



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

Estudi d'una màquina per a la fabricació de filament reciclat per impresora 3D

Document:

Memòria

Autor:

Laura Piedrafita Bonet

Director:

José Antonio Ortiz Marzo

Titulació:

Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i
Automàtica

Convocatòria:

Primavera, 2021

TREBALL FINAL D'ESTUDIS

Declaració d'honor

I declare that,

the work in this Degree Thesis is completely my own work,

no part of this Degree Thesis is taken from other people's work without giving them credit,

all references have been clearly cited,

I understand that an infringement of this declaration leaves me subject to the foreseen disciplinary actions by The Universitat Politècnica de Catalunya - BarcelonaTECH.

Laura Piedrafita Bonet

22/06/2021

Student Name

Signature

Date

Title of the Thesis :

Estudi d'una màquina per a la fabricació de filament reciclat per impressora 3D

Resum

El present projecte conté l'estudi d'una màquina per a la fabricació de filament reciclat per impressora 3D. A més es pretén aconseguir un disseny econòmic, el més senzill possible i la utilització d'elements reciclats.

En aquest projecte s'explica breument com funcionen les impressores 3D, les tecnologies que hi ha, els diferents materials que es troben al mercat, l'impacte ambiental que produeixen les impressores 3D, així com les màquines que hi ha al mercat per extrusió de filament.

Es procura incentivar el reciclatge, tant en els elements necessaris en la construcció com del plàstic, a més de la utilització de la impressió 3D, ja que aquestes màquines cada vegada són més assequibles i populars. Per potenciar-ho es compta amb peces impreses en 3D que estaran incloses en el disseny de la màquina.

A més de la pròpia extrusora es dissenya una màquina per al bobinat del filament extrudit, així com la manera de poder reduir la mida dels residus de les impressions per utilitzar aquest material a l'extrusora.

Abstract

The present project contains the study of a machine for the manufacture of recycled filament for a 3D printer. The aim is to achieve an economical design, as simple as possible and the use of recycled elements.

This project briefly explains how 3D printers work, the technologies available, the different materials on the market, the environmental impact of 3D printers, as well as the machines on the market for filament extrusion.

It seeks to encourage recycling, both in the necessary elements in construction and plastic, in addition to the use of 3D printing, as these machines are becoming more affordable and popular. To enhance it has 3D printed parts that will be included in the design of the machine.

In addition to the extruder itself, a machine is designed for winding the extruded filament, as well as how to reduce the size of the waste from the impressions to use this material in the extruder.



Índex

Declaració d'honor.....	1
Resum.....	2
Abstract	2
Índex.....	3
Índex figures.....	6
Índex taules	9
1. Introducció	10
1.1. Objectiu	10
1.2. Abast.....	10
1.3. Requeriments	10
1.4. Utilitat del treball	11
2. Elements generals de la màquina	12
3. Planificació.....	13
3.1. Descripció tasques.....	13
3.2. Distribució hores i precedències	15
3.3. Diagrama de Gantt	16
4. Impressores 3D.....	17
4.1. Tecnologies d'impressió 3D.....	20
4.1.1. SLA (estereolitografia o fotosolidificació):	22
4.1.2. SLS (sinterització selectiva per làser):	22
4.1.3. FDM	22
4.2. Software G-code.....	23
4.3. Materials d'impressió 3D	24
4.3.1. Polímers.....	25
4.3.2. Metalls.....	26
4.4. PLA.....	26
4.4.1. Assaig forces.....	26
4.4.2. Emplenament peces.....	28
5. Impacte ambiental	30
5.1. Impressió 3D.....	30
5.1.1. Perillositat de fondre els materials	30
5.1.2. Residus a les impressions	31
5.2. TFG	35
5.2.1. Consum energètic	35

5.2.2. Emissions	35
5.2.3. Residus radioactius.....	35
6. Estat de l'art	36
6.1. Reduir mida residus.....	37
6.1.1. Comercial.....	37
6.1.2. DIY	38
6.2. Extrudir filament reciclat.....	41
6.2.1. Comercial.....	41
6.2.2. DIY	43
6.3. Bobinat del filament.....	44
6.3.1. Comercial.....	44
6.3.2. DIY	45
7. Plantejament i selecció d'alternatives	46
7.1. Trituradora	46
7.2. Extrusora	46
7.2.1. Font d'alimentació	46
7.2.2. Microcontrolador	47
7.2.3. Motor DC 1	47
7.2.4. Controladora motors DC	47
7.2.5. Fuset i broquet	48
7.2.6. Control diàmetre filament.....	49
7.2.7. Pantalla LCD.....	49
7.2.8. Tremuja	50
7.2.9. Banda calefactora.....	50
7.2.10. Refrigeració	50
7.2.11. Base de la màquina extrusora	51
7.3. Bobinat	51
8. Solució final	52
8.1. Preparació matèria primera	52
8.2. Distribució dels elements.....	57
8.3. Connexions	58
8.3.1. Font d'alimentació	58
8.3.2. Controladora VNH5019	58
8.3.3. Elegoo Uno R3	59
8.3.4. PID	60
8.3. Codi placa Elegoo	61



8.4. Peces impressió 3D	63
8.4.1. Extrusora	63
8.4.2. Bobinat	75
9. Resum pressupost.....	85
10. Conclusions	86
11. Treball futur	87
12. Referències	88
12.1. Figures	90
12.2 Taules	91

Índex figures

Figura 1: Representació dels elements generals de la màquina. [1].....	12
Figura 2: Diagrama de Gantt de les tasques del projecte	16
Figura 3: Resposta a la petició d'impressió de salva orelles. [2]	17
Figura 4: Vàlvula impresa en 3D per utilitzar una màscara de snorkel com a respirador. [3]	18
Figura 5: Model en 3D d'un colze amb el tumor assenyalat [4]	18
Figura 6: Model del cap d'una persona utilitzat pels estudiants de medicina. [5]	19
Figura 7: Esquema de les tecnologies de fabricació additiva. [6]	21
Figura 8: Explicació gràfica funcionament impressores SLA.....	22
Figura 9: Explicació gràfica funcionament impressores SLS	22
Figura 10: Explicació gràfica funcionament impressores FDM.....	23
Figura 11: Exemple de G-code d'un model CAD	23
Figura 12: Exemple de visualització de les capes d'un model CAD al programa Cura.....	24
Figura 13: Esquema materials d'impressió 3D	24
Figura 14: Gràfica comparativa assaig de tracció. [7].....	27
Figura 15: Gràfica comparativa assaig de flexió. [8]	27
Figura 16: Gràfica comparativa assaig de tracció respecte percentatge d'emplenament. [9]	29
Figura 17: Gràfica comparativa temps efectiu d'impressió respecte percentatge d'emplenament [10].....	29
Figura 18: Exemple de caiguda d'un objecte durant la seva impressió	31
Figura 19: Exemple d'obstrucció total del broquet	31
Figura 20: Exemple de tub PTFE trencat	32
Figura 21: Exemple dels suports que es convertiran en residus.....	32
Figura 22: Exemple d'adhesió al llit amb cinta de pintor i pega de barra.....	33
Figura 23: Exemple de posicionament d'un objecte per suprimir la necessitat de suports	33
Figura 24: Gràfic reciclatge mascareta quirúrgica per a filament [11]	34
Figura 25: Trituradora de plàstic de Filabot [12]	37
Figura 26: Trituradora de plàstic de 3devo [13].....	37
Figura 27: Màquina trituradora, extrusora i bobinat de ReDeTec [14].....	38
Figura 28: Trituradora de plàstic de Brian Brocken [15]	38
Figura 29: Màquina trituradora de diychen [16]	39
Figura 30: Liquadora per triturar plàstic [17].....	39
Figura 31: Trituradora de paper triturant plàstic [18].....	40
Figura 32: Diferents opcions de compra de l'extrusora Felfil Evo [19].....	41
Figura 33: Extrusores de la marca Filabot [20].....	41
Figura 34: Extrusora de la marca Filaestruder [21].....	42

Figura 35: Extrusora de la marca 3devo [22]	42
Figura 36: Extrusora de Ian McMill [23]	43
Figura 37: Extrusora de Hugh Lyman [24]	43
Figura 38: Màquina de bobinat de la marca Felfil [25].....	44
Figura 39: Màquina de bobinat de la marca Filabot [26]	44
Figura 40: Màquina de bobinat de la marca Filaestruder [27]	45
Figura 41: Màquina de bobinat de Hugh Lyman [28].....	45
Figura 42: Font d'alimentació 12 V i 20A [29].....	46
Figura 43: Microcontrolador Elegoo Uno R3 [30].....	47
Figura 44: Motor DC 1.....	47
Figura 45: Controladora VNH5019 [31].....	47
Figura 46: Broquet i part final del fuset	48
Figura 47: Fuset amb el broquet.....	48
Figura 48: Control del diàmetre del filament	49
Figura 49: Pantalla LCD amb protocol I2C [32].....	49
Figura 50: Banda calefactora de 200 W [33].....	50
Figura 51: Ventilador 12 V	50
Figura 52: Motor DC bobinat.....	51
Figura 53: Restes PLA impressions 1 mm de gruix	52
Figura 54: Resultat PLA 1 mm triturat.....	52
Figura 55: Restes PLA impressions 2-3 mm de gruix.....	53
Figura 56: Resultat PLA 2-3 mm triturat.....	53
Figura 57: Restes 1 PLA impressions més de 4 mm de gruix	54
Figura 58: Resultat 1 PLA més de 4 mm triturat	54
Figura 59: Restes 2 PLA impressions més de 4 mm de gruix	55
Figura 60: Resultat 2 PLA més de 4 mm triturat	55
Figura 61: Resultat 3 PLA més de 4 mm triturat	56
Figura 62: Esquema distribució extrusora.....	57
Figura 63: Esquema distribució bobinat.....	57
Figura 64: Esquema connexions generals	58
Figura 65: Esquema connexions internes controladora VNH5019 amb la Elegoo UNO R3.....	59
Figura 66: Esquema connexions controladora VNH5019.....	59
Figura 67: Esquemes connexions perifèrics Elegoo UNO R3	59
Figura 68: Esquema connexions PID.....	60
Figura 69: Disseny CAD suport Motor DC 1	63
Figura 70: Visualització del model CAD suport motor 1 al programa Cura.....	64

Figura 71: Suport motor DC 1 imprès en PLA	65
Figura 72: Disseny CAD adaptador motor 1	65
Figura 73: Visualització del model CAD de l'adaptador motor 1 al programa Cura.....	66
Figura 74: Adaptador motor 1 imprès en PLA.....	67
Figura 75: Disseny CAD suport pantalla LCD i potenciòmetres	67
Figura 76: Visualització del model CAD suport pantalla i potenciòmetres al programa Cura ...	68
Figura 77: Suport pantalla i potenciòmetres imprès en PLA	69
Figura 78: Disseny CAD del suport per al mesurador de profunditat	69
Figura 79: Visualització del model CAD suport mesurador profunditat al programa Cura.....	70
Figura 80: Visualització del model CAD suport mesurador profunditat al programa Cura.....	71
Figura 81: Disseny CAD del suport del PID.....	71
Figura 82: Visualització del model CAD del suport del PID al programa Cura	72
Figura 83: Disseny CAD de la tremuja	73
Figura 84: Visualització del model CAD de la tremuja al programa Cura	74
Figura 89: Disseny CAD del suport per a la bobina.....	75
Figura 90: Disseny CAD del suport de la barra central	75
Figura 91: Visualització del model CAD suport barra central al programa Cura	76
Figura 92: Suport barra central imprès en PLA	77
Figura 93: Disseny CAD de la barra central	77
Figura 94: Visualització variació altura de les capes al model CAD barra central	78
Figura 95: Visualització del model CAD suport barra central al programa Cura	78
Figura 96: Suport barra central imprès en PLA	79
Figura 97: Disseny CAD de la femella	79
Figura 98: Visualització del model CAD femella al programa Cura	80
Figura 99: Femella impresa en PLA	80
Figura 100: Assemblatge final del suport de la bobina	81
Figura 101: Disseny CAD del suport del motor 2.....	81
Figura 102: Visualització del model CAD del suport motor 2 al programa Cura.....	82
Figura 103: Subconjunt suport motor 2 imprès en PLA	83
Figura 104: Disseny CAD de l'adaptador motor 2.....	83
Figura 105: Visualització del model CAD adaptador motor 2 al programa Cura.....	84
Figura 106: Adaptador motor 2 imprès en PLA.....	84



Índex taules

Taula 1: Taula de distribució de les hores i precedències de les tasques del projecte.....	15
Taula 2: Resultat assaig de tracció. [1]	28
Taula 3: Resum pressupost	85

1. Introducció

1.1. Objectiu

Aquest estudi té com a objectiu aconseguir el disseny d'una màquina per fabricar nou filament a partir dels residus obtinguts d'altres impressions en 3D amb la tècnica de Fabricació per Filament Fos (FFF) o FDM (*Fused Deposition Modeling*). En aquest disseny es tindrà especial cura en el cost, per intentar reduir-lo al màxim. Les peces que no siguin sotmeses a grans esforços o temperatures es dissenyaran en 3D, amb la idea que s'imprimeixin amb una impressora 3D.

1.2. Abast

El principal abast d'aquest projecte és obtenir els documents necessaris per al disseny d'una màquina que permetrà reciclar les restes de PLA (àcid polilàctic) de les impressions fetes en impressores 3D. Aquests documents són la memòria del projecte, el pressupost del disseny i els plànols de les peces dissenyades per a la màquina.

Per poder aconseguir reutilitzar els residus s'han de processar per reduir la seva mida, en aquest treball es tindrà en compte la manera més ràpida i econòmica de fer-ho al no ser l'objectiu principal.

També s'expliquen els motius pels quals es produeixen residus en les impressions 3D i l'estat de l'art de màquines similars. El disseny de la màquina inclou el control de la velocitat dels motors, el disseny del bobinat del nou filament, control de la temperatura d'extrusió i el control del diàmetre del filament obtingut.

1.3. Requeriments

Es troben tres requeriments principals, que són els següents:

- Disseny econòmic:
 - Planificació d'utilitzar motors reciclats o de segona mà.
 - Disseny 3D propi de les peces corresponents, amb la planificació que aquestes s'imprimeixin amb una impressora 3D.
 - Durant el disseny de les peces s'ha de tenir en compte el temps d'impressió per tal de reduir-lo al màxim.

- Disseny senzill i compacte:
 - Tant el disseny final com l'assemblatge.
 - Planificació d'utilitzar materials accessibles per al públic general.

- Reducció de residus:
 - Tenir en compte al disseny 3D de les peces la necessitat d'utilitzar suports en aquestes a l'hora d'imprimir, però així intentar que aquests siguin els mínims possibles i poder reduir els residus.
 - Aquesta reducció de residus (menys suports) disminuirà els temps d'impressió, per tant, també es veurà reflectit en l'aspecte econòmic del disseny.

1.4. Utilitat del treball

Aquest estudi es realitza per cobrir la necessitat de poder reutilitzar els residus de les impressions 3D. Un dels principals avantatges és la disminució d'aquests residus, que no deixen de ser plàstic, i l'estalvi que es produeix en convertir aquests residus en matèria primera per poder tornar a imprimir objectes en 3D. Un altre avantatge és el fet d'enfocar-ho perquè sigui el més assequible possible, amb la reutilització de certs elements o el disseny i impressió 3D d'altres. Això, no només comportarà un estalvi als particulars que vulguin dur a terme aquest projecte, sinó també a qualsevol centre educatiu que comenci amb la impressió 3D i vulguin estalviar diners en filament i no fer una gran inversió econòmica per poder reciclar els residus que produeixin. El punt crític del projecte és trobar la configuració adequada de tots els elements per tal que el resultat final sigui un filament que es pugui tornar a fer servir en una impressora 3D, ja que el marge d'error és de només d'uns pocs micròmetres ($\approx \pm 0,10$ mm).

2. Elements generals de la màquina

Es pot separar la màquina en tres parts principals:

- 1) Introducció del material (residus d'altres impressions)
- 2) Fosa i extrusió del PLA
- 3) Bobinat del nou filament reciclat

1) Introducció del material

En aquesta primera part de la màquina es troba el motor que s'encarrega d'empènyer els residus de PLA, introduïts mitjançant una tremuja, cap al fuset.

2) Fosa i extrusió del PLA

En aquesta part es troba el fuset que empeny el material, mentre és escalfat per tal de poder-lo fondre, cap a la broqueta on serà extrudit i després refrigerat per tal de mantenir un diàmetre continu.

3) Bobinat del nou filament

En l'última part hi ha un altre motor que s'encarrega d'enrotllar el nou filament a la mateixa velocitat que és extrudit. Però, abans de bobinar-lo es mesura de forma automàtica i constant el diàmetre del filament per tal d'assegurar que es troba dins dels marges establerts per tal de poder-lo utilitzar en una impressora 3D.

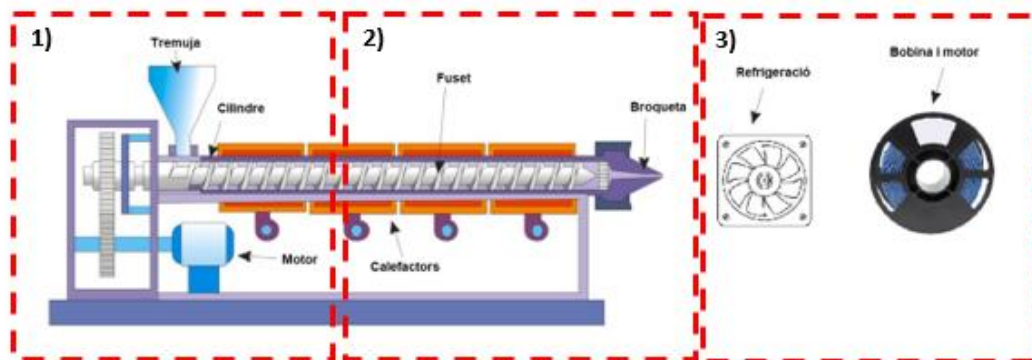


Figura 1: Representació dels elements generals de la màquina. [1]

3. Planificació

3.1. Descripció tasques

- Memòria:
 - Redacció introducció:
 - Abstracte
 - Declaració d'honor
 - Objecte
 - Abast
 - Requeriments del treball
 - Utilitat del treball
 - Redacció desenvolupament:
 - Introducció tecnologia impressió 3D i motius residus.
Explicació de les diferents tecnologies per impressió 3D, recalcant la que interessa en aquest projecte, per seguidament introduir els diferents motius per als quals es produeixen residus en aquestes impressions i algunes de les solucions més comunes.
 - Estat de l'art.
Explicació de les màquines similars que hi ha al mercat o que la gent ha construït.
 - Plantejament i decisió sobre les possibles solucions.
Selecció de les prestacions finals de la màquina i dels elements necessaris de forma general. Definir quines peces es dissenyen i quines s'haurien de comprar.
 - Desenvolupament de la solució:
 - Estudi de les peces necessàries i les seves prestacions.
Selecció del material i dimensions de les peces.
 - Disseny peces 3D.
 - Estudi assemblatge.
Estudi de la millor manera d'assemblar tota l'estructura, prenent especial atenció a les peces dissenyades en 3D. L'estructura ha de ser estable i la distribució dels elements és molt important, ja que la refrigeració adequada és un punt crític per al resultat final del filament.
 - Estudi configuració dels elements.
S'ha de controlar la velocitat dels dos motors (el que empeny el plàstic cap a l'extrusor i el que s'encarrega d'embolicar el filament en una bobina), així com el diàmetre del filament per tal que sigui l'adequat.
 - Resum de resultats:
 - Resum de pressupost
 - Anàlisi i valoració implicacions ambientals
 - Conclusions i recomanacions de continuació del treball
 - Planificació i programació del treball futur proposat
 - Relació de referències bibliogràfiques i normativa aplicada

- Pressupost:
Document del pressupost tenint en compte els requeriments per tal de reduir costos.
- Plànols:
Document amb els plànols de les peces 3D que s'han dissenyat.
- Autoinforme de qualitat
- Presentació

3.2. Distribució hores i precedències

Numeració	Tasca			Hores	Precedències	
1	Memòria:				-	
1.1		Redacció introducció:			-	
1.1.1			Abstract	4	-	
1.1.2			Declaració d'honor	2	-	
1.1.3			Objecte	4	-	
1.1.4			Abast	4	1.1.3	
1.1.5			Requeriments del treball	8	1.1.4	
1.1.6			Utilitat del treball	4	1.1.4	
1.2		Redacció desenvolupament:			-	
1.2.1			Introducció tecnologia impressió 3D i motiu residus	20	-	
1.2.2			Estat de l'art	45	1.2.1	
1.2.3			Plantejament i decisió sobre les possibles solucions	70	1.2.2	
1.2.4			Desenvolupament de la solució:		1.2.3	
1.2.4.1				Estudi de les peces necessàries i les seves prestacions	75	1.2.3
1.2.4.2				Disseny peces 3D	60	1.2.4.1
1.2.4.3				Estudi assemblatge	70	1.2.4.2
1.2.4.4				Estudi configuració dels elements	75	1.2.4.3
1.3		Resum de resultats:			1	
1.3.1			Resum de pressupost	3	2	
1.3.2			Anàlisi i valoració implicacions ambientals	15	1.1, 1.2	
1.3.3			Conclusions i recomanacions de continuació del treball	22	1.3.2	
1.3.4			Planificació i programació del treball futur proposat	10	1.3.3	
1.4			Relació de referències bibliogràfiques i normativa aplicada	8	-	
2	Pressupost			35	1.2.4.3	
3	Plànols			45	1.2.4.1	
4	Autoinforme de qualitat			1	1, 2, 3	
5	Presentació			20	1, 2, 3, 4	
				TOTAL:	600	

Taula 1: Taula de distribució de les hores i precedències de les tasques del projecte

3.3. Diagrama de Gantt

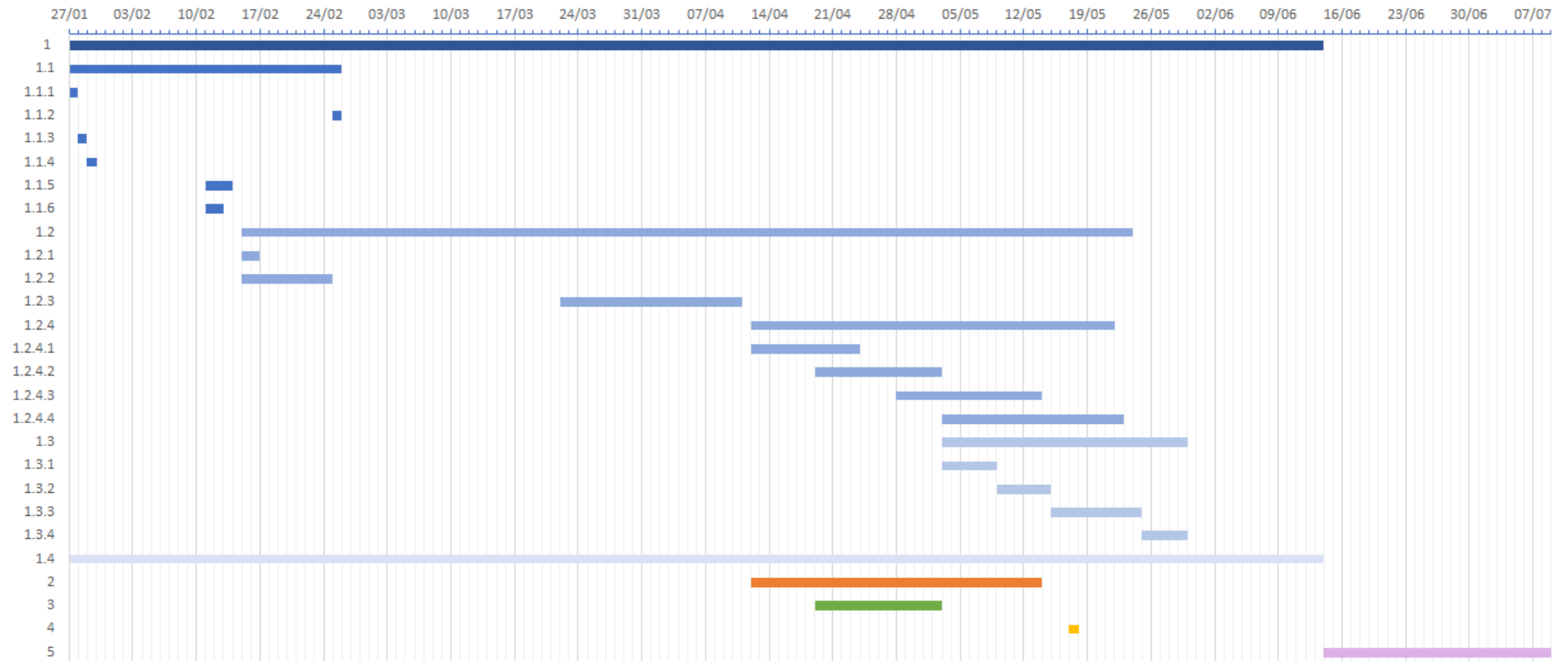


Figura 2: Diagrama de Gantt de les tasques del projecte

4. Impressores 3D

Una impressora 3D és una màquina de fabricació additiva capaç de crear objectes en 3D. Normalment el procés d'impressió comença amb un model CAD (disseny assistit per ordinador), aquest model s'ha de passar per un software adequat que transforma el model en un codi comprensible per a la impressora, aquest codi és la divisió per capes del model, anomenat Gcode. La qualitat, el nombre de capes, entre d'altres, venen determinades per l'usuari en aquest software tenint en compte les limitacions de la impressora utilitzada.

La impressió 3D comporta un gran nombre d'avantatges tant el camp de la medicina, de l'ensenyament com simplement en l'àmbit recreatiu.

Un exemple que no queda gaire lluny és quan en plena pandèmia de COVID-19 els hospitals s'estaven quedant sense respiradors i la comunitat *maker*¹ es va llençar a fabricar respiradors i vàlvules per aquests. També es van fabricar altres elements com les viseres de plàstics pels treballadors dels hospitals, o salva orelles per portar les mascaretes.



Figura 3: Resposta a la petició d'impressió de salva orelles. [2]

¹ Nom que rep l'agrupació de gent que està en el món de la impressió 3D, traduït seria "comunitat fabricant", fent referència al fet que dissenyen i imprimeixen els seus propis objectes.



Figura 4: Vàlvula impresa en 3D per utilitzar una màscara de snorkel com a respirador. [3]

Altres exemples en el camp de la medicina és poder imprimir en 3D models de radiografies, d'aquesta manera els especialistes poden veure més de prop la zona i decidir més acuradament que faran durant la intervenció quirúrgica. També s'estan imprimint pròtesis o models transpirables i impermeables per immobilitzar extremitats amb un os trencat, substituint al guix.



Figura 5: Model en 3D d'un colze amb el tumor assenyalat [4]

El món de l'ensenyament també és un món que cada vegada s'està aprofitant més d'aquesta tecnologia, des de la creació de jocs didàctics per servir d'ajuda amb alguna discapacitat, com per a estudiants de medicina podent tenir a les seves mans models anatòmics precisos i barats.

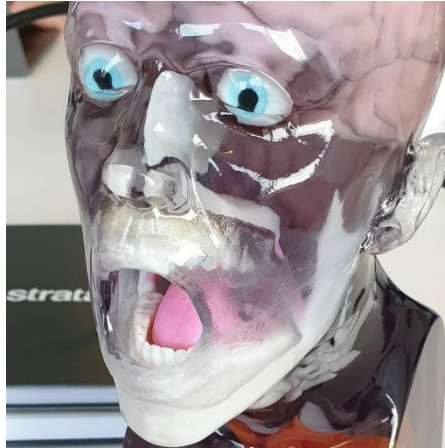


Figura 6: Model del cap d'una persona utilitzat pels estudiants de medicina. [5]

L'única contra que es podria assenyalar de la impressió 3D seria la quantitat de residus que genera, ja sigui per culpa d'un mal modelatge o altres errors que es poden produir durant la impressió que es detallaran més endavant.



4.1. Tecnologies d'impressió 3D

Segons la norma ISO/ASTM 52900 són tecnologies d'impressió 3D aquelles tecnologies de fabricació additiva (*additive manufacturing*, AM) que construeix geometries físiques 3D mitjançant l'addició successiva de material. I segons aquesta mateixa norma totes les diferents tecnologies es poden agrupar dins dels set grups següents:

1. **Injecció d'aglutinant** (*binder jetting*): procés què es diposita selectivament un agent d'unió líquid per unir materials en pols.
2. **Deposició d'energia dirigida** (*directed energy deposition*): procés en què s'utilitza energia tèrmica focalitzada per fusionar materials a mesura que es dipositen. Energia tèrmica focalitzada fa referència, per exemple, a làser, feix d'electrons o arc de plasma.
3. **Extrusió de material** (*material extrusion*): procés en el qual el material es distribueix selectivament mitjançant un broquet o un orifici.
4. **Injecció de material** (*material jetting*): procés en què es dipositen selectivament gotes de material de construcció. Alguns exemples de materials inclouen fotopolímers i cera.
5. **Fusió per llit de pols** (*powder bed fusion*): procés en què l'energia tèrmica fusiona selectivament regions d'un llit de pols.
6. **Laminació de fulles** (*sheet lamination*): procés en què s'uneixen fulls de material per formar una part.
7. **Fotopolimerització** (*vat photopolymerization*): procés en el qual el fotopolímer líquid en un recipient es cura selectivament mitjançant polimerització activada per llum.

En el següent gràfic es pot observar la disposició d'aquests grups amb les seves tecnologies, el principal component del material que s'utilitza per fabricar els objectes 3D i algunes marques que són referents en aquests tipus de tecnologies.

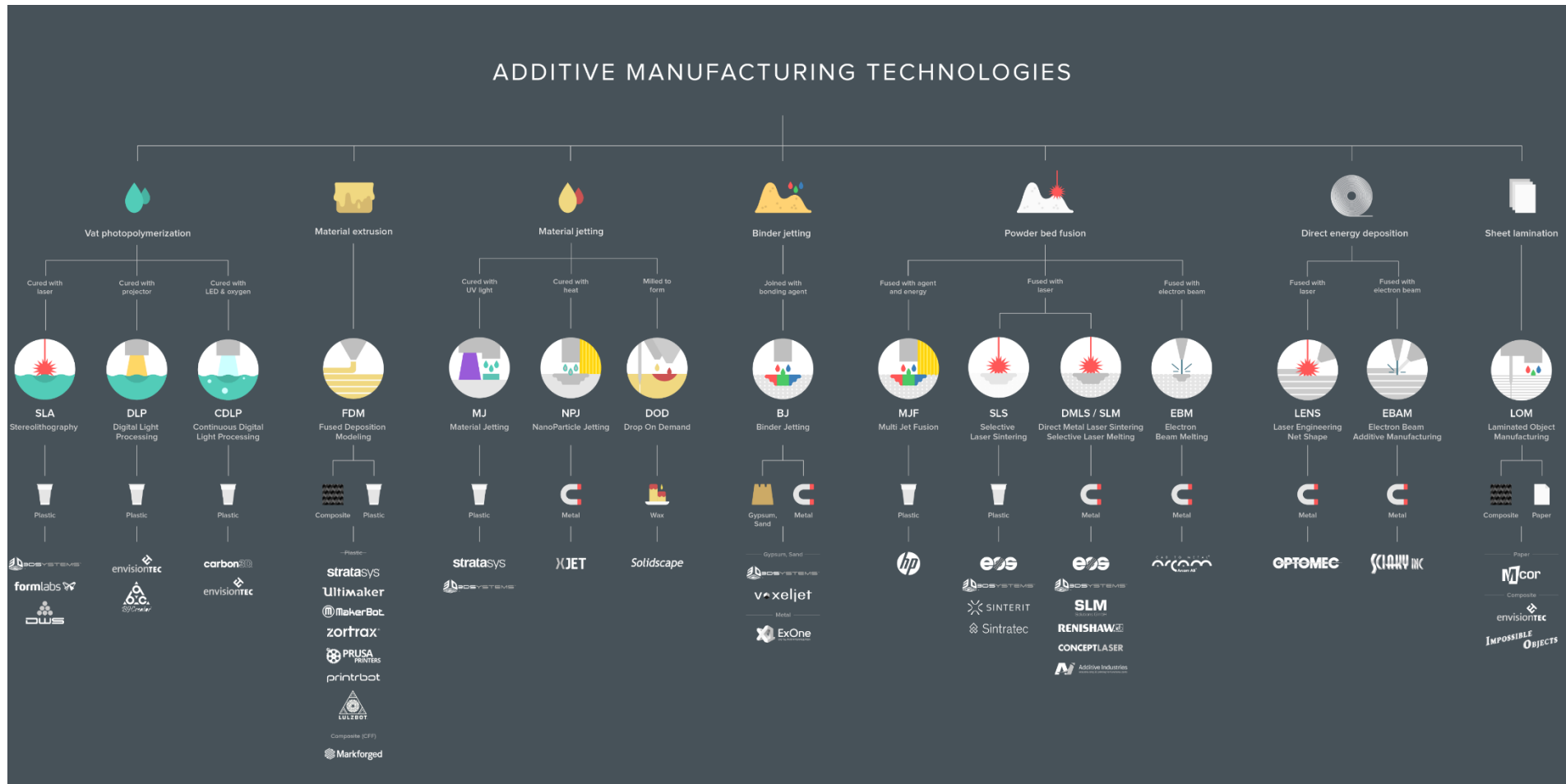


Figura 7: Esquema de les tecnologies de fabricació additiva. [6]

Entre totes les tecnologies esmentades en el gràfic anterior les més conegudes per la població general són les tecnologies SLA, SLS i FDM. Això és deu al fet que la gran majoria d'impressores 3D comercialitzades per a ús particular utilitzen alguna d'aquestes tecnologies, sobretot SLA i FDM.

4.1.1. SLA (estereolitografia o fotosolidificació):

Més conegudes com a impressores de resina, aquestes impressores tenen una base que es submergeix dins d'un recipient ple de la resina líquida i, llavors, un làser va solidificant la resina capa a capa mentre la base va pujant per crear l'objecte. Aquests tipus d'impressió requereix un postprocessat que consisteix en l'exposició de la peça a una llum UV per tal d'eliminar els residus de resina i acabar de solidificar-la. Amb aquest tipus d'impressores es poden obtenir peces d'una altíssima qualitat.

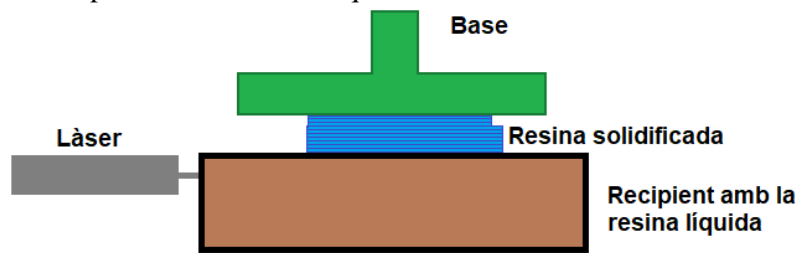


Figura 8: Explicació gràfica funcionament impressores SLA

4.1.2. SLS (sinterització selectiva per làser):

El funcionament és exactament igual que amb les impressores SLA, però el material està en estat de pols. Aquest tipus d'impressió no necessita cap postprocessat, però es poden millorar les seves característiques visuals polint o tintant la peça.

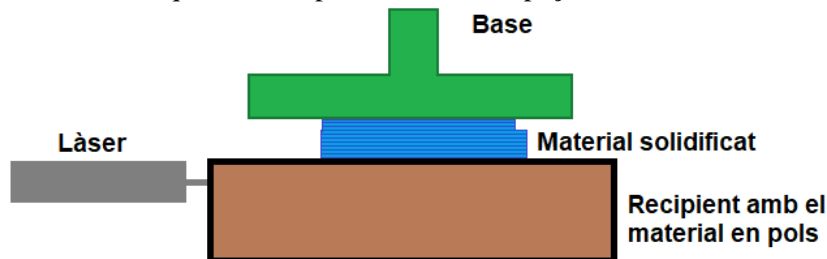


Figura 9: Explicació gràfica funcionament impressores SLS

4.1.3. FDM

A les impressores FDM (Deposició de Material Fos) una bobina de filament es carrega a la impressora, aquest filament es porta cap al capçal d'extrusió que està equipat amb un broquet escalfat. Quan el broquet es troba a la temperatura desitjada el filament es condueix a través d'ell, gràcies a un motor, fonent-lo. Aquest capçal d'extrusió es mou per poder col·locar el filament fos en el lloc indicat, una vegada dipositat a la base el material es refreda i solidifica. Quan acaba la primera capa la base o el capçal es mouen per col·locar la següent capa, i aquest procés es repeteix fins que la peça es completa.

La tecnologia FDM té una precisió i qualitat menor que les tecnologies SLA i SLS, això fa que normalment a les peces se'ls faci un processament posterior per tal d'intentar eliminar les línies visibles d'impressió. A més, el mecanisme d'adhesió de la capa fa que siguin intrínsecament anisotròpiques, això vol dir que seran més febles en una direcció.

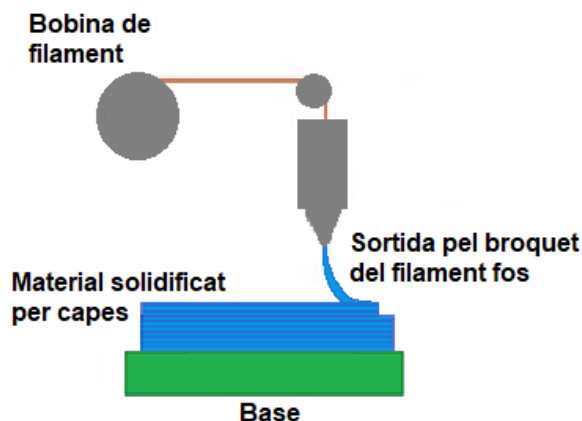


Figura 10: Explicació gràfica funcionament impressores FDM

4.2. Software G-code

Com s'ha esmentat en l'apartat anterior les impressores 3D treballen per capes. Perquè una impressora 3D pugui entendre un model CAD s'ha de passar tota la informació necessària a G-code, que és el llenguatge que entenen les impressores 3D.

```

51 G1 X113.981 Y171.145 E0.10138
52 G1 X113.767 Y170.825 E0.11418
53 G1 X113.484 Y170.418 E0.13067
54 G1 X113.2 Y170.027 E0.14674
55 G1 X112.935 Y169.673 E0.16145
56 G1 X112.806 Y169.494 E0.16879
57 G1 X112.635 Y169.232 E0.1792
58 G1 X112.447 Y168.832 E0.1939
59 G1 X112.33 Y168.46 E0.20687
60 G1 X112.264 Y168.164 E0.21695
61 G1 X112.229 Y167.871 E0.22677
62 G1 X112.213 Y167.484 E0.23965
63 G1 X112.219 Y167.224 E0.2483
64 G1 X112.243 Y166.989 E0.25616
65 G1 X112.294 Y166.712 E0.26553
66 G1 X112.415 Y166.212 E0.28264
67 G1 X112.529 Y165.769 E0.29785
68 G1 X112.628 Y165.428 E0.30966
  
```

Figura 11: Exemple de G-code d'un model CAD

La manera més senzilla per fer-ho és utilitzar un software, anomenats *slicings programs*, que agafen aquest model 3D, i les característiques d'impressió que vulgui l'usuari, i el divideixen en capes i emeten l'arxiu amb el G-code necessari per imprimir cada capa. Alguns exemples dels softwares més utilitzats són Cura, Slic3r, Simplify3D, entre d'altres. Altres opcions són la utilització de llibreries o simplement escriure el codi a mà.

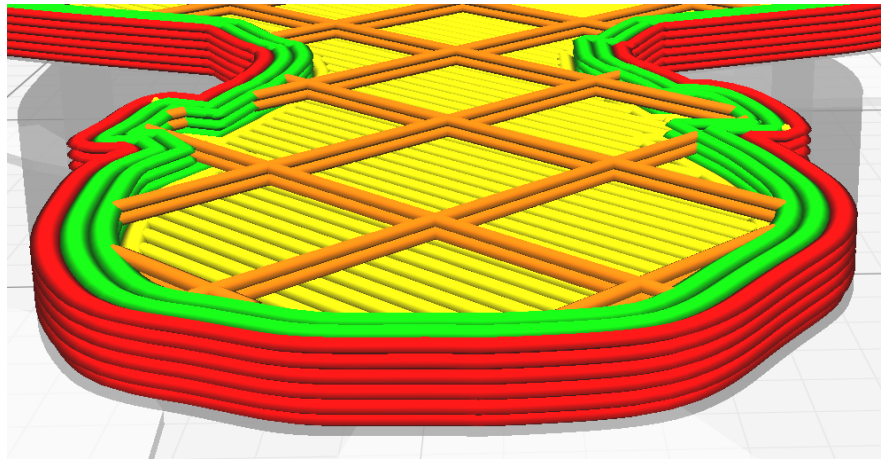


Figura 12: Exemple de visualització de les capes d'un model CAD al programa Cura

4.3. Materials d'impressió 3D

Els dos grans grups de materials d'impressió 3D són els polímers i els metalls, com es pot observar en el següent gràfic, on també es mostren quins tipus de materials s'utilitzen segons cada tecnologia:

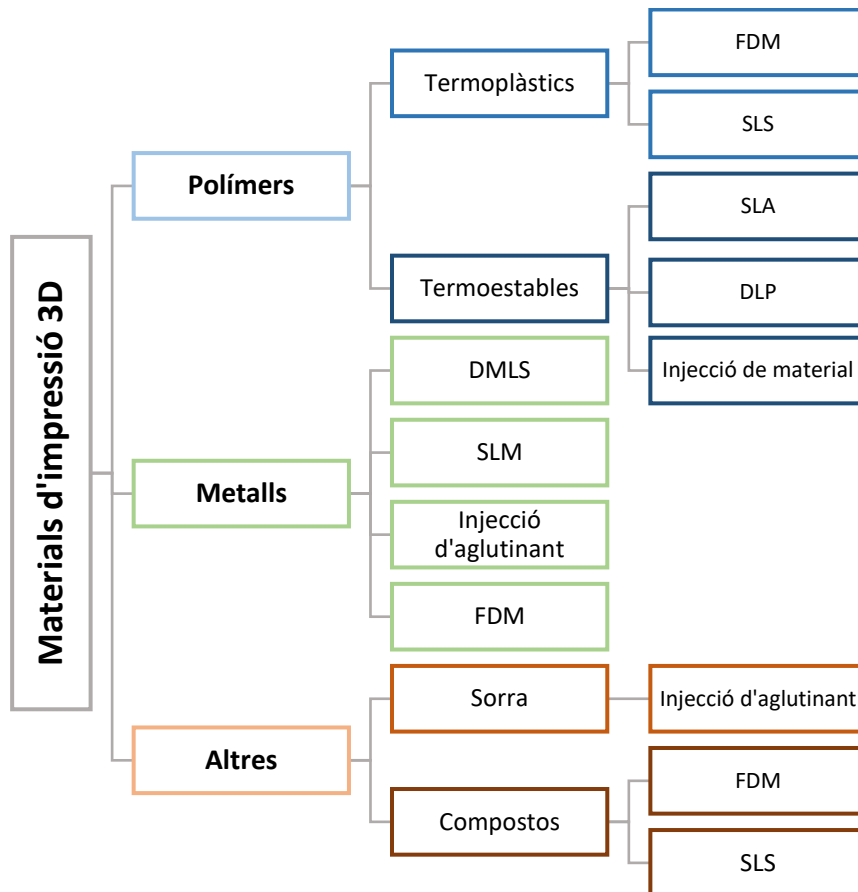


Figura 13: Esquema materials d'impressió 3D

4.3.1. Polímers

Alguns dels polímers més coneguts en la impressió 3D són els següents:

- **Termoplàstics:**

- PLA (àcid polilàctic): és el plàstic d'impressió 3D més comú i de baix cost. És ideal per a prototips no funcionals amb detalls nítids, però no és apte per a altes temperatures.
- ABS (acrilonitril butadiè estirè): és un plàstic semblant al PLA, també és dels més comuns, però amb millors propietats mecàniques i tèrmiques, i una excel·lent resistència a l'impacte.
- PA o Niló (poliamida): és un plàstic amb excel·lents propietats mecàniques i alta resistència química i a l'abrasió, i és perfecte per a aplicacions funcionals.
- PET (politereftalat d'etilè): és un plàstic d'ús alimentari, el mateix que s'utilitza per a les ampolles o els envasos d'aliments.
- PETG: és una modificació del PET afegint-li glicol per millorar les seves prestacions.
- TPU (poliuretà termoplàstic): és un elastòmer amb poca duresa, i aspecte semblant al cautxú que es pot flexionar i comprimir fàcilment.
- ASA (acrilonitril estirè acrilat): és un plàstic que té propietats mecàniques similars a les de l'ABS, però és més senzill d'imprimir, té millor estabilitat UV i alta resistència química. S'utilitza habitualment per a aplicacions a l'exterior.
- PEI (Polieterimida): és un termoplàstic d'enginyeria amb bones propietats mecàniques i una resistència excepcional a la calor, la química i la flama,
- HIPS (Poliestirè d'alt impacte): és un plàstic que té propietats similars a l'ABS, però és més dur i més resistent als impactes. També s'utilitza com a estructura de suport, ja que, es caracteritza per la seva solubilitat comparativament alta en relació amb certs productes químics.
- TPE (elastòmer termoplàstic): és un plàstic que s'utilitza en la impressió 3D per obtenir peces flexibles.
- PP (Polipropilè): és plàstic resistent als productes químics. Té una resistència a la fatiga excepcional, alts nivells de duresa i un coeficient de baixa fricció.

El PLA i l'ABS també s'utilitzen per barrejar-los amb altres materials per tal d'aconseguir variar les propietats inicials d'aquests plàstics. Alguns dels materials que es barregen amb PLA o ABS són la fibra de carboni, el metall, la fusta, materials conductors i materials perquè el filament brilli a la foscor.

- **Termoestables:** les impressores que utilitzen aquest tipus de polímers fan servir resina en estat líquid. La resina produeix peces d'alt detall amb una superfície llisa i semblant a un motlle d'injecció i és ideal per a prototips. Un dels avantatges de la resina és que es pot barrejar amb altres components per aconseguir diferents resultats:
 - Resina ràpida: es solidifica més ràpidament que la resina normal.
 - Resina dissoluble en aigua: s'utilitza en els suports de les impressions, d'aquesta manera és molt fàcil retirar-los, ja que, només s'ha d'introduir la peça en aigua.
 - Resina flexible, equivalent al TPE.
 - Resina a base de plantes, com per exemple soja.
 - Resina que brilla a la foscor.

4.3.2. Metalls

- **Acer inoxidable:** és un aliatge metàl·lic amb alta ductilitat, resistència al desgast i a la corrosió que es pot soldar, mecanitzar i polir fàcilment.
- **Alumini:** és un metall amb una bona relació força-pes, alta conductivitat tèrmica i elèctrica, baixa densitat i resistència natural a la intempèrie.

4.4. PLA

4.4.1. Assaig forces

Al treball de Fi de Grau de David Hedo Garcés es fa la comparació d'assaig de tracció i flexió segons els angles d'impressió i un 100% d'emplenament.

Per a l'estudi experimental s'han dut a terme proves de tracció basant-se en la norma UNE ISO 527-2: 2012, ja que no hi ha una normativa específica per a materials impresos mitjançant modelat per deposició fosa. S'utilitzen les provetes de tipus 1A i 1B.

Les trajectòries utilitzades en aquest treball són:

- Capes de 0° i 90° intercalades entre si.
- Capes a 45° intercalades entre si.
- Capes totes a 0°.
- Capes totes 90°.

- Assaig de tracció:

Per tracció, sense realitzar cap assaig se suposa que les provetes que millor han d'aguantar són les de totes les trajectòries impreses a 0° ja que totes les fibres estan orientades en la direcció de l'esforç. Però, segons els resultats dels assajos les provetes que millor han aguantat han estat les provetes amb trajectòries a 0° - 90° intercalats, com es pot observar en la següent gràfica:

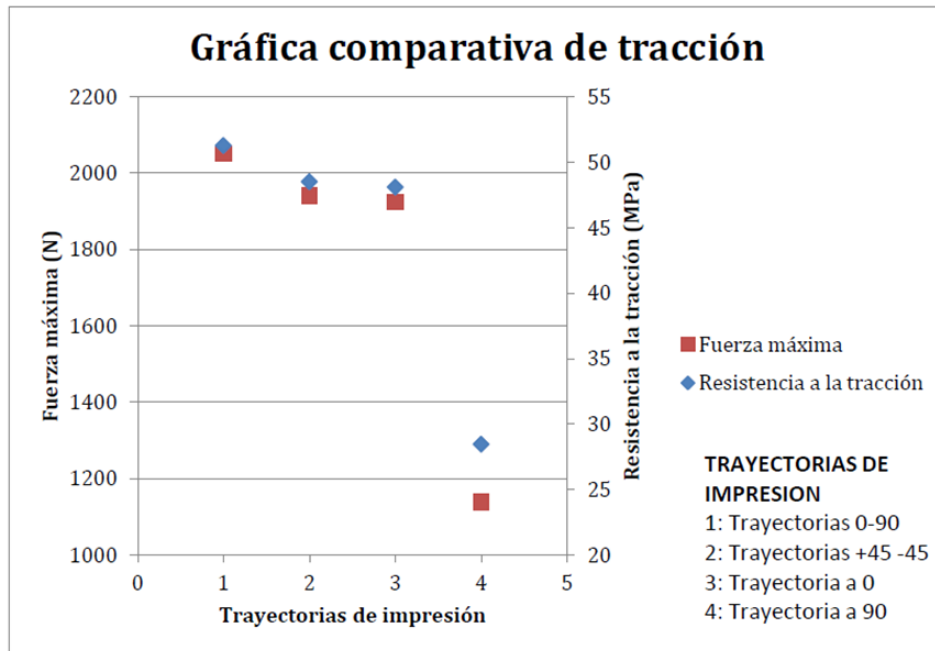


Figura 14: Gràfica comparativa assaig de tracció. [7]

- Assaig de flexió:

Sense realitzar cap assaig se suposa que les provetes que han d'aguantar millor són les de totes les trajectòries impreses a 0°, però segons els assajos realitzats les que millor resultat s'ha obtingut ha estat la proveta de + 45° -45°, com es pot observar a la següent gràfica:

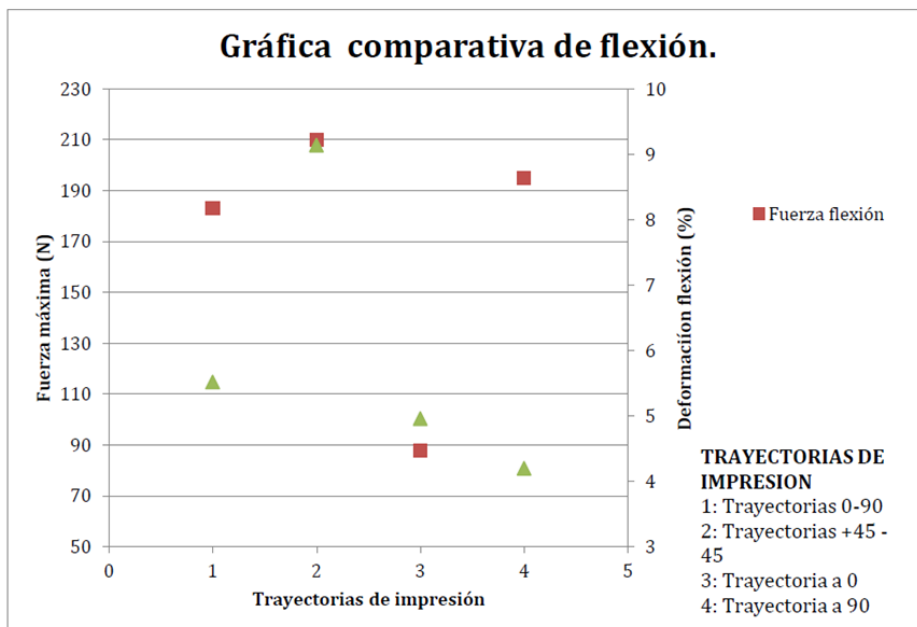


Figura 15: Gràfica comparativa assaig de flexió. [8]

- Conclusions:

Al treball, a causa de la variació entre la teoria i l'assaig, es fa un càlcul per saber la porositat de les peces impreses en 3D, el qual dona un valor del 13%. Aquest valor de porositat influeix en els resultats dels assajos, i fa que es produeixin aquestes diferències. (Hedo Garcés, 2014)

4.4.2. Emplenament peces

A la revista Ingeniare es va publicar un article referent a la influència del percentatge d'emplenament en la resistència mecànica. A l'estudi s'utilitzen 105 provetes impreses a l'eix X amb l'emplenament imprès amb l'orientació +45°/-45°.

A la següent taula es poden veure els resultats de l'assaig per tracció:

Resultados ensayo de tracción					
Ítem	% relleno	Nº de especímenes ensayados	Resistencia a la tracción promedio (MPa)	Desviación estándar	Módulo de elasticidad promedio (MPa)
1	0	5	14,62	1,30	550,53
2	5	5	16,54	1,51	649,69
3	10	5	16,83	2,13	600,65
4	15	6	18,89	2,60	714,33
5	20	6	18,61	2,55	699,44
6	25	5	18,99	2,16	747,81
7	30	5	21,54	1,70	892,62
8	35	5	23,22	0,55	920,74
9	40	5	21,25	0,88	796,06
10	45	5	21,54	3,05	861,98
11	50	5	23,51	2,24	892,44
12	55	5	23,37	2,27	872,55
13	60	5	22,36	2,32	899,94
14	65	5	23,80	3,63	839,88
15	70	5	23,27	2,73	877,42
16	75	6	25,48	3,34	905,56
17	80	5	21,30	1,43	831,90
18	85	5	21,44	0,65	856,81
19	90	5	24,62	2,56	863,89
20	95	5	22,93	0,44	756,56
21	100	5	34,57	0,65	1.014,56
Total probetas		108			

Taula 2: Resultat assaig de tracció. [1]

I aquí el gràfic corresponent on es pot observar que la resistència més gran la trobem al 100 d'emplenament:



Figura 16: Gràfica comparativa assaig de tracció respecte percentatge d'emplenament. [9]

Una altra gràfica important que apareix en aquest article és la que fa referència al temps efectiu d'impressió respecte al percentatge d'emplenament:



Figura 17: Gràfica comparativa temps efectiu d'impressió respecte percentatge d'emplenament [10]

- Conclusions:

D'acord amb els resultats obtinguts s'aconsegueix comprovar que la màxima resistència a l'eix X s'aconsegueix amb 100% d'emplenament i és de 34,57 MPa.

L'altre resultat important té relació amb el temps d'impressió. Generalment, els usuaris d'impressores seleccionen percentatges d'emplenament menors per disminuir els temps d'impressió o per estalviar material. Si el motiu és disminuir el temps d'impressió, no es recomana imprimir amb percentatges d'emplenament en un rang de 50 a 95%, ja que el temps serà més gran que si s'imprimeix amb 100%, i aquest percentatge d'emplenament té millors característiques mecàniques que el rang de 50 a 95%. (Alvarez C. et al., 2016)

5. Impacte ambiental

5.1. Impressió 3D

5.1.1. Perillositat de fondre els materials

Donat que el procés d'impressió 3D consisteix a fondre diferents tipus de plàstics per a poder-los extrudir, fa que aquests mateixos materials emetin fums. I aquests fums, en alguns casos, poden ser nocius.

A les fitxes de seguretat² dels diferents materials, els fabricants, sempre recomanen la correcta ventilació de l'habitació on s'estigui produint el procés d'impressió. La qüestió és que aquesta recomanació es basa en no superar uns límits màxims que una persona particular no té la capacitat de controlar.

L'ABS i el Niló són dos materials que quan es fonen emeten d'estirè, que és una substància que es sospita que és un carcinogen, és a dir, que transforma les cèl·lules normals en cèl·lules canceroses. Si no es supera el màxim estipulat per la llei no hi ha cap problema per a la seguretat de la persona, però al no poder controlar els seus nivells només es pot mantenir una ventilació constant i intentar no estar a la mateixa habitació que la impressora 3D.

En canvi, el PLA quan es fon emet una substància anomenada lactida, que no és tòxica. No obstant això, qualsevol vapor, encara que no sigui nociu, si s'inhala durant un període prolongat de temps pot arribar a ser problemàtic. Així que sempre s'ha d'intentar mantenir l'habitació ben ventilada, posant especial atenció quan es sap que el material emet fums nocius.

² Més informació a l'Annex 1. Fitxes seguretat materials

5.1.2. Residus a les impressions

Motius:

1. Mala adhesió al llit, això pot produir que l'element que s'està imprimint caigui o es mogui de tal manera que el broquet el tiri o el faci malbé.



Figura 18: Exemple de caiguda d'un objecte durant la seva impressió

2. Obstrucció del broquet (*nozzle/boquilla*), aquesta obstrucció pot ser total o parcial, causant que la impressora segueixi en funcionament, però no estigui imprimint res o que hi hagi forats per la falta d'extrusió de filament.



Figura 19: Exemple d'obstrucció total del broquet

3. Mal estat del tub PTFE (tefló), aquest és el tub que porta el filament cap a l'extrusor, a causa de les altes temperatures i la fricció es fa malt bé, i es pot obstruir o trencar.



Figura 20: Exemple de tub PTFE trencat

4. Suports de les impressions.



Figura 21: Exemple dels suports que es convertiran en residus

Solucions:

1.
 - a. Millora adhesió amb laca o amb cinta de pintor i pega de barra, etc.
 - b. Bon anivellament del llit, de forma manual o automàtica.



Figura 22: Exemple d'adhesió al llit amb cinta de pintor i pega de barra

2.
 - a. Bona qualitat del filament per evitar obstruccions. Aquesta bona qualitat inclou que tingui un diàmetre constant, que no hi hagi brutícia o qualsevol altre material que no sigui el del mateix filament en aquest i que no estigui humit.
 - b. S'ha d'extrudir el filament a la temperatura adequada, si està per sota podria obstruir l'interior broquet i, si està per sobre extrudiria més material del necessari i també es podria obstruir el broquet però per la part exterior i no deixar sortir el material.
3. Controlar l'estat del tub PTFE i canviar-lo quan sigui necessari.
4. Els suports de les impressions són inevitables, però escollint la posició correcta de la peça per imprimir-la els podem reduir o suprimir.

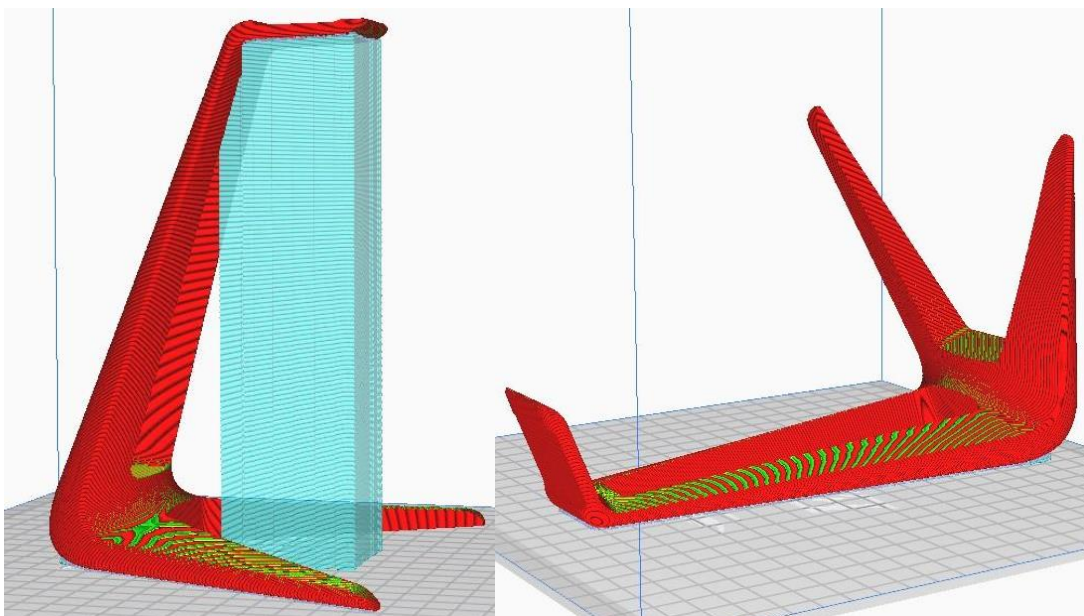


Figura 23: Exemple de posicionament d'un objecte per suprimir la necessitat de suports

L'existència d'aquests residus fa que, donat el temps actuals, es busqui la manera de complir les 6 Rs en el procés de la impressió 3D. Aquestes 6 Rs del reciclatge són:

- Reduir: s'aconsegueix amb les solucions esmentades a l'apartat anterior.
- Reutilitzar: s'aconsegueix aprofitant elements en bon estat d'una impressora 3D que ja no funcioni o agafant elements d'altres objectes per a utilitzar en la impressora.
- Reciclar: s'aconsegueix convertint aquests residus en nou filament o llençant els elements de la impressora que ja no serveixen al lloc adequat (per exemple, a la deixalleria).
- Reestructura o reparar: s'aconsegueix arreglant elements de la impressora 3D en lloc de substituir-los per uns de nous, això normalment també comporta un estalvi econòmic.
- Redistribuir: s'aconsegueix donant, intercanviant o venent peces de la impressora que per a nosaltres ja no són útils, però per a una altra persona poden ser de gran ajuda. Sent per aquesta persona també un estalvi econòmic.
- Reflexionar: la manera d'aconseguir tots els apartats anteriors és pensant, s'han de buscar les millors maneres d'aconseguir-ho.

Aquest treball es centra en la part de reciclar els residus de les impressions 3D. Fins que no van aparèixer les màquines per convertir aquests residus en nou filament no hi havia una manera sostenible de desfer-se d'aquests residus. Hi ha algunes agrupacions de *makers* que compren aquestes màquines en conjunt, d'aquesta manera surt a un preu més assequible i tots es poden beneficiar. El problema d'aquesta solució és que s'ha de disposar d'un lloc per tenir aquesta màquina, i que tots els *makers* d'aquesta agrupació visquin a prop. Així que la millor solució i la més eficaç és que es pogués aconseguir o construir una d'aquestes màquines a un preu assequible perquè la gent, de forma individual, pugui reciclar els seus residus de forma que aquest reciclatge sigui un benefici directe a la persona que el porta a terme.

Reciclar els mateixos residus de les impressions 3D no és l'única manera d'aconseguir fer filament reciclat, es poden utilitzar altres materials o objectes. Com per exemple les mascaretes quirúrgiques, com ha demostrat un grup d'investigadors de la UPC i es pot veure en el gràfic:

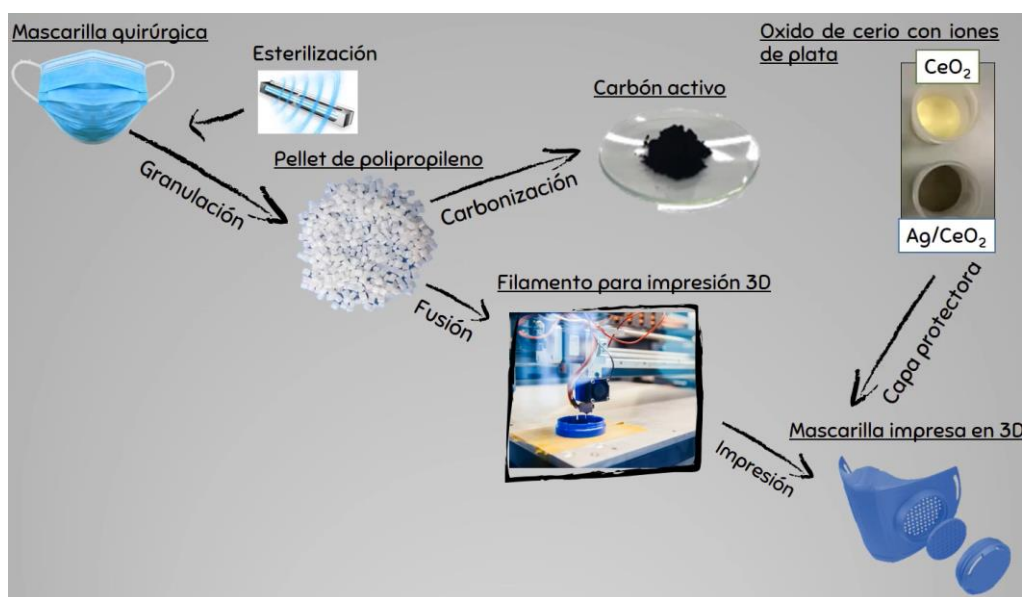


Figura 24: Gràfic reciclatge mascareta quirúrgica per a filament [11]

O el projecte FENIX, també de la UPC, que utilitzen material recuperat a partir de WEEE (*Waste Electrical and Electronic Equipment*), residus d'equips elèctrics i electrònics, per imprimir amb la tècnica DIW (*Direct Ink Writing*), escriptura directa de tinta. És un mètode on el material que surt del broquet està en un estat semblant al líquid, però conserva la seva forma immediatament. És diferent del FDM perquè no depèn de la solidificació ni de l'assecat per conservar la seva forma després de l'extrusió, pel principi de la divisió per capes d'un model CAD és el mateix.

5.2. TFG

5.2.1. Consum energètic

- Portàtil³: $90,6 \text{ W} = 0,0906 \text{ kW} * 600 \text{ h} = 54,36 \text{ kWh}$
- Pantalla externa⁴: $38 \text{ W} = 0,038 \text{ kW} * 600 \text{ h} = 22,8 \text{ kWh}$

Pel treball total amb l'ordinador es produeix un consum de 77,16 kW.

5.2.2. Emissions⁵

Emissions en kg de CO₂, SO₂ i NO_x pel treball total amb l'ordinador:

- Diòxid de carboni (CO₂): $0,076 \text{ kg/kWh} * 77,16 \text{ kWh} = 5,864 \text{ kg}$
- Diòxid de sofre (SO₂): $0,132 \text{ g/kWh} * 77,16 \text{ kWh} = 10,185 \text{ g}$
- Òxid de Nitrogen (NO_x): $0,104 \text{ g/kWh} * 76,8 \text{ kWh} = 8,025 \text{ g}$
-

5.2.3. Residus radioactius⁶

Residus radioactius que es produeixen durant el treball total amb l'ordinador:

$$0,26 \text{ mg/kWh} * 77,16 \text{ kWh} = 20,062 \text{ mg}$$

Les emissions de diòxid de carboni, diòxid de sofre, òxid de nitrogen i els residus radioactius són a causa de la manera en què s'aconsegueix i es produeix l'energia elèctrica.

³ Imatge de la font d'alimentació amb les dades a l'Annex 2. Capítol 1.

⁴ Imatge de la font d'alimentació amb les dades a l'Annex 2. Capítol 2.

⁵ Informació de les dades d'emissions a l'Annex 3.

⁶ Informació sobre les dades de residus radioactius a l'Annex 3.

6. Estat de l'art

L'any 1981 els primers filaments per a impressora 3D eren d'un sol ús, això es deu al fet que estaven fets de polímers termoenduribles, el procés dels quals una vegada efectuat no és reversible.

El 1988 Scott Crump inventa la Fabricació per Filament Fos (FFF o FDM, "*Fused Deposition Modeling*"), la idea se li va ocórrer quan va intentar crear una granota de joguina per a la seva filla amb una pistola de cola calenta plena d'una barreja de polietilè i cera d'espelmes. Davant de la dificultat de fer-ho manualment ell i Lisa Crump, la seva dona, creen i patenten l'estil d'impressora 3D FDM.

Gràcies al fet que aquesta patent expira el 2009 les impressores 3D alimentades amb filaments s'han adoptat àmpliament en la fabricació additiva tant per a ús domèstic com comercial.

És l'any 2011 quan la impressió 3D creix a causa dels augments de les empreses emergents de fabricació d'impressores 3D.

El 2012 a *Thingiverse*, pàgina web de models CAD gratuïts per impressió 3D, Hugh Lyman penja de forma gratuïta el seu projecte d'extrusora i màquina de bobinat de filament, sent aquestes les primeres versions dels dos projectes.

No és fins al 2015 que s'obre un *kickstarter* per part de FILAFAB per reunir diners per fabricar el primer extrusor i enrotllador de filaments professional, com ells anuncien en el títol. Van reunir £24.838 de les £8.500 que volien aconseguir. El projecte es va allargar més de l'esperat, fins al 2017, i va haver-hi queixes de gent dient que no havien rebut res, però actualment FILAFAB comercialitza tant l'extrusora com l'enrotllador de filament.

És també l'any 2015 quan Hugh Lyman penja a *Thingiverse* la versió final, la número 6, de la seva extrusora de filament. I el 2016 penja la versió final, la número 3, de la màquina de bobinat de filament.

Actualment hi ha diverses empreses que tenen al mercat màquines que converteixen pellets del material seleccionat, normalment PLA o ABS, en nou filament. Aquestes màquines normalment són molt costoses i no produeixen els resultats esperats, no tenen una bona relació qualitat-preu. És per això que a la comunitat *maker* han seguit sorgint diferents projectes durant aquests anys per tal d'intentar abaratir costos.

6.1. Reduir mida residus

Per poder reutilitzar aquest PLA s'ha de reduir la mida dels residus a una semblant als dels *pellets*, una mida màxima de 5 mm, per tal que la màquina sigui capaç d'agafar el material i portar-lo cap a l'extrusor i desfer-lo.

6.1.1. Comercial

- Filabot

La marca Filabot té una màquina per reduir la mida dels residus d'impressions 3D anomenada Filabot *Reclaimer* per 4858,15 €.



Figura 25: Trituradora de plàstic de Filabot [12]

- 3devo

Aquesta marca també té la seva pròpia màquina per reduir la mida dels residus plàstics, s'anomena Shred IT i costa 2975 €.



Figura 26: Trituradora de plàstic de 3devo [13]

- ReDeTec

La marca ReDeTec té una màquina que inclou la part de reduir la mida dels residus plàstics, l'extrusió del filament i el bobinat d'aquest, anomenada ProtoCycler+ i costa 2907,07 €.



Figura 27: Màquina trituratora, extrusora i bobinat de ReDeTec [14]

6.1.2. DIY

- *3D-printable shredder* de Brian Brocken

Brian Brocken explica tot el procés i els materials necessaris per construir la seva trituratora de plàstic de forma gratuïta, a més la gran majoria d'elements estan impresos en una impressora 3D. Això fa que el preu sigui molt inferior a qualsevol de les opcions comercials, encara que s'ha de tenir en compte que en ser tot del mateix plàstic que vols triturar és probable que no agunti molt de temps sense trencar-se.



Figura 28: Trituratora de plàstic de Brian Brocken [15]

- *Mini Shredder* de diychen a la pàgina web *Instructables*:

Aquesta màquina està inspirada en l'anterior, però en lloc d'utilitzar elements impresos en 3D utilitza acer inoxidable. D'aquesta manera és més potent i té més resistència, encara que el preu serà més elevat, ja que les peces d'acer inoxidable estan fetes a mida.



Figura 29: Màquina trituradora de diychen [16]

Altres persones han decidit buscar màquines més assequibles que puguin oferir un resultat semblant a aquestes trituradores de plàstic casolanes. Com per exemple les liquadores:



Figura 30: Liquadora per triturar plàstic [17]

O trituradores de paper:

Encara que en aquesta solució, com es pot apreciar en la imatge, els trossos de plàstic han de ser bastant fins per tal de poder-los introduir a la màquina.



Figura 31: Trituradora de paper triturant plàstic [18]

6.2. Extrudir filament reciclat

6.2.1. Comercial

- Felfil:

La marca Felfil té diverses opcions a l'hora de comprar l'extrusora:

- Felfil Evo Kit Complet: per 599 € venen totes les peces necessàries per poder assemblar l'extrusora.
- Felfil Evo assemblat: per 719 € venen l'extrusora completament assemblada.
-

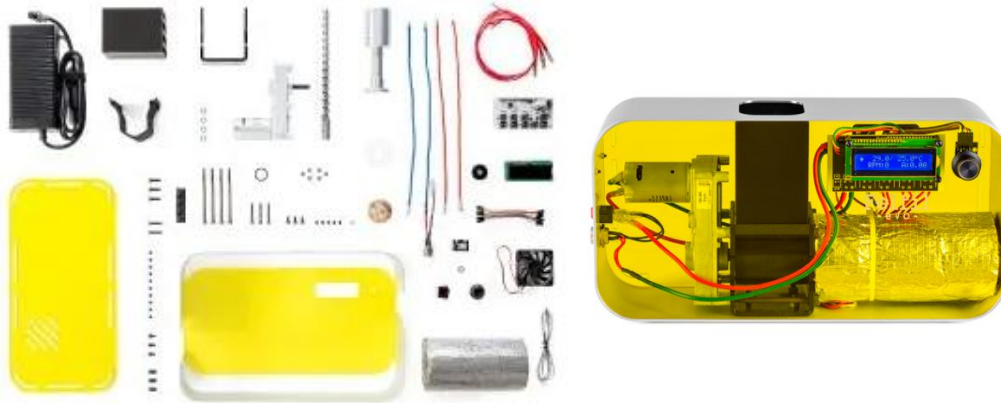


Figura 32: Diferents opcions de compra de l'extrusora Felfil Evo [19]

- Filabot

Aquesta marca té dues extrusores al mercat, on la diferència de preu entre elles es deu a la qualitat del producte final i a les seves prestacions:

- Filabot EX2: per 2299,03 €.
- Filabot EX6: per 9078,13 €.



Figura 33: Extrusores de la marca Filabot [20]

- Filastruder
Per 251,07 € et venen un kit amb totes les peces necessàries per construir l'extrusora, encara que t'has d'imprimir una peça o la pots agafar el kit amb la peça impresa per 259,44 €.



Figura 34: Extrusora de la marca Filastruder [21]

- 3devo
Aquesta marca té 4 extrusores diferents que van des de 4.850 € fins a 6.350 € segons la necessitat dels materials a extrudir i la precisió necessària. Aquesta extrusora inclou la màquina de bobinat en el mateix disseny, com es pot observar en la següent fotografia:



Figura 35: Extrusora de la marca 3devo [22]

6.2.2. DIY

A causa dels preus als quals es venen les extrusores de filament, la comunitat *maker* hi ha molts projectes de diferents persones que han volgut construir una extrusora elles mateixes per tal d'abaratir costos. D'aquests projectes es poden destacar dos en concret:

- *Build Your Own 3d Printer Filament Factory (Filament Extruder)* de Ian McMill:
 Ian McMill explica tot el procés i els materials necessaris per construir la seva extrusora de forma gratuïta. Això redueix el cost d'aquesta extrusora als materials que utilitzis.



Figura 36: Extrusora de Ian McMill [23]

- *Lyman Filament Extruder V6* de Hugh Lyman:
 Hugh Lyman també explica aquí tot el procés i els materials necessaris per construir aquesta extrusora, que es troba en la seva versió número 6. Tot això també de forma gratuïta i per tant els costos són només dels materials utilitzats.



Figura 37: Extrusora de Hugh Lyman [24]

6.3. Bobinat del filament

6.3.1. Comercial

- Felfil
Aquesta marca també té una màquina de bobinat de filament, la qual es pot comprar per separat per 599 € o en conjunt amb l'extrusora per 1.159 €.



Figura 38: Màquina de bobinat de la marca Felfil [25]

- Filabot
Filabot *Spooler* per 1964,26 €. També es pot comprar la màquina de bobinat filament en conjunt (el qual inclou el Filabot Airpath (612,63 €), que ajuda a una millor refrigeració del filament abans d'entrar a la màquina de bobinat) amb l'extrusora EX2 per 4.875,93 € i amb l'extrusora EX6 per 11.655,02 €.



Figura 39: Màquina de bobinat de la marca Filabot [26]

- Filaestruder
 Filawinder és la màquina de bobinat de la marca Filaestruder per 142,27 € sense les peces impreses en 3D, i per 163,19 € amb les peces impreses.

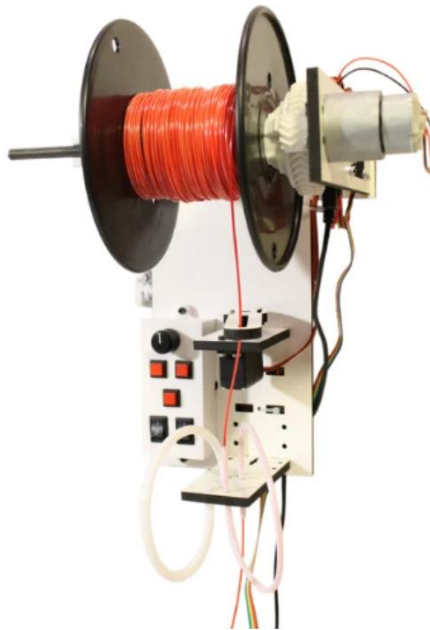


Figura 40: Màquina de bobinat de la marca Filaestruder [27]

6.3.2. DIY

- *Filament Spool Winder* de Hugh Lyman:
 Igual que amb l'extrusora Hugh Lyman explica tot el procés de forma gratuïta, per tant els costos són els dels materials necessaris.

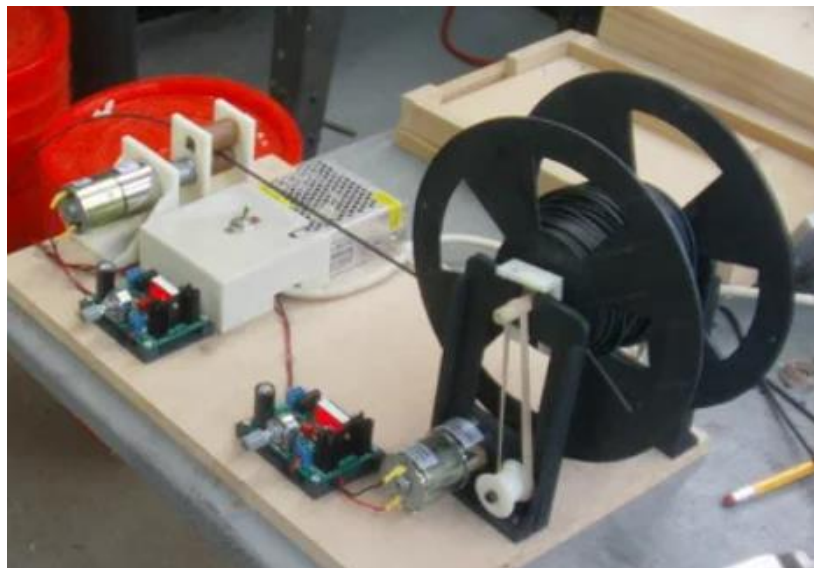


Figura 41: Màquina de bobinat de Hugh Lyman [28]

7. Plantejament i selecció d'alternatives

Una vegada explorades totes les opcions que hi ha, s'han estudiat per saber els pros i contres de cadascuna per tal de poder prendre una decisió final i fer el disseny de la màquina. Un aspecte que comú a totes les decisions és el preu, ja que es vol que sigui el més econòmicament possible.

7.1. Trituradora

Per tal de poder utilitzar l'extrusora per a reciclar el PLA s'han de poder obtenir peces d'aquest d'uns 5 mm. Tenint en compte que no és la part principal del projecte dos aspectes molt importants són el preu i el temps de dedicació.

Les diferents opcions són les següents:

1. Màquina comercial
2. Màquina DIY
 - a. Peces en impressió 3D
 - b. Peces en acer inoxidable
3. Batedora de got
4. Trituradora de paper

Utilitzant el mètode d'avaluació per valor tècnic ponderat s'ha decidit que la millor opció és la batedora de got⁷. Aquesta ens permet obtenir els resultats esperats sense gastar una gran quantitat de diners, aproximadament 30 €, i el temps de dedicació és mínim, només s'ha de comprar una batedora de got amb les característiques necessàries.

S'ha de tenir en compte que en ser un electrodomèstic la potència que té és limitada, prèviament s'han de preprocessar els residus de les impressions 3D per tal de reduir la seva mida per entrar dintre del recipient. I també s'ha de contemplar la necessitat de reduir la mida a causa de la densitat del residu, si aquesta és molt elevada la batedora de got no serà capaç de trencar-lo.

7.2. Extrusora

7.2.1. Font d'alimentació

S'utilitza una font d'alimentació de 12 V i 20A per alimentar els dos motors DC de la màquina i el ventilador de la refrigeració.



Figura 42: Font d'alimentació 12 V i 20A [29]

⁷ Veure Annex 4. Capítol 1 per veure la taula de valor tècnic ponderat de la trituradora.

7.2.2. Microcontrolador

Per tal de controlar tots els processos de la màquina s'utilitzarà una placa igual a la d'Arduino Uno però amb un cost menor, anomenada Elegoo Uno R3. Aquesta placa té totes les connexions i ports necessaris per als elements que es volen connectar: motors, mesurador de profunditat, pantalla LCD, potenciòmetres, etc.

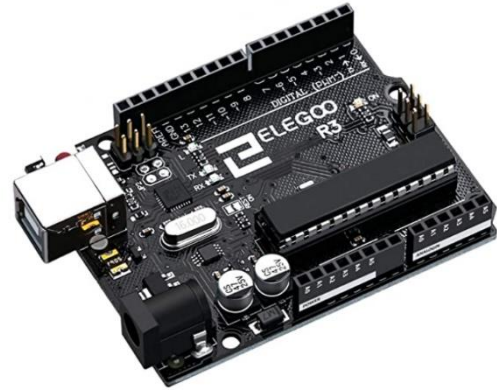


Figura 43: Microcontrolador Elegoo Uno R3 [30]

7.2.3. Motor DC 1

Per moure el fuset i transportar el material fins a la banda calefactora per extrudir-lo es necessita un motor de corrent continu i pel parell necessari el voltatge més comú és de 12 V. Existeixen una gran quantitat de motors que compleixen aquestes característiques, però seguint les directrius de reciclatge i baix cost, com es mostra a la taula d'avaluació per valor tècnic ponderat⁸, l'opció més adequada és utilitzar un motor de neteja parabrises reciclat.



Figura 44: Motor DC 1

7.2.4. Controladora motors DC

Per tal de controlar la velocitat del motor, la qual influeix en la velocitat d'extrusió del filament reciclat, i per tant, en el seu diàmetre, s'utilitza una controladora de motor per Arduino, en concret la VNH5019. Aquesta controladora és dual, per tant, s'utilitza també per controlar el segon motor DC que s'encarrega del bobinat. La velocitat dels motors es pot controlar de forma manual amb dos potenciòmetres, això s'utilitza en la fase de calibratge, i una vegada trobada la velocitat adequada s'indicarà per codi per fer el procés més senzill i automàtic.

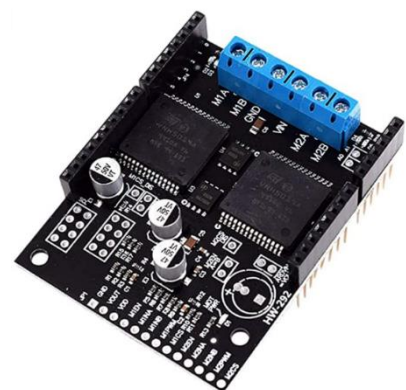


Figura 45: Controladora VNH5019 [31]

⁸ Veure Annex 4. Capítol 2 per veure la taula de valor tècnic ponderat del motor DC 1.

7.2.5. Fuset i broquet

Els fusets que es venen tenen uns preus molt elevats, i donada la necessitat que el projecte ha de ser econòmic i la compra dels seus materials viable per a tothom, la millor opció és utilitzar elements de fontaneria, com canonades i peces d'unió d'aquestes. I una broca salomònica unida al motor DC 1, mitjançant un adaptador imprès en 3D, per transportar el material fins al broquet.

Els materials de fontaneria són de ferro galvanitzat, ja que té una gran resistència i no necessita cap manteniment, a més del seu preu assequible. Per fer el fuset s'utilitza una canonada de $\frac{3}{4}$ " de diàmetre i 40 cm de longitud. Es podria utilitzar una canonada de menor diàmetre, però davant la impossibilitat de trobar bandes calefactores d'un radi menor a 30 mm i potència de 200 W s'escull aquesta que té un diàmetre exterior de 27 mm. En ser una canonada més ampla s'afegeix un reductor de $\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ " per reduir el diàmetre de la canonada abans d'arribar al broquet.

En aquesta canonada es fa un forat rectangular, aproximadament de 70x20 mm, que serà per on s'introduiran els trossos triturats de PLA a través de la tremuja, també impresa en 3D. La part de la canonada més propera al motor es subjecta amb una brida collada a un suport de fusta, de 200x150 mm, i la part més allunyada és on va el broquet, i per tant, per on s'extrudeix el nou filament.

El broquet és un tap de fontaneria foradat amb un diàmetre aproximat d'1,5 mm, que conjuntament amb la velocitat del motor del fuset permet extrudir el filament amb un diàmetre aproximadament d'1,75 mm.



Figura 46: Broquet i part final del fuset



Figura 47: Fuset amb el broquet

7.2.6. Control diàmetre filament

Amb un caliper electrònic de profunditat connectat a la placa Elegoo, dos rodaments 693ZZ, una goma elàstica, tres caragols M3, amb les seves rosques corresponents, i un suport personalitzat imprès en 3D es pot controlar el diàmetre del filament extrudit.

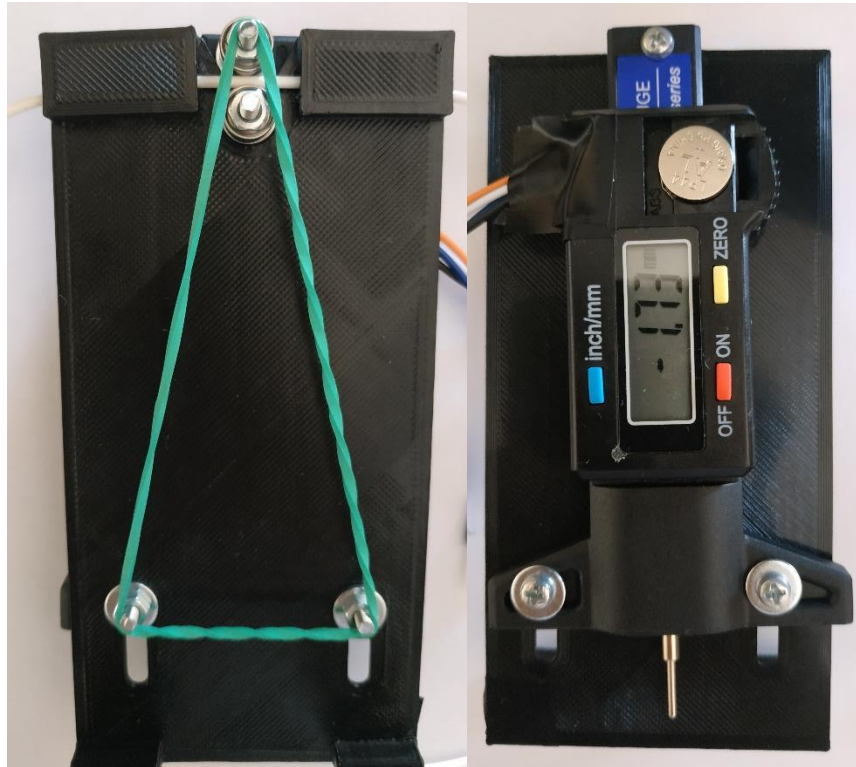


Figura 48: Control del diàmetre del filament

7.2.7. Pantalla LCD

Una pantalla LCD de 20x4 caràcters connectada a la placa Elegoo, amb el bus de dades I2C que permet tenir només 4 ports de connexió amb la placa, 2 d'alimentació i 2 de dades. Això permet mostrar les velocitats dels dos motors, així com la lectura del diàmetre del filament.

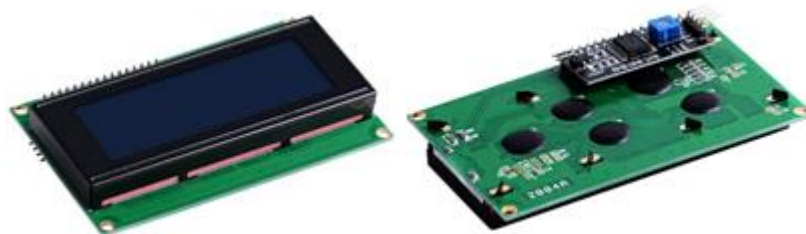


Figura 49: Pantalla LCD amb protocol I2C [32]

7.2.8. Tremuja

La tremuja va connectada a la canonada de ferro galvanitzat, a la part on hi ha el forat rectangular, aquesta és un disseny per impressió 3D que permet abocar en la part superior el PLA triturat, cau cap a dins de la canonada a través del forat i amb el moviment del fuset es va introduint cap al broquet.

7.2.9. Banda calefactora

Aquesta banda calefactora serveix per augmentar la temperatura al final de la canonada per poder fondre el PLA i extrudir-lo. Per poder aconseguir la temperatura necessària per fondre el PLA, aproximadament 220°C, es necessita una potència de 200 W, i el diàmetre més petit amb aquesta potència és de 30 mm. Per intentar aprofitar tota la calor cap a la canonada s'utilitza aïllant i cinta resistent a la calor.

La banda calefactora seleccionada porta inclòs un termoparell tipus K, això serveix per controlar la temperatura d'aquesta banda amb l'ajuda del PID i un relé d'estat sòlid.



Figura 50: Banda calefactora de 200 W [33]

7.2.10. Refrigeració

Per poder refrigerar el filament una vegada extrudit de forma ràpida, per tal que no varii massa el diàmetre, s'utilitza un ventilador col·locat seguidament del broquet, de forma horitzontal collat a la fusta base. Aquesta solució és molt més econòmica i a l'utilitzar un ventilador de 12 V s'alimenta amb la mateixa font que els dos motors DC.



Figura 51: Ventilador 12 V

7.2.11. Base de la màquina extrusora

Com a base de la màquina extrusora s'utilitza fusta, és un element econòmic i molt fàcil d'aconseguir, o de reutilitzar de projectes anteriors. Ha de tenir unes dimensions de com a mínim 900x450 mm.

7.3. Bobinat

Pel bobinat del nou filament reciclat s'utilitza un motor DC de 12 V, no tan potent com el de l'extrusora, per moure la bobina. Per controlar aquest motor s'utilitza la mateixa controladora del motor DC 1 i un potenciòmetre. La velocitat d'aquest motor també es pot veure a través de la pantalla LCD.

El suport de la bobina és un disseny per impressió 3D que es colla a una fusta, aquesta fusta no és la mateixa de la base de l'extrusora, d'aquesta manera es pot allunyar a la distància necessària per a que el filament es refredi del tot, l'estructura és menys voluminosa i a l'hora de guardar-la ocupa menys espai. La fusta té unes dimensions de 415x305 mm.

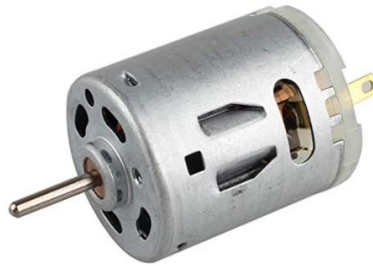


Figura 52: Motor DC bobinat

8. Solució final

8.1. Preparació matèria primera

Per aconseguir un PLA a la mesura adequada per introduir-lo a la màquina extrusora s'ha d'utilitzar la batedora de got, en aquest cas s'utilitza una batedora de got amb una potència de 500 W i una velocitat de 24.000 RPM. Es necessita reduir el PLA a trossos d'uns 5 mm per costat i 1-2 mm de gruix. El PLA introduït al got de la batedora es redueix a trossos no més grans de 50 mm per costat per tal que no es quedin encallats entre les fulles i el lateral del got.

Per aconseguir trobar el límit de mida i densitat que pot fer front aquesta batedora de got es comença triturant els elements més petits, d'aproximadament 1 mm de gruix.



Figura 53: Restes PLA impressions 1 mm de gruix

Una vegada passat per la batedora, fent diverses repeticions curtes per evitar fondre el PLA, el resultat obtingut són petits trossos de PLA d'aproximadament 3-4 mm el costat més gran, en ser trossos d'1 mm el gruix no és un problema.



Figura 54: Resultat PLA 1 mm triturat

La següent prova és de trossos d'entre 2-3 mm de gruix.



Figura 55: Restes PLA impressions 2-3 mm de gruix

Passat per la batedora, una altra vegada amb diverses repeticions curtes, s'obté un bon resultat amb característiques semblants a les anteriors, aproximadament 4-5 mm el costat més llarg.



Figura 56: Resultat PLA 2-3 mm triturat

L'última prova és amb elements de més de 3 mm de gruix. Això inclou peces sòlides de 4 mm de gruix, peces d'entre 30-40 mm amb un emplenament entre el 10 i el 20 % i dues peces 30x15 mm amb un emplenament del 100%.



Figura 57: Restes 1 PLA impressions més de 4 mm de gruix

Després d'unes quantes passades amb la batedora aquest és el resultat:



Figura 58: Resultat 1 PLA més de 4 mm triturat

En la fotografia anterior es poden observar com les peces amb un emplenament més elevat deixen trossos de PLA més grans que a les dues proves anteriors, per solucionar això es tornen a posar més restes de PLA, també de més de 4 mm de gruix.



Figura 59: Restes 2 PLA impressions més de 4 mm de gruix

Una vegada passat tot per la batedora el resultat encara no és el desitjat, hi ha alguns trossos massa grans, encara que la gran majoria sí compleix els paràmetres necessaris per a l'extrusora.



Figura 60: Resultat 2 PLA més de 4 mm triturat

Per tal que les fulles puguin agafar aquests trossos més grans s'omple el got de la batedora amb les restes triturades de les dues proves anteriors, 1 i 2-3 mm de gruix. Això permet que quan les fulles giren els trossos més grans no es quedin a la part superior perquè el got està pràcticament ple.

I després de passar per la batedora sí que compleixen els requisits esmentats anteriorment.



Figura 61: Resultat 3 PLA més de 4 mm triturat

Per poder triturar les diferents restes de PLA satisfactòriament s'han de separar en aquests 3 blocs:

- 1 mm de gruix
- 2-3 mm de gruix
- Més de 4 mm de gruix

On en tots aquests blocs la mesura màxima dels costats de les peces no pot ser de 50 mm.

No es poden introduir peces de més de 30 mm de costat on l'emplenament sigui el 100%.

I a l'últim bloc, més de 4 mm de gruix, s'han de barrejar elements dels altres dos blocs, fer diverses passades amb la batedora, l'última amb elements ja triturats amb les mesures adequades de menys de 5 mm de costat i 1-2 mm de gruix.

8.2. Distribució dels elements

Com s'ha esmentat en l'apartat anterior tots els elements de l'extrusora es col·locaran en una fusta de 900x610 mm. A la part posterior trobarem la font d'alimentació i el relé d'estat sòlid. A la part central d'aquesta hi haurà la part mecànica de l'extrusora, el motor 1, el fuset, la ventilació, etc. I a la part de davant trobarem el panell de control on es troba la pantalla, els potenciómetres i el PID.

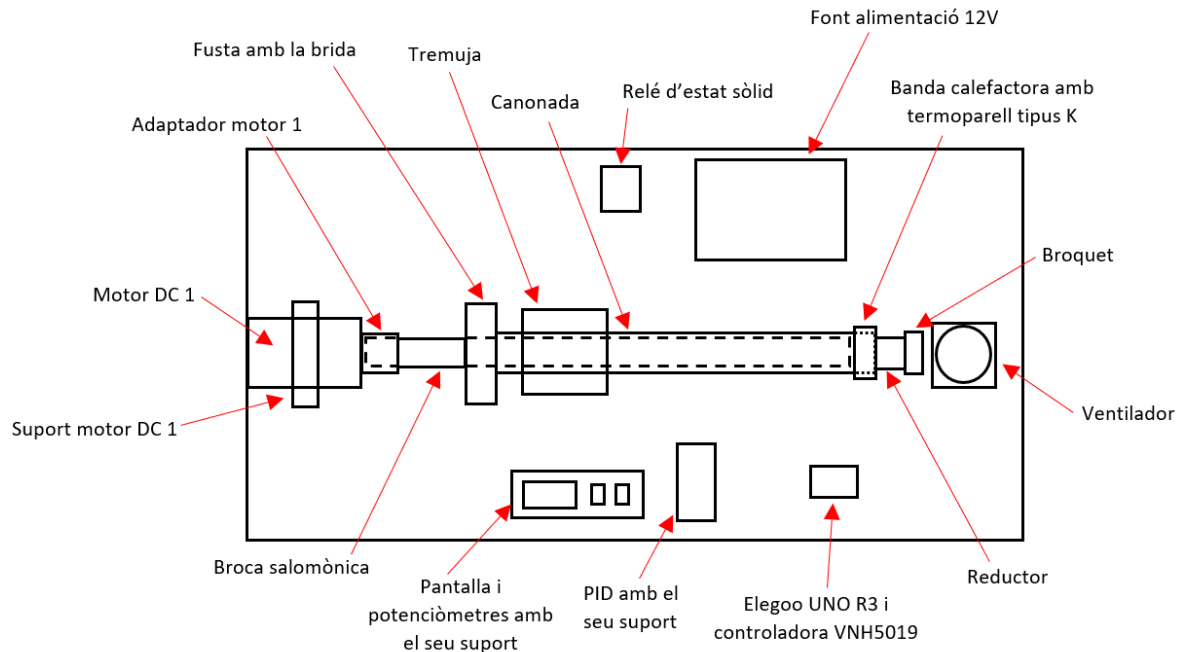


Figura 62: Esquema distribució extrusora

En una altra fusta de 415x305 mm es troben tots els elements de la part del bobinat del filament, així com el mesurador del diàmetre d'aquest filament.

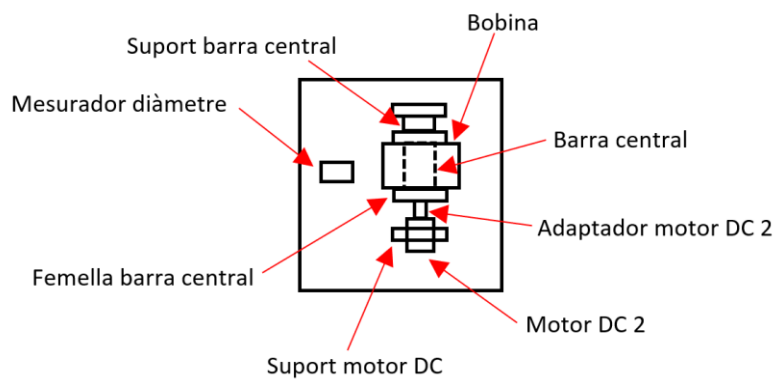


Figura 63: Esquema distribució bobinat

8.3. Connexions

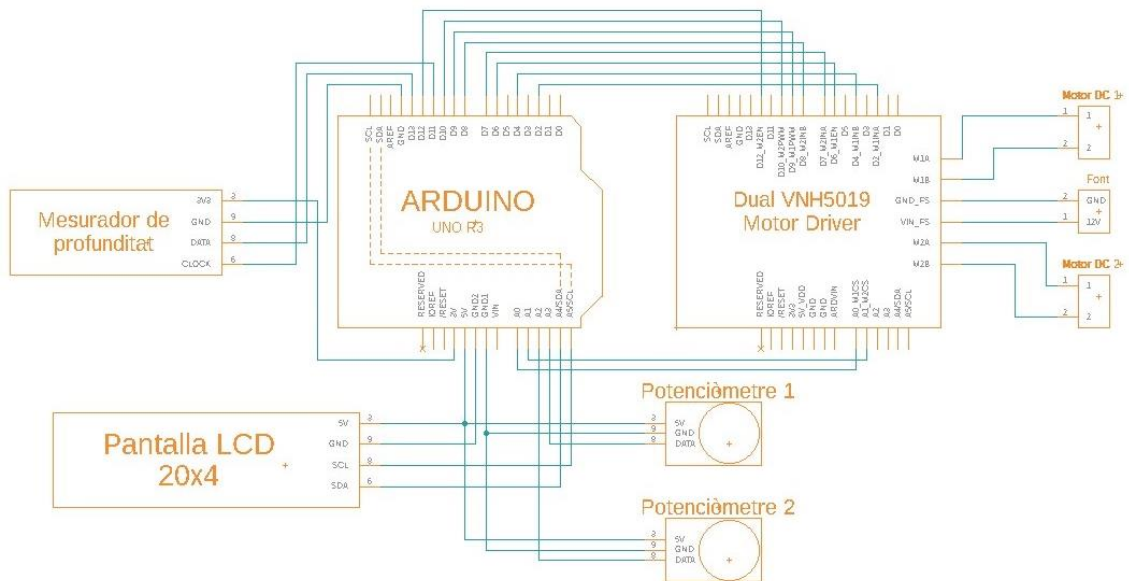


Figura 64: Esquema connexions generals

8.3.1. Font d'alimentació

A la font d'alimentació es troben 2 elements connectats: la controladora VNH5019 i el ventilador.

8.3.2. Controladora VNH5019

La controladora VNH5019 està fabricada per col·locar-se a sobre de la placa Elegoo Uno R3, d'aquesta manera es connecta directament als pins necessaris, gràcies a les connexions internes, i permet l'accessibilitat als pins disponibles de la placa Elegoo.

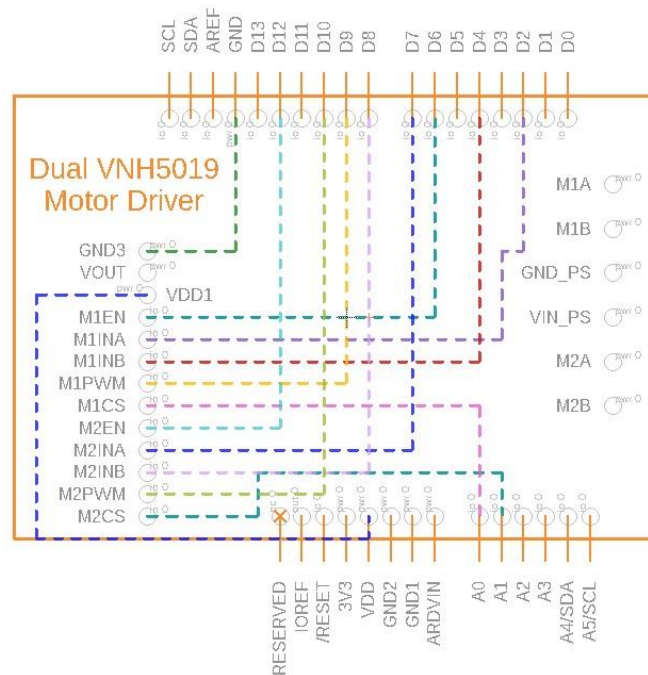


Figura 65: Esquema connexions internes controladora VNH5019 amb la Elegoo UNO R3

Directament a la controladora només connectarem la font d'alimentació de 12 V, i els dos motors DC. El motor 1, corresponent a l'extrusora, es connecta als ports M1A i M1B i el motor 2, corresponent al bobinat, es connecta als ports M2A i M2B.

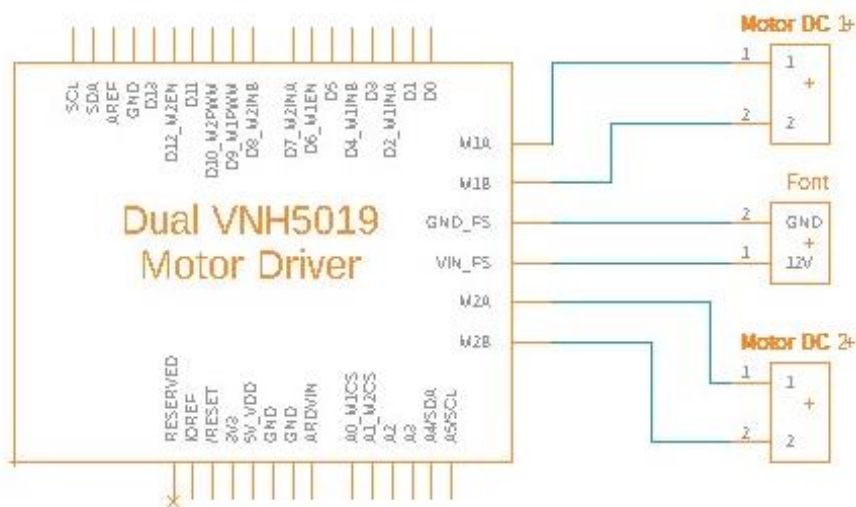


Figura 66: Esquema connexions controladora VNH5019

8.3.3. Elegoo Uno R3

Amb la placa Elegoo Uno R3 es controla la velocitat dels motors gràcies a dos potenciòmetres, es llegeix la lectura del mesurador de profunditat i es mostren per pantalla els tres elements anteriors.

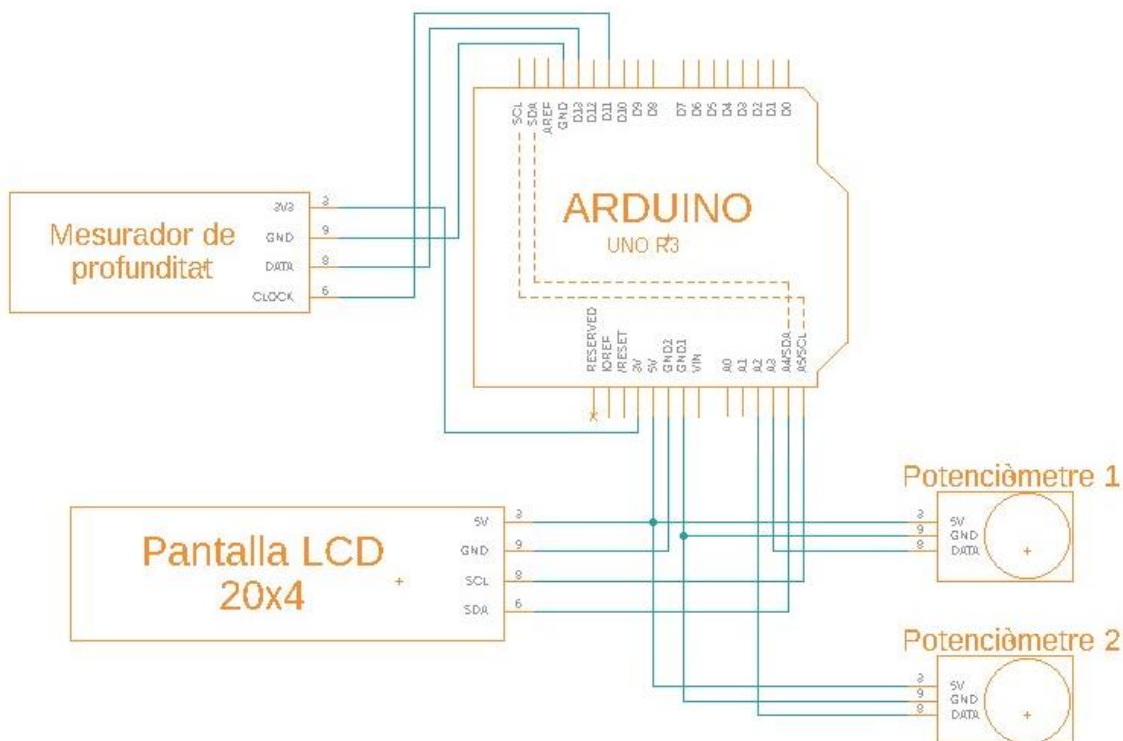


Figura 67: Esquemes connexions perifèrics Elegoo UNO R3

Per alimentar aquesta placa es pot fer de dues maneres:

- A través de la connexió USB de l'ordinador, el mateix port que s'utilitza per carregar els programes.
- A través de la controladora VNH5019, aquesta controladora dona la possibilitat d'alimentar la placa Elegoo a través de la soldadura de dos pins. La controladora està alimentada a 12 V i la placa Elegoo Uno R3 permet l'alimentació fins a 12 V.

8.3.4. PID

El PID s'utilitza per controlar la temperatura de la banda calefactora, per fer-ho, a part d'aquests dos elements, es necessita un relé d'estat sòlid i un termoparell tipus K, que és el que s'encarrega de mesura la temperatura. Una vegada connectat tots els elements al PID, aquest s'encarrega d'escalfar la banda fins a arribar a la temperatura que s'hagi establert a la variable PV del PID, i la manté.

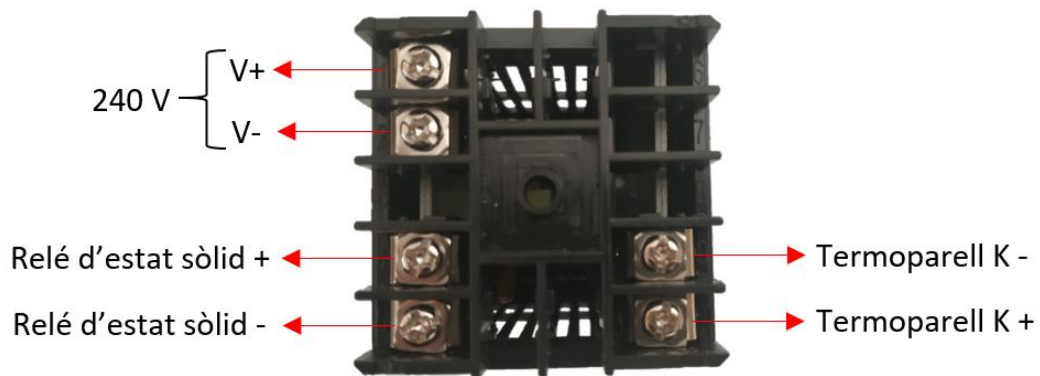


Figura 68: Esquema connexions PID

8.3. Codi placa Elegoo

El codi⁹ programat permet llegir els valors dels potenciòmetres per passar els valors al motor corresponent, llegir el valor del mesurador de profunditat i mostrar per pantalla els elements mencionats.

1. Inicialització

```
void setup()
{
  Serial.begin (9600); // inicialitzar comunicacions de sèrie

  md.init (); // inicia els pins per defecte de la controladora VNH5019

  lcd.init(); //inicialitzar la lcd
  lcd.backlight(); //engegar la llum de fons
  lcd.setCursor(0,0); //col·locar el cursor al pixel 0,0.
  lcd.print("Velocitat M1:"); //escriure a la pantalla
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Velocitat M2:");
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print("Diametre filament:");

  pinMode(potM1, INPUT); //Definir el pin potM1 com a entrada
  pinMode(potM2, INPUT);
  pinMode(CLOCK_PIN, INPUT);
  pinMode(DATA_PIN, INPUT);
}
```

2. Bucle

```
void loop()
{
  vM1 = pot1(); //llegim el valor del potenciòmetre del M1 i l'assignem a la variable vM1
  vM2 = pot2();
  pvM1 = map(vM1, 0, 400, 0, 100); //passem la velocitat a percentatge
  pvM2 = map(vM2, 0, 400, 0, 100);
  diamfil(); //llegim el valor del diàmetre del filament
  pantalla (pvM1, pvM2, diam); //passem les tres dades anteriors a la pantalla per poder-les mostrar
  md.setM1Speed(vM1); //posem el motor 1 a la velocitat assignada
  md.setM2Speed(vM2);
  delay(150);
}
```

⁹ Codi sencer a l'annex 7.

3. Llegir valors potenciòmetres

```

const int potM1 = A2; //pin A2 per llegir l'entrada analògica del potenciòmetre del motor 1
const int potM2 = A3; //pin A3 per llegir l'entrada analògica del potenciòmetre del motor 2

pinMode(potM1, INPUT); //Definir el pin potM1 com a entrada
pinMode(potM2, INPUT);

int pot1 ()
{
  int valpot1;
  valpot1 = analogRead(potM1); //Llegir i guardar el valor analògic del potenciòmetre 1
  valpot1 = map(valpot1, 0, 1023, 0, 400); //valor d'assignació de 0-1023 a 0-100%
  return valpot1;
}

int pot2 ()
{
  int valpot2;
  valpot2 = analogRead(potM2);
  valpot2 = map(valpot2, 0, 1023, 0, 400);
  return valpot2;
}

```

4. Llegir el valor del mesurador de profunditat

```

void diamfil() //passa els bytes a numeros
{
  valor=0;
  for(int i=0;i<24;i++) {
    while(digitalRead(CLOCK_PIN)==LOW) {}
    while(digitalRead(CLOCK_PIN)==HIGH) {} //només quan el rellotge del mesurador
                                           //està en 1 tenim en compte el que llegeix
    if(digitalRead(DATA_PIN)==HIGH) { //si el pin de les dades està a 1 l'introduim
                                       //en la posició correcte a la variable valor
      valor|=(1<<i);
    }
    diam=(valor)/100.0; //passem la variable valor a mm
  }
}

```

5. Mostrar per pantalla


```
void pantalla(int velM1, int velM2, float dFil)
{
  lcd.setCursor(14,0);
  lcd.print("      "); //els espais permeten "borrar" una part de la pantalla
  //sense utilitzar lcd.clear(), que crea un parpadeig incòmode a la vista

  lcd.setCursor(14,0);
  lcd.print(velM1);
  lcd.print(" %");
  lcd.setCursor(14,1);
  lcd.print("      ");
  lcd.setCursor(14,1);
  lcd.print(velM2);
  lcd.print(" %");
  lcd.setCursor(6,3);
  lcd.print("      ");
  lcd.setCursor(6,3);
  lcd.print(dFil);
  lcd.print(" mm");
}
```

8.4. Peces impressió 3D

8.4.1. Extrusora

- Suport del motor DC 1

Aquesta peça té la funció d'aguantar el motor 1, la peça es col·loca a sobre del motor i és collada a la fusta inferior per tal que el motor no es mogui.

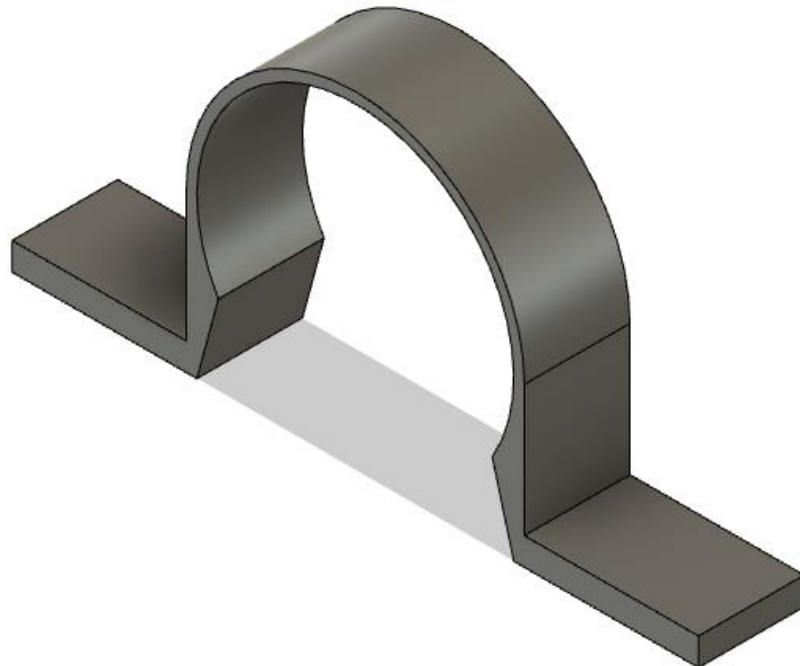


Figura 69: Disseny CAD suport Motor DC 1

Una vegada dissenyat el suport amb les mesures corresponents, indicades al plànol P-001, s'ha imprès la peça amb les característiques següents:

- Altura de capa: 0,28 mm
Es decideix una altura de capa tan elevada perquè no és una peça que necessiti qualitat o tingui detalls.
- Emplenament: 100%
Es decideix per l'emplenament màxim perquè ha de ser una peça robusta per poder aguantar el motor.
- Patró emplenament: Quadrícula
- Velocitat d'impressió: 75 mm/s
- Velocitat d'impressió de la primera capa: 20 mm/s
La velocitat de la primera capa és menor per tal d'assegurar l'adhesió correcta d'aquesta i no patir problemes durant la impressió.
- Suports: no necessaris
Imprimint la peça en format horitzontal en lloc de vertical permet no haver de fer servir cap mena de suports, aconseguint un estalvi en temps i filament.
- Duració aproximada de la impressió: 1 h 26 min
- Quantitat aproximada de filament utilitzat: 19 g.

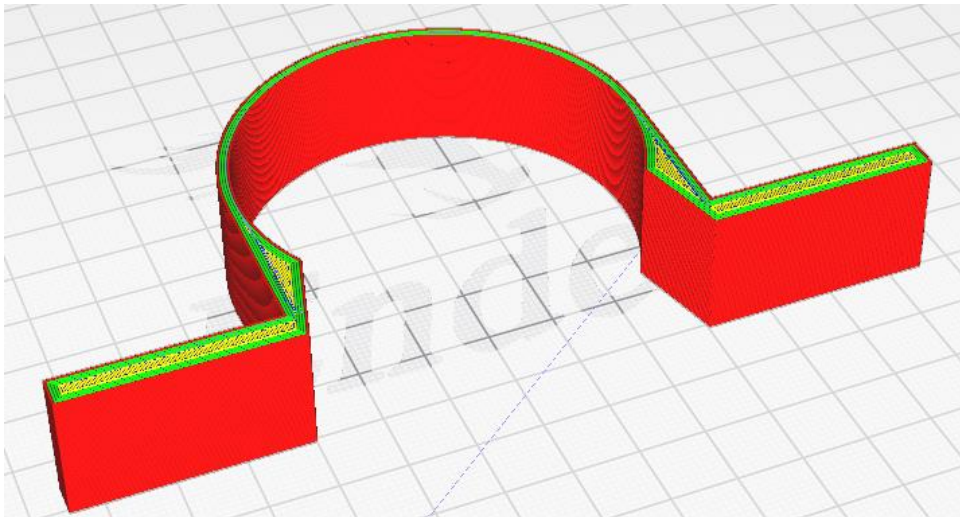


Figura 70: Visualització del model CAD suport motor 1 al programa Cura

Una vegada imprès aquest és el resultat de la peça obtinguda:

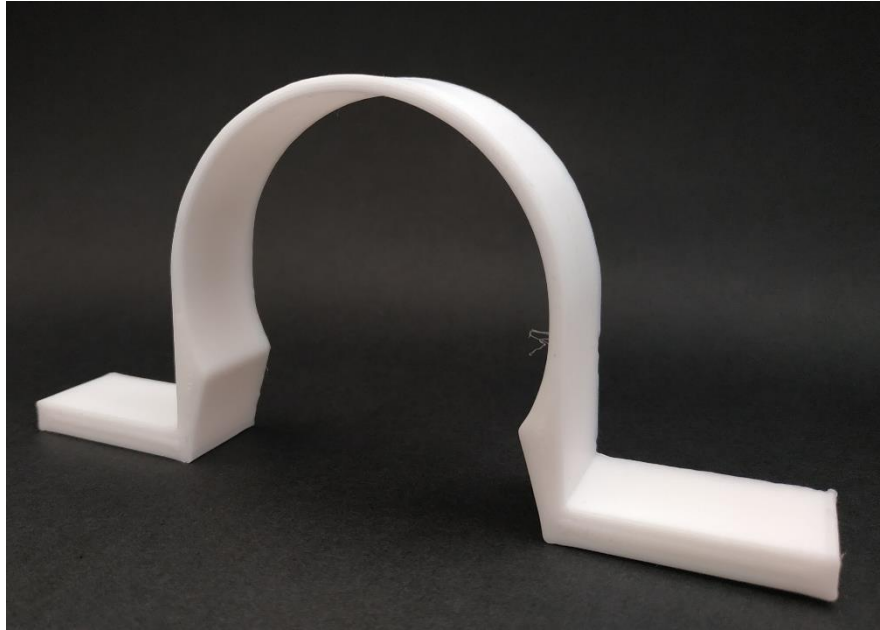


Figura 71: Suport motor DC 1 imprès en PLA

– Adaptador motor DC 1 a la broca salomònica

Aquesta peça té la funció d'unir el motor 1 a la broca salomònica per tal de permetre el gir d'aquesta i poder moure el PLA cap al broquet. En un extrem té una rosca personalitzada per tal d'encaixar en el motor i la resta de la peça és on es col·loca la broca, que encaixa fent una mica de pressió en l'obertura.



Figura 72: Disseny CAD adaptador motor 1

Una vegada dissenyat l'adaptador amb les mesures corresponents, indicades al plànol P-012, s'ha imprès la peça amb les característiques següents:

- Altura de capa: 0,16 mm
Es decideix aquesta altura de capa perquè es necessita una mica de precisió a la part de la femella del motor 1.
- Emplenament: 100%
Es decideix aquest l'emplenament en ser una peça robusta que ha de poder aguantar la broca salomònica.
- Patró emplenament: Quadrícula
- Velocitat d'impressió: 75 mm/s
- Velocitat d'impressió de la primera capa: 20 mm/s
La velocitat de la primera capa és menor per tal d'assegurar l'adhesió correcta d'aquesta i no patir problemes durant la impressió.
- Suports: necessaris
Imprimint la peça en format vertical es redueixen els suports, però encara són necessaris.
- Duració aproximada de la impressió: 2 h 37 min
- Quantitat aproximada de filament utilitzat: 11 g.

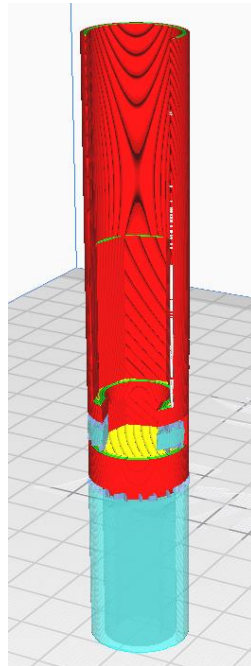


Figura 73: Visualització del model CAD de l'adaptador motor 1 al programa Cura

Una vegada imprès aquest és el resultat de la peça obtinguda:



Figura 74: Adaptador motor 1 imprès en PLA

– Suport pantalla i potenciòmetres

Tal com indica el nom serveix per aguantar la pantalla i els dos potenciòmetres, i collar la peça a la fusta per tal que no es mogui.

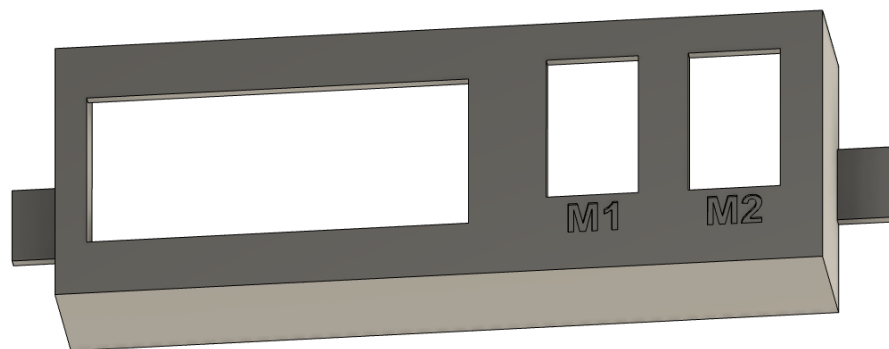


Figura 75: Disseny CAD suport pantalla LCD i potenciòmetres

Abans d'imprimir aquest disseny, plànol P-005, s'ha de tenir en compte la característica de què té text per indicar a quin motor correspon cada potenciòmetre. Per tal de poder imprimir en dos colors amb una impressora d'un sol extrusor s'utilitza un mètode que és crear dos arxius G-code, un corresponent al text, on aquest text té una altura aproximada de 0,3 mm, i un altre amb la resta del disseny i els forats corresponents a aquest text.

Primer s'imprimeix l'arxiu del text amb una altura de capa de 0,1 mm, 100% d'emplenament i una velocitat d'impressió de 20 mm/s amb el color corresponent, en aquest cas blanc. Una vegada acabada la impressió, sense retirar el text de la base de la impressora, es fa el canvi de filament amb el color corresponent per a la resta del disseny, en aquest cas negre. I seguidament s'imprimeix el segon arxiu, afegint una nova variable anomenada salt de l'eix Z (*Z-hop*), aquesta variable se li ha de donar un valor igual o major al del text imprès anteriorment, d'aquesta manera s'evita que durant aquesta nova impressió el broquet passi pel mig del text i el destrossi, ja que aquesta funció fa que cada vegada que hi ha un moviment sense extrusió el broquet s'elevi a l'altura corresponent, en aquest cas 0,3 mm.

Aquest segon arxiu s'imprimeix amb les següents característiques

- Altura de capa: 0,28 mm
Es decideix una altura de capa tan elevada perquè no és una peça que necessiti qualitat o tingui detalls.
- Emplenament: 15%
Es decideix per aquest l'emplenament perquè les parets ser tan fines ja s'imprimeixen al 100% d'emplenament i per tant seran lo suficientment robustes.
- Patró emplenament: Quadrícula
- Velocitat d'impressió: 75 mm/s
- Velocitat d'impressió de la primera capa: 20 mm/s
La velocitat de la primera capa és menor per tal d'assegurar l'adhesió correcta d'aquesta i no patir problemes durant la impressió.
- Suports: necessaris per als alerons que serveixen per collar la peça a la fusta base.
- Z-hop: 0,3 mm
- Duració aproximada de la impressió: 4 h 44 min
- Quantitat aproximada de filament utilitzat: 87 g.

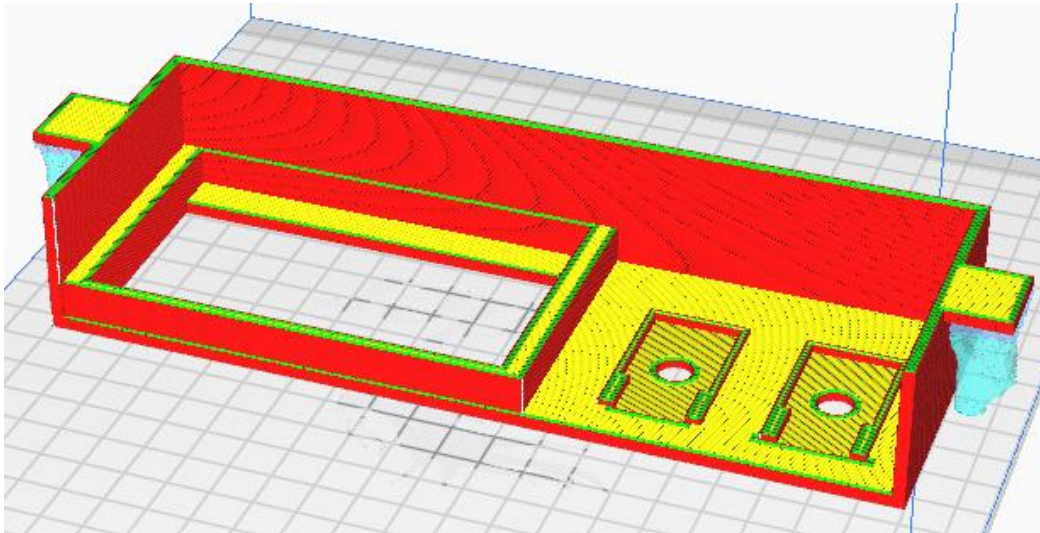


Figura 76: Visualització del model CAD suport pantalla i potenciòmetres al programa Cura

Una vegada imprès aquest és el resultat de la peça obtinguda:

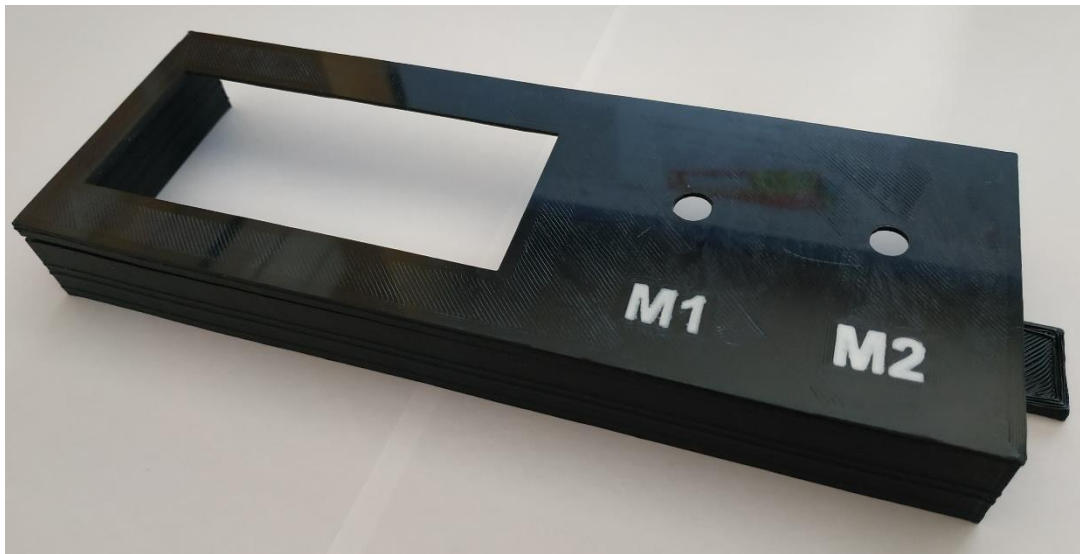


Figura 77: Suport pantalla i potenciòmetres imprès en PLA

– Suport mesurador profunditat

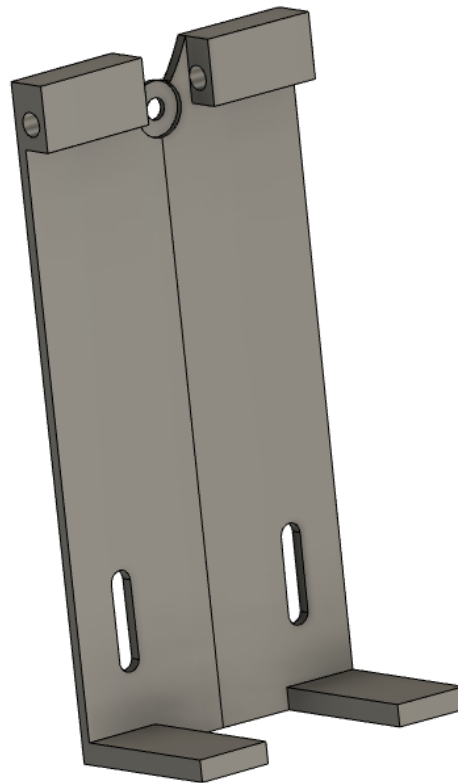


Figura 78: Disseny CAD del suport per al mesurador de profunditat

Una vegada dissenyat el suport amb les mesures corresponents, indicades al plànol P-00, s'ha imprès la peça amb les característiques següents:

- Altura de capa: 0,18 mm
Es decideix aquesta altura de capa perquè no és una peça que necessiti qualitat, però té els dos forats de la part superior que necessiten una mica més de detall.
- Emplenament: 100%
Es decideix per l'emplenament màxim perquè ha de ser una peça robusta per aguantar el mesurador de profunditat de forma vertical i s'ha de collar a la fusta.
- Patró emplenament: Quadrícula
- Velocitat d'impressió: 75 mm/s
- Velocitat d'impressió de la primera capa: 20 mm/s
La velocitat de la primera capa és menor per tal d'assegurar l'adhesió correcta d'aquesta i no patir problemes durant la impressió.
- Suports: necessaris per als forats superiors, que és per on passa el filament a mesurar.
Imprimint la peça en format horitzontal en lloc de vertical permet no haver de fer servir cap suport més, aconseguint un estalvi en temps i filament.
- Duració aproximada de la impressió: 2 h 41 min
- Quantitat aproximada de filament utilitzat: 25 g.

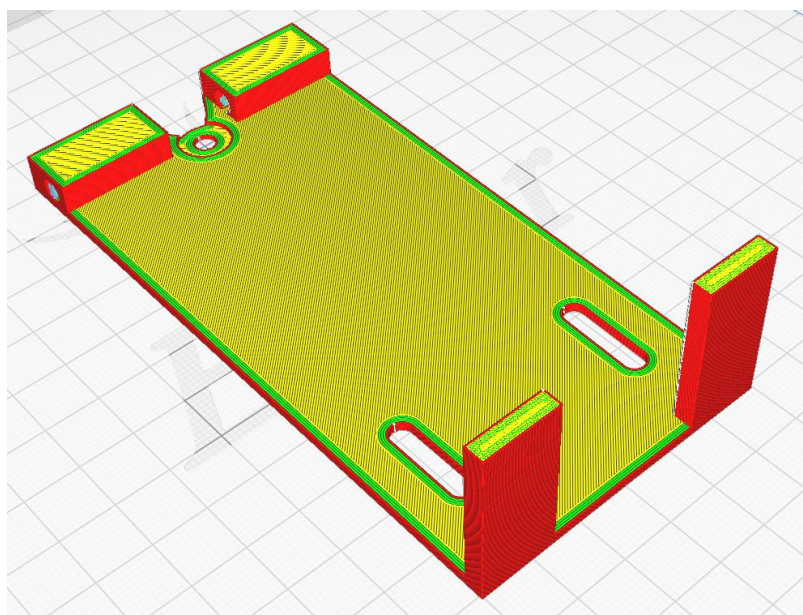


Figura 79: Visualització del model CAD suport mesurador profunditat al programa Cura

Una vegada imprès aquest és el resultat de la peça obtinguda:

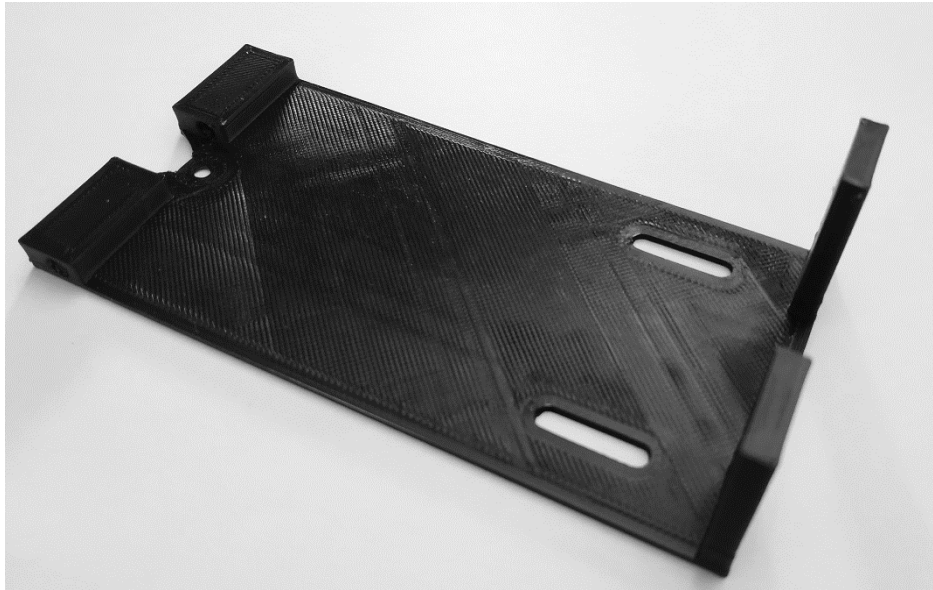


Figura 80: Visualització del model CAD suport mesurador profunditat al programa Cura

– Suport PID

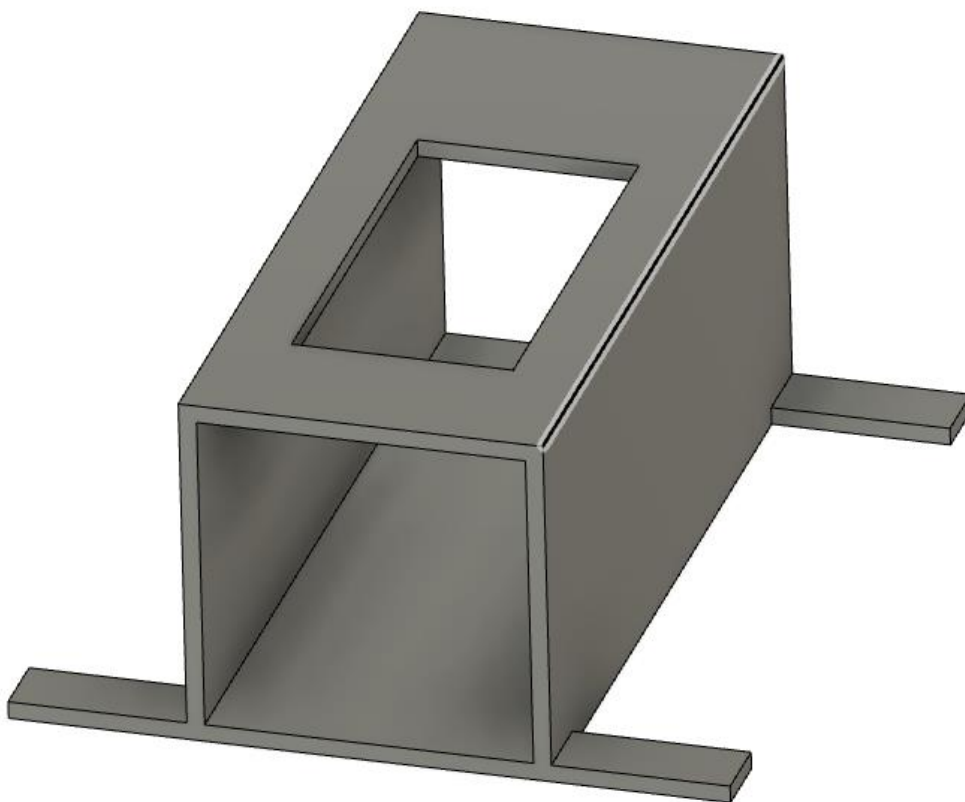


Figura 81: Disseny CAD del suport del PID

Aquestes són les característiques per a la seva impressió amb les mesures de la peça indicades al plànol P-007:

- Altura de capa: 0,28 mm
Es decideix una altura de capa tan elevada perquè no és una peça que necessiti qualitat o tingui detalls.
- Emplenament: 10%
Es decideix per aquest l'emplenament perquè no és necessari que sigui una peça tan robusta com algunes de les anteriors.
- Patró emplenament: Quadrícula
- Velocitat d'impressió: 75 mm/s
- Velocitat d'impressió de la primera capa: 20 mm/s
La velocitat de la primera capa és menor per tal d'assegurar l'adhesió correcta d'aquesta i no patir problemes durant la impressió.
- Suports: necessaris
Imprimint la peça en format vertical reduïm la quantitat de suports necessaris enfront del format horitzontal, i també es redueix el temps d'impressió.
- Duració aproximada de la impressió: 4 h 53 min
- Quantitat aproximada de filament utilitzat: 80 g.

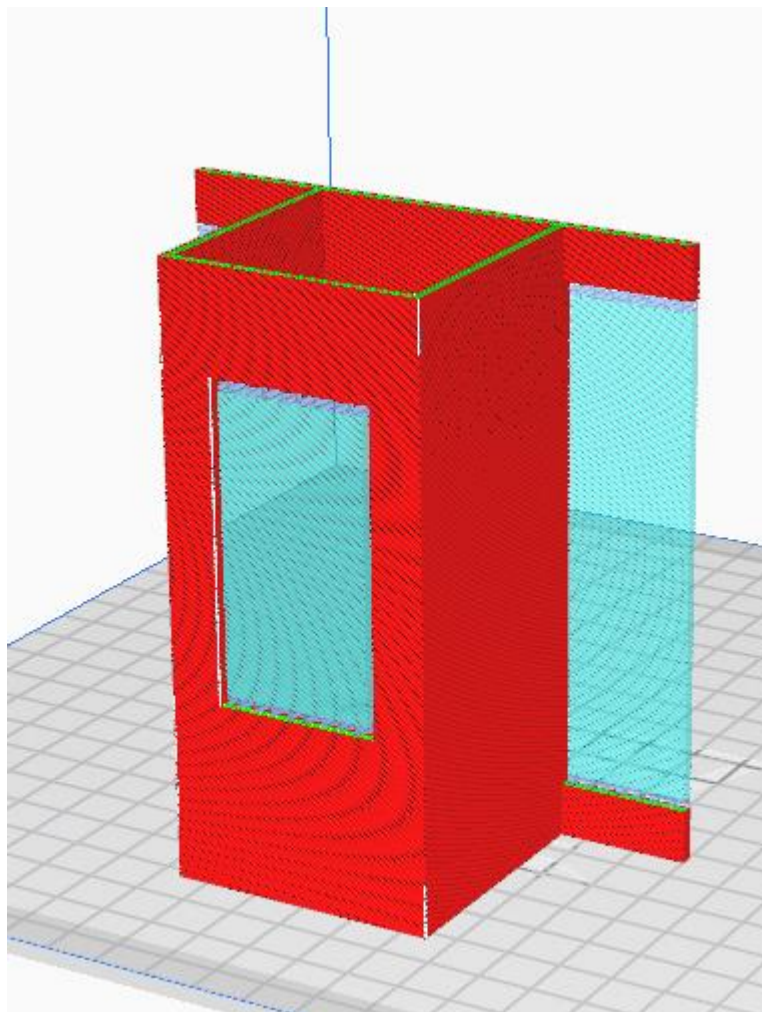


Figura 82: Visualització del model CAD del suport del PID al programa Cura

– Tremuja

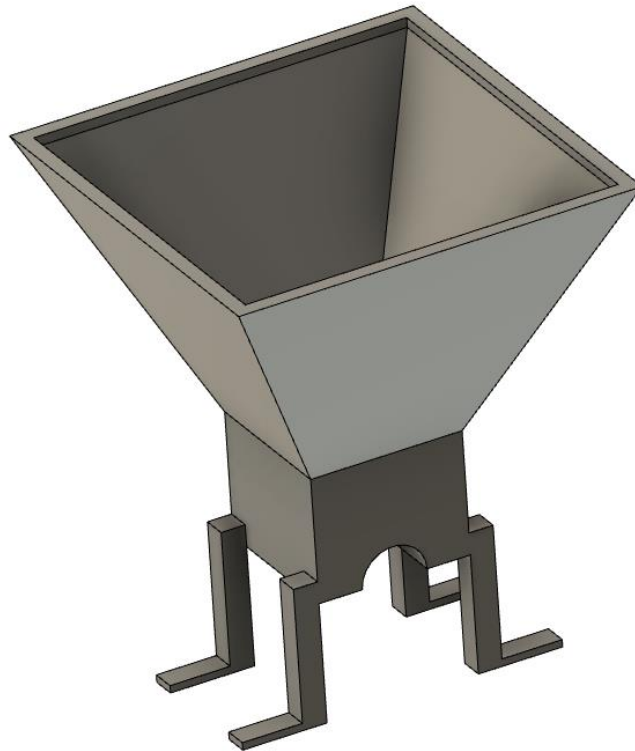


Figura 83: Disseny CAD de la tremuja

Aquestes són les característiques per a la seva impressió amb les mesures de la peça indicades al plànol P-008:

- Altura de capa: 0,4 mm
 Es decideix una altura de capa tan elevada perquè no és una peça que necessiti qualitat o tingui detalls, és de gran envergadura i es vol reduir al màxim els temps d'impressió.
- Emplenament: 10%
 Es decideix per aquest l'emplenament perquè no és necessari que sigui una peça tan robusta com algunes de les anteriors.
- Patró emplenament: Quadrícula
- Velocitat d'impressió: 75 mm/s
- Velocitat d'impressió de la primera capa: 20 mm/s
 La velocitat de la primera capa és menor per tal d'assegurar l'adhesió correcta d'aquesta i no patir problemes durant la impressió.
- Suports: necessaris
 Imprimint la peça en format vertical només calen suports on aniria l'obertura de la canonada.
- Duració aproximada de la impressió: 10 h 40 min
- Quantitat aproximada de filament utilitzat: 269 g.

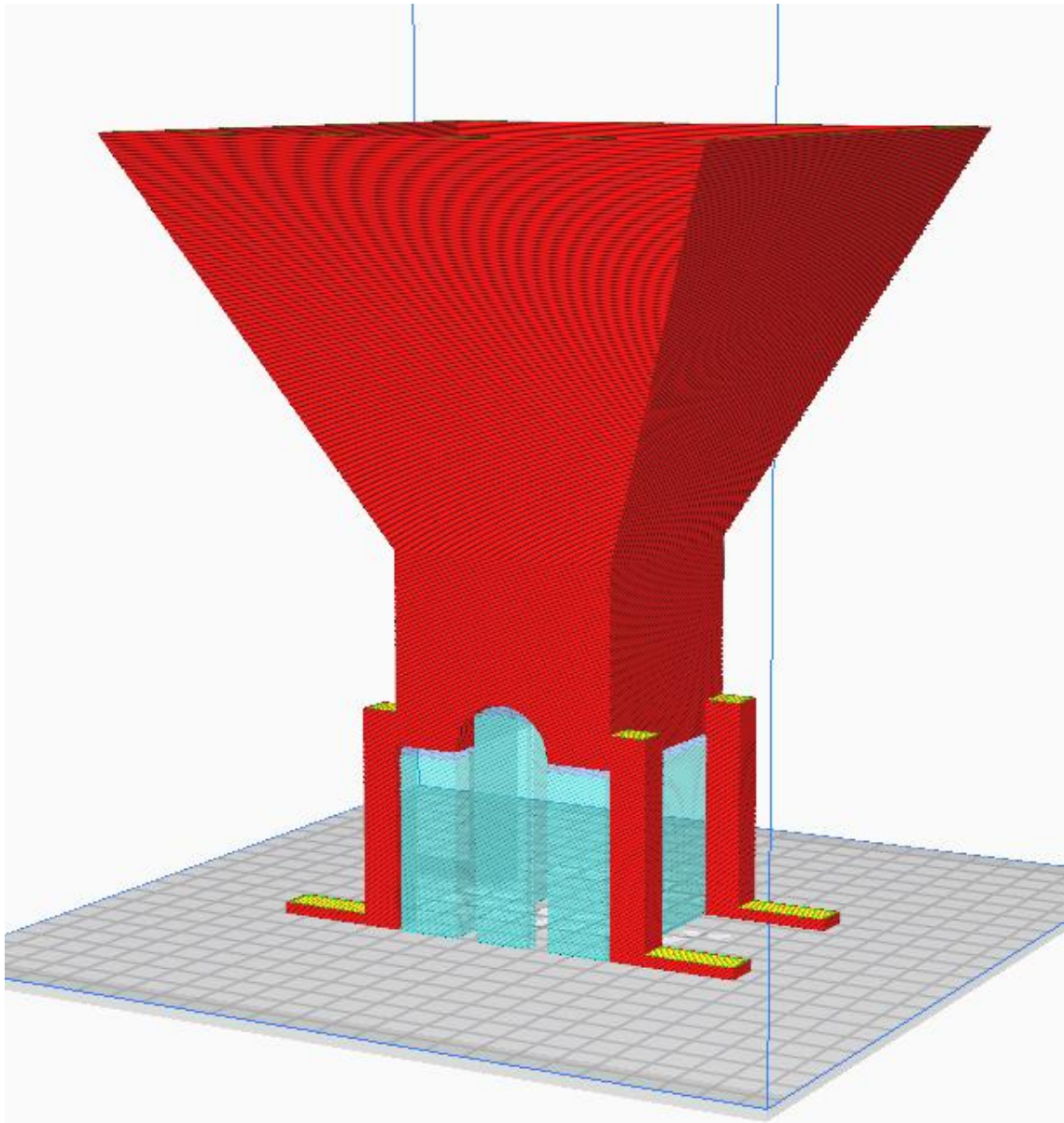


Figura 84: Visualització del model CAD de la tremuja al programa Cura

8.4.2. Bobinat

- Suport bobina

Aquest subconjunt de peces, plànol S-001, té la funció d'aguantar la bobina i permet el gir d'aquesta.

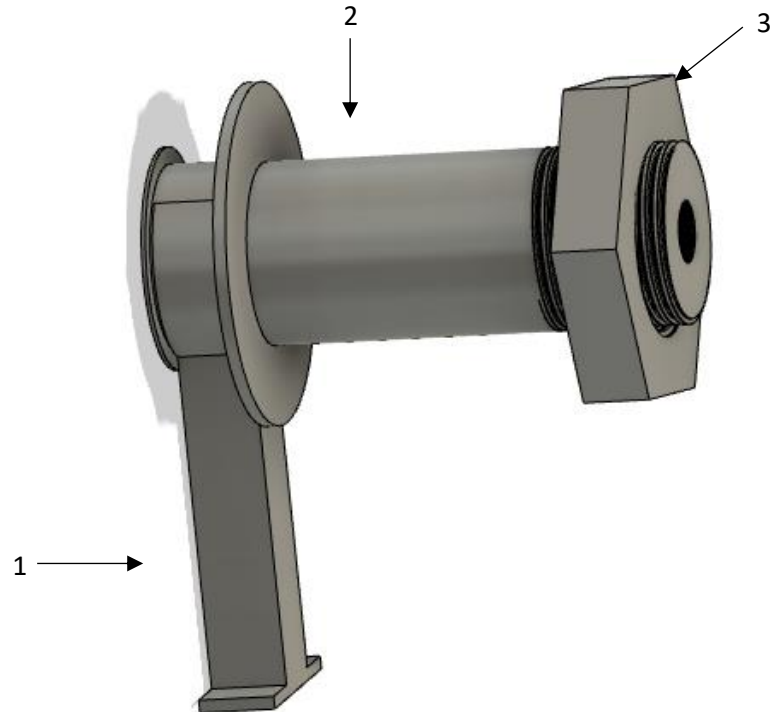


Figura 89: Disseny CAD del suport per a la bobina

El suport de la bobina és un conjunt de 3 peces:

1. Suport de la barra central, plànol P-002, aguanta part del pes de la bobina per tal que no vagi tot cap a l'eix del motor.

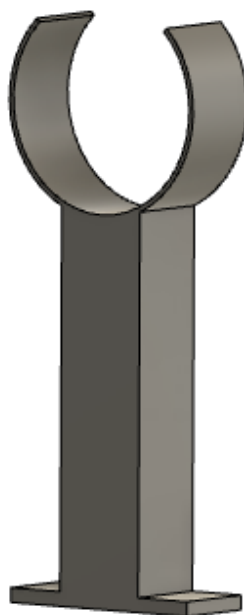


Figura 90: Disseny CAD del suport de la barra central

Aquestes són les característiques per a la seva impressió:

- Altura de capa: 0,28 mm
Es decideix una altura de capa tan elevada perquè no és una peça que necessiti qualitat o tingui detalls.
- Emplenament: 10%
Es decideix per aquest l'emplenament perquè no és necessari que sigui una peça tan robusta com algunes de les anteriors, i amb aquest 10% aguanta perfectament el pes de la bobina.
- Patró emplenament: Quadrícula
- Velocitat d'impressió: 75 mm/s
- Velocitat d'impressió de la primera capa: 20 mm/s
La velocitat de la primera capa és menor per tal d'assegurar l'adhesió correcta d'aquesta i no patir problemes durant la impressió.
- Suports: no necessaris
Imprimint la peça en format horitzontal en lloc de vertical permet no haver de fer servir cap mena de suports, aconseguint un estalvi en temps i filament.
- Duració aproximada de la impressió: 1 h 04 min
- Quantitat aproximada de filament utilitzat: 19 g.

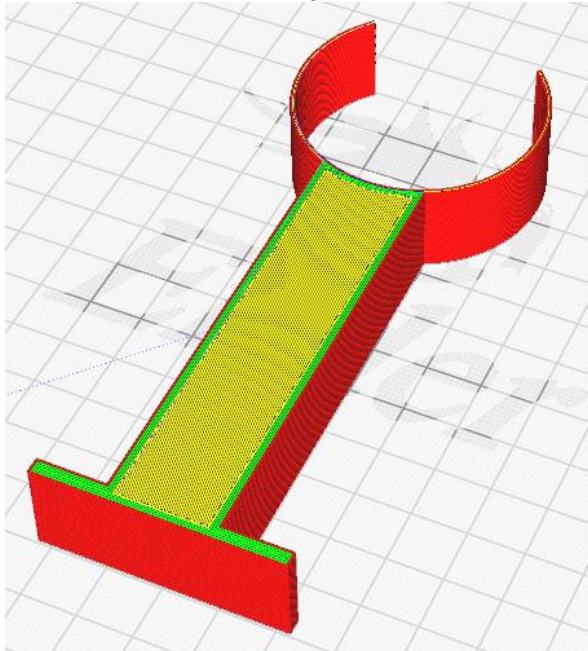


Figura 91: Visualització del model CAD suport barra central al programa Cura

Una vegada imprès aquest és el resultat de la peça obtinguda:



Figura 92: Suport barra central imprès en PLA

2. Barra central, barra on va recolzada la bobina, plànol P-003. Té una rosca final per tal de poder ajustar la bobina i que es produeixi el gir amb el motor. En aquest mateix costat té una rosca interior que és on es col·loca el mecanisme del motor DC 2 per girar aquesta barra central. Al costat contrari té una secció per la col·locació de la peça 1 d'aquest conjunt.

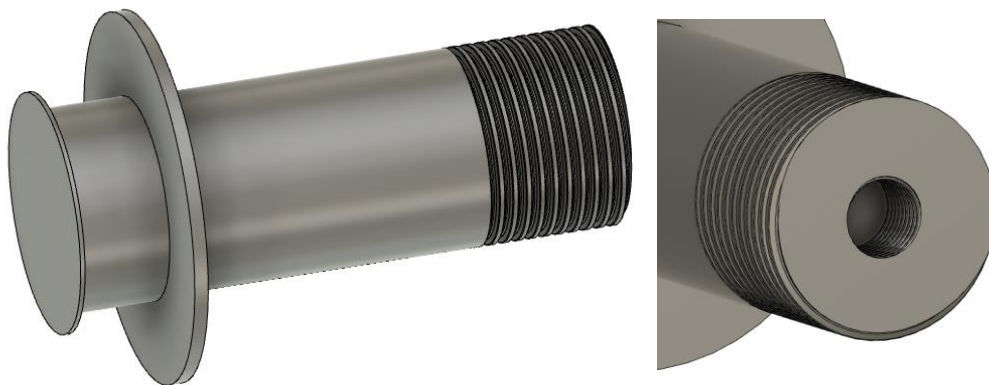


Figura 93: Disseny CAD de la barra central

Aquestes són les característiques per a la seva impressió:

- Altura de capa: 0,16 – 0,28 mm
 S'utilitza la funció de capes adaptatives per a variar l'altura de capa durant la impressió. D'aquesta manera s'utilitza l'altura de capa més elevada per les seccions amb menys detalls, i l'altura de capa menor per les seccions més detalls, com les rosques. Amb aquesta funció, en lloc d'imprimir tot el model amb una altura de capa de 0,16 mm, es disminueix els temps d'impressió sense perdre els detalls a les zones importants. A la següent imatge es pot veure aquesta variació d'altura:

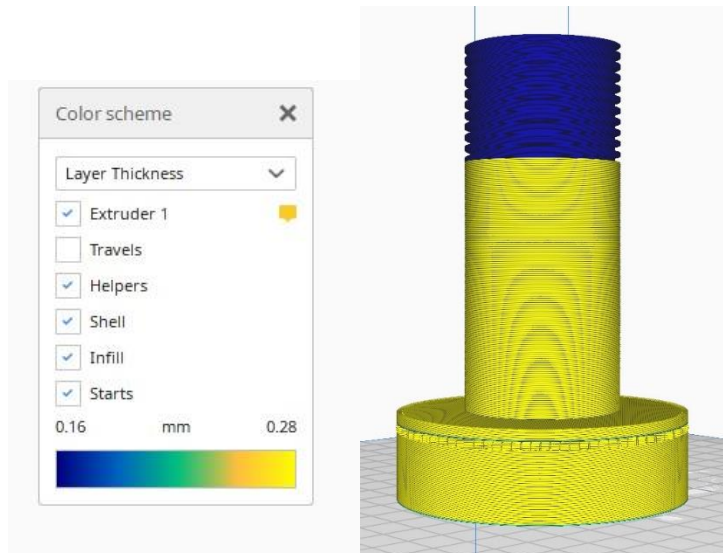


Figura 94: Visualització variació altura de les capes al model CAD barra central

- Emplenament: 10 – 25%
Es decideix per variar l'emplenament en aquest model per tal d'aconseguir un model més robust a la zona de la rosca, 25% d'emplenament, per tal que aguantí més i no es trenqui a l'hora d'estrènyer la bobina amb la rosca. Es deixa la resta del model a un 10%.
- Patró emplenament: Quadrícula
- Velocitat d'impressió: 75 mm/s
- Velocitat d'impressió de la primera capa: 20 mm/s
La velocitat de la primera capa és menor per tal d'assegurar l'adhesió correcta d'aquesta i no patir problemes durant la impressió.
- Suports: necessaris per a la part inferior
Imprimint la peça amb la rosca cap a dalt permet obtenir un millor resultat en aquesta i no gastar tant de filament, ja que a l'inrevés els suports haurien de ser molt més grans.
- Duració aproximada de la impressió: 6 h 29 min
- Quantitat aproximada de filament utilitzat: 101 g.

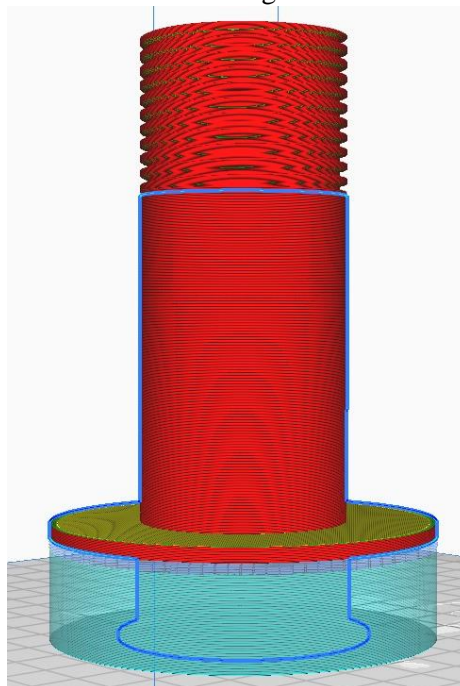


Figura 95: Visualització del model CAD suport barra central al programa Cura

Una vegada imprès aquest és el resultat de la peça obtinguda:



Figura 96: Suport barra central imprès en PLA

3. Femella, serveix per ajustar la bobina i que giri amb la barra central, plànol P-004.

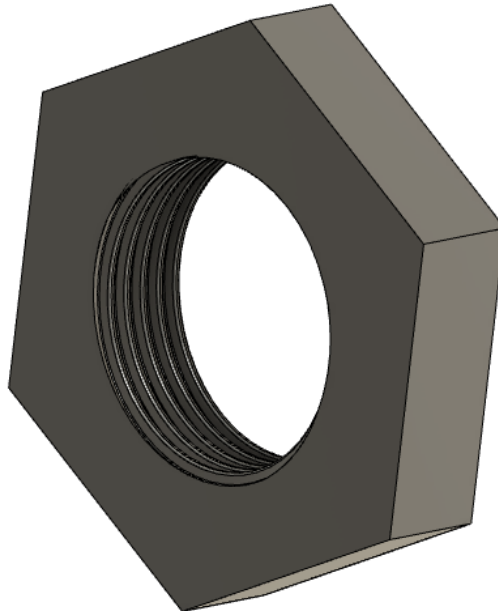


Figura 97: Disseny CAD de la femella

Aquestes són les característiques per a la seva impressió:

- Altura de capa: 0,16 mm
Es decideix aquesta altura de capa per mantenir els detalls de la rosca interior i no tenir problemes a l'hora de rosca-la amb la barra central.
- Emplenament: 25%
Es decideix per aquest l'emplenament per obtenir una bona robustesa i poder estrènyer la bobina correctament.
- Patró emplenament: Quadrícula
- Velocitat d'impressió: 75 mm/s
- Velocitat d'impressió de la primera capa: 20 mm/s
La velocitat de la primera capa és menor per tal d'assegurar l'adhesió correcta d'aquesta i no patir problemes durant la impressió.

- Suports: no necessaris
Imprimint la peça en format horitzontal en lloc de vertical permet no haver de fer servir cap mena de suports, aconseguint un estalvi en temps i filament, com també mantenir el detall de la rosca interior.
- Duració aproximada de la impressió: 3 h 01 min
- Quantitat aproximada de filament utilitzat: 30 g.

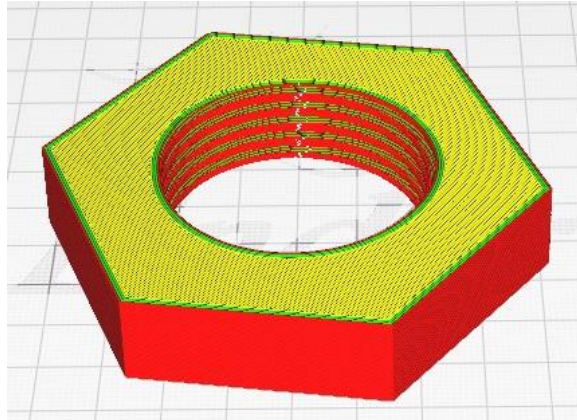


Figura 98: Visualització del model CAD femella al programa Cura

Una vegada imprès aquest és el resultat de la peça obtinguda:

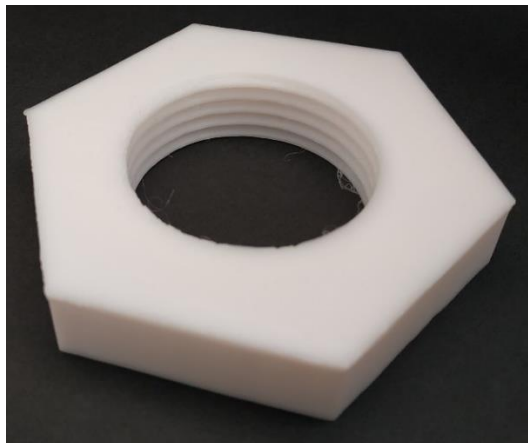


Figura 99: Femella impresa en PLA

Una vegada es tenen totes les peces impreses es poden assemblar, i aquest seria el resultat sense i amb bobina:

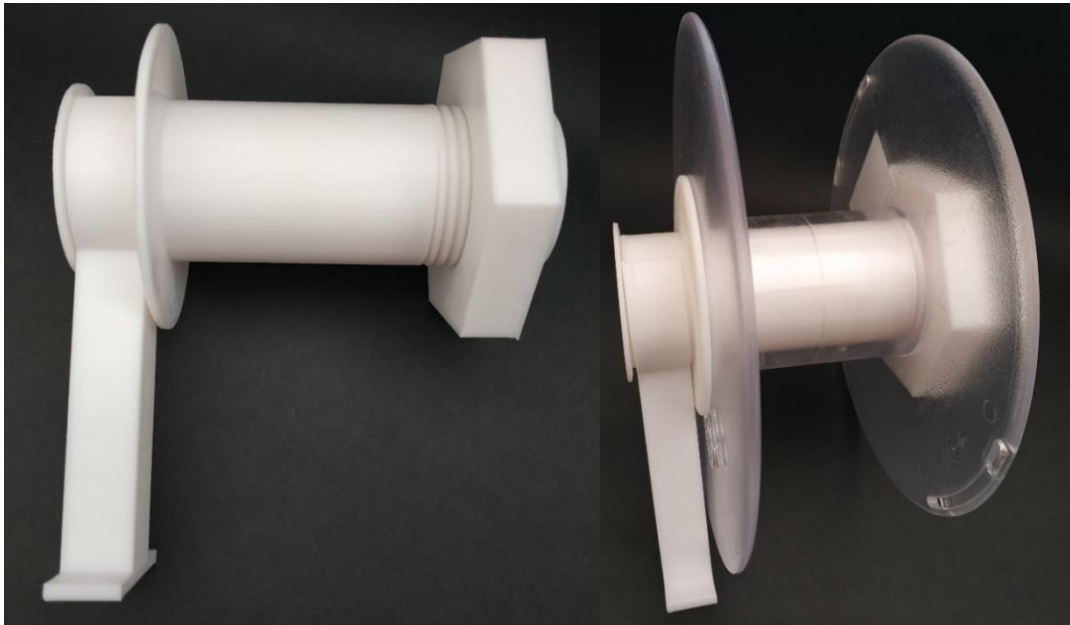


Figura 100: Assemblatge final del suport de la bobina

– Suport motor DC 2

El suport del motor 2 consta de dues peces tal com s'indica al plànol S-002. En els plànols individuals de les dues peces, P-009 i P-010, es poden veure les mesures de cadascuna.

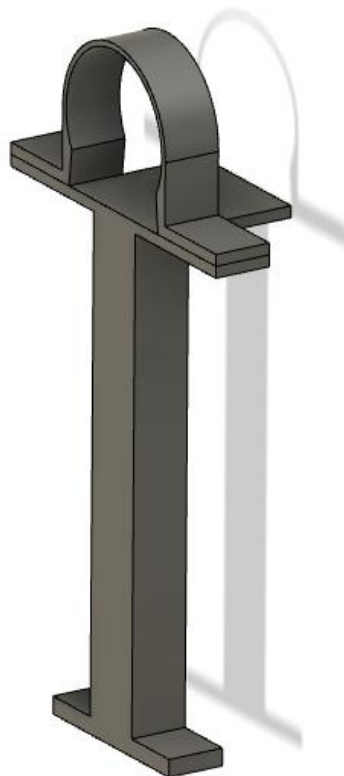


Figura 101: Disseny CAD del suport del motor 2

Aquestes són les característiques per a la seva impressió:

- Altura de capa: 0,28 mm
Es decideix una altura de capa tan elevada perquè no són unes peces que necessitin qualitat o tingui detalls.
- Emplenament: 10%
Es decideix per aquest l'emplenament perquè no és necessari que siguin unes peces tan robustes com algunes de les anteriors, i la peça superior en ser tan fina s'imprimirà al tot correspon a parets en impressió i no hi ha superfície d'emplenament.
- Patró emplenament: Quadrícula
- Velocitat d'impressió: 75 mm/s
- Velocitat d'impressió de la primera capa: 20 mm/s
La velocitat de la primera capa és menor per tal d'assegurar l'adhesió correcta d'aquesta i no patir problemes durant la impressió.
- Suports: necessaris
Imprimint la peça en format vertical reduïm la quantitat de suports necessaris en enfront del format vertical, i també es redueix el temps d'impressió.
- Duració aproximada de la impressió: 53 min
- Quantitat aproximada de filament utilitzat: 12 g.

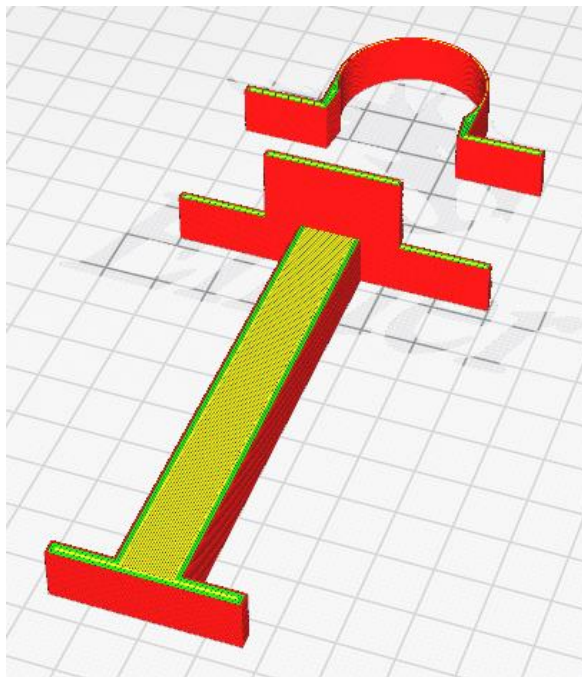


Figura 102: Visualització del model CAD del suport motor 2 al programa Cura

Una vegada imprès aquest és el resultat de les peces obtingudes:

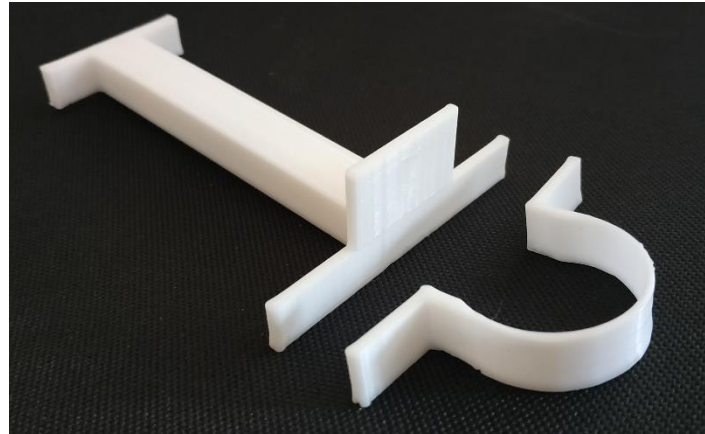


Figura 103: Subconjunt suport motor 2 imprès en PLA

- Adaptador motor DC 2 al suport de la bobina

L'adaptador del motor 2 al suport de la bobina va enganxat al motor per un costat i per l'altre té una rosca igual que la que es troba al suport barra central, d'aquesta manera, al no estar tot el subconjunt de la bobina enganxat al motor, si aquest s'espalla o es vol canviar només modificant aquesta peça es pot adaptar fàcilment.



Figura 104: Disseny CAD de l'adaptador motor 2

Aquestes són les característiques per a la seva impressió:

- Altura de capa: 0,12 – 0,20 mm
 S'utilitza la funció de capes adaptatives, com a la barra central de la bobina, per tal d'obtenir una millor qualitat a la part de la rosca amb una altura de capa de 0,12 mm, i disminuir el temps d'impressió amb una altura de capa de 0,20 a la part inferior.
- Emplenament: 100%
 Es decideix per aquest l'emplenament per obtenir una bona robustesa.
- Patró emplenament: Quadrícula
- Velocitat d'impressió: 75 mm/s

- Velocitat d'impressió de la primera capa: 20 mm/s
La velocitat de la primera capa és menor per tal d'assegurar l'adhesió correcta d'aquesta i no patir problemes durant la impressió.
- Suports: necessaris
Imprimint la peça en format vertical es necessita un petit suport, en aquest cas s'utilitza el suport tipus arbre. Això significa que el suport no toca cap part de la impressió, només la que ha de suportar, i per tant a l'hora de retirar aquest suport és molt més fàcil i no causa imperfeccions o danys a la peça, encara que gasta una mica més de filament i augmenta el temps d'impressió.
- Duració aproximada de la impressió: 51 min
- Quantitat aproximada de filament utilitzat: 9 g.

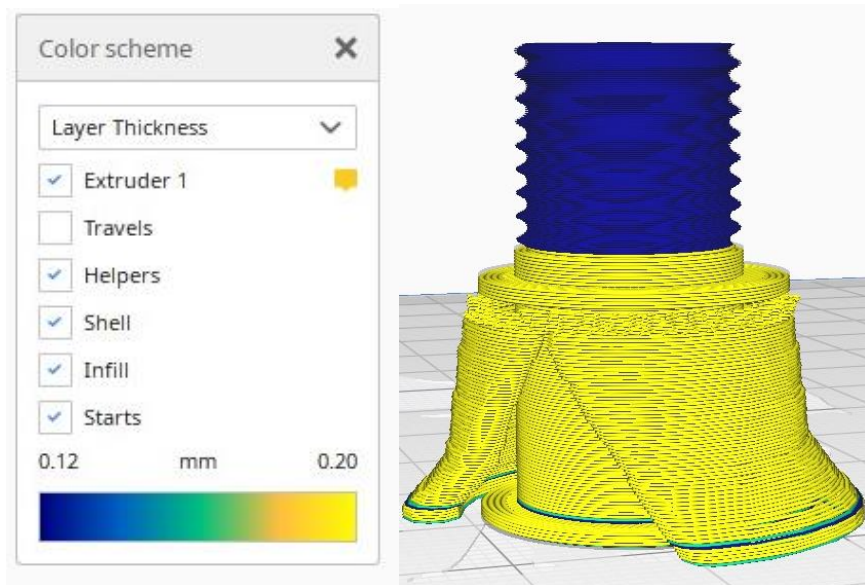


Figura 105: Visualització del model CAD adaptador motor 2 al programa Cura

Una vegada imprès aquest és el resultat de la peça obtinguda:



Figura 106: Adaptador motor 2 imprès en PLA

9. Resum pressupost

Resum		Euros	%
Elaboració projecte		5.400,00	88,52
Consum energètic projecte		13,12	0,22
Materials			
	<i>Trituradora</i>	29,99	
	<i>Extrusora</i>	132,30	
	<i>Bobinat</i>	12,03	
	<i>Elements generals</i>	62,45	
Eines		0	0
Construcció prototip		450	7,38
TOTAL		6.099,89	100

Taula 3: Resum pressupost

Aquest seria el preu final del prototip, sense IVA, tenint en compte tot el projecte que hi ha darrere. Per tant, si es volgués vendre aquest prototip, però aconseguint un marge de benefici del 30% s'hauria de vendre per 8.714,13 €.

Per reduir aquest preu de venda s'haurien de vendre més prototips, d'aquesta manera el cost de l'elaboració del projecte, que és un 88,52%, es repartiria entre totes les màquines.

En el cas de vendre 1000 prototips, el preu es quedaria en 692,18 €. Ja que el cost de l'elaboració del projecte i el consum energètic que aquest comporta baixaria a 5,42 € per prototip. Si aquests prototips es venguessin sense muntar, el cost seria 242,18 €.

En aquest projecte la finalitat no és aconseguir un producte per vendre, és aconseguir un disseny el més econòmic possible per tal de reutilitzar el PLA de les impressions 3D. Així que mirant el cost material de la màquina aquest seria de 236,77 €. Aquest és un preu molt econòmic tenint en compte les diferents màquines que hi ha al mercat, així que podria ser una solució per a persones que vulguin reutilitzar el PLA de les seves impressions 3D, fins i tot centres educatius que no vulguin o es puguin permetre un cost molt elevat i d'aquesta manera puguin estalviar amb aquest filament reciclat.

10. Conclusions

En aquest treball el principal objectiu, que era aconseguir el disseny de la màquina, ha sigut assolit. S'ha dissenyat una màquina amb les característiques indicades inicialment, això inclou:

- Un disseny senzill amb materials que pot aconseguir qualsevol persona.
- Poder controlar la velocitat dels dos motors, el de l'extrusor i el del bobinat, de forma manual a través de dos potenciòmetres.
- Poder controlar el diàmetre del filament.
- Visualització en temps real de les dues velocitats dels motors i del diàmetre del filament.
- Poder controlar la temperatura d'extrusió del PLA a través del PID.
- S'han dissenyat diferents peces, com els suports dels motors o tota l'estructura del bobinat del nou filament, per poder-les imprimir amb una impressora 3D, aconseguint un punt de personalització que facilita la tasca de cara a modificacions dels materials i objectes utilitzats.
- S'ha tingut en compte el cost d'aquest disseny, que pel que fa a materials és més assequible que les diferents opcions que hi ha al mercat actualment.
- S'ha aconseguit reduir la mida de les restes de PLA de la forma més ràpida i no era el punt principal d'aquest projecte, però era necessari per dur-lo a terme.

Encara que alguns elements s'han pogut provar per tal de verificar que les suposicions fetes durant el disseny són correctes, s'ha de tenir en compte que el marge d'error de la impressora 3D fa que algunes peces no es puguin verificar les seves mesures al cent per cent fins que no es provin. Aquestes mesures també s'hauran d'ajustar, així com els paràmetres d'impressió, segons les característiques i capacitats de la impressora 3D que s'utilitzi per imprimir aquestes peces. Aquest aspecte ja s'ha tingut en compte alhora del disseny però en peces molt concretes el marge d'error és mínim, com per exemple l'adaptador del motor 1.

A títol personal, aquest projecte ha sigut molt enriquidor perquè coneixent l'existència d'aquestes màquines d'extrusió i, saber que és possible construir una i que sigui econòmica és un punt molt avantatjós. Aquesta màquina em permetria reciclar el PLA que porto acumulant des que vaig adquirir la meva impressora 3D l'any 2019, amb l'estalvi econòmic que això comporta i el reciclatge que beneficia al medi ambient. El punt no tan positiu ha sigut la incapacitat de poder arribar a muntar un prototip sencer i això ha sigut a causa que alguns materials de certes pàgines web van amb més retard del normal, impedit que em quedi temps per dedicar-li al prototip.

11. Treball futur

Encara que el treball ha complert els seus objectius un treball futur que clarament s'hauria de portar a terme seria la construcció del prototip dissenyat.

La millora principal seria substituir la batedora de got per una trituradora més potent i dissenyada per plàstics, on no fes falta fer un processat previ a les restes de PLA perquè es poguessin introduir peces més grans. Un exemple seria la de la figura 28, on el disseny està fet amb peces impreses en 3D o la de la figura 29 que és el mateix concepte però feta en acer inoxidable per tal d'augmentar la durabilitat i força.

Una altra millora sobre el disseny actual seria aïllar la banda calefactora perquè tota l'escalfor vagi cap a la canonada, així aquesta seria més eficient.

També s'hauria de millorar el sensor del diàmetre del filament, ja que l'actual depenent de la velocitat i la col·locació del filament dona lectures errònies.

També es pot automatitzar el procés d'extrusió, amb els valors de lectura de les velocitats dels motors i del diàmetre del filament, fent una petita modificació al codi per automatitzar el procés perquè segons el diàmetre del filament s'ajustin les velocitats dels motors. Això ajudaria a reduir les possibles tensions i deformacions del filament que es poden produir en el disseny actual i faria que el diàmetre del filament fos molt més acurat i constant que amb unes velocitats fixes. Però per a no perdre el nivell de control que et donen els potenciòmetres s'hauria de col·locar un botó que permetés canviar de mode manual a automàtic, i a la inversa.

I per últim es podria estudiar la possibilitat d'introduir altres plàstics que no fossin PLA, com ABS o PETG. Encara que s'hauria de tenir en compte que aquests plàstics, a diferència del PLA, en el moment de fondre deixen anar gasos tòxics i s'hauria de crear una estructura tancada amb ventilació cap a l'exterior per tal d'assegurar que no fos perjudicial per a les persones.

12. Referències

- Fassio, C., & Grilli, L. (2020). Can a technology turn (also) into a symbol? The 3D printers case. *International Journal of Technology Management*, 82(3-4), 244-275.
<https://doi.org/10.1504/IJTM.2020.108985>
- Tully, J. J., & Meloni, G. N. (2020). A Scientist's Guide to Buying a 3D Printer: How to Choose the Right Printer for Your Laboratory. En *Analytical Chemistry* (Vol. 92, Número 22, p. 14853-14860). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.0c03299>
- Rodríguez-Hernández, A. G., Chiodoni, A., Bocchini, S., & Vazquez-Duhalt, R. (2020). 3D printer waste, a new source of nanoplastic pollutants. *Environmental Pollution*, 267.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115609>
- Ajay, J., Song, C., Rathore, A. S., Zhou, C., & Xu, W. (2017). 3DGates: An instruction-level energy analysis and optimization of 3D printers. *ACM SIGPLAN Notices*, 52(4), 419-433.
<https://doi.org/10.1145/3037697.3037752>
- Ponce, R. V. (2009). Impresoras 3D: Marco teórico, modelos de desarrollo y campos de aplicación. *Cuenca: Universidad de Castilla-La Mancha Blender.[en lí]nea[Consulta 16 de febrero de 2012] Disponible en: http://www.blender.org.*
- Tamarit Gaja, X. (2013). *Creación de una impresora 3D. Em 712.*
- 3D printing - Wikipedia. (s.d.). https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing
- What Is 3D Printing? – Simply Explained | All3DP. (s.d.). <https://all3dp.com/1/what-is-3d-printing/>
- What is 3D printing? How does a 3D printer work? Learn 3D printing. (s.d.).
<https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>
- What Is a 3D Printing Machine? | All3DP. (s.d.). <https://all3dp.com/2/what-is-a-3d-printing-machine/>
- Arduino e impresoras 3D contra el coronavirus: así se han unido makers de toda España para evitar contagios y salvar vidas. (s.d.). <https://www.xataka.com/medicina-y-salud/arduino-e-impresoras-3d-coronavirus-asi-se-han-unido-makers-toda-espana-para-evitar-contagios-salvar-vidas>
- «Makers» piden colaboración para producir respiradores con impresoras 3D | Compromiso Empresarial. (s.d.). <https://www.compromisoempresarial.com/coronavirus/2020/03/makers-colaboracion-producir-respiradores-impresoras3d-coronavirus/>
- Respiradores (y más) hechos en casa: las impresoras 3D se movilizan en España. (s.d.).
https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2020-03-23/impresion-3d-respiradores-mascarillas-biseras_2509855/
- Impresión 3D para evitar el colapso de los recursos sanitarios por el coronavirus | Tecnología | EL PAÍS. (s.d.). <https://elpais.com/tecnologia/2020-03-20/impresion-3d-para-evitar-el-colapso-de-los-recursos-sanitarios-por-el-coronavirus.html>
- Expertos en impresión 3D crean respiradores para las UCI. (s.d.).
<https://www.lavanguardia.com/tecnologia/20200318/474236590135/impresion-3d-respiradores-uci-covid-open-source.html>
- Tlegenov, Y., Hong, G. S., & Lu, W. F. (2018). Nozzle condition monitoring in 3D printing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 54, 45-55.
<https://doi.org/10.1016/j.rcim.2018.05.010>

- 3D Printing with Rise of the Fenix. (2020, agost 14). *5 Common 3D Printer Fails and Fixes - YouTube*. https://www.youtube.com/watch?v=_Qa6XOlyRgE
- Maker's Muse. (2017, juny 21). *5 3D Printing Mistakes you WILL make - and how to avoid them! 3D Printing 101 - YouTube*. <https://www.youtube.com/watch?v=aWg1nG2AbA8>
- The 3D Print General. (2017, desembre 2). *Diagnosing and Fixing an Unknown 3D Printing Failure - YouTube*. <https://www.youtube.com/watch?v=NQxq8suWihY>
- Frank's 3D shop. (2017, octubre 17). *Extrusion problems - YouTube*. <https://www.youtube.com/watch?v=lvTiOxRwEtc>
- Teaching Tech. (2018, setembre 13). *Recycle waste 3D prints: Part 1 - Shredding and melting - YouTube*. https://www.youtube.com/watch?v=8HVjUGZM_cQ
- FusionSource - 3D Printing. (2020, abril 15). *PRINTS NOT STICKING - PRINTING ON GLASS / No glue or hairspray needed / BEAUTIFUL PLA PRINTS - YouTube*. <https://www.youtube.com/watch?v=jV3ItIqyoew>
- Franco Alves, J. M., & Medina RÍvero, C. M. (s.d.). *Extrusora de plàstics para fabricaci3n de filamentos de impresora 3D | Impresoras 3D - Impresion 3D | Imprimalia 3D*. Recuperat 2 juny 2021, de <http://imprimalia3d.com/recursosimpresion3d/extrusora-pl-sticos-fabricaci-n-filamentos-impresora-3d>
- Alex. (2020, maig 8). *Part 1: Make your filament at home for cheap | by Alex | Endless Filament | Medium*. <https://medium.com/endless-filament/make-your-filament-at-home-for-cheap-6c908bb09922>
- ciprolo14. (2015, maig 21). *Homemade DIY 3D Printer Filament Extruder : 12 Steps (with Pictures) - Instructables*. <https://www.instructables.com/Homemade-3D-Printer-Filament-Extruder/>
- Malahmeh, Q. (2018, setembre 24). *Filament Recycling Extruder «Fab Extruder»: 4 Steps - Instructables*. <https://www.instructables.com/Filament-Recycling-Extruder-Fab-Extruder/>
- dhepguler. (2015, maig 6). *DIY Filament Extruder (with Pictures) - Instructables*. <https://www.instructables.com/DIY-Filastruder/>
- Werbewunder. (2018, setembre 1). *Make Your Own ABS & PLA - 3D Printing Filament Extruder DIY - ABS Nozzle +new motor control system - YouTube*. https://www.youtube.com/watch?v=5jZHPY_GdxY
- Obudho, B. (2020, febrer 1). *Best Filament Extruders to Build or Buy | All3DP*. <https://all3dp.com/2/6-best-filament-extruders-to-build-or-buy/>
- epo3d & exo. (2019, setembre 5). *Filament Extrude Exo Extruder - YouTube*. <https://www.youtube.com/watch?v=ckt-K7b1pJM>
- 3D Printing Nerd. (2018, juny 6). *Make Your Own Filament At Home? My Review of the FelFil Evo Filament Extruder - YouTube*. <https://www.youtube.com/watch?v=TxIxcABYvZI>

3D Printing Nerd. (2019, octubre 27). *Make Your Own Filament at Home: Take 2 - 3DEVO COMPOSER First Impressions - YouTube*. <https://www.youtube.com/watch?v=JLF5-voMTYk>

CNC Kitchen. (2018, novembre 10). *Recycle your failed 3D prints! Make new filament at home. - YouTube*. https://www.youtube.com/watch?v=vqWwUx8l_Io

Make Anything. (2019, març 9). *Making my OWN Filament from Failed Prints with the 3Devo Composer - YouTube*. <https://www.youtube.com/watch?v=HxdfsLaZDw&t=704s>

12.1. Figures

- [1] Extrusora para grancear plástico ¿Qué es y cómo funciona? de la página web Interempresas. <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/260036-Extrusora-para-grancear-plastico-Que-es-y-como-funciona.html>
- [2] Usuari @EnfrmraSaturada a Twitter. <https://twitter.com/EnfrmraSaturada/status/1247970426162118656>
- [3] Usuari @impression3dpro a Instagram. <https://www.instagram.com/p/B-HiLWkh7Et/>
- [4] Laboratori 3D de l'Hospital Parc Taulí a Instagram (@3dptlab). <https://www.instagram.com/p/CKmGSQPrMON/>
- [5] Usuari @impression3dpro a Instagram. <https://www.instagram.com/p/B-DnXi9BQ2M/>
- [6] What is 3D printing? The definitive guide a la página web 3dhubs. <https://www.3dhubs.com/guides/3d-printing/>
- [7] Gráfica comparativa de tracción. Hedo Garcés, D. (2014). Herramienta para la definición de diferentes estrategias de impresión en tecnología FDM. Ensayos mecánicos. En TFG Universidad de Zaragoza.
- [8] Gráfica comparativa de flexión. Hedo Garcés, D. (2014). Herramienta para la definición de diferentes estrategias de impresión en tecnología FDM. Ensayos mecánicos. En TFG Universidad de Zaragoza.
- [9] Gáfoca resistència a la tracció-Porcentaje de relleno. Alvarez C., K. L., Lagos C., R. F., & Aizpun, M. (2016). Influencia del porcentaje de relleno en la resistencia mecánica en impresión 3D, por medio del método de Modelado por Deposición Fundida (FDM). Ingeniare. Rev. chil. ing. vol.24 no.Especial Arica ago. 2016, 8.
- [10] Gráfica Tiempo efectivo de impresión-Porcentaje de relleno. Alvarez C., K. L., Lagos C., R. F., & Aizpun, M. (2016). Influencia del porcentaje de relleno en la resistencia mecánica en impresión 3D, por medio del método de Modelado por Deposición Fundida (FDM). Ingeniare. Rev. chil. ing. vol.24 no.Especial Arica ago. 2016, 8.
- [11] De mascarillas quirúrgicas a máscaras 3D con filtro de carbón activado a la página web 3dprintingdesign. <http://www.3dprintingdesign.es/es/noticia/de-mascarillas-quirurgicas-a-mascaras-3d-con-filtro-de-carbon-activado>
- [12] Pàgina web de Filabot. <https://www.filabot.com/>
- [13] Pàgina web de 3devo. <https://3devo.com/>
- [14] Pàgina web de ReDeTec. <https://redetec.com/products/protocycler>
- [15] 3D-printable shredder a la página web bbprojects.technology <https://bbprojects.technology/blogs/projects/3d-printable-shredder>
- [16] Make a Mini Shredder and Recycling 3d Printing Plastic a la página web de instructables <https://www.instructables.com/Make-a-Mini-Shredder-and-Recycling-3d-Printing-Pla/>
- [17] Plastic Shredder using Kitchen Blender a la página web de rewrap https://rewrap.org/wiki/Plastic_Shredder_using_Kitchen_Blender

- [18] Recycle waste 3D prints: Part 1 - Shredding and melting a Youtube
https://www.youtube.com/watch?v=8HVjUGZM_cQ
- [19] Pàgina web de Felfil <https://felfil.com/?v=5ea34fa833a1>
- [20] Pàgina web de Filabot <https://www.filabot.com/>
- [21] Pàgina web de Filastruder <https://www.filastruder.com/>
- [22] Pàgina web de 3devo <https://3devo.com/>
- [23] Build Your Own 3d Printer Filament Factory a la pàgina web instructables
<https://www.instructables.com/Build-your-own-3d-printing-filament-factory-Filame/>
- [24] Lyman Filament Extruder V6 a la pàgina web Thingiverse
<https://www.thingiverse.com/thing:1199870>
- [25] Pàgina web de Felfil <https://felfil.com/?v=5ea34fa833a1>
- [26] Pàgina web de Filabot <https://www.filabot.com/>
- [27] Pàgina web de Filaestruder <https://www.filastruder.com/>
- [28] Filament Spool Winder V3 a la pàgina web Thingiverse
<https://www.thingiverse.com/thing:1239137>
- [29] Font d'alimentació 12V i 20A https://www.amazon.es/Redrex-Conmutaci%C3%B3n-Alimentaci%C3%B3n-Transformador-Impresoras/dp/B01MRSAT39/ref=sr_1_2?dchild=1&keywords=redrex+DC+12V+20A+240W&qid=1619783233&sr=8-2
- [30] Microcontrolador Elegoo Uno R3 https://www.amazon.es/Tarjeta-Microcontrolador-ATmega328P-ATMEGA16U2-Compatible/dp/B01M7ZB2B4/ref=pd_bxgy_img_2/257-9258671-3210836?encoding=UTF8&pd_rd_i=B01M7ZB2B4&pd_rd_r=5269c62c-426d-4b20-a9ba-9d791b48d248&pd_rd_w=bYQds&pd_rd_wg=66SqE&pf_rd_p=1e5224b7-4b05-43dc-b9bd-5f16e5a29bac&pf_rd_r=0YQ2HXCRY9GXVPX0GGSVJ&psc=1&refRID=0YQ2HXCRY9GXVPX0GGSVJ
- [31] Controladora VNH5019 https://www.amazon.es/HiLetgo-VNH5019-2-Channel-Protection-VNH2SP30/dp/B07V3V61RS/ref=sr_1_6?mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=VNH2SP30&qid=1619280923&s=electronics&sr=1-6
- [32] Pantalla LCD amb protocol I2C https://www.amazon.es/GeeekPi-Character-Display-Protocol-Raspberry/dp/B07QNKCLJM/ref=sr_1_6?mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=pantalla+LCD+arduino&qid=1619283093&sr=8-6
- [33] Banda calefactora de 200W
https://es.aliexpress.com/item/1005001971298806.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.669421c0pYQ2LZ&algo_pvid=23170cb5-af47-4dcd-a6a6-de7f70332632&algo_expid=23170cb5-af47-4dcd-a6a6-de7f70332632-6&btsid=2100bb5116191709400771380ebfde&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_,searchweb201603_

12.2 Taules

- [1] Tabla resultados ensayo de tracción. Alvarez C., K. L., Lagos C., R. F., & Aizpun, M. (2016). Influencia del porcentaje de relleno en la resistencia mecánica en impresión 3D, por medio del método de Modelado por Deposición Fundida (FDM). Ingeniare. Rev. chil. ing. vol.24 no.Especial Arica ago. 2016, 8.