

**EPS**Escola Politècnica
Superior

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Mecànica (GEM)

Títol: Metodologia de fabricació amb AM d'un motllo d'ABS dissenyat a partir d'un model existent i adaptació de la maquinària

Document: Memòria i annexos

Alumne: Santiago Guzmán Turk Barrios

Director/Tutor: Joaquim de Ciurana Gay

Departament: Eng. Mecànica i de la Construcció Industrial (EMCI)

Àrea: Enginyeria de Processos de Fabricació (EPF)

Convocatòria (mes/any): Setembre 2013

Índex de continguts

1 INTRODUCCIÓ	3
1.1 Antecedent	3
1.2 Objecte del projecte	5
1.3 Abast	6
2 DISSENY I ADAPTACIÓ DEL MOTLLO	7
2.1 Disseny final del conjunt: Motllo	8
2.1.1 Parts superior i inferior del motllo	10
2.1.2 Peça interior	11
2.1.3 Passadors	12
2.2 Descripció i estudi del Motllo	13
2.2.1 Idees i restriccions sobre el disseny del motllo	13
2.2.2 Conclusions sobre l'adaptació del motllo	17
3 METODOLOGIA PER IMPRESSIÓ DEL MOTLLO	18
3.1 Introducció a la impressora 3D i el seu entorn	18
3.2 Metodologia per portar a terme la impressió del motllo	20
3.2.1 Disseny amb un programa de dibuix en 3D assistit per ordinador	20
3.2.2 Conversió del dibuix al format <i>G-code</i> a partir d'un <i>.STL</i>	20
3.2.3 Connexió entre la impressora i l'ordinador	21
3.2.4 Càrrega de l'arxiu <i>g-code</i> amb <i>Pronterface</i>	23
4 MILLORES DEL CONJUNT	25
4.1 Millores mecàniques	25
4.1.1 Acoblaments entre motors dels eixos Z i guies roscades	25
4.1.2 Evitar aguantar el pes de l'eix Y amb el motor	26
4.1.3 Problemes amb les guies roscades	28
4.2 Millores Electròniques/Elèctriques	29
4.2.1 Error a la placa <i>Arduino</i>	29
4.2.2 Implementació d'interruptors	34
5 DISCUSSIÓ DE RESULTATS	37
6 RESUM DEL PRESSUPOST	39

7 CONCLUSIONS	40
8 RELACIÓ DE DOCUMENTS	41
9 BIBLIOGRAFIA	42
ANNEXOS	43
ANNEX A. Milllores	44
A.1. Soldadura a l'extrusor	44
A.2. Escalfament del llit	45
A.3. Connexió dolenta en el cablejat entre impressora i placa <i>Ramps</i>	45
A.4. Soldar i recobrir amb retràctil la connexió d'un final de cursa	46
ANNEX B. Breu metodologia per actuar si error al motor	48
ANNEX C. Manual <i>Slic3r</i>	51
ANNEX D. Plànols motllo alumini	56
D.1. Molde_stent (Conjunt)	57
D.2. Molde_2 (Peça superior)	58
D.3. Molde_3 (Peça inferior)	59
D.4. Tapa_inf (Peça interior)	60
D.5. Tapa_sup (Tapa superior)	61
ANNEX D. Estimació de material i temps de fabricació per impressió	62

1 INTRODUCCIÓ

1.1 Antecedent

La tràquea, òrgan del cos humà situada entre la laringe i els bronquis i de caràcter cartilaginós i membranós, representa una via oberta a l'aire inhalat i exhalat des dels pulmons.

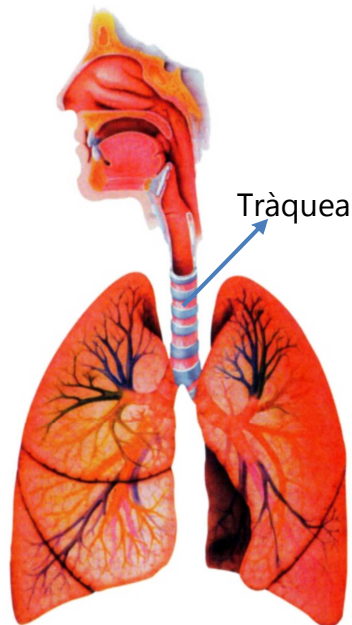


Figura 1. Ubicació de la tràquea al sistema respiratori humà

La fisonomia de l'ésser humà i la diversitat entre les dimensions dels nostres òrgans respecte altres persones fa que màquines de fabricació additiva, com la impressora 3D utilitzada en aquest treball, siguin una eina molt potent degut a la versatilitat que representa en front de processos de fabricació convencionals, més lents i menys adaptables a requeriments únics.

Aquest projecte pretén desenvolupar una metodologia de fabricació amb la qual poder fabricar un motllo per pròtesis traqueals d'ABS de manera ràpida, barata i amb la opció de personalitzar-la i adaptar-la a cada pacient, tot això partint d'un model de motllo ja existent al departament del GREP.

La **fabricació additiva** o *Additive Manufacturing (AM)*, com es coneix internacionalment, consisteix bàsicament en manipular material a escala micromètrica i depositar-lo de forma molt precisa per construir un sòlid. Tot i ser una versant pràcticament nova dins dels processos de fabricació, són molt diverses les tecnologies que permeten fabricar peces mitjançant aquest principi. La possibilitat de prescindir d'utilitatges, de reproduir qualsevol geometria a partir d'un arxiu informàtic (disseny en 3D), la immediatesa en la resposta a la demanda canviant del consumidor, entre d'altres, fan de l'AM una autèntica plataforma en la qual invertir pot presentar un benefici real.

Les principals avantatges dels sistemes de fabricació additiva sobre qualsevol procés convencional són les següents:

- El grau de complexitat de la peça no augmenta el valor econòmic del procés.
- La personalització no encareix el procés, i per tant augmenta la resposta immediata a les comandes que arriben al fabricant.
- Es pot reduir el pes del producte final variant la porositat/densitat del material utilitzat.
- Es poden obtenir peces compostes per més d'un material.

- El temps del producte en sortir al mercat descendeix bruscament.
- Permet reduir lots de fabricació, arribant inclús a la sèrie unitària.

Dins dels processos de fabricació additius, l'utilitzat durant aquest projecte és el **FDM** ("*Fused Deposition Modeling*"). El **modelatge per deposició de material fos** és un procés de fabricació utilitzat per la conformació de prototips i la producció a petita escala. És la tecnologia més utilitzada després de l'estereolitografia. Aquest tipus de fabricació utilitza una tècnica additiva, depositant el material en capes per conformar la peça.

Les impressores 3D són normalment més ràpides, més barates i més fàcils d'usar que altres tecnologies de fabricació per adició, tot i que, com qualsevol procés industrial, estaran sotmeses a un compromís entre el seu preu d'adquisició i la tolerància en les mesures dels objectes produïts. Les impressores en 3D ofereixen als desenvolupadors de productes la capacitat d'imprimir muntatges fets de diferents materials, propietats físiques i mecàniques.

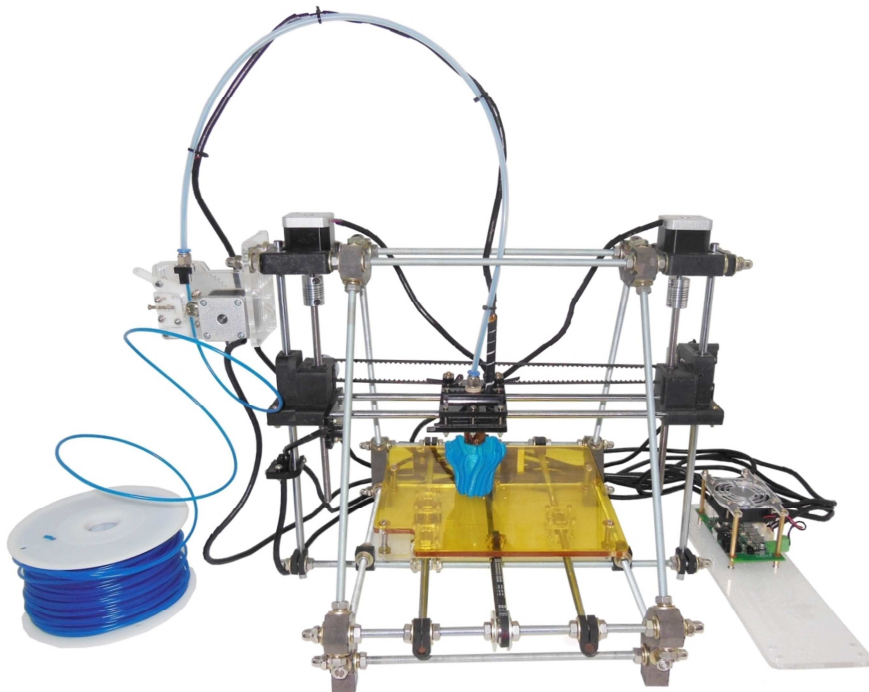


Figura 2. Impressora 3D Prusa Mendel

A la taula de la pàgina següent es detallen avantatges i limitacions que presenta aquest tipus de fabricació, el qual té molt de futur però encara ha de superar alguns obstacles.

Taula 1. Avantatges i desavantatges de l'AM

AVANTATGES	LIMITACIONS
Realitza peces amb alta precisió, ja sigui en toleràncies de forma com dimensionals.	Acabat superficial de qualitat mitja, aspecte granulat.
Peces finals estables i amb bones característiques mecàniques.	Necessitat de suports depenent de la geometria i dimensions de la peça a imprimir.
Es realitza amb materials que tenen elevada resistència a la temperatura (85°C a 220°C).	Presenta escassa consistència vertical
Peces finals aptes per pintar, cromar, mecanitzar.	Exactitud restringida degut a la grandària dels filaments amb els quals es treballa.
Peces menys pesades que, per exemple, amb estereolitografia.	Quan es tracta de peces grans o gruixudes, es fa un procés molt lent.
La seva velocitat relativa i baix cost permeten fer petites sèries.	Apareixen tensions dins del model degut a l'escalfament i ràpid refredament que sofreix el material a la deposició.

1.2 Objecte del projecte

Els objectius principals del projecte són els esmentats a continuació:

- Adaptar i dissenyar un motllo d'ABS per fabricar amb una impressora 3D (*RepRap Prusa Mendel*) ubicada al taller del GREP a partir d'un motllo ja existent d'alumini. El disseny haurà de ser factible per poder imprimir sobre aquesta màquina.
- Portar a terme l'adaptació de la màquina *RepRap* per a la futura fabricació del motllo per part del departament. Com que es tracta d'un prototip d'impressora, les prestacions que presenta no fan possible la impressió del motllo degut a que es té un projecte amb durada limitada. Per tant, es tracta d'ajustar la màquina i posar-la a punt per tal que el departament pugui efectuar les impressions a partir dels passos detallats al document.
- Preparació d'una metodologia de fabricació del motllo, mitjançant el qual queden descrits els passos a seguir per obtenir el producte final el qual, en aquest cas, serà el motllo per a la pròtesi de tràquea.

1.3 Abast

L'abast inclou el disseny i adaptació d'un motlle a fabricar amb ABS amb la màquina *RepRap* ubicada al taller del GREP per tal d'obtenir una futura pròtesi de tràquea personalitzada que compleixi els requeriments mèdics estipulats. Aquest disseny partirà d'un motllo d'alumini ja existent propietat del GREP. Per tant, aquest projecte treballa amb l'adaptació d'un motllo d'alumini a un motllo capaç d'ésser fabricat amb una impressora 3D.

Es treballarà també en la metodologia per poder imprimir aquest motllo, estudiant les capacitats d'impressió que presenta la maquinària al taller. Aquesta metodologia es documentarà i conformarà una guia mitjançant la qual personal del departament puguin portar a terme el disseny del motllo.

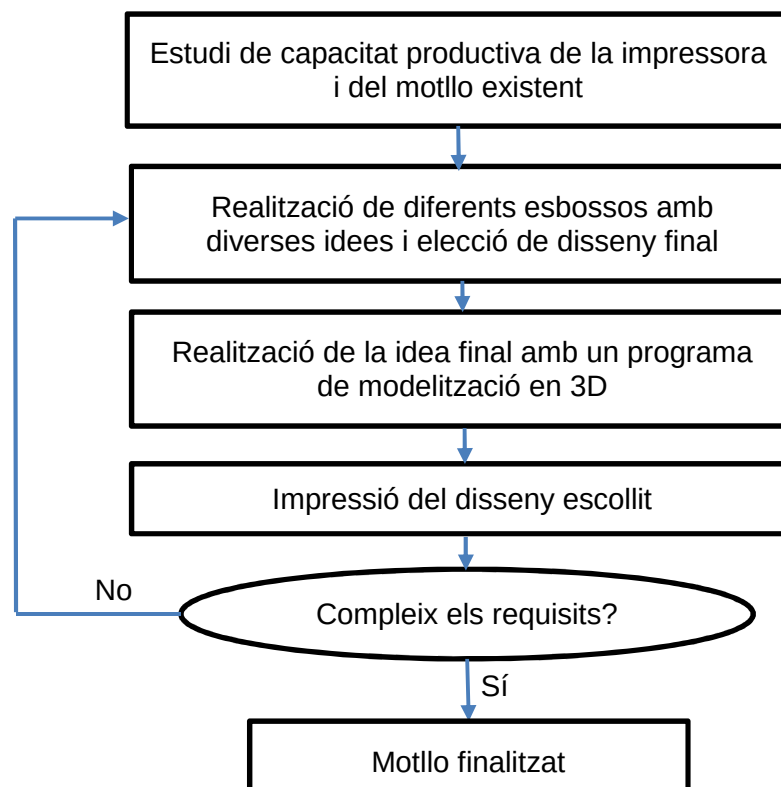
A més, es treballarà en la posada a punt de la maquinària per tal de poder conformar aquest disseny del motllo en un futur. El projecte pretén deixar la impressora ubicada al taller en òptimes condicions per poder ser utilitzada pel personal destinat a fer-ho. Si el temps ho permet, es portarà a terme la fabricació del motllo.

2 DISSENY I ADAPTACIÓ DEL MOTLLO

Aquest apartat del projecte pretén donar informació detallada del motllo dissenyat per a la futura conformació de la tràquea per part del departament, i s'estructura en dues parts:

- El primer apartat, "**2.1 Disseny final del conjunt: Motllo**" explica, com ja ho diu l'enunciat, el disseny final d'aquest conjunt, a més de senyalar i explicar els components d'impressió que el componen:
 - o 2.1.1 Parts superiors i inferiors
 - o 2.1.2 Peça interior
 - o 2.1.3 Passadors
- A la segona part, "**2.2 Descripció i estudi del motllo**", es detallen les especificacions i pautes que es van plantejar i tenir en compte a l'hora de dissenyar-lo, així com les limitacions que es van tenir degut a la capacitat d'impressió de la *RepRap Prusa Mendel* disponible al laboratori.

La falta de coneixement inicial sobre conformació i disseny de motllos va fer, en un principi, que la metodologia per dissenyar-lo i adaptar-lo fos com l'esquema de la figura, ja que no es va suposar que posada a punt i les millores de la màquina comportarien tant de temps. Les mides de la tràquea, i per tant, de les dimensions internes del motllo, es van treure d'un motllo d'alumini ja existent al departament del GREP (*Annex D. Plànols motllo alumini*).



Esquema 1. Metodologia inicial de disseny per la impressió del motllo

2.1 Disseny final del conjunt: Motllo

En aquest apartat es mostra el conjunt final del motllo en dues imatges, figures 3 i 4, les quals ensenyen el motllo completament tancat amb un joc de mordaces i l'altre tallat per la meitat deixant veure l'interior d'aquest, respectivament.

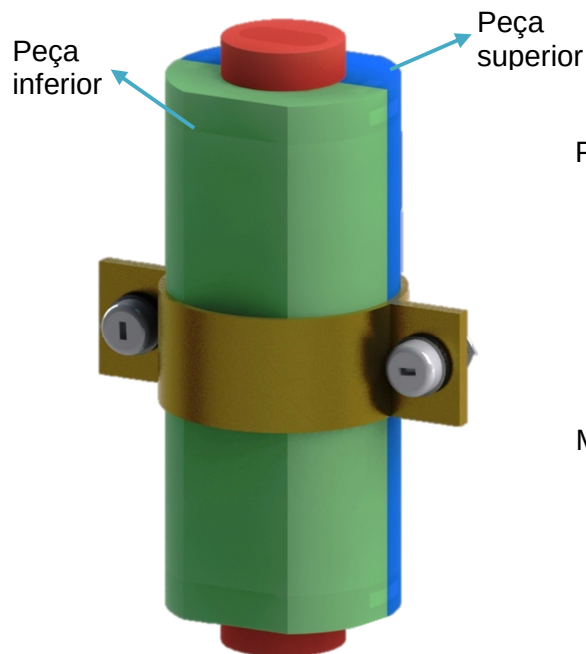


Figura 3. Representació del motllo tancat

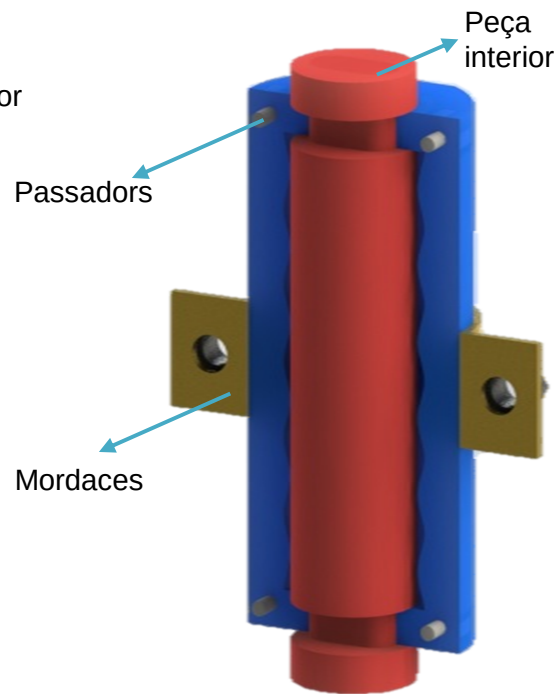


Figura 4. Representació del motllo obert

Aquest disseny es va basar en el d'un motllo ja existent al taller del GREP, fet d'alumini. Per tal de dissenyar el nou d'ABS, es va crear un model de tràquea en 3D segons les dimensions del motllo d'alumini amb la qual poder treballar mirant els detalls. La pròtesi de tràquea es pot veure a les figures 5 i 6. A partir d'aquesta tràquea es va dissenyar el motllo que es mostra. Com es pot veure a les figures 3 i 4, aquest està conformat per 4 tipus de peces d'impressió: dues meitats (parts superior i inferior) subjectades una amb l'altra amb mordaces; dins d'aquestes parts superior i inferior hi ha una altra peça (interior) per tal de donar la cavitat a la tràquea durant el moment de la seva conformació; per acabar, s'utilitzen passadors (peces grises a la figura 4) amb l'objectiu d'aconseguir la perfecta alineació entre les parts superior i inferior i evitar el moviment d'una respecte l'altra quan es decideixi conformar la tràquea. S'adjunta una taula (*Taula 2. Peces del conjunt motllo*) on queden registrades les peces que són necessàries per la conformació i fabricació del motllo, diferenciant-les en peces d'impressió i peces de no impressió.



Figura 5. Model 3D pròtesi de tràquea



Figura 6. Vistes frontal i superior del model 3D

Taula 2. Peces del conjunt Motllo

PECES D'IMPRESSIÓ	
Nom	Quantitat
<i>Part superior</i>	1
<i>Part inferior</i>	1
<i>Peça per donar cavitat</i>	1
<i>Passadors</i>	4
PECES DE NO IMPRESSIÓ	
Nom	Quantitat
<i>Joc de mordaces</i>	1
<i>Cargol M4x0.7</i>	2
<i>Rosca M4x0.7</i>	2
<i>Volandera $\varnothing_{int}=5$ $\varnothing_{ext}=8$</i>	4

2.1.1 Parts superior i inferior del motllo

Aquestes dues peces donen la forma ondulada que té l'exterior de la tràquea (figures 4 i 5). L'elecció de la part superior i inferior ha sigut arbitrària, ja que per la forma exterior ambdues podrien ficar-se a dalt o baix. S'han diferenciat amb diferents colors per distingir que es tracta de dues parts, ja que no són exactament iguals (es pot corroborar a l'apartat 4. *CONJUNT MOTLLO ABS* del document *PLÀNOLS*). Una d'elles presenta la ondulació al llarg de tota la seva alçada, com es pot veure a la figura 9, mentre que l'altra meitat té una cara plana. Aquest disseny és exactament igual que el motllo d'alumini, i es fa d'aquesta manera pura i exclusivament per raons mèdiques. Presenten quatre forats amb els quals, ajudant-se pels passadors, es millora l'alineació entre les dues cares. Ambdues presenten una cara plana vertical a l'exterior que afavoreix la seva impressió sobre el llit de la impressora.

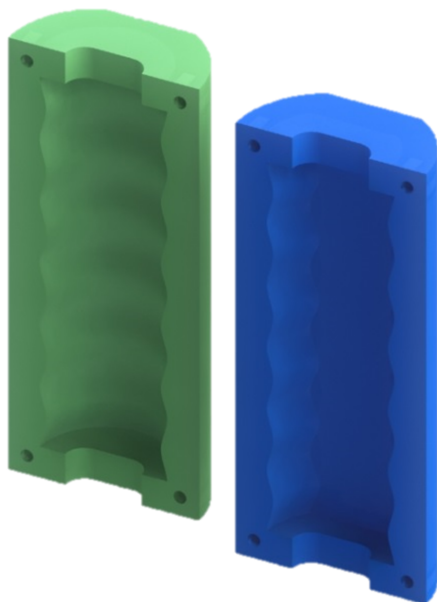


Figura 7. Peces inferior (esquerra) i superior (dreta)

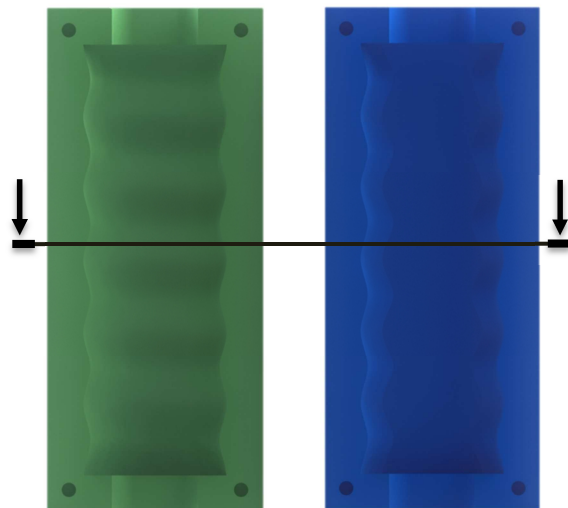


Figura 8. Vista frontal de les dues meitats

Si es tallen aquestes dues meitats, per exemple, justament a la meitat de les seves alçades com es pot apreciar a la figura 8, la secció projectada és la indicada a la figura 9. Aquí s'observen tant la diferència entre la seccions interiors d'aquestes dues peces com les cares planes a les seccions exteriors per facilitar la impressió.



Figura 9. Secció projectada de la figura 8

2.1.2 Peça interior

La funció primordial d'aquesta peça és dotar a la tràquea de la cavitat per on passarà l'aire inhalat i exhalat. Té dos canvis de secció a la seva longitud amb l'objectiu de posicionar-la dins les dues parts superior i inferior.



Figura 10. Vista isomètrica del model

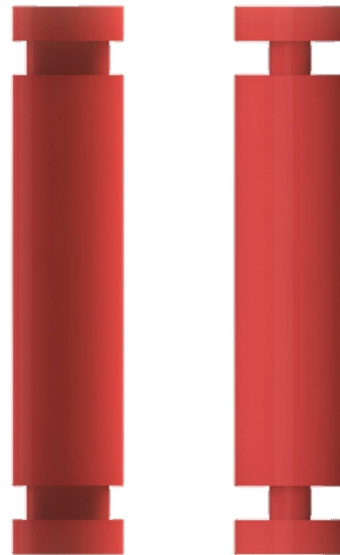


Figura 11. Vistes frontal i lateral del model

El disseny d'aquesta peça fa que sigui la única que durant la seva fabricació comptarà amb material de suport. Això serà necessari ja que hi ha parts en voladís que serien impossibles de fabricar sense una estructura sobre la qual recolzar-se. Això es veu clarament a la figura 12, que representa la part més baixa i alta d'aquest model. En aquesta, les superfícies grises tenen una secció major que les verdes i no tindrien suport on ésser extrudides. És per aquest motiu que faria falta material de suport¹.

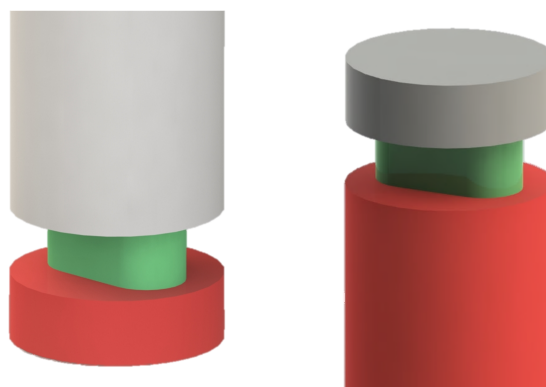


Figura 12. Exemple de raó per utilització de material de suport

¹ Al manual del Slic3r a l'Annex F. Tutorial Slic3r es detallen els paràmetres per la utilització d'aquest material de suport.

Tot i intentar evitar-se l'extrusió de material de suport durant el disseny del motllo degut a l'acabat final que presenta la peça quan es treu el material, la zona on hauria de retirar-se aquest, en aquesta peça, no estaria directament en contacte amb la tràquea, per la qual cosa l'acabat que quedi en aquesta zona no influirà en la qualitat superficial de la tràquea.

A més, cal comentar que se li ha donat una forma no rodona a la secció que fa contacte amb les dues parts superior i inferior. Aquesta secció es pot veure a la figura 13. La raó d'aquesta secció és evitar que la peça interior pugui girar dins el motllo un cop aquest s'hagi tancat, evitant possibles deformacions a la tràquea i afavorint la robustesa del conjunt.

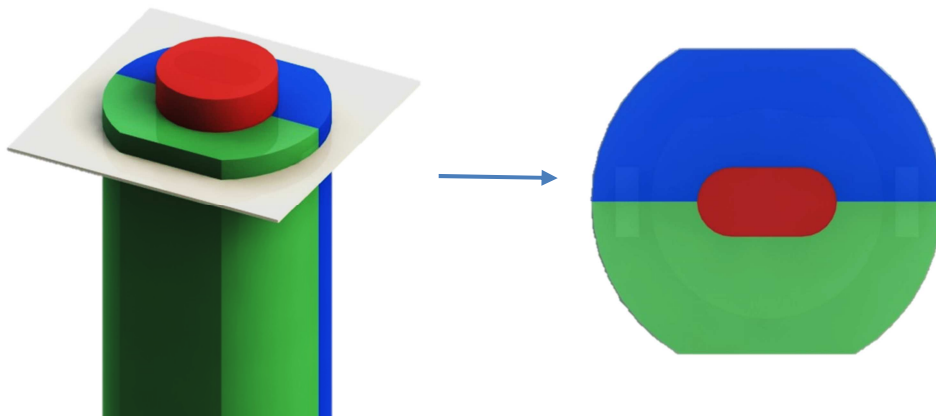


Figura 13. Plànol tallant el motllo (esquerra). Secció marcada pel plànol que talla el motllo (dreta)

2.1.3 Passadors

La funció principal d'aquests passadors és garantir el màxim possible l'alineament entre les dues parts superior i inferior un cop tancat el motllo. Es tracta d'una peça completament cilíndrica i de secció constant al llarg de tota la seva alçada, com es pot veure a la figura 14.



Figura 14. Passador

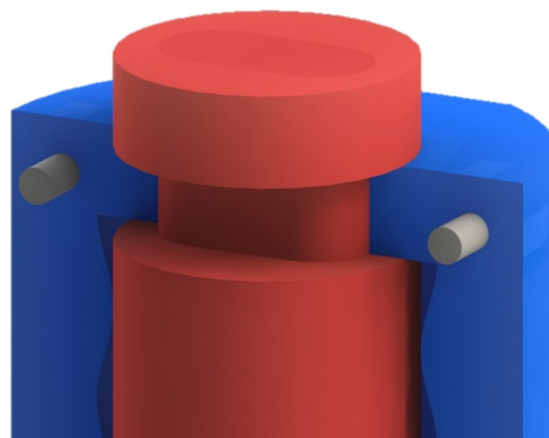


Figura 15. Passadors situats dintre forats per alinear parts superior i inferior

2.2 Descripció i estudi del Motllo

El disseny del motllo es va anar modificant a partir de diferents idees tenint com a base les pautes citades a continuació. Tot i així, es va partir d'un disseny ja fabricat amb alumini el qual va ser conformat pel GREP. Dit d'un altra forma, es va buscar la forma d'adaptar el motllo d'alumini a un motllo d'ABS capaç de ser fabricat amb una impressora en 3D. El plànol d'aquest motllo d'alumini, propietat del GREP, es pot veure a l'apartat *Annex D. Plànols motllo alumini*. Es va prescindir de les toleràncies tan ajustades que presentava aquest disseny, ja que la impressora no permet precisions d'aquest ordre. Aquest apartat es divideix en dos subapartats. El primer, "2.2.1. Idees i restriccions sobre el disseny del motllo", explica les restriccions i limitacions de la màquina a l'hora d'imprimir el motllo, així com el per què d'algunes eleccions de disseny. El segon, "2.2.2 Conclusions sobre l'adaptació del motllo", crea una mena de conclusions de disseny a partir dels punts esmentats a la primera part.

2.2.1 Idees i restriccions sobre el disseny del motllo

Durant la realització del disseny es van tenir en compte aspectes fonamentals, els quals restringien o donaven pautes a l'hora de plasmar les primeres idees. Aquests són:

- S'ha d'assegurar un bon acabat de la tràquea un cop conformada, respectant les mesures preestablertes. Aquesta haurà de complir amb les dimensions estipulades als plànols, a més d'evitar porositats no desitjades. Imperfeccions en aquest motlle com forats que comuniquin l'interior amb l'exterior, o no produir estanqueïtat, són aspectes amb els quals s'ha de tenir molta cura ja que poden inutilitzar parcial o completament el motllo. Per tant, en aquest tipus de peça, la baixa densitat de material durant la impressió del motllo pot ésser un problema a tenir en compte, ja que no volem en cap cas que sigui una peça fràgil ni pugui filtrar silicona mentre es conforma la tràquea.
- Facilitat per imprimir el motllo amb la impressora 3D: la forma d'aquest depèn en gran part de la capacitat d'impressió que tingui la nostra màquina. Si es pot, s'han d'intentar evitar impressions en voladís. Aquesta impressora té la capacitat de poder fer-ho aplicant material de suport, però això comporta l'eliminació d'aquest un cop imprès i, per tant, un retard en el temps d'impressió ja que el volum de material a extrudir és major. El model serà més robust si es pot evitar. Un altre motiu pel qual s'ha d'evitar aquest tipus d'impressió és perquè al retirar el material de suport amb, per exemple, un cúter, l'acabat superficial de la zona on s'ha tret aquest material

perd qualitat, i sol presentar un acabat més rugós que les altres zones. La utilització d'aquest material de suport no serà crític si la zona on s'ha d'aplicar no està en contacte amb la silicona de la tràquea quan es porti a terme la seva conformació.

- Com menys material es necessiti més ràpida serà la impressió, i per tant es disminueixen el valor econòmic del material utilitzat i del temps de fabricació. Al mateix temps, s'ha de trobar la quantitat de material adequada per donar consistència i robustesa al motllo. Com es va explicar al primer punt, aquest motllo ha de ser prou robust i garantir l'estanqueïtat per tal de ser tornat a utilitzar i evitar que la silicona es filtri a través d'ell quan es vulgui conformar la tràquea. Per tant, l'objectiu és trobar l'equilibri entre la quantitat de material amb la qual contarà el motllo i el temps d'impressió, que volem que sigui el mínim possible.
- Un altre punt molt important durant la conformació d'aquest motllo és fer-lo, respectant les especificacions, el més senzill possible. Com més peces es necessitin fabricar, es gastarà més material i més temps de fabricació portarà. A més, la complexitat del conjunt a l'hora de muntar-lo es veurà augmentada. Hi ha impressores 3D que tenen la capacitat d'imprimir conjunts ja muntats amb diferents extrusors, però la que es té al taller del GREP no presenta aquesta particularitat. Per tant, un número petit de peces faria el motllo més compacte i més barat, tant pel preu del material com per l'estalvi del temps de fabricació.
- El motllo ha de ser fabricat per conformar més d'una pròtesi de tràquea, no només per un únic ús. Aquesta especificació implica que ha de ser compacte i robust per tal d'evitar el trencament en moments com l'apertura del conjunt un cop la silicona de la pròtesi traqueal hagi solidificat. Peces del motllo fetes amb una densitat baixa augmentaran la possibilitat que aquest sigui més susceptible al trencament.

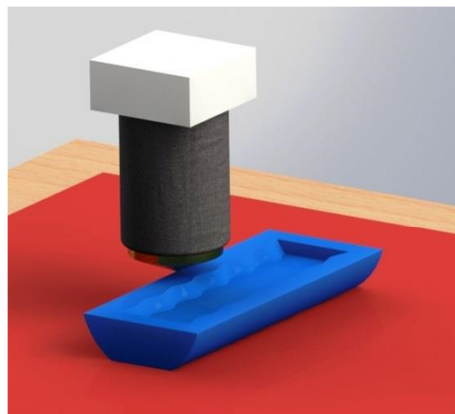


Figura 16. Motllo imprès horitzontalment

- La unió entre ambdues peces superior i inferior ha de garantir que aquestes tanquin el conjunt amb seguretat. Es va pensar en dissenyar una peça d'ABS que fes d'unió entre les dues meitats aprofitant que aquest material té certa capacitat per doblegar-se. El problema principal és la complexitat per conformar aquesta peça, implicant també un canvi en el disseny de les dues meitats del motllo. El que realment potenciarà el conjunt és l'optimitat però amb simplicitat, sense fer dissenys molt complexos. D'aquí ve la utilització de mordaces metàl·liques que agafen les dues meitats amb el cilindre massís al mig, com s'ha vist a la figura 3, i es poden introduir al forn per curar.
- Com que es parteix del disseny d'un motllo ja fabricat i el qual funciona correctament, les dimensions internes del motllo d'ABS es fan exactament iguals que les del d'aquest motllo. És per això que no es té en compte la contracció de la silicona durant la solidificació de la pròtesi traqueal. Es considera que el motllo d'alumini ja compleix amb aquestes especificacions.
- La temperatura de fusió de l'ABS és molt semblant a la temperatura de fusió de la silicona (aproximadament 230° C). Aquesta semblança fa pensar que durant el farciment amb silicona dins el motllo, aquest es podria deformar. Això no és així ja que la temperatura a la qual s'escalfa el material no és la de fusió, sinó que s'escalfa fins aconseguir només que la silicona es torni viscosa.



Figura 17. La zona groga no tindria suport on recolzar-se si el motllo s'imprimís verticalment

- La idea inicial era que els passadors (figura 14) no fossin peces complementàries de les peces superior i inferior (figures 7 i 8), sinó que aquestes tinguessin cadascuna dos forats i dos sortints (figura 18), de manera que una meitat fos

l'invers de l'altra i encaixessin perfectament. Tot i així, aquesta configuració es va suprimir per dos motius:

- o La velocitat de treball de la impressora per a les peces superior i inferior és elevada, ja que són peces de grans dimensions que utilitzen molt de material. Aquesta velocitat elevada podria causar que alguns d'aquests sortints es deformessin o no es conformessin adequadament degut a aquesta velocitat, ja que les dimensions petites requereixen una velocitat d'extrusió molt menor.
- o La següent raó es va pensar més a l'hora de conformar la tràquea que el motllo en sí. Suposant que durant l'obertura del motllo es trenqués algun d'aquests sortints, el motllo perdria tota la seva utilitat. En canvi, fabricant els passadors per separat, en cas que algun s'extraviés o es trenqués, només faria falta extrudir un de nou, sense afectar a la resta del motllo.

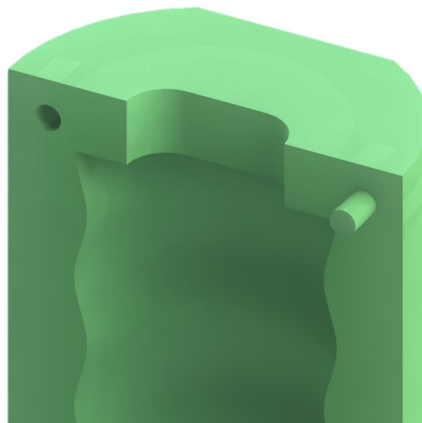


Figura 18. Idea inicial passadors

2.2.2 Conclusions sobre l'adaptació del motllo

Un cop realitzats estudis i tractats els punts a favor i en contra d'ells, es va arribar a les conclusions següents:

- Com més simple sigui la adaptació del motllo d'alumini al d'ABS i menys peces necessitem més robust serà. Fer-lo massa complex no és sinònim d'òptim, i això és el que busca, optimitat.
- Com que hi ha parts del motllo que s'haurien d'imprimir sense superfície de suport, com es pot apreciar a la figura 17, es va optar per imprimir les dues peces inferior i posterior del motllo de forma horitzontal, recolzat sobre el llit com es mostra a la figura 16. Això va comportar que cada meitat del motllo hauria de tenir al menys una cara plana, ja que si l'exterior fos completament cilíndric no hauria suport suficient per anar afegint capes.
- S'utilitzen mordaces per tal de tancar el motllo. Aquestes es poden comprar a qualsevol ferreteria i tenen un preu relativament baix.
- La peça interior que fa que la tràquea tingui la cavitat utilitzarà material de suport que posteriorment serà eliminat, ja que altres combinacions de disseny van suposar sempre una complexitat més elevada, un augment de peces a extrudir o una disminució de la robustesa del conjunt.
- La utilització de passadors per tal d'alinear les dues meitats presenta una manera fàcil d'aconseguir aquesta restricció. A més, la impressora pot imprimir els quatre passadors al mateix temps sobre el llit, i això redueix el temps d'impressió.

3 METODOLOGIA PER IMPRESSIÓ DEL MOTLLO

En aquest apartat es pretén descriure el procés complet per arribar a obtenir el disseny del motllo mitjançant la impressora 3D ubicada al taller del GREP. El que es pretén amb aquest apartat és donar l'eina necessària al departament per poder conformar en un futur el motllo dissenyat. La metodologia, per tant, servirà com a guia per portar a terme la impressió del motllo.

Es fa una breu introducció als dispositius i softwares necessaris més importants durant la redacció d'aquest projecte, explicant per a què serveix cadascun d'aquests i la relació que hi ha entre els altres components. Més endavant es tracta la metodologia a seguir per tal de realitzar la impressió del motllo. És per això que aquest document es divideix de la següent forma:

- 3.1 Introducció a la impressora 3D i el seu entorn.
- 3.2 Metodologia per portar a terme la impressió del motllo

3.1 Introducció a la impressora 3D i el seu entorn

La impressora 3D que es té al laboratori del GREP és un prototip anomenat *RepRap Prusa Mendel*. Aquesta impressora està conformada, com es pot veure a la figura 19, per diferents components, com ho són els motors, extrusor, resistències calefactores, estructura formada per barres roscades i peces de PLA, etc.

Es controla mitjançant l'electrònica d'*Arduino*, el qual comanda totes les accions relacionades amb el moviment dels eixos, escalfar resistències o la extrusió del fil d'ABS. A aquests dos dispositius, la impressora i la placa *Arduino*, se li ha de sumar la placa *Ramps*, que dit d'una forma senzilla fa de pont entre aquests dos. Aquesta placa *Ramps* porta incorporades resistències elèctriques, limitadors de potència, condensadors, i altres dispositius elèctrics que fan capaç el moviment de la impressora.

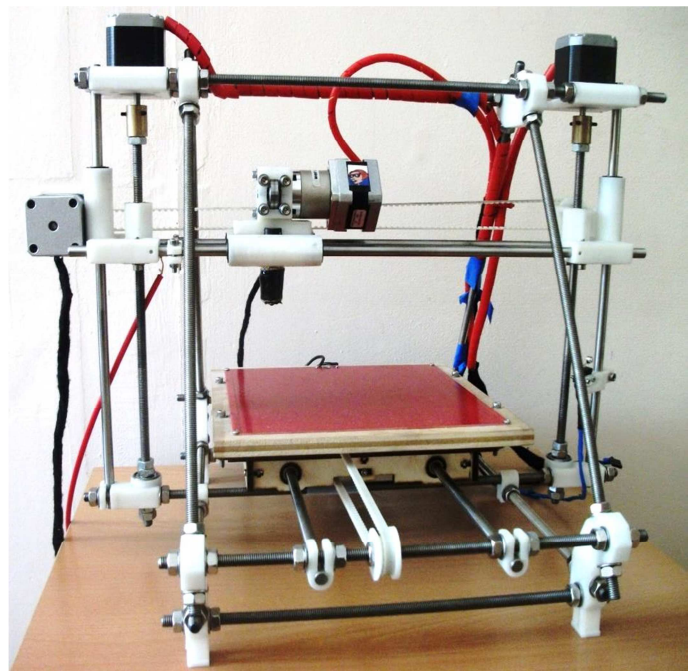


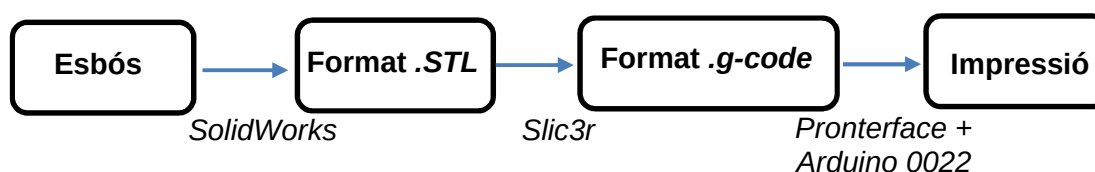
Figura 19. Impressora 3D al taller

Descrits breument aquests 3 dispositius, es detallen a la següent taula els *softwares*, *hardwares* i *firmware* més importants utilitzats per portar a terme el projecte:

Taula 3. Softwares, Hardwares i Firmware utilitzats durant el projecte

SOFTWARE	
Nom	Descripció
<i>Arduino 0022</i>	Conjuntament amb el <i>Firmware</i> de la impressora (codi) fa possible la comunicació impressora/ordinador.
<i>SolidWorks 2013</i>	Necessari per crear la peça a imprimir en format <i>.STL</i> .
<i>Slic3r</i>	Transforma l'arxiu <i>.STL</i> en un codi que pugui interpretar el <i>Pronterface</i> (<i>g-code</i>). Sense aquest, no es pot imprimir.
<i>PronterFace</i>	Des d'aquí es carrega al codi <i>g-code</i> i es dóna l'ordre per imprimir, a més de controlar la impressora.
HARDWARE	
Nom	Descripció
<i>Impressora 3D RepRap Prusa Mendel</i>	Realitza la conformació física real del disseny efectuat amb l'ordinador.
<i>Placa Arduino Mega 2650</i>	És l'encarregat de transmetre les comandes des de l'ordinador fins a la impressora.
<i>Placa Ramps 1.3</i>	Funciona com a pont entre les connexions d' <i>Arduino</i> i els cables de la impressora.
<i>Controladors (Drivers)</i>	Es connecten sobre la placa <i>Ramps</i> i controlen els motors pas a pas de la impressora.
FIRMWARE	
Nom	Descripció
<i>Sprinter</i>	Es pot dir que és el programa de la impressora, el codi. És un bloc d'instruccions que estableix la lògica de més baix nivell que controla els circuits electrònics de, en aquest cas, la impressora. Es carrega dins <i>Arduino</i> .

En forma d'esquema, es poden apreciar al següent "Esquema 2. Seqüència de passos i softwares necessaris per arribar a la impressió" els softwares necessaris per portar a terme els passos més importants durant la realització d'aquest projecte, des de l'esbós del motllo fins la impressió del disseny final a la impressora:



Esquema 2. Seqüència de passos i softwares necessaris per arribar a la impressió

3.2 Metodologia per portar a terme la impressió del motllo

La identificació d'aquest procés de conformació del motllo es detalla a continuació, partint des del dibuix del motllo amb un programa de disseny en 3D fins la impressió final, i queda dividida en els següents passos:

- 3.2.1 Disseny del motllo amb un programa de dibuix en 3D assistit per ordinador.
- 3.2.2 Conversió del dibuix al format *g-code* a partir d'un *.STL*
- 3.2.3 Connexió entre la impressora i l'ordinador.
- 3.2.4 Càrrega de l'arxiu *g-code* al *Pronterface* i posterior impressió.

3.2.1 Disseny amb un programa de dibuix en 3D assistit per ordinador

Un cop fets els esbossos pertinents i estudiats els requisits que aquesta pròtesi ha de tenir (descrits l'apartat 2.2 *Descripció i estudi del motllo*) es dibuixa un model en 3D a escala real amb un software que ho permeti. En aquest cas, el motllo va ser dissenyat amb el programa *SolidWorks 2013*, amb el qual s'obté directament un arxiu *.STL*. És fonamental que es respectin les mides reals de la peça a imprimir durant la realització d'aquest disseny en 3D. El *Pronterface* permet fer diferents escales d'aquest disseny, però això pot donar lloc a errors.

Tot i que es faci un conjunt complet del motllo, la impressora 3D no és capaç d'imprimir-ho muntat. Si és capaç d'imprimir varies peces al mateix temps sobre l'àrea del llit, però no conjunts muntats (algunes impressores sí ho fan). Per tant, quan es vagi a imprimir s'haurà de fer peça per peça o, si es vol, introduir varies peces dins el *Pronterface* per imprimir al mateix temps.

3.2.2 Conversió del dibuix al format *G-code* a partir d'un *.STL*

Un cop es té el disseny en format 3D, el pròxim pas és transformar-lo a un nou format, el *g-code*. Aquest format o llenguatge és el més utilitzat dins eines de control numèric (CNC), sobretot en automoció, i forma part de la enginyeria assistida per ordinador. En altres paraules, és un llenguatge mitjançant el qual les persones poden dir a màquines-eina controlades per ordinador què fer i com fer-ho (majorment per instruccions com cap a on moure's, a quina velocitat i quina trajectòria seguir).

Per poder portar a terme aquesta part del procés és necessari un software específic, capaç de transformar la peça en 3D al codi el qual la impressora pugui interpretar. En aquest cas, es va utilitzar el software gratuït *Slic3r*, que funciona com a generador del llenguatge *g* (*g-code*) per a impressores 3D a partir de formats *.STL*. El que fa és tallar la peça per capes i crear una espècie de document on detalla què ha de fer la impressora a cada capa del model a imprimir.

Cal comentar que a vegades és necessari un pas intermedi per transformar un arxiu .STL a .g-code. Freqüentment el *Slic3r* no és capaç de generar el nou format si la peça a convertir presenta una geometria complexa. Es pot dir que el *Slic3r* no és capaç de dividir la peça per capes degut a aquesta complexitat. Quan es té aquest problema, es recorre a programes com el *Meshlab*², que s'encarrega d'ajudar a editar, netejar, curar o inspeccionar estructures de mallats en 3D que puguin donar errors. Com que no va ser necessari aquest programa durant el transcurs del projecte, s'omet la seva explicació més detallada.

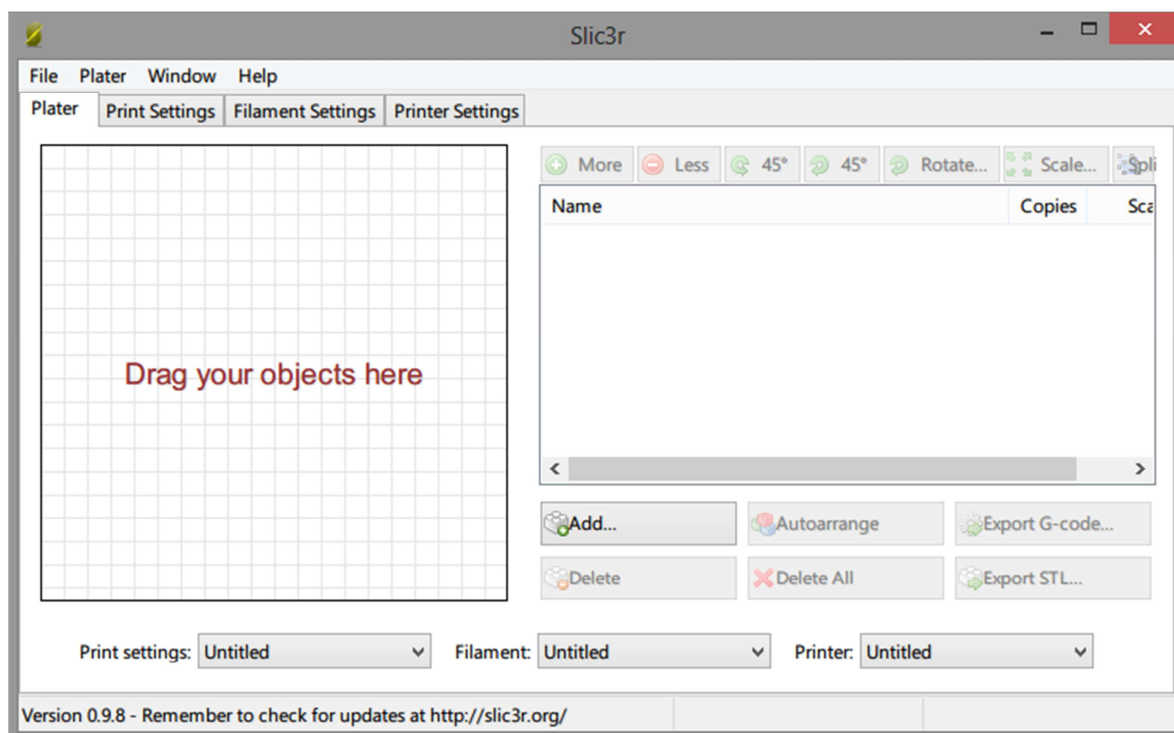


Figura 20. Interfície del programa Slic3r

Per veure com funciona aquest software, mirar l'Annex F. Tutorial Slic3r.

3.2.3 Connexió entre la impressora i l'ordinador

La connexió entre la impressora i l'ordinador es porta a terme mitjançant una placa *Arduino*, essent aquesta qui s'encarrega de transmetre la informació entre els dos dispositius. La connexió entre la placa i l'ordinador s'efectua de manera molt senzilla mitjançant un cable *USB*, però no funcionarà fins que s'hagin instal·lat a l'ordinador els *drivers* necessaris per poder fer córrer l'*Arduino*. Aquests *drivers* funcionen sota el principi *OpenSource* (de codi obert), per tant són gratuïts i lliures per descarregar. Un cop instal·lats aquests drivers (fàcilment descarregables des de la pàgina oficial d'*Arduino*), la placa *Arduino* ja és capaç de connectar-se amb l'ordinador. El següent pas és executar el *Firmware* (codi de la impressora

² També es tracta d'un programa OpenSource

o *Firmware*, en aquest cas el *Sprinter*) amb *Arduino* per a que aquest el “guardi” dins la placa i el pugui utilitzar més endavant per fer interactuar la impressora amb l'ordinador. Sense aquest no es pot portar a terme la comunicació entre l'ordinador i la impressora ja que *Arduino* no sap què és el que ha de fer, per exemple, per moure un motor o un altre. Aquest codi es pot descarregar des d'*Internet* gratuïtament ja que també és un programa *OpenSource*.³ Només cal executar el programa amb la interfície d'*Arduino* i, si no hi ha cap error, el programa s'emmagatzema directament a la placa.

En forma de resum, aquest apartat es podria dividir en quatre passos:

- 1- Descarregar els drivers gratuïts de la versió d'*Arduino* que correspongui amb la placa que es tingui (placa *Arduino Mega 2560* en aquest projecte) i instal·lar-los a l'ordinador.
- 2- Connectar la placa *Arduino* amb l'ordinador mitjançant un cable *USB*, i instal·lar el software gratuït d'*Arduino* (versió compatible amb la placa) a l'ordinador.
- 3- Descarregar el *Firmware* gratuït (*Sprinter* en aquest cas) de la impressora d'*Internet*.
- 4- Obrir el software d'*Arduino* (figura 21) i carregar el *Sprinter* i executar-lo per carregar-lo dins la placa.

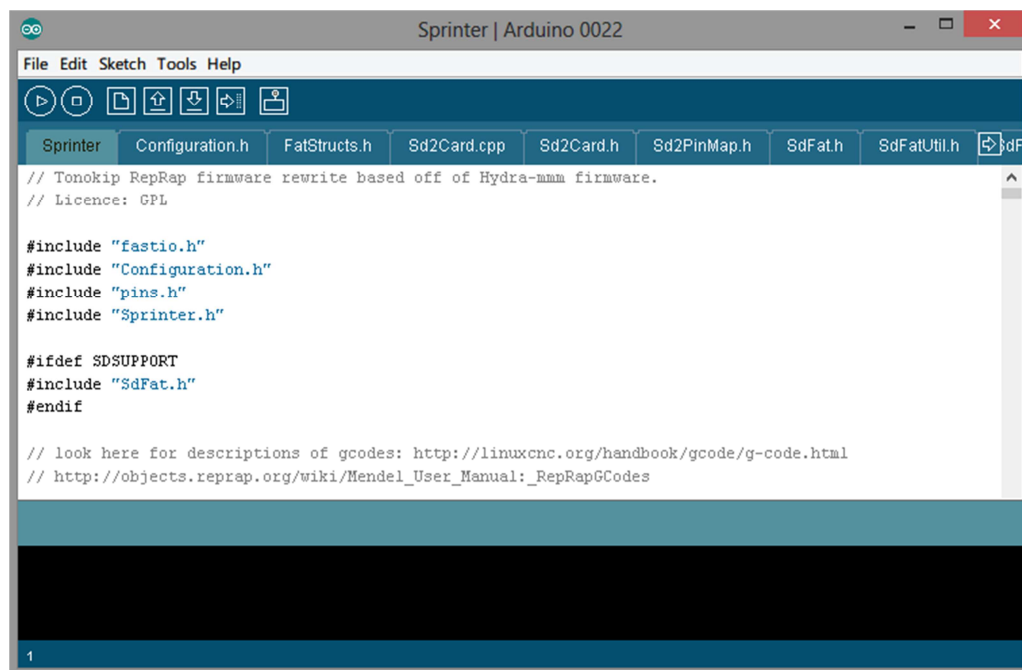


Figura 21. Interfície del software d'*Arduino* amb el *Firmware* carregat i preparat per executar

³ S'ha de vigilar que es descarregui el programa adequat, ja que aquest depèn de la placa que s'utilitzi (la impressora utilitza una placa *Arduino MEGA 2650*).

3.2.4 Càrrega de l'arxiu *g-code* amb *Pronterface*

Un cop establerta la connexió entre *Arduino* i l'ordinador i carregat el *Firmware* dins la placa, el següent pas és la impressió. El programa utilitzat per imprimir i permetre aquesta interacció entre la impressora i l'ordinador és el *Pronterface*, un altre programa *OpenSource*, gratis i lliure per descarregar.

En carregar una peça, aquest programa determina certs paràmetres de la impressió (figura "Interfície. Detall 1" per veure-ho a la interfície):

- Dóna el temps (valor pessimista) que trigarà la impressora en imprimir aquella peça que s'ha carregat.
- Dóna la quantitat de material que es gastarà en imprimir la peça (sempre un valor aproximat).
- Dóna la quantitat de capes de material que tindrà el model imprès.

La interfície d'aquest programa es pot veure a la "Figura 22. Interfície del programa *Pronterface*". S'han fet tres detalls amb una breu explicació. En aquest cas, s'ha carregat una de les dues meitats el motllo per tal de comprovar visualment com es treballa. Per tal de connectar la impressora amb l'ordinador mitjançant *Arduino*, suposant que el programa ha estat carregat exitosament, només s'ha de prémer el botó "*Connect*" ubicat a dalt sobre l'esquerra. Cal tenir cura amb el port seleccionat i escollir el que correspon amb *Arduino*.

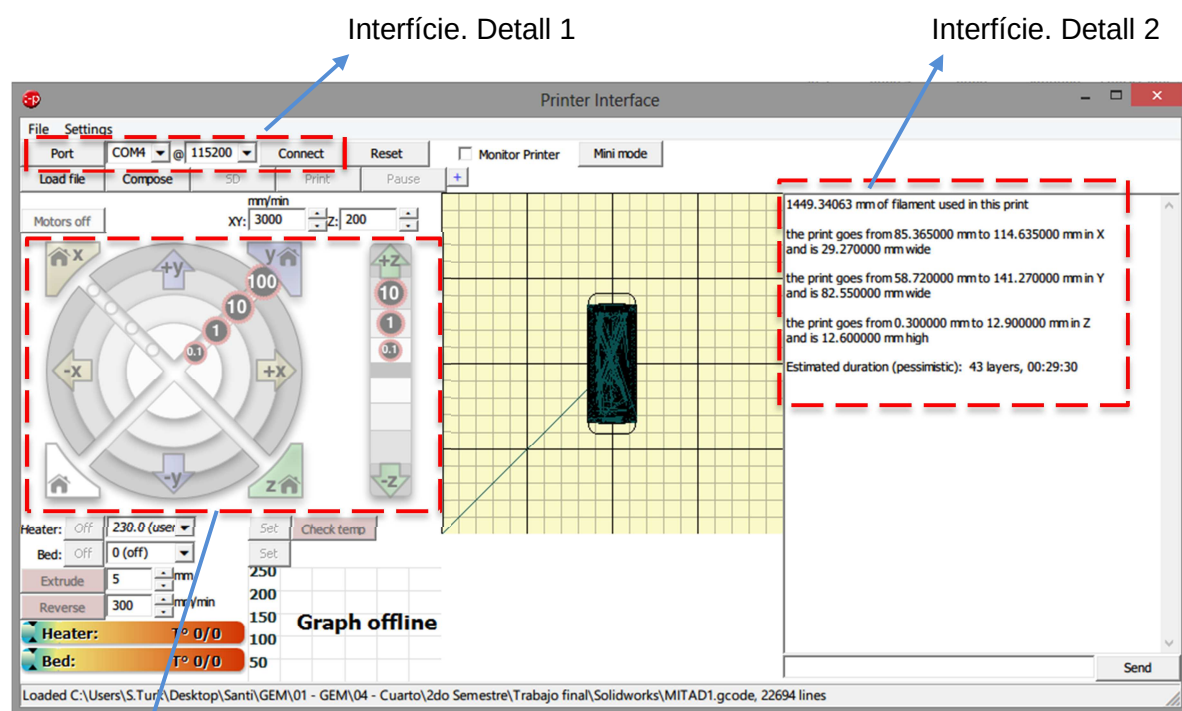


Figura 22. Interfície del programa *Pronterface*

Un cop s'ha carregat una peça per imprimir, aquest programa calcula automàtica i aproximadament el temps que trigarà en imprimir-la (un valor pessimista), la quantitat de material en mil·límetres que necessitarà, i la quantitat de capes que farà per conformar-la. Amb el botó "Print" comença la impressió.⁴

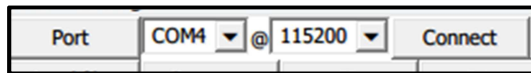


Figura. Interfície - Detall 1

En aquesta imatge es pot veure el port seleccionat. S'ha de tenir present que si el port escollit no és l'adequat, la impressora no connectarà.

Figura. Interfície - Detall 2

En aquesta imatge es pot veure els paràmetres que mostra a la interfície el Pronterface quan es carrega una peça per imprimir. En aquest cas (no real), la meitat del motllo trigaria quasi mitja hora en imprimir-se, gastant quasi 1,5 m de filament d'ABS.

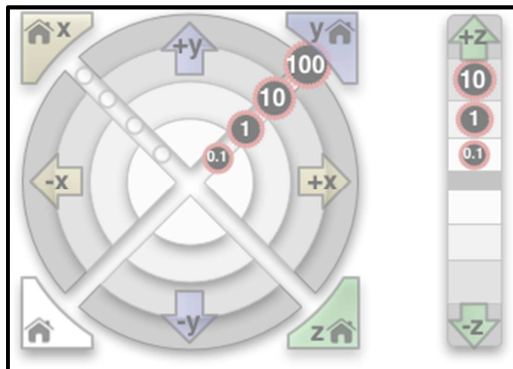
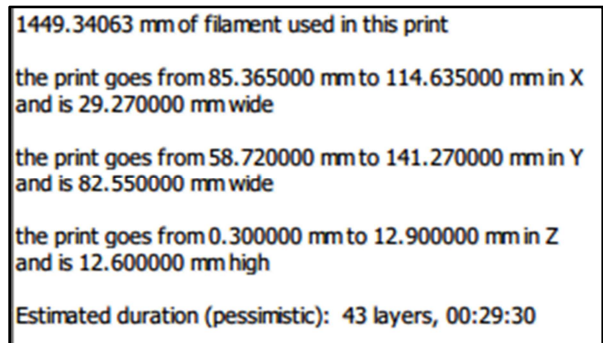


Figura. Interfície - Detall 3

En aquesta imatge es pot veure el quadre de comandament de la impressora. Amb aquests botons es fa moure la impressora en els 3 eixos a l'espai: X, Y i Z. Els botons acompanyats d'una casa mouran l'extrusor a l'origen de coordenades.

⁴ Cal haver calibrat la impressora abans de començar, a més de trobar els orígens de coordenades.

4 MILLORES DEL CONJUNT

Durant la realització d'aquest projecte es van anar trobant problemes que, amb menor o major influència, disminuïen la capacitat productiva de la impressora 3D ubicada al taller del GREP. Alguns d'aquests problemes van, fins i tot, impossibilitar el seu ús, requerint moltes més hores de treball de les que en un principi s'havien intuït. Es va demanar permís al GREP per poder treballar en millores mecàniques i del circuit electrònic per tal de poder fer anar la màquina un altre cop i en òptimes condicions. Tot i no poder imprimir el disseny del motllo degut a la durada limitada del projecte, la idea d'aquest era posar la màquina en condicions aptes per a una futura impressió del motllo per part del departament. Durant el procés de adaptació de les millores a la maquinària, es va creure que la millor forma de dividir-les era en dos: unes necessàries (sense elles la impressora no hagués funcionat); i altres per augmentar l'ergonomia durant la seva utilització (no eren necessàries, però implementant-les estalviava molt de temps per fer funcionar o arreglar la impressora). Tot i així, s'opta per diferenciar les millores entre mecàniques i elèctriques/electròniques, ja que és més intuïtiu i fàcil de compactar. En resum, aquest apartat es divideix en dos subapartats:

- 4.1 Millores mecàniques
- 4.2 Millores electròniques/elèctriques

4.1 Millores mecàniques

En aquest subapartat es descriuen tres casos problemàtics els quals van ser solucionats mecànicament. Aquestes millores van ser realitzades al taller de mecànica del PII amb material del departament. Es va demanar permís a tècnics del GREP per tal de adaptar la impressora.

Aquests tres problemes, possiblement els més greus dins la categoria "millores mecàniques", es divideixen en els següents:

- 4.1.1 Acoblaments entre motors dels eixos Z i guies roscades
- 4.1.2 Evitar aguantar el pes de l'eix Y amb els motors Z.
- 4.1.3 Arreglar problema de clavament a les guies roscades

4.1.1 Acoblaments entre motors dels eixos Z i guies roscades

Un dels principals problemes que presentava la impressora eren els acoblaments que ajuntaven la guia roscada amb l'eix del motor. Aquests eren de plàstic i fabricats amb aquesta mateixa impressora 3D, com moltes altres peces de l'estructura. El principal problema d'aquesta unió és el desgast que presenta una peça de plàstic que, a més, aguanta tot el pes situat entre les dues guies roscades (figura 27). Amb el temps, una d'aquestes dues peces es va anar desgastant fins el trencament (figura 25).

La solució proposada i adoptada va ser fabricar uns acoblaments nous de llautó, com els que es poden veure a la figura 23. La implementació d'aquesta peça cilíndrica dóna més robustesa i precisió al conjunt. Presenta tres presoners que a més permeten alinear l'eix de la barra roscada respecte l'eix del motor. Al document PLÀNOLS (apartats 2 i 3) es poden veure els plànols del muntatge amb acoblament de plàstic i el muntatge amb el nou acoblament de llautó. També s'ha dibuixat un plànol d'aquest acoblament, el qual va ser utilitzat a l'hora de fabricar-lo.



Figura 23. Acoblament de llautó



Figura 24. Acoblament de plàstic

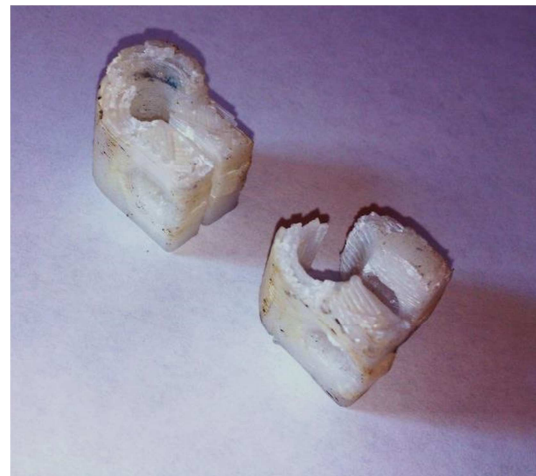


Figura 25. Acoblament de plàstic trencat

4.1.2 Evitar aguantar el pes de l'eix Y amb el motor

Segons el disseny del prototip que es té al laboratori, el pes de l'eix Y és aguantat pels motors que accionen el moviment en l'eix Z. És a dir, tot el pes d'aquest eix Y (motor Y, motor extrusor, barres de l'estructura, extrusor, etc.) penjava dels dos motors Z. Aquesta configuració no és la més adient, ja que pel bon funcionament del motor s'hauria d'evitar que aquest aguantés el pes del sistema, centrant-se només en fer girar l'eix. A més, aquest tipus de motor (*Nema 17*) no estan precisament dissenyats per aguantar càrrega axial. A la figura 26 s'observa com són els motors els que aguanten tot el pes, mentre que la figura 27 mostra un esquema simplificat de l'estat de càrregues sobre el mecanisme per fer més clara la idea.

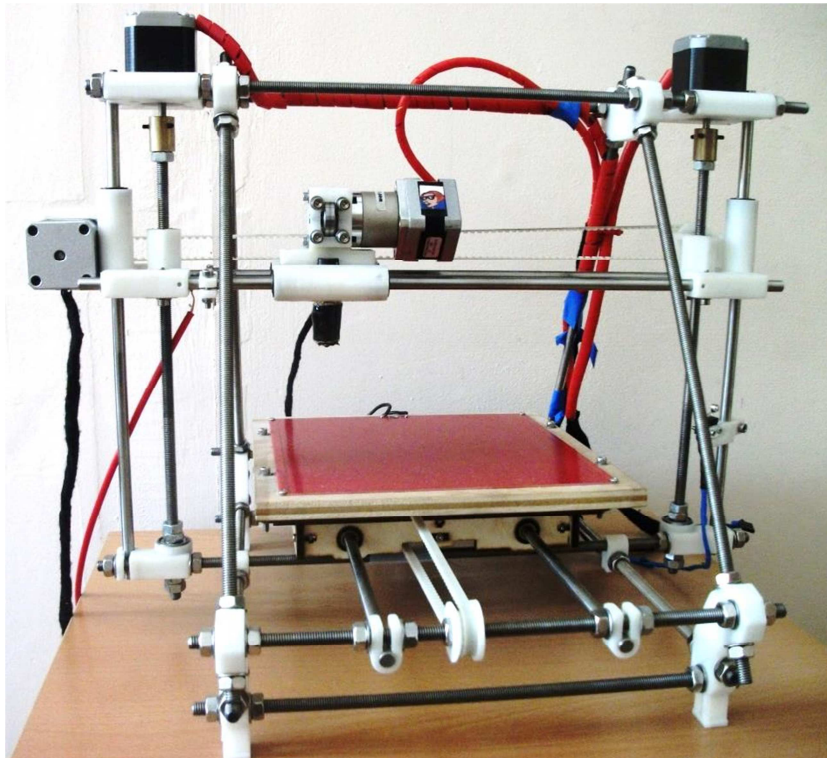


Figura 26. Imatge de la impressora 3D

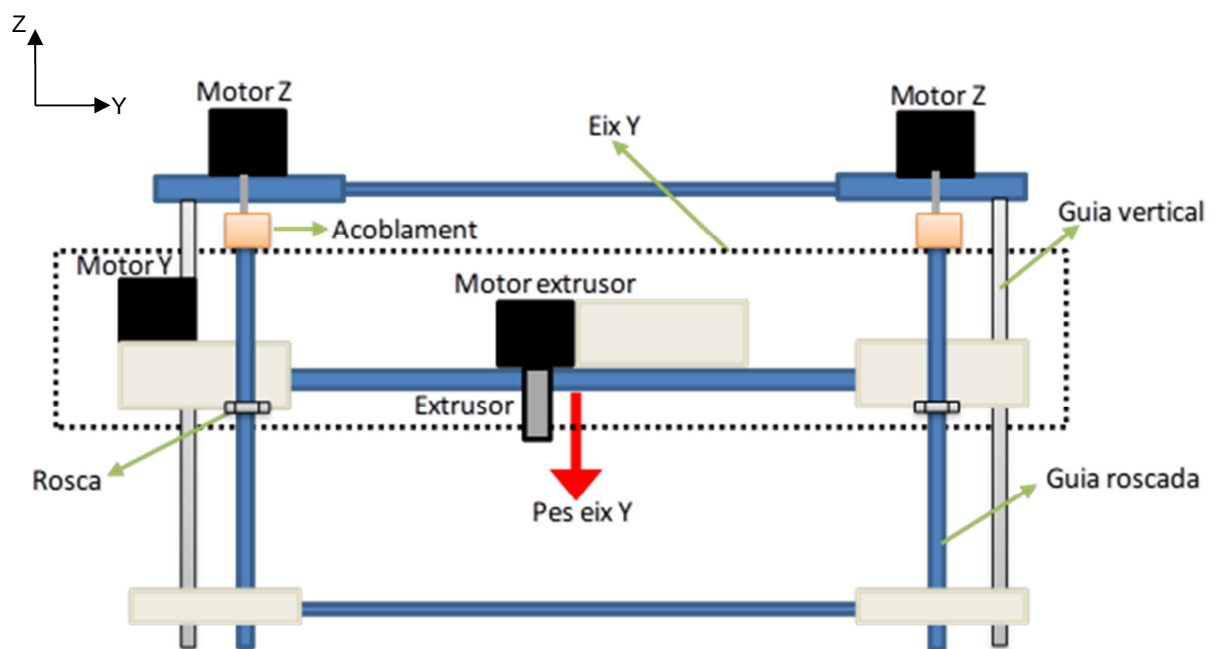


Figura 27. Esquema simplificat eixos Y i Z

Com es pot observar a l'esquema simplificat, el pes de l'eix Y (rodejat amb línia discontinua) és aguantat, primerament, per les dues rosques sobre les guies roscades. Aquest pes es trasllada als acoblaments, per després passar als motors. Es va adaptar la solució més lògica, recolzant el pes del sistema sobre els rodaments situats a la part inferior de la guia. S'utilitza un mecanisme de contrafemella tant per sobre com per sota del rodament (figura

29), i es descargolen els motors de l'estructura de la impressora (figura 28). Amb això s'aconsegueixen dues coses: el mecanisme de contrafemella superior evita que el motor aguantí el pes de l'eix Y, per tant l'allibera de fer força axial i concentra tot el pes sobre els rodaments. Per altra banda, el mecanisme de contrafemella inferior evita que les barres roscades pugin, ja que com s'ha dit anteriorment, els motors no estan cargolats a l'estructura. A l'apartat 3 del document PLÀNOLS es pot veure també aquesta millora.

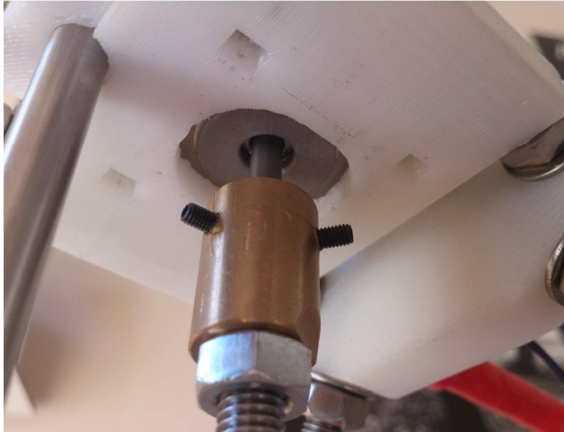


Figura 28. Motor sense cargolar a l'estructura

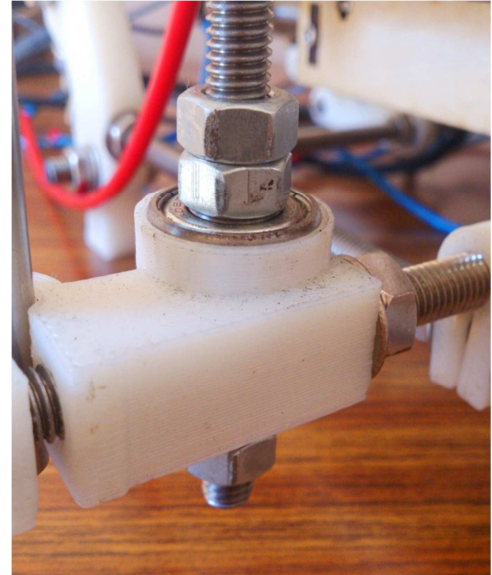


Figura 29. Mecanisme contrafemella sobre rodament

4.1.3 Problemes amb les guies roscades

Un problema bastant greu el qual es va trobar imprimint peces de grandària considerable era el clavament de les guies roscades durant la impressió i, per tant, la anul·lació total d'aquesta independentment de l'avanç. La excessiva restricció de paral·lelisme entre les guies verticals i les guies roscades limitava el moviment en diferents punts del recorregut. La forma més fàcil d'arreglar això era alliberar els motors de l'estructura, per tal que les barres roscades no treballessin com a guies, sinó que només s'encarreguessin de fer pujar i baixar l'eix Y.

Per altra part, una de les raons que feia clavar les barres roscades era la peça de plàstic de l'estructura que es pot apreciar a la figura 30 (peça a la qual està cargolada la placa d'alumini). El moviment amunt-avall de l'eix Z feia que les femelles situades dins del forat anessin sortint durant la impressió (possiblement pel desgast del plàstic), i a la llarga aquesta femella podia clavar el mecanisme degut a forces excessives de contacte entre el pas d'aquesta i la barra.

La solució que es va adoptar per evitar aquest problema va ser tancar la femella dins el seu espai de treball mitjançant una placa metàl·lica tal i com es pot apreciar a la figura 30,

impossibilitant que sortís de cap manera, ja fos un moviment ascendent o descendent. Aquesta placa d'alumini es va fer a les guies roscades dels dos eixos per tancar les respectives femelles i evitar que sortís cap de les dues. El plànol d'aquest mecanisme es pot veure a l'apartat 3. del document PLÀNOLS.

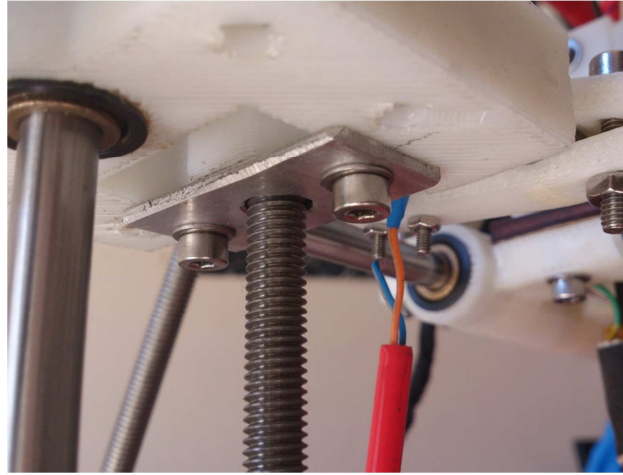


Figura 30. Placa d'alumini evitant sortida de la rosca

4.2 Millores Electròniques/Elèctriques

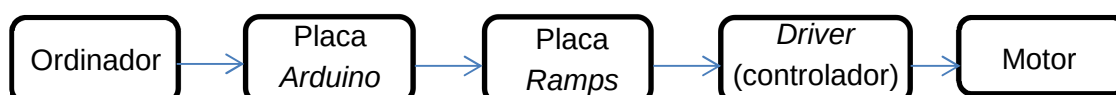
Aquests problemes potser van ser el que més dificultat van portar a l'hora d'arreglar el funcionament de la màquina. Degut a la manca de coneixements sobre electrònica, el treball efectuat en aquest apartat va requerir molt de temps, impossibilitant la possible impressió del motllo un cop dissenyat. Aquest apartat es divideix en dos:

- 5.2.1 Error a la placa *Arduino*
 - o Descripció del problema
 - o Solució
- 5.2.2 Implementació d'interruptors per tallar el pas de corrent.

4.2.1 Error a la placa *Arduino*

Descripció del problema

Degut a la connexió i desconnexió de cables de la placa amb molta freqüència, algunes sortides de la placa *Arduino* es van fer malbé. La connexió entre la placa de *Arduino* i els motors es realitza mitjançant la placa *Ramps* i els drivers. Aquesta placa *Ramps* és l'encarregada de fer de pont entre les senyals que provenen de l'*Arduino* i els components de la impressora. L'esquema 3 mostra un diagrama molt simplificat de la connexió entre l'ordinador i el motor.



Esquema 3. Esquema simplificat interacció ordinador-motor

A les figures 31, 32 i 33 es poden observar una placa *Arduino*, una placa *Ramps* i un controlador (*driver*), respectivament. La figura 34 intenta representar la connexió entre la placa *Arduino* i el controlador del motor. Les figures que apareixen en aquest esquema són detalls de les zones marcades amb vermell a les figures 31, 32 i 33. Aquest esquema es simplifica molt per tal de no fer confusa l'explicació.

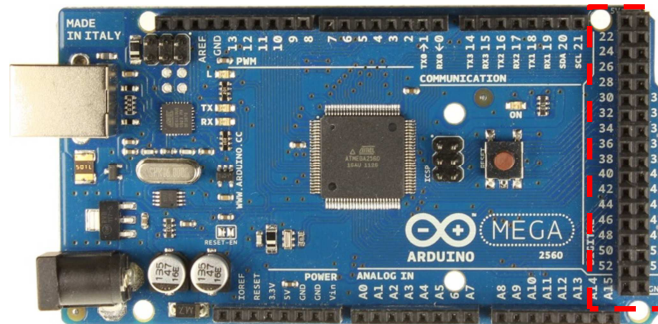


Figura 31. Imatge d'una placa *Arduino*, assenyalant els pins de sortida que controlen els motors

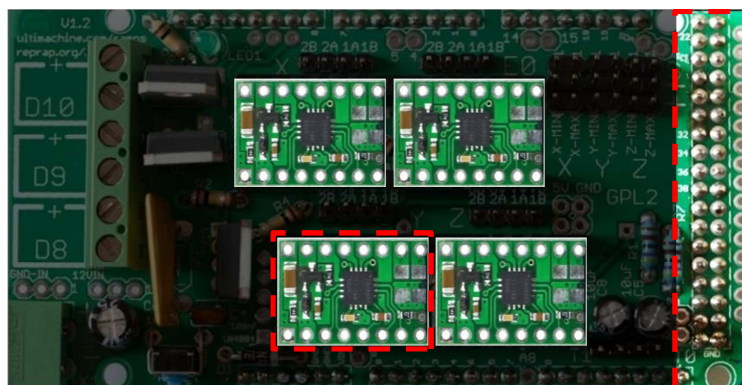


Figura 32. Placa *Ramps*, assenyalant 1 dels 4 "drivers" i les entrades que uneixen aquests amb *Arduino*

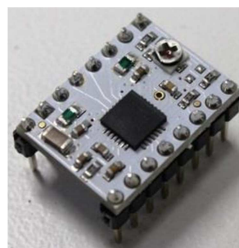


Figura 33. Controlador (*driver*) utilitzat

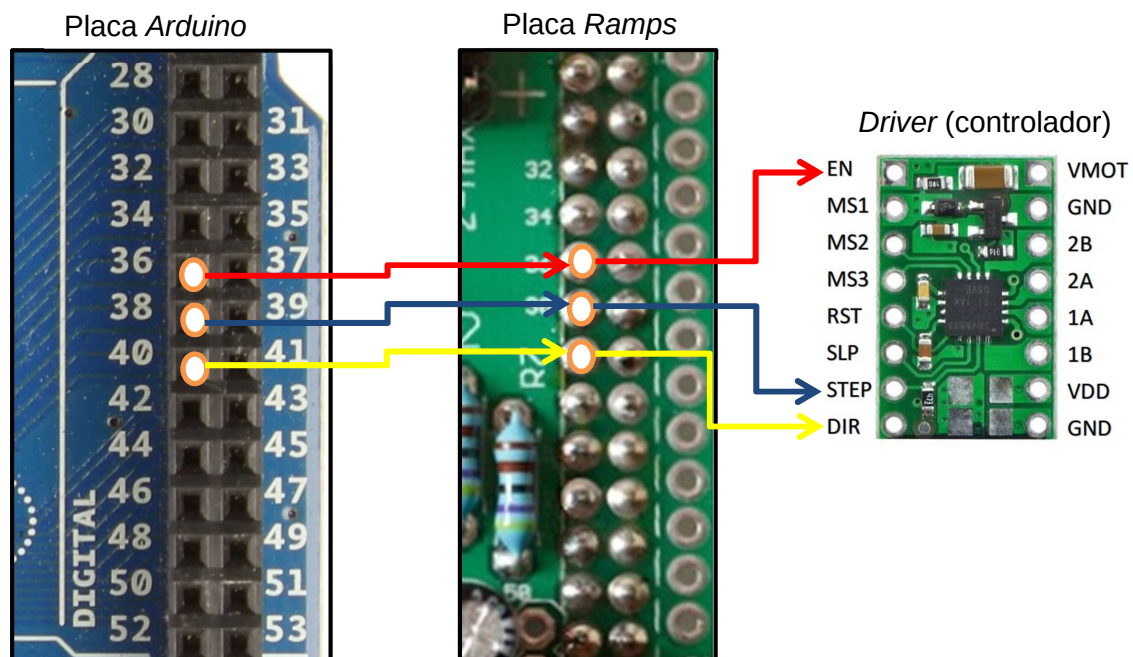


Figura 34. Esquema de connexionat entre Arduino i el controlador (exemple amb el motor de l'eix Y)

De les 16 potes de cada controlador (*driver*), 3 d'elles van directament connectades amb la placa Arduino mitjançant la placa Ramps com a pont. Aquestes tres potes tenen la funció de activar el motor, determinar el sentit de gir, i donar-li el pas que es vol, i són les següents:

- *EN*: Entrada d'alimentació elèctrica cap al driver.
- *Step*: Determina el pas del motor. *Arduino* envia un voltatge constant cap al driver i fa moure el motor tants graus com estona rebí voltatge.
- *Dir*: Determina la direcció en la qual gira el motor. *Arduino* dóna dos voltatges al driver, els quals van associats al gir del motor (per exemple: una senyal de 5 V fa girar el motor a esquerres, mentre que 0 V el fa girar a dretes).

El problema que es va detectar va ser al motor Y. Els 3 pins de l'*Arduino* que connectaven amb les 3 potes del driver (*EN*, *Step* i *Dir*) no enviaven cap senyal a aquest, o dit d'una altra forma, enviaven valors de voltatge diferents dels valors que s'havien de donar. Per poder mesurar aquest voltatge, es va agafar la placa *Arduino* i se li va mesurar la tensió a les 3 sortides de cada motor: un cable es va connectar a les sortides de cada motor (*EN*, *Step*, *Dir*), i l'altre al terra de la placa. Mitjançant el programa *Pronterface* es va donar instruccions als motors de que es moguessin, i amb un tester mesurant els dos cables es podia veure quin voltatge enviava la placa cap a la impressora per fer moure'ls. La figura 35, exemple de la sortida *EN* del motor Y, intenta clarificar l'explicació.

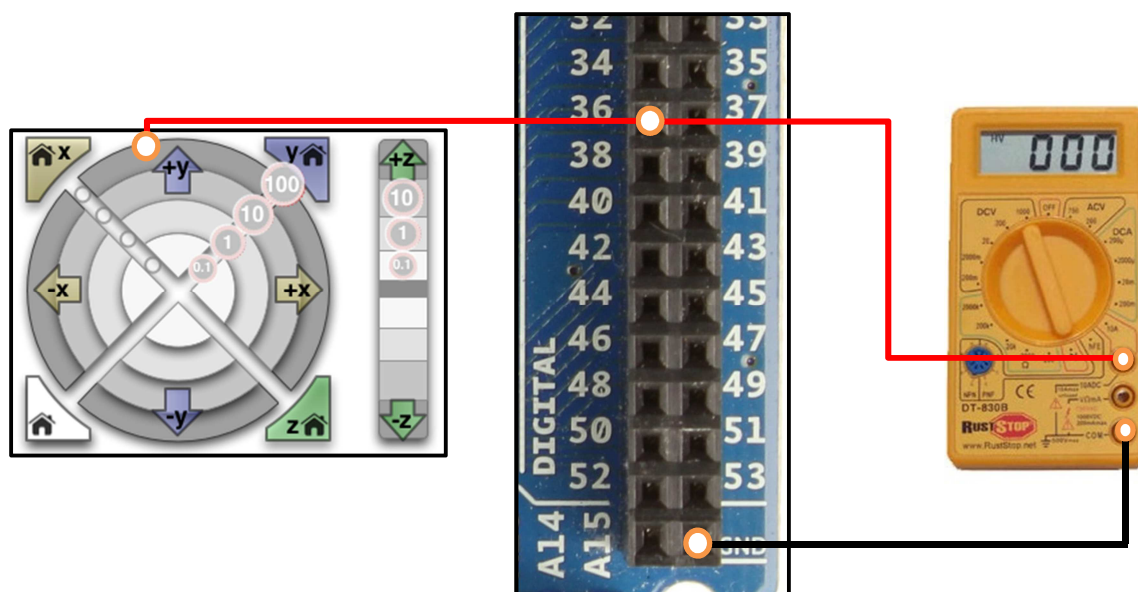


Figura 35. Connexionat per determinar la tensió que surt pel pin EN del motor Y (pin 36)

A la següents taules queden registrats els valors de les mesures dels voltatges dels quatre drivers, així com la relació entre cada pin de l'Arduino i les potes del driver:

Taula 4. Voltatges mesurats al motor X

Motor X				
Pin Arduino	Pota driver	Voltatge en repòs (V)	Voltatge activació (V)	
24	EN	5	0.02	
26	Step	0	0.04	
28	Dir	0	Esquerra	0
			Dreta	5

Taula 5. Voltatges mesurats al motor Y

Motor Y				
Pin Arduino	Pota driver	Voltatge en repòs (V)	Voltatge activació (V)	
36	EN	5	0.02	
38	Step	2	2	
40	Dir	0	Esquerra	0.27
			Dreta	0.02

Taula 6. Voltatges mesurats al motor Z

Motors Z				
Pin Arduino	Pota driver	Voltatge en repòs (V)	Voltatge activació (V)	
42	EN	5	0.02	
44	Step	0	0.11	
46	Dir	0	Esquerra	0
			Dreta	5

Taula 7. Voltatges mesurats al motor de l'extrusor

Extrusor			
Pin Arduino	Pota driver	Voltatge en repòs (V)	Voltatge activació (V)
30	EN	5	0.02
32	Step	0	0.06
34	Dir	0	5

Com es pot comprovar, hi havia un error als pins 38 i 40 de l'Arduino (taula 5). La senyal que enviava no era lògica comparada amb els altres motors. Això va demostrar que el problema era de la placa i que hi havia dues opcions: comprar una placa nova o intentar arreglar-lo d'una altra forma. Es va optar per la segona, i en cas que no funcionés, es compraria una de nova.

Solució

Les plaques d'Arduino tenen moltes sortides digitals, tal i com es pot apreciar a la zona marcada de la figura 31. De les dues fileres de pins que s'observen, la nostra impressora només utilitza els de l'esquerra. En canvi, la filera de la dreta no té cap funció assignada, essent allà per si es vol connectar algun altre dispositiu. Per tant, la idea era utilitzar uns altres pins de l'Arduino que no es fessin servir en comptes dels 36, 38 i 40, i veure si es podia solucionar d'aquesta forma. Per poder aconseguir-ho s'havia d'obrir el programa escrit en codi que controla la impressora i modificar-lo, substituint els que no funcionaven pels nous. Es van canviar els pins 36, 38 i 40 pels pins 43,45 i 47 respectivament, i els resultats que es van obtenir testejant la tensió van ser els següents:

Taula 8. Voltatges mesurats al motor Y després de canviar els pins

Motor Y			
Pin Arduino	Pota driver	Voltatge en repòs (V)	Voltatge activació (V)
43	EN	5	0.02
45	Step	2	(2) → 0.04
47	Dir	0	Esquerra (0.27) → 5
			Dreta (0.02) → 0

L'únic problema que va representar canviar els pins, va ser que s'havia de fer un pont entre els nous i els vells a la Ramps ja que els camins d'aquesta són fixes i unien els pins 36, 38 i 40 amb el driver. Per tant, es va haver de soldar cables des de els pins nous fins als vells per tal de fer contacte amb el driver. A la següents figures, 36 i 37, es poden apreciar, primer, una foto dels cables soldats actuant com a pont, i després un esquema amb més detall i intentant explicar el per què d'aquesta soldadura:

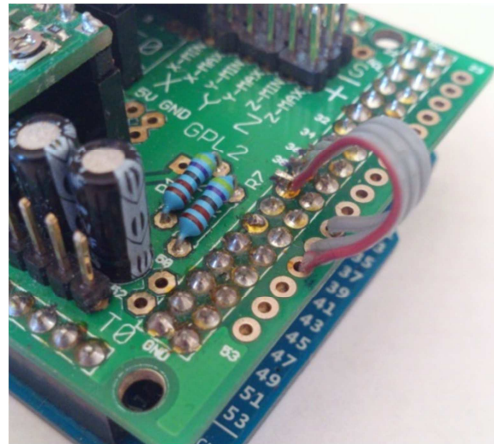


Figura 36. Soldadura sobre la placa *Ramps*

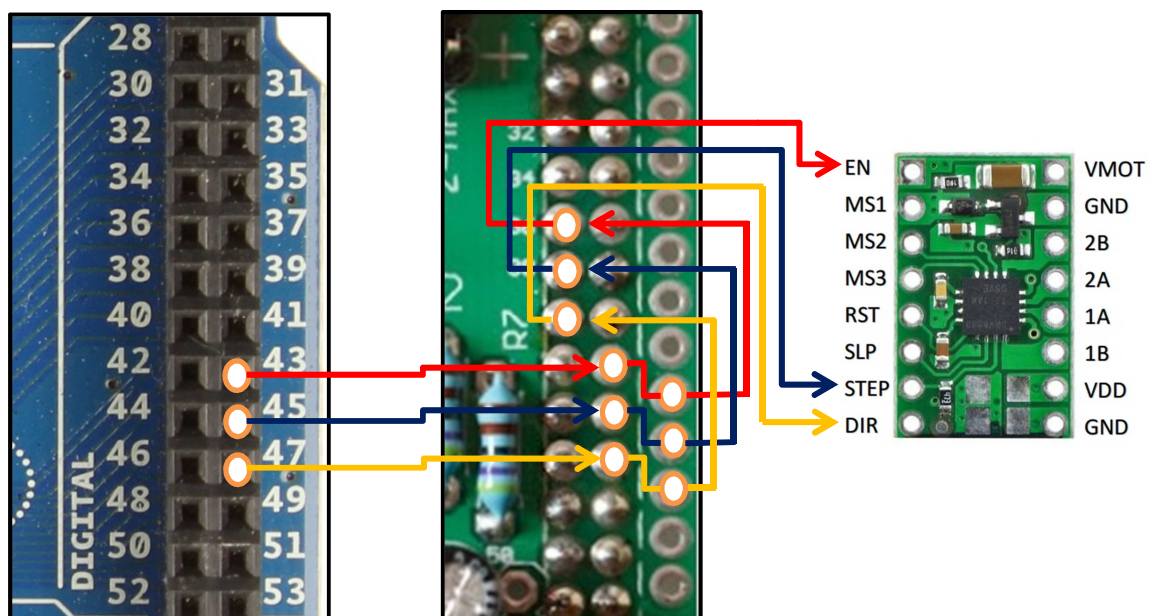


Figura 37. Nou connexionat motor Y entre *Arduino* i controlador

4.2.2 Implementació d'interruptors

Cada cop que s'havia de fer algun canvi de connexió a la placa *Ramps* s'havia de desconnectar l'endoll del transformador de la corrent elèctrica, incomodant l'ús per part de qui treballa amb ella. A més, una bona impressió ve determinada (deixant de banda la temperatura de l'extrusor) per la temperatura de la taula o llit sobre la qual s'imprimeix. Depenent de si es tracta de PLA o d'ABS, la temperatura variarà. Inicialment aquesta taula portava un sensor tèrmic connectat a l'electrònica per tal de controlar aquesta temperatura i establir-la des de l'ordinador. Aquest sensor era molt inestable i marcava temperatures errònies, potser per la influència de la temperatura ambient, per la qual cosa es va decidir no connectar-lo. La no connexió d'aquest va fer que durant les impressions el llit s'anés escalfant de sobre manera, arribant a temperatures molt elevades i va fer inclús que algunes

connexions a la placa acabessin fonent-se, però sense impossibilitar el funcionament. Tot i que es va optar per desconectar l'escalfador del llit a mà, traient els cables connectats a la placa quan es considerava que la temperatura d'aquest era l'adequada per imprimir, la implementació d'un interruptor donava un augment de l'ergonomia en quant a la utilització de la impressora.

Es van implementar dos, instal·lats dins la mateixa caixa. Un talla el pas de corrent des del transformador fins a la placa *Arduino*, mentre que l'altre connecta i desconecta la corrent que escalfa el llit. Es pot apreciar a la figura 38.

L'interruptor vermell és l'encarregat de tallar la corrent que passa de la font d'alimentació cap a la placa *Arduino*. Quan hi ha corrent circulant, el led verd que es veu a la figura s'encén.

Els cocodrils, en canvi, serveixen per connectar i desconectar el llit quan l'usuari ho vulgui. Amb desconectar qualsevol d'aquests dos, s'obre el circuit i la taula deixa d'escalfar-se.

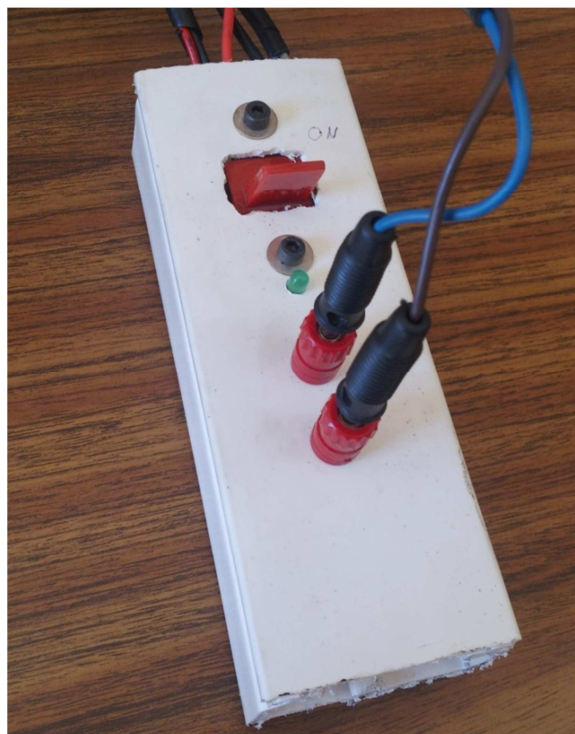


Figura 38. Panell per controlar el pas de corrent cap a la placa *Ramps*

La següent figura mostra un esquema simplificat del funcionament d'aquests interruptors. S'han dibuixat l'interruptor de la placa *Ramps* i els cocodrils del llit de forma separada (no dintre de la mateixa caixa de control) per fer l'esquema més entenedor.

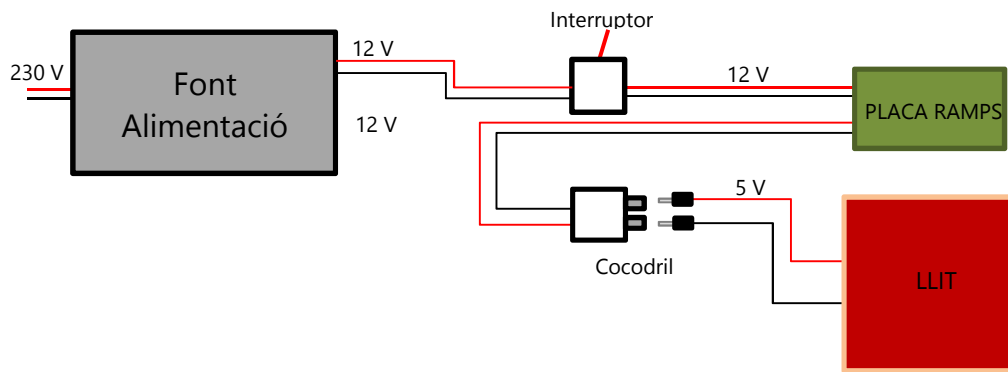


Figura 39. Esquema del connexionat implementat per controlar la placa *Ramps* i el llit

Per veure més informació relacionada amb les millores que s'han fet sobre la maquinària s'ha d'anar a l'*Annex A. Millores*, on queden detallats més problemes i les seves respectives solucions relacionades amb la impressora.

5 DISCUSSIÓ DE RESULTATS

El resultat d'aquest projecte, si bé no va ser l'estrictament pensat inicialment, deixa unes pautes, un disseny i una maquinària preparades per donar peu a una futura continuació per part del departament. La realització d'aquest projecte va veure's ambientada, a més de l'adaptació del motllo i la metodologia de fabricació, en trobar problemes sobre el mecanisme i l'electrònica del sistema i intentar arreglar-los per deixar la màquina en condicions.

Per tant, l'estudi d'aquest projecte va prendre la direcció següent:

- Explicar les falles que anessin sortint durant la documentació d'aquest, i intentar deixar la màquina a punt per tal que algun membre del departament pogués terminar amb la impressió amb un resultat final.
- Estudiar i resoldre com adaptar el disseny d'un motllo d'alumini a un d'ABS amb un programa de dibuix en 3D per tal de fabricar una pròtesi traqueal.
- Documentar una metodologia d'impressió mitjançant la qual un tècnic pot portar a terme la conformació del motllo.

Es van dissenyar **millores mecàniques i electròniques** per la impressora. Dins les **mecàniques**, s'han fet nous acoblaments per poder moure els eixos Z, ja que els anteriors de plàstic donaven molts de problemes. El disseny dels nou acoblaments de llautó van fer el conjunt molt més rígid, i la implementació de presoners per ajustar-lo a l'eix del motor millora el problema d'alineació entre les guies verticals i les guies roscades, les quals estaven massa restringides per poder moure's amb harmonia.

Per altra banda, la implementació d'un sistema de contrafemella sobre les guies roscades va suprimir les càrregues axials a l'eix del motor, centrant part del pes de l'estructura sobre els rodaments situats a la part inferior de la guia roscada. Això va donar més estabilitat al motor, que només ha d'aguantar un esforç torçor per fer girar l'eix i es descarrega quasi completament de forces axials.

Fent referència a l'**electrònica**, es van canviar molts components i es van substituir per alguns de nous, i els que no es van canviar es van arreglar o posar a punt. Molts dels connectors que anaven de la impressora a la placa Ramps estaven fets malbé o a punt de trencar-se, i la renovació o reparació d'aquests va fer funcionar la impressora novament.

Com a conclusió, les millores efectuades van fer funcionar la impressora amb l'excepció de l'extrusor, que es va trencar quasi al final del projecte. Es va demanar a una empresa de Barcelona dedicada a aquest tipus d'impressora si es podria comprar un extrusor nou, però malauradament no en tenien en estoc.

Tot i així, l'electrònica va acabar funcionat, al igual que els problemes amb les guies roscades que solien quedar travades.

Es pot dir, llavors, que la posada a punt de la màquina ha sigut satisfactòria, i que només faria falta comprar un extrusor nou i adaptar-lo a la impressora.

Per altra banda, la **metodologia** escrita durant aquest projecte es considera útil per una possible impressió futura d'algú del departament, facilitant el procés i estalviant temps al tècnic que ho faci. Com que aquest projecte va començar conjuntament amb altre persona que també utilitzava la màquina, inicialment es va poder arribar a imprimir i per tant corroborar que la metodologia utilitzada és correcta ja que els resultats van ser satisfactoris. A més, aquesta metodologia serveix per qualsevol tipus de peça a fabricar, no tan sols del motllo, per la qual cosa podria ser aprofitat per altres motius.

En quant a l'**adaptació del motllo**, es creu que pot funcionar ja que es va partir d'un motllo d'alumini existent que sí funcionava, a més de pensar en molts detalls per tal d'adaptar-los a aquesta màquina d'impressió en 3D. Segurament, la hipotètica impressió d'aquest hagués donat lloc a millorar el conjunt i evitar possibles errors de disseny. Tot i així, es detallen les idees que es van tenir a l'hora de dissenyar-lo i s'explica el per què del disseny.

6 RESUM DEL PRESSUPOST

El pressupost total que comporta l'elaboració d'aquest projecte, incloent el disseny del motllo, l'estudi i la documentació de la metodologia per a fabricar-lo, l'ajustament i millorament de la màquina i els dispositius comprats i fabricats per posar a punt la impressora ascendeix a:

SIS MIL CENT DINOU EUROS.....(6119 €)

7 CONCLUSIONS

Tot i no haver-se pogut imprimir el motllo, es va documentar el que va dificultar la seva conformació i com s'han anat solucionant obstacles que han aparegut durant el temps que va durar el projecte.

Els inconvenients trobats a l'hora de voler imprimir i la seva solució van donar pauta a un capítol de millores amb el qual una persona es pot basar per arreglar possibles errors i superar-los. Aquests errors, tant mecànics com electrònics, poden servir com a base per a futures impressions en cas que sorgeixen errors o a l'hora de dissenyar futures impressores, ja que les millores no només són imprescindibles pel funcionament, sinó que també augmenten la robustesa del sistema i el fan més ergonòmic.

La conclusió d'aquest projecte és pren com a positiva, ja que es va posar a punt una impressora que quan es va manipular per primer cop va fallar en diversos aspectes (cal dir que es tracta d'un prototip i per tant sempre es pot millorar). Conjuntament amb l'adaptació i disseny del motllo i la detallada metodologia redactada per fabricar-lo, les millores establertes sobre la màquina deixen les portes obertes a persones del departament que vulguin imprimir el motllo seguint la metodologia i passos documentats, i amb la certesa que la màquina, amb la fàcil implementació d'un nou extrusor, podria fer-ho.

8 RELACIÓ DE DOCUMENTS

Aquest projecte es compon dels següents documents:

- Document 1. Memòria i annexos a la memòria
- Document 2. Plànols
- Document 3. Pressupost

9 BIBLIOGRAFIA

Additive Manufacturing. 2013. Additive Manufacturing. Juny 2013.

<http://additivemanufacturing.com/>.

RepRapBCN. 2010. Fundació Cim. Juny 2013. <http://www.reprapbcn.com/>.

RepRap. 2009. RepRapOrg. Juny 2013. <http://reprap.org/>.

Wikipedia. 2008. Wikipedia. Juny 2013. <http://www.wikipedia.org/>.

Arduino. 2008. Arduino. Juliol 2013. <http://arduino.cc/>.

Ardumanía. 2011. Ardumanía. Juliol 2013. <http://www.ardumania.es/>.

Download Slic3r. 2011. Slic3r. Juny 2013. <http://slic3r.org/>.

Tecnología de los plásticos. 2011. - . Juny 2013

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/>.

Fabricación Aditiva. 2008. Cotec. Juny 2013. <http://www.cotec.es/>.

Pronterface Installation. 2009. Next Day RepRap. Juny 2013.

<http://www.nextdayreprap.co.uk/>.

ANNEXOS

Annex A . Millores

En aquest apartat es descriuen més problemes que van anar apareixent amb el temps, però que potser la seva reparació no va comportar tant de temps com els descrits a l'apartat 5. *Millores*. Tots aquests problemes són de calibre electrònic/elèctric, motiu pel qual, tot i no ser complexos, es va trigar més del compte ja que els coneixements inicials del sistema i les seves connexions eren nul·les. Així doncs, aquest apartat queda dividit en 4 parts:

- A.1 Soldadura a l'extrusor
- A.2 Escalfament del llit
- A.3 Connexió dolenta cablejat que unia la impressora amb la placa *Ramps*
- A.4 Soldar i recobrir amb retràctil el cablejat d'un final de cursa

A.1 Soldadura a l'extrusor:

El primer problema que va donar la màquina des d'un principi va ser el precari estat que presentava l'extrusor. Aquest es connecta a la placa *Ramps*, la qual l'alimenta a partir de la font d'alimentació. Aquest extrusor funciona amb una resistència tèrmica que s'escalfa fins que arriba a la temperatura desitjada (porta incorporat un sensor de temperatura). El problema era que la soldadura que hi havia a l'extrusor no era bona, i per tant moltes vegades el simple fet de moure l'extrusor per sobre el llit, feia que la soldadura es separés i no escalfés. Això es va determinar obrint l'extrusor, com es pot veure a la figura 40. A més, com es pot apreciar, es veu com la ceràmica que recobreix aquest extrusor (funciona com a aïllant tèrmic) està trencada. Un cop feta la soldadura, es va haver de recobrir aquesta ceràmica amb cinta *Kapton*.



Figura 40. Extrusor fet malbé

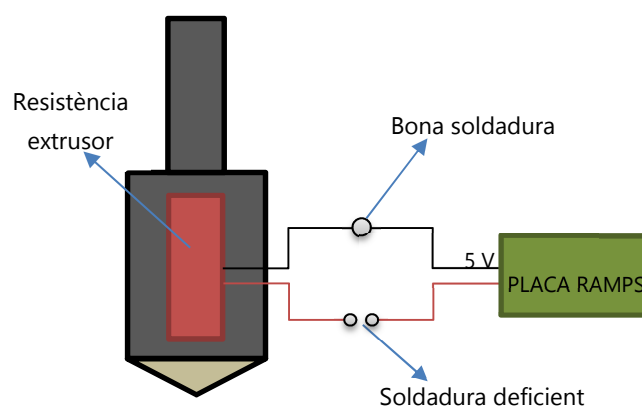


Figura 41. Esquema simplificat
connexionat extrusor

Es va haver de soldar els cables per escalfar la resistència i envoltar l'extrusor amb cinta. Amb el pas del temps, va tornar a donar problemes ja que la temperatura a la qual s'escalfava l'extrusor era tan elevada que fonia la soldadura i els tornava a separar.

A.2 Escalfament del llit

Aquest problema recau en el mal funcionament del sensor de temperatura que porta incorporat el llit, el qual es recolzava directament sobre el ell i mesurava la seva temperatura. Aquest no funcionava bé i, per tant, es va prescindir d'ell desconnectant-lo de la placa *Ramps*. L'escalfador del llit anava també connectat directament a la placa *Ramps*, com es pot veure a la figura. Això va comportar que un moment abans d'imprimir s'activés el llit, i just després d'imprimir la primera capa de material (es necessari escalfar durant la primera capa per assegurar una bona adherència entre el llit i el material), es desconnectés aquest cable directament de la placa *Ramps*. Això va fer que el connector de la placa *Ramps* s'acabés fonent degut a la continua connexió i desconnexió, com es pot veure a la figura 42.

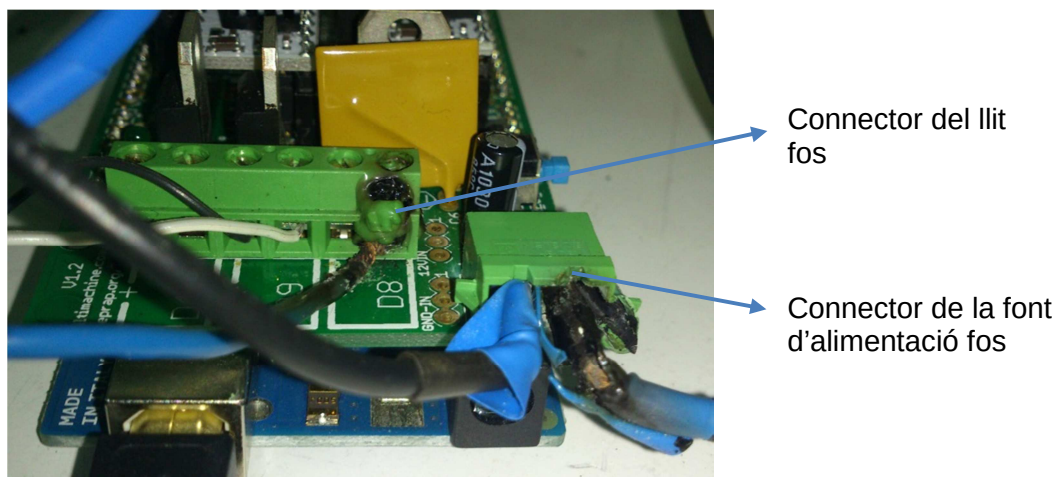


Figura 42. Connectors fosos

Es va haver de comprar connectors nous, substituir-los pels vells (dessoldant-los i soldant els nous) i implementar una mena d'interruptor amb el qual evitar la connexió i desconnexió del llit es fes directament des de la placa *Ramps*. Com s'ha explicat a l'apartat 5.2.2, el que es va fer per evitar que aquest problema tornés a ocórrer va ser la implementació dels cocodrils que obrien o tancaven el circuit.

A.3 Connexió dolenta en el cablejat que unia la impressora amb la placa *Ramps*

Molts dels connectors que venien dels motors/finals de cursa/resistències cap a la placa *Ramps* estaven fets malbé. De fet, es van cremar dos drivers (controladors) de motors degut a aquest problema. Aquests últims són molt sensibles, i la contínua connexió i desconnexió del cablejat que va cap a ells mentre hi ha corrent al circuit pot ésser molt perjudicial. El

connector (en aquest cas del motor de l'eix X) no presentava un estat òptim. Que els pins no estiguessin completament dins del plàstic ocasionava freqüents falles a la connexió entre *driver* i motor, ocasionant un mal funcionament del motor en mig d'una impressió o inclús immobilitzant-lo. Llavors, la solució era manipular aquests pins i ficar-los una mica més dintre del plàstic per tal que connectés amb la placa, però, tal i com s'ha dit al llarg del treball, això és molt perjudicial pel circuit si hi ha corrent circulant.

Per tant, es va decidir canviar totes les connexions que no tinguessin un bon aspecte, substituint aquests connectors per uns altres de nous amb l'objectiu d'evitar la manipulació del circuit durant el funcionament de la impressora.

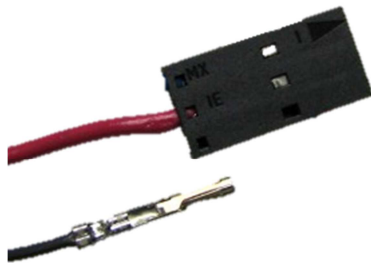


Figura 43. Connector amb 1 pin tret



Figura 44. Connectors nous

A.4 Soldar i recobrir amb retràctil el cablejat d'un final de cursa

Cadascun dels tres eixos té un final de cursa que marca el zero del seu sistema de referència. A partir d'aquest zero, la màquina sap on ha d'anar per tal d'imprimir la peça, i així delimitar la zona d'impressió dins la grandària del llit. Per tant, la importància de la fiabilitat d'aquests finals de cursa és molt gran, i s'ha d'evitar que hi hagi lloc per l'error. En aquest sentit, el final de cursa de l'eix Z presentava problemes d'ajustatge. La forma mitjançant la qual estava fixat a la bancada no el feia molt precís, ja que només estava subjectat per un punt i això donava certa inestabilitat. El que es va fer va ser fixar-lo d'una forma molt més robusta, fent que la fiabilitat d'aquest augmentés. A la figura 46 es pot observar com va quedar finalment.

És visible també què es van tornar a soldar els dos cables que anaven cap al final de cursa, mentre que a més es va recobrir de material retràctil per fer aquesta zona molt més segura i estable en front a possibles cops o accidents.



Figura 45. Fi de cursa

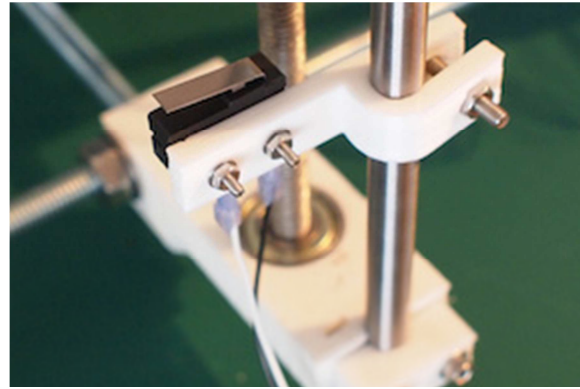


Figura 46. Fi de cursa muntat

Annex B . Breu metodologia per actuar si mal funcionament dels motors

Durant la realització del projecte es va tenir problemes amb diferents motors que per un motiu o un altre no es comportaven amb normalitat. En aquest apartat queden descrites possibles causes per les quals pot fallar un motor i s'intenta donar explicació de com solucionar-les. Aquestes es van separar per subapartats per poder ser desenvolupades posteriorment, i segueixen l'ordre que es va fer durant la localització d'errors als motors durant el projecte.

Les causes més freqüents per les qual un motor pot no actuar com és degut són:

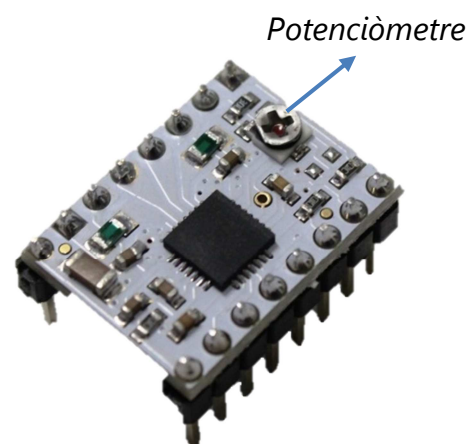
- 1. Error de connexió del cablejat de la impressora a la placa electrònica.
- 2. Drivers (controladors)
- 3. Placa Ramps
- 4. Placa Arduino

1- Error de connexió del cablejat de la impressora a la placa electrònica.

Es comença observant possibles defectes a la connexió del cablejat que uneix el motor amb la placa electrònica. Cables oberts, fosos, o connexions entre connectors mascle i femella defectuoses, són la forma més fàcil de començar a tractar aquest error. Una mala connexió com les descrites, freqüentment, no anul·la completament el funcionament del motor ja que un simple ajustatge manual del cable amb el connector fa arribar la corrent. Manipular el cablejat metre està arribant corrent pot ser una forma d'observar si es tracta d'aquest tipus d'error.

2- Drivers (controladors)

Si les connexions del cablejat no són el problema del mal funcionament, el següent que es pot verificar és si es tracta d'un problema amb el *driver* (controlador). Aquest funciona com a connector entre la placa electrònica i el motor, captant les senyals de l'*Arduino* i fent moure el sistema motriu. Un driver cremat o espatllat pot impossibilitar el gir de l'eix motriu. Hi ha dos possibles escenaris pels quals un *driver* pot inutilitzar un motor: un driver fet malbé o el potenciòmetre del driver massa baix. La diferència entre aquests problemes és que un *driver* cremat no alimenta el motor, metre que un driver treballant a la seva mínima potència fa



arribar senyal i normalment es pot escoltar soroll del motor volent girar però sense tenir prou força per fer-ho. És molt fàcil comprovar si és problema del potenciòmetre ajustant-lo amb un tornavís. En cas que ajustant amb el tornavís no s'observin resultats, la forma més fàcil o àgil per veure si és problema d'un *driver* es substituir aquest per un de nou o per un altre a la placa que es sàpiga que funciona. Posteriorment, es comprova amb la màquina en funcionament si el motor gira.

És molt important que la font d'alimentació que dóna corrent a la placa estigui desconnectada mentre es manipulen les connexions. La connexió i desconnexió de *drivers* mentre hi ha corrent al circuit pot ser molt perjudicial per a aquest, arribant inclús a ocasionar el trencament del dispositiu. És per aquest motiu que s'ha implementat un panell de control molt simplificat però que alhora ha augmentat considerablement l'ergonomia a l'hora de treballar amb el mecanisme.

3- Placa Ramps

Si no es tracta del driver, la següent raó per la qual pot no funcionar és per deficiència a la placa *Ramps*. Aquesta funciona com a connectora entre els drivers i *Arduino* mitjançant camins que té ja implementats per defecte. Per tant, un creuament de connexions en algun d'aquests camins amb altres drivers podria ser la causa del mal funcionament del motor. Per tal de comprovar aquest error, s'hauria de fer el mateix que es va fer a l'apartat "5.2.1 Defecte a la placa *Arduino*", però amb la placa *Ramps* i els drivers connectats sobre *Arduino*. Mirar la tensió entre les potes del driver i el neutre, i comprovar si els valors són iguals per a cada driver. En cas afirmatiu, la placa *Ramps* funciona correctament. En cas negatiu, potser alguna resistència de la placa s'ha fos, algun camí s'ha creuat, o el problema és d'*Arduino*.

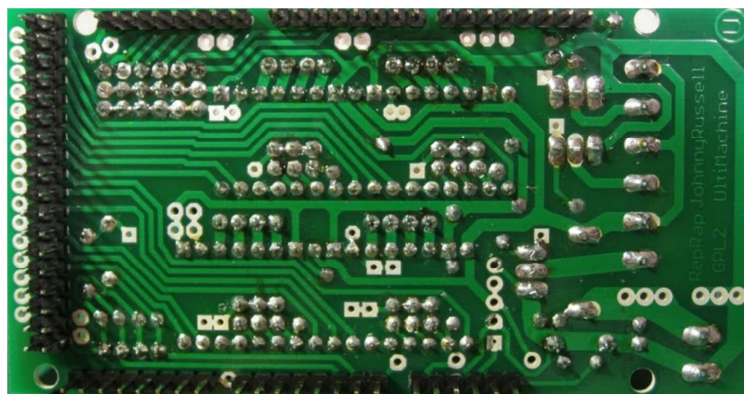


Figura 47. Part posterior placa Ramps

Com es pot veure a la figura anterior, la simple unió de dos camins mitjançant l'estany utilitzat com a soldadura podria donar lloc a errors.

4- Placa Arduino

Aquest pas és idèntic que el pas que es va explicar durant l'apartat "5.2.1 Defecte a la placa Arduino". En el cas que la tensió que es llegeixi no sigui lògica, el problema es troba a la placa Arduino, i per tant s'hauria de mirar de canviar el programa (*Firmware*, en aquest cas el *Sprinter*) de la impressora i activar uns altres pins per poder moure el motor. En el cas que la tensió sigui l'adequada, i tenint en compte que la connexió entre Arduino i l'ordinador és efectiva, possiblement sigui un error del motor.

En cas que Arduino ni tan sols es pugui connectar a l'ordinador havent instal·lats els drivers requerits, potser sigui un error d'aquesta placa (com ha passat a aquest projecte) i s'hagi de comprar una de nova. Segons informació que es va trobar a Internet, les plaques *Arduino Mega 2560* són més susceptibles a errors de connexió entre aquesta i l'ordinador, i per tant és més fàcil trobar-se amb fallades treballant amb elles.

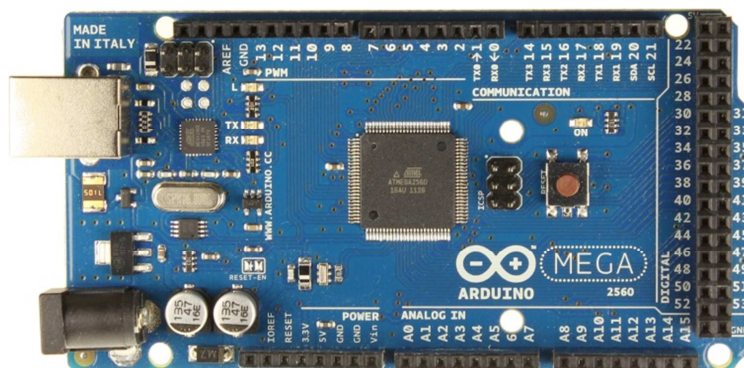


Figura 48. Placa Arduino MEGA 2560

Annex C . Manual Slic3r

Aquest annex pretén explicar els diferents paràmetres amb els quals es pot jugar per obtenir una peça amb unes o altres determinades característiques. El programa *Slic3r* és l'encarregat de transformar l'arxiu en format *.STL*, provinent d'un software de disseny en 3D, al format *.g-code*, amb el qual l'ordinador pot dir-li a la impressora què fer i com fer-ho.

Existeixen molts programes al mercat que fan la mateixa funció que el *Slic3r*, però aquest últim és de codi obert, fàcil d'utilitzar, gratuït i personalitzable.

Introducció al programa

Un cop descarregar i instal·lat, l'execució d'aquest ens mostra la següent finestra:

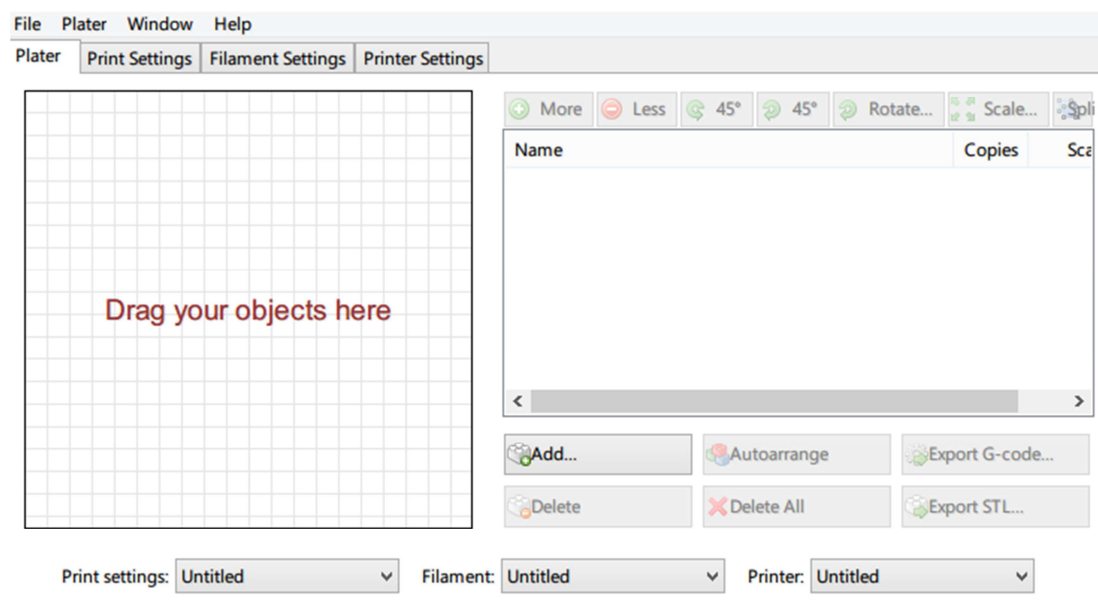


Figura 49. Interfície Slic3r

Aquesta és la pestanya principal. Es poden arrastrar directament els arxius *.STL* sobre la finestra i el programa els reconeixerà, o sinó amb el botó "Add" es pot buscar pels directoris de l'ordinador. Les pestanyes es veuen a la figura ASD i són:

- *Plater*
- *Print Settings*
- *Filament Settings*
- *Printer Settings*

Un cop carregada la peça que es vol exportar com a *G-code*, es va a la segona pestanya:

Print Settings

Aquest apartat del programa permet jugar amb paràmetres de la impressió, tals com la velocitat, la densitat que volem donar-li a la peça, l'acabat i altres. A aquesta pestanya es

poden apreciar diferents categories a l'esquerra de la finestra, on cadascuna d'aquestes permet modificar diferents variables relacionades amb la impressió. A la següent taula s'expliquen les variables dins de cadascuna d'aquestes categories:

Taula 9. Layers and perimeters

LAYERS AND PERIMETERS	
<i>Layer Height</i>	Configura l'alçada de la capa. Com més alta sigui la capa, menys temps i menys material gasta, però menys resolució s'obté. Per ABS, l'altura aconsellada és entre 0.15 i 0.30 mm.
<i>First Layer Height</i>	Configura l'alçada de la primera capa de la impressió. S'expressa en % o en mm. Es sol treballar amb 90%-100%.
<i>Perimeters (minimum)</i>	Configura el nombre de perímetres que ha de tenir la peça a cada capa. Per defecte és 3. Si es vol més robustesa, es canvia per 4 o més.
<i>Randomize starting points</i>	Obliga al Slic3r a començar cada capa en un lloc o posició diferent de la peça. Així s'elimina l'excés de material que es genera al començar cada capa sempre al mateix punt
<i>Generate extra primeters when needed</i>	Permet al Slic3r a crear més perímetres en espais on fer farcits és complicat. Es recomana el seu ús.
<i>Solid layers (Top/Bottom)</i>	Defineix el nombre de capes sòlides que volem que la nostra peça tingui als extrems superior i inferior. Si fiquem 2/2, la nostra peça tindrà 2 capes sòlides tant a la part superior com inferior.

Taula 10. Infill

INFILL	
<i>Fill density</i>	Determina el % de material que farcit que es vol. Per peces decoratives és suficient un 40% (0.4). Per peces amb resistència mecànica es recomana un 70% (0.7).
<i>Fill pattern</i>	Configura el patró de farciment amb el qual es vol farcir tota la peça a excepció de les capes superior i inferior.
<i>Top/bottom fill pattern</i>	Configura el patró de farciment amb el qual es vol farcir les capes superior i inferior.
<i>Infill every</i>	Defineix cada quantes capes és necessari fer un farciment. Si seleccionem 2, tindrem capes farcides cada 2 capes. Es recomana deixar 1.
<i>Solid infill every</i>	Defineix cada quantes capes es fa un farciment sòlid. Si s'introdueix un 5, tindrem una capa sòlida cada 5 capes.
<i>Fill angle</i>	Configura l'angle amb el qual es vol obtenir el farciment. Si es selecciona 45, el patró de farciment traçarà línies a 45°.
<i>Solid infill threshold area</i>	Obliga al Slic3r a generar farciment sòlid per àrees menors del valor especificat. Es recomana el valor per defecte (70).

Taula 11. Skirt and birm

SKIRT AND BIRM	
<i>Loops</i>	Configura el nombre de voltes al voltant de la peça que farà l'extrusor abans de començar a imprimir-la peça. Com més voltes, més neta la boquilla.
<i>Distance from object</i>	Defineix la distància o separació del les voltes al voltant de la peça respecte aquesta abans de començar a imprimir
<i>Skirt height</i>	Determina l'alçada de la impressió al voltant de la peça expressada en capes.
<i>Minimum extrusion lenght</i>	Defineix la quantitat de material que deu extrudir abans de començar la peça. Contraresta els paràmetres anteriors.

Taula 12. Speed

SPEED	
<i>Perimeters</i>	Determina la velocitat d'impressió als perímetres. Es recomana 50 mm/s.
<i>Small perimeters</i>	Afecta a perímetres amb radis menors de 6.5 mm. Es pot introduir en % del paràmetre anterior o en mm/s.
<i>External perimeters</i>	Afecta només als perímetres externs de la peça. Es pot disminuir la velocitat per tenir millors acabats visuals.
<i>Infill</i>	Defineix la velocitat de farciment. Es recomana un 150% de la velocitat dels perímetres.
<i>Solid infill</i>	Velocitat del farciment a les capes sòlides. Es recomana deixar-lo igual que el normal.
<i>Top solid infill</i>	Velocitat del farciment a les capes superiors. Es recomana deixar-lo igual que el normal.
<i>Support material</i>	Determina la velocitat a la qual s'imprimeix el material de suport.
<i>Bridges</i>	Velocitat amb la qual es fabriquen els ponts. El software interpreta ponts com parts on ha de tancar o unir dues parts separades per un tros a l'aire. Sol funcionar amb 70 mm/s.
<i>Gap fill</i>	Controla la velocitat de farciment en zones petites. Es recomanen valors petits ja que a altes velocitats es creen vibracions que afecten negativament la peça.
<i>Travel</i>	Defineix la velocitat en buit de la màquina. Pot augmentar fins a 150 mm/s amb seguretat.
<i>First layer speed</i>	Permet definir un % de velocitat per a la primera capa. Amb això ens assegurem una adhesió perfecta i un millor primer acabat.

Taula 13. Support material

SUPPORT MATERIAL	
<i>Generate suport material</i>	S'escull si es vol material de suport o no. Slic3r el calcula i el crea per ell mateix.
<i>Overhang threshold</i>	Configura a partir de quin angle de paret es crearan suports. 45° és òptim a la majoria dels casos.
<i>Pattern</i>	Permet escollir el patró d'andami pels suports.
<i>Pattern spacing</i>	Permet definir l'espaiat de l'andami. Com més espaiat, més fàcil serà de retirar, però donarà menys rigidesa.
<i>Pattern angle</i>	Defineix l'angle amb el qual es vol realitzar l'andami.

Filament Settings

La següent pestanya és "Filament Settings". En aquest apartat es configuren paràmetres relacionats amb el fil utilitzat per extrudir.

Taula 14. Filament settings

FILAMENT SETTINGS	
<i>Diameter</i>	Introduir diàmetre del material a extrudir.
<i>Extrusion multiplier</i>	Rati de voltes que dona l'engrenatge petit del motor respecte el gran. Ve per defecte 1 i no s'ha de modificar.
<i>Extruder (temperature)</i>	Permet escollir la temperatura de fusió del material i a la qual fixarem el nostre extrusor.
<i>Bed (temperature)</i>	Permet escollir la temperatura de la base (lilit). Es recomana pujar 5 graus per la primera capa.

Printer Settings

Aquí es defineixen la majoria de paràmetres característics de la màquina.

Taula 15. General

GENERAL	
<i>Bed size</i>	Defineix la grandària del llit, tot i que ja ha estat definit amb la configuració del programa (200x200mm)
<i>Print center</i>	Defineix el centre de la impressió. Per defecte i com a òptim és 100x100mm.
<i>Z offset</i>	Defineix l'alçada inicial que té la impressió.
<i>G-code flavor</i>	Seleccionem el nostre firmware. Per impressores RepRapBCN és Marlin.
<i>Use relative distances</i>	Tenir la opció desactivada.
<i>Extruders</i>	Defineix nombre de capçals que té la nostra màquina.

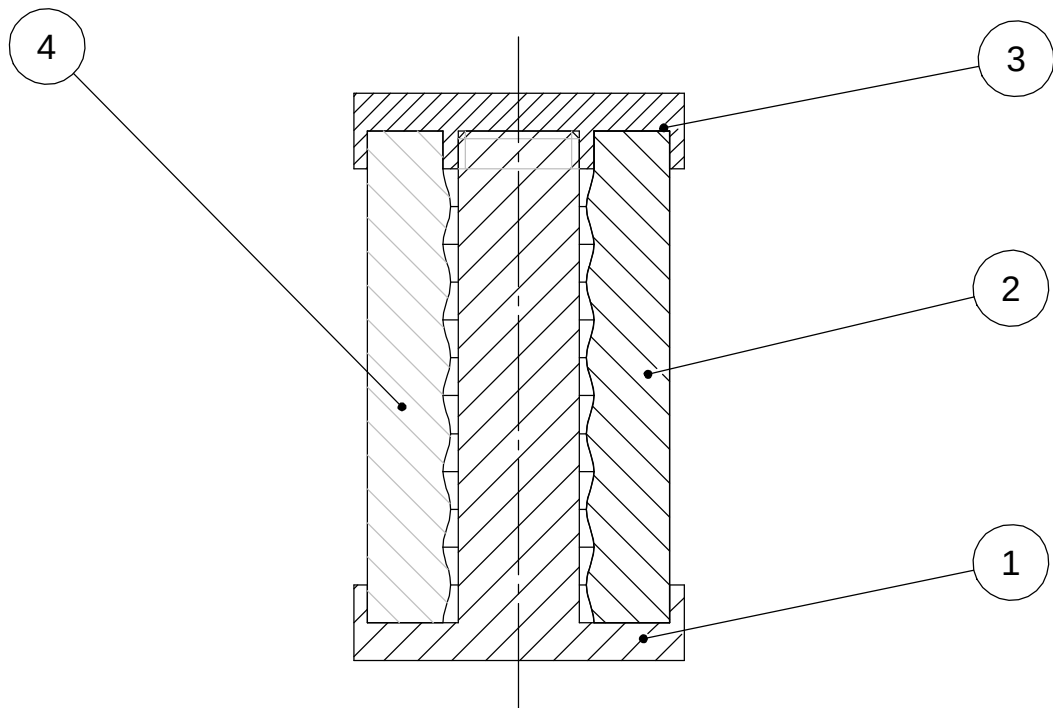
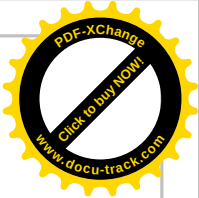
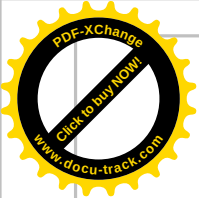
Taula 16. Extruder

EXTRUDER	
<i>Nozzle diameter</i>	Diàmetre del forat de l'extrusor.
<i>Extruder offset</i>	Només si es té un doble extrusor o més capçals.
<i>Lenght (retract)</i>	Determina la quantitat de material que l'extrusor tira cap enrere quan el mateix passa d'imprimir a deixar d'imprimir.
<i>Lift Z</i>	Alçada que puja l'extrusor quan canvia de peça que està imprimint.
<i>Speed</i>	Velocitat a la qual l'extrusor fa el <i>retract</i> del material.
<i>Extra lenght on restart</i>	Deixar aquest paràmetre sempre a 0.
<i>Minimum travel after retraction</i>	Indica el recorregut mínim que l'extrusor ha de fer per detectar que ha de fer totes les funcions esmentades anteriorment. Si per exemple introduïm 5 mm, un recorregut de 6 mm implicarà que l'extrusor faci <i>retract</i> , i un de 4mm no.
<i>Lenght 2</i>	Paràmetre utilitzat només en doble extrusor.
<i>Extra lenght 2</i>	Paràmetre utilitzat només en doble extrusor.

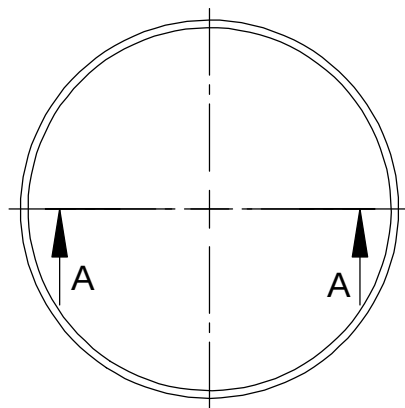
Exportació

Un cop determinats aquests paràmetres, es pot exportar l'arxiu en format *g-code* amb el qual ja es pot imprimir si es té un software per fer-ho (per ex: *Pronterface*).

Annex D Plànols Motllo Alumini

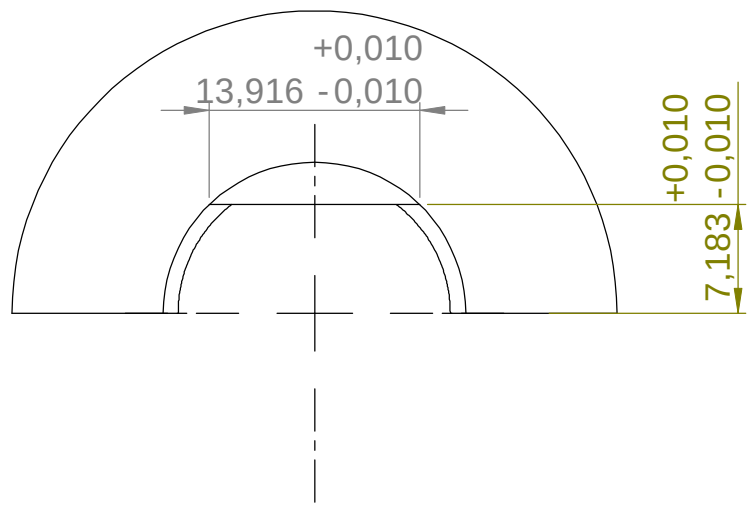
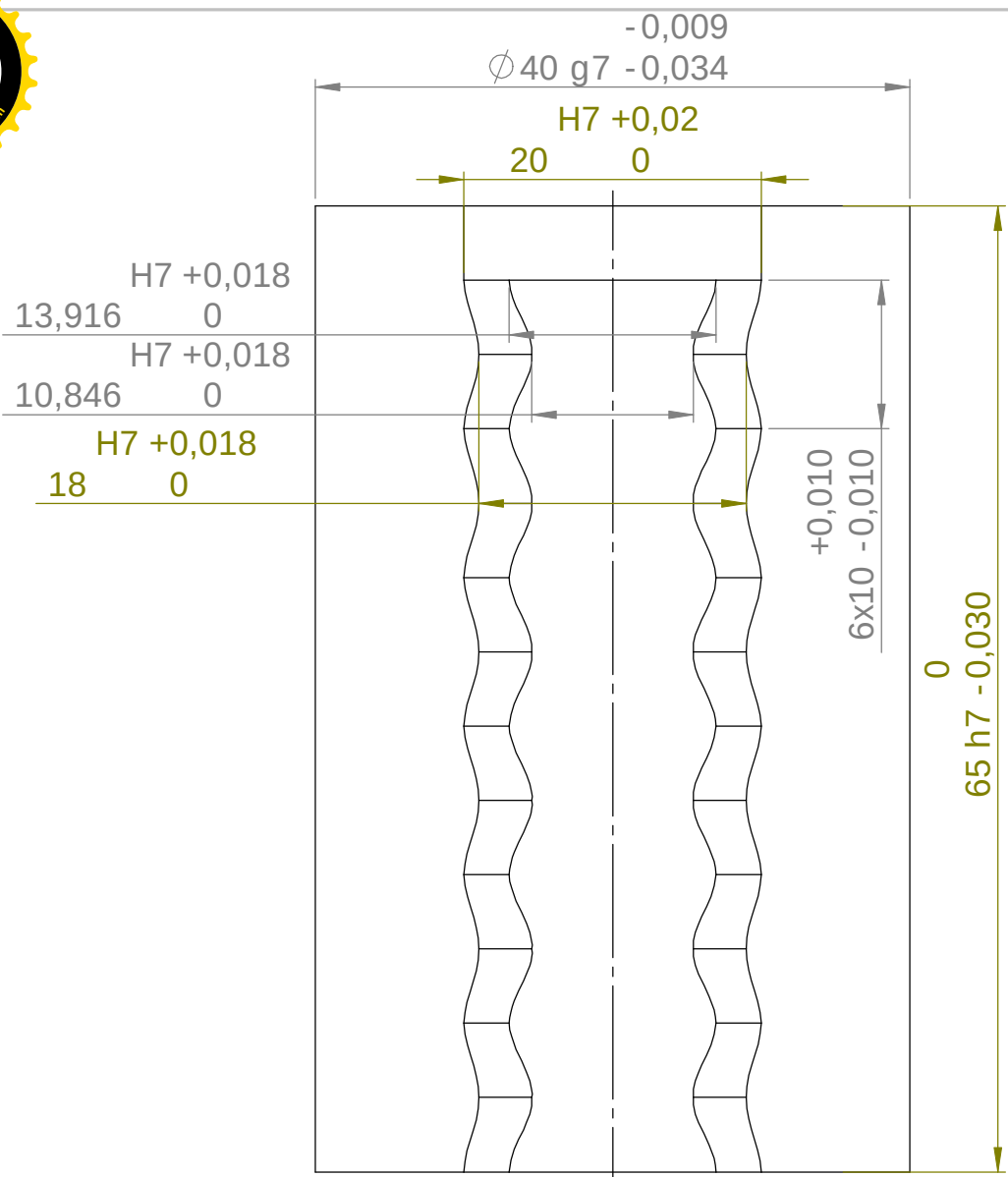
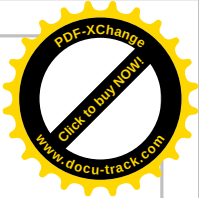
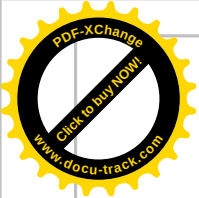


SECCIÓN A-A

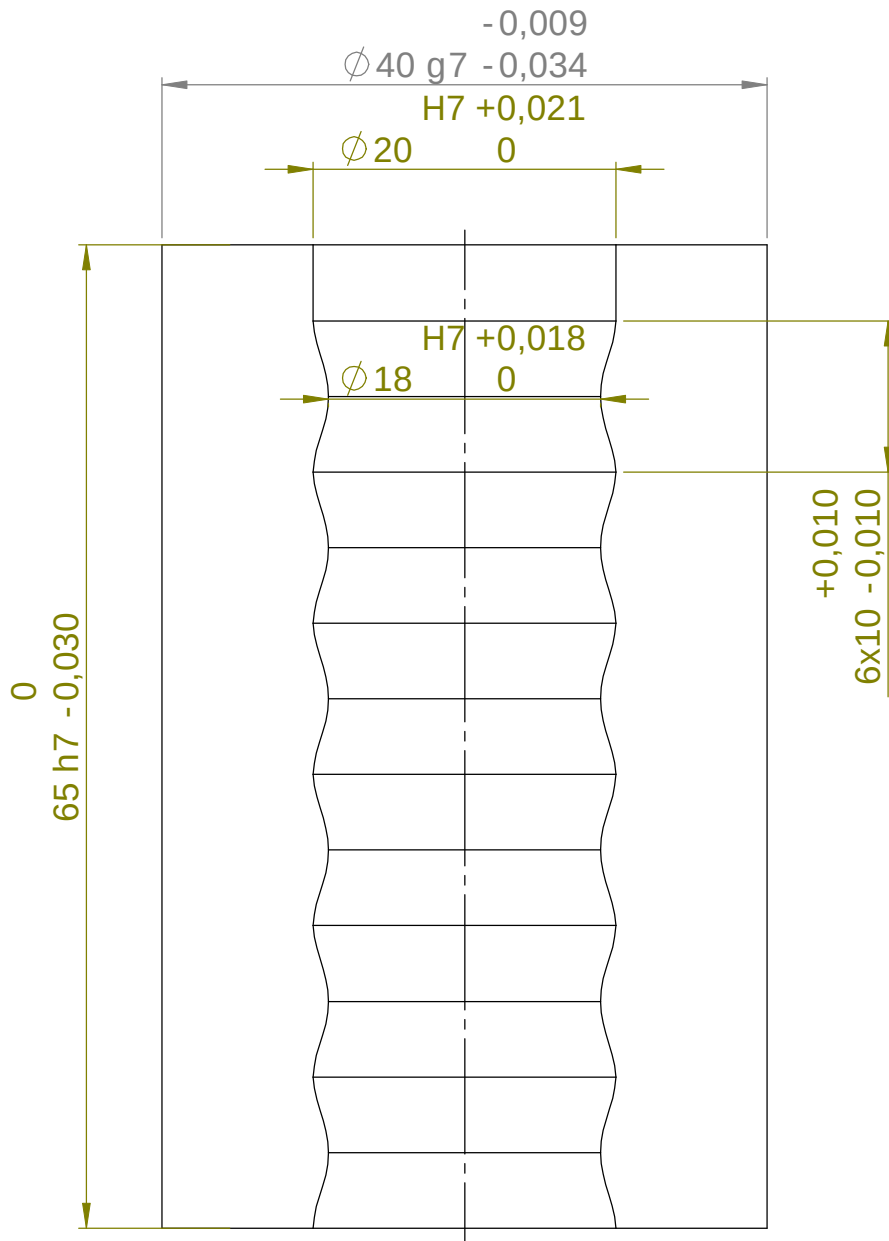
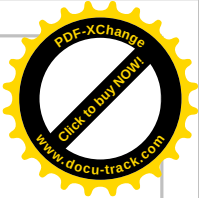
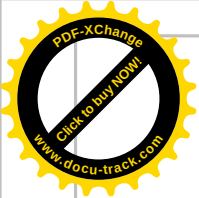


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	tapa inferior		1
2	molde 1		1
3	tapa superior		1
4	molde 2		1

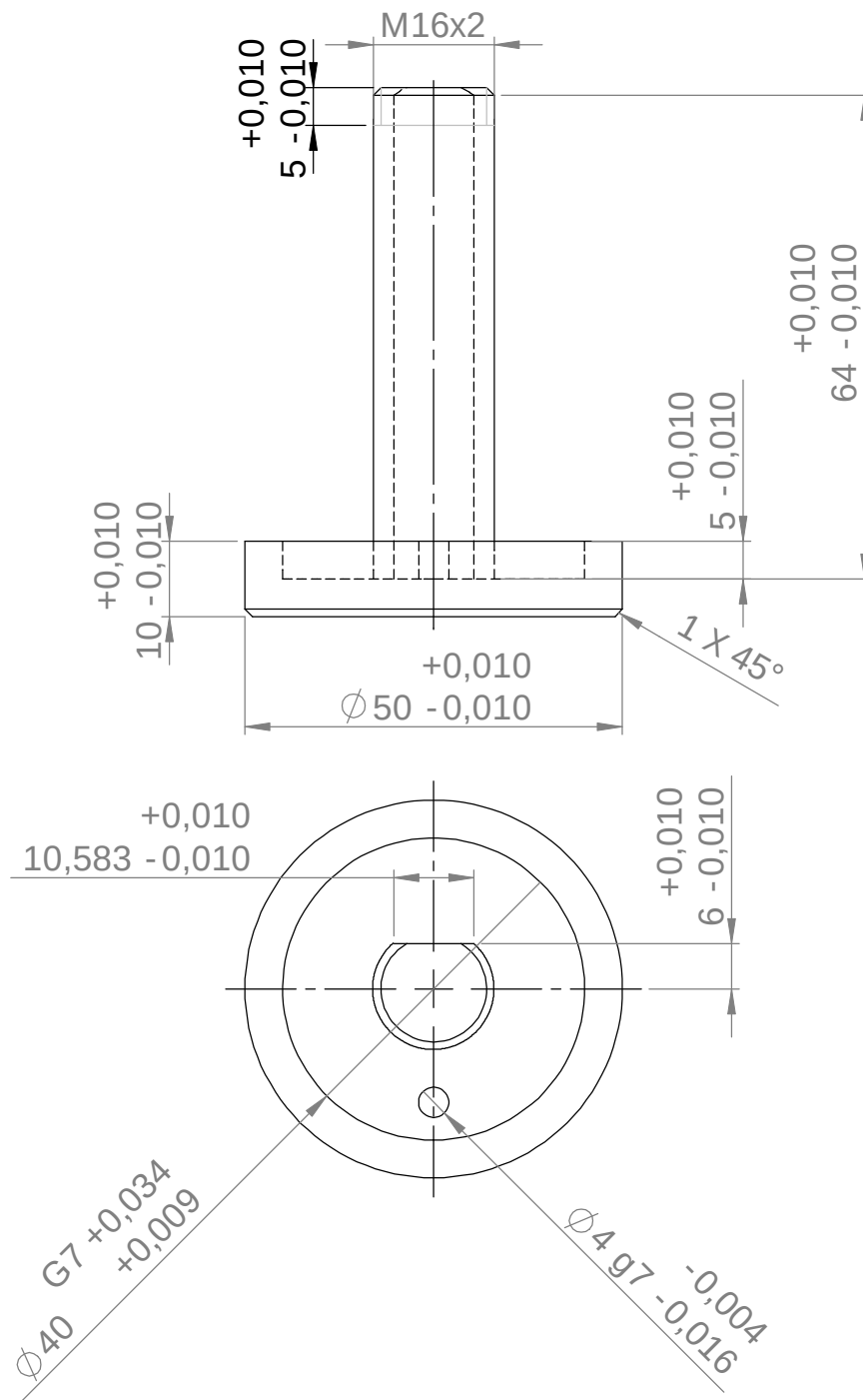
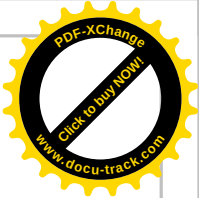
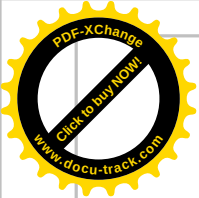
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN		
NOMBRE		FIRMA	FECHA	TÍTULO:					
DIBUJ.	Matheus Stoshy								
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CALID.									
				MATERIAL: Aluminio		N.º DE DIBUJO		A4	
						molde_stent			
				PESO:		ESCALA:1:1		HOJA 1 DE 1	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.						N.º DE DIBUJO			
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CALID.									
				MATERIAL:		molde_2			
				PESO:		ESCALA:2:1		HOJA 1 DE 1	

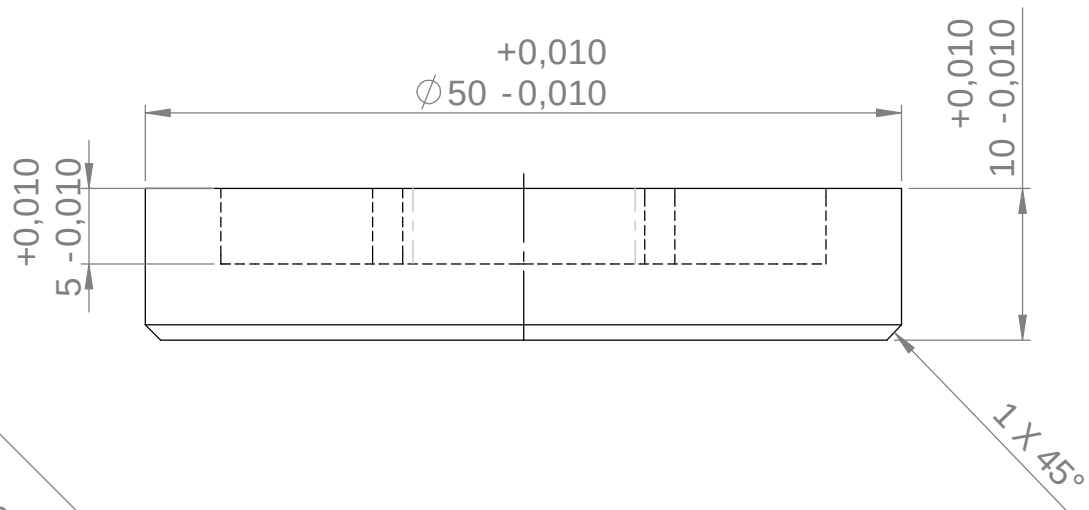
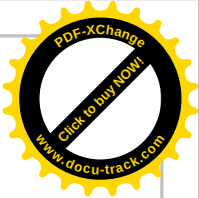
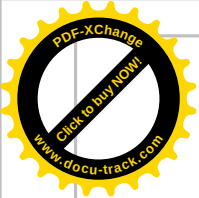


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.						N.º DE DIBUJO			
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CALID.									
				MATERIAL:		molde_3			
				PESO:		ESCALA:2:1		HOJA 1 DE 1	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.									
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CALID.									
				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4	
				PESO:		ESCALA:1:1		HOJA 1 DE 1	

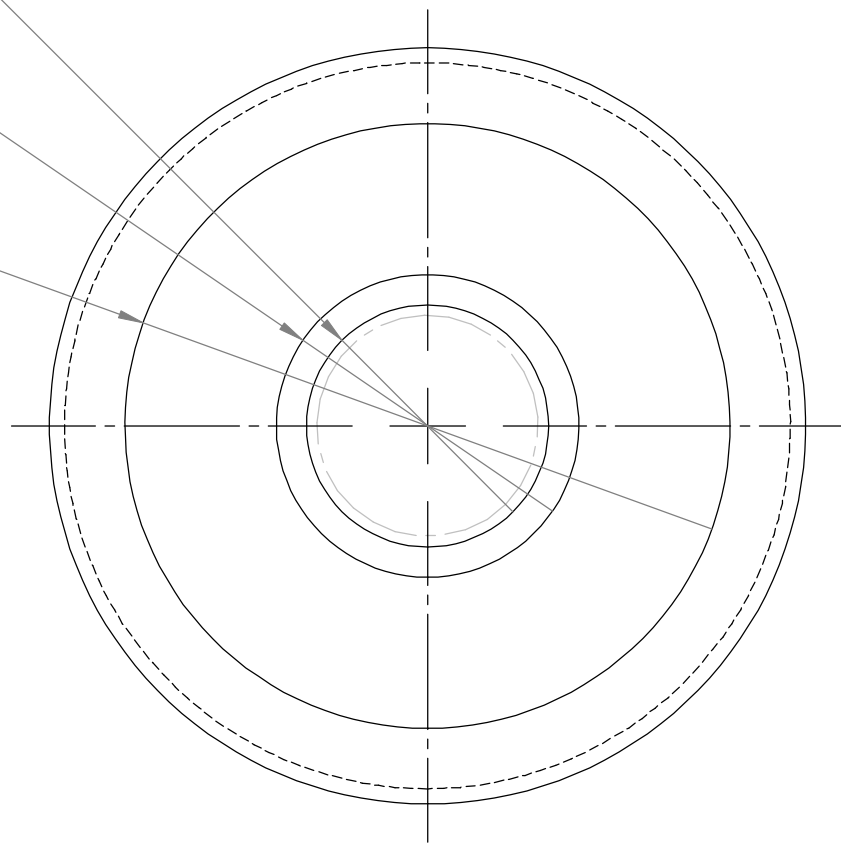
tampa_inf



M16

Ø20 h7 0
-0,021

Ø40 G7 +0,034
+0,009



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA				TÍTULO:			
DIBUJ.								N.º DE DIBUJO			
VERIF.											
APROB.											
FABR.											
CALID.											
				MATERIAL:				tampa_sup			
				PESO:				ESCALA:1:1		HOJA 1 DE 1	

Annex E Estimació de material i temps de fabricació per impressió

Aquest apartat mostra un càlcul aproximat de la quantitat de material necessari per imprimir el conjunt, així com del temps necessari per imprimir cadascuna de les peces. Aquests valors serviran com a punts de referència i també com a demostració de que la fabricació additiva té una gran versatilitat i una gran capacitat d'adaptar-se ràpidament a diferents models a imprimir. En aquest cas, el programa que fa l'estimació per a cada peça és el *Pronterface*, tal i com ha quedat explicat a l'apartat "3.2.1 Càrrega de l'arxiu G-code amb *Pronterface*".

La metodologia que es va portar a terme per obtenir aquests valors aproximats de material consumit i temps d'impressió es la següent:

- Carregar una per una les peces del motllo en format *.STL* al programa *Slic3r*, tal i com queda descrit a l'apartat "3.2.2. Conversió del dibuix al format G-code a partir d'un *.STL*".
- Canviar els paràmetres necessaris del *Slic3r* per a cada peça (taules 17 i 18) i exportar-les en format *g-code*.
- Carregar els arxius *g-code* amb el software *Pronterface* i observar la informació que dona aquest en pantalla.

Els paràmetres del *Slic3r* per a cada peça són els mateixos per cadascuna d'aquestes, a excepció de la configuració de la peça *interior*, la qual necessitava de material de suport. A la següent taula queden determinats els paràmetres canviats a la configuració de les peces *superior*, *inferior* i *passadors*.

Taula 17. Paràmetres modificats per estimació de temps i material

EXTRUDER		
Perimeters (min)	5	En aquests paràmetres es va augmentar la solidesa final de la peça, incrementant la quantitat de material a extrudir.
Solid Layers	Top:3 Bottom:3	
Infill	0.7	
Solid infill every	5	
SPEED		
Perimeters	30	S'han disminuït les velocitats d'impressió ja que es tracten de peces relativament petites. A velocitats elevades la qualitat final no és molt bona.
Small Perimeters	20	
External Perimeters	60%	
Infill	45	
Solid Infill	50	
FILAMENT		
Diameter	1.60	Es recomana ficar un valor inferior i molt proper al diàmetre del material real (1.75 mm).

Temperature	Extruder First Layer : 235°C Extruder Other Layers : 230°C Bed First Layer : 100°C Bed Other Layers : 0°C	Aquestes temperatures són les recomanades per impressió amb ABS.
EXTRUDER		
Nozzle diameter	0.35	En aquest cas, el diàmetre del nostre extrusor té aquest valor.

En el cas de la peça *interior*, la única diferència va ser l'activació de material de suport, que queda de la següent manera:

Taula 18. Paràmetres del Slic3r referents al material de suport

EXTRUDER	
Support Material	Activat
Pattern Spacing	2.5 mm

Un cop creats totes les peces en format *g-code*, es carreguen una per una al *Pronterface*. Les dades s'ajunten totes en una mateixa taula, on es veuen quin volum ocupen, quina quantitat de material s'ha utilitzat i quant de temps ha trigat en fer cada peça:

Taula 19. Quantitat de volum, material i temps del conjunt motllo

ESTIMACIÓ DE MATERIAL I TEMPS PER IMPRESSIÓ			
Nom Peça	Volum (mm ³)	Material (mm)	Temps Fabricació (h:m:s)
Peça Superior	15648.66	6722.1	01:24:19
Peça Inferior	14454.81	6998.9	01:20:25
Peça Interior	14717.08	6479.53	01:15:54
Passadors (4 junts)	169.64	580.50	00:31:50
	TOTAL	20781.03	04:32:28

Per tant, l'estimació del programa diu que per conformar totes les parts del motllo es gastaran aproximadament uns 20.7 metres de cable d'ABS secció 1.75 mm³, trigant al voltant de 4 hores i mitja en fer-ho.

El resultat d'aquesta estimació té diverses variables que poden alterar els valors, com ho poden ser l'error intrínsec del programa en calcular-ho (sempre calcula un valor pessimista) o l'alteració d'algun paràmetre del *Slic3r* abans de crear l'arxiu *g-code*. Tot i així, s'ha donat una idea de quina es la quantitat de material necessària, i quin serà aproximadament el temps d'impressió⁵.

⁵ Cal comentar que no s'ha tingut en compte el temps de preparació de la maquinària, així com tampoc temps improdctius o altres que puguin alentir el procés. Només es té en compte el temps d'impressió.

