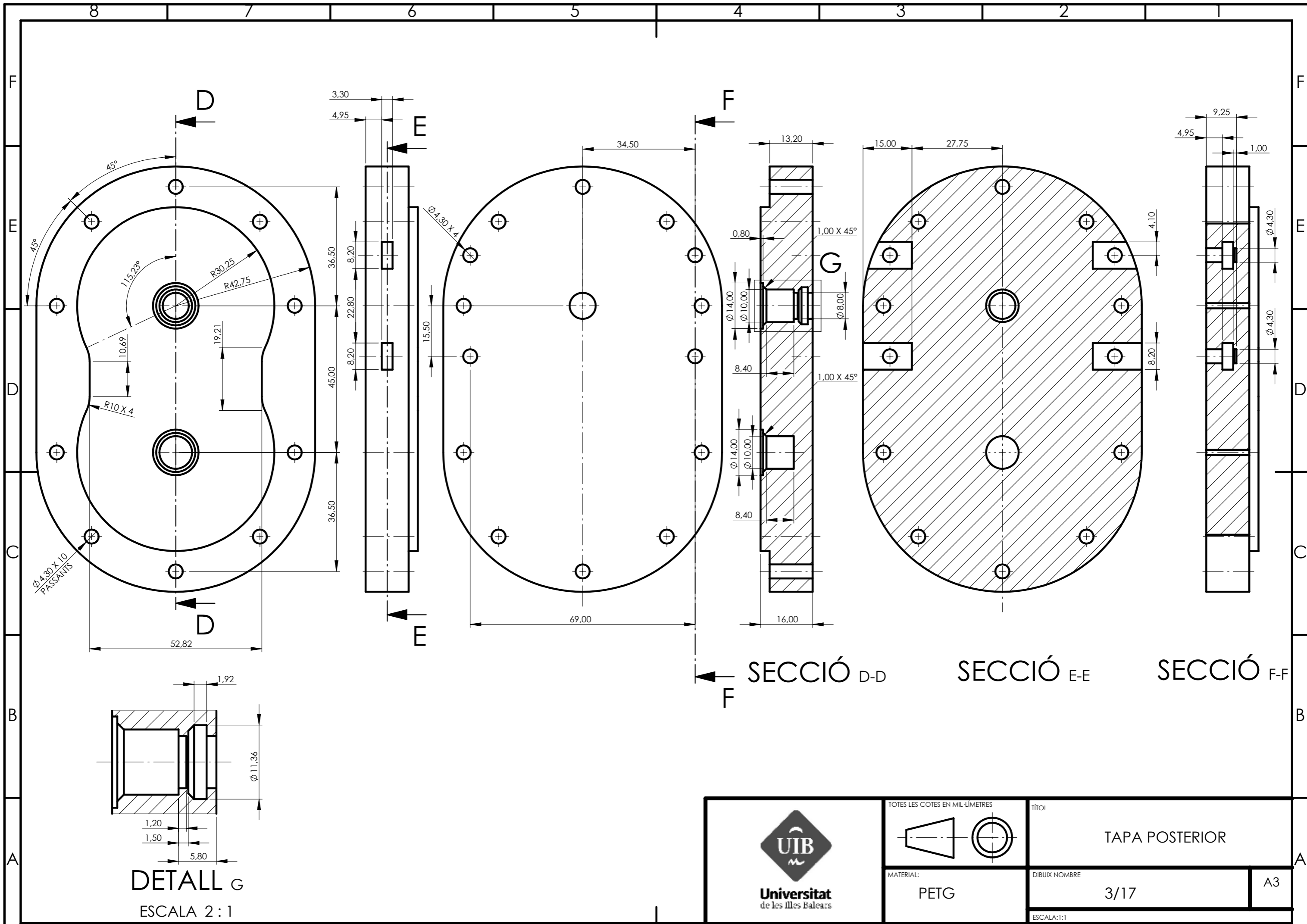
ÍFOL

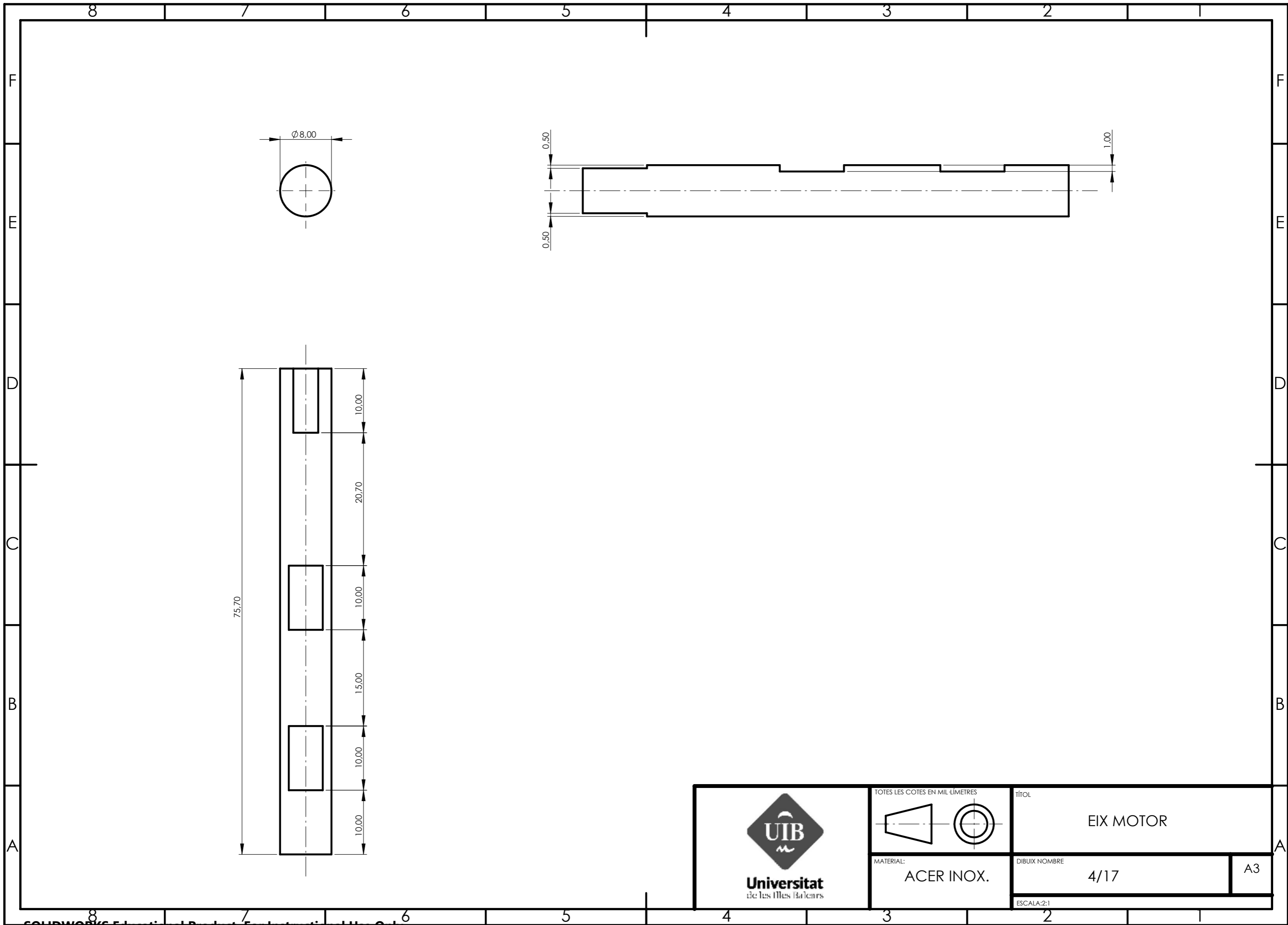
TAPA FRONTAL

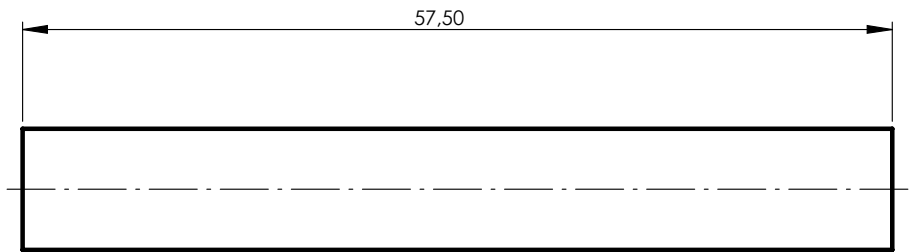
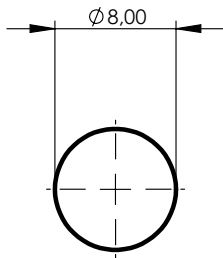
DIBUIX NOMBRE 2/17

A4

ESCALA:1:1







F
E
D
C
B
A

F
E
D
C
B
A

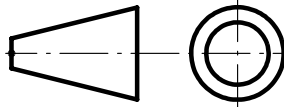
4 3 2 1

4 3 2 1



Universitat
de les Illes Balears

TOTES LES COTES EN MIL·LÍMETRES



MATERIAL:

ACER INOX.

TÍTOL

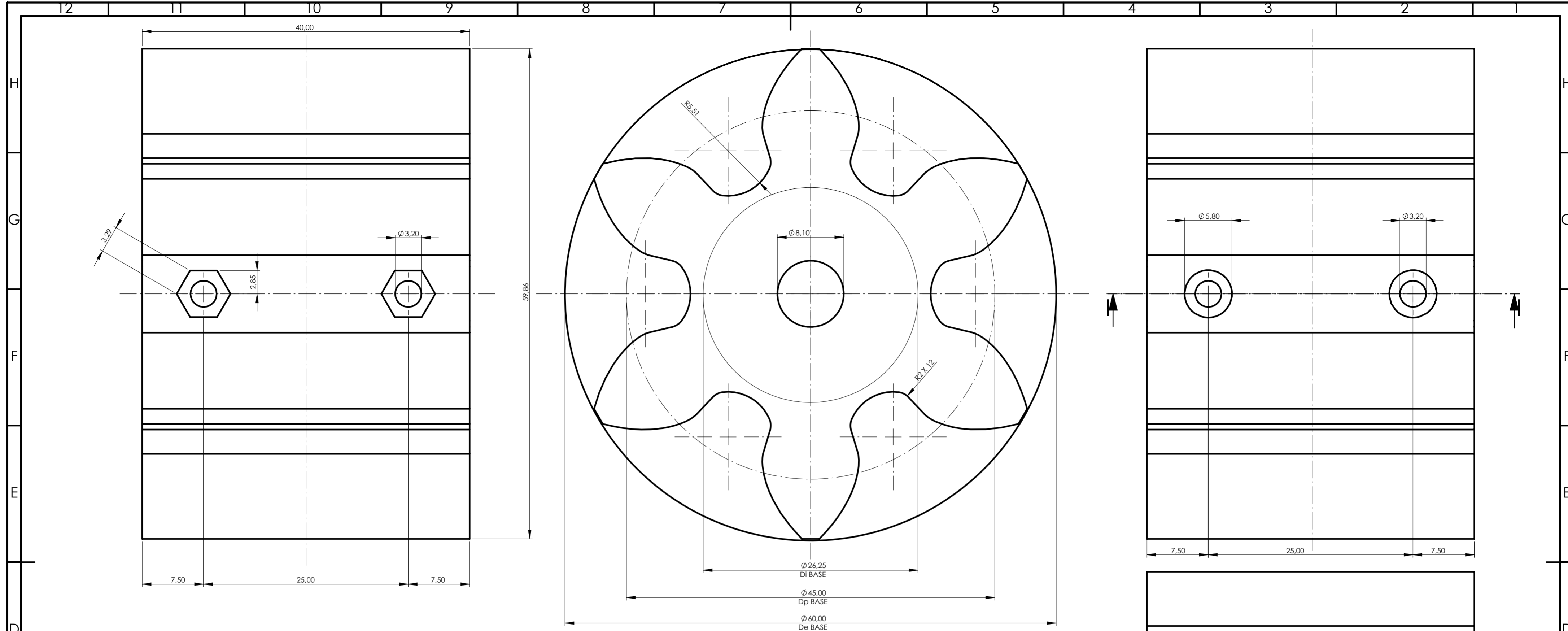
EIX NO MOTOR

DIBUIX NOMBRE

5/17

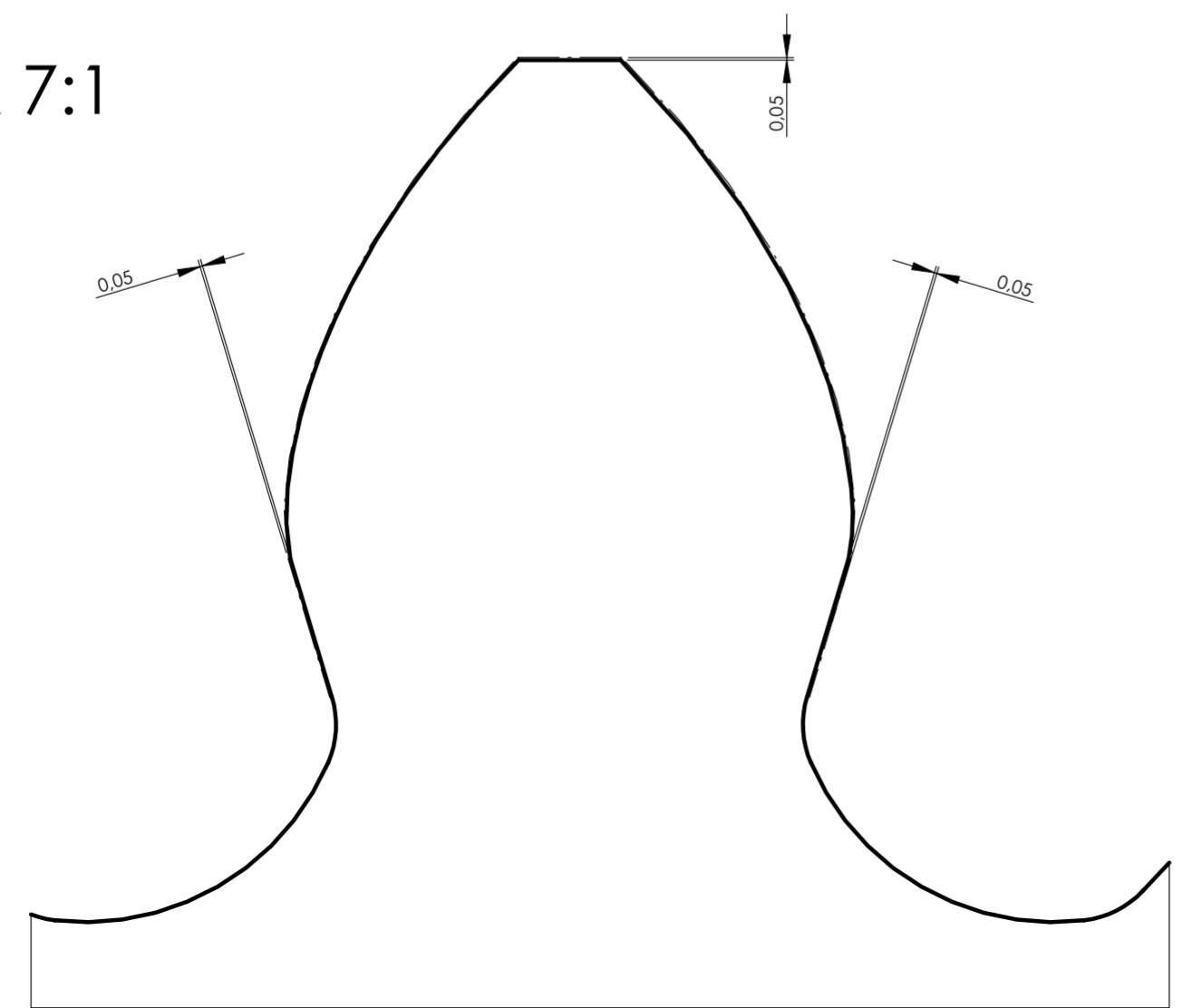
A4

ESCALA:2:1

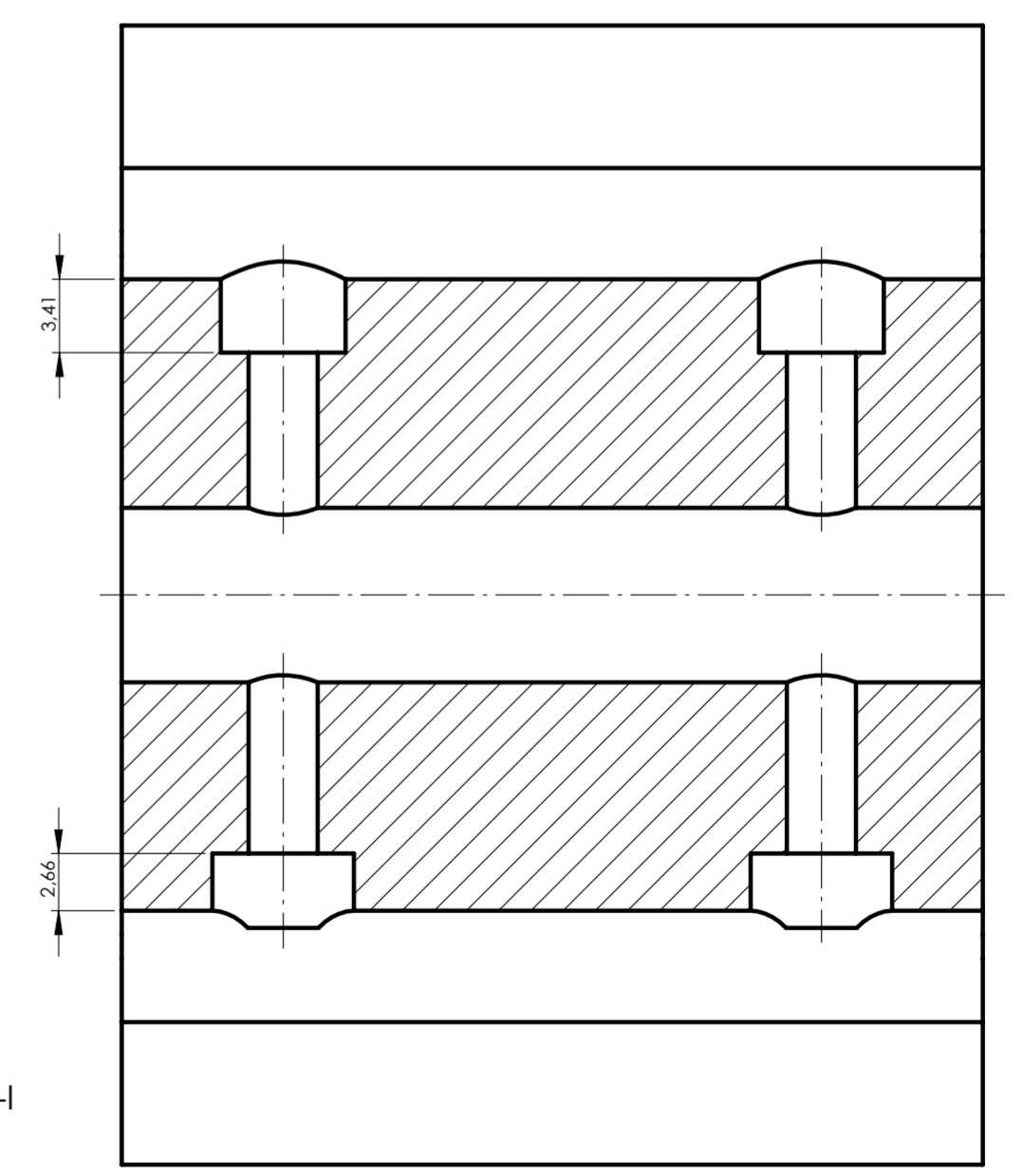




DETALL DE L'OFFSET DEL PERFIL D'EVOLVENT

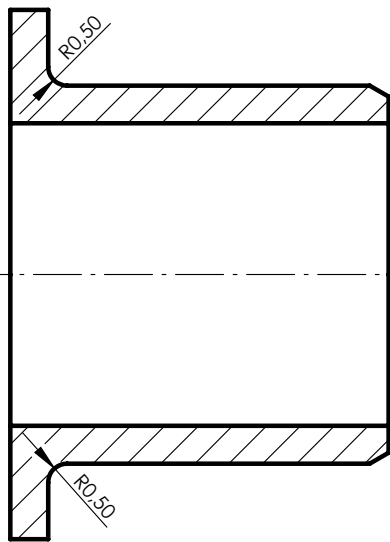
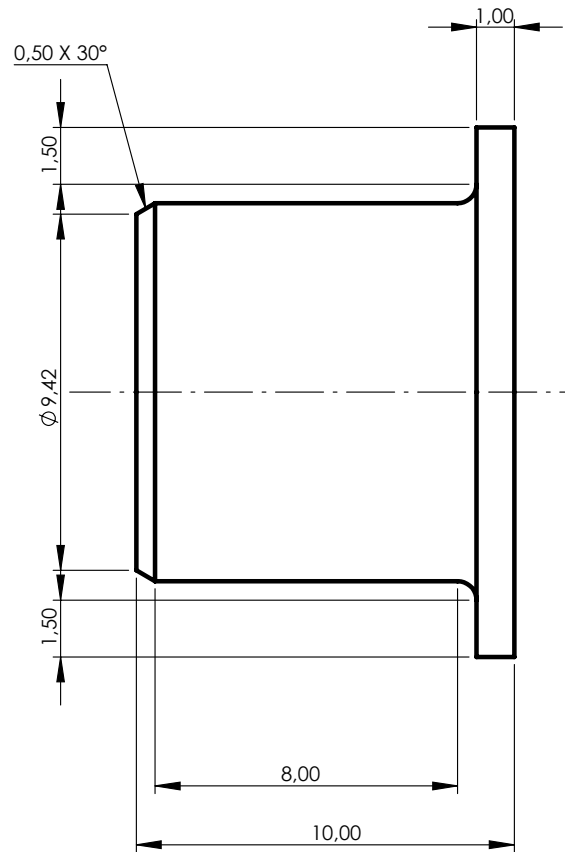
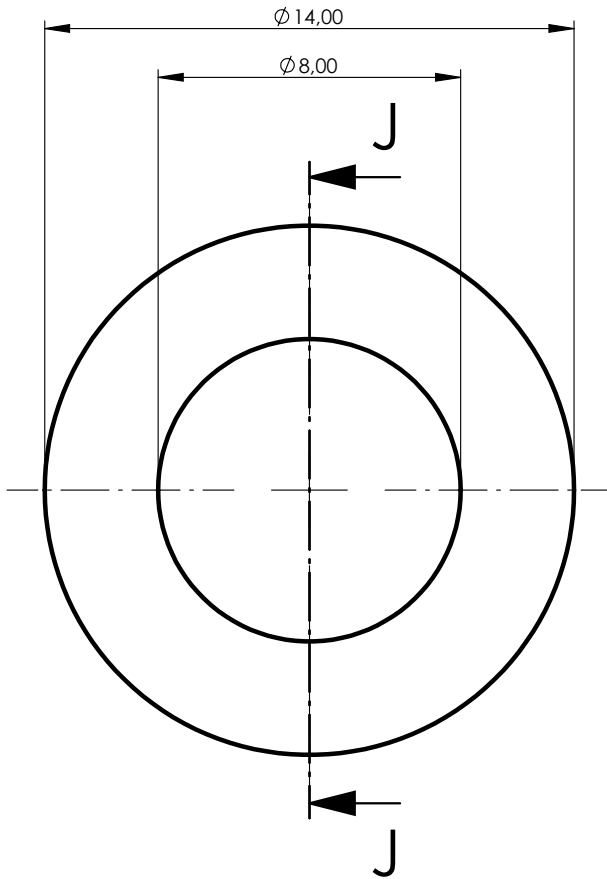
ESCALA 7:1



SECCIÓ H



 Universitat de les Illes Balears	TOTES LES COTES EN MIL·LÍMETRES 		TÍTOL ENGRANATGE NO MOTOR	
	MATERIAL: PETG		DIBUIX NOMBRE 7/17	
		ESCALA: 3:1		A2



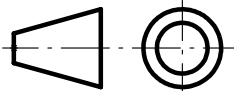
SECCIÓ J-J

TOTES LES COTES EN MIL·LÍMETRES

TÍTOL



Universitat
de les Illes Balears



COIXINET TAPA POSTERIOR

MATERIAL:

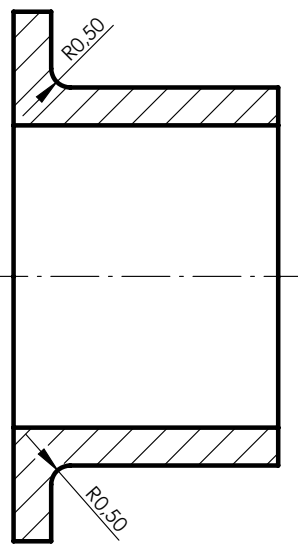
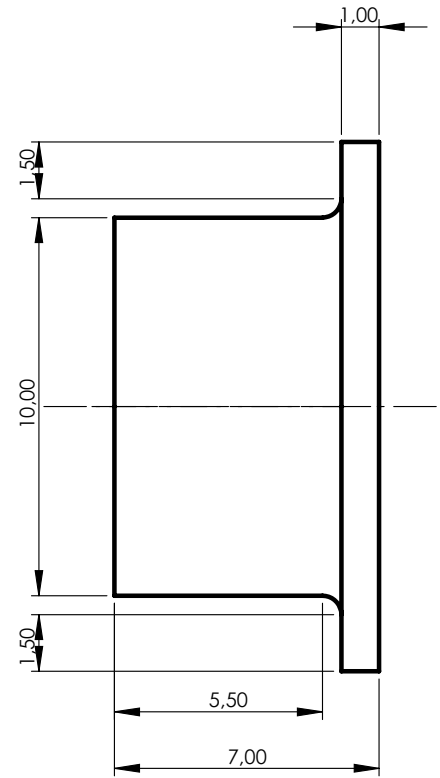
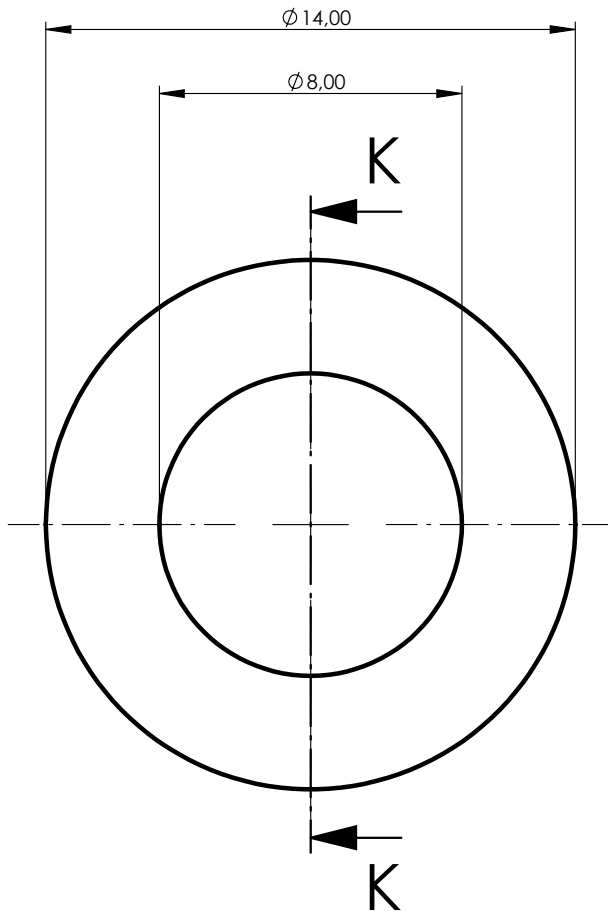
IGUS®

DIBUIX NOMBRE

8/17

A4

ESCALA: 5:1

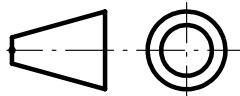


SECCIÓ K-K



Universitat
de les Illes Balears

TOTES LES COTES EN MIL·LÍMETRES



MATERIAL:

IGUS®

TÍTOL

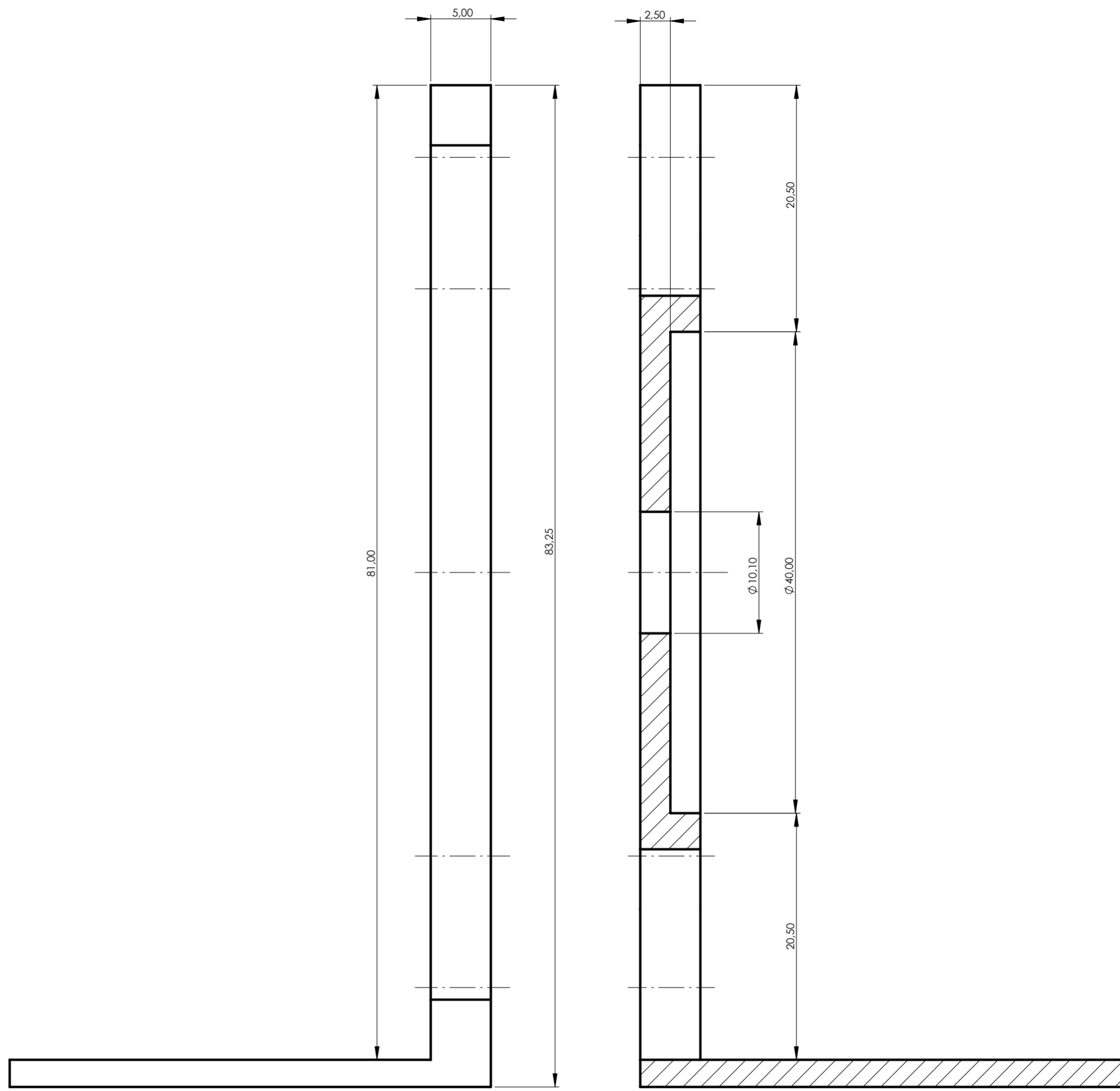
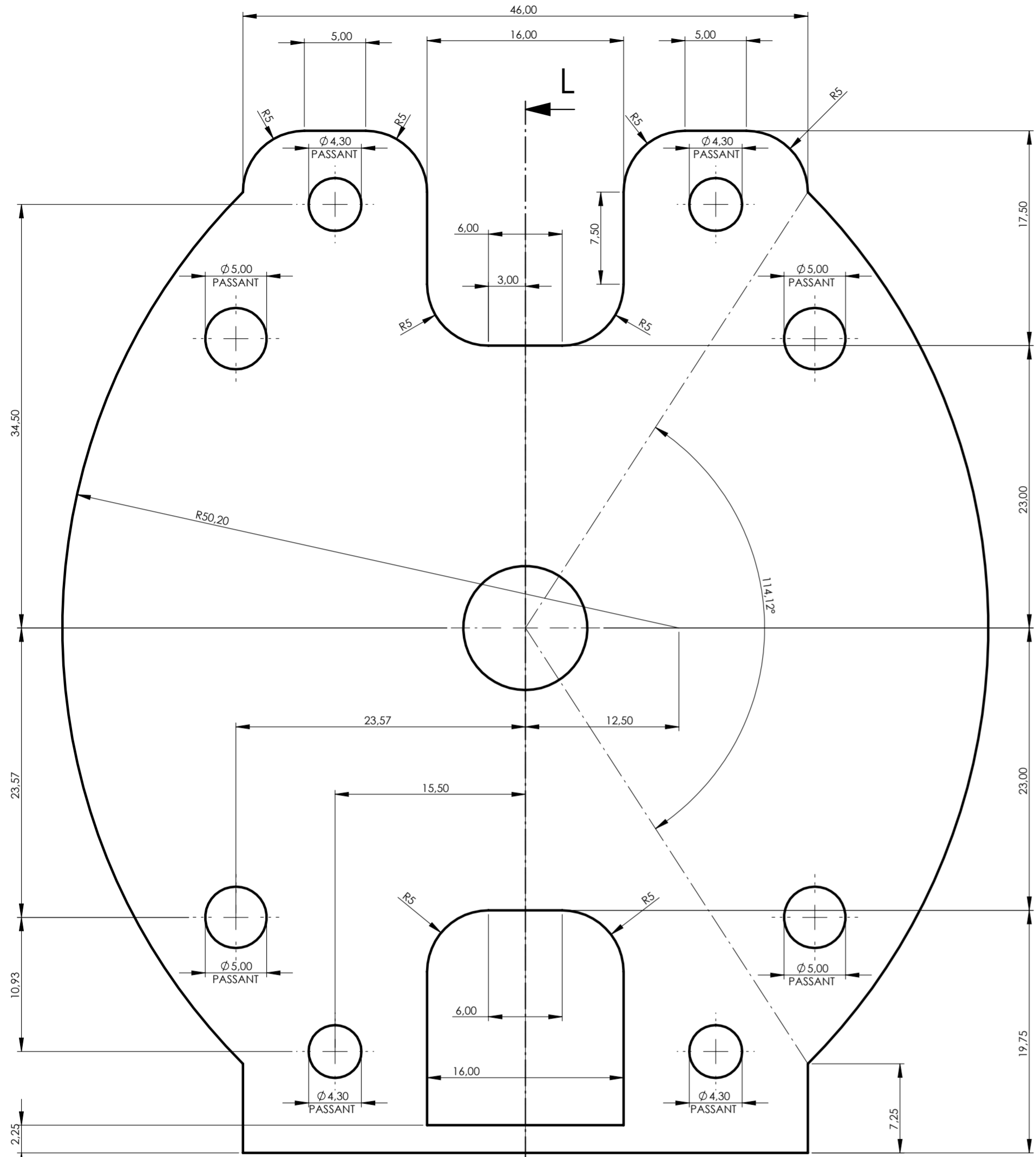
COXINET TAPA FRONTAL

DIBUIX NOMBRE


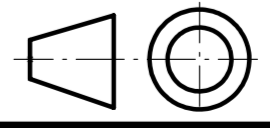
9/17

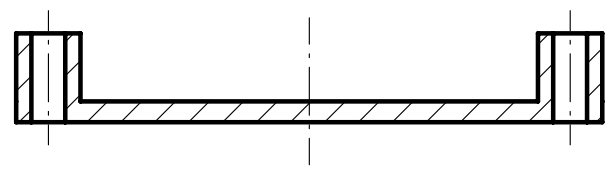
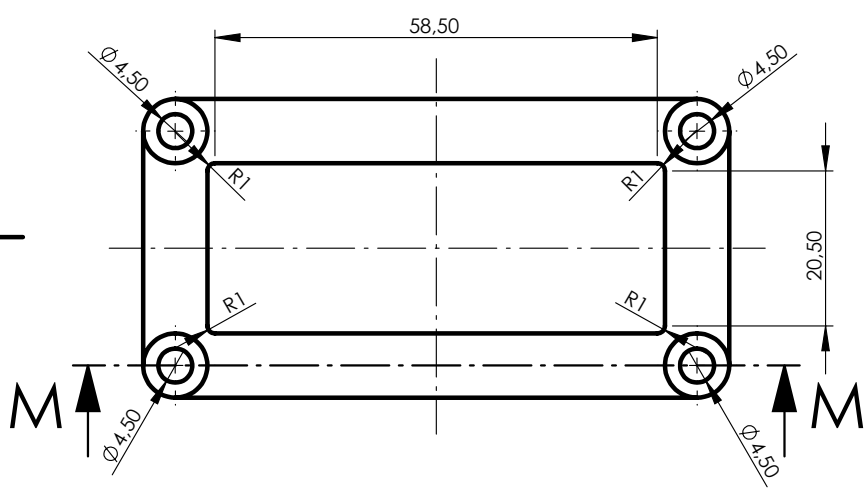
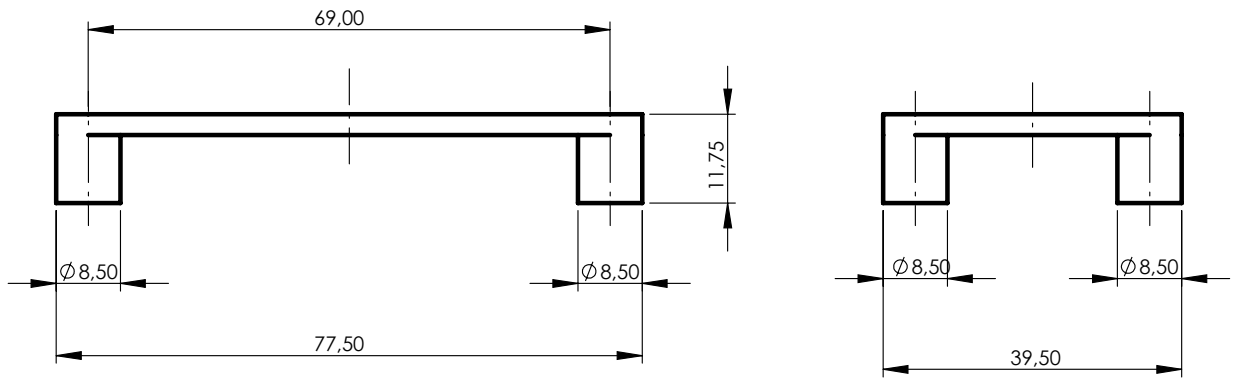
A4

ESCALA:5:1



SECCIÓ L-L

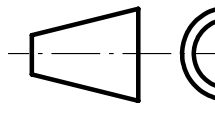
 Universitat de les Illes Balears	TOTES LES COTES EN MIL·LÍMETRES 	TÍTOL SUPORT NEMA 23	
	MATERIAL: PETG	DIBUIX NOMBRE 10/17	A2
		ESCALA: 3:1	



SECCIÓ M-M



TOTES LES COTES EN MIL·LÍMETRES



TÍTOL

PEÇA CENTRADORA

MATERIAL:

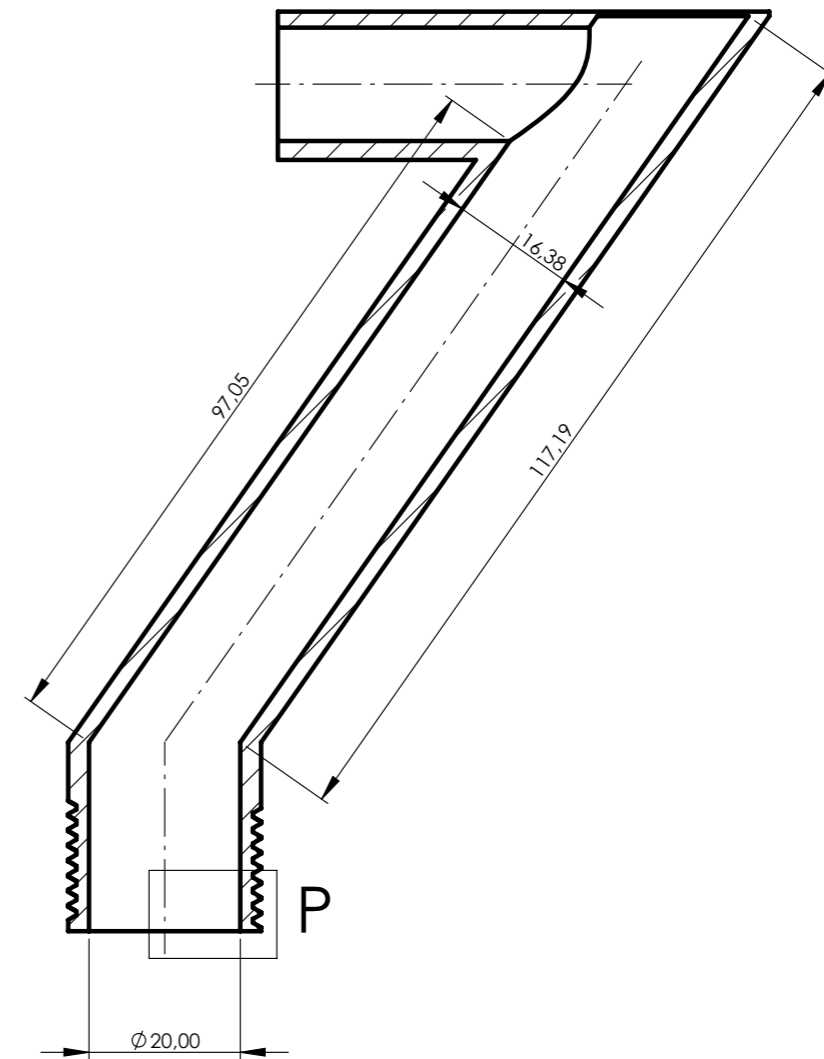
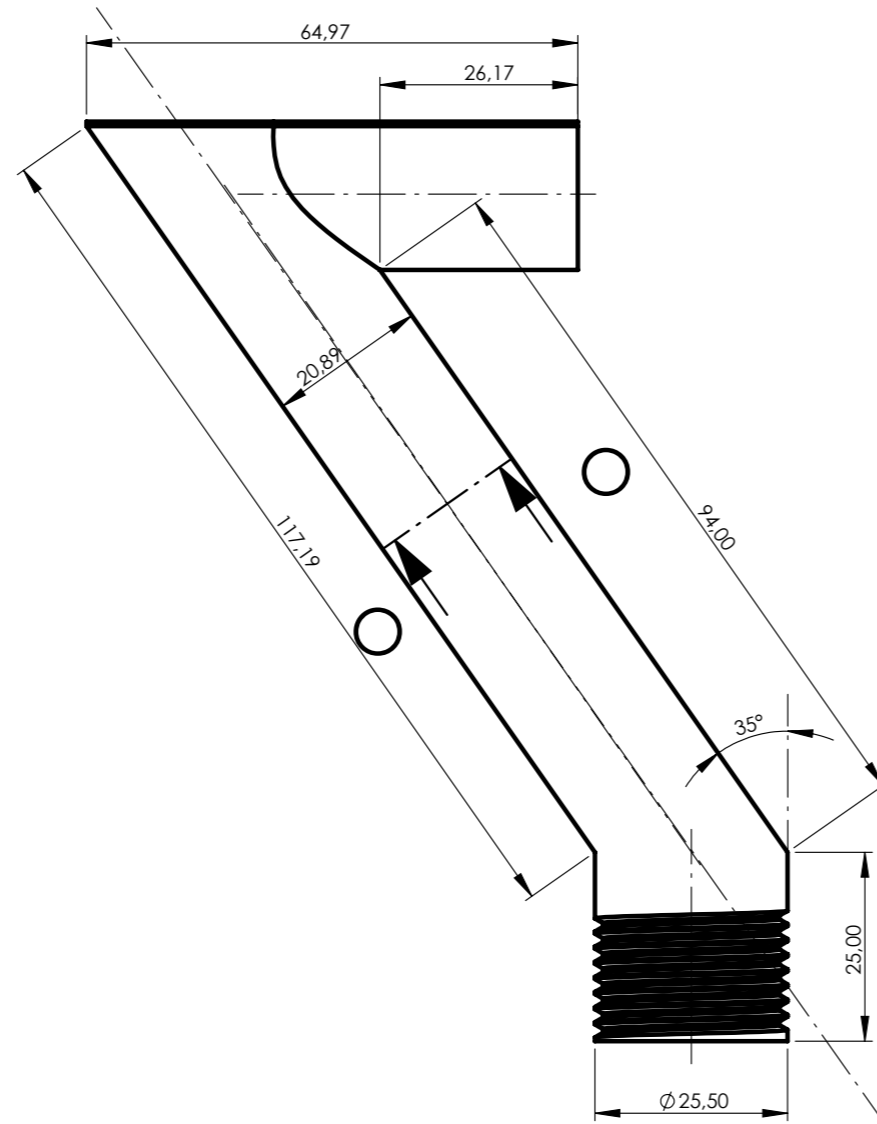
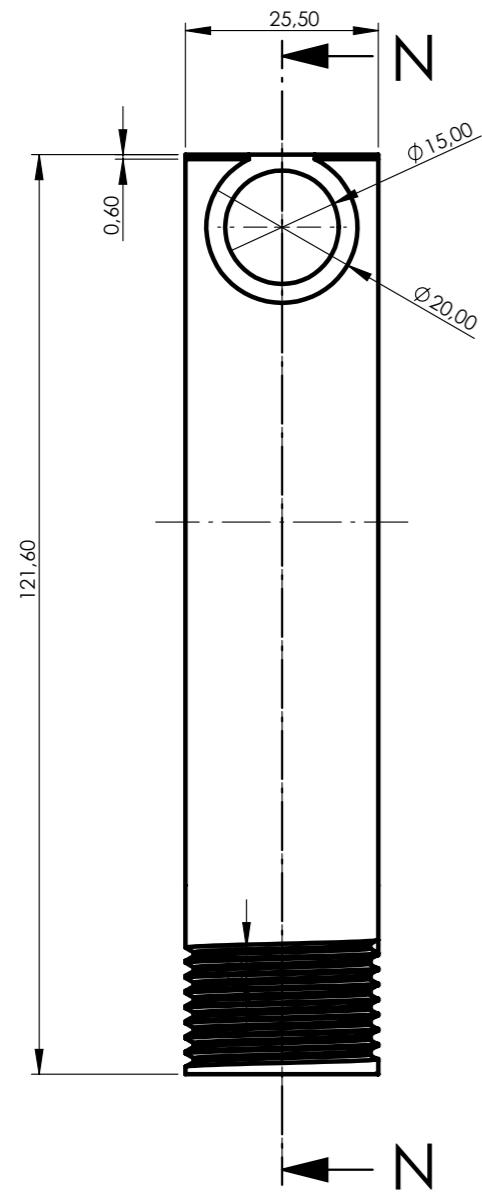
PETG

DIBUIX NOMBRE

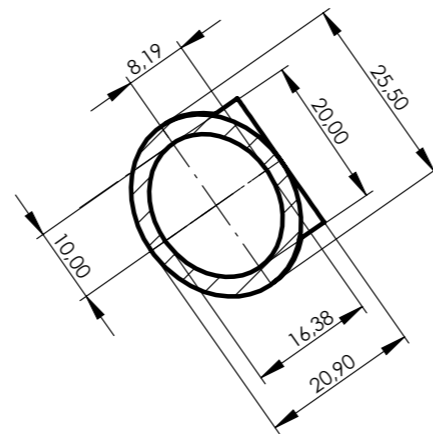
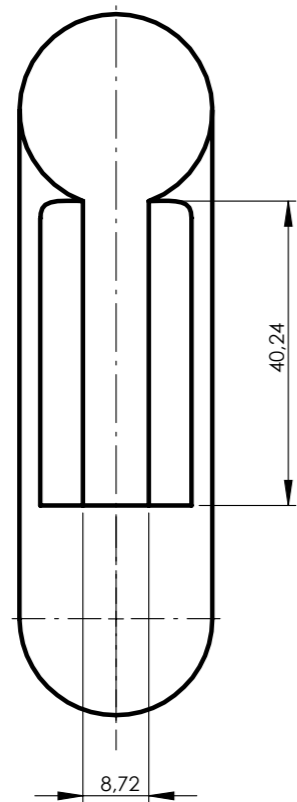
11/17

A4

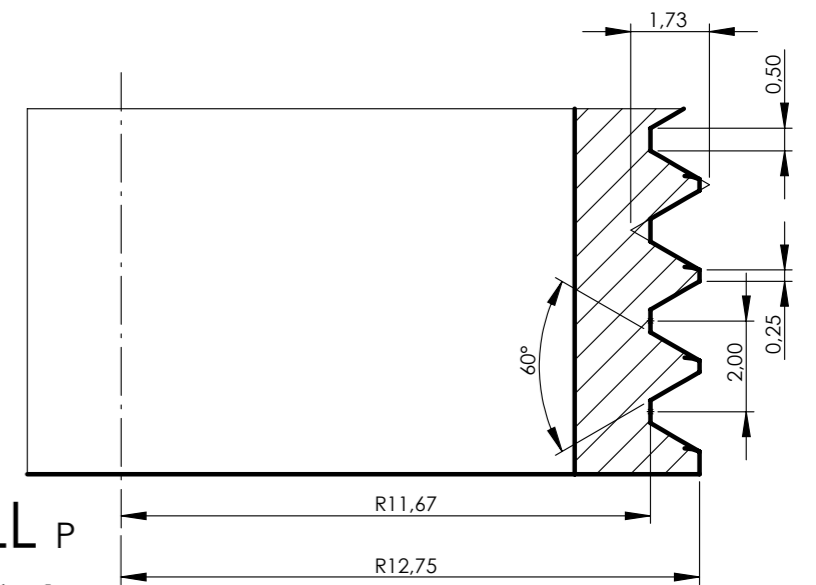
ESCALA:1:1



SECCIÓ N-N



SECCIÓ O-O



DETALL P
ESCALA 6 : 1

Universitat
de les Illes Balears

TOTES LES COTES EN MIL·LÍMETRES

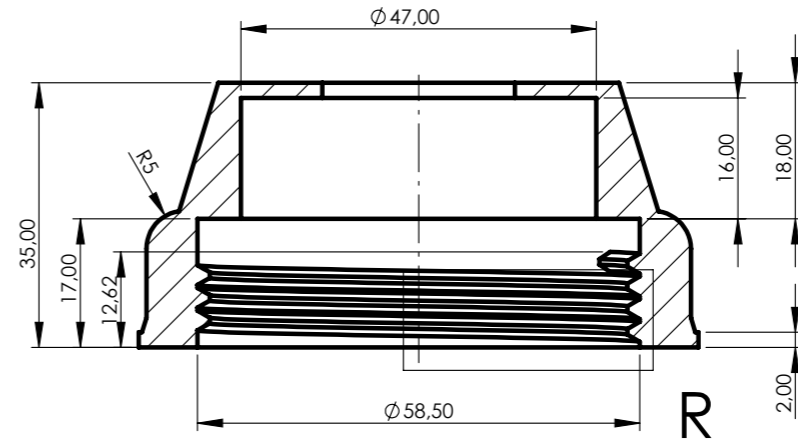
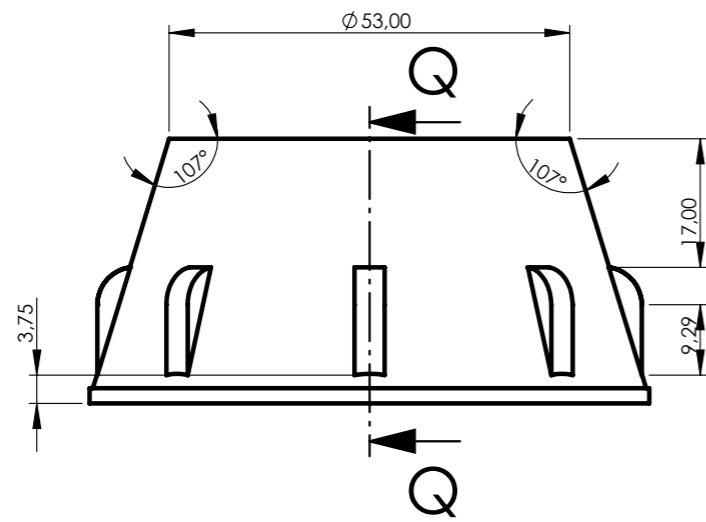
MATERIAL:
PETG

TÍTOL
TUB DE SORTIDA

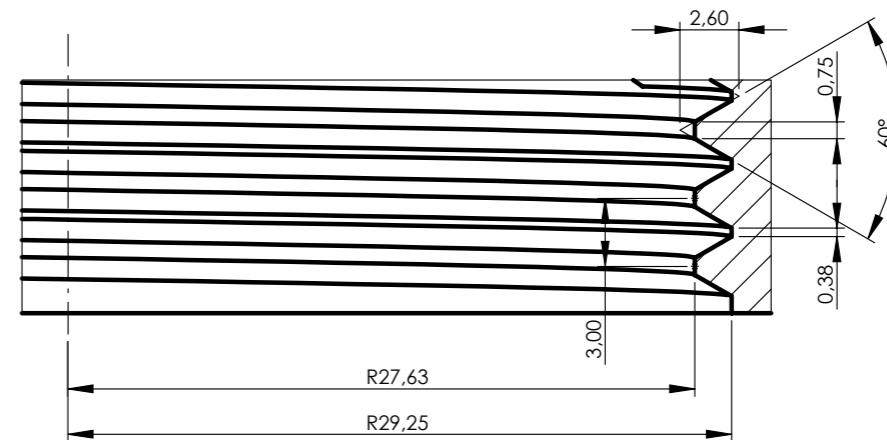
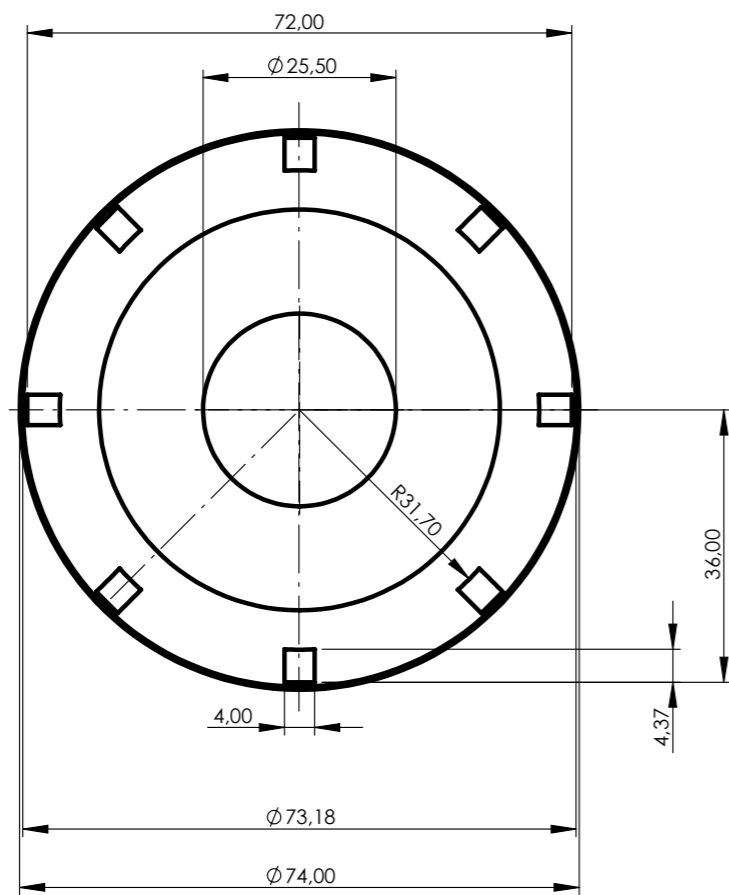
DIBUIX NOMBRE
12/17

A3

ESCALA:1:1

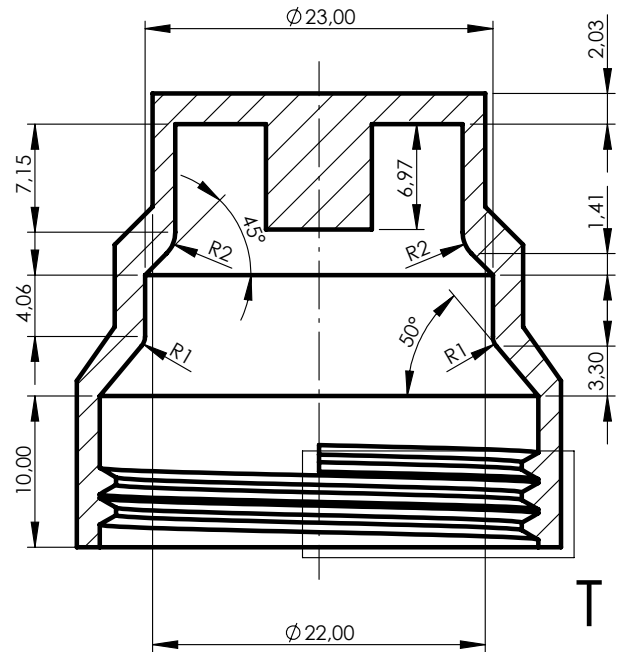
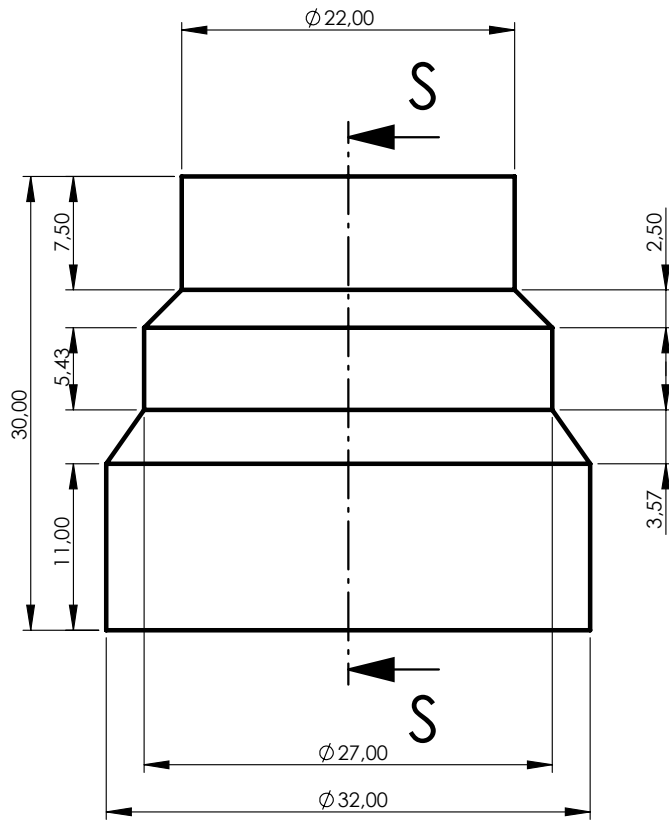


SECCIÓ Q-Q

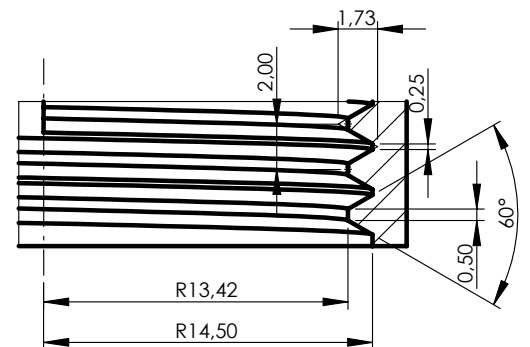
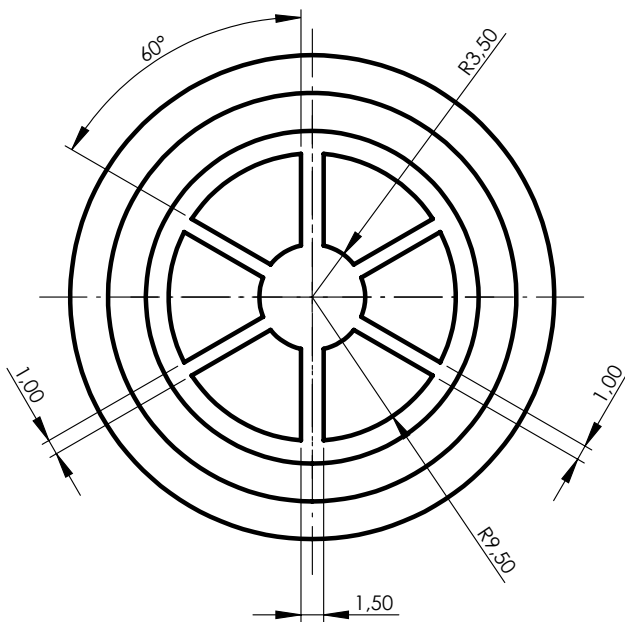


DETALL R
ESCALA 3 : 1

	TOTES LES COTES EN MIL·LÍMETRES		TÍTOL TAP DEL DIPÒSIT	
	MATERIAL: PETG		DIBUIX NOMBRE 13/17	
			ESCALA: 1:1	
			A3	



SECCIÓ S-S

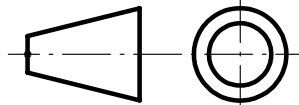


DETALLE T
ESCALA 3:1



Universitat
de les Illes Balears

TOTES LES COTES EN MIL·LÍMETRES



MATERIAL:

PETG

ÍFOL

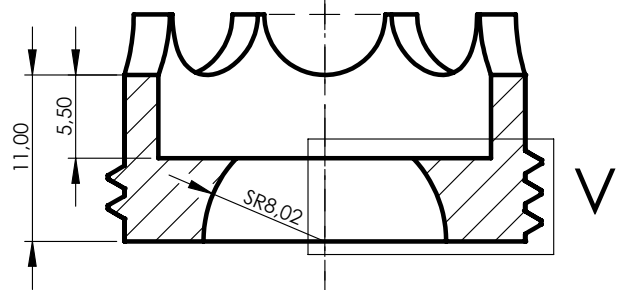
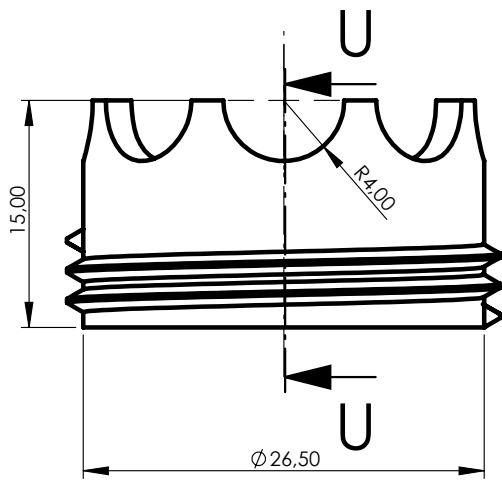
VÀLVULA ANTIRRETORN
(PART 1)

DIBUIX NOMBRE

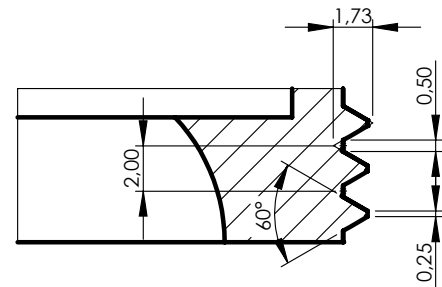
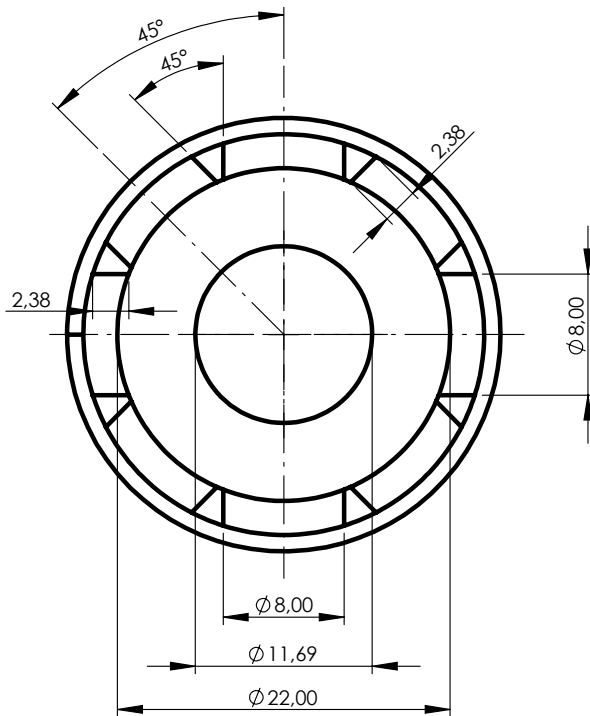
14/17

A4

ESCALA:2:1



SECCIÓ U-U



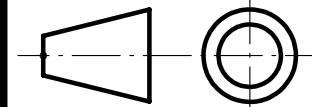
DETALL V

ESCALA 3:1



Universitat
de les Illes Balears

TOTES LES COTES EN MIL·LÍMETRES



MATERIAL:

PETG

TÍTOL

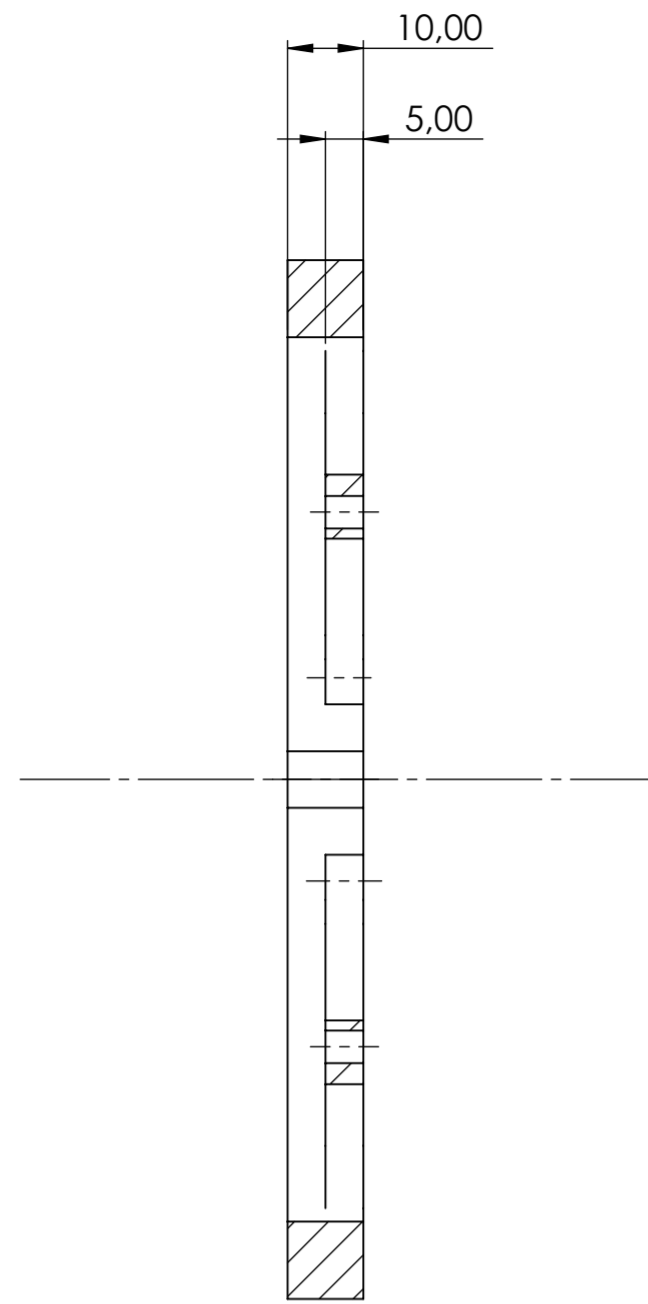
VÀLVULA ANTIRRETORN
(PART 2)

DIBUIX NOMBRE

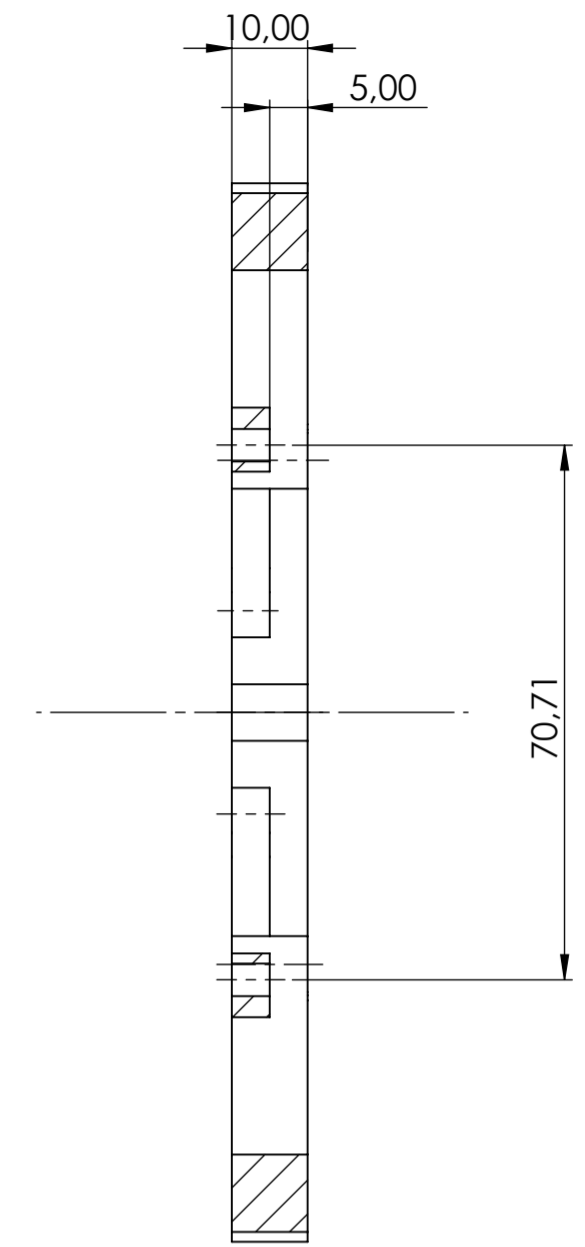
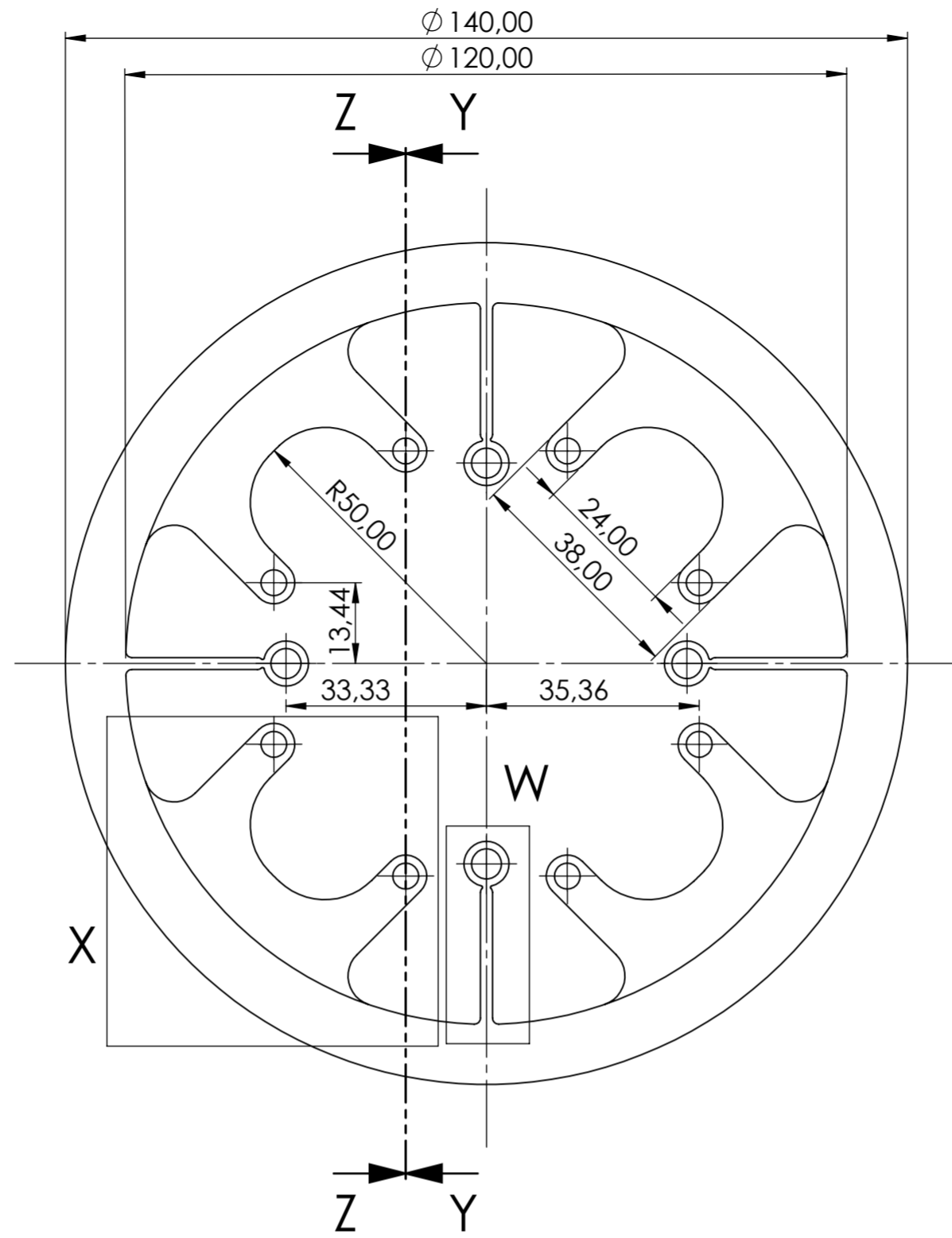
15/17

A4

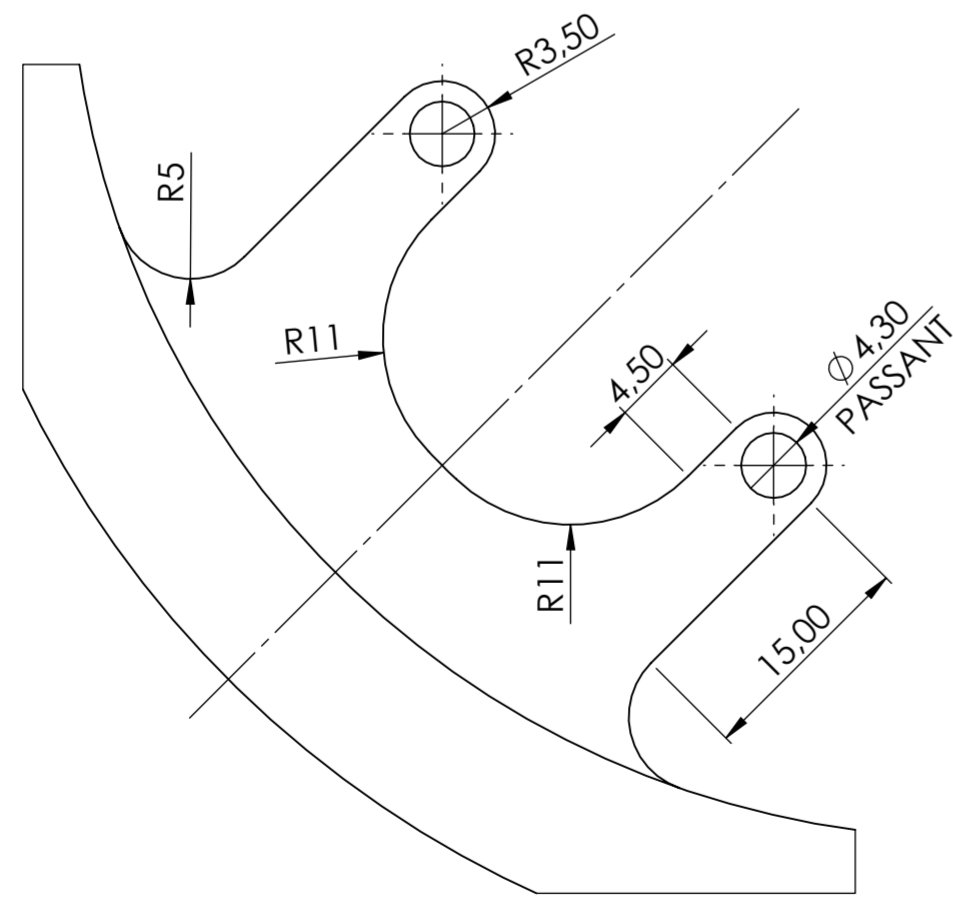
ESCALA:2:1



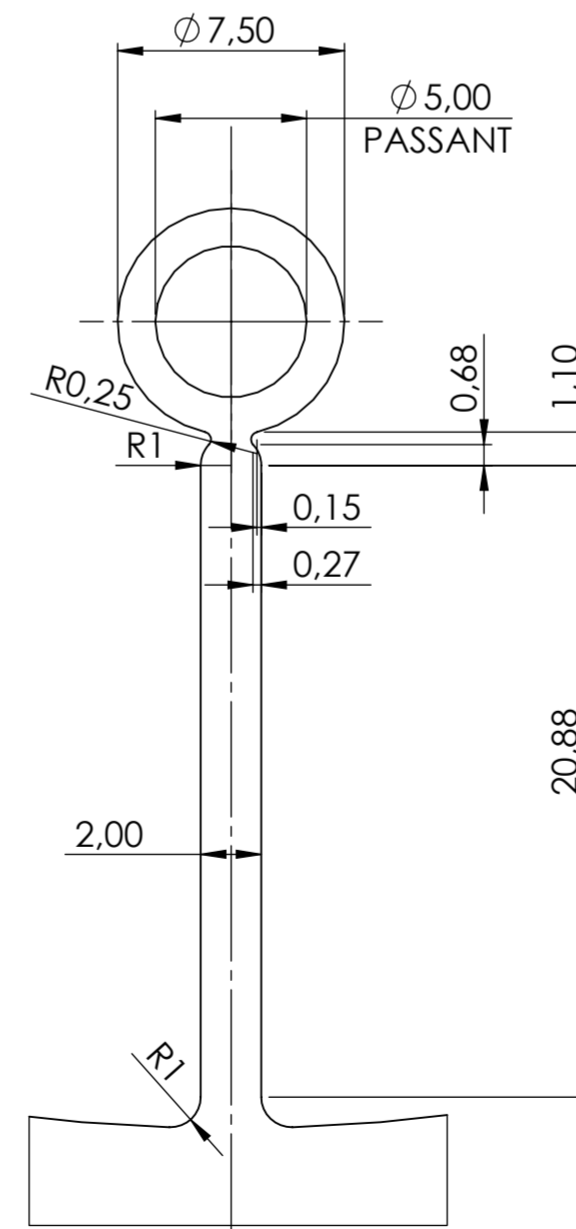
SECCIÓ Y-Y



SECCIÓ Z-Z



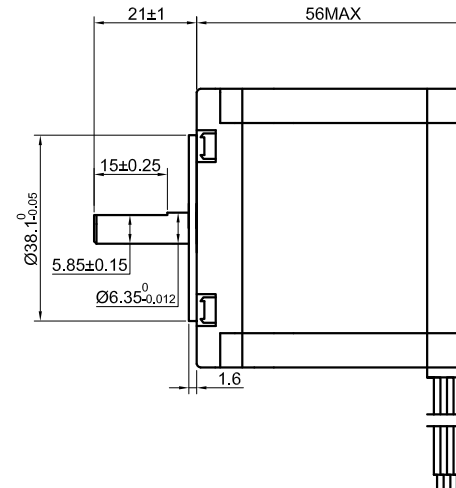
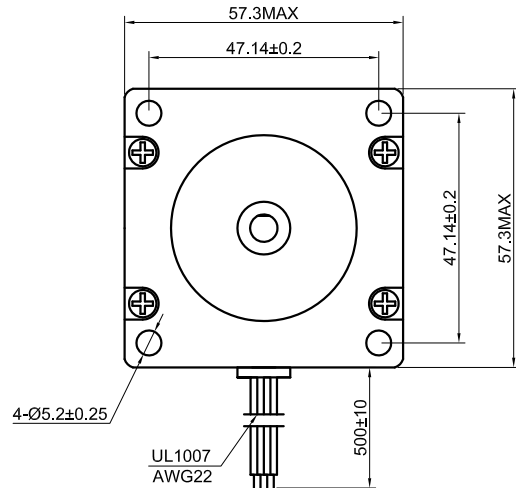
DETALL X
ESCALA 2:1



DETALL W
ESCALA 4:1

<p>Universitat de les Illes Balears</p>	TOTES LES COTES EN MIL·LÍMETRES		TÍTOL SUPORT PEL CàLCUL DEL PARELL REAL	
	MATERIAL: PETG		DIBUIX NOMBRE 16/17	
			ESCALA: 1:1	

ANNEXOS

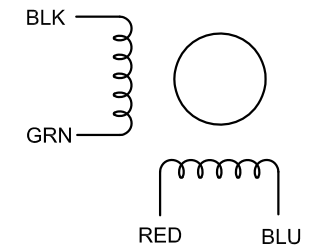


SPECIFICATION	CONNECTION	BIPOLAR
AMPS/PHASE		2.80
RESISTANCE/PHASE(Ohms)@25°C		0.90±10%
INDUCTANCE/PHASE(mH)@1KHz		2.60±20%
HOLDING TORQUE(Nm)[lb-in]		1.20[10.63]
STEP ANGLE(°)		1.80
STEP ACCURACY(NON-ACCUM)		±5.00%
ROTOR INERTIA(g-cm ²)		300.00
WEIGHT(Kg)[lb]		—
TEMPERATURE RISE:MAX.80°C (MOTOR STANDSTILL;FOR 2PHASE ENERGIZED)		
AMBIENT TEMPERATURE -10°C~50°C[14°F~122°F]		
INSULATION RESISTANCE 100 Mohm (UNDER NORMAL TEMPERATURE AND HUMIDITY)		
INSULATION CLASS B 130°C[266°F]		
DIELECTRIC STRENGTH 500VAC FOR 1MIN.(BETWEEN THE MOTOR COILS AND THE MOTOR CASE)		
AMBIENT HUMIDITY MAX.85%(NO CONDENSATION)		

TYPE OF CONNECTION (EXTERN)		MOTOR	
PIN NO	BIPOLAR	LEADS	WINDING
1	A+ —	BLK	
2	A- —	GRN	
3	B+ —	RED	
4	B- —	BLU	

FULL STEP 2 PHASE-Ex ,
WHEN FACING MOUNTING END (X)

STEP	A+	B+	A-	B-		CCW
1	+	+	-	-		
2	-	+	+	-		
3	-	-	+	+		
4	+	-	-	+		

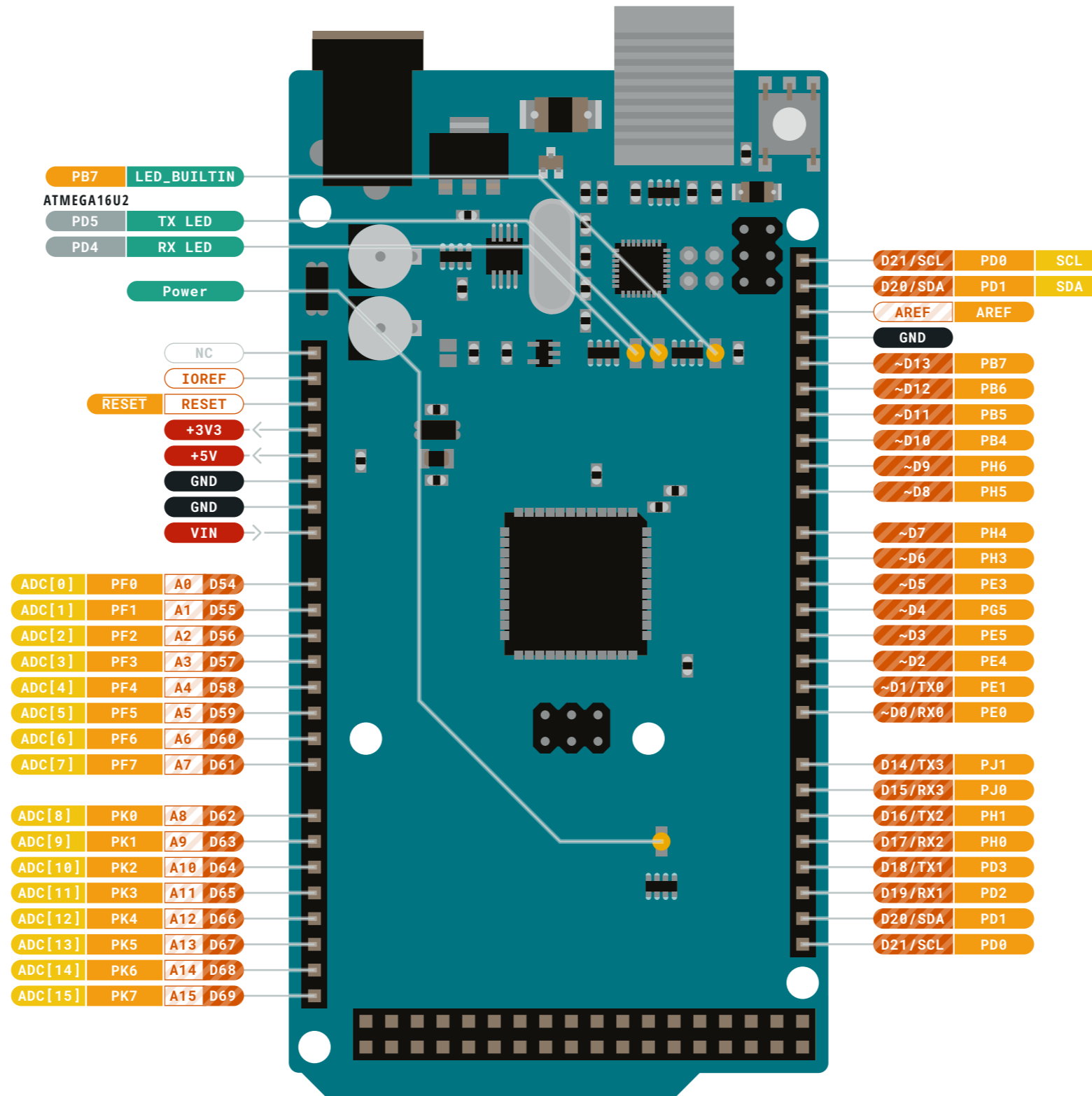


STEPPERONLINE®

APVD		10.30.2020
CHKD		
1:1.5	DRN	
SCALE	SIGNATURE	DATE

STEPPER MOTOR

23HS22-2804S

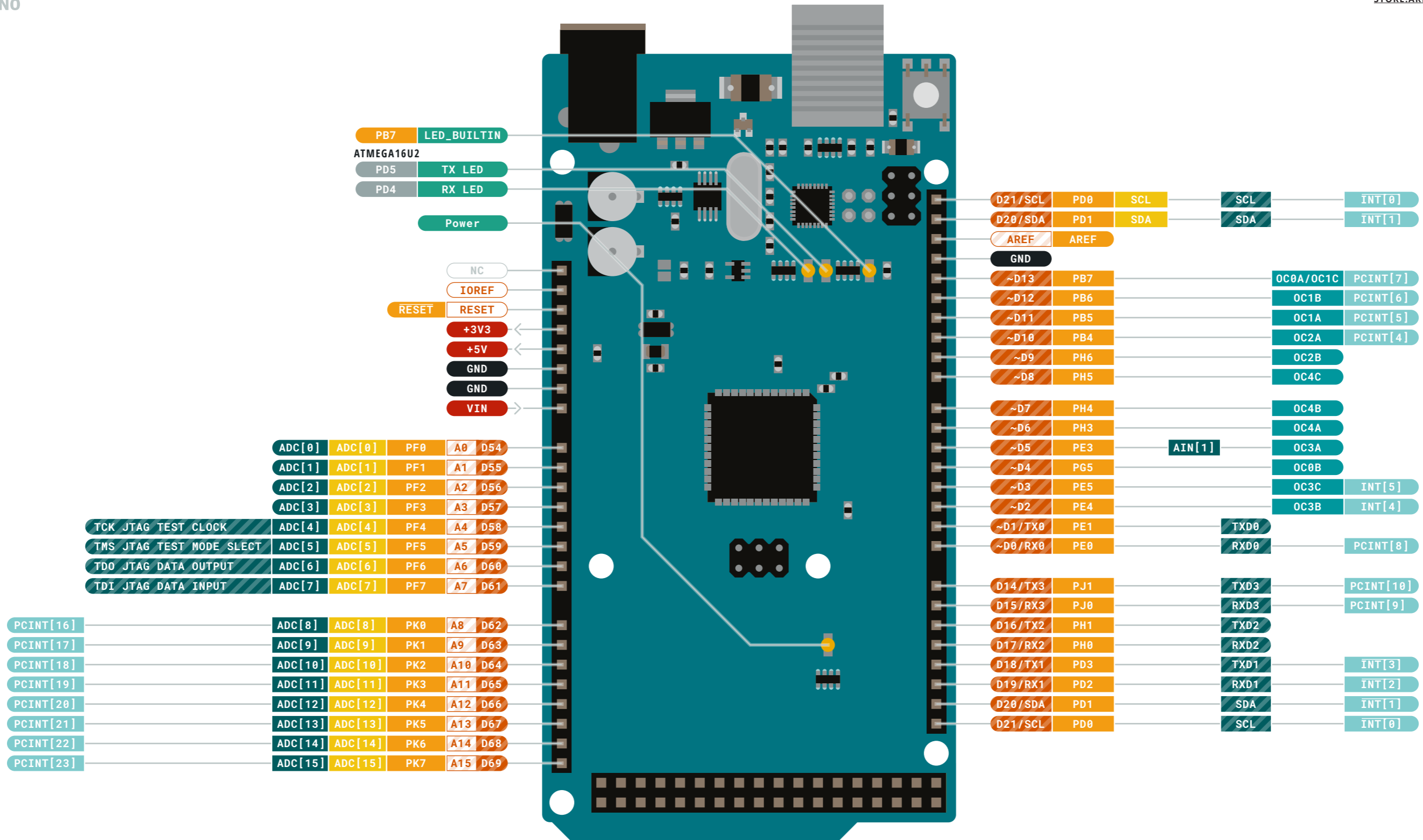


- Ground
- Power
- LED
- Internal Pin
- SWD Pin
- Digital Pin
- Analog Pin
- Other Pin
- Microcontroller's Port
- Default

⚠️ MAXIMUM current per I/O pin is 20mA **VIN** 6-20 V input to the board.

⚠️ MAXIMUM current per +3.3V pin is 50mA



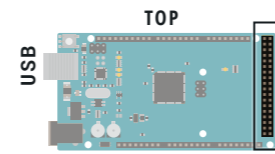


Ground	Digital Pin	Analog
Power	Analog Pin	Communication
LED	Other Pin	Timer
Internal Pin	Microcontroller's Port	Interrupt
SWD Pin	Default	Sercom

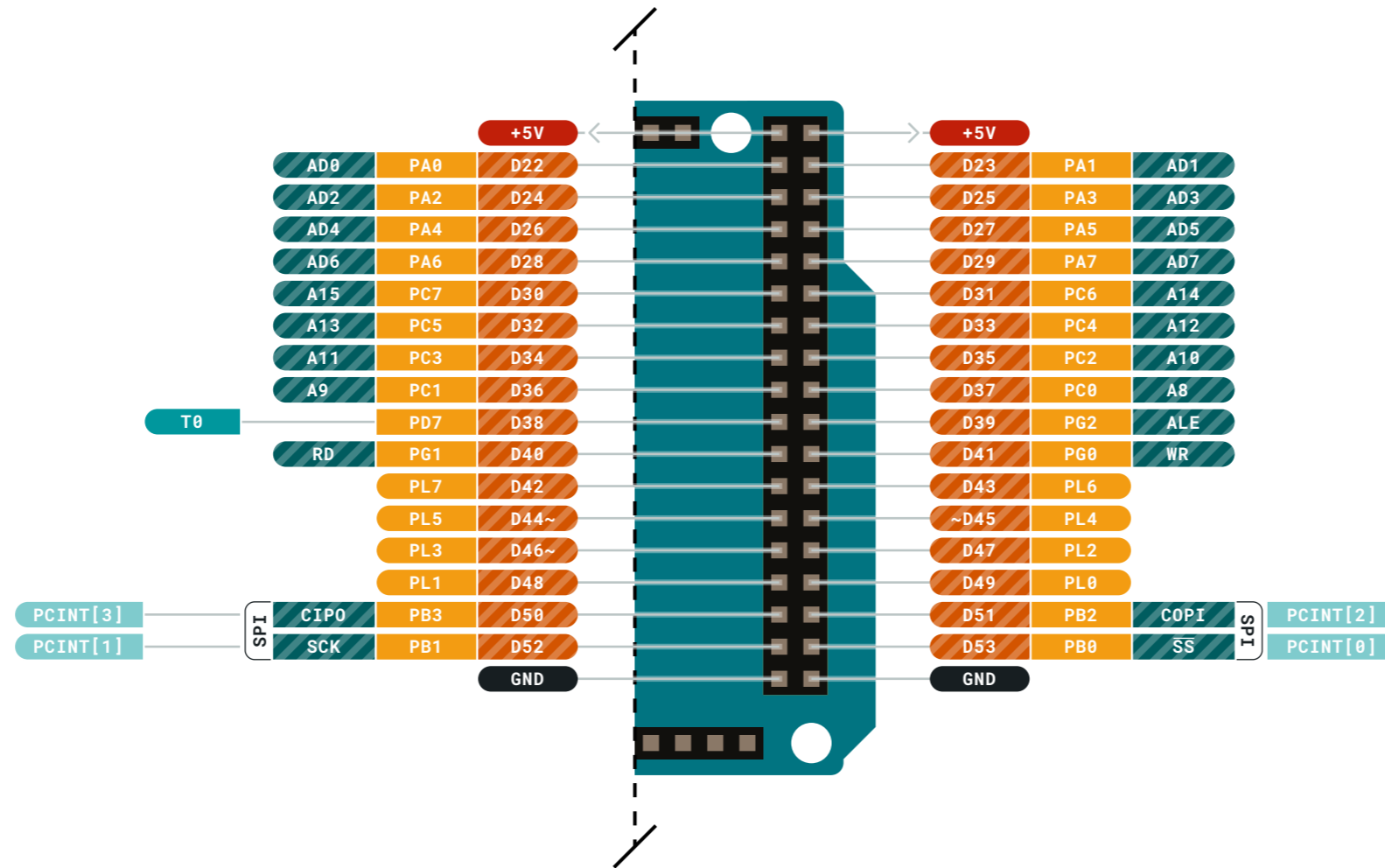
MAXIMUM current per I/O pin is 20mA **VIN** 6-20 V input to the board.

MAXIMUM current per +3.3V pin is 50mA





Digital pins D22-D53



- Ground
- Power
- LED
- Internal Pin
- SWD Pin
- Digital Pin
- Analog Pin
- Other Pin
- Microcontroller's Port
- Default
- Analog
- Communication
- Timer
- Interrupt
- Sercom

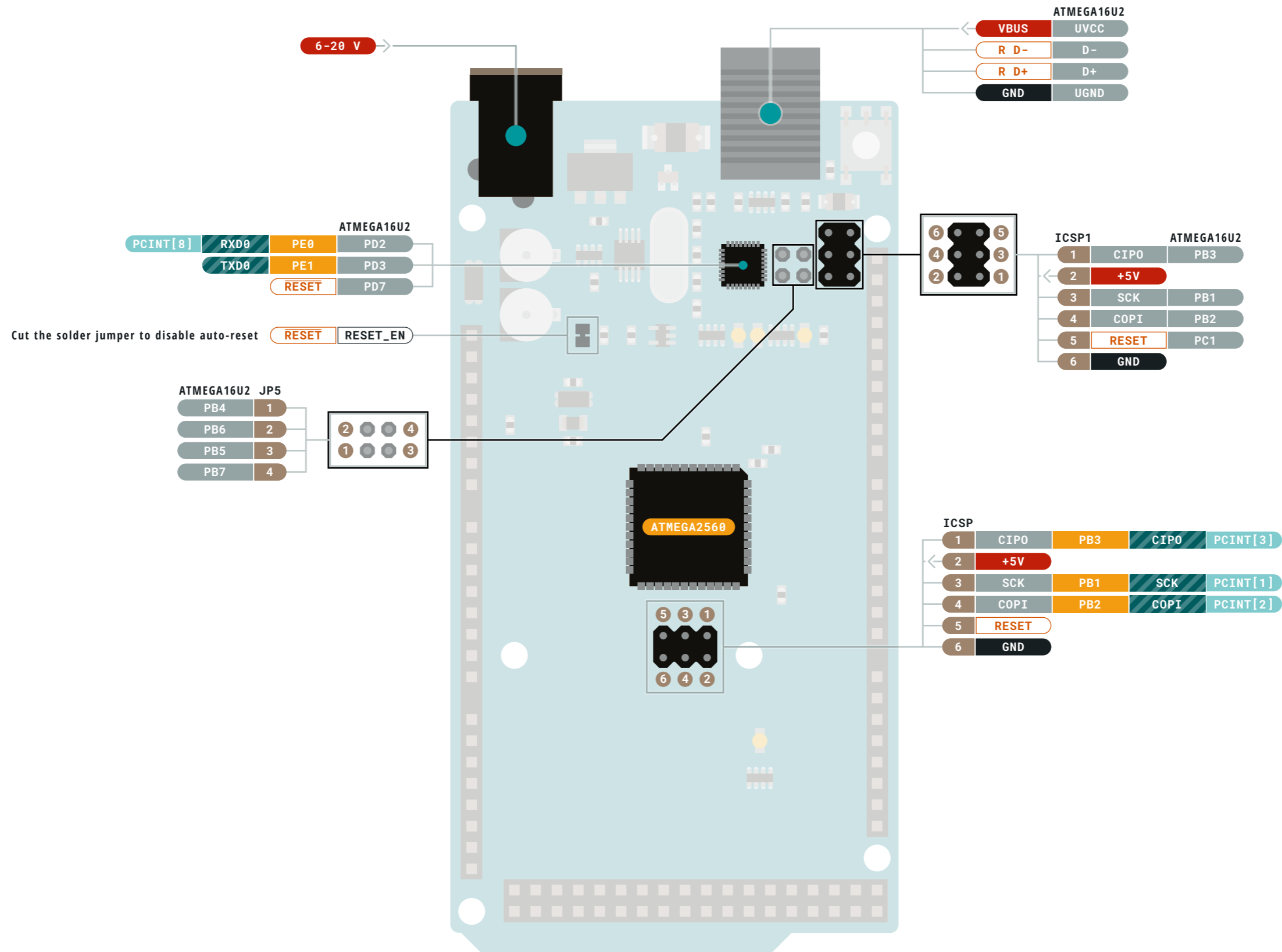
! **MAXIMUM** current per I/O pin is 20mA

! **MAXIMUM** current per +3.3V pin is 50mA

VIN 6-20 V input to the board.

NOTE: CIP0/COPI have previously been referred to as MISO/MOSI





- Ground
- Power
- LED
- Internal Pin
- SWD Pin
- Digital Pin
- Analog Pin
- Other Pin
- Microcontroller's Port
- Default
- Analog
- Communication
- Timer
- Interrupt
- Sercom

- ⚠ **MAXIMUM** current per I/O pin is 20mA
- ⚠ **MAXIMUM** current per +3.3V pin is 50mA

VIN 6-20 V input to the board.

NOTE: CIP0/COPI have previously been referred to as MISO/MOSI



Versión: 1.1
Última actualización: 16-02-2022

Ficha Técnica

Prusament PETG de Prusa Polymers



Identificación

Nombre comercial:	Prusament PETG
Nombre químico	Copolímero de Tereftalato de Polietileno y Glicol
Uso	Impresión 3D FDM/FFF
Diámetro	1.75 ± 0.02 mm
Fabricante	Prusa Polymers a.s., Praga, República Checa

Parámetros de impresión recomendados

Temperatura del Nozzle [°C]	250 ± 10
Temperature de la Base Calefactable [°C]	80 ± 10
Velocidad de Impresión [mm/s]	hasta 200
Velocidad del ventilador de enfriamiento [%]	50
Tipo de Base	lámina satinada; lámina con recubrimiento de polvo; lámina de PEI liso*
Información adicional:	La falda no es necesaria generalmente.

*) con una barra de pegamento

Propiedades típicas del material

	Valor Típico	Método
MFR [g/10 min]	no aplicable	ISO 1133
MVR [cm ³ /10 min]	no aplicable	ISO 1133
Densidad [g/cm ³]	1.27	ISO 1183
*Absorción de humedad en 24 horas [%](1)	0.07	Prusa Polymers
Absorción de humedad en 7 días [%](1)	0.10	Prusa Polymers
Temperatura de Deflexión Térmica (0.45 MPa) [°C]	68	ISO 75
Temperatura de Deflexión Térmica (1.80 MPa) [°C]	68	ISO 75
Límite de la Resistencia a la Tracción del Filamento [MPa]	46 ± 1	ISO 527
Dureza - Escala D	74	Prusa Polymers
Adhesión entre capas [MPa]	18 ± 4	Prusa Polymers

(2) 24 °C; humedad 22 %.

Propiedades mecánicas de muestras de prueba impresas en 3D(2)

Propiedad\Dirección de impresión	Horizontal	Vertical XZ	Método
Límite de la Resistencia a la Tracción [MPa]	47 ± 2	50 ± 1	ISO 527-1
Módulo de Tracción [GPa]	1.5 ± 0.1	1.6 ± 0.1	ISO 527-1
Elongación en el Límite de Elasticidad [%]	5.1 ± 0.1	5.1 ± 0.1	ISO 527-1
Resistencia a la flexión [MPa]	66 ± 2	70 ± 1	ISO 178
Módulo de Flexión [GPa]	1.7 ± 0.1	1.6 ± 0.1	ISO 178
Desviación a la resistencia a la flexión [mm]	9.0 ± 0.1	9.3 ± 0.2	ISO 178
Resistencia al Impacto Charpy [kJ/m ²](3)	sin pausa	sin pausa	ISO 179-1
Resistencia al impacto Charpy con Muesca [kJ/m ²](4)	6 ± 1	3 ± 1	ISO 179-1

(2) Se usó una impresora 3D Original Prusa i3 MK3 para imprimir las muestras de ensayo. Se utilizó Slic3r Prusa Edition 1.40.0 para crear el código G siguiendo la configuración:

Filamento Prusament PETG;

Ajustes de impresión 0.20 mm FAST (capas 0.20 mm);

Capas sólidas Superiores: 0, Inferiores: 0;

Perímetros: 2;

Relleno 100% rectilíneo;

Velocidad de impresión 200 mm/s;

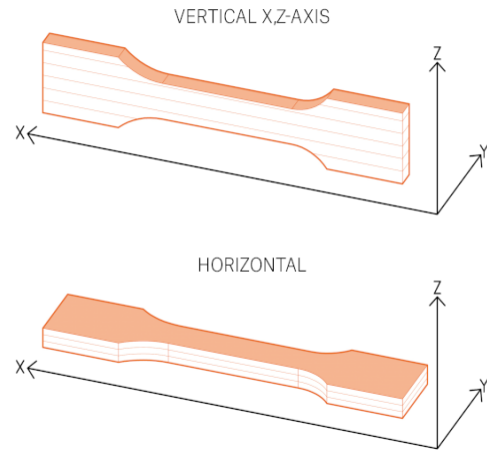
Temperatura de nozzle 250 °C todas las capas;

Temperatura de la base 80 °C todas las capas;

Demás parámetros se establecen por defecto.

(3) Charpy sin muesca – Dirección de golpe de borde según ISO 179-1

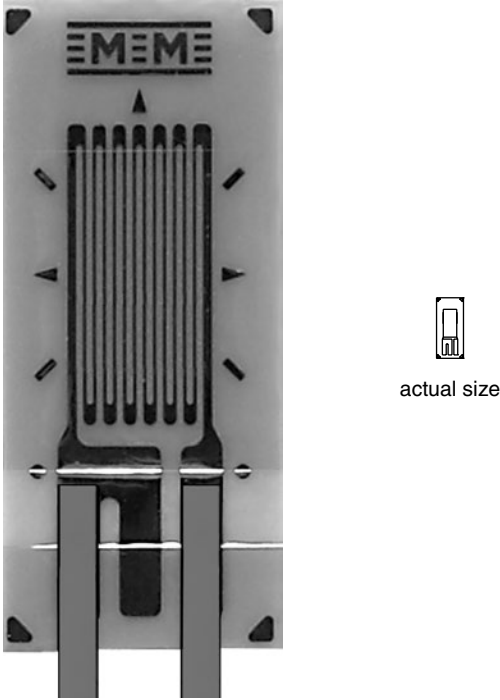

(4) Charpy con muesca – Dirección de golpe de borde según ISO 179-1




Renuncia:

Los resultados presentados en esta hoja de datos son solo para su información y comparación. Los valores dependen significativamente de la configuración de impresión, las experiencias de los operadores y las condiciones del entorno. Todos deben considerar la idoneidad y las posibles consecuencias del uso de piezas impresas. Prusa Polymers no puede asumir ninguna responsabilidad por lesiones o pérdidas causadas por el uso del material de Prusa Polymers . Antes de usar material de Prusa Polymers, lea correctamente todos los detalles en la hoja de datos de seguridad (SDS) disponible.


General Purpose Strain Gages – Linear Pattern

GAGE PATTERN DATA					
		GAGE DESIGNATION See Note 1	RESISTANCE (OHMS)	OPTIONS AVAILABLE	
		L2A-XX-125LW-120 L2A-XX-125LW-350 C2A-XX-125LW-120 C2A-XX-125LW-350	120 ± 0.6% 350 ± 0.6% 120 ± 0.6% 350 ± 0.6%	SP20 SP20	
		DESCRIPTION Widely used general-purpose gage.			
GAGE DIMENSIONS		Legend ES = Each Section CP = Complete Pattern S = Section (S1 = Section 1) M = Matrix			<input type="checkbox"/> inch <input type="checkbox"/> millimeter
Gage Length	Overall Length	Grid Width	Overall Width	Matrix Length	Matrix Width
0.125	0.238	0.070	0.080	0.315	0.140
3.18	6.05	1.78	2.03	8.00	3.56

GAGE SERIES DATA — See Gage Series datasheet for complete specifications			
Series	Description	Strain Range	Temperature Range
L2A	Encapsulated constantan gages with preattached ribbon leads.	±3%	-100° to +250°F (-75° to +120°C)
C2A	Encapsulated constantan gages with preattached ready-to-use cables.	±3%	-60° to +180°F (-50° to +80°C)



Example of an
L2A Construction



Example of an
C2A Construction

Note 1: Insert desired S-T-C number in spaces marked XX.



Disclaimer

ALL PRODUCTS, PRODUCT SPECIFICATIONS AND DATA ARE SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE.

Vishay Precision Group, Inc., its affiliates, agents, and employees, and all persons acting on its or their behalf (collectively, "VPG"), disclaim any and all liability for any errors, inaccuracies or incompleteness contained herein or in any other disclosure relating to any product.

The product specifications do not expand or otherwise modify VPG's terms and conditions of purchase, including but not limited to, the warranty expressed therein.

VPG makes no warranty, representation or guarantee other than as set forth in the terms and conditions of purchase. **To the maximum extent permitted by applicable law, VPG disclaims (i) any and all liability arising out of the application or use of any product, (ii) any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages, and (iii) any and all implied warranties, including warranties of fitness for particular purpose, non-infringement and merchantability.**

Information provided in datasheets and/or specifications may vary from actual results in different applications and performance may vary over time. Statements regarding the suitability of products for certain types of applications are based on VPG's knowledge of typical requirements that are often placed on VPG products. It is the customer's responsibility to validate that a particular product with the properties described in the product specification is suitable for use in a particular application. You should ensure you have the current version of the relevant information by contacting VPG prior to performing installation or use of the product, such as on our website at vpgsensors.com.

No license, express, implied, or otherwise, to any intellectual property rights is granted by this document, or by any conduct of VPG.

The products shown herein are not designed for use in life-saving or life-sustaining applications unless otherwise expressly indicated. Customers using or selling VPG products not expressly indicated for use in such applications do so entirely at their own risk and agree to fully indemnify VPG for any damages arising or resulting from such use or sale. Please contact authorized VPG personnel to obtain written terms and conditions regarding products designed for such applications.

Product names and markings noted herein may be trademarks of their respective owners.

Copyright Vishay Precision Group, Inc., 2014. All rights reserved.

ADAM-3016

ADAM-3017

Isolated Strain Gauge Input Module

External Powered IEPE Signal Conditioner



ADAM-3016

CE FCC

Specifications

I/O

- **Accuracy** $\pm 0.1\%$ of full range
- **Bandwidth** 2.4 kHz (typical)
- **Isolation Mode Rejection** >100 dB @ 50 Hz/60 Hz
- **Current Output** Current: 0 ~ 20 mA
Current load resistor: 0 ~ 500 Ω (Source)
- **Stability (Temperature Drift)** 150 ppm (typical)
- **Voltage Specifications** Electrical input: ± 10 mV, ± 20 mV, ± 30 mV, ± 100 mV
Excitation voltage: 1 ~ 10 V_{DC} (60 mA max)
- **Voltage Output** Bipolar: ± 5 V, ± 10 V
Unipolar: 0 ~ 10 V
Impedance: < 50 Ω

General

- **Connectors** Screw terminal
- **Enclosure** ABS
- **Indicators** Power LED indicator
- **Isolation** 1,000 V_{DC} (Three-way)
- **Power Consumption** ≤ 1.85 W (voltage output)
 ≤ 2.15 W (current output)
- **Power Input** 24 V_{DC} $\pm 10\%$
- **Dimensions (W x H x D)** 23.2 x 101 x 93.5 mm (0.91" x 3.97" x 3.68")
- **Operating Temperature** -10 ~ 70 °C (14 ~ 158 °F)
- **Storage Temperature** -25 ~ 85 °C (-13 ~ 185 °F)

Ordering Information

- **ADAM-3016-AE** Isolated strain gauge input module



ADAM-3017

RoHS CE FCC

Specifications

Integrated Electronic Piezoelectric (IEPE) Excitation

- **Channels** 1
- **Upper Cut-Off Frequency (for all couple settings)**
 - x1, x10 gain (-5%) 100 kHz
 - x100 gain (-1%) 50 kHz
- **Lower Cut-Off Frequency (-3dB, 1 M Ω load, for all gain settings)**
 - DC Couple DC
 - AC Couple (1 μ F) 0.58 Hz
 - AC Couple (47 μ F) 0.012 Hz
- **Accuracy** < $\pm 2\%$ for all gain settings
- **Compliance** > 24 V
- **Current** 0, 4, 6, or 10 mA $\pm 5\%$
- **Discharge Time Constant (1 M Ω load, for all gain settings)**
 - DC Couple 0 second
 - AC Couple (1 μ F) > 0.3 seconds
 - AC Couple (47 μ F) > 13 seconds
- **DC Offset** < 30 mV

Isolation Protection

- **Input/Output to Power** 1,000 V_{DC}

General

- **I/O Connectors** Screw terminal
(Including a female BNC to terminal block adaptor)
- **Dimensions (W x H x D)** 23.2 x 101 x 93.5 mm (0.91" x 3.97" x 3.68")
- **Operating Temperature** 0 ~ 60 °C (32 ~ 140 °F)
- **Storage Temperature** -20 ~ 70 °C (-4 ~ 158 °F)
- **Storage Humidity** 5 ~ 95% RH, non-condensing

Ordering Information

- **ADAM-3017-AE** Externally powered IEPE signal conditioner

Mouser Electronics

Authorized Distributor

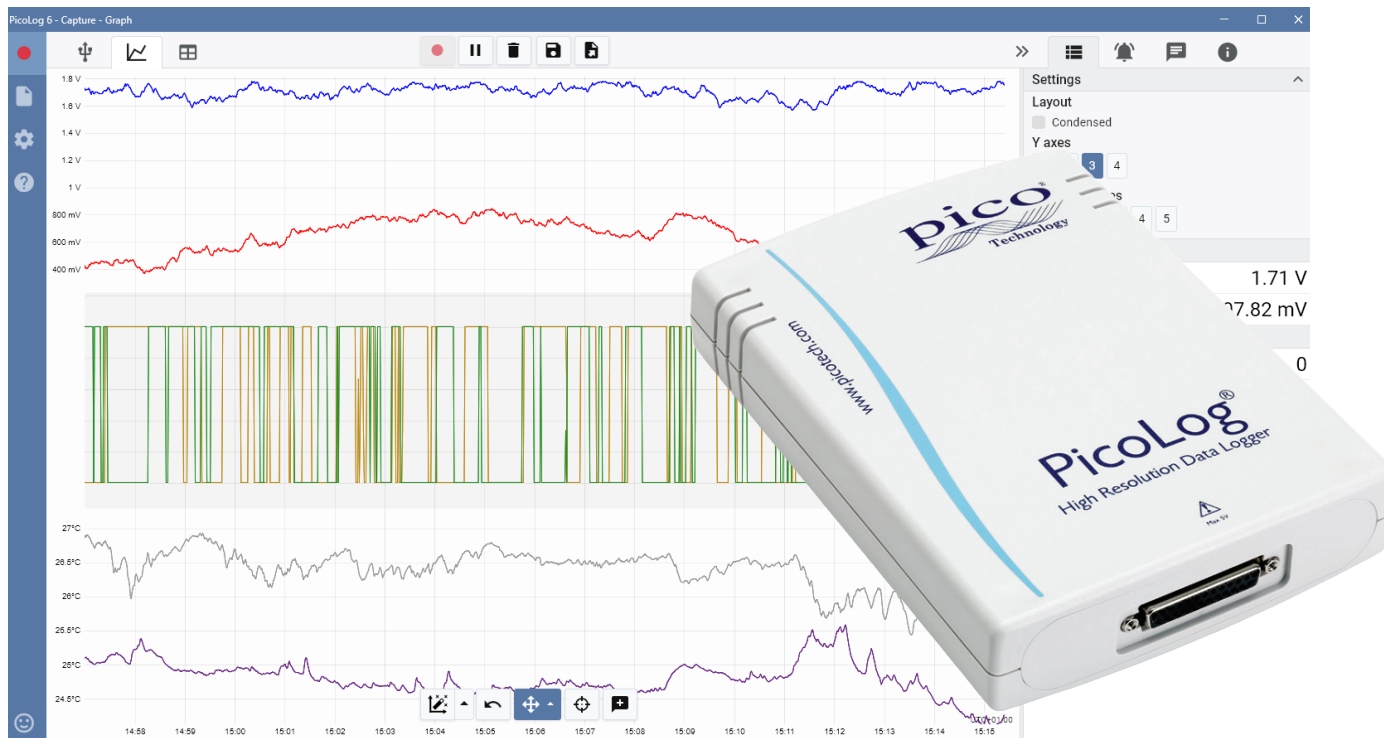
Click to View Pricing, Inventory, Delivery & Lifecycle Information:

[Advantech:](#)

[ADAM-3016-AE](#)

ADC-20 and ADC-24

High resolution data logger



- Low cost, high precision**
- 20 or 24-bit resolution
- Measures up to 16 channels
- Inputs configurable as single-ended or differential
- Terminal board available for easy connections
- Up to 7 input ranges (± 39 mV to ± 2.5 V)
- Digital control outputs
- USB isolation
- Up to 15 measurements per second
- Powered from USB port
- Free to download PicoLog 6 data logging software
- Multiple units can be run on a single PC
- Compatible with Windows, macOS and Linux

High-resolution data acquisition

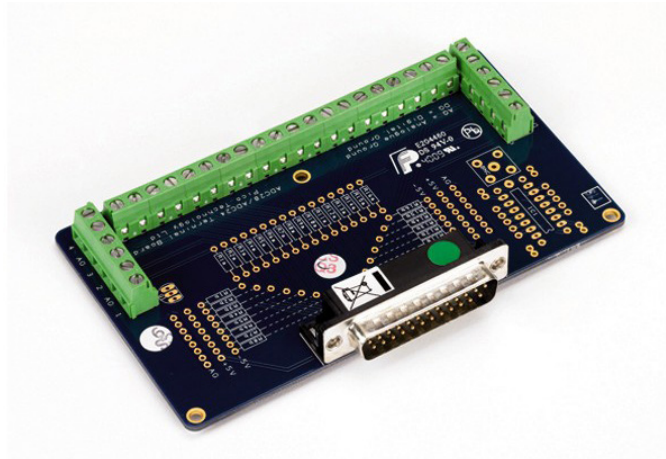
With up to 24-bit resolution, the ADC-20 and ADC-24 USB data loggers are able to detect small signal changes. Features such as true differential inputs, galvanic isolation and software-selectable sampling rates all contribute to a superior noise-free resolution and ensure that your measurements are reliable and accurate.

All Pico data acquisition products run PicoLog software that you can freely download from www.picotech.com/downloads. PicoLog is a complete data acquisition software package for Pico Technology data loggers. It provides a visual, easy-to-use interface for you to quickly set up simple or complex acquisitions and to record, view and analyze data.

Multipurpose data acquisition

Both the ADC-20 and ADC-24 feature true differential inputs for excellent noise rejection. For greater flexibility each differential input can also be configured as two single-ended inputs. With up to eight differential or 16 single-ended inputs on the ADC-24, this gives you complete control over which type of inputs you use. If you require more channels, you can use multiple PicoLog data loggers on the same PC.

With seven bipolar voltage ranges on the ADC-24 and two on the ADC-20 they are versatile enough to be used with a wide range of sensors and signal types. There's also an external terminal board with screw terminals to allow you to quickly connect and disconnect different sensors.



Additionally, the ADC-24 has four configurable digital input/output channels that can be used to control alarms or other devices. The flexibility of the ADC-20 and ADC-24 allows you to use these precision data loggers as an advanced multichannel data acquisition system with a low cost per channel.



No need for power supplies or batteries

The high-resolution ADC-20 and ADC-24 are powered directly by your PC – eliminating the need for batteries or a separate power supply, and making them ideal when you need a portable data logger.

The answer to your data acquisition needs

High resolution, true differential inputs, galvanic isolation, and selectable sampling rates combine to ensure that your measurements are always precise and accurate. Configurable inputs, digital inputs and outputs, and programmable voltage ranges give you a truly flexible answer to your data acquisition needs.

When you need the ultimate in high resolution and accuracy, the versatile ADC-20 and ADC-24 provide you with a portable answer with the performance and flexibility you need.

PicoLog software – straightforward from the start

PicoLog is a complete data acquisition software package for the ADC-20 and ADC-24 data loggers, and is fully compatible with Windows, macOS and Linux. With its clear and user-friendly layout, ideal for use with a mouse or a touchscreen, PicoLog allows you to set up the logger and start recording with just a few taps, whatever your level of data logging experience. Set up simple or advanced acquisitions quickly, and record, view and analyze your data with ease.

Device settings, Graph and Table

Easily set up and adjust acquisition and math channels on one or more data loggers and check their status at a glance. You can also select Graph view to see live data trend lines and Table view to see data in tabular form in real-time.

Capture controls

Separate Record, Pause and Reset buttons make it harder to press any of them by mistake.

Save and Export options

Copy your graph to the clipboard, save it as a PDF, export the raw data to a CSV file, or save the data and configuration as a robust .picolog database file.

Alarms

Set up alarms to alert you to a range of events. Alarms can take the form of sounds, visual notifications, graph annotations and more.

Notes & annotations

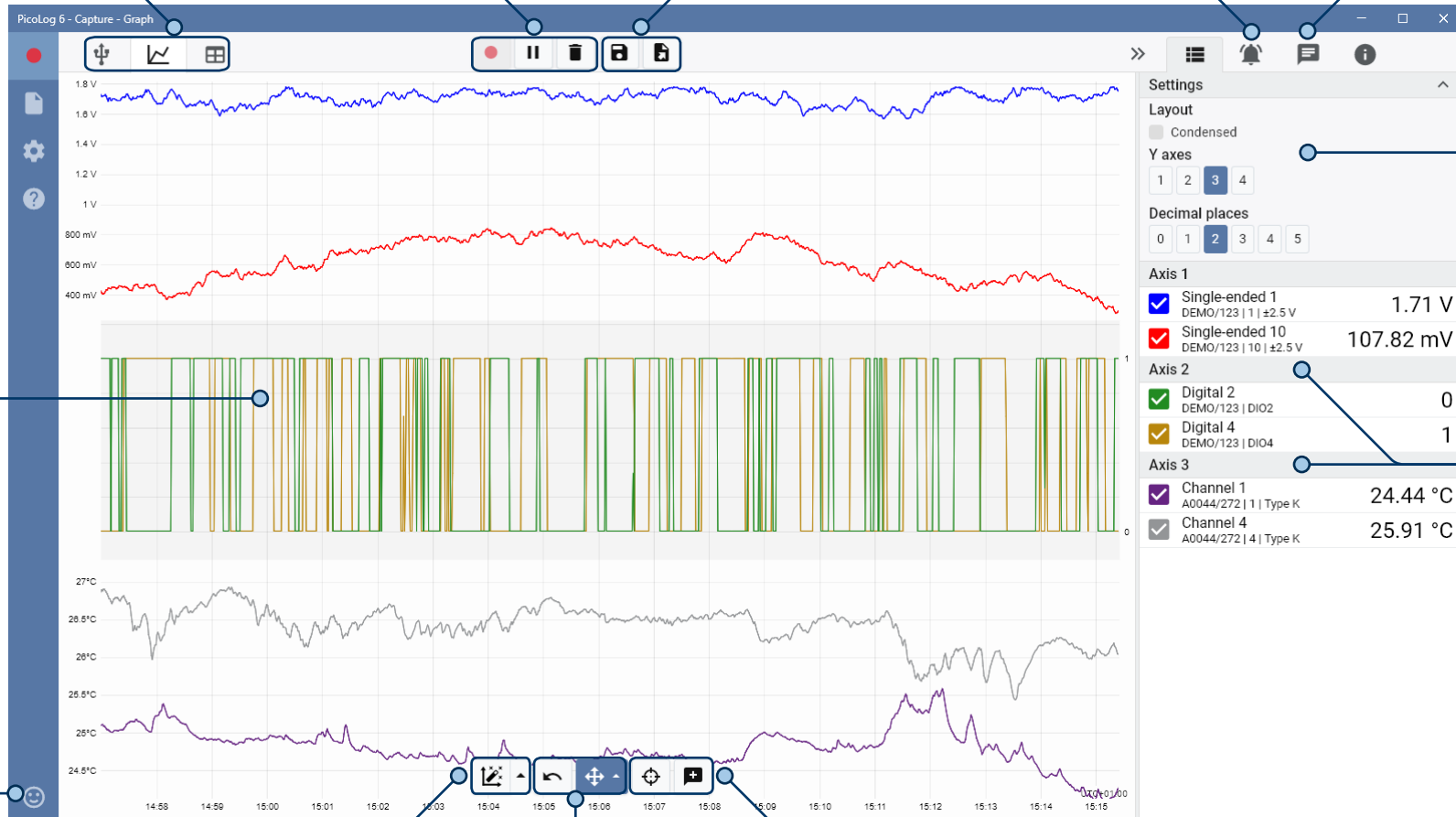
Add notes about the dataset as a whole or annotations about particular points on the graph.

Graph view

Display your data in real time, as it is collected, on up to four independent Y axes simultaneously: set them up by dragging and dropping the entries in the Channels & Axes panel on the right.

Give instant feedback

We want to hear from you! Click here to contact Pico with your comments.



Pullout information panel

Manage your channel and axis settings, alarms, notes and capture information in this easy-to-read layout. Close the panel to make more room for the capture graph, and reopen it at any time.

Multiple devices

Log data on up to 20 devices at the same time. Here, two separate data loggers are in use: one ADC-24 voltage input data logger and one TC-08 temperature data logger.

Data view

Display all the data collected so far or keep the graph scale the same and pan along as new samples appear.

Pan and zoom controls

Zoom in, zoom out, zoom to a selection or pan through the data with these tools. If you make a mistake, just click Undo.

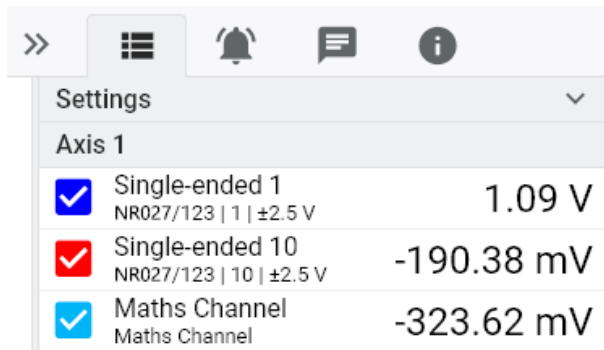
Cursors and annotations

Use cursors to highlight the data value and time at any point on the graph, or click Add annotation to mark that point with a text note.

Math channels

Sometimes you need to use data from one or more measurement channels to graph and record a calculated parameter. You can use the PicoLog equation editor to set up simple math channels such as A-B or more complex functions such as log, sqrt, abs, round, min, max, mean and median.

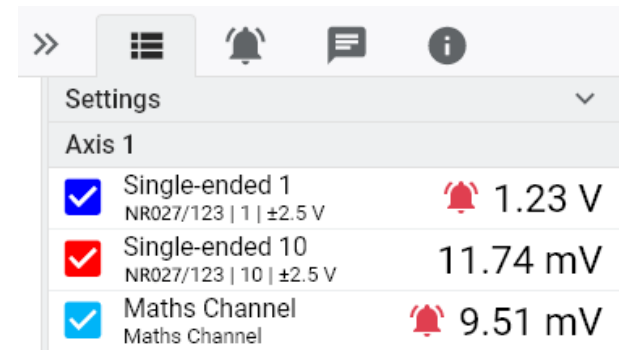
PicoLog treats math channels like any other channel, so you can still set alarms and annotate them.



Channel	Value
Single-ended 1 NR027/123 1 ±2.5 V	1.09 V
Single-ended 10 NR027/123 10 ±2.5 V	-190.38 mV
Maths Channel Maths Channel	-323.62 mV

Alarms

In PicoLog, you can set up alarms to alert you to various events. These can be as simple or as complex as you like: alarms can trigger on a signal threshold or disconnection of the data logger, or you can set up a logic expression of your own. Alarms can play sounds, display visual alerts, run applications or mark when the event occurred on the graph.

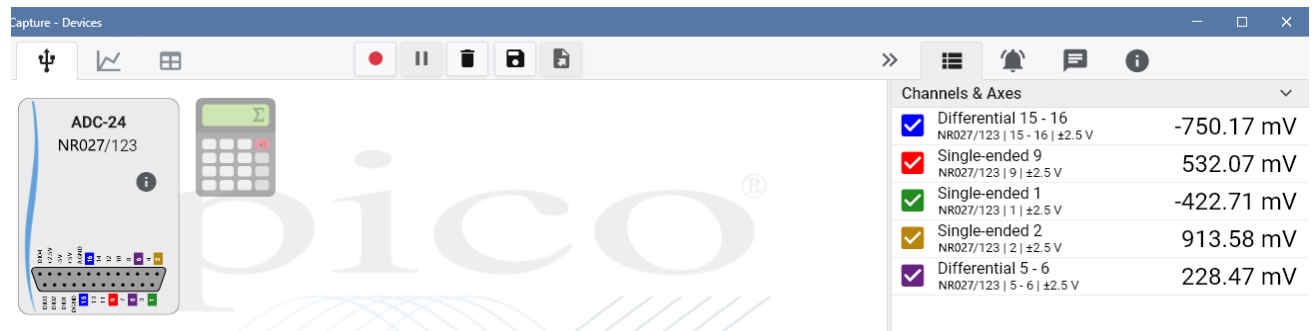


Channel	Value
Single-ended 1 NR027/123 1 ±2.5 V	1.23 V
Single-ended 10 NR027/123 10 ±2.5 V	11.74 mV
Maths Channel Maths Channel	9.51 mV

Intuitive logger and channel setup

The **Devices** view lets you set up a multichannel acquisition system in a simple way, with the option to use multiple different Pico data loggers simultaneously. PicoLog shows you an image of each connected device, so you can quickly and easily enable or disable channels and set up their properties.

On the right, you can see the ADC-24 logger set up for a combination of single-ended and differential inputs.



Channel	Value
Differential 15 - 16 NR027/123 15 - 16 ±2.5 V	-750.17 mV
Single-ended 9 NR027/123 9 ±2.5 V	532.07 mV
Single-ended 1 NR027/123 1 ±2.5 V	-422.71 mV
Single-ended 2 NR027/123 2 ±2.5 V	913.58 mV
Differential 5 - 6 NR027/123 5 - 6 ±2.5 V	228.47 mV

Robust file format

At the heart of PicoLog is the file system, which stores live capture data directly to a robust database, rather than to a single file that is vulnerable to corruption and data loss. If the computer is shut down and rebooted, PicoLog will only lose the data during the outage and will resume capturing when you restart the software.

This file system also means that the size of the dataset you can capture is virtually unlimited – the only restriction is the size of your computer's hard disk!

The .picolog file format is compatible across all operating systems, and there is no need to set up a file to save to before the capture is complete. You can also save mid-capture if you wish to share the data collected so far. Since anyone can download and install PicoLog for free, you can easily share saved data with co-workers, customers and suppliers for offline post-analysis.

PicoSDK®

Pico's software development kit, PicoSDK, is available free of charge and allows you to write your own software and interface to third-party software packages.

Pico also maintains repositories of example code on GitHub (github.com/picotech), showing how to use PicoSDK with software packages such as Microsoft Excel, National Instruments LabVIEW and MathWorks MATLAB, or with programming languages including C, C++, C# and Visual Basic .NET.

PicoSDK and the *ADC-20 and ADC-24 User's Guide* (which includes the Programmer's Guide) are available to download from www.picotech.com/downloads.

Try the PicoLog software today!



PicoLog's built-in demo mode allows you to try out the full functionality of the software with a choice of virtual devices and simulated live data. You also can use PicoLog to view previously saved data, even with no device connected. Visit www.picotech.com/downloads and select **PicoLog Data Loggers** to get your copy.

Specifications

	ADC-20	ADC-24
Resolution	20 bits	24 bits
Number of channels ^[1]	4 differential / 8 single-ended	8 differential / 16 single-ended
Conversion time (per channel)	660 ms, 340 ms, 180 ms, 100 ms, 60 ms	
Voltage ranges	±2500 mV ±1250 mV	±2500 mV ±1250 mV ±625 mV ±312 mV ±156 mV ±78 mV ±39 mV
Gain error	0.2% of reading	0.1% (±39 mV to ±1250 mV ranges) 0.2% (±2500 mV range)
Offset accuracy	6 µV (±39 mV range) 7 µV (±78 mV range) 9 µV (±156 mV range) 13 µV (±313 mV range) 20 µV (±625 mV range) 36 µV (±1250 mV range) 400 µV (±2500 mV range)	

^[1] The ADC-20 and ADC-24 have four and eight true differential input channels respectively. For flexibility each of these channels can be configured as either one differential channel or two single-ended channels.

Noise-free resolution and conversion time

Conversion time per channel	Voltage ranges & noise-free resolution (bits) for the full range of conversion times						
	±39 mV	±78 mV	±156 mV	±313 mV	±625 mV	±1250 mV	±2500 mV
	ADC-24 only					ADC-20 and ADC-24	
660 ms	17	18	19	20	20	20	20
340 ms	17	18	19	19	19	20	20
180 ms	16	17	18	19	19	19	19
100 ms	16	17	18	18	18	19	19
60 ms	15	16	17	18	18	18	18

	ADC-20	ADC-24
Noise rejection	120 dB typical at 50/60 Hz	
Input impedance	Differential: 2 MΩ Single-ended: 1 MΩ	
Common mode input range, channel to common	±1.9 V (±39 mV to ±1250 mV ranges) ±3.0 V (±2500 mV range)	
Common mode input range, common to earth ground	±30 V	

	ADC-20	ADC-24
Common mode rejection ratio, channel to common	95 dB (DC to 60 Hz)	
Common mode rejection ratio, common to earth ground	> 125 dB (DC to 60 Hz)	
Overvoltage protection	±30 V between any input and common	
Digital I/O	None	4 bidirectional (3.3 V CMOS) Output level, high: > 2.40 V Output level, low: < 0.40 V Input level, high: > 2.20 V Input level, low: < 0.88 V
Isolation (input to input)	None	
Isolation (input to ground)	Galvanic up to ±30 V AGND ad DGND isolated	
Reference output	+2.5 V ±2.5 mV @ 2 mA +5 V ±1.0 V @ 2 mA -5 V ±1.5 V @ 2 mA	
Software		
PicoLog and PicoSDK	Available from www.picotech.com/downloads	
Example code	Available from Pico's GitHub organization page, github.com/picotech	
PicoLog user interface languages	English, French, Italian, German, Spanish, Korean, Japanese, Chinese (simplified), Russian	
PC requirements		
PicoLog	Microsoft Windows 7, 8 or 10, 32-bit and 64-bit versions, macOS 10.9 (Mavericks) or later, 64-bit only, Linux*, 64-bit only Hardware requirements as operating system. *PicoLog for Linux is distributed as an AppImage, so you can install it without superuser permissions: see appimage.org for further information. The software has been tested on OpenSUSE and Ubuntu.	
PicoSDK ^[2]	Only available for Windows. Drivers also available for 64-bit Linux and macOS.	
PC interface	USB 1.1 (USB 2.0 and 3.1 compatible)	
^[2] PicoSDK 10.6.11 are the last versions compatible with Microsoft Windows XP (SP3) and Vista SP2, and they are also compatible with the Windows versions above.		
Environmental		
Temperature range, operating, for quoted accuracy	20 to 30 °C	
Temperature range, operating	0 to 45 °C	
Temperature range, storage	-20 to +60 °C	
Humidity range, operating	5 to 80 %RH, non-condensing	
Humidity range, storage	5 to 95 %RH, non-condensing	

General	
I/O connector	25-way D female
Power requirements	Powered from USB port, 100 mA (max.) A 4.4 m (13.8 ft) USB cable is permanently attached to the logger
Dimensions	135 x 184 x 36 mm (5.31 x 7.24 x 1.41 in)
Weight	Approx. 505 g (17.8 oz)
Compliance	European EMC and LVD standards FCC Rules Part 15 Class A
Warranty	5 years

Ordering information

Order code	Product name	Description	USD*	EUR*	GBP*
PP308	ADC-20 Data Logger	8 channel, 20-bit resolution precision data logger	329	279	225
PP311	ADC-20 Data Logger including terminal board	8 channel, 20-bit resolution precision data logger including terminal board	359	309	249
PP309	ADC-24 Data Logger	16 channel, 24-bit resolution precision data logger	659	559	459
PP312	ADC-24 Data Logger including terminal board	16 channel, 24-bit resolution precision data logger including terminal board	689	589	479

Optional accessories

Order code	Product name	Description	USD*	EUR*	GBP*
PP310	ADC-20/24 terminal board	Allows easy connection to the ADC-20/24 data loggers.	42	35	29
CC008	Calibration: voltage logger	Calibration service offered by Pico on its voltage input data loggers.	83	70	58



UK global headquarters:

Pico Technology
James House
Colmworth Business Park
St. Neots
Cambridgeshire
PE19 8YP
United Kingdom

☎ +44 (0) 1480 396 395
☎ +44 (0) 1480 396 296
✉ sales@picotech.com

North America regional office:

Pico Technology
320 N Glenwood Blvd
Tyler
Texas 75702
United States

☎ +1 800 591 2796
☎ +1 620 272 0981
✉ sales@picotech.com

Asia-Pacific regional office:

Pico Technology
Room 2252, 22/F, Centro
568 Hengfeng Road
Zhabei District
Shanghai 200070
PR China

☎ +86 21 2226-5152
✉ pico.china@picotech.com

Errors and omissions excepted. *Pico Technology*, *PicoLog* and *PicoSDK* are internationally registered trademarks of Pico Technology Ltd.

LabVIEW is a trademark of National Instruments Corporation. *Linux* is the registered trademark of Linus Torvalds, registered in the U.S. and other countries. *macOS* is a trademark of Apple Inc., registered in the U.S. and other countries. *MATLAB* is a registered trademark of The MathWorks, Inc. *Windows* and *Excel* are registered trademarks of Microsoft Corporation in the United States and other countries.

MM076.en-1. Copyright © 2004–2018 Pico Technology Ltd. All rights reserved.



www.picotech.com



Pico Technology



@LifeAtPico



@picotechnologyLtd



Pico Technology



@picotech