

TREBALL FINAL DE GRAU

Estudi: Grau en Enginyeria Mecànica

Títol:

**DISSENY D'UN SISTEMA PER FER RECOBRIMENTS PER IMMERSIÓ DE
PECES PER APLICACIÓ BIOMÈDICA**

Document: 1 Memòria i Annexos

Alumne: Llorenç Roman Olives

Directora: Inés Ferrer Real

Tutor: Antonio Jesús Guerra Sánchez

Departament: Enginyeria Mecànica i De la Construcció Industrial

Àrea: Enginyeria Dels Processos de Fabricació

Convocatòria: Setembre 2017

MEMÒRIA

1. INTRODUCCIÓ	1
1.1 Antecedents	1
1.2 Objecte.....	2
1.3 Especificacions i Abast.....	2
1.3.1 Especificacions	2
1.3.2 Abast	3
2. PROCEDIMENT DEL PROJECTE	3
2.1 Etapa 1: Pre-disseny i acceptació de la solució.....	3
2.2 Etapa 2: Disseny	3
2.3 Etapa 3: Fabricació i muntatge	4
2.4 Etapa 4: Fabricació de les primeres sèries de tubs	5
3. DESCRIPCIÓ DE LA MÀQUINA	6
3.1 Descripció de la solució mecànica.....	7
3.1.1 Estructura exterior	7
3.1.2 Mecanisme de moviment vertical.....	8
• Columnes de guiatge.....	9
• Guia columna de guiatge	10
• Sistema porta provetes	10
3.1.3 Mecanisme de moviment horitzontal	12
• Suports sistema de guiatge	13
• Carro guiatge.....	14
• Suport del motor	15
• Taula i suport dissolucions.....	15
3.2 Descripció de la solució elèctrica.....	17
• Font d'alimentació.....	17
• Sistema operatiu ARDUINO i placa electrònica	18
• Motor pas a pas	18
• Controladors micro-passos	20
• Final de cursa	20
• Sensor de temperatura	21

• Pantalla LCD Smart Controller.....	21
• Connexions.....	21
4. FABRICACIÓ I MUNTAGE DEL PROTOTIPUS	23
4.1 Introducció.....	23
4.2 Disseny i fabricació per impressió 3D.....	23
4.3 Recomanacions al disseny per fabricació per impressió 3D	25
4.4 Muntatge	25
5. FABRICACIÓ DE LES PRIMERES SÈRIES DE TUBS.....	27
6. RESUM DE PRESSUPOST	31
7. CONCLUSIONS	31
8. RELACIÓ DE DOCUMENTS	31
9. BIBLIOGRAFIA.....	32
 ANNEX A: TECNOLOGIA RECOBRIMENT PER IMMERSIÓ, DESCRIPCIÓ I APLICACIONS DEL CAS D'ESTUDI	 33
A.1 Introducció evolució stents medicalitzats.....	34
A.2 Descripció de la tècnica de recobriments per immersió	35
A.3 Preparació de la dissolució	36
A.4 Algunes aplicacions del cas d'estudi	37
ANNEX B: ESKOSSOS DE LES SOLUCIONS ALTERNATIVES PLANTEJADES	40
B.1 Introducció	41
B.2 Solucions presentades.....	41
ANNEX C: CÀLCULS	43
C.1 Dimensionat a partir dels elements de polímer	44
C.1.2 Càlcul dels passos per mil·límetres dels motors.....	44
C.1.3 Càlcul dels passos per segon.....	45
C.1.4 Dimensionant motor eix Z.....	46
C.1.5 Dimensionat motor eix X.	47
C.1.6 Dimensionat de les barres travesseres.....	48
C.1.7 Càlcul de la fletxa màxima.....	51
C.1.8 Dimensionat de les barres guia horitzontal	52
C.1.9 Càlcul de la fletxa màxima.....	55

C.2 Dimensionat elements amb porta provetes d'alumini	56
C.2.1 Dimensionat motor eix Z.....	56
C.2.2 Dimensionat de les barres travesseres.....	57
C.2.3 Càlcul de la fletxa màxima.....	59
ANNEX D: CONFIGURACIÓ IMPRESSIÓ 3D PER LA FABRICACIÓ DE PECES.....	60
D.1 Objecte	61
D.2 Pautes a seguir.....	61
ANNEX E: CONFIGURACIÓ SISTEMA OPERATIU I CODI G PER LA FABRICACIÓ DE LES PRIMERES SÈRIES DE TUBS.....	71
E.1 Introducció	72
E.2 Configuració del sistema operatiu	72
E.3 Descripció del codi G	76
ANNEX F: SEGURATAT DE LA MÀQUINA, MANUAL D'USUARI I MANTENIMENT	79
F.1 Objecte de l'estudi.....	80
F.2 Seguretat de la màquina	80
F.3 Manual d'usuari.....	80
F.4 Manteniment	81
ANNEX G: FITXES TÈCNIQUES	82
G.1 Perfil estructural d'alumini 20x20	83
G.2 Kit esquadra 20x20.....	83
G.3 Femella perfil estructural	84
G.4 Cargols de fixació	84
G.5 Xarnera amb tope de fricció.....	85
G.8 Femella rosca trapezoïdal	86
G.7 Eix llis	86
G.10 Eix rosca fina de M8x1.5 mm.....	87
G.9 Eix rosca trapezoidal de M8x1.5 mm	87
G.11 Acoblador flexible	88
G.12 Rodament de boles: Tipus 608	88
G.13 Rodament lineal de boles: Tipus 602.....	89
G.15 Motor nema 17 SY42STH47-1684A	91
G.16 Motor nema 17 SY42STH47-1684MA	92

G.17 Arduino MEGA 2560.....	93
G.18 Placa electrònica RAMPS 1.4.....	96
G.19 Controlador micro-passos Pololu A4988.....	97
G.20 Proveïdor RepRap BCN3D.....	98
ANNEX H: ESTUDI DE MERCAT	99
H.1 Introducció.....	100
H.2 Solucions existents	100

1. INTRODUCCIÓ

1.1 Antecedents

L'stent és un dispositiu biomèdic que s'utilitza per obrir el pas de les vies del cos humà en el moment que es troben obstruïdes. Concretament l'stent coronari és una malla metàl·lica amb capacitat de deformació que permet obrir el pas de l'artèria o vena. Actualment es fabriquen d'acer i, una de les tècniques més utilitzades és a partir del tall amb làser.

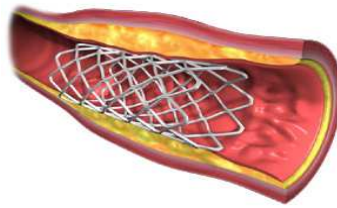


Figura 1: Artèria coronària obstruïda, amb stent obrint-la

La principal problemàtica dels stents d'acer és que no poden ser enretirats un cop implantats. Com a conseqüència, en els últims anys ha sorgit una nova tendència a buscar materials metàl·lics o polimèrics que permetin eliminar-lo una vegada finalitzat el temps de permanència. Per tant, la recerca està centrada en materials polimèrics biocompatibles i reabsorbibles pel cos humà.

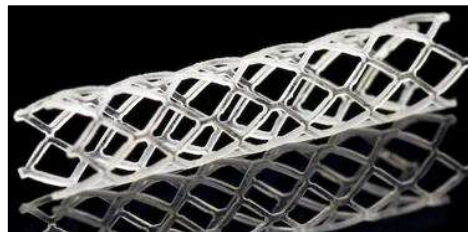


Figura 2: Stent polimèric biocompatible i reabsorbible.

El grup de recerca GREP es dedica a la recerca i desenvolupament d'aquest tipus de producte i, actualment està buscant alternatives combinant la fabricació i els materials amb els quals es fabricaran. Aquest fet els ha portat a aplicar la tècnica de recobriments per immersió (veure annex A) amb la qual es pot aconseguir una caracterització similar als tradicionals.

Tot i que hi ha algunes màquines al mercat, el grup està interessat en tenir un prototipus a baix cost i que compleixi els seus requeriments.

Per fabricar els stents es parteix d'un tub de les dimensions específiques de l'artèria on s'ha d'ubicar. El qual es fabrica a partir del procés de recobriments per immersió, que posteriorment es talla amb làser per obtenir la geometria final.

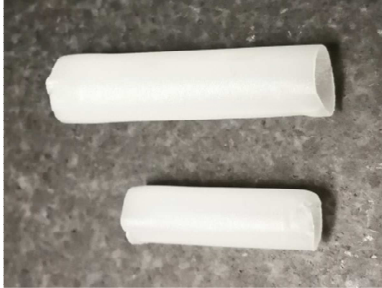


Figura 3: Tubs polimèrics obtinguts per recobriments per immersió

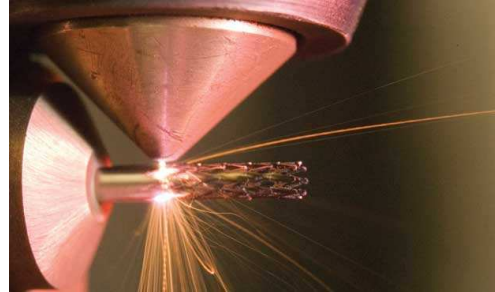


Figura 4: Tall amb làser del stent coronari

1.2 Objecte

L'objectiu principal del projecte és el disseny i fabricació d'una màquina per a la fabricació de tubs polimèrics de les dimensions d'artèries coronaries. Els tubs es fabricaran a partir de la tecnologia de recobriments per immersió, la qual permet treballar en magnituds de micres.

Al mercat ja hi ha màquines que treballen amb aquesta tecnologia, però al requerir aquesta magnitud de treball, no es compleix el compromís entre precisió i cost.

En el present projecte es desenvolupen les següents etapes:

- Etapa 1: Pre-disseny i acceptació de la solució
- Etapa 2: Disseny
- Etapa 3: Fabricació i muntatge
- Etapa 4: Fabricació de les primeres sèries de tubs.

1.3 Especificacions i Abast

1.3.1 Especificacions

TEMA	OBLIGATORI/ DESITJABLE	DESCRIPCIÓ
CONSTRUCCIÓ	O	Utilització de les eines i màquines del grup GREP.
	O	Fabricació de les peces necessàries per impressió 3D
	O	Compromís entre precisió i cost.
	O	Comprar el mínim de peces necessàries.

	O	Evitar transferència de vibracions als mecanismes.
	O	Alimentació domèstica (220v).
	D	Utilització de hardware lliure (ARDUINO).
	D	Utilització de software lliure (Open Source).
FABRICACIÓ	O	Verticalitat de ± 10 micres.
	O	Moviment en els eixos X i Z.
	O	Poder enretirar provetes i dissolucions una vegada acabada la fabricació.
	O	Disposar de dos tipus de dissolució.
	D	Estanqueïtat de la màquina.
	D	Intercanvi d'utilitatges porta provetes.

Taula 1: Especificacions de la màquina

1.3.2 Abast

El projecte englobarà l'estudi, disseny i fabricació dels elements mecànics de la màquina, i també el muntatge, fabricació i la posada en marxa; en la qual es portarà a terme la fabricació de diversos tubs.

2. PROCEDIMENT DEL PROJECTE

En aquest apartat s'exposen breument les etapes portades a terme per a la realització del present projecte.

2.1 Etapa 1: Pre-disseny i acceptació de la solució

Recerca d'informació de solucions similars que hi ha en el mercat per tenir una idea clara de les dimensions i característiques generals de la màquina. A partir d'aquest punt, es varen proposar els diversos esbossos que es troben en l'annex B, de les diferents parts de les quals constarà la màquina, d'aquesta manera es va poder tenir una idea general.

Una vegada realitzat el planteig de les solucions es va exposar la proposta al client, on es varen acabar d'acordar els requeriments.

2.2 Etapa 2: Disseny

En aquesta fase es va desenvolupar la solució presentada al client, on es va dissenyar tota la màquina. Un dels requeriments establerts va ser que només es podia comprar les peces essencials que no es poguessin fabricar al laboratori del grup de recerca. Així que al disposar d'una impressora 3D, totes les peces que varen ser possibles fabricar es va

realitzar utilitzant la tècnica de fabricació additiva. Aquesta tècnica em va permetre adquirir nous coneixements.

Per altra banda les parts que no es varen poder fabricar, es varen comprar als proveïdors que col·laboren amb la Universitat de Girona. Els proveïdors disposaven de les peces de compra en format 3D, el que va permetre realitzar l'acoblament de totes les peces.

A partir de la unió de les peces de compra i fabricades es va muntar la màquina en format digital, aquest fet va permetre veure possibles errors que s'haguessin passat per alt.

Per al correcte dimensionat de les peces dissenyades es varen realitzar un seguit de càlculs que es detallen en l'annex C.

El programari software utilitzat va ser el Solidworks2016, que va permetre donar propietats als materials.

2.3 Etapa 3: Fabricació i muntatge

Com ja s'ha comentat anteriorment, la fabricació es va realitzar utilitzant la tecnologia de fabricació additiva per impressió 3D. Aquest camp em va permetre adquirir nous coneixements sobre el funcionament i els problemes que sorgien.

Alguns dels problemes destacats al fabricar les primeres peces, va ser que les dimensions que s'havien establert en la fase de disseny no s'aconseguien. Per això es va haver de comprovar la precisió que es podia aconseguir. Finalment es va realitzar l'ajustatge d'algunes peces. En l'apartat de fabricació es trobarà un recull de recomanacions per ajudar a millorar la fabricació, a partir dels problemes que es varen tenir.

La fabricació additiva va permetre que es poguessin configurar les propietats físiques finals de la peça dissenyada. En l'annex D es troben les pautes a seguir per realitzar la configuració de la fabricació per impressió.

- **Muntatge**

Un cop finalitzada la fase de fabricació de les peces, es va procedir a la unió de les peces de compra i fabricació al laboratori del grup de recerca. Com es pot veure en la descripció de la solució de la màquina o bé en l'apartat 4.4 de la memòria, el muntatge de la màquina està agrupat per quatre conjunts: estructura, mecanisme moviment vertical, horitzontal i subconjunt elèctric.

La primera fase del muntatge va ser ensamblar l'estructura, allà on van allotjats els dos mecanismes. Tant el mecanisme de moviment vertical com l'horitzontal es varen muntar independentment.

Per finalitzar el muntatge es va instal·lar el sistema elèctric que porta el control de la màquina, en la part superior de l'estructura. Una vegada es varen ubicar de tots els elements, es varen realitzar les connexions dels dispositius elèctrics. D'aquesta manera la màquina va quedar preparada per la fabricació de tubs.

2.4 Etapa 4: Fabricació de les primeres sèries de tubs

En aquest apartat es recullen les tasques que es varen realitzar per aconseguir la fabricació dels tubs que finalment es tallaran amb làser. Com un dels requeriments era treballar amb programari lliure, i el grup de recerca disposava del sistema operatiu ARDUINO que treballa juntament amb el firmware Marlin, es va treballar a partir d'aquests elements.

- Ajustatge de la màquina

Per a la fabricació dels tubs es va realitzar l'adaptació del codi C++ del sistema operatiu Arduino que es troba en l'annex E, de manera que s'ajustés a les necessitats del present projecte .

Per l'ajustatge del control dels passos per mil·límetre dels motors es va realitzar el càlcul que es troba en l'annex de càlculs.

- Fabricació de tubs

Per a l'automatització de la fabricació dels tubs es va generar un codi G específic amb el qual treballa la màquina i que es troba en l'annex E.

Per tenir interacció entre la màquina i l'usuari es va utilitzar el software Repetier-Host, que treballa juntament amb el complement Slic3r. És l'Slic3r qui va permetre interaccionar i acabar d'ajustar els elements mecànics de seguretat, com es detalla en l'annex E.

Una vegada es va finalitzar l'ajustat dels últims aparells es va procedir a la fabricació de la dissolució de la qual es fabricaran els tubs. La preparació de la dissolució es detalla en l'annex A.

Una vegada es varen finalitzar els ajustatges corresponents es va llençar el codi de fabricació automàtica. A l'acabar es varen portar a terme diverses comprovacions que es troben l'apartat de la Memòria per saber si s'havien aconseguit els objectius requerits.

3. DESCRIPCIÓ DE LA MÀQUINA

En aquest apartat es descriuran les peces que conformen la màquina. Prèviament a la solució final, es varen realitzar els estudis que es troben en l'annex B per aconseguir la solució més adequada als requeriments i tenir l'acceptació de la solució per part del client GREP.

La descripció de la solució del present projecte es va estructurar diferenciant els elements mecànics i elèctrics. A dins de la solució mecànica es troben els diferents subconjunts com són: Estructura exterior, Mecanisme de moviment vertical i Mecanisme de moviment horitzontal. Per finalitzar la solució elèctrica engloba tots els dispositius de control i accionament.

En la següent figura 5 es pot veure la disposició final dels diferents components que conformen la màquina de recobriment per immersió.

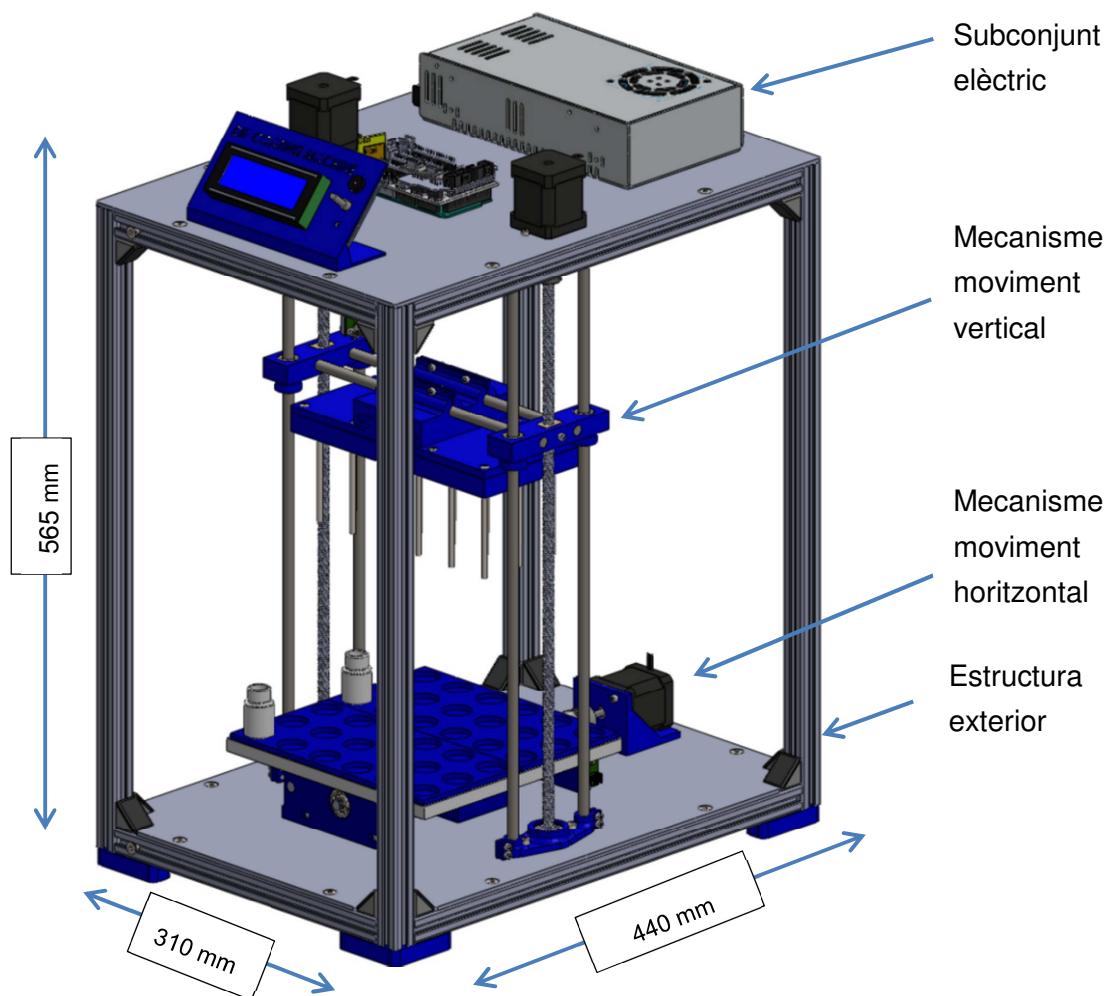


Figura 5: Màquina de Recobriment per Immersió

3.1 Descripció de la solució mecànica

3.1.1 Estructura exterior

En la figura 6 es poden observar els diferents elements utilitzats per conformar l'estructura de la màquina. Per aconseguir una estructura sòlida i ferma es varen seleccionar perfils comercials d'alumini de secció de 20x20 mm. Per a complir amb el requeriment del control de l'atmosfera es varen utilitzar planxes d'acer de tres mil·límetres d'espessor en la part inferior i superior. Per als laterals es varen utilitzar planxes de metacrilat translúcid, ja que permetia veure el que passava a l'interior sense la necessitat d'obrir la porta. El metacrilat es va muntar entre les ranures dels perfils estructurals.

La porta es va plantejar amb dues xarneres que es bloquegen per fricció i una maneta. Al tenir un sistema de bloqueig de 180°, no va fer falta dissenyar un sistema de tancament de la porta. Les xarneres es varen muntar a sobre el perfil estructural.

Els peus de l'estructura aporten facilitat a l'hora del transport d'una zona a una altra, i al mateix temps a l'estar fabricats amb polímer absorbeixen una mínima vibració.

Els elements de fixació que es varen projectar varen ser femelles i cargols allen avellanats, ja que no sobresortien i aportaven un millor acabat a l'estructura. Les femelles projectades eren específiques per ubicar-se en la ranura de la perfilaria.

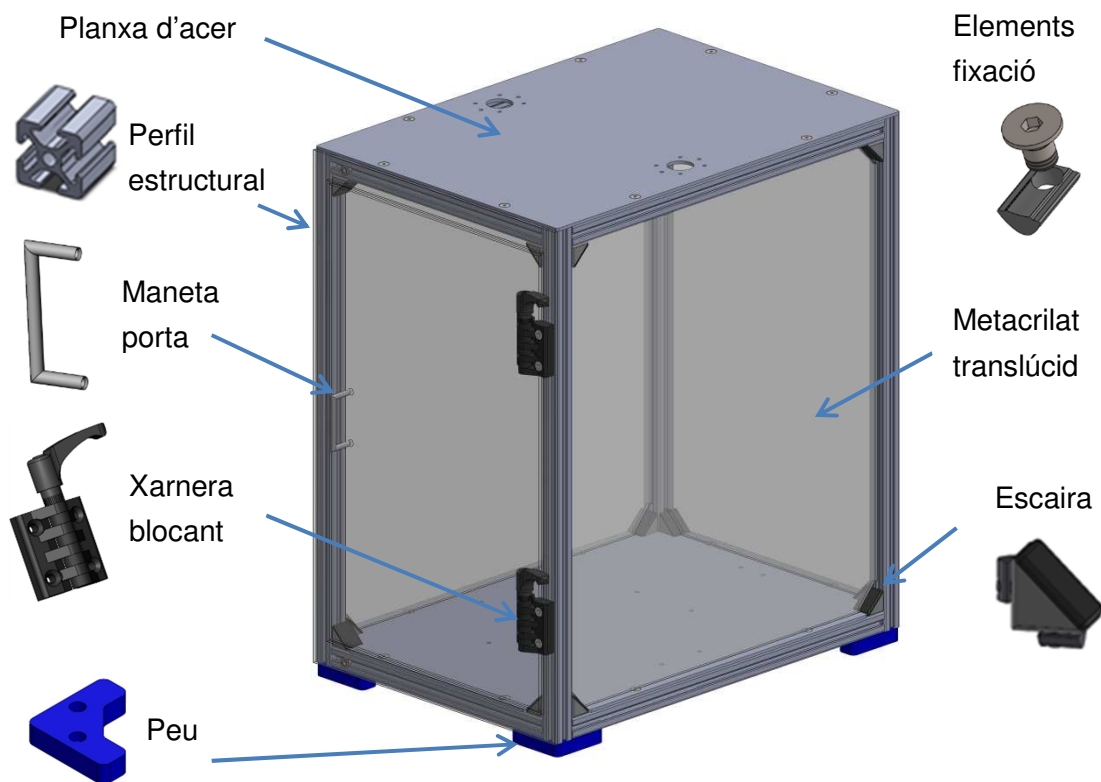


Figura 6: Estructura exterior de la màquina

3.1.2 Mecanisme de moviment vertical

El mecanisme del moviment vertical de la figura 7 es va projectar amb dues columnes principals, de manera que la càrrega generada pel sistema porta provetes quedés repartida. Les dos columnes de guiatge es fixen en les xapes d'acer de l'estructura mantenint el paral·lelisme entre elles i completament verticals mitjançant suports.

Els suports de la part superior i inferior, varen permetre subjectar les barres llises de guiatge i l'eix trapezoïdal. Les barres varen permetre que la guia pogués lliscar amunt i avall per cada columna, mitjançant la femella trapezoïdal que hi està unida.

Els eixos de les columnes es varen projectar trapezoïdals per assegurar la càrrega axial generada pel sistema porta provetes.

Per donar moviment al sistema porta provetes, es va disposar de dos motors pas a pas, units als eixos roscats de cada columna per mitjà d'acobladors flexibles. La unió entre els eixos i acobladors es va fer mitjançant cargolaria allen.

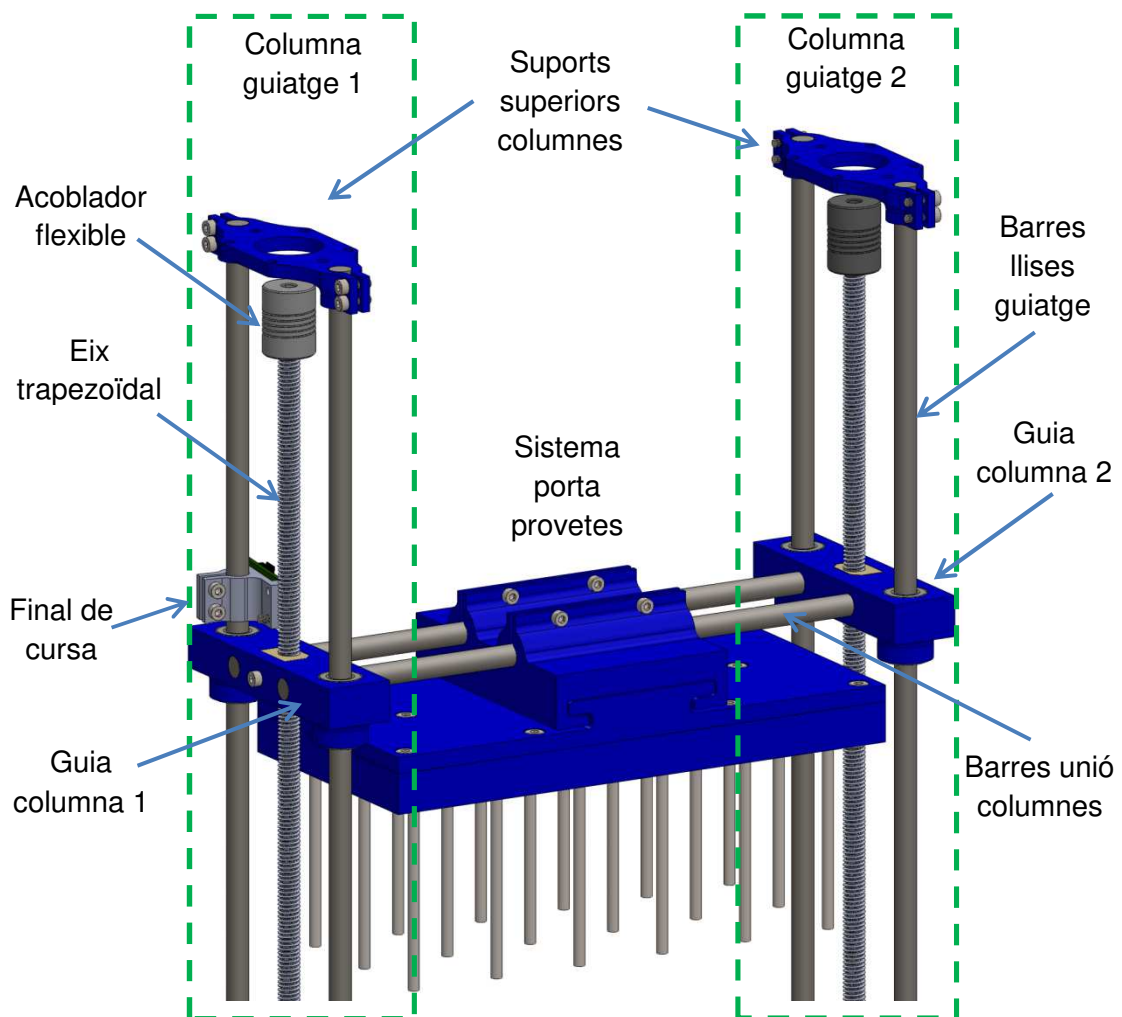


Figura 7: Mecanisme de moviment vertical

La guia d'una columna amb l'altre es va unir per mitjà de dues barres llises, amb la finalitat d'assegurar la verticalitat. Al centre d'aquestes dues barres es va penjar al sistema porta provetes (guia, tapa porta provetes, porta provetes i provetes). Al ser barres llises circulars varen permetre ajustar la zona de treball.

- **Columnes de guiatge**

Com ja s'ha comentat anteriorment, les columnes de guiatge estan compostes per les barres llises, l'eix roscat trapezoïdal i els suports de fixació amb l'estructura de la màquina. La configuració d'aquestes columnes està pensada de tal manera que l'eix trapezoïdal quedi alliberat de qualsevol moment flector que generi la càrrega del sistema porta provetes.

Els suports de fixació de la figura 8, es fixen amb cargolaria de M4 a la xapa inferior i superior de l'estructura. L'eix trapezoïdal de M8 permet treballar amb majors càrregues i, per assegurar el correcte funcionament, el suport inferior disposa d'un rodament de boles i un anell de retenció. El rodament de diàmetre interior de vuit mil·límetres és l'encarregat de permetre la rotació de l'eix amb càrrega, precisió i amb baixa fricció. L'anell de diàmetre exterior de vint-i-tres mil·límetres, és l'element mecànic encarregat d'evitar que el rodament surti del seu allotjament, a causa de l'empenta axial.

L'ajustatge del rodament amb la cara interior de l'allotjament del suport inferior és a pressió (serratge).

Les aletes d'ajustatge dels dos suports permeten fixar les barres llises de vuit mil·límetres de diàmetre mitjançant cargolaria de M3.

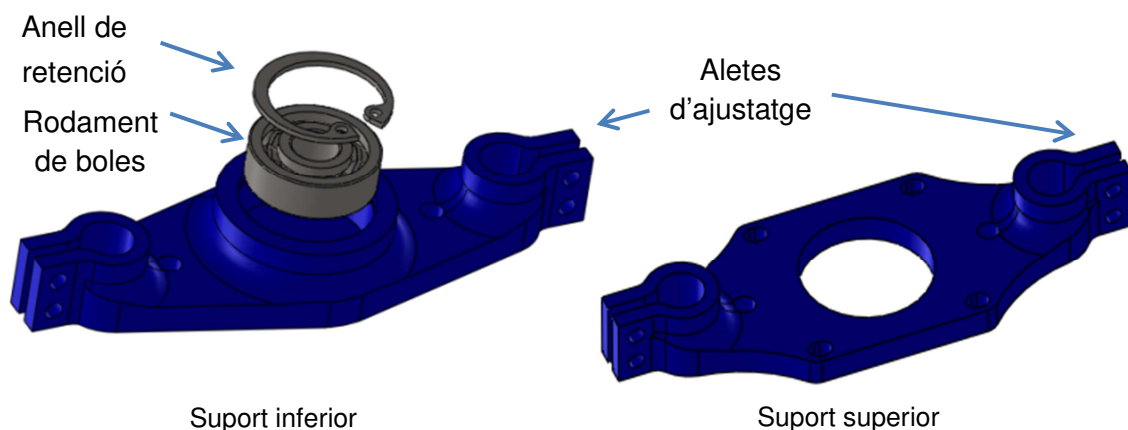


Figura 8: Suports fixació columnes a l'estructura

El forat central del suport superior és per on passarà l'eix del motor pas a pas que connectarà amb l'eix trapezoïdal mitjançant un acoblador flexible. El motor pas a pas permet

regular la rotació de l'eix en un número enter de passos, com es detalla en l'annex C. El control per passos va permetre tenir un gran control de la velocitat i precisió de la posició.

L'acoblador absorbeix les petites desviacions de centratge que hi puguin haver entre els dos eixos de cinc i vuit mil·límetres de diàmetre respectivament. Aquest fet és importat perquè si es fes la unió dels dos elements, mitjançant una unió rígida, i tinguessin una desviació de coaxialitat, els rodaments interns del motor acabarien fallant.

- **Guia columna de guiatge**

L'element de guiatge de la figura 9 permet desplaçar amunt i avall els elements que conformen el sistema porta provetes, assegurant la verticalitat. La guia de cada columna està unida amb l'altra a partir de dues barres llises de diàmetre vuit mil·límetres. L'acoblament entre les barres i l'allotjament de les guies a pressió.

El guiatge disposa de dos rodaments lineals de boles de diàmetre interior de vuit mil·límetres muntats a pressió en els allotjaments. Aquests tipus de rodaments faciliten el lliscament sobre les barres i s'encarreguen d'aguantar el moment flector. Així es va aconseguir alliberar l'eix trapezoïdal de càrrega, assegurant que treballa millor i sense desviacions de verticalitat.

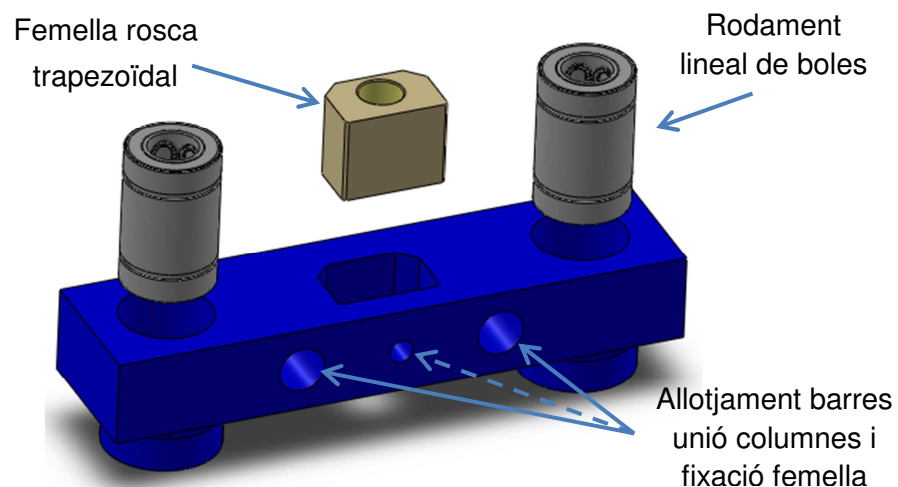


Figura 9: Guia columna de guiatge

- **Sistema porta provetes**

La guia és l'element que permet fer un canvi ràpid del suport porta provetes una vegada finalitzat el cicle de fabricació dels tubs, per un altra porta provetes amb provetes noves. D'aquest element de la figura 10 és d'allà on es va penjar tot el sistema de provetes. Per ajustar la posició de treball disposa d'uns allotjaments amb unes pestanyes d'ajustatge que permeten que es pugui desplaçar pel llarg barres llises.

Per assegurar la posició de treball, es fixa amb l'ajuda de les aletes, les quals s'ajusten amb cargolaria de M3, estampant el material contra a les barres d'acer de diàmetre vuit mil·límetres. Per assegurar el correcte dimensionament de les barres llises es va realitzar l'estudi analític en l'annex C.

La ranura de la guia es va dissenyar amb la finalitat d'aconseguir una planitud perfecte entre cares interiors de la guia i les exteriors de la tapa porta provetes.

La tapa és l'element que estampa les provetes en el seu allotjament del porta provetes perquè no tinguin desviació en la verticalitat. L'estampació s'assegura mitjançant deu cargols de M3 distribuïts de manera que tots generin la mateixa força.

L'allotjament de les provetes consta de dos colls com es pot observar en els plànols, amb la finalitat de què un cop dipositat el material de la dissolució, la proveta pugui ser enretirada del porta provetes sense malmetre la deposició.

La proveta projectada per la solució és dissenyada amb tres colls amb la finalitat de reduir els esforços i tensions al fabricar-la.

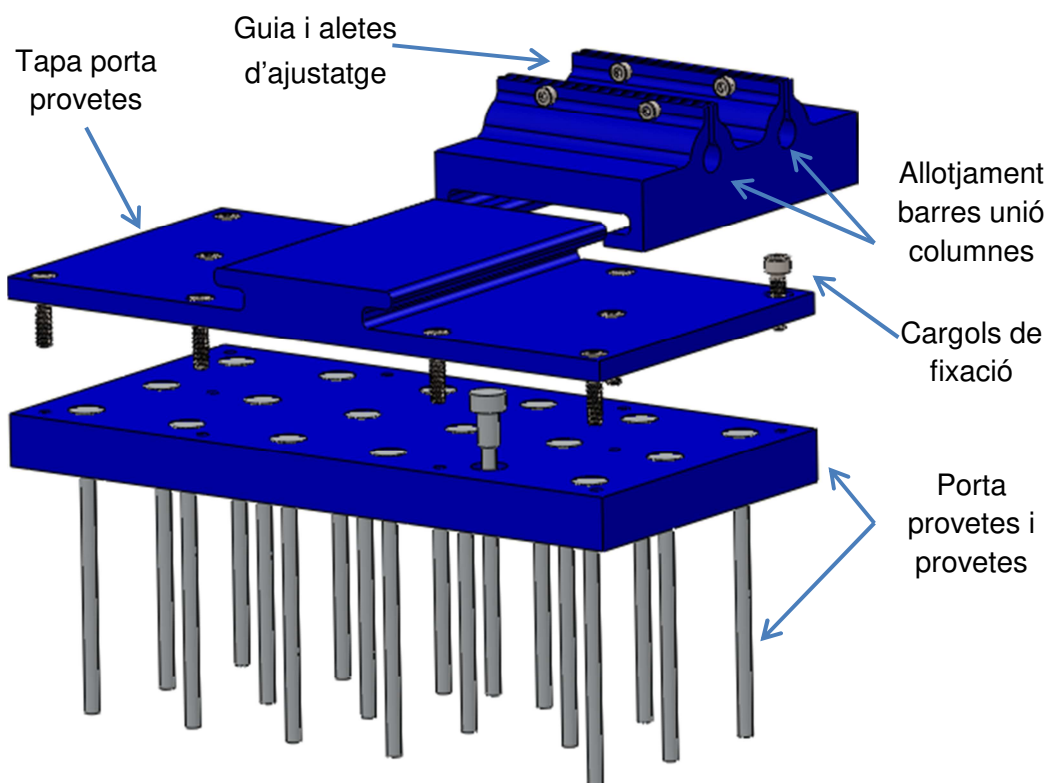


Figura 10: Sistema porta provetes

3.1.3 Mecanisme de moviment horitzontal

El mecanisme de la figura 11 és el que permet fer l'intercanvi de material de deposició en la proveta, ja que és allà on es situaran els diferents recipients amb les dissolucions de fabricació.

Per fer l'intercanvi de dissolució es va disposar d'un motor pas a pas unit a un eix roscat de pas fi, mitjançant un acoblador flexible. El motor pas a pas permet regular la rotació de l'eix en un número enter de passos, com es detalla en l'annex C. El control per passos va permetre tenir un gran control de la velocitat i precisió de la posició.

L'acoblador flexible permet absorbir petites desviacions de centratge entre l'eix del motor i el de pas fi de M8. Aquest fet és importat perquè si es fes la unió de dos elements, mitjançant una unió rígida, on entre ells hi ha una desviació de coaxialitat, els rodaments interns del motor acabarien fallant.

El gir de l'eix permet el desplaçament del carro al llarg barres llises de guiatge. El carro està unit a la taula porta dissolucions, que subjectarà els recipients de les dissolucions mitjançant un suport.

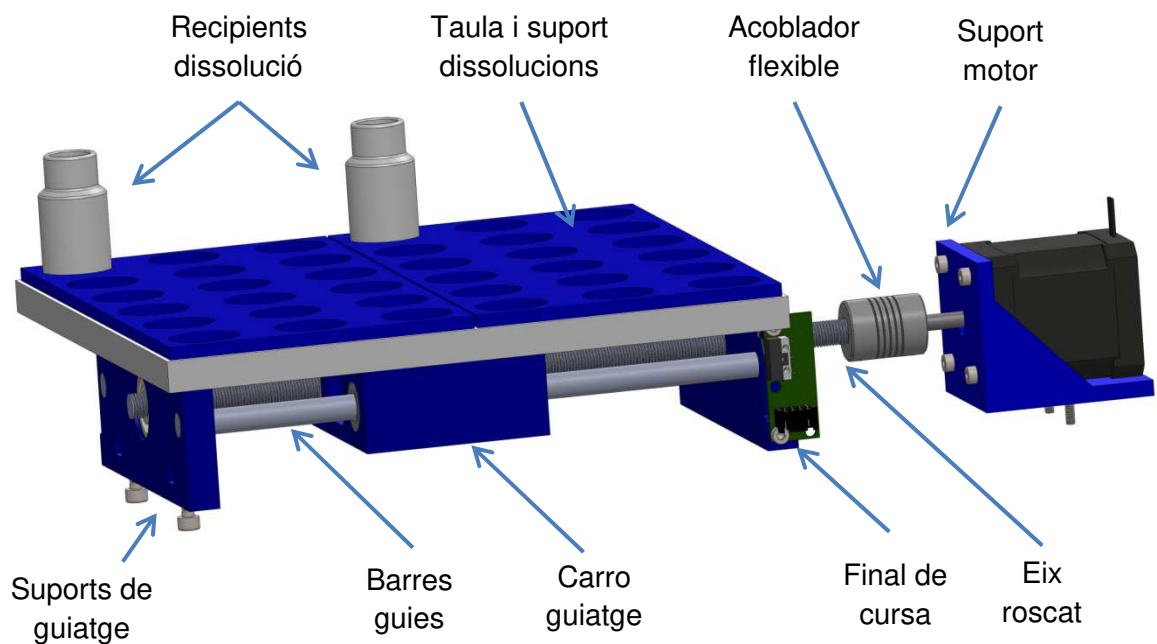


Figura 11: Sistema moviment horitzontal

- **Suports sistema de guiatge**

Els suports de la figura 12 que conformen la guia i juntament amb les barres llises són els encarregats de suportar la càrrega que se li aplica a sobre la taula. Els suports estan fixats fermament amb la xapa inferior de l'estructura de 3 mil·límetres d'espessor amb cargols de M4 per assegurar que no hi hagi desalineament.

Per donar robustesa i alliberar l'eix es va disposar de dues barres llises de diàmetre vuit mil·límetres que s'insereixen en els allotjaments de cada suport amb un ajustatge a pressió. El dimensionat de les barres de guiatge es troba en l'annex C.

Es va disposar d'un rodament de boles de diàmetre interior de vuit mil·límetres en cada suport, per permetre la rotació de l'eix amb càrrega, precisió i amb un mínim de fricció.

Per evitar que el rodament pugui sortir de l'allotjament per l'empenta axial, es disposa d'un anell de retenció de diàmetre exterior de vint-i-dos mil·límetres.

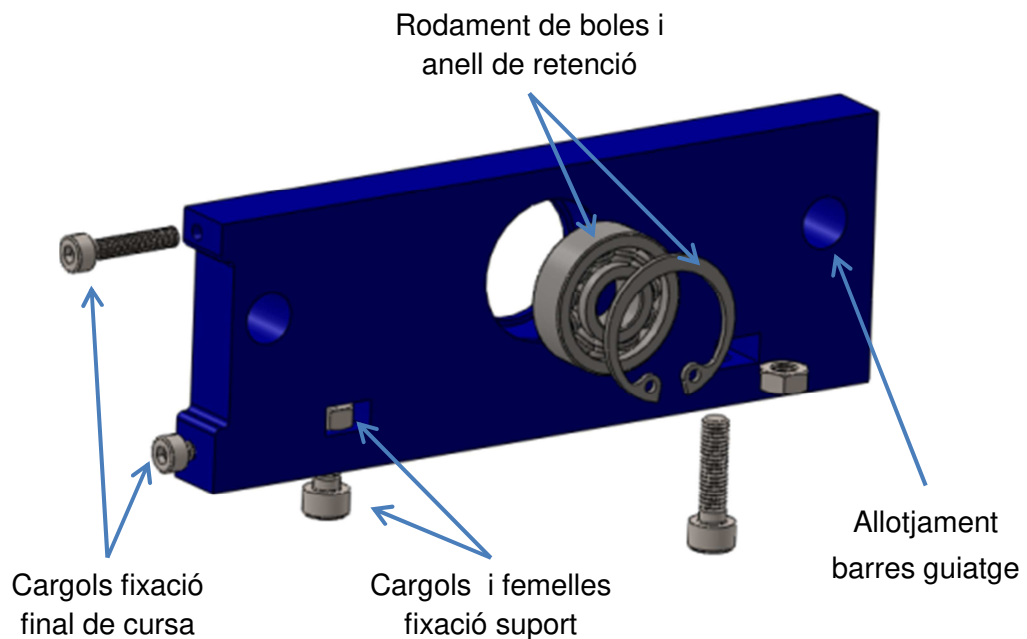


Figura 12: Suport sistema de guiatge

- **Carro guiatge**

El carro de la figura 13 és l'element que es desplaça al llarg de les barres llises i controlat pel gir de l'eix. Per facilitar el desplaçament amb càrrega es varen disposar de quatre rodaments lineals de boles de diàmetre interior de vuit mil·límetres. Així es va alliberar la càrrega a l'eix motriu.

La càrrega que varen haver de suportar els rodaments és la càrrega generada per la taula del porta dissolucions, els diferents suports de porta dissolucions i els recipients amb la dissolució. La taula es fixa al carro per mitjà dels quatre cargols de M4.

Per transmetre i transformar el moviment circular de l'eix a moviment lineal, es va disposar de dos femelles en els extrems del forat central del carro. L'ajustatge dels rodaments i femelles és a pressió.

Els forats passants al llarg del carro de guiatge són per qüestions d'alliberar pes al mecanisme i disminuir temps de fabricació.

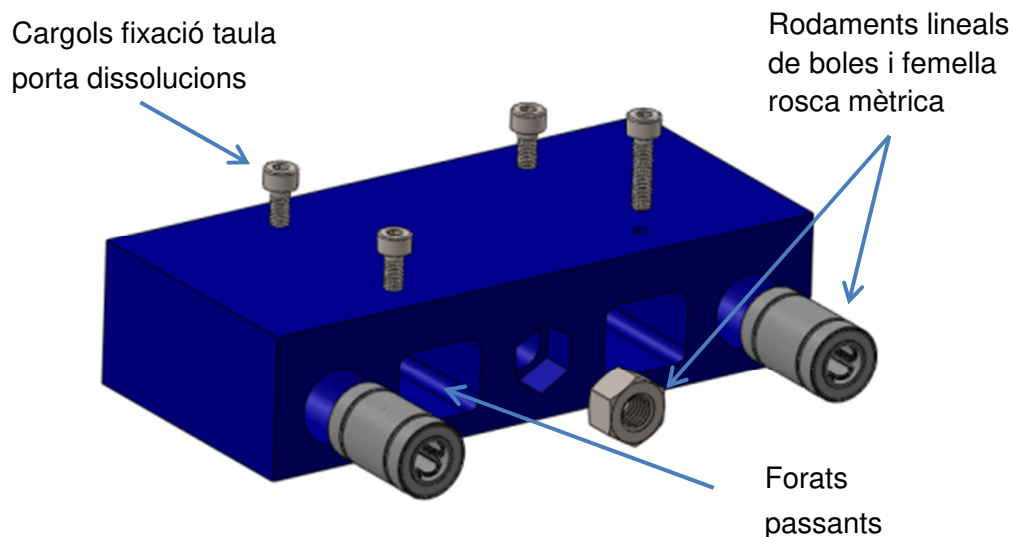


Figura 13: Carro guiatge

- **Suport del motor**

El suport de la figura 14 és l'element encarregat d'allotjar el motor pas a pas i assegurar que pot treballar correctament. La geometria dels diferents anells, permet estampar perfectament la cara del motor amb el suport, així s'evita sobrecarregar els coixinets interiors del motor. Per assegurar-lo es disposa de quatre cargols de M3.

Per altra banda consta de dos cargols de fixació amb la planxa inferior de l'estructura. Els cargols s'allotgen en uns "colissos" i serviran per finalitzar l'ajustatge del centratge del motor amb la resta de components.

Els nervis donen la rigidesa necessària per poder-lo manipular al muntar i cargolar tots els components sense trencar-lo.

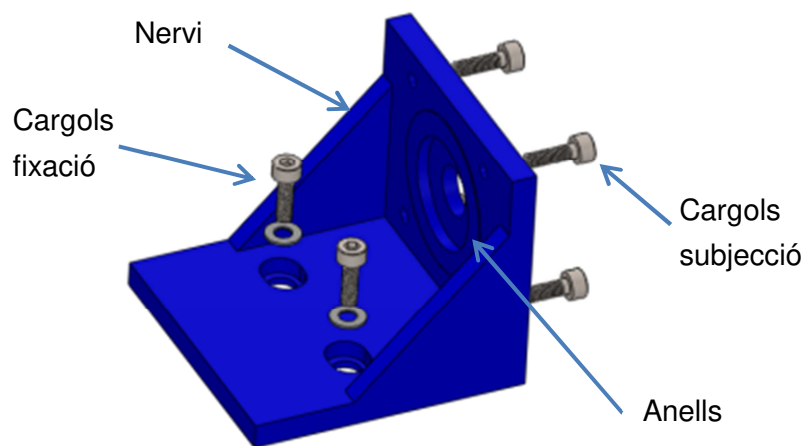


Figura 14: Suport motor

- **Taula i suport dissolucions**

Els elements de la figura 15 permeten assegurar la posició dels recipients de les dissolucions, de manera que a l'introduir les provetes a dins els recipients aquestes no xoquin amb els recipients.

Com s'ha mencionat anteriorment, la taula es fixa a sobre el carro de guiatge que li permet el desplaçament. Per evitar que els recipients i suports de les dissolucions puguin lliscar al desplaçar-se el carro, la taula té un encaix amb una certa folgança per poder enretirar-ho.

Els recipients són de vidre amb una capacitat de 5,40 mil·lilitres de dissolució, amb els quals es fabriquen els tubs.

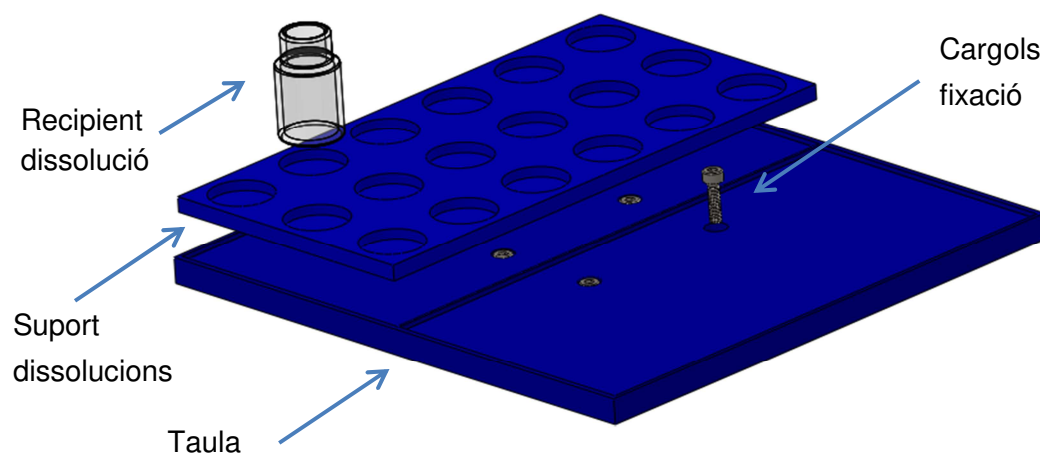


Figura 15: Taula i suport de dissolucions

3.2 Descripció de la solució elèctrica

En aquest apartat es detalla la finalitat que té cada un dels dispositius elèctric en aquest projecte. En la figura 16 es visualitza la disposició dels elements que van muntats a sobre l'estructura.

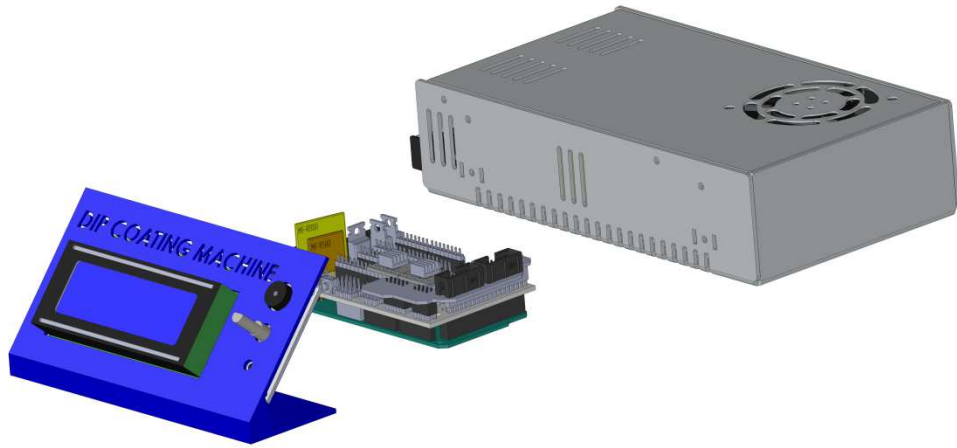


Figura 16: Pantalla de control, Electrònica i Font d'alimentació

- **Font d'alimentació**

Per al correcte funcionament dels dispositius és necessari un corrent elèctric a 12v, que s'aconsegueix a partir de la font d'alimentació ATX de 130 Watts de potència (figura 13), que transforma els 220v de línia de qualsevol domicili a 12v.



Figura 17: Font d'alimentació

- **Sistema operatiu ARDUINO i placa electrònica**

El sistema operatiu ARDUINO Mega 2560 permet el control dels paràmetres dels dispositius connectats i relacionar-los entre ells. Disposa de 54 entrada/sortides digitals, 16 entrades analògiques, connexió USB, 128KB de memòria flash, etcètera, en les quals es connectarà la placa electrònica.



Figura 18: ARDUINO Mega 2560

La placa electrònica RAMPS 1.4 es connecta amb els pins del ARDUINO. En la placa s'hi connecten tots els dispositius, com ara bé: els diversos motors pas a pas, juntament amb els controladors pololus, els finals de cursa, la pantalla LCD i el sensor de temperatura. Si es disposessin de més elements, també es connectarien als pins lliures. El sistema de connexions a la placa electrònica mitjançant pins és ràpid i fàcil a l'hora de fer algun canvi.

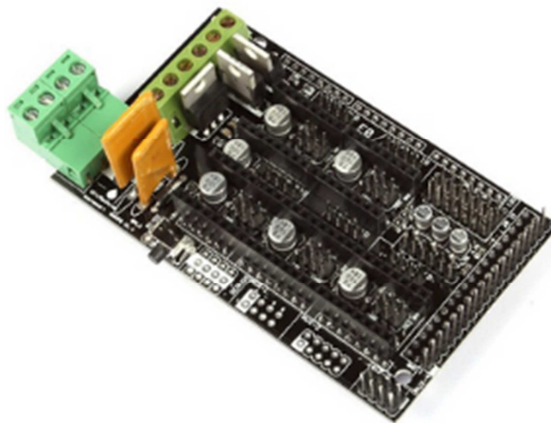


Figura 19: Placa electrònica

- **Motor pas a pas**

Es disposa de tres motors pas a pas NEMA 17, híbrids i bipolars per l'accionament dels diferents mecanismes del projecte. La nomenclatura únicament defineix la geometria i dimensions d'aquest.

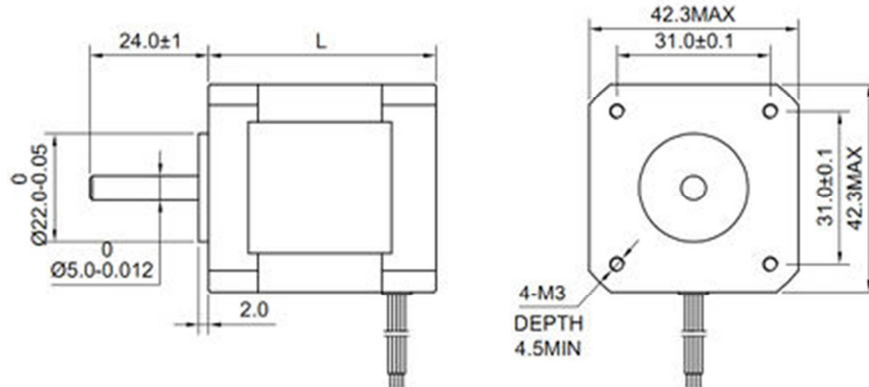


Figura 20: Geometria NEMA 17

Un motor pas a pas híbrid divideix una rotació completa en un número enter de passos iguals entre ells, pel que és capaç de girar una quantitat de graus. El principal avantatge és la possibilitat d'obtenir una precisió constant. És molt utilitzat a causa de les bones característiques que presenta pel que fa a precisió, parell motor i dimensions.

Dels motors NEMA17 utilitzats es poden diferenciar per la precisió que poden aconseguir, ja que el motor d'accionament del mecanisme horitzontal té 0.9° per pas i els dos motors del mecanisme vertical tenen 1.8° per pas. Aquests graus per pas que caracteritzen a cadascun dels motors són els que permeten dividir cada volta de 360° en un número determinat de passos (veure annex C). Amb un menor número de passos per volta s'aconsegueix una major precisió, ja que l'avanç serà més lent.

Per augmentar la precisió es disposa d'uns controladors de micro-passos, els quals permeten reduir l'angle de pas de cada motor.

- **Controladors micro-pasos**

Es disposa d'un controlador del tipus A4988 "pololu" per cada motor, el qual té una resolució de 1/16 micro-pasos, així es divideix 16 cops l'angle de pas del motor, aconseguint una major precisió i suavitat en els moviments.

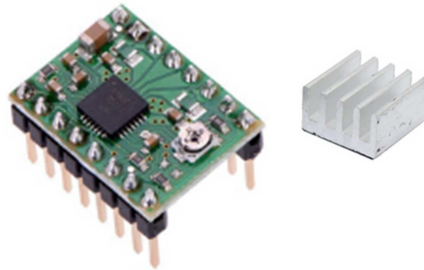


Figura 21: Controlador Pololu A4988 + Dissipador de calor

El controlador va muntat a sobre de la placa electrònica RAMPS 1.4 mitjançant els pins de connexionat. Disposa d'un cargol amb el qual es regula el corrent que rep el motor, per a treballs que suposen poca càrrega es treballa amb poc corrent a diferència de si es treballa amb molta càrrega, ja que es necessita més corrent per poder aplicar el parell necessari.

- **Final de cursa**

Es disposa d'un final de cursa v1.0 en cada un dels mecanismes, ja que és l'element mecànic de seguretat que delimita el recorregut dels d'elements mòbils. En el moment que s'acciona la palanca del final de cursa, s'acciona el mecanisme intern que activa un contacte normalment obert o tancat (NO o NC) que dona senyal a la placa electrònica. A partir de la senyal rebuda a la placa electrònica i, gestionada pel sistema operatiu, dona ordre d'aturar el motor implicat.



Figura 22: Final de cursa

- **Sensor de temperatura**

El sensor de temperatura ambient prendrà lectura mitjançant un termistor. La lectura varia en funció de la resistivitat que genera un material semiconductor en funció de la temperatura que rep.



Figura 23: Sensor de temperatura

- **Pantalla LCD Smart Controller**

Es disposa d'una pantalla, amb la qual l'usuari pot interaccionar amb la màquina, controlar el procés i ajustar paràmetres. La pantalla porta incorporat un controlador per poder treballar autònomament de forma que no cal tenir-hi connectat un ordinador. A l'estar preparada per treballar conjuntament amb la RAMPS incorpora un lector de targetes SD.



Figura 24: Pantalla LCD Smart Controller

- **Connexions**

En aquest apartat es pot veure un esquema simplificat de les connexions dels diferents dispositius elèctrics a la placa electrònica RAMPS i el sistema operatiu.

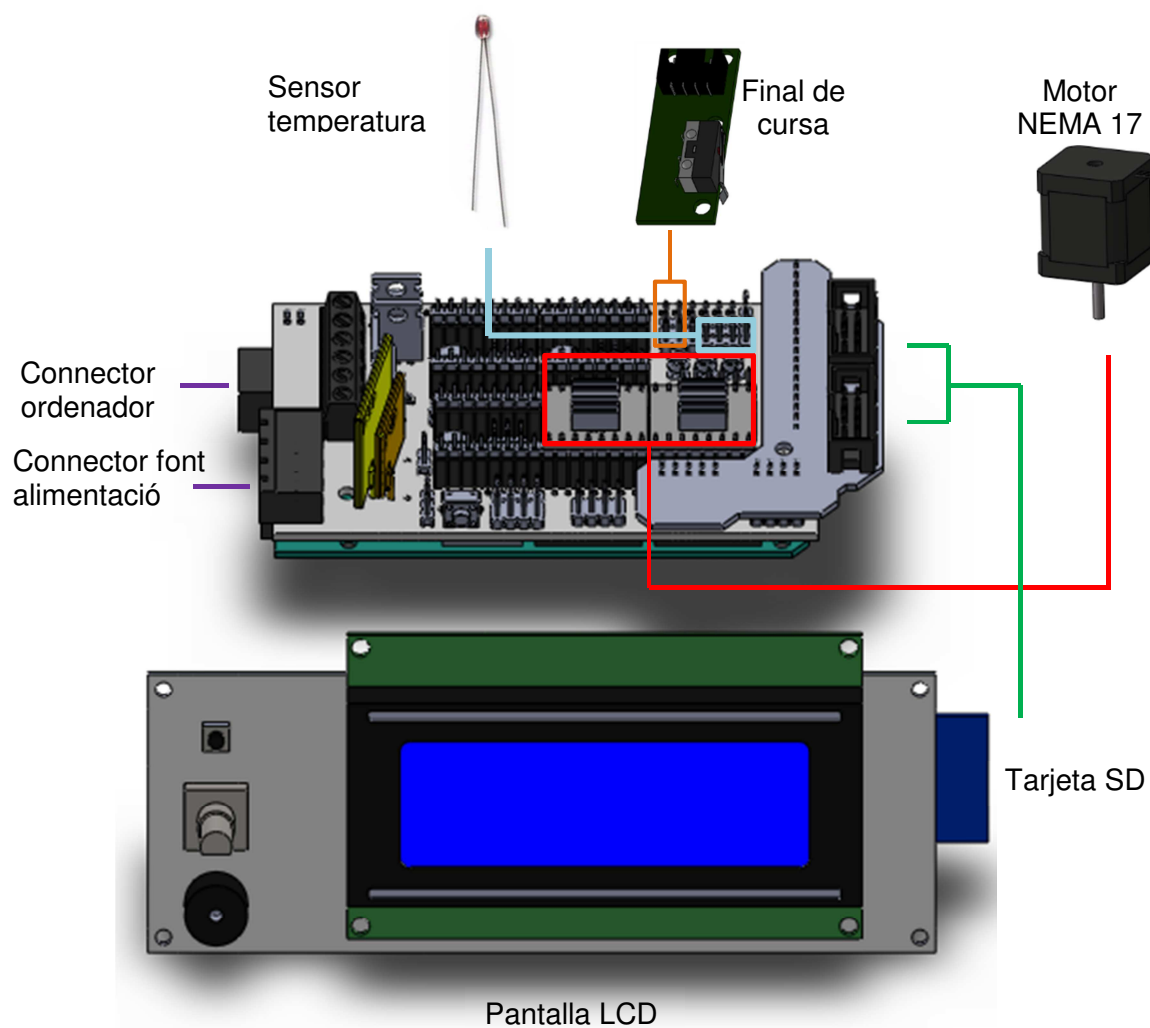


Figura 25: Connexions dispositius electrònics a la placa electrònica

4. FABRICACIÓ I MUNTAGE DEL PROTOTIPUS

4.1 Introducció

Els dissenys inicials de les peces de la màquina es varen portar a terme amb la idea de la fabricació tradicional per fresa CNC; però al tractar-se d'un projecte de baix cost econòmic es va optar per la fabricació per impressió 3D, de la qual disposa el GREP.

La fabricació amb aquesta tecnologia permet fer uns dissenys que surten fora del que seria comú respecte a la fabricació tradicional, a un baix cost.

4.2 Disseny i fabricació per impressió 3D

El disseny de les peces que conformen la màquina es va realitzar a partir del software solidworks, el qual va permetre tenir una visió global de la màquina amb tots els components.

A l'hora del disseny es varen tenir en compte certes limitacions per a cada peça, les quals estaven condicionades per la impressora. Les característiques que varen condicionar més el disseny és el diàmetre del filament de PLA i la de l'embocadura de l'extrusor, que és per on s'extrueix el filament. Aquestes característiques són les més rellevants, ja que determinaven la precisió geomètrica que es podia aconseguir.

Una vegada finalitzat el disseny de cada peça, se li varen assignar uns paràmetres de fabricació. Per fer-ho es va realitzar amb l'ajuda del software Repetier Host, especialment desenvolupat per la impressió 3D. Aquest treballa conjuntament amb l'Slic3r, a on es transforma la geometria CAD, generalment importada en un format estàndard .STL a codi G.

El Repetier Host el que fa és implementar una interfície gràfica senzilla i entenedora per a visualitzar la impressora virtual, de forma que pots configurar la impressora que tinguis a la realitat a dins del programa. Aconseguint així que el codi G generat per l'Slic3r es pugui adaptar completament i no requereixi modificació. A més, consta d'un mòdul de control manual al qual se li poden enviar comandes des de l'ordinador en temps real.

El control manual va ser molt utilitzat per la posada en marxa de la màquina.

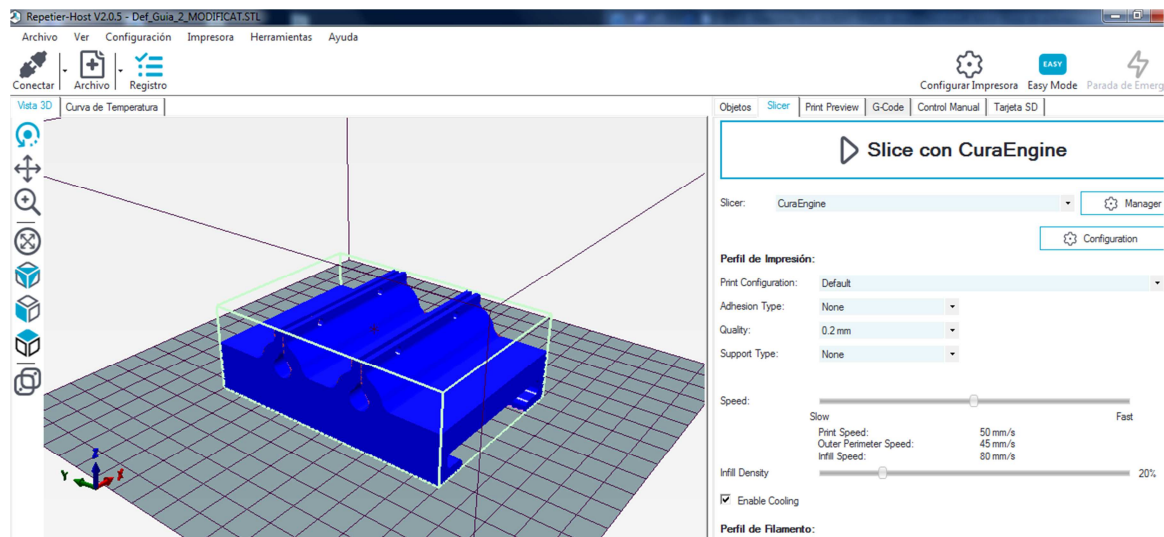


Figura 26: Espai de treball Repetier Host

Una vegada es va tenir la peça a fabricar en la interfície gràfica de la impressora, els paràmetres de fabricació s'ajusten en la pestanya del Slic3r (veure annex). L'ajustatge varia segons l'esforç al qual està sotmesa la peça. Per exemple, si la peça està sotmesa a molta càrrega, es variarà "l'infill", augmentant el percentatge de material intern de la peça.

Finalitzada la configuració dels paràmetres que permet ajustar l'Slic3r, ell mateix permet fer una simulació de la impressió, molt útil per detectar si és necessari posar material de suport o no.

Entre altres paràmetres de configuració de la impressora, aquí es recullen els paràmetres més rellevants.

- N° de capes i perímetres.
- Altura de capa.
- Quantitat de material intern de la peça.
- Material de suport quan una part de la peça està en voladís.
- Velocitat d'aportació material.
- Temperatura d'extrusió i del llit

No tan sols amb l'ajustatge dels paràmetres és suficient per aconseguir una bona peça, s'ha de tenir en compte la geometria d'aquesta peça, saben les limitacions dels utilatges de la impressora.

4.3 Recomanacions al disseny per fabricació per impressió 3D

Al no conèixer en profunditat la fabricació per impressió 3D prèviament al present projecte, les primeres peces varen servir d'aprenentatge, al poder detectar alguns errors provinents de la fabricació tradicional. A continuació es recullen algunes recomanacions a l'hora de fabricar.

- Quan una peça té canvis de secció circulars, → radi d'arrodoniment (radi= 4) a l'aresta que augmenta o disminueix de secció.
- Arestes interiors que tinguin contacte amb altres peces → radi d'arrodoniment de 2 - 4 mil·límetres, en funció de la geometria de la peça.
- Bon acabat superficial → posar 3 capes d'acabat a les zones vistes.
- Robustesa o Rigidesa → Material intern al 15 % d'espessor o superior.
- Per forats on hi hagi d'anar una peça ajustada a pressió → donar un increment a la cota de disseny de 0.6 mm.
- Per forats sense ajustatge a pressió → increment de la cota amb 1 mm.
- Peces grans d'altura major a 60 mm → al 50% del procés de fabricació disminuir la velocitat de deposició de material. (ex: peça de 60x100x30mm).

4.4 Muntatge

En aquest apartat es pot l'organigrama, el qual explica de forma general la seqüència de muntatge dels diferents subconjunts i parts que formen cada un d'ells, per poder tenir finalment la màquina de recobriments per immersió. Els detalls del muntatge de les diferents parts segueix l'estructura que es detalla en l'apartat 3 de la memòria, on es pot veure la funció de cada element.

A dins de cada subconjunt, s'anomenen diversos elements, els quals s'han agrupat per facilitar el muntatge.

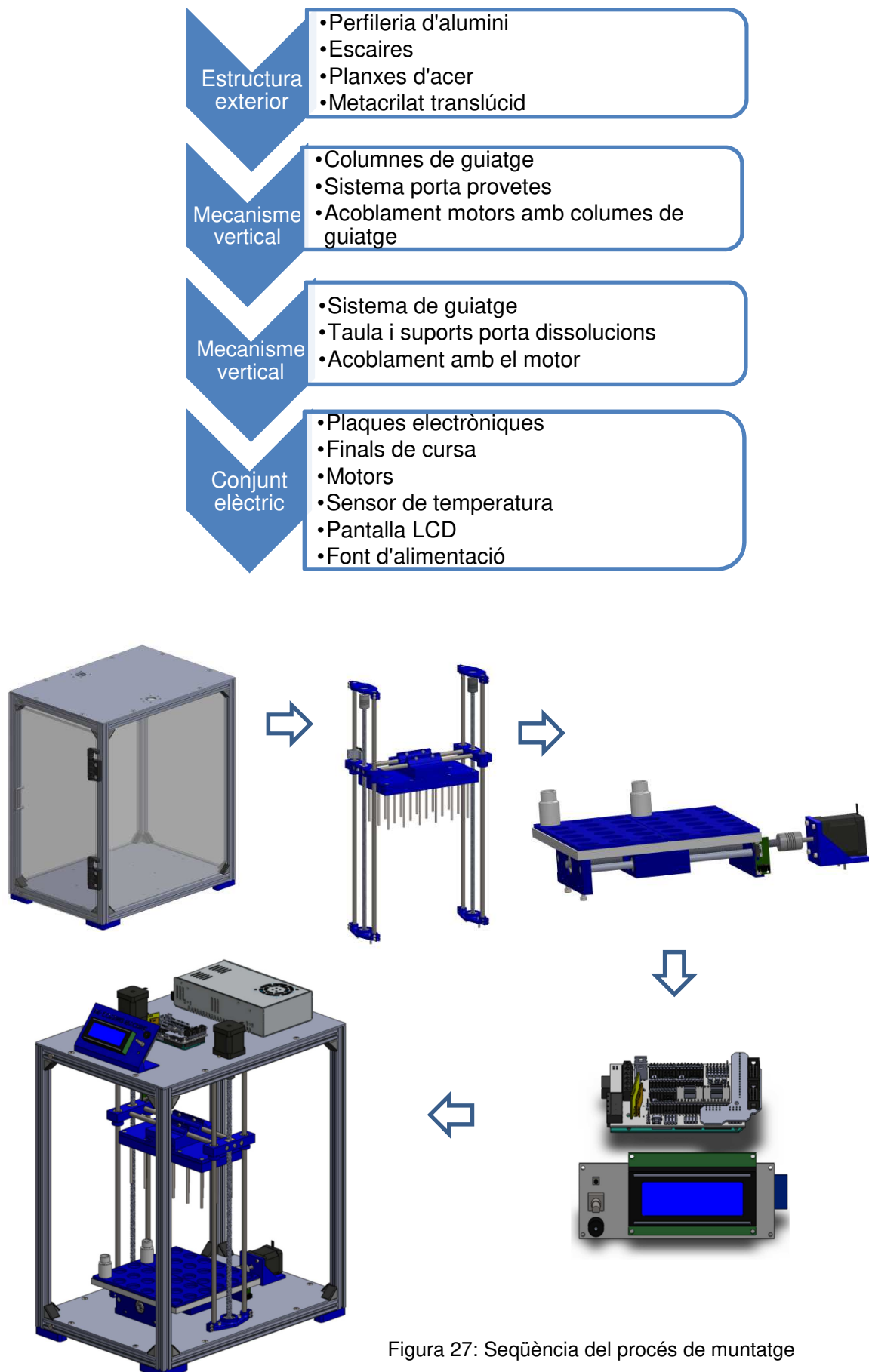


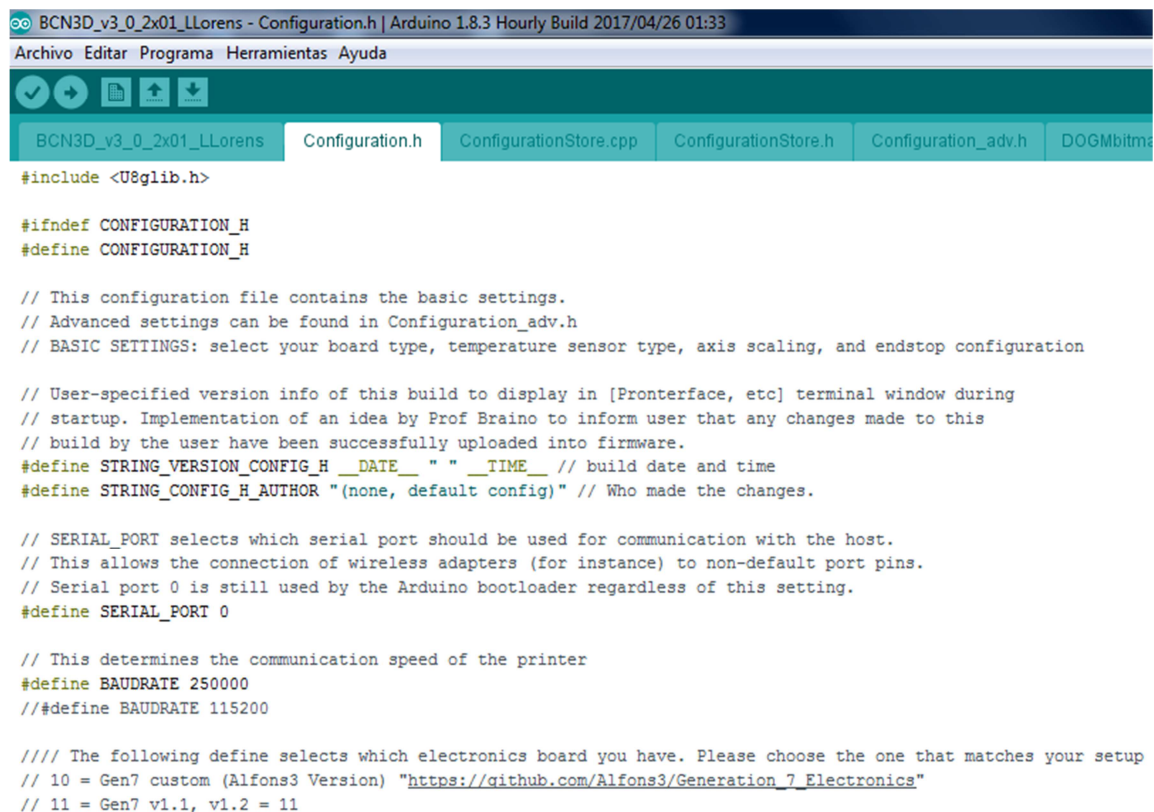
Figura 27: Seqüència del procés de muntatge

5. FABRICACIÓ DE LES PRIMERES SÈRIES DE TUBS

Prèviament a la fabricació de les primeres sèries de tubs es va realitzar la posada en marxa, una vegada la màquina va estar muntada. Posteriorment, es va configurar el codi del ARDUINO i el codi de fabricació G.

El sistema operatiu ARDUINO consta d'un compilador, el qual té el codi escrit en llenguatge C++. En aquest codi s'engloben tots els paràmetres dels dispositius que conformen la màquina. Per al control dels paràmetres es disposa del firmware Open Source denominat Marlin 3D, derivat de la impressora BCN3D+, el qual relaciona els dispositius entre ells.

L'elecció d'ARDUINO com a sistema operatiu és a causa de la facilitat que suposa la configuració del seu codi C++ , on es seleccionen i s'ajusten els dispositius amb els quals treballa. Els dispositius i ajustatges que s'introdueixen en l'espai de configuració (figura 28) s'anomenen en l'annex.



```
BCN3D_v3_0_2x01_LLorens - Configuration.h | Arduino 1.8.3 Hourly Build 2017/04/26 01:33
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

BCN3D_v3_0_2x01_LLorens Configuration.h ConfigurationStore.cpp ConfigurationStore.h Configuration_adv.h DOGMbitm

#include <U8glib.h>

#ifndef CONFIGURATION_H
#define CONFIGURATION_H

// This configuration file contains the basic settings.
// Advanced settings can be found in Configuration_adv.h
// BASIC SETTINGS: select your board type, temperature sensor type, axis scaling, and endstop configuration

// User-specified version info of this build to display in [Pronterface, etc] terminal window during
// startup. Implementation of an idea by Prof Braino to inform user that any changes made to this
// build by the user have been successfully uploaded into firmware.
#define STRING_VERSION_CONFIG_H __DATE__ " " __TIME__ // build date and time
#define STRING_CONFIG_H_AUTHOR "(none, default config)" // Who made the changes.

// SERIAL_PORT selects which serial port should be used for communication with the host.
// This allows the connection of wireless adapters (for instance) to non-default port pins.
// Serial port 0 is still used by the Arduino bootloader regardless of this setting.
#define SERIAL_PORT 0

// This determines the communication speed of the printer
#define BAUDRATE 250000
// #define BAUDRATE 115200

//// The following define selects which electronics board you have. Please choose the one that matches your setup
// 10 = Gen7 custom (Alfons3 Version) "https://github.com/Alfons3/Generation_7_Electronics"
// 11 = Gen7 v1.1, v1.2 = 11
```

Figura 28: Codi de configuració sistema operatiu ARDUINO Mega 2560

Finalitzada la configuració del sistema operatiu, es va comprovar els moviments dels motors i, es varen situar els finals de cursa per limitar el recorregut.

Aquest ajustatge es va realitzar mitjançant el programa informàtic Repetier Host, que es va desenvolupar específicament per a la impressió 3D. Aquest disposa d'un sistema de control manual, al qual se li entra la comanda en codi G i l'eix que es vol fer actuar (veure annex E).

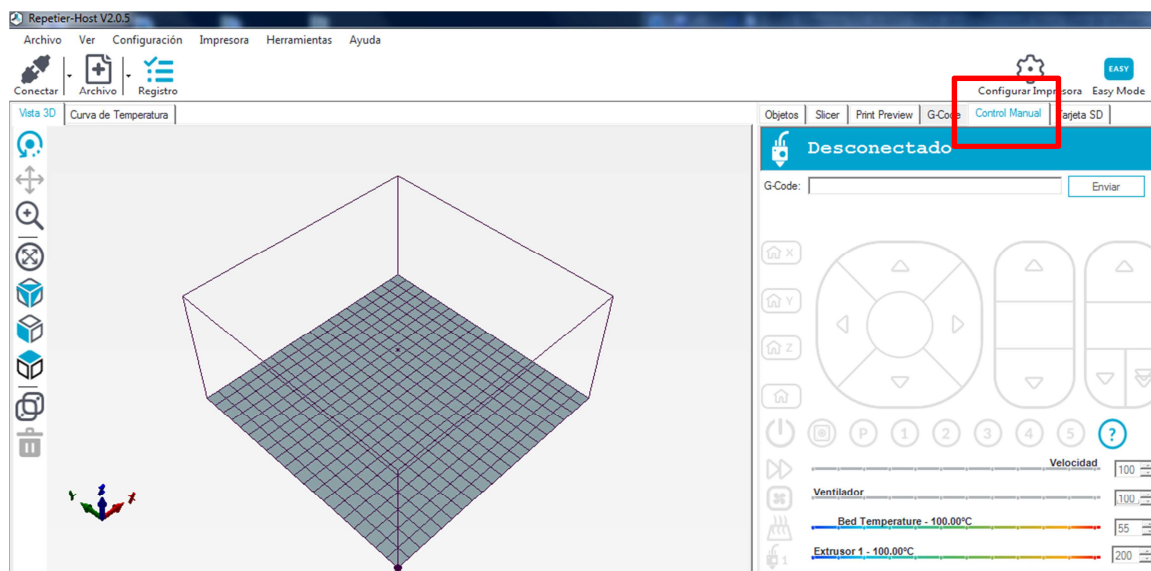


Figura 29: Interfície gràfica Repetier Host

Finalitzades les configuracions dels elements i comprovacions dels motors, es dona per acabada la posada en marxa i, ja es pot preparar per a llençar el codi G de fabricació.

El llançament del codi es realitza a partir del programa informàtic Repetier Host, en la pestanya G-code de la figura 29. En aquesta pestanya s'hi han d'introduir les comandes de fabricació com es pot veure en l'annex E.

Per a la fabricació dels tubs de PCL (poliprolactona) es llença el codi amb un cicle de 50 repeticions que permet obtenir un gruix de paret de 200 micres. Les condicions en què s'han realitzat els assajos es recullen en la taula 2.

Condicions del assaig				
Humitat [%]	Temperatura [°C]	Cicles de repetició	Temps de pausa [min]	Velocitat immersió [mm/s]
50	25	50	1	3.375

Taula 2: Condicions d'assaig

Es va realitzar la fabricació de tres sèries de tubs, on a cada una d'aquestes sèries es disposava de dues provetes amb diàmetres i materials diferents. La proveta de Ø 4 mm és d'acer inoxidable i de Ø 5mm és d'acer comú.

En les següents taules hi ha un recull dels resultats obtinguts de la fabricació de les tres sèries de tubs. Les sis lectures del diàmetre s'han realitzat al llarg de tota la proveta en els diferents punts de la següent figura 30, per aconseguir una lectura més real i uniforme del gruix.

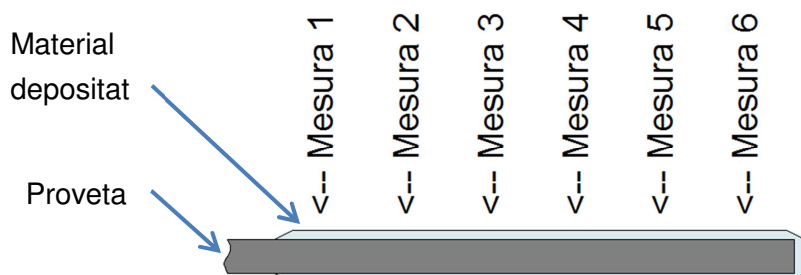


Figura 30: Lectura de mesura

En aquest primera taula número 3 es troben els resultats de les primeres sèries de tubs amb les provetes d'acer inoxidable.

	Provetta de Ø 4mm inox.	Ø exterior [mm]	Espessor de paret [mm]	Mitjana espessor [mm]	Pes [grams]	Longitud [mm]
Sèrie 1	Mesura 1	4.547	0.273	0.259	0.096	25
	Mesura 2	4.491	0.245			
	Mesura 3	4.489	0.244			
	Mesura 4	4.540	0.270			
	Mesura 5	4.552	0.276			
	Mesura 6	4.493	0.246			
Sèrie 2	Mesura 1	4.541	0.270	0.247	0.069	25
	Mesura 2	4.412	0.206			
	Mesura 3	4.484	0.242			
	Mesura 4	4.543	0.271			
	Mesura 5	4.534	0.267			
	Mesura 6	4.455	0.227			
Sèrie 3	Mesura 1	4.752	0.376	0.354	0.093	20
	Mesura 2	4.762	0.381			
	Mesura 3	4.762	0.381			
	Mesura 4	4.737	0.368			
	Mesura 5	4.630	0.315			
	Mesura 6	4.608	0.304			

Taula 3: Recull de dades series 1, 2 i 3

En la segona taula número 4 es troben els resultats de les primeres sèries de tubs amb les provetes d'acer comú. Les caselles amb guió (-) no tenen dades perquè a l'extreure els tubs de les provetes es varen trencar.

	Proveta Ø 5 mm d'acer comú	Ø exterior [mm]	Espessor de paret [mm]	Mitjana espessor [mm]	Pes [grams]	Longitud [mm]
Sèrie 1	Mesura 1	5.493	0.246	0.229	0,134	25
	Mesura 2	5.586	0.293			
	Mesura 3	5.430	0.215			
	Mesura 4	5.420	0.210			
	Mesura 5	5.451	0.225			
	Mesura 6	5.375	0.187			
Sèrie 2	-	-	-	-	-	-
Sèrie 3	-	-	-	-	-	-

Taula 4: Recull de dades series 1, 2 i 3

Per prendre les lectures s'ha realitzat com s'observa en la figura 30 i 31, d'aquesta manera al tenir un nucli massís a l'interior del tub, s'evita la deformació i, al mateix temps tenir una mesura errònia. L'aparell de mesura és el micròmetres de precisió.

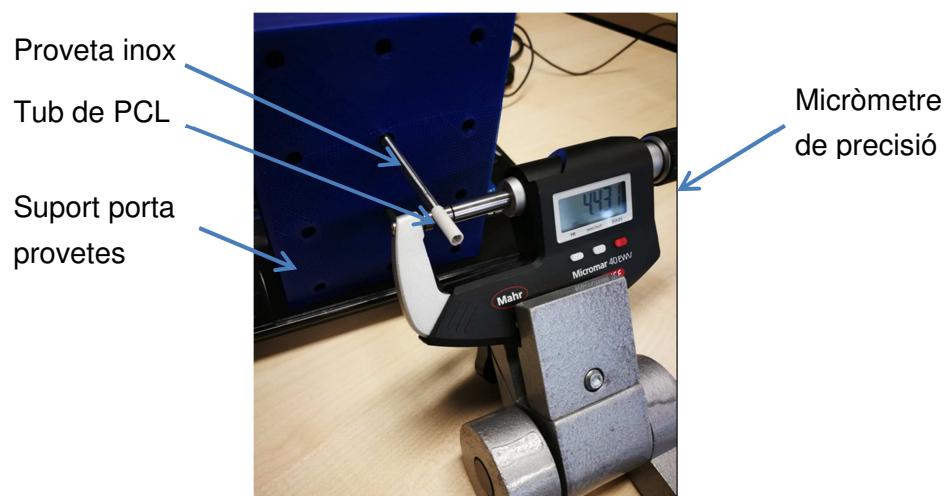


Figura 31: Presa de mesura

6. RESUM DE PRESSUPOST

El cost de la fabricació de la màquina per poder fabricar els tubs de material reabsorbible i biocompatible mitjançant la tècnica de recobriment per immersió ascendeix a 1.399,72 €

7. CONCLUSIONS

El present projecte portat a terme planteja una solució vàlida a la necessitat d'una màquina de recobriment per immersió per al departament de recerca del grup GREP. S'ha complert amb la major part dels requisits establerts per l'acceptació de la màquina, tret de verticalitat de ± 10 micres com es pot veure als resultats obtinguts de la fabricació. Per obtenir uns millors resultats es podria contemplar l'opció plantejada als càlculs, utilitzant el sistema porta provetes d'alumini, d'aquesta manera intentar millorar la verticalitat.

Respecte a la fabricació de tubs, la primera conclusió que es pot treure és que la utilització de provetes d'acer comú per la fabricació no són viables, ja que tenen una superfície porosa i dificulta molt l'extracció del tub acabat. En canvi les provetes d'acer inoxidable tenen un acabat superficial molt poc porós i facilita l'extracció.

Tot i així, s'ha aconseguit una màquina amb unes altes prestacions que permet competir amb el que hi ha al mercat, tenint en compte la relació cost-flexibilitat. El fet de tenir la possibilitat d'intercanviar l'utilatge dona molta versatilitat al tipus de provetes amb què es pot treballar.

8. RELACIÓ DE DOCUMENTS

1. Memòria i Annexes

Annex A: Tecnologia de recobriment per immersió, descripció i aplicacions del cas d'estudi.

Annex B: Esbossos de les solucions alternatives plantejades.

Annex C: Càlculs.

Annex D: Configuració impressió 3D per la fabricació de peces.

Annex E: Configuració del sistema operatiu i codi G per la fabricació de les primeres sèries de tubs.

Annex F: Seguretat de la màquina, manual d'usuari i manteniment.

Annex G: Fitxes tècniques.

2. Plànols
3. Plec de Condicions
4. Estat d'Amidaments
5. Pressupost

9. BIBLIOGRAFIA

- [1] A. Gruentzig, J. Heart, "Results from coronary angioplasty and implications for the future." DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0002-8703\(82\)90486-0](http://dx.doi.org/10.1016/0002-8703(82)90486-0), 1982
- [2] B. Stepak, a. J. Antończak, M. Bartkowiak-Jowsa, J. Filipiak, C. Pezowicz, and K. M. Abramski, "Fabrication of a polymer-based biodegradable stent using a CO2 laser," *Arch. Civ. Mech. Eng.*, vol. 14, no. 2, pp. 317–326, 2014.
- [3] Item24. (<http://www.item24.es/>, 4 d'Abril del 2017)
- [4] Igus. (www.igus.es, 4 d'Abril del 2017)
- [5] RS Components. (<http://es.rs-online.com/web/>, 12 d'Abril del 2017)
- [6] BCN 3D Technologies. (<https://www.bcn3dtechnologies.com/es/>, 25 d'Abril del 2017)
- [7] RepRap. (<http://reprap.org/>, 25 d'Abril del 2017)
- [8] Arduino. (<https://www.arduino.cc/en/Main/Software>, 3 de Maig del 2017)
- [9] Repetier Host. (<https://www.repetier.com/>, 3 de Maig del 2017)
- [10] Membranes biocompatibles i reabsorbibles odontologia (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1883195813000029>, 25 d'Agost del 2017)

ANNEX A: TECNOLOGIA RECOBRIMENT PER IMMERSIÓ, DESCRIPCIÓ I APLICACIONS DEL CAS D'ESTUDI

A.1 Introducció evolució stents medicalitzats

L'stent és un dels dispositius biomèdics més utilitzats en el món per evitar l'obstrucció de les artèries o venes coronàries. Actualment són metàl·lics i, tenen la peculiaritat que un cop a dins del cos no poden ser enretirats. La tècnica més utilitzada per la implantació és l'angioplastia amb globus, com es pot veure en la foto, que és un procediment endovascular, que permet recuperar la normalitat del flux sanguini.

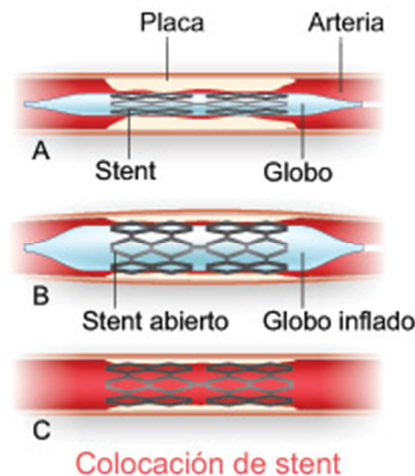


Figura 32: Secuencia técnica de l'angioplastia

Tot i que actualment és un dels dispositius més utilitzats en el món, la recerca s'està centrant en trobar una solució al fet de poder-se enretirar l'stent una vegada finalitzat el període d'actuació. Per això s'està estudiant desenvolupar-los amb materials polimèrics biocompatibles i reabsorbibles pel cos humà. D'aquesta manera el dispositiu es degrada de forma progressiva i, una vegada finalitzat el temps de permanència ja s'ha dissolt per complet.

Per aconseguir la degradació progressiva i controlada dels stents polimèrics, es fabriquen a partir de més d'un polímer, de manera que cada polímer aporta unes característiques. Per tant, es poden realitzar diverses configuracions en funció de les necessitats. El fet de poder-los fabricar amb diferents polímers, es gràcies a la tècnica de recobriment per immersió.

Els materials biocompatibles es denominen com aquells que a l'estar a l'interior del cos humà no reaccionen de manera inadequada a l'estar en contacte amb els teixits receptors.

A.2 Descripció de la tècnica de recobriment per immersió

La finalitat d'aquest document és explicar el procés de recobriment per immersió per la fabricació de tubs polimèrics. Aquesta tècnica implica disposar d'una proveta i una dissolució.

Un dels components principal és la dissolució, on aquesta és la barreja de pellets polimèrics què al posar-se en contacte amb cloroform, es dissolen (veure apartat preparació dissolució).

En el cas particular d'aquest projecte es submergeix una proveta circular d'acer inoxidable a dins d'una dissolució, i després s'extreu.

Aquesta tècnica es divideix en les tres fases que es veuen en la figura 33. La primera és la immersió i temps de permanència, la segona és la deposició i el drenatge, i finalment l'evaporació.

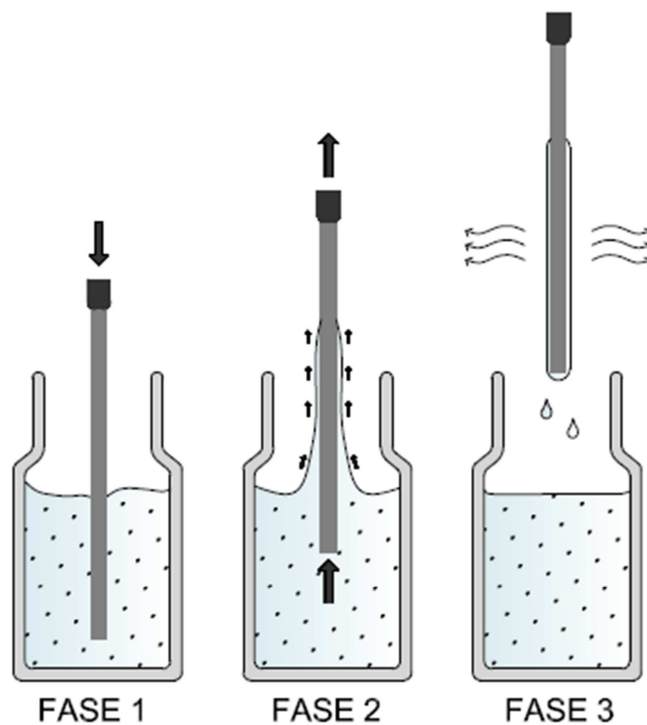


Figura 33: fases de fabricació per recobriment per immersió

- Fase 1. Immersió i Temps de permanència

S'introdueix la proveta a dins la dissolució, prèviament preparada. L'acció de submergir-ho es fa a velocitat constant i es deixa submergida un temps determinat. El temps de permanència assegura una completa permeabilitat entre la dissolució i la proveta.

- Fase 2. Deposició i Drenatge

Una vegada superat el temps de permanència, en el que s'ha assegurat la completa permeabilitat, es procedeix a l'extracció. L'extracció és un punt crític del procés, s'ha de realitzar a baixa velocitat i ser constant (veure taula de paràmetres). S'espera que en tot el perímetre de la proveta hi hagi una fina capa homogènia de material en estat líquid.

El material líquid que no es pot aguantar pel propi efecte de la tensió superficial, entre capa i capa, és drenat novament al recipient de la dissolució. D'aquesta manera s'aconsegueix que sempre hi hagi la mateixa quantitat de material que es deposita.

- Fase 3. Evaporació

Per la fase final del procés, es deixa reposar la proveta en una atmosfera controlada. En aquest període de temps el dissolvent utilitzat en la dissolució s'evapora, passant així de la fina capa de material líquid, al producte final en estat sòlid.

Els tubs de producte final poden tenir diferents característiques, que venen definides per les condicions que s'hagin donat en el procés de fabricació. En la fabricació es poden ajustar els següents paràmetres que es recullen a la taula:

PARÀMETRES	VALOR
Composició i temperatura dissolució PCL	6% // 25°C
Composició i temperatura 2 ^a dissolució	-
Temps de permanència fora la dissolució	60 segons
Nombre de cicles immersió	50
Velocitat de immersió	3,375 mm/s
Velocitat de retrocés	3,375 mm/s
Humitat relativa del ambient	50%
Nombre de dissolucions	1 - 2

A.3 Preparació de la dissolució

- Dissolució al 6% de PCL

Per aconseguir una dissolució de Poliprolactona (PCL) al 6%, és necessari saber quants grams són necessaris dissoldre, per obtenir 250 ml de producte.

$$\text{Concentració al 6\% de PCL} = \frac{X \text{ grams}}{250 \text{ ml}} \times 100 \rightarrow 15 \text{ grams PCL}$$

Un cop la dissolució està completament homogènia, passades 24 hores des de la barreja de polímers i dissolvent, és apte per realitzar la fabricació.

A.4 Algunes aplicacions del cas d'estudi

- Cardiologia

En aquest camp es troben els stents metàl·lics, que com s'ha comentat poden portar una capa de medicalització pels casos de trombosis i la reestenosis. En aquests casos el dispositiu es medicalitza per evitar l'acumulació de teixit en la zona d'actuació i, coàguls de sang.



Figura 34: Stent cardiovascular metàl·lic

- Pròtesis Internes

En el camp de les pròtesis internes, com podria ser el cas d'una pròtesi de cadera, el material amb la qual es fabricaria la pròtesi seria de titani. En la següent imatge es pot observar el procés de preparació d'una pròtesi medicalitzada, per facilitar l'acceptació del material a dins del cos.

El procés d'anoditzat permetrà netejar la superfície de residus orgànics com inorgànics, millora la resistència a la corrosió, disminueix l'alliberació de ions al medi fisiològic i augmenta la duresa superficial, així com la resistència al desgast.

Una vegada preparat el material, la pròtesi es submergeix dins un recipient amb fàrmac. El fàrmac s'introdueix en les cavitats poroses del titani. Finalment es submergeix novament dins una dissolució polimèrica de PLGA i, aplicant la tècnica de recobriment per immersió, el fàrmac queda allotjat en la porositat. L'alliberació del fàrmac és progressiu, gràcies a la degradació progressiva que permet el polímer. Amb la finalitat de millorar la integració òssia i evitar infeccions.

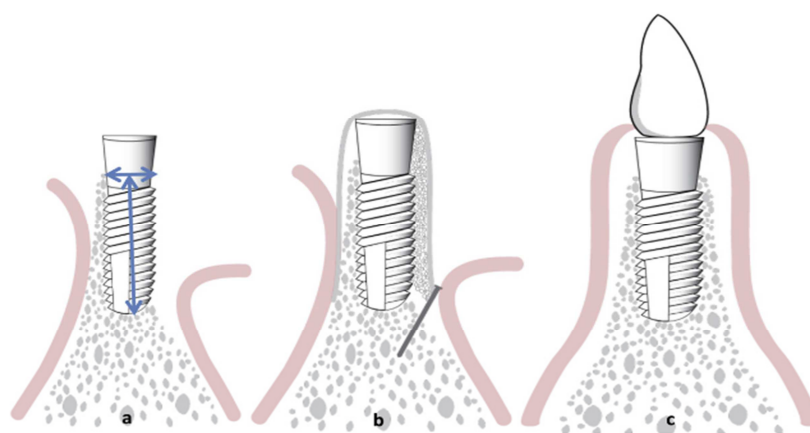


Figura 36: a) Quantitat insuficient d'ós per incerta l'implant. b) Membrana i ingert ossi per accelerar la reconstrucció. c) Ós final amb la pròtesis dental.

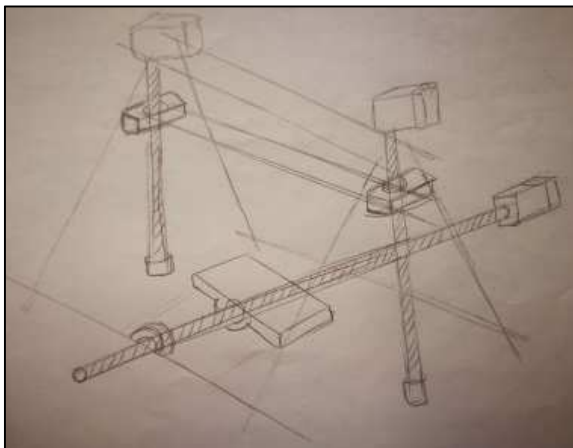
ANNEX B: ESBOSSES DE LES SOLUCIONS ALTERNATIVES PLANTEJADES

B.1 Introducció

En aquest annex es recullen uns esbossos dels principis de solució que s'havien plantejat per la realització de l'estructura de la màquina i el sistema d'intercanvi d'utilitatges porta provetes.

B.2 Solucions presentades

Principi de solució nº 1



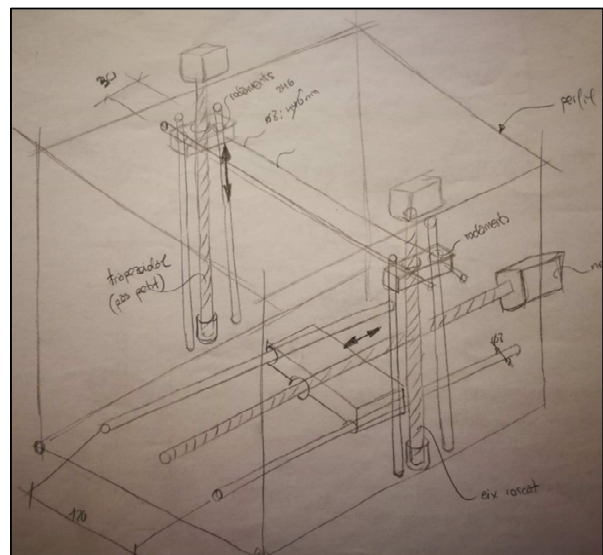
La imatge que s'adjunta va ser una possible opció que es va presentar, però que finalment no es va escollir per les següents raons:

- S'havia de dissenyar una segona estructura la qual tenir el control de l'atmosfera.
- Condicionava la geometria de les provetes, ja que en vista de futur la màquina podria servir per recobrir altres tipus de pròtesis.

La imatge que s'adjunta com es va presentar com segona opció va ser l'escollida per fabricar.

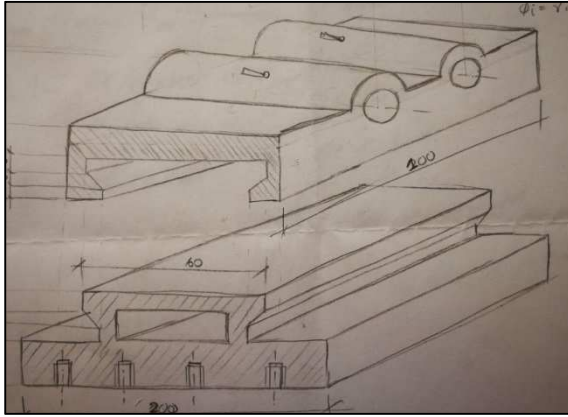
- Una mateixa estructura permet englobar tots els mecanismes i tenir el control de l'atmosfera.
- Permet treballar amb provetes de majors dimensions i si en un futur es volgués treballar amb altres pròtesis a les projectades, seria possible.

Principi de solució nº 2



Les imatges que s'adjunten a continuació varen ser les propostes presentades per solucionar el problema de l'intercanvi d'utilitatges.

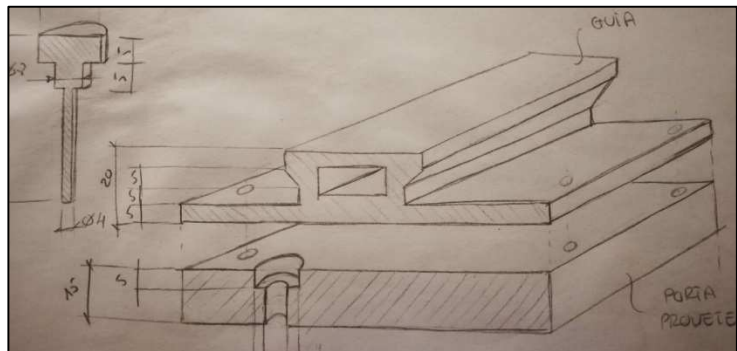
Principi de solució nº 1



- Aquest tipus de guia es va descartar principalment per la complexitat en la fabricació per impressió 3D, ja que al tenir diverses cares i algunes inclinades, exigia una precisió que no es podia aconseguir.

- S'havia plantejat de roscar les provetes, però aquestes es torçaven i a l'hora de realitzar la rosca al PLA no s'assegurava que la rosca fos suficientment bona i que no tingués desviacions respecte la vertical.

Principi de solució nº 2



- Com en el cas anterior aquesta solució no va ser viable per l'exigència que suposava el tipus de guia. Però si a la solució definitiva es va optar pels allotjaments de provetes de 2 colls. Així facilitant l'extracció de la proveta sense malmetre el material

ANNEX C: CÀLCULS

C.1 Dimensionat a partir dels elements de polímer

C.1.2 Càlcul dels passos per mil·límetres dels motors

En aquest apartat es realitza el càlcul dels passos per mil·límetre que avança cada mecanisme per cada volta que dona el motor. Es calcula aplicant la següent fórmula, on hi apareixen els graus per pas de gir dels motors, el pas de l'eix roscat i els passos del controlador de micro-passos.

$$Precisió = \frac{\text{Pas del eix [mm]}}{\left(\frac{360^\circ}{\text{Graus per pas del motor } \left[\frac{^\circ}{\text{pas}} \right]} \right) \times \text{passos del controlador}}$$

C.1.2.1 Eix Z:

$$Precisió = \frac{1,5 \text{ mm}}{\left(\frac{360^\circ}{1,8^\circ} \right) \times 16 \text{ pasos}} = \frac{3}{6400} \left[\frac{\text{mm}}{\text{pas}} \right]$$

Es fa la inversa d'aquest valor i obtenim el resultat final:

$$Precisió = \left(\frac{3}{6400} \right)^{-1} = 2133,3 \left[\frac{\text{pasos}}{\text{mm}} \right]$$

C.1.2.2 Eix X:

$$Precisió = \frac{1,5 \text{ mm}}{\left(\frac{360^\circ}{0,9} \right) \times 16 \text{ pasos}} = \frac{3}{12800} \left[\frac{\text{mm}}{\text{pas}} \right]$$

Es fa la inversa d'aquest valor i obtenim el resultat final:

$$Precisió = \left(\frac{3}{12800} \right)^{-1} = 4266,67 \left[\frac{\text{pasos}}{\text{mm}} \right]$$

Obtinguts els valors, s'introdueixen en l'apartat del control dels motors del sistema operatiu.

C.1.3 Càlcul dels passos per segon

Els passos per segon ens permeten determinar el parell que s'obtindrà del motor al treballar en un rang determinat de velocitat. A partir de la següent fórmula s'obté el valor dels passos per segon que ha de realitzar cada motor.

$$\text{Passos per segon} = \frac{\text{velocitat d'avanç} * \text{pasos del motor}}{\text{pas de l'eix}}$$

C.1.3.1 Eix Z:

On:

- velocitat d'avanç = 3,375mm/s; passos del motor = 200 i pas de l'eix = 1.5mm

$$pps = \frac{3.375 * 200}{1.5} = 450 \text{ pps}$$

A partir d'aquest valor i la corba de funcionament del motor es pot obtenir quin parell motor proporciona. El parell motor que s'obté a partir de les condicions esmentades és de **30 Ncm**.

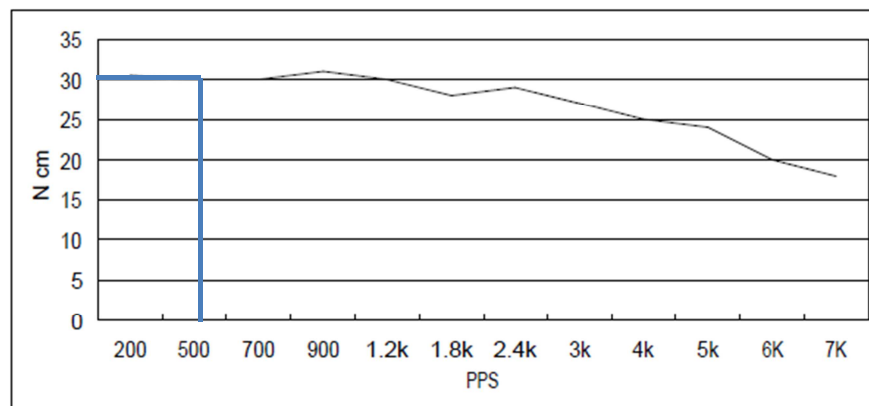


Figura 37: Corba de funcionament motor eix Z

C.1.3.2 Eix X:

On:

- velocitat d'avanç = 3.75 mm/s; passos del motor = 400 i pas de l'eix = 1.5mm

$$pps = \frac{3.75 * 400}{1.5} = 1000 \text{ pps}$$

A partir d'aquest valor i la corba de funcionament del motor es pot obtenir quin parell motor proporciona. El parell motor que s'obté a partir de les condicions esmentades és de **28 Ncm**.

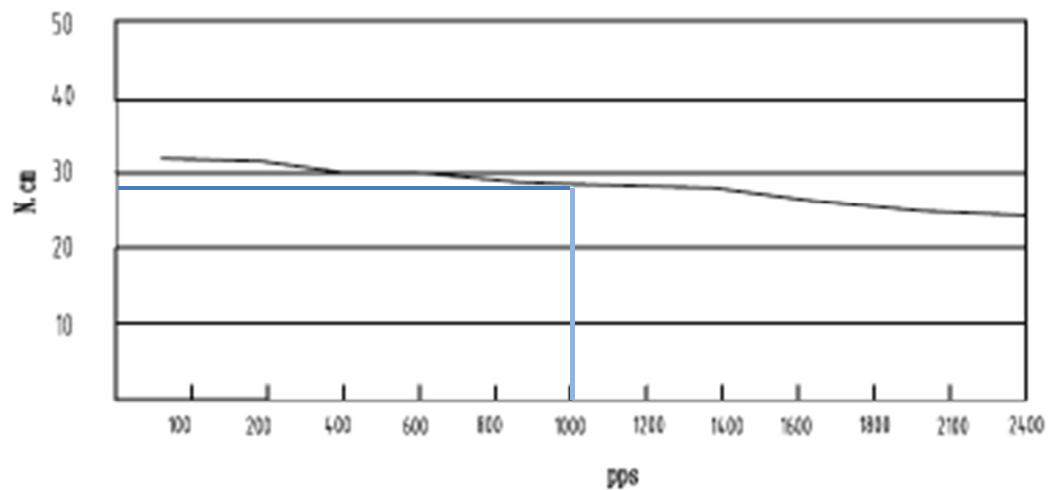


Figura 38: Corba de funcionament motor eix X

C.1.4 Dimensionant motor eix Z.

Per determinar el parell motor necessari, es determina quin són els elements que generen parell resistent. Aquests elements que generen el parell resistent és el sistema porta provetes.

La següent fórmula permet determinar la càrrega resistent al eix del motor.

$$\text{Parell resistent} = \frac{\text{Masses}}{i * \eta} + \frac{\text{Moment resistent}}{i * \eta}$$

On: $i \rightarrow$ relació de transmissió fins l'eix motor.

$\eta \rightarrow$ rendiment.

Masses dels elements:

Recull del pes dels elements del sistema moviment vertical		
Elements	Massa [grams]	Newtons [N]
Guia	104.83	1.02
Tapa	175.17	1.72
Porta provetes	292.65	2.87
Provetes (18 unitats)	220.00	2.15
Cargolària	24.40	0.24
TOTAL	796.30	7.81

Per determinar la relació de transmissió des del conjunt provetes fins a l'eix del motor, es necessari saber quin és l'element que els té interconnectats mecànicament. En aquest cas la femella amb rosca trapezoïdal de M8 amb l'eix roscat d'1,5 mm de pas.

La relació de transmissió es determina de la següent manera, tenint en compte que aquest dispositiu transforma el gir angular en desplaçament lineal.

$$i = \frac{\theta \text{ [radians]}}{X \text{ [m]}} = \frac{2\pi}{1,5 \times 10^{-3}} = \frac{4000\pi}{3} \text{ m}^{-1}$$

S'aproxima un rendiment del 85%.

Al no tenir elements amb moment resistent per si sols, el segon terme de l'equació es menysprea.

$$\text{Parell resistent} = \frac{\text{Masses [N]}}{i * \eta} = \frac{7.81}{\left(\frac{4000\pi}{3} * 0.85\right)} = 2.194 \times 10^{-3} \text{ Nm} \rightarrow 0,219 \text{ Ncm}$$

El motor treballarà molt per sota de la càrrega màxima amb la que pot treballar

C.1.5 Dimensionat motor eix X.

De la mateixa manera que s'ha determinat el parell motor de l'apartat anterior, s'aplica pel motor de l'eix horitzontal, encarregat de desplaçar el carro amb la taula porta dissolucions.

Masses dels elements:

Recull del pes dels elements del sistema moviment horitzontal		
ELEMENTS	MASSA [grams]	NEWTONS [N]
Carro	177.53	1.74
Taula	342.01	3.35
Suport recipients de vidre	180.02	1.76
Recipients + dissolució	470.52	4.61
Cargolaria	49.00	0.48
TOTAL	1819.09	17.84

Per determinar la relació de transmissió entre el carro i l'eix del motor, es necessari saber quin és l'element que els té interconnectats mecànicament. En aquest cas la rosca de la femella de M8 amb l'eix roscat amb pas d'1,5 mm.

La relació de transmissió es determina de la següent manera, tenint en compte que aquest dispositiu transforma el gir angular en desplaçament lineal.

$$i = \frac{\theta \text{ [radians]}}{X \text{ [m]}} = \frac{2\pi}{1,0 \times 10^{-3}} = 2000\pi \text{ m}^{-1}$$

S'aproxima un rendiment del 85%.

Al no tenir elements amb moment resistent per si sols, el segon terme de l'equació es menysprea.

$$\text{Parell resistent} = \frac{17.84 \text{ N}}{(2000\pi * 0.85)} = 3.341 \times 10^{-3} \text{ Nm} \rightarrow 0,334 \text{ Ncm}$$

El motor treballarà molt per sota de la càrrega màxima amb la que pot treballar

C.1.6 Dimensionat de les barres travesseres

Per tenir la certesa de què les barres llises d'acer s'han seleccionat correctament, es realitza el següent estudi, considerant el pitjor cas en càrrega estàtica. En l'estudi es determina el coeficient de seguretat de les barres, per l'esforç al qual estan sotmeses.

La càrrega total a la qual estan sotmeses, és degut al sistema porta provetes, amb una càrrega de 651,87 grams = 6,40 N. A l'estar distribuïda uniformement es tracta com si fos una càrrega puntual al centre de gravetat del porta provetes.

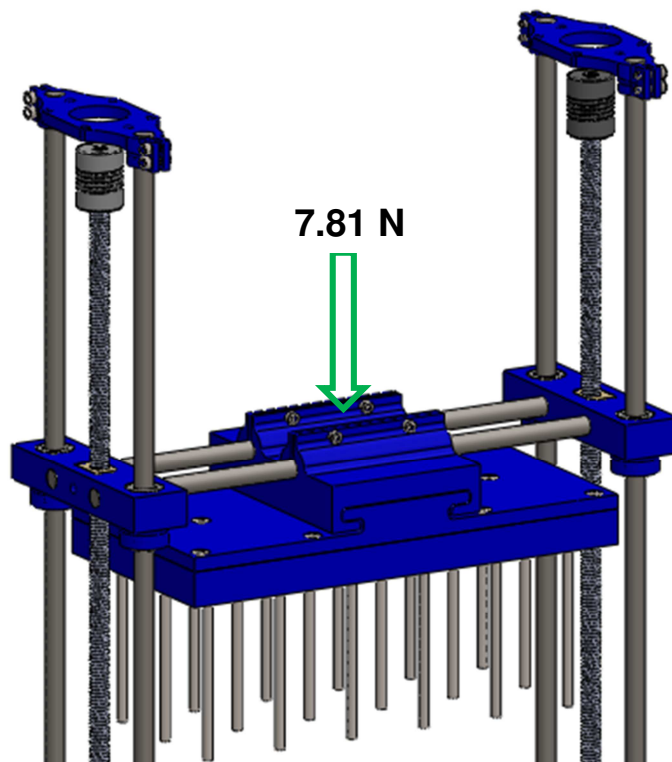


Figura 39: Esquema estudi dimensionat barres

L'estudi del dimensionat es realitza per una sola barra, així que es realitza la següent simplificació del sistema. Al tenir la càrrega total recolzada en les dos barres, per l'estudi d'una sola barra, només es tindrà en compte la meitat de la càrrega total. La càrrega no està aplicada al centre de la barra, està descentrada 15 mm, fet que genera un parell torçor.

- Càlcul de tensions:

L'estudi es realitza del punt assenyalat a la secció "A" com a més desfavorable, ja que és el que pateix els esforços més elevats a causa de la càrrega.

Força màxima (F)= 3,905 N; d = 15 mm; L = 104 mm; Ø= 8mm

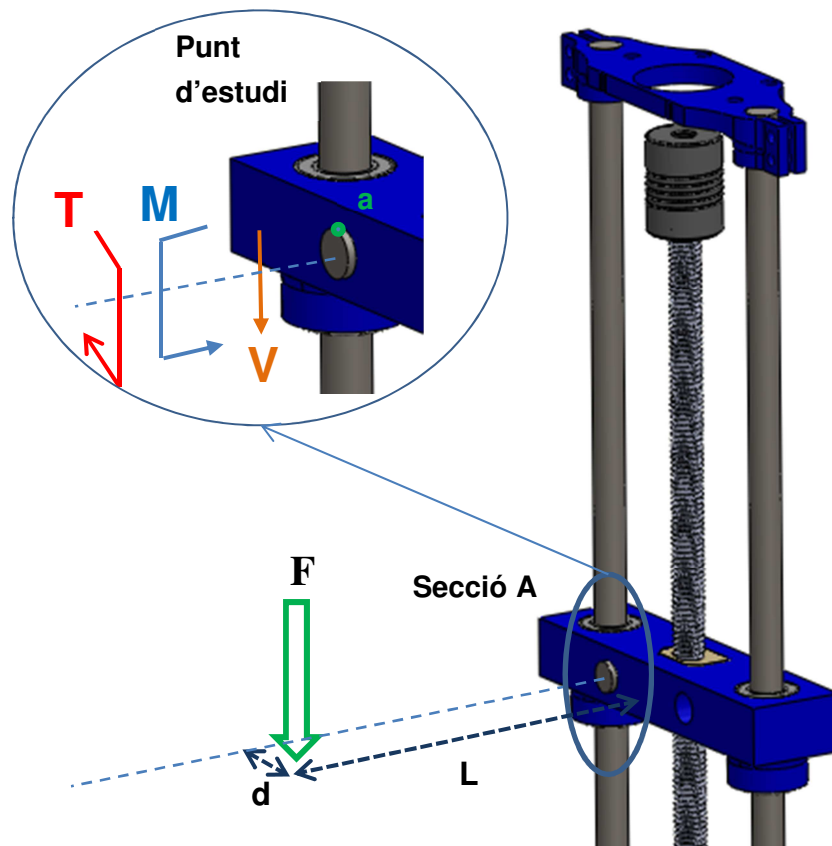


Figura 40: Simplificació de l'estudi dimensionat barres

Tallant:

$$V = 3,905 \text{ N}$$

Moment Flector i Torçor:

$$- M = F_{\text{màx}} \cdot L = 406.12 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$- T = F_{\text{màx}} \cdot d = 58.57 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

Àrea:

$$- A = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4}$$

Inèrcies:

$$- I = \frac{\pi \cdot \phi^4}{64} \rightarrow \text{Rectangular}$$

$$- I_p = \frac{\pi \cdot \phi^4}{32} \rightarrow \text{Polar}$$

Tensions al punt d'estudi:

$$\sigma_a = \frac{M \cdot y}{I} = 8,08 \text{ MPa}$$

$$\tau_a = \frac{4 \cdot V}{3 \cdot A} = 0,10 \text{ MPa}$$

$$\tau_a = \frac{T \cdot r}{I_p} = 0,58 \text{ MPa}$$

A partir dels valors obtinguts de les tensions, podem saber les tensions principals que s'apliquen al punt "a".

$$\sigma_{A,B} = \frac{\sigma}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

$$\sigma_{A,B} = 8,137 \text{ MPa} // -0,056 \text{ MPa}$$

Teorema de Von Misses

Finalment s'aplica el teorema de Von Misses per saber la tensió màxima que es generarà en l'estat biaxial.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_b^2 - \sigma_a \cdot \sigma_b}$$

$$\sigma' = 8,165 \text{ MPa}$$

S'aplica la fórmula corresponent pel càlcul del coeficient de seguretat associat al teorema de Von Misses.

On: S_y és el límit elàstic que correspon al material, en aquest cas al ser acer és 275 MPa.

$$n = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$n = \frac{275}{33.68} = 8.16$$

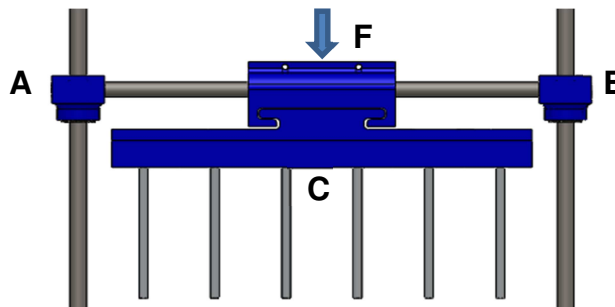
Amb aquest valor obtingut, anem molt sobre segur de que la barra no trencarà.

C.1.7 Càlcul de la fletxa màxima

El següent càlcul permet saber quina deformació sofreixen la barres de suport del sistema porta provetes, amb la càrrega aplicada al mig. L'estudi es realitza amb la càrrega que suporta una barra només, i així es sap que cada barra flectarà el mateix.

Pel correcte càlcul, es plantegen les següent condicions de contorn del mecanisme:

- Θ_A i $\Theta_B = 0$ radiants.
- δ_A i $\delta_B = 0$ mil·límetres



Llavors a partir de la següent fórmula, on intervé la força aplicada, la longitud, mòdul elàstic i inèrcia de la barra, s'obté la fletxa màxima.

$$Y_{m\grave{a}x} = \frac{F \cdot L^3}{192 \cdot E \cdot I}$$

On:

Força (F): 3.905 N; Longitud (L): 258 mm; Mòdul elàstic (E): 201000 MPa. ;Diàmetre de la barra (Ø): 8mm

$$\text{Inèrcia rectangular} = \frac{\pi \cdot \phi^4}{64}$$

$$Y_{m\grave{a}x} = \frac{F \cdot L^3}{192 \cdot E \cdot I} = 8,642 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

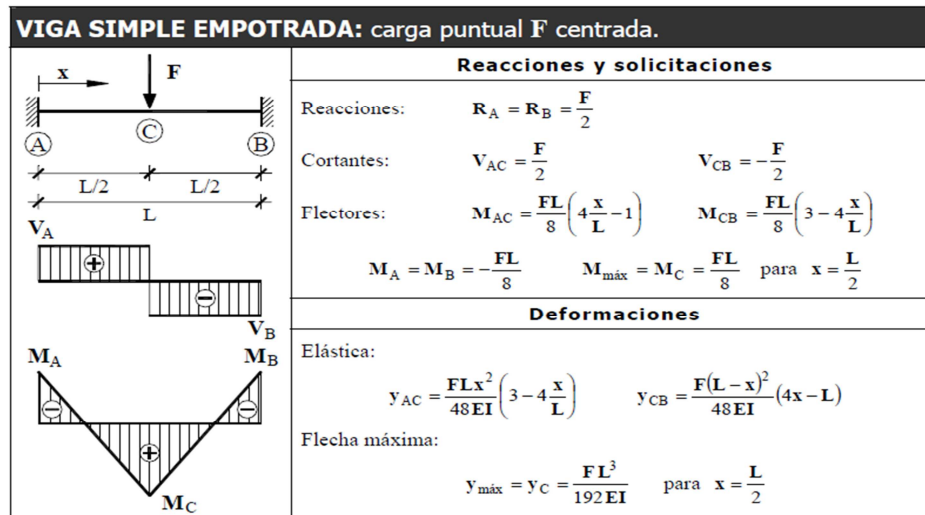


Figura 41: Prontuari estudi fletxa màxima

C.1.8 Dimensionat de les barres guia horitzontal

Per tenir la certesa de què les barres llises d'acer s'han seleccionat correctament, es realitza el següent estudi, considerant el pitjor cas en càrrega estàtica. En l'estudi es determina el coeficient de seguretat de les barres, per l'esforç al qual estan sotmeses.

La càrrega total a la qual estan sotmeses, és degut als elements porta dissolucions, generant una càrrega de 1819,09 grams = 17.84 N. A l'estar distribuïda uniformement es tracta com si fos una càrrega puntual al centre de gravetat del carro.

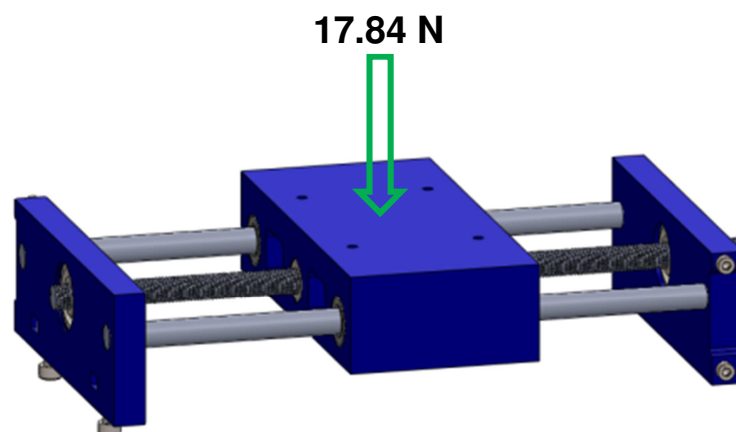


Figura 42: Esquema estudi dimensionat barres

L'estudi del dimensionat es realitza per una sola barra, així que es realitza la següent simplificació del sistema. Al tenir la càrrega total recolzada en les dos barres, per l'estudi

d'una sola barra, només es tindrà en compte la meitat de la càrrega total. La càrrega no està aplicada al centre de la barra, està desplaçada 50 mm, fet que genera un parell torçor.

- Càlcul de tensions:

L'estudi es realitza del punt assenyalat a la secció "B" com a més desfavorable, ja que és el que pateix els esforços més elevats degut a la càrrega.

Força màxima (F)= 8,92 N; d = 50 mm; L = 90 mm ; $\varnothing$ = 8 mm

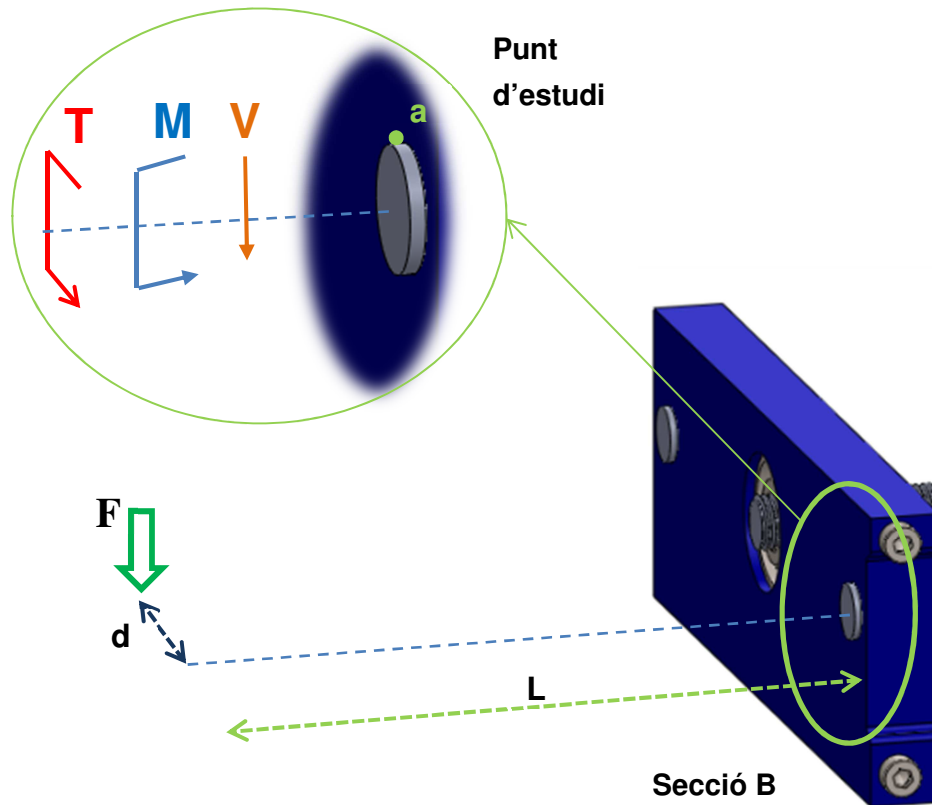


Figura 43: Simplificació de l'estudi dimensionat barres

Tallant:

$$V = 8.92 \text{ N}$$

Moment Flector i Torçor:

$$- M = F_{\text{màx}} \cdot L = 802.80 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$- T = F_{\text{màx}} \cdot d = 446.00 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

Àrea:

$$- A = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4}$$

Inèrcies:

$$- I = \frac{\pi \cdot \phi^4}{64} \rightarrow \text{Rectangular}$$

$$- I_p = \frac{\pi \cdot \phi^4}{32} \rightarrow \text{Polar}$$

Tensions al punt d'estudi:

$$\sigma_a = \frac{M \cdot y}{I} = 15.97 \text{ MPa}$$

$$\tau_a = \frac{4 \cdot V}{3 \cdot A} = 0.23 \text{ MPa}$$

$$\tau_a = \frac{T \cdot r}{I_p} = 4.43 \text{ MPa}$$

A partir dels valors obtinguts de les tensions, podem saber les tensions principals que s'apliquen al punt "a".

$$\sigma_{A,B} = \frac{\sigma}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

$$\sigma_{A,B} = 17.23 \text{ MPa} // -1.26 \text{ MPa}$$

Teorema de Von Misses

Finalment s'aplica el teorema de Von Misses per saber la tensió màxima que es generarà en l'estat biaxial.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_b^2 - \sigma_a \cdot \sigma_b}$$

$$\sigma' = 17.80 \text{ MPa}$$

S'aplica la fórmula corresponent pel càlcul del coeficient de seguretat associat al teorema de Von Misses.

On: S_y és el límit elàstic que correspon al material, en aquest cas al ser acer és 275 MPa.

$$n = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$n = \frac{275}{15.44} = 15.44$$

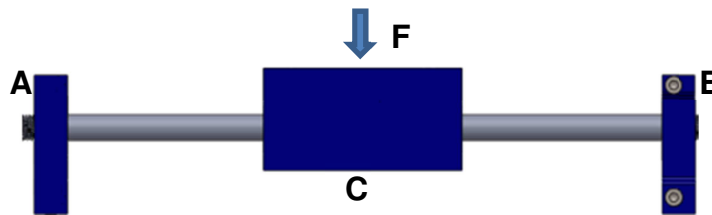
Amb aquest valor obtingut anem sobre segur de que la barra no trencarà.

C.1.9 Càlcul de la fletxa màxima

El següent càlcul permet saber quina deformació sofreixen la barres de suport de la guia del mecanisme de moviment horitzontal, amb la càrrega aplicada al mig. L'estudi es realitza amb la càrrega que suporta una barra només, i així es sap que cada barra flectarà el mateix.

Pel correcte càlcul, es plantegen les següent condicions de contorn del mecanisme:

- Θ_A i $\Theta_B = 0$ radiants.
- δ_A i $\delta_B = 0$ mil·límetres



Llavors a partir de la següent fórmula, on hi intervé la força aplicada, la longitud, mòdul elàstic i inèrcia de la barra, s'obté la fletxa màxima.

$$Y_{m\grave{a}x} = \frac{F \cdot L^3}{192 \cdot E \cdot I}$$

On:

Força (F): 8.92 N; Longitud (L): 180 mm; Mòdul elàstic (E): 201000 MPa. ;Diàmetre de la barra ($\varnothing$): 8mm

$$\text{Inèrcia rectangular} = \frac{\pi \cdot \varnothing^4}{64}$$

$$Y_{m\grave{a}x} = \frac{F \cdot L^3}{192 \cdot E \cdot I} = 6.70 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

C.2 Dimensionat elements amb porta provetes d'alumini

En aquest apartat es dimensionen una sèrie d'elements ja dimensionats en l'apartat anterior, però en aquest cas, tenint en compte que el sistema porta provetes és d'alumini. El material seleccionat és alumini de la sèrie 7xxx pel baix pes, la maquinabilitat i la resistència a la corrosió. D'aquesta manera es podrà assegurar la verticalitat, paral·lelisme i planitud en la guia.

En la següent taula es recullen les masses dels diferents elements:

ELEMENTS	MASSA [grams]	NEWTONS [N]
Guia	318.35	3.12
Tapa	430.00	4.21
Porta provetes	812.00	7.96
Provetes (18 unitats)	220.00	2.15
Cargolària	24.40	0.24
TOTAL	1804.75	17.70

A partir del nou valor de la càrrega màxima a la que estaran sotmesos els motors del mecanisme vertical i les barres travesseres, es realitzarà el nou dimensionat.

C.2.1 Dimensionat motor eix Z

La següent formules permeten determinar la càrrega resistent al eix del motor.

$$Parell\ resistent = \frac{Masses}{i * \eta} + \frac{Moment\ resistent}{i * \eta}$$

On: $i \rightarrow$ relació de transmissió fins l'eix motor.

$\eta \rightarrow$ rendiment.

La relació de transmissió es determina de la següent manera, tenint en compte que aquest dispositiu transforma el gir angular en desplaçament lineal.

$$i = \frac{\theta [radians]}{X [m]} = \frac{2\pi}{1,5 \times 10^{-3}} = \frac{4000\pi}{3} m^{-1}$$

S'aproxima un rendiment del 85%.

Al no tenir elements amb moment resistent per si sols, el segon terme de l'equació es menysprea.

$$\text{Parell resistent} = \frac{\text{Masses [N]}}{i * \eta} = \frac{17.70}{\left(\frac{4000\text{II}}{3} * 0.85\right)} = 4.971 \times 10^{-3} \text{ Nm} \rightarrow 0,497 \text{ Ncm}$$

→0.497 Ncm → **0.050 Kg cm** tot hi havent augmentat la càrrega, el motor treballa amb facilitat.

C.2.2 Dimensionat de les barres travesseres

La nova càrrega total del sistema porta provetes és de 1804.75 grams = 17.70 N. A l'estar distribuïda uniformement es tracta com si fos una càrrega puntual al centre de gravetat del porta provetes.

L'estudi es realitza per una sola barra, així que es realitza la següent simplificació del sistema (veure figura 44). Al tenir la càrrega total recolzada en les dos barres, per l'estudi d'una sola barra, només es tindrà en compte la meitat de la càrrega total. La càrrega no està aplicada al centre de la barra, està descentrada 15 mm, fet que genera un parell torçor.

- Càlcul de tensions:

L'estudi es realitza del punt assenyalat a la secció "A" com a més desfavorable, ja que és el que pateix els esforços més elevats a causa de la càrrega.

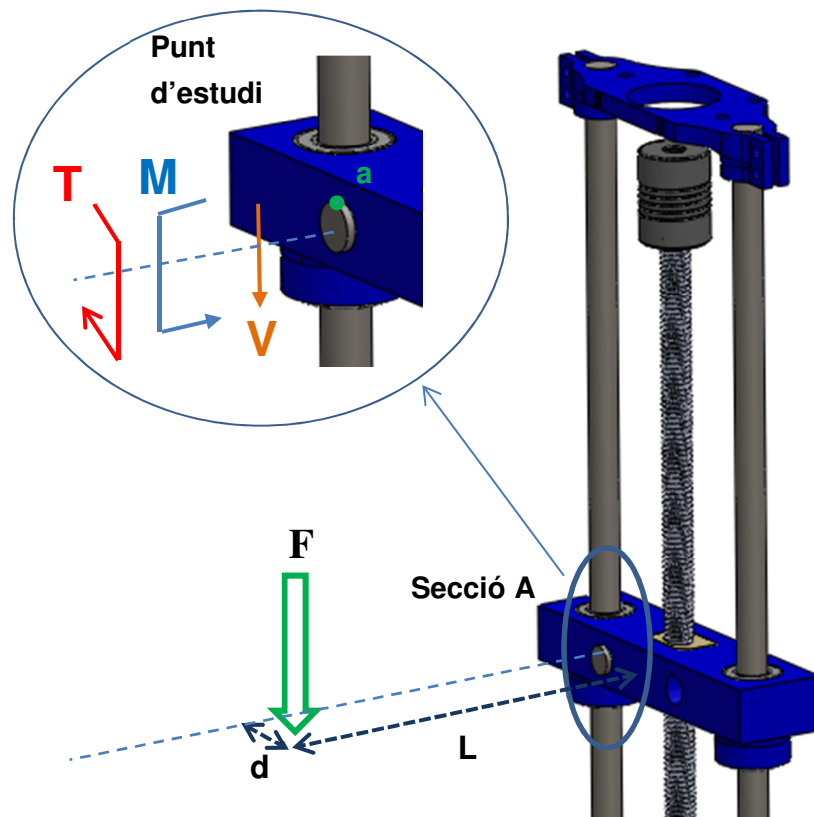


Figura 44: Simplificació de l' estudi dimensionat barres

Força màxima (F)= 8.85 N; d = 15mm; L = 104mm; Ø=8mm

Tallant:

$$V = 8.85 \text{ N}$$

Moment Flector i Torçor:

$$- M = F_{\text{màx}} \cdot L = 920.40 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$- T = F_{\text{màx}} \cdot d = 132.75 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

Àrea:

$$- A = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4}$$

Inèrcies:

$$- I = \frac{\pi \cdot \phi^4}{64} \rightarrow \text{Rectangular}$$

$$- I_p = \frac{\pi \cdot \phi^4}{32} \rightarrow \text{Polar}$$

Tensions al punt d'estudi:

$$\sigma_a = \frac{M \cdot y}{I} = 18.31 \text{ MPa}$$

$$\tau_a = \frac{4 \cdot V}{3 \cdot A} = 0,23 \text{ MPa}$$

$$\tau_a = \frac{T \cdot r}{I_p} = 1.32 \text{ MPa}$$

A partir dels valors obtinguts de les tensions, podem saber les tensions principals que s'apliquen al punt "a".

$$\sigma_{A,B} = \frac{\sigma}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

$$\sigma_{A,B} = 18.44 \text{ MPa} // -0,13 \text{ MPa}$$

Teorema de Von Misses

Finalment s'aplica el teorema de Von Misses per saber la tensió màxima que es generarà en l'estat biaxial.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_b^2 - \sigma_a \cdot \sigma_b}$$

$$\sigma' = 18.50 \text{ MPa}$$

S'aplica la fórmula corresponent pel càlcul del coeficient de seguretat associat al teorema de Von Misses.

On: S_y és el límit elàstic que correspon al material, en aquest cas al ser acer és 275 MPa.

$$n = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} = 14.86$$

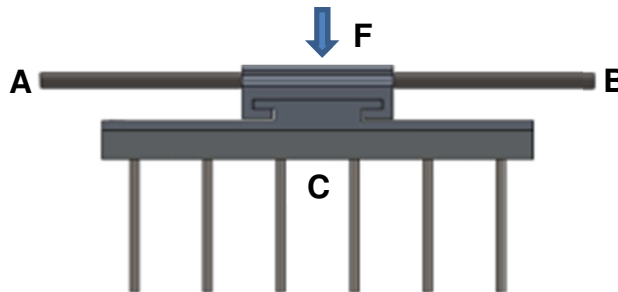
Amb aquest valor obtingut encara s'obté un gran marge de seguretat, les barres no trencaran.

C.2.3 Càlcul de la fletxa màxima

El següent càlcul permet saber quina deformació sofreixen la barres de suport del sistema porta provetes, amb la nova càrrega aplicada al mig. L'estudi es realitza amb la càrrega que suporta una barra només, i així es sap que cada barra flectarà el mateix.

Pel correcte càlcul, es plantegen les següents condicions de contorn del mecanisme:

- Θ_A i $\Theta_B = 0$ radians.
- δ_A i $\delta_B = 0$ mil·límetres.



Llavors a partir de la següent fórmula, on hi intervé la força aplicada, la longitud, mòdul elàstic i inèrcia de la barra, s'obté la fletxa màxima.

$$Y_{màx} = \frac{F \cdot L^3}{192 \cdot E \cdot I}$$

On: Força (F): 8.85 N; Longitud (L): 258 mm; Mòdul elàstic (E): 201000 MPa.; Diàmetre de la barra ($\varnothing$): 8mm

$$\text{Inèrcia rectangular} = \frac{\pi \cdot \varnothing^4}{64}$$

$$Y_{màx} = \frac{F \cdot L^3}{192 \cdot E \cdot I} = 0.019 \text{ mm}$$

ANNEX D: CONFIGURACIÓ IMPRESSIÓ 3D PER LA FABRICACIÓ DE PECES

D.1 Objecte

En el present annex s'explica la configuració utilitzada en el programa Slic3r que treballa conjuntament amb el Repetier Host. Com ja s'ha explicat anteriorment, aquest programa té una interfície gràfica que permet simular com serà la fabricació per impressió 3D.

D.2 Pautes a seguir

Primerament s'ha de configurar la impressora al programa Repetier Host, en la pestanya de configuració de la impressora s'ha de seleccionar la pestanya del port de connexió i el Baudrate.

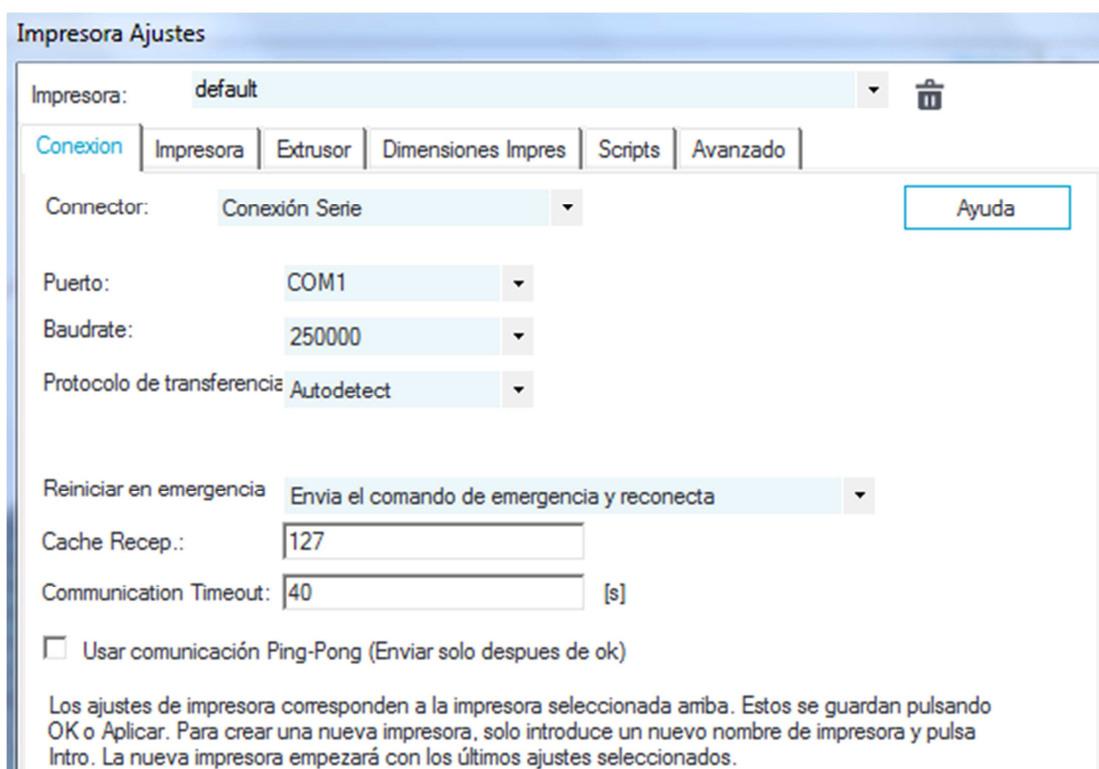


Figura 45: Configuració de la impressora 3D

Al simular la impressió de la peça prèviament al ser fabricada, cal configurar-ho també.

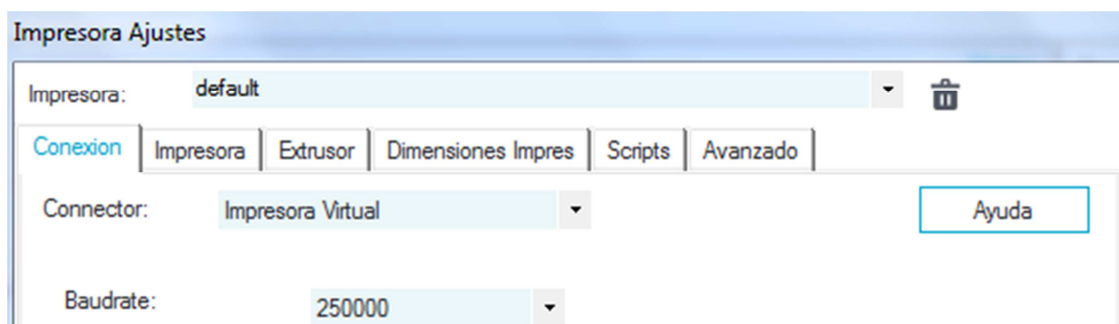


Figura 46: Configuració impressora virtual

En la següent figura de configuració de la impressora es poden acabar d'ajustar els paràmetres que te pre-assignats la impressora Marlin.

The screenshot shows the 'Impresora Ajustes' window with the 'Impresora' tab selected. The 'Impresora' dropdown is set to 'default'. The 'Firmware Type' is set to 'Autodetect'. The following parameters are configured:

- Velocidad Desplazamiento sin extruir: 4800 [mm/min]
- Velocidad Avance del Eje Z: 100 [mm/min]
- Manual Extrusion Speed: 2 [mm/s]
- Manual Retraction Speed: 30 [mm/s]
- Temperatura precalentamiento Extrusor: 200 °C
- Temperatura precalentamiento Plataforma: 55 °C
- ☒ Comprobar Temperatura de Extrusor y Plataforma
- ☐ Eliminar comandos M105 del Registro
- Comprobar cada 3 segundos. (Slider set to 3)
- Posición de Reposo: X: 0 Y: 0 Z min: 0 [mm]
- ☒ Send ETA to printer display
- ☐ Ir a posición de reposo después de Impresión o A
- ☒ Apagar Extrusor al terminar o anular
- ☒ Apagar Plataforma al terminar o anular
- ☒ Apagar Motores al terminar o anular
- ☒ Printer has SD card
- Añadir tiempo de Impresión: 8 [%]
- Invert Direction in Controls for: ☐ X-Axis ☐ Y-Axis ☐ Z-Axis ☐ Flip X and Y

Figura 47: Configuració Marlin

En la següent figura es determinen els paràmetres de configuració del extrusor.

The screenshot shows the 'Impresora Ajustes' window with the 'Extrusor' tab selected. The 'Impresora' dropdown is set to 'default'. The following parameters are configured:

- Numero de Extrusores: 1
- Number of Fans: 1
- Max. Extruder Temperature: 280
- Max. Bed Temperature: 120
- Max. Volume per second: 12 [mm³/s]
- ☐ Printer has a Mixing Extruder (one nozzle for all colors)
- Extrusor 1:
 - Name: (empty)
 - Diameter: 2.85 [mm]
 - Temperature Offset: 0 [°C]
 - Color: (blue)
 - Offset X: 0
 - Offset Y: 0 [mm]

Figura 48: Paràmetres extrusor

Per finalitzar la configuració de la impressora, en l'última pestanya s'ajusten les dimensions de la zona d'impressió virtual, que vénen donades per les dimensions reals de la zona de fabricació.

Impresora Ajustes

Impresora: default

Conexion | Impresora | Extrusor | **Dimensiones Impres** | Scripts | Avanzado

Printer Type: Impresora cartesiana

Reposo X: 0 Reposo Y: 0 Reposo Z: 0

X Min: 0 X Max: 200 Coord. X Plat: 0

Y Min: 0 Y Max: 200 Coord. Y Plat: 0

Anchura area de impresión: 200 mm

Profundidad area de impr.: 200 mm

Altura area de impresión: 100 mm

Los valores mínimo y máximo definen el rango de cordenadas del extrusor. Estas coordenadas pueden ser negativas y salir de la plataforma. Coord X/Y de la plataforma define las coordenadas donde la plataforma comienza. Cambiando los valores min/max puedes mover el origen en el centro de la plataforma si el firmware lo soporta.

Diagrama:

Y Max

Y Min 0

X Min 0 X Max

A: Coord. X Plat

B: Coord. Y Plat

C: Anchura area de impresión

D: Profundidad area de impr.

E: Print bed

Figura 49: Configuració impressora

Finalitzada la configuració de la impressora, el següent pas és la introducció de la peça a fabricar a dins de l'espai de treball del Repetier Host. Com s'ha dit anteriorment, les peces importades a l'espai de treball han d'estar amb l'extensió .STL.

A la fabricació de cada peça se li assignen uns paràmetres, que vénen determinats a partir de la finalitat que té aquesta. Els paràmetres s'ajusten a partir del Slic3r, on aquest disposa de tres pestanyes per ajustar tot el necessari.

Les tres pestanyes de configuració que proporciona el Slic3r són les que es veuen en la següent figura. Nosaltres només configurarem les dos primeres, la impressió i el filament.

En la pestanya actual **Layers and perimeters** està tot relacionat amb la configuració de les capes i perímetres, on a continuació s'explica cada apartat.

- Layer height: defineix l'altura que tindran les capes de la peça.
- First layer height: defineix l'altura de la primera capa. Normalment es posa el mateix que la resta de capes, tot i que en algun cas pot ser menor per tenir una major adherència de la peça a la zona d'impressió.
- Perimeters: és el número de perímetres mínims que es volen per construir la peça.
- Solid layers: s'indiquen quantes capes es vol que tingui la peça, tant a la part inferior com superior.

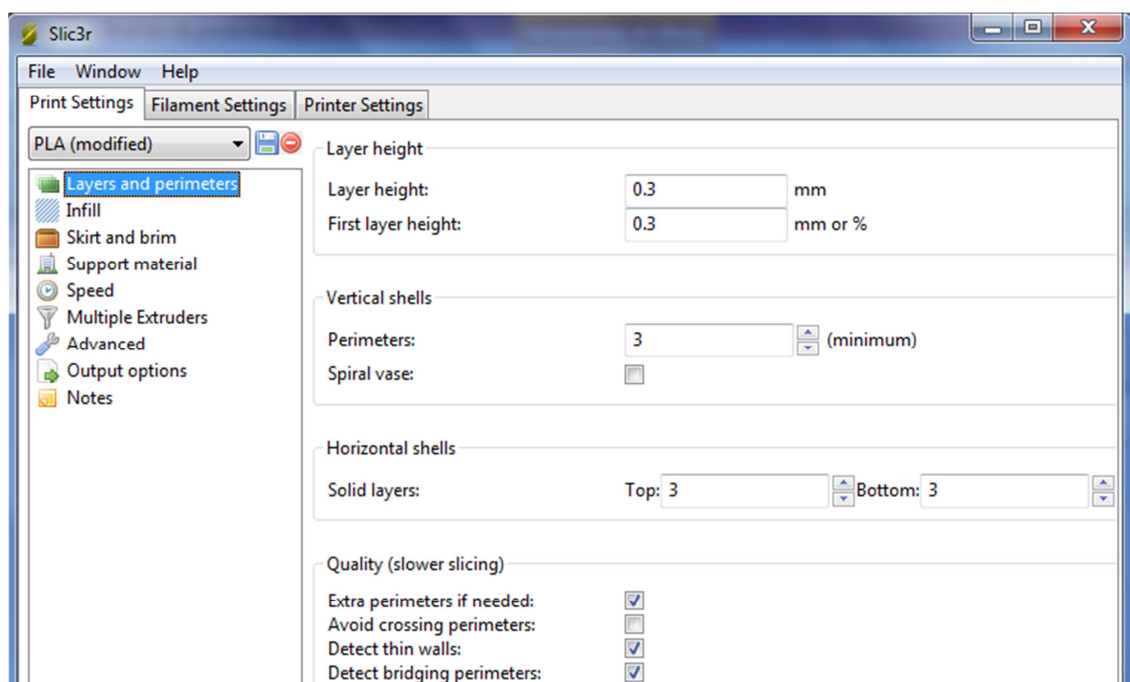


Figura 50: Configuració de capes i perímetres

En la pestanya de **Infill** es determina la solidesa de la peça a partir dels paràmetres descrits.

- Fill density: es defineix el tan per cent de solidesa. D'aquesta manera una peça al 0% estarà buida a l'interior i una al 100% serà completament massissa.
- Fill pattern: s'escull el patró amb la qual es disposarà el material de relleno en totes les capes menys en la superior i inferior. El patró en què es disposarà pot ser rectilini, en panell d'abella, concèntric... amb la finalitat de poder adaptar el relleno a la geometria de la peça.
- Top/bottom fill pattern: defineix el patró en què es depositarà el material en les capes superior i inferiors.
- Combine infill every: amb aquest paràmetre es configura cada quantes capes es vol que es faci relleno, per exemple si es configura amb un 3, es posarà una capa de relleno per cada tres capes.
- Solid infill every: es pot definir cada quantes capes de relleno es vol una capa sòlida.
- Fill angle: determina la inclinació en què es disposa el material de relleno.
- Solid infill threshold area: defineix la dimensió mínim d'àrea que s'ha d'emplenar amb material de relleno sòlid, amb la finalitat d'assegurar la resistència mecànica de la peça.

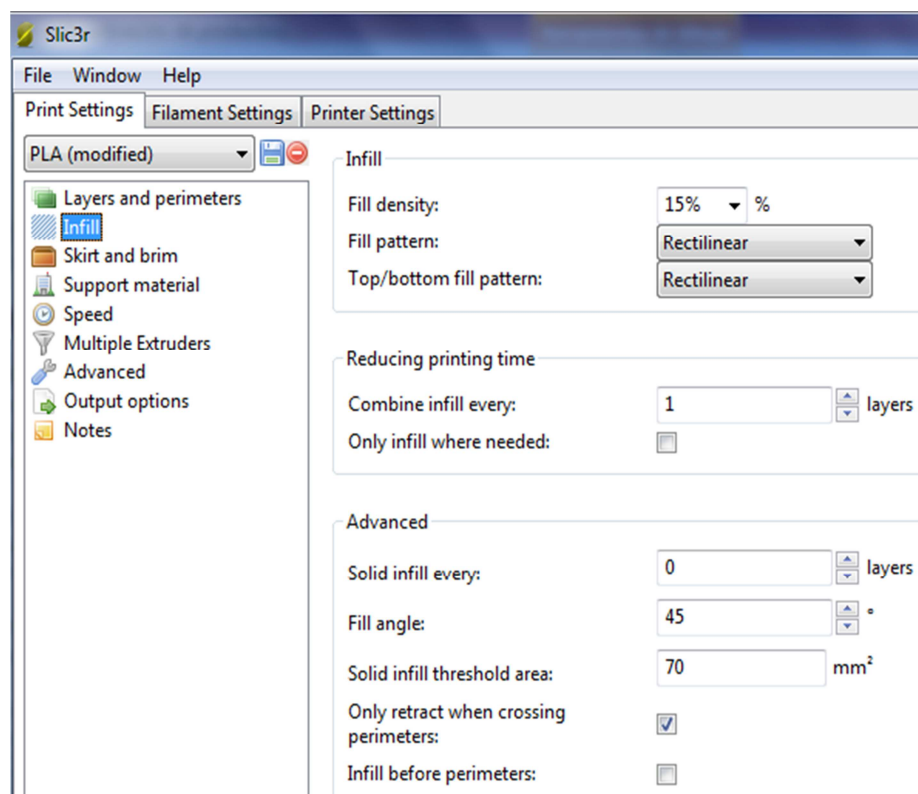


Figura 51: Configuració del material de relleno

En la pestanya de **Skirt and brim** es troben uns paràmetres extres per definir la zona d'impressió i purgar l'embocadura de l'extrusor.

- Loops: defineix el número de perímetres externs extra que es volen fer per ubicar l'espai que ocuparà la peça i purgar l'embocadura.
- Distance from object: defineix la distància des de la peça a la qual es faran els perímetres externs extres.
- Skirt height: defineix durant quantes capes s'estarà fent perímetres extres externs.

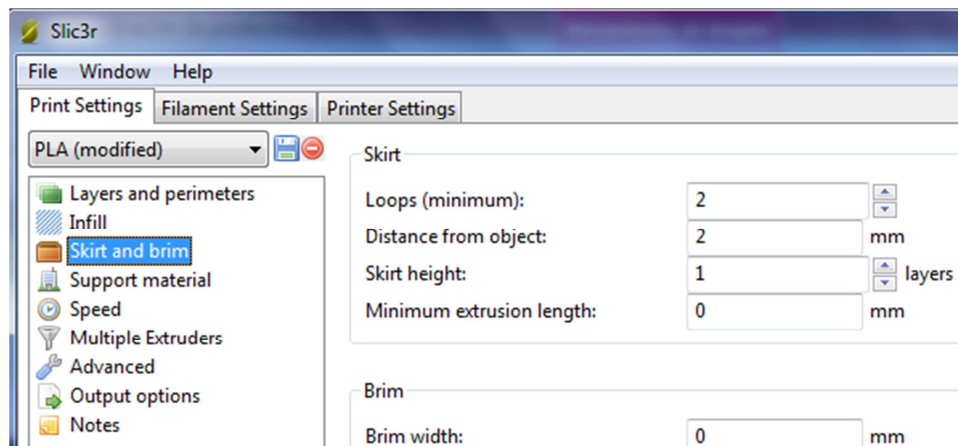


Figura 52: Configuració perímetres extra externs

En la pestanya de **Support material** es troben uns paràmetres que defineixen el material de suport que s'aplica en el moment que el material necessita suport per generar la següent capa.

- Pattern: s'escull el tipus d'estructura del material de suport. La construcció per pilars és la més utilitzada i fàcil de retirar. Per a peces grans on hi ha grans ponts o voladissos es recomana l'estructura de panell d'abella.
- Pattern spacing: defineix la distància entre les línies de l'estructura de suport.
- Pattern angle: permet controlar l'angle en què es diposita el material de suport.
- Interface layers: defineix com es fa la unió entre el material de suport i la peça, és a dir, el número de capes de la peça que estan implicades amb el material de suport. Per a peces amb un bon acabat superficial, es recomana un menor número de capes, ja que és més fàcil d'enretirar.

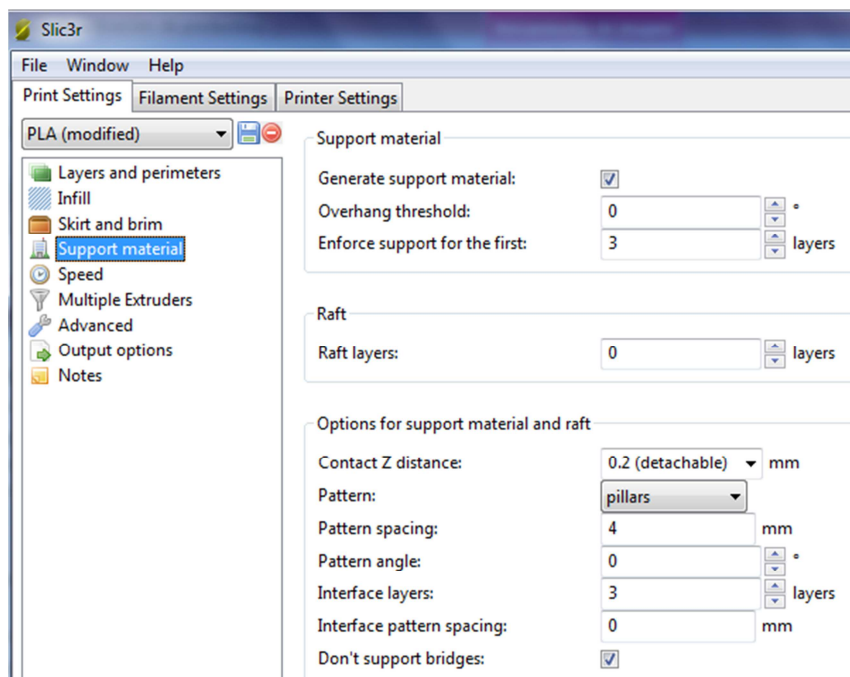
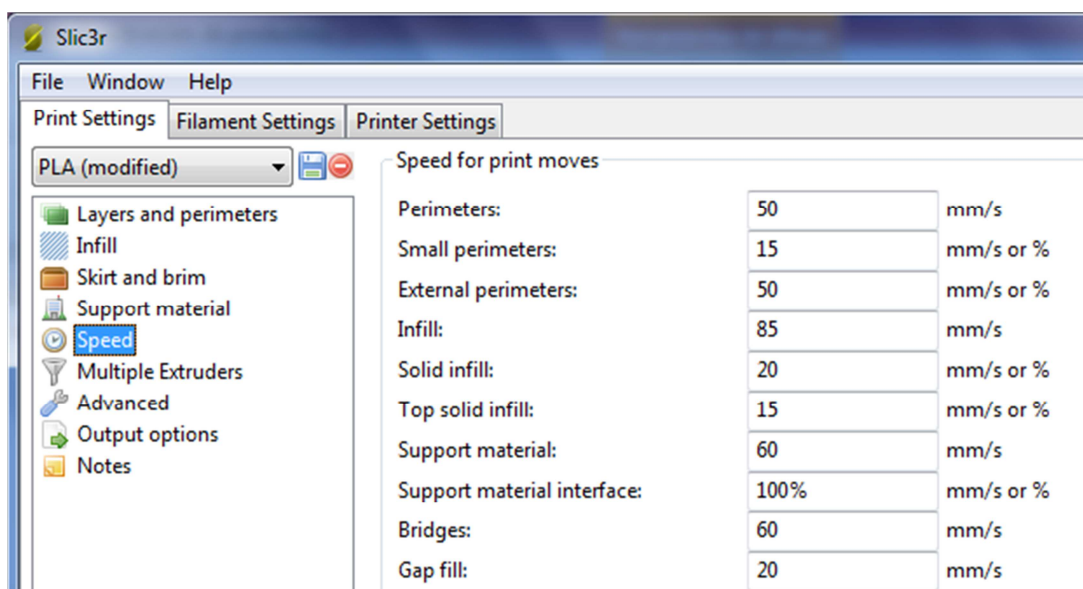


Figura 53: Configuració del material de suport

En la pestanya de **Speed material** es poden acabar d'ajustar les velocitats de cada un de les accions que es troben en les pestanyes anteriorment mencionades.



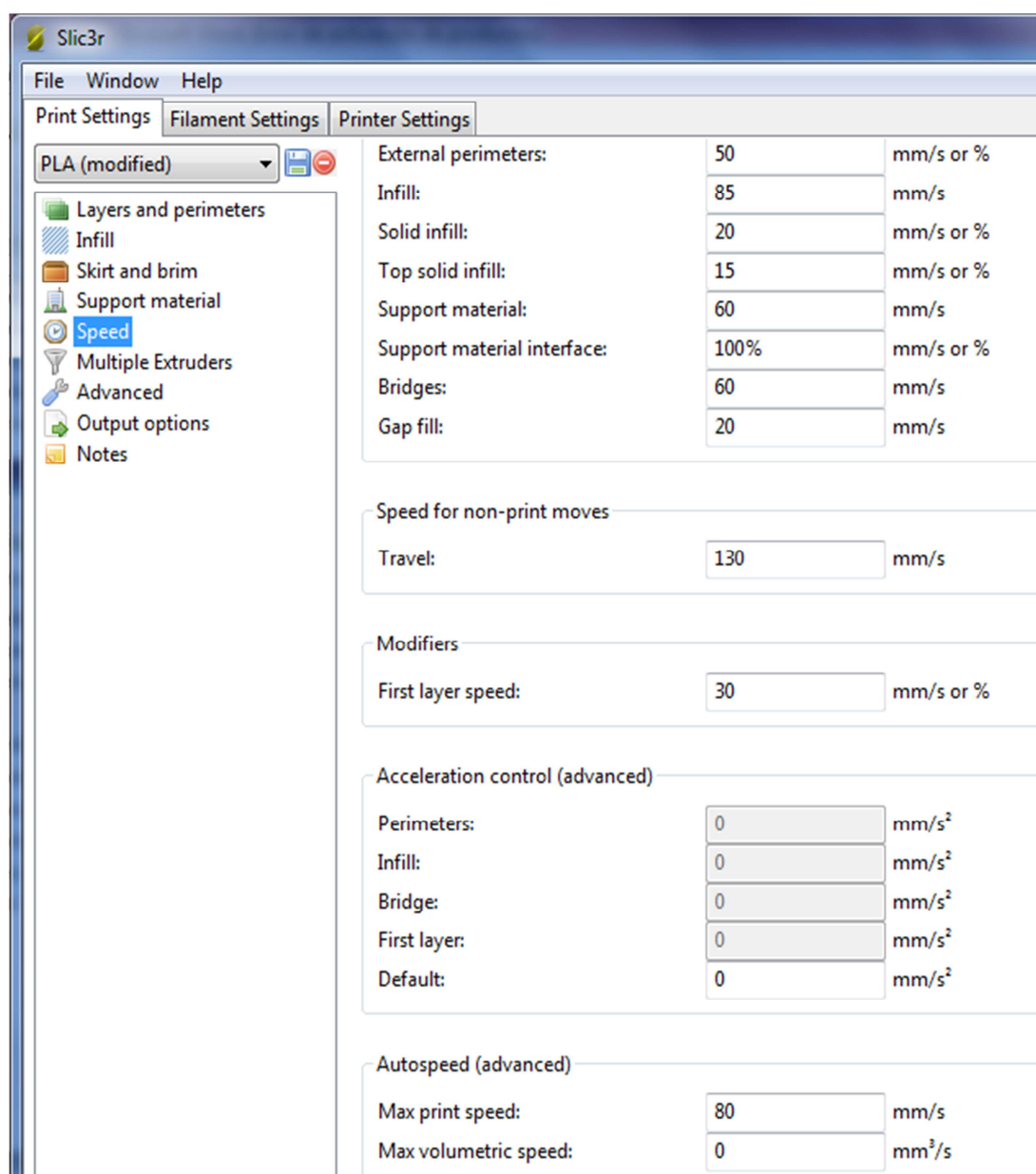


Figura 54: Configuració de velocitats

En la pestanya **Advanced** de la següent figura es realitza una configuració avançada de la pestanya First layer. Permet augmentar l'amplada del filament de material en tant per cent respecte a l'amplada normal durant la primera capa. Aquest fet ajuda molt a millorar l'adherència en la zona d'impressió.

En la configuració Advanced hi ha opcions molt noves i encara no estan molt experimentades.

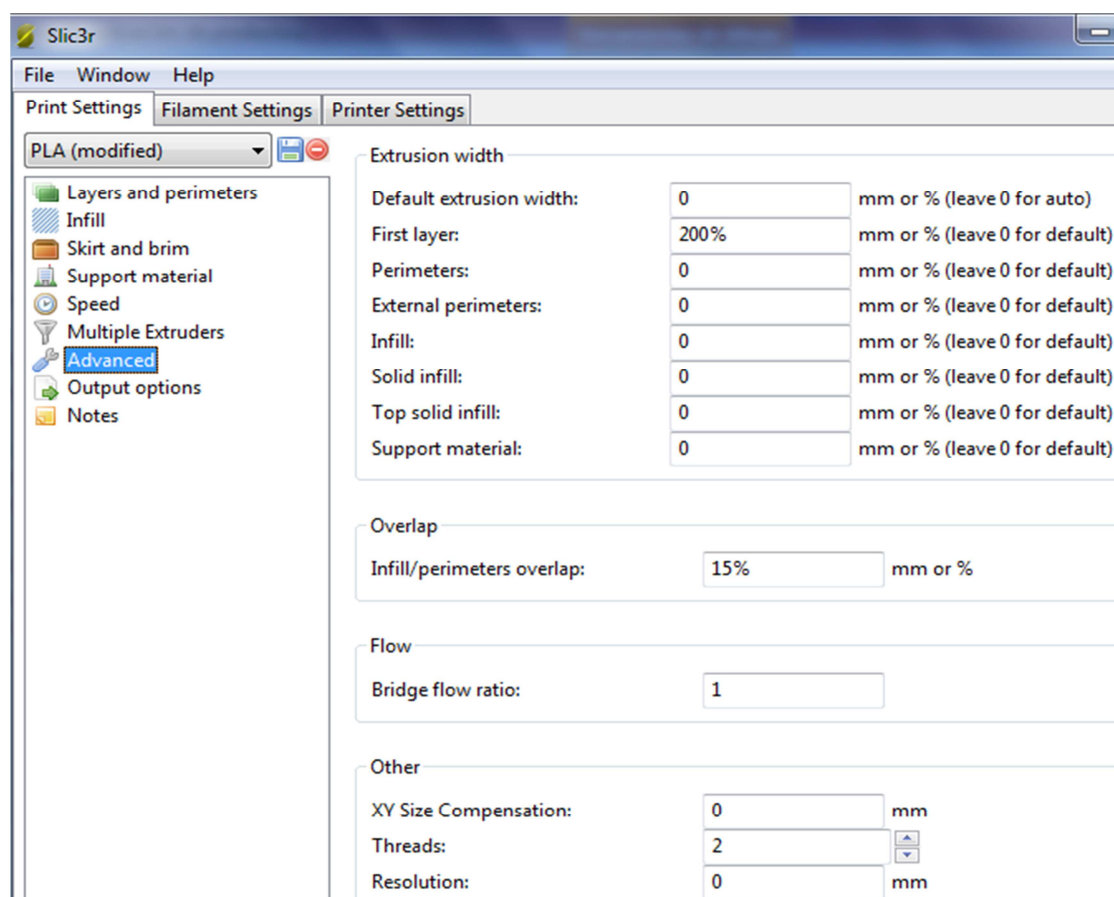


Figura 55: Configuració d'opcions avançades

En la segona pestanya de la configuració global que permet Slic3r es configura el filament amb què es fabriquen les peces i la velocitat a la qual funcionen els ventiladors per refrigerar el motor de l'extrusor.

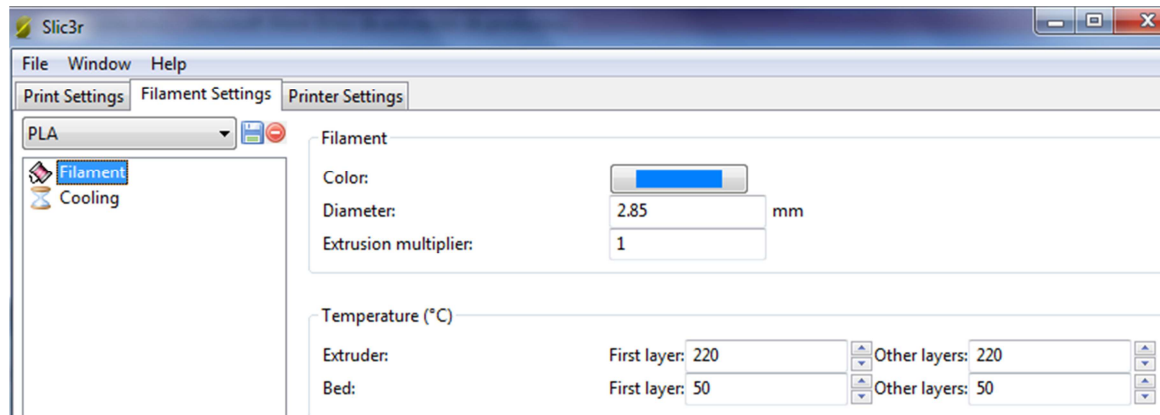


Figura 56: Configuració filament

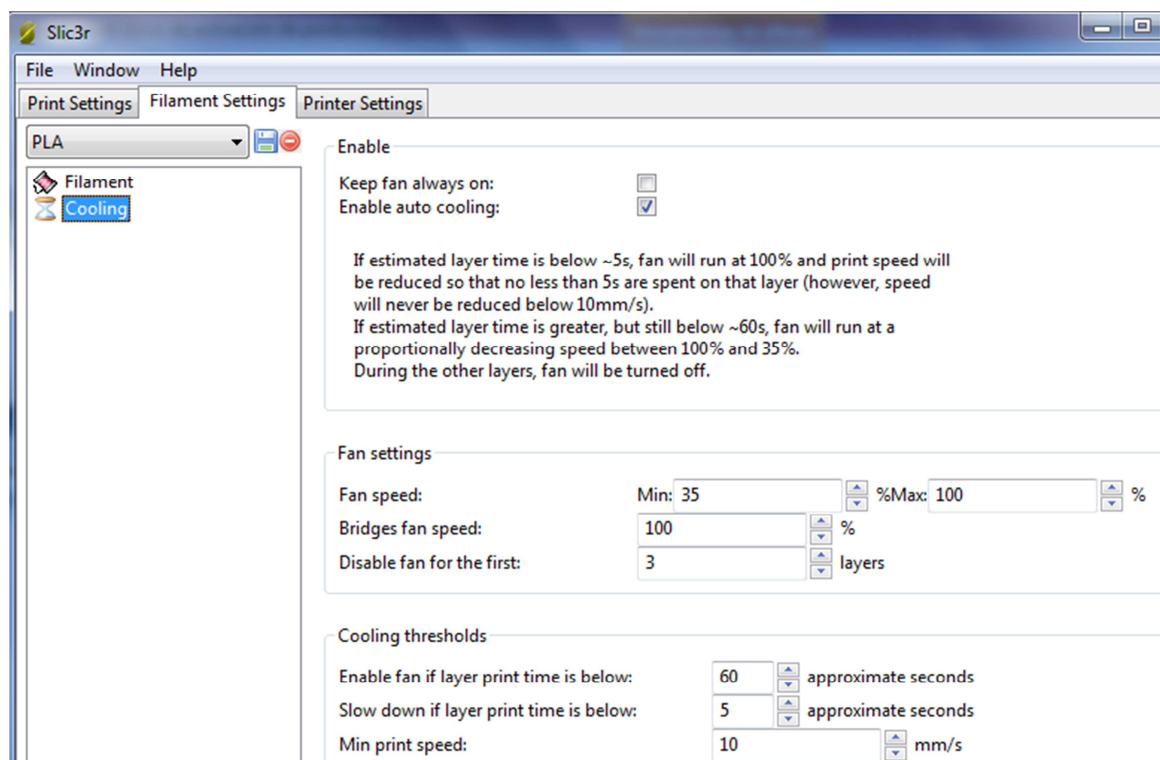


Figura 56: Configuració ventiladors

ANNEX E: CONFIGURACIÓ SISTEMA OPERATIU I CODI G PER LA FABRICACIÓ DE LES PRIMERES SÈRIES DE TUBS

E.1 Introducció

En aquest annex es detallen els paràmetres que s'han d'ajustar al sistema operatiu Arduino MEGA2560. També es detalla el codi de fabricació dels tubs amb una breu explicació de les accions que fa la màquina al llegir el codi.

E.2 Configuració del sistema operatiu

En aquest cas el sistema operatiu s'adapta a les necessitats que requereix el present projecte, així que en la taula següent es recullen els dispositius que s'han d'ajustar del codi C++.

Configurar		
Element	SI	NO
Pantalla LCD	x	
Motors eix Z	x	
Motor eix X	x	
Motor eix Y		x
Final de cursa eix Z	x	
Final de cursa eix X	x	
Final de cursa eix Y		x
Extrusor		x
Sensor tèrmic extrusor		x
Llit tèrmic		x
Sensor tèrmic ambient	x	

El codi de configuració disposa de diverses pestanyes, però es centrarà només en la de **configuration.h**.

Comunicació

```
// This determines the communication speed of the printer
#define BAUDRATE 250000
///// The following define selects which electronics board you have. Please choose
the one that matches your setup
// 33 = RAMPS 1.3 / 1.4
#ifndef MOTHERBOARD
#define MOTHERBOARD 33
#endif
```

Control de temperatura

```

//--NORMAL IS 4.7kohm PULLUP!-- 1kohm pullup can be used on hotend sensor, using
correct resistor and table
// 1 is 100k thermistor - best choice for EPCOS 100k (4.7k pullup)
#define TEMP_SENSOR_0 1
// This makes temp sensor 1 a redundant sensor for sensor 0. If the temperatures
difference between these sensors is too high the print will be aborted.
//#define TEMP_SENSOR_1_AS_REDUNDANT
#define MAX_REDUNDANT_TEMP_SENSOR_DIFF 3
// The minimal temperature defines the temperature below which the heater will not
be enabled It is used
// to check that the wiring to the thermistor is not broken.
// Otherwise this would lead to the heater being powered on all the time.
#define HEATER_0_MINTEMP 20
// When temperature exceeds max temp, your heater will be switched off.
// This feature exists to protect your hotend from overheating accidentally, but
*NOT* from thermistor short/failure!
// You should use MINTEMP for thermistor short/failure protection.
#define HEATER_0_MAXTEMP 25

```

Paràmetres mecànics

```

/// coarse Endstop Settings
#define ENDSTOPPULLUPS // Comment this out (using // at the start of the line) to
disable the endstop pullup resistors
#ifndef ENDSTOPPULLUPS
    // fine Enstop settings: Individual Pullups. will be ignored if ENDSTOPPULLUPS is
defined
    //#define ENDSTOPPULLUP_XMAX
    #define ENDSTOPPULLUP_YMAX
    #define ENDSTOPPULLUP_ZMAX
    #define ENDSTOPPULLUP_XMIN
    // #define ENDSTOPPULLUP_YMIN
    //#define ENDSTOPPULLUP_ZMIN
#endif
#ifdef ENDSTOPPULLUPS
    #define ENDSTOPPULLUP_XMAX
    #define ENDSTOPPULLUP_YMAX
    #define ENDSTOPPULLUP_ZMAX
    #define ENDSTOPPULLUP_XMIN

```

```

#define ENDSTOPPULLUP_YMIN
#define ENDSTOPPULLUP_ZMIN
#endif

// The pullups are needed if you directly connect a mechanical endswitch between
the signal and ground pins.

const bool X_ENDSTOPS_INVERTING = true; // set to true to invert the logic of the
endstops.

const bool Y_ENDSTOPS_INVERTING = true; // set to true to invert the logic of the
endstops.

const bool Z_ENDSTOPS_INVERTING = true; // set to true to invert the logic of the
endstops.

// #define DISABLE_MAX_ENDSTOPS
// #define DISABLE_MIN_ENDSTOPS
// ENDSTOP SETTINGS:
// Sets direction of endstops when homing; 1=MAX, -1=MIN
#define X_HOME_DIR 1
#define Y_HOME_DIR -1
#define Z_HOME_DIR 1
#define min_software_endstops true // If true, axis won't move to coordinates less
than HOME_POS.
#define max_software_endstops true // If true, axis won't move to coordinates
greater than the defined lengths below.
// Travel limits after homing
// Changes Rapdutch v.23
// #define X_MAX_POS 242.5
#define X_MAX_POS 60
#define X_MIN_POS 0
// #define Y_MAX_POS 0
#define Y_MAX_POS 0
#define Y_MIN_POS 0
#define Z_MAX_POS 100
#define Z_MIN_POS 0
#define X_MAX_LENGTH (X_MAX_POS - X_MIN_POS)
#define Y_MAX_LENGTH (Y_MAX_POS - Y_MIN_POS)
#define Z_MAX_LENGTH (Z_MAX_POS - Z_MIN_POS)

//// MOVEMENT SETTINGS
#define NUM_AXIS 4 // The axis order in all axis related arrays is X, Y, Z, E
#define HOMING_FEEDRATE {50*60, 50*60, 4*60, 0} // set the homing speeds (mm/min)

```

```
// default settings

#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT      {4266.6666667,80.43,2133.3333,458.3}    //
default steps per unit for Ultimaker

#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE              {250, 250, 3.5, 25}           // (mm/sec)
#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION          {1500,1500,100,100}          // X, Y, Z, E maximum
start speed for accelerated moves. E default values are good for skeinforge 40+,
for older versions raise them a lot.

#define DEFAULT_ACCELERATION              1500           // X, Y, Z and E max acceleration in
mm/s^2 for printing moves
#define DEFAULT_RETRACT_ACCELERATION      2000           // X, Y, Z and E max acceleration in
mm/s^2 for retracts
```

Paràmetres addicionals

```
///LCD and SD suport
// The GADGETS3D G3D LCD/SD Controller (blue PCB)
// http://reprap.org/wiki/RAMPS\_1.3/1.4\_GADGETS3D\_Shield\_with\_Panel
#define G3D_PANEL
```

Finalitzada la configuració del sistema operatiu amb tots els paràmetres dels diferents elements que intervenen en el projecte, es pot procedir a generar el codi de fabricació.

E.3 Descripció del codi G

Per a l'automatització de la fabricació dels tubs, es genera un codi en llenguatge G, on aquest és específic pel sistema operatiu. Per a la correcta interpretació del codi, aquest s'escriu en l'espai de treball que proporciona el programa Repetier Host, com es pot observar en la següent figura.

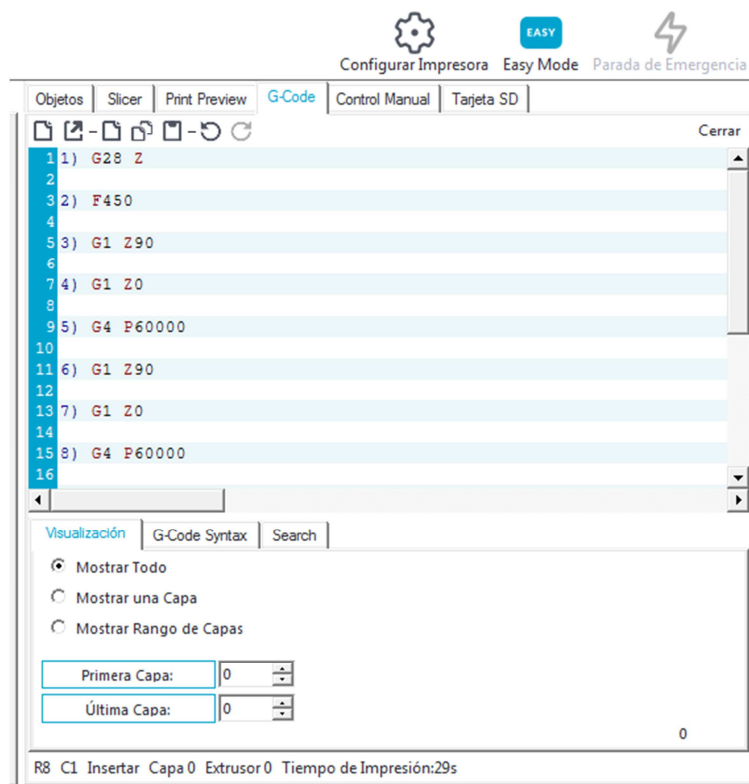


Figura...:Espai de treball per introduir el codi G

Prèviament a la lectura del codi, com s'ha comentat a la configuració del sistema operatiu, es defineixen els límits màxims que poden desplaçar els mecanismes. La lectura de la cota màxima s'introdueix mitjançant el final de cursa de cada mecanisme. A l'estar connectat al mateix sistema operatiu aquesta dada ja queda enregistrada i es denomina com a zero.

Línia 1 → G28 Z

// A l'entrar aquesta ordre de codi, el sistema operatiu ho reconeix com fer un "autohome". On consisteix en situar-se a la cota màxima assignada al pas previ, on s'ha definit com el zero. Una vegada allà, es paren els motors.

Línia 2 → F450

// Engenga els motors de l'eix Z, posant-los a velocitat de 450 pps.

- Línia 3 → G1 Z90** // Dóna ordre de baixar el sistema porta provetes a velocitat constant fins la cota de 90 mil·límetres respecte al zero inicial.
- Línia 4 → G1 Z0** // Dóna ordre d'anar a la cota zero, que és el punt inicial de partida.
- Línia 5 → G4 P60000** // És la combinació de dos ordres, on la lletra "G" és l'ordre de pausa, i la P, és on s'assigna el valor de temps en mil·lisegons (1min = 60000 mil·lisegons) El temps de pausa s'aplica en la última línia d'ordre assignada.
- Línia 6 → G1 Z90** // Dóna ordre de baixar el sistema porta provetes a velocitat constant fins la cota de 90 mil·límetres respecte al zero.
- // Repetir el codi 40 vegades des de la línia 4 fins la 6, per finalitzar el cicle de fabricació del tub.
- Línia 7 → M84** // Deixa de donar corrent als motors, així evita que s'escalfin excessivament
- ///// Codi amb desplaçament horitzontal
- Línia 1 → G28 Z** // A l'entrar aquesta ordre de codi, el sistema operatiu ho reconeix com fer un "autohome". On consisteix en situar-se a la cota màxima assignada al pas previ, on s'ha definit com el zero. Una vegada allà, es paren els motors.
- Línia 2 → F450** // Engega el motor del eix X, posant-lo a velocitat de 450pps.
- Línia 3 → G1 X0** // Dóna ordre de desplaçar el carro fins la cota de 0 mil·límetres respecte al zero inicial.
- Línia 4 → G4 P2700000** // És la combinació de dos ordres, on la lletra "G" és l'ordre de pausa, i la P, és on s'assigna el valor de temps en mil·lisegons (45min = 2.700.000 mil·lisegons) El temps que dura el procés de recobriment per immersió en una dissolució. El temps de pausa s'aplica en l'última línia d'ordre assignada.
- Línia 5 → G1 Z120** // Dóna ordre de desplaçar el carro a velocitat constant fins la cota de 120 mil·límetres respecte al zero inicial.

- Línia 6 → G4 P2700000** // Està en pausa i espera (45min = 2.700.000 mil·lisegons). El temps que dura el procés de recobriment per immersió en una segona dissolució. El temps de pausa s'aplica en l'última línia d'ordre assignada.
- Línia 7 → G1 Z0** // Dóna ordre de desplaçar el carro fins la cota de 0 mil·límetres respecte al zero inicial.
- Línia 8 → M84** // Deixa de donar corrent als motors, així evita que s'escalfin excessivament.

ANNEX F: SEGURATAT DE LA MÀQUINA, MANUAL D'USUARI I MANTENIMENT

F.1 Objecte de l'estudi

La finalitat de l'estudi del present annex és no mantenir la màquina en bon estat i que els usuaris no es puguin malmetre fent alguna acció inadequada.

F.2 Seguretat de la màquina

En aquest apartat s'exposen els elements de seguretat o bé que poden minimitzar els danys als usuaris o gent de l'entorn.

1. Disposa d'una font d'alimentació que transforma els 220v domèstics en un corrent més adequada de 12v per minimitzar el risc d'electrocució.
2. Panells de metacrilat transparent que permeten veure el que succeeix a dins la màquina, evitant la necessitat d'obrir la porta i malmetre el producte. Al mateix temps d'evitar que es pugui accedir als mecanismes amb facilitat i evitar la propagació del soroll.
3. Disposa d'un panell de control amb el qual es pot parar i accionar la màquina.
4. La màquina ha d'estar situada en una zona completament plana i lliure d'elements que la pugui colpejar.

F.3 Manual d'usuari

Una vegada la màquina està muntada i preparada per funcionar segons el que s'ha descrit en l'apartat número 3 i 4 de la memòria, s'han de seguir les últimes recomanacions que hi ha a continuació.

1. La màquina ha de situar-se en una zona en la qual no li toqui la llum solar directament durant el procés de fabricació.
2. Assegurar-se que la màquina està completament plana en la zona de treball.
3. No utilitzar l'estructura per a donar suport a altres elements.
4. Mantenir la dissolució en una zona fresca i sense llum solar durant les 24 hores d'homogeneïtzació.
5. No parar la màquina durant el procés de fabricació i tornar-la a engegar des del punt que s'havia deixat de la fabricació. Es recomana començar novament el procés.
6. Es recomana no moure la màquina de lloc una vegada iniciat el procés de fabricació dels tubs.

7. En el moment d'interaccionar amb el sistema operatiu de la màquina mitjançant un ordinador, és necessari que la màquina estigui completament parada.
8. Només treballar amb els elements esmentats en el present projecte.
9. La màquina sempre treballarà amb la porta tancada.
10. Finalitzada la fabricació dels tubs, no enretirar els recipients de les dissolucions, esperar un temps fins que s'hagi drenat tot el material sobrant.
11. Finalitzat el drenatge, es podran enretirar els recipients i apagar la màquina.

F.4 Manteniment

El disseny de la màquina va estar pensat per tenir un baix manteniment dels elements, tot i que s'hauran de comprovar els següents elements:

1. Connexions elèctriques.
2. Comprovació de què no s'hagin descollat els cargols dels acobladors a causa del funcionament.

ANNEX G: FITXES TÈCNIQUES

G.1 Perfil estructural d'alumini 20x20

Perfil 5 20x20, natural

N.º ref: 0.0.370.03

 En la cesta de la compra


Características particulares:



Propiedades		
Serie	=	BR5
Material	=	Al, anodizado
Características	=	natural
Unidad de suministro	=	corte máx. 6000 mm
Sección transversal	A	= 1.8 cm ²
Momento de inercia, eje x	I _x	= 0.72 cm ⁴
Momento de inercia, eje y	I _y	= 0.72 cm ⁴
Momento de inercia, torsional	I _t	= 0.07 cm ⁴
Momento resistente, eje x	W _x	= 0.72 cm ³
Momento resistente, eje y	W _y	= 0.72 cm ³
Peso, espec. Longitud	m	= 0.48 kg/m

G.2 Kit esquadra 20x20

Kit esquadra 5 20x20

N.º ref: 0.0.425.02

 En la cesta de la compra


Escuadra 5 20x20 Zn
 Tapeta esquadra 5 20x20
 2 Tornillos Allen DIN 6912-M5x8, St, zinc.
 2 Tuercas 5 St M5, zinc.

Propiedades		
Serie	=	BR5
Unidad de suministro	=	1 kit
Peso	m	= 23 g

 Comparar

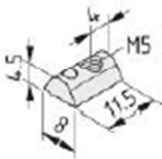
 Datos CAD

 Recomendar

G.3 Femella perfil estructural

Tuerca 5 St M5, zincado
N.º ref. 0.0.370.01

En la cesta de la compra



Propiedades			
Serie	=	BR5	
Material	=	St	
Características	=	zincado	
Unidad de suministro	=	1 pza.	
Rosca	=	M5	
Fuerza máx.	F _{max.}	=	500 N
Par	M	=	4.5 Nm
Peso	m	=	2 g

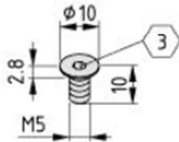
G.4 Cargols de fixació

item @ sinerges

Sistemas de c

Tornillo Allen avellanado DIN 7991 M5x10, zincado

N.º ref. 0.0.000.48



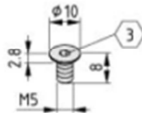
Características particulares:
resistencia 10.9



Propiedades			
Material	=	St	
Características	=	zincado	
Unidad de suministro	=	1 pza.	
Peso	m	=	1.85 g

Tornillo Allen avellanado DIN 7991 M5x8, zincado

N.º ref. 0.0.600.88



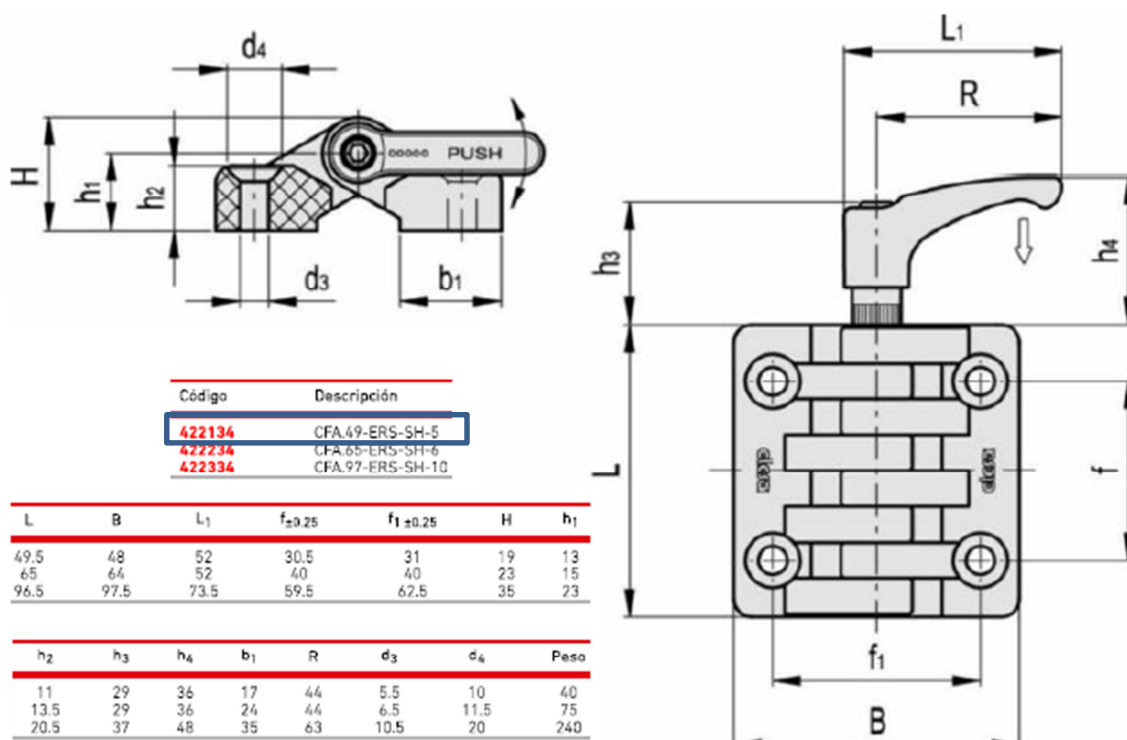
Clase
de

Características particulares:
resistencia 10.9



Propiedades			
Material	=	St	
Características	=	zincado	
Unidad de suministro	=	1 pza.	
Peso	m	=	1.6 g

G.5 Xarnera amb tope de fricció



G.6 Metacrilat translúcid

Mecánicas

Alargamiento a rotura	Entre 2,5 - 5%
Dureza Rockwell	En escala M: 92
Módulo de tracción	2400 - 3300 N/mm ²
Resistencia a impacto Izod	Entre 16 y 32 J*m ⁻¹

Térmicas

Coefficiente expansión térmica lineal	Entre 70*10 ⁻⁶ y 77*10 ⁻⁶ K ⁻¹
Temperatura de trabajo	Desde -40°C a 50-90°C dependiendo de si el trabajo es continuo o no.

Físicas

Densidad	1,2 gcm ⁻³
Absorción de agua	< 0,2 %
Resistencia UV	Excelente. No amarillea ni se fisura.

Químicas

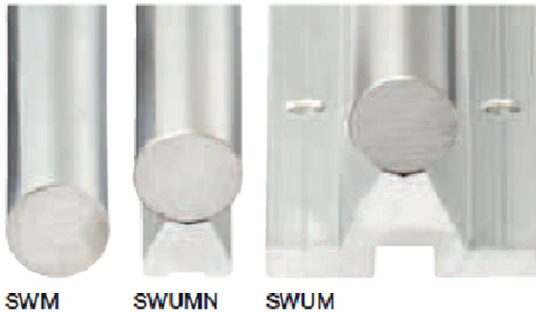
Resistencia a compuestos químicos:	
Ácidos minerales/orgánicos	Resistente
Ácido acético	No resistente
Ácido sulfúrico bicromático	No resistente
Acetato de etilo	No resistente
Aguarrás/alcohol	Medianamente resistente
Benzol/butanol/cetonas	No resistente
Cloruros	Resistente
Detergentes	Medianamente resistente
Ésteres	Medianamente resistente
Etanol	No resistente
Gasolina / Glicerina	Resistente
Halógenos	No resistente
Hidrocarburos alifáticos	Resistente
Hidrocarburos aromáticos	No resistente
Lubricantes/aceites (vegetales o minerales)	Resistente
Siliconas	Medianamente resistente
Metanol	No resistente

G.7 Eix Ilis



drylin® shafts | Product range

Standard steel shafts



Igus® recommendation: linear bearings equipped with Iglidur® E7 liners for 8 times longer service life

- Completely supported and mounted with standard aluminum support
- Available shaft materials:
 - ▶ Cf53 steel (1.1213), hardened/ground
 - ▶ Cf53 steel (1.1213 HV), hard-chromed

Dimensions [mm] – steel shafts 1.1213

Part No.	d	Weight [kg/m]	Max. length	Effective hardness depth (with 1.1213)
SWM-06	06	0.222	3,000	0.8
SWM-08	08	0.359	4,000	0.9
SWM-10	10	0.617	4,000	0.9



Order key

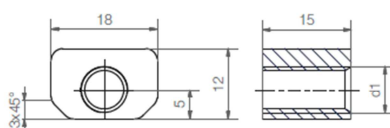
Type	Size	Options
S W M - 06 - 2000		
Steel shaft	Metric	Outer Ø
Shaft length [mm]		

For supported shafts:

- ▶ Partial shaft support supplied in lengths of 600 mm max.
- ▶ Standard pitch T2, T1 also possible on request
- ▶ Hole pitches symmetrical C5 = C6

G.8 Femella rosca trapezoïdal

Lead screw nuts



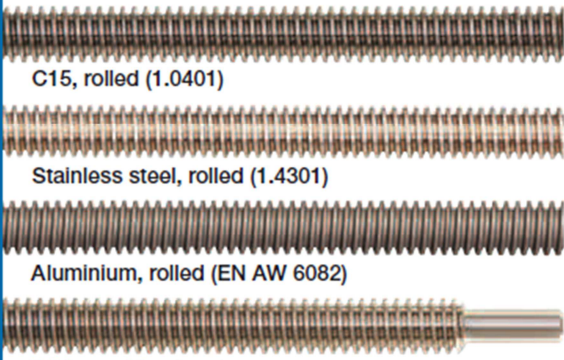
Dimensions

Part No.	Thread d1xP	Hand of rotation	from SLW linear module
SWZ-063001	M08x1	right	SLW-0630 ▶ p. 1196
SWZ-063003	M08x1	left	SLW-0630 ▶ p. 1196
SWZ-063009	Tr08x1,5	right	SLW-0630 ▶ p. 1196
SWZ-063010	Tr08x1,5	left	SLW-0630 ▶ p. 1196
SWZ-063007	Sg08x10	right	SLW-0630 ▶ p. 1196
SWZ-063008	Sg08x10	left	SLW-0630 ▶ p. 1196
SWZ-063004	Sg08x10	right	SLW-0630 ▶ p. 1196

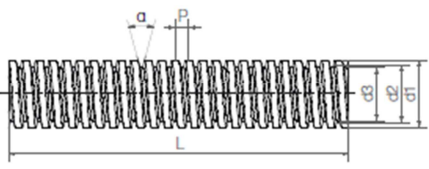
G.9 Eix rosca trapezoidal de M8x1.5 mm

drylin®
trapezoidal
thread

drylin® TR | Lead screws | Product range
Single start lead screws



C15, rolled (1.0401)
Stainless steel, rolled (1.4301)
Aluminium, rolled (EN AW 6082)
With machined end

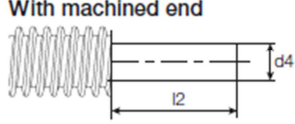


Technical data

Helix deviation	0.1 mm to 300 mm
Straightness (standard)	0.3 mm to 300 mm
Aligned	<0.1 mm to 300 mm
Tolerance (according to DIN 103)	7e

The tensile/compressive strength of the EN AW 6082 lead screw material is 160 MPa per mm² (elongation limit 0.2 mm).

With machined end



Technical data

Thread	Dir. of rotation		Material			Pitch P [mm]	Pitch- Angle α [°]	Weight		
	right	left	C15	Stainless steel 1.4301	Aluminium EN AW 6082			C15 [kg/m]	Stainless steel [kg/m]	Aluminium [kg/m]
Tr08x1,5	●	●	●	●	—	1.5	3.42	0.39	0.40	0.14

G.10 Eix rosca fina de M8x1.5 mm

VARILLA ROSCADA DIN 975

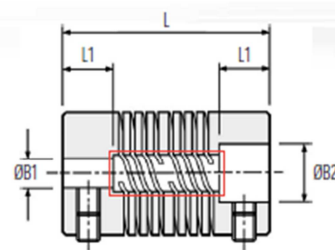
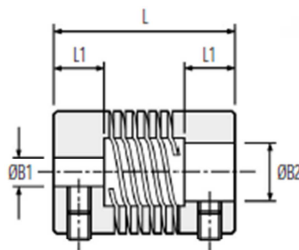


Según DIN 975

- Materiales: Acero 4,6, Acero 8,8, Latón (MS 58)
Acero especial A2, Acero especial A4
- Tratamiento: Brillante
Superficial Galvanizado
- Permiten cortar cualquier longitud.
- Ocupan menos espacio en el almacén.

Material	Acero	MS	Acero inox.	Acero inox.	Acero	Acero	Acero
Calidad	4.6	MS 58	A 2	A 4	4.6	4.6	4.6
Tratamiento superficial	Sin baño	Sin baño		Sin baño	Cincado	Cincado	Cincado
Longitud	1 m	1 m	1 m	1 m	1 m	2 m	3 m
M 3	0930 3	0931 3	-	-	0938 3	-	-
M 4	0930 4	0931 4	0934 4	0933 4	0938 4	0938 04	-
M 5	0930 5	0931 5	0934 5	0933 5	0938 5	-	-
M 6	0930 6	0931 6	0934 6	0933 6	0938 6	0938 06	-
M 8	0930 8	0931 8	0934 8	0933 8	0938 8	0938 08	0938 008

G.11 Acoblador flexible



Ref. 702 : 6-Beam Non-Relieved
Ref. 722 : 6-Beam Relieved



Typical

Multi-Beam Stainless Steel Multi-Helix Flexible Beam Couplings



6-BEAM COUPLINGS: DIMENSIONS & ORDER CODES

Coupling Type & Size	Set Screw Style	Clamp Style	ØD	L	1 L1	Bore Diameters			Set Screw	Cap Screw	2 Angular Offset Deg.	2 Parallel Offset mm	3 Peak Torque Nm	
						Min B1	Min B2	Max B1 & B2						
COUPLING REF														
Non-Relieved	09	702.09 - 703.09	- 703.09	9.5	19.6	5.3	2.0	4.0	4.76	M2.5	M1.6	3	0.12	1.5
	13	702.13 - 703.13	- 703.13	12.7	25.4	6.5	3.0	5.0	6.35	M3	M2	5	0.17	3.0
	16	702.16 - 703.16	- 703.16	15.9	25.4	6.5	3.0	6.0	8.0	M4	M2.5	5	0.2	5.0
	19	702.19 - 703.19	- 703.19	19.1	28.0	6.5	4.76	6.35	10.0	M4	M2.5	7	0.25	8.0
	25	702.25 - 703.25	- 703.25	25.4	38.1	11.0	5.0	8.0	12.7	M5	M3	7	0.38	16.0
	32	702.32 - 703.32	- 703.32	31.8	57.2	16.0	8.0	10.0	19.0 16.0	M6	M4	7	0.5	25.0
	38	702.38 - 703.38	- 703.38	38.1	66.7	18.0	8.0	12.0	22.0 19.0	M6	M5	7	0.6	36.0
	44	702.44 - 703.44	- 703.44	44.5	76.2	20.0	9.0	14.0	25.0 22.0	M6	M5	7	0.8	48.0
		702.51 -	-						28.0					

Materials & Finishes

Couplings: Stainless Steel 303 S31
Fasteners: Stainless Steel

Temperature Range

-40°C to +140°C

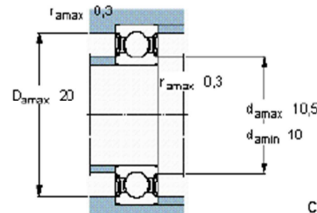
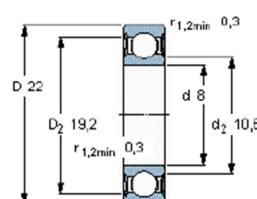
- 1 Length of supported bore.
- 2 Max. compensation values are mutually exclusive.
- 3 Peak torque. Select a size where Peak Torque exceeds the application torque x service factor. (see page 6)
- 4 6-beam couplings only. If either shaft extends beneath the beams, the area shown in blue must be relieved to provide clearance under the flexure.

G.12 Rodament de boles: Tipus 608

Deep groove ball bearings, single row, seal on both sides

SKF

Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit P_u	Speed ratings		Mass	Designation
d	D	B	dynamic	static		Reference speed	Limiting speed		
mm			C	C_0		r/min		kg	
8	22	7	3,45	1,37	0,057	-	22000	0,012	608-2RSH *



Calculation factors

k_f 0,025
 f_0 12

G.13 Rodament lineal de boles: Tipus 602**Linear Bushings: Technical Data and Ordering Information**

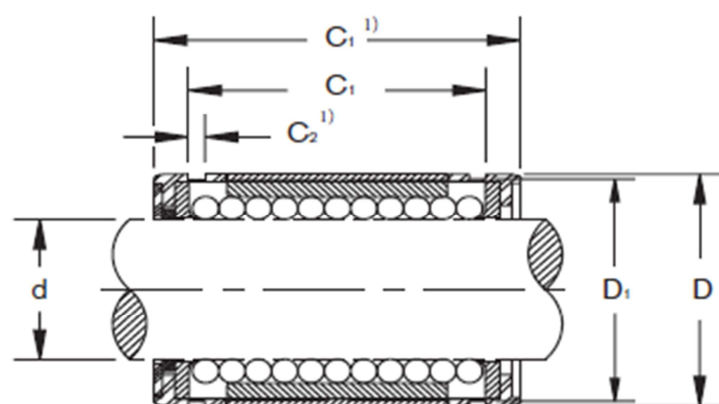
Metric Bushings: Closed

Size(mm)	STD Precision with 2 seals	SUPER A with 2 seals	COMPACT with 2 seals
5	0602-305-10	-	-
8	0602-308-10	-	-
12	0602-012-10	0670-212-40	0658-212-40
16	0602-016-10	0670-216-40	0658-216-40
20	0602-020-10	0670-220-40	0658-220-40
25	0602-025-10	0670-225-40	0658-225-40
30	0602-030-10	0670-230-40	0658-230-40
40	0602-040-10	0670-240-40	0658-240-40
50	0602-050-10	0670-250-40	0658-250-40

Linear Bushing Dimensions Closed Type

Dimensions: Metric Bushings (mm) Standard and Super Series

Bore / d	D h5	C h12	C ₁ H13	C ₂	D ₁	
					Standard	Super
5 ¹⁾	12	22	14.2	1.1	11.1	-
8 ¹⁾	16	25	16.2	1.1	14.7	-
10	19	29	21.6	1.3	-	18
12	22	32	22.6	1.3	20.5	21
16	26	36	24.6	1.3	24.9	24.9
20	32	45	31.2	1.6	30.5	30.5
25	40	58	43.7	1.85	38.5	38.5
30	47	68	51.7	1.85	44.5	44.5
40	62	80	60.3	2.15	58	58.5
50	75	100	77.3	2.65	71	71.5



G.15 Motor nema 17 SY42STH47-1684A

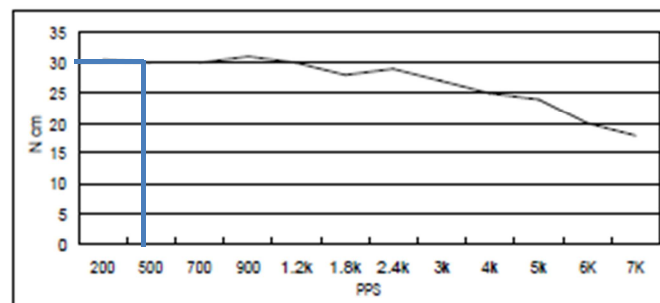
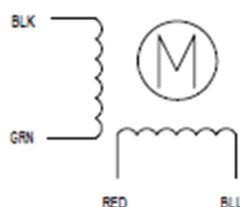
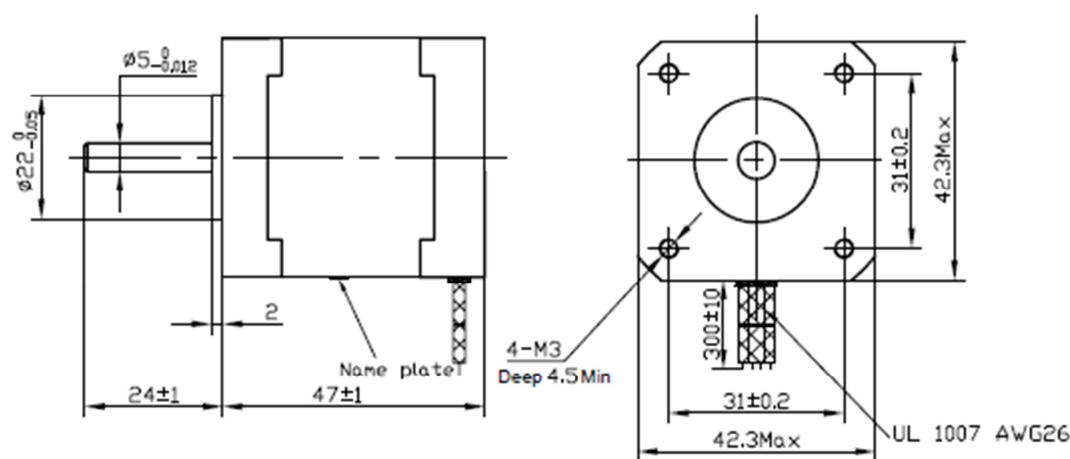
HIGH TORQUE HYBRID STEPPING MOTOR SPECIFICATIONS

General specifications		Electrical specifications	
Step Angle (°)	1.8	Rated Voltage (V)	2.8
Temperature Rise (°C)	80 Max. (rated current, 2 phase on)	Rated Current (A)	1.68
Ambient temperature (°C)	-20~+50	Resistance Per Phase ($\pm 10\%$)	1.65 (25°C)
Number of Phase	2	Inductance Per Phase ($\pm 20\%$ mH)	2.8
Insulation Resistance	100M Ω Min (500VDC)	Holding Torque (Kg.cm)	4.4
Insulation Class	Class B	Detent Torque (g.cm)	200
Max. radial force (N)	28 (20mm from the flange)	Rotor Inertia (g.cm ²)	68
Max. axial force (N)	10	Weight (Kg)	0.365

● Pull out torque curve:

VOLTAGE: 24VDC, CONSTANT CURRENT: 1.68A, HALF STEP

● Wiring Diagram:

● Dimensions:
(unit=mm)

SY42STH47-1684A	TECHNICAL CONDITIONS
-----------------	----------------------

G.17 Arduino MEGA 2560

Technical Specification

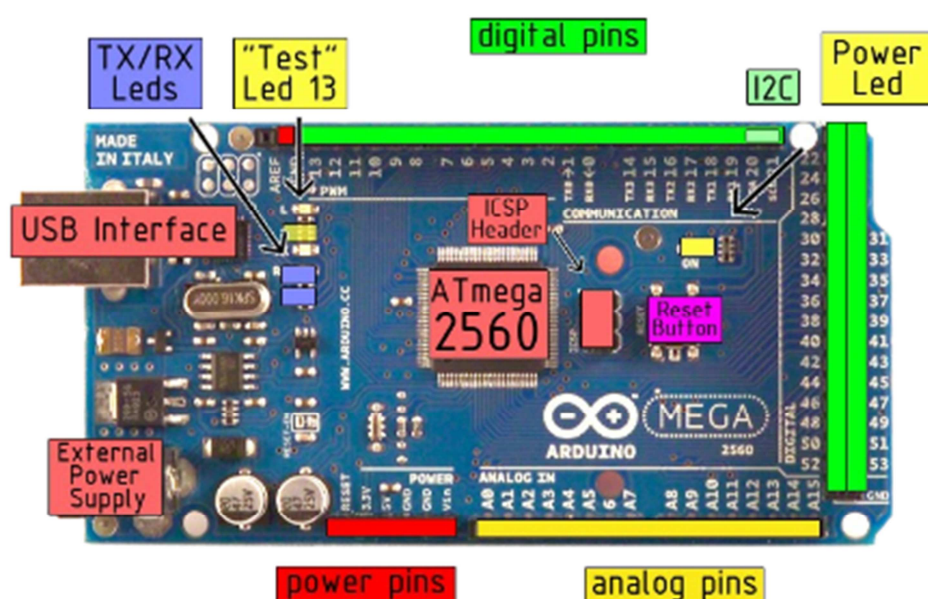


EAGLE files: [arduino-mega2560-reference-design.zip](#) Schematic: [arduino-mega2560-schematic.pdf](#)

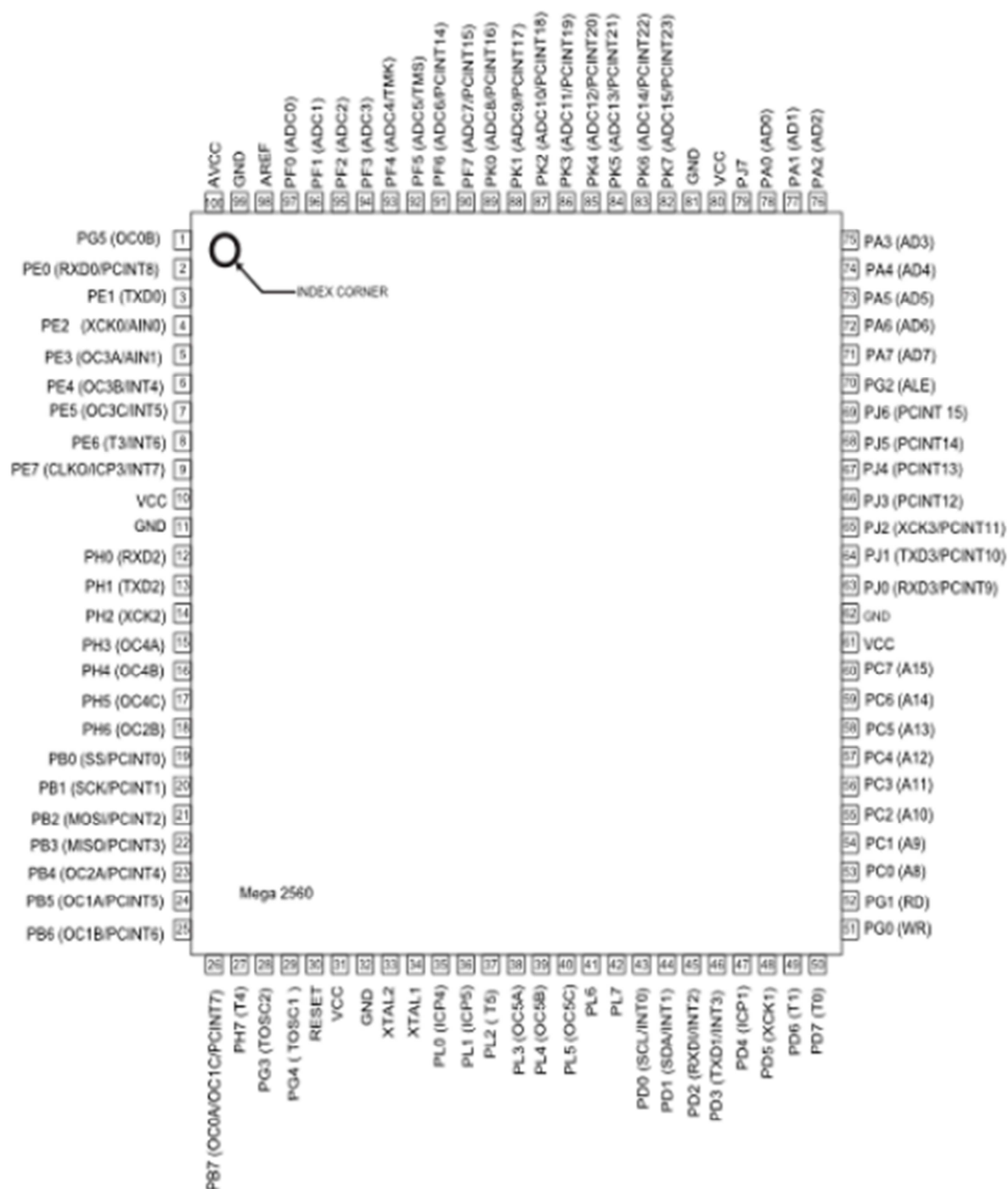
Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

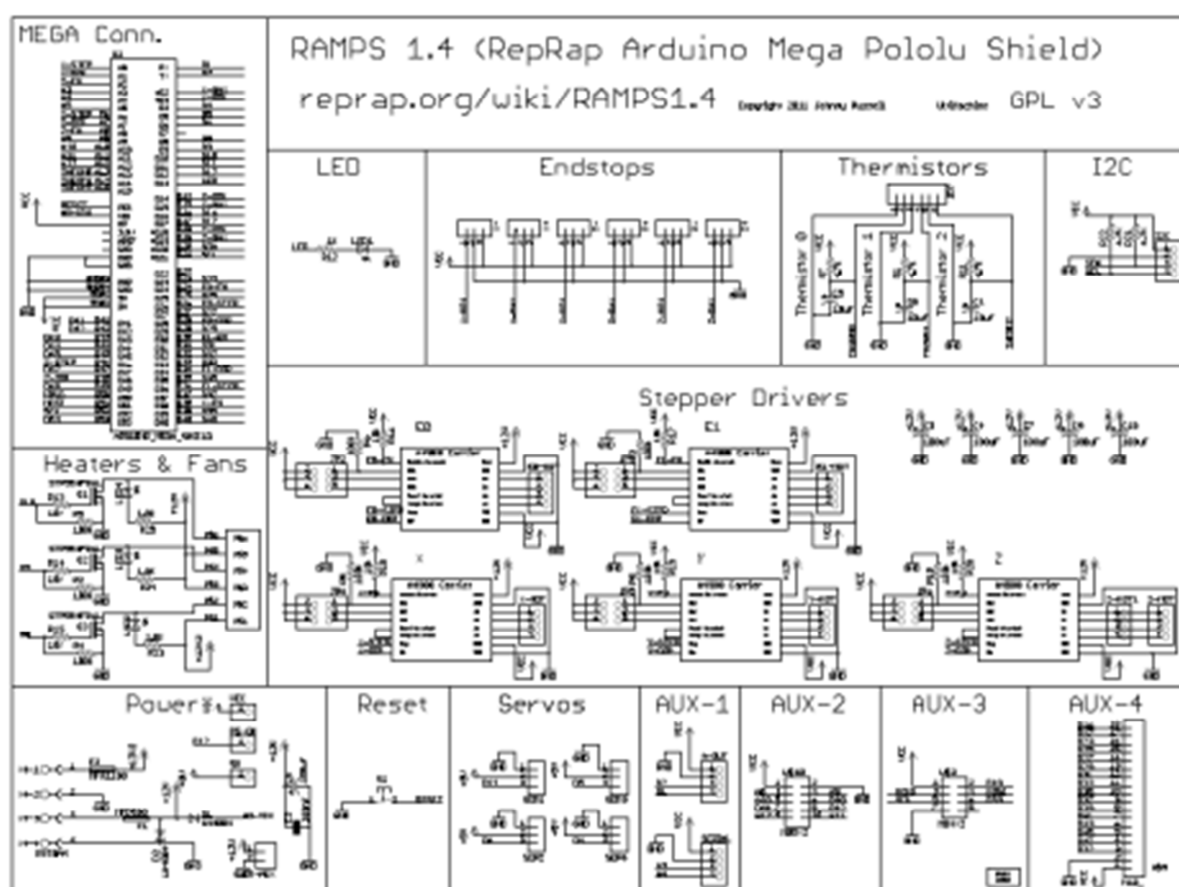
the board



Pins connexionat Arduino MEGA 2560



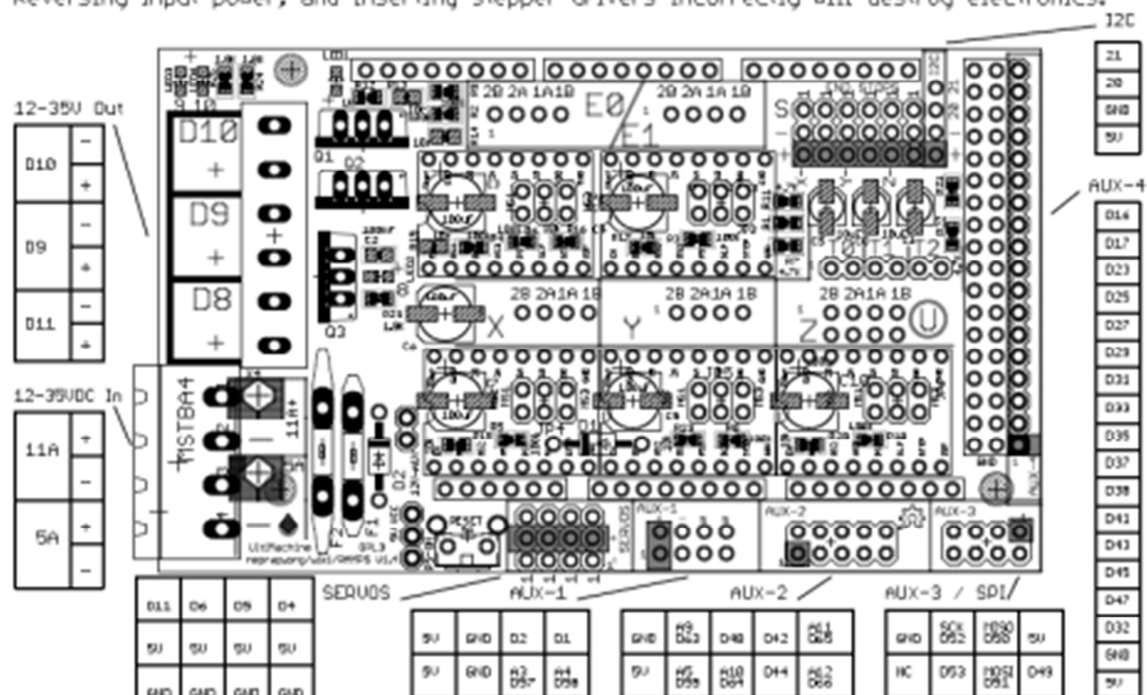
G.18 Placa electrònica RAMPS 1.4



RAMPS 1.4 (RepRap Arduino MEGA Pololu Shield)
reprap.org/wiki/RAMPS1.4

GPL v3

Reversing input power, and inserting stepper drivers incorrectly will destroy electronics.



G.19 Controlador micro-passos Pololu A4988

Dimensions

Size: 0.6" × 0.8"

Weight: 1.3 g¹

General specifications

Minimum operating voltage: 8 V

Maximum operating voltage: 35 V

Continuous current per phase: 1 A²

Maximum current per phase: 2 A³

Minimum logic voltage: 3 V

Maximum logic voltage: 5.5 V

Microstep resolutions: full, 1/2, 1/4, 1/8, and 1/16

Reverse voltage protection?: N

Bulk packaged: N

Header pins soldered: N⁴



Pin	Description	Function
VDD	+3.3V ~ +5V	Connect to +3.3V ~ +5V.
GND	Ground	Connect to Ground.
VMOT	DC Motor Supply	Connect to the external power supply from 8V to 35V.
1A and 1B	Stepper Motor Coil	Connect to one coil of the motor.
2A and 2B		Connect to other coil of the motor.
DIRECTION	Logic Input	- This pin determines the direction of motor rotation. - For a single direction rotation, connect DIRECTION directly to VCC or GND.
STEP		Any transition on this pin from LOW to HIGH will trigger the motor to step forward one step.
SLEEP	Active Low Signal	- SLEEP pin is set to HIGH to wake up the IC, allow 1ms of delay before sending a STEP signal. - RESET pin is set to HIGH to enable functionality of the motor driver. - The SLEEP pin is floating, if it not used, please connect it to the adjacent SLEEP pin on the PCB to bring it high and enable the board.
RESET		
ENABLE	Active Low Signal	Set to LOW for allowing motor control.
MS1, MS2, and MS3	Microstep Select Resolution	All is set to LOW or left unconnected for full step resolutions. (Refer to datasheet for other different step size)

G.20 Proveïdor RepRap BCN3D

Els elements que s'anomenen a continuació s'han comprat al proveïdor oficial de RepRap BCN3D, els quals no faciliten tota la informació tècnica.

- Final de cursa v1.2
- Pantalla LCD Smart Controller
- Sensor temperatura ambient

ANNEX H: ESTUDI DE MERCAT

H.1 Introducció

En el present document es fa un recull i valoració de les diferents solucions que es troben al mercat de les màquines de recobrint per immersió.

H.2 Solucions existents

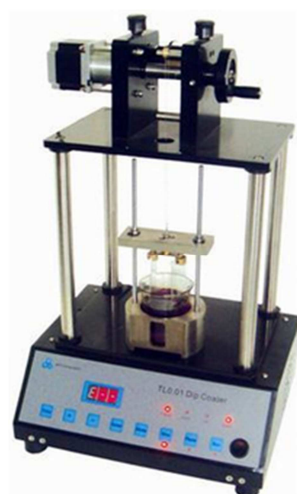


Aquesta màquina engloba molts dels requisits sol·licitats pel client pel que fa a precisió, control de l'atmosfera, estanqueïtat i automatització, etc. Tret de la possibilitat de treballar amb diferents dissolucions en una mateixa fabricació i intercanvi d'utilatges per a diferents provetes.

El cost de la màquina ascendeix a 3.950 \$ // 3330,52 €.



La màquina engloba tots els requisits sol·licitats pel client pel que fa a precisió, control de l'atmosfera, estanqueïtat, automatització, treballar amb diferents dissolucions, etc.



Amb les prestacions que ofereix la següent màquina, no permet treballar amb diverses dissolucions, ni tenir el control de l'atmosfera de la zona de treball, entre altres requisits. Les dimensions són (340x360x540mm) i si s'ajusta a les dimensions totals de la màquina projectada.

El cost de la màquina és 3.450 \$ // 2.908,93€



La següent màquina compleix amb els requisits de treballar amb varies dissolucions i la precisió, però per l'altre costat hi falten molt de requisits més.

Referent al cost de la màquina de 1700 \$ // 1.433 € , és la màquina que s'ajusta més al pressuposat al projecte.