



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA



DISSENY I MUNTATGE D'UNA IMPRESSORA 3D BASADA EN ARDUINO

Treball de Fi de Grau

Alejandro Sánchez Aduna

Tutor: Carlos Pascual Domínguez Montagud

Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria del Disseny

Universitat Politècnica de València

Curs 2016-2017

València, 21 de setembre de 2017

Resum

El present treball tracta el procés de disseny, muntatge i programació d'una impressora 3D basada en Arduino. Per a això, primer s'analitzarà el context social i professional que explica la necessitat de la tecnologia d'impressió 3D, i s'oferirà una visió general sobre la història i el desenvolupament d'aquesta en els últims anys. El disseny proposat es basa en els famosos models *Prusa i3 MK2S*, desenvolupat per Josef Prusa, i *Prusa i3 Hephestos*, de l'empresa espanyola BQ. Aquests dissenys seran modificats segons el preu, les prestacions requerides i la disponibilitat dels materials, comparant algunes de les principals opcions.

A continuació es detallarà el procés de muntatge, centrant-se especialment en els problemes que s'hagin trobat durant el mateix i les solucions proposades. Quant a la programació, s'utilitzarà el programari *Marlin*, introduint la configuració adequada per a la nova impressora i es presentaran els principals programes usats per al disseny, conversió i preparació de peces per a impressió 3D. A més, s'inclourà un sistema de monitoratge remot via wifi mitjançant el sistema operatiu *OctoPi*, instal·lat en una placa Raspberry Pi Zero W amb càmera incorporada.

Finalment, es discutiran les possibles millores futures que podrien adoptar-se per resoldre alguns dels problemes típics de les impressores 3D i es tancarà el treball exposant les conclusions finals.

Paraules clau: impressió, impressora, 3D, Arduino, Raspberry, Prusa, OctoPi, Wi-Fi, RepRap.

Resumen

El presente trabajo trata el proceso de diseño, montaje y programación de una impresora 3D basada en Arduino. Para ello, primero se analizará el contexto social y profesional que explica la necesidad de la tecnología de impresión 3D, y se ofrecerá una visión general sobre la historia y el desarrollo de ésta en los últimos años. El diseño propuesto se basa en los famosos modelos *Prusa i3 MK2S*, desarrollado por Josef Prusa, y *Prusa i3 Hephestos*, de la empresa española BQ. Dichos diseños serán modificados según el precio, las prestaciones requeridas y la disponibilidad de los materiales, comparando algunas de las principales opciones.

A continuación, se detallará el proceso de montaje, centrándose especialmente en los problemas que se hayan encontrado durante el mismo y las soluciones propuestas. En cuanto a la programación, se utilizará el software *Marlin*, introduciendo la configuración adecuada para la nueva impresora y se presentarán los principales programas para el diseño, conversión y preparación de piezas para impresión 3D. Además, se incluirá un sistema de monitorización remota vía wifi mediante el sistema operativo *OctoPi*, instalado en una placa *Raspberry Pi Zero W* con cámara incorporada.

Finalmente, se discutirán las posibles mejoras futuras que podrían adoptarse para resolver algunos de los problemas típicos de las impresoras 3D y se cerrará el trabajo exponiendo las conclusiones finales.

Palabras clave: impresión, impresora, 3D, Arduino, Raspberry, Prusa, OctoPi, Wi-Fi, RepRap.

Abstract

This paper deals with the design, assembly and programming process of an Arduino-based 3D printer. To do this, we first analyze the social and professional context that explains the need for 3D printing technology, and we will provide an overview of its history and development in recent years. The proposed design is based on the famous models *Prusa i3 MK2S*, developed by Josef Prusa, and *Prusa i3 Hephestos*, from the Spanish company BQ. These designs will be modified according to the price, the required performance and the availability of the materials, comparing some of the main options.

Next, we will detail the assembly process, focusing especially on the problems found during it. As for programming, we will use *Marlin* software, introducing the appropriate setting for the new printer and will present the main programs used for the design, conversion and preparation of parts for 3D printing. In addition, a remote monitoring system via Wi-Fi is included through the OctoPi operating system, installed on a Raspberry Pi Zero W board with built-in camera.

Finally, we will discuss some possible future solutions to solve some of the typical problems with 3D printers and the paper will be closed with the final conclusions.

Keywords: printing, printer, 3D, Arduino, Raspberry, Prusa, OctoPi, Wi-Fi, RepRap.

Agraïments

Vull donar les gràcies al meu tutor Carlos per haver tingut la paciència d'ajudar-me en el treball a pesar d'haver-lo de revisar i entregar en un termini tan curt. Sempre ha sigut molt amable amb mi i amb tots, i és una cosa que s'aprecia molt.

També vull agrair als meus pares que hagen confiat sempre en les meues capacitats i hagen dedicat tots els recursos que han pogut per què jo estiga on estic. I sobretot donar les gràcies a Gemma, que sempre està amb mi en els moments bons i en els roïns, i per soportar-me fins que deixe d'arribar tard a totes bandes.

I per què no, també als meus amics que, encara que es passen el dia pressionant-me perquè deixe el TFG i vaja a jugar o a menjar fora, jo els vull igual.

Índex

1. Introducció, motivació i objectius.....	5
2. Antecedents i estat de l'art.....	7
2.1. Orígens de la impressió 3D.....	7
2.2. <i>RepRap</i> , Prusa i l' <i>Open Source</i> . La revolució.....	9
2.3. La impressió 3D en l'actualitat.....	12
2.4. Impressores comercials	12
2.5. Materials per a filament.....	16
3. Disseny de la impressora.....	18
3.1. Tipologies d'impressora. Estructura bàsica	18
3.2. Elements mecànics	21
3.3. Electrònica. El controlador	23
3.4. Motors pas a pas.....	27
3.5. <i>Drivers</i> dels motors pas a pas.....	28
3.6. Finals de cursa.....	30
3.7. Extrusor	31
3.8. Llit calent.....	33
3.9. Font d'alimentació	34
3.10. Interfície d'usuari.....	37
3.11. Peces impreses en 3D	38
3.11.1. Peces originals.....	38
3.11.2. Peces modificades i pròpies.....	40
4. Muntatge de la impressora.....	42
5. Firmware, configuració y primera impressió	45
5.1. Introducció al procés d'impressió	45
5.2. Firmware y configuració. <i>Marlin</i>	45
5.3. <i>Repetier</i> , <i>Slic3r</i> i primera impressió	51
6. Sistema de monitoratge per wifi.....	56
6.1. Anàlisi d'alternatives	56
6.2. Sistema de monitoratge en xarxes wifi locals.....	58
6.3. Configuració d'accés per a xarxes externes.....	61
7. Proves, experiments i millores	63
8. Projectes futurs.....	66
9. Pressupost.....	67
10. Conclusions	71
11. Bibliografia.....	73

Índex de figures

Figura 1. Esquema de funcionament de l'estereolitografia. Font: http://diwo.bq.com/impresion-3d-historia/	7
Figura 2. Peces impreses per estereolitografia en una impressora comercial. Actualment, algunes impressores imprimeixen les peces col·locant-les a l'inrevés i elevant poc a poc la plataforma. Font: http://www.3ders.org/images/Solidator_SixEiffelTowers.jpg	7
Figura 3. Esquema de funcionament del sinteritzat selectiu per làser. Font: http://entresd.es/blog/tipos-de-impresoras-3d/	8
Figura 4. Impressora 3D per deposició fosa en funcionament. Font: https://www.ratolinformatic.es/las-mejores-impresoras-3d-principiantes/	9
Figura 5. Impressora RepRap Darwin. Font: http://reprap.org/wiki/Darwin	10
Figura 6. Impressora RepRap Mendel. Font: http://reprap.org/wiki/Mendel/es	11
Figura 7. Josef Prusa en un dels tallers de producció de Prusa Research. Font: https://3dprintingindustry.com/news/interview-josef-prusa-ceo-founder-prusa-research-81650/	11
Figura 8. Impressora Original Prusa i3 MK2S. Font: http://www.prusaprinters.org/original-prusa-i3-mk2s-release/	13
Figura 9. Impressora Zortrax M200. Font: https://store.zortrax.com/M200	14
Figura 10. Impressora Ultimaker 2+. Font: http://ultimaker.tr3sdland.com/producto/ultimaker-2/	14
Figura 11. Impressora Makerbot Replicator+. Font: https://ultimaker.tr3sdland.com/producto/ultimaker-2/	15
Figura 12. Impressora Prusa i3 Hephestos. Font: https://www.pccomponentes.com/bq-prusa-i3-hephestos-impresora-3d-roja	15
Figura 13. Impressora Anet A8. Font: http://fpvmax.com/2017/03/30/mejor-impresora-3d-barata-anet-a8/	16
Figura 14. Bobines de filament de diferents materials. Font: https://impresoras3d.com/blogs/noticias/108879559-la-guia-definitiva-sobre-los-distintos-filamentos-para-impresoras-3d	17
Figura 15. Esquema d'una impressora amb <i>single frame</i> . Font: http://arduinocolombia.blogspot.com.es/2013/11/impresora-3d-reprap-en-colombia.html	18
Figura 16. Exemples d'impressores amb <i>box frame</i> . Fonts: http://reprap.org/wiki/Prusa_i3_Build_Manual , https://www.thingiverse.com/thing:39889	19
Figura 17. Model BCN3D+ de l'empresa espanyola RepRapBCN. Font: https://reprapbcn.wordpress.com/category/bcn-3d/	19
Figura 18. Esquema d'una impressora amb estructura cúbica. Font: http://frac3d.com/uso-domestico-impresoras-3d	20
Figura 19. Impressora delta model Geeetech Rostock G2 Mini. Font: http://www.dx.com/es/p/geeetech-rostock-mini-g2-delta-3d-printer-blue-389287	20
Figura 20. Marc i base d'alumini per a la BQ Prusa i3. Font: https://www.pccomponentes.com/bq-marco-y-base-para-prusa-i3	21
Figura 21. Cargols trapezoïdals usats en impressores. Font: http://blog.bitbot3d.com/husillos-prusa-i3-hephestos-p3steel/	22
Figura 22. Exemple de kit comercial de caragols i barres per a Prusa i3 Hephestos. Font: http://www.tienda.meya.es/mecanica/41-kit-de-varillas-y-tornilleria-para-prusa-i3-para-hephestos-8436545513552.html	23
Figura 23. Plaques RAMPS 1.4 i Arduino MEGA. Fonts: http://domoticx.com/prusa-i3-geeetech-firmware-ramps-1-4-gt2560/ , https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3	24

Figura 24. Placa Smoothieboard v1.1. Font: https://www.smw3d.com/smoothieboard-v1-1/	25
Figura 25. Placa Gen7 Board-ARM 2.0. Font: http://reprap.org/wiki/Generation_7_Electronics	25
Figura 26. Placa Megatronics 2.0. Font: http://reprap.org/wiki/Megatronics_2.0	26
Figura 27. Placa OVM20 Lite. Font: http://reprap.org/wiki/Megatronics_2.0	27
Figura 28. Motor pas a pas 17HS4401. Font: https://es.aliexpress.com/w/wholesale-17hs4401-nema-17.html	28
Figura 29. Taula comparativa entre els dos principals circuits integrats per a drivers. Font: http://www.dima3d.com/motores-paso-a-paso-en-impresion-3d-ii-criterios-de-seleccion-de-motores-y-drivers/	29
Figura 30. Vista superior i inferior dels drivers A4988 (esquerra) i DRV8825 (dreta). Font: http://reprap.org/wiki/A4988_vs_DRV8825_Chinese_Stepper_Driver_Boards ..	30
Figura 31. Diferents tipus de final de cursa: mecànic, mecànic en placa integrada i òptic. Fonts: https://www.staticboards.es/blog/marlin-instalacion-configuracion/ , https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-453259932-final-de-carrera-impresora-3d-prusa-marlin-hephestos-_JM , https://electronilab.co/tienda/interruptor-final-carrera-optico-cnc-impresora-3d/	30
Figura 32. Esquema aproximat d'un extrusor amb extrusió directa. Font: http://www.mibqyyo.com/articulos/2014/09/22/asi-funciona-la-extrusion-en-las-impresoras-3d/	32
Figura 33. Esquema d'un extrusor Bowden. Font: http://www.mibqyyo.com/articulos/2014/09/22/asi-funciona-la-extrusion-en-las-impresoras-3d/	32
Figura 34. Extrusor MK8. Font: http://inven.es/impresoras-3d/326-extrusor-mk8-direct-driver-04mm-30mm-termistor-ntc-completamente-ensamblado.html	33
Figura 35. Llit calent MK2B instal·lat sobre l'eix Y. Font: pròpia	34
Figura 36. Taula comparativa entre els diferents tipus de fonts d'alimentació. Font: http://reprap.org/wiki/Choosing_a_Power_Supply_for_your_RepRap/	35
Figura 37. Font d'alimentació de 12V i 360 W. Font: https://es.aliexpress.com/item/Universal-AC-TO-DC-12V-30A-Regulated-Switching-Power-Supply-For-LED-Light-Strip/32795913586.html	36
Figura 38. Diferents tipus de pantalles LCD. Font: https://www.zonamaker.com/impresion-3d/mejoras-trucos-y-consejos/pantalla-lcd ..	37
Figura 39. Models 3D de les peces de l'eix Y. Font: pròpia	38
Figura 40. Models 3D de les peces dels eixos X i Z, i suport de les bobines. Font: pròpia.	39
Figura 41. Model 3D del carro de l'extrusor. Font: pròpia	39
Figura 42. Model 3D de la carcassa de la pantalla LCD. Font: pròpia	40
Figura 43. Model 3D del suport del final de cursa de l'eix Z. Font: pròpia.....	41
Figura 44. Models 3D de les politges. Font: pròpia.	41
Figura 45. Eix Y de la Prusa i3 MK2 acoblat. Font: http://manual.prusa3d.com/Guide/2.+Y-axis+assembly/298	42
Figura 46. Resultat final de l'eix X. Font: pròpia.	43
Figura 47. Esquema de connexió de l'electrònica. Font: http://www.3despana.com/imagenes/p3steel/13.jpg	43
Figura 48. Resultat del connexionat elèctric. Font: pròpia	44
Figura 49. Vidre del llit tallat a mida. Font: pròpia.....	44
Figura 50. Esquema simplificat del procés d'impressió. Font: http://reprap.org/wiki/Introducci%C3%B3nALaImpresi%C3%B3n3D_PasosARealizar	45
Figura 51. Configuració del firmware Marlin. Font: pròpia	46
Figura 52. Interfície d'usuari del software Repetier Host. Font: pròpia	52
Figura 53. Menú de configuració de la impressora. Font: pròpia	52

Figura 54. Menú de configuració dels perfils d'impressió. Font: pròpia	53
Figura 55. 3DBenchy imprès en 3D. Font: https://www.thingiverse.com/thing:763622	54
Figura 56. 3DBenchy després de passar per un <i>slicer</i> . Font: pròpia.	54
Figura 57. Resultat de la primera impressió. Font: pròpia	55
Figura 58. Càmera OV7670 connectada a un Arduino Due. Font: http://www.instructables.com/id/How-to-Connect-OV7670-to-Arduino-Due/	57
Figura 59. Raspberry Pi Zero W i mòdul de càmera. Fonts: https://shop.pimoroni.com/products/raspberry-pi-zero-w , https://electronilab.co/tienda/camara-para-raspberry-pi-5mp/	57
Figura 60. Interfície d'usuari de Rufus 2.11. Font: pròpia.	58
Figura 61. Raspberry Pi Zero W en la carcassa amb la càmera i les connexions. Font: pròpia	59
Figura 62. Consola d'Octopi via SSH. Font: pròpia.	59
Figura 63. Interfície d'usuari d'OctoPrint. Font: pròpia.....	60
Figura 64. Pestanya de control per càmera en OctoPrint. Font: pròpia.	60
Figura 65. Configuració de reserva de direcció IP. Font: pròpia.	62
Figura 66. Configuració del <i>port forwarding</i> . Font: pròpia.....	62
Figura 67. Models 3D del <i>fan-holder_1.0.stl</i> i <i>fan-holder_2.0.stl</i> . Font: pròpia	63
Figura 68. Comparativa entre la primera i la segona impressió del 3DBenchy. Font: pròpia	64
Figura 69. Model 3D de la <i>PSU-cover_1.0.stl</i> . Font: pròpia.....	64
Figura 70. Font d'alimentació amb la carcassa. Font: pròpia.....	65
Figura 71. Regulador de voltatge LM2596. Font: https://www.addicore.com/lm2596-module-p/ad281.htm	65

1. Introducció, motivació i objectius

En l'actualitat, estem assistint a una gran revolució en la impressió 3D, una tecnologia que, encara que no es nova, va iniciar la seva època de major expansió fa amb prou feines 10 anys. És fàcil escoltar cada poc temps en els mitjans de comunicació nous desenvolupaments i projectes basats en impressió 3D, incloent calçat, aliments, pròtesis mèdiques, estructures i fins a habitatges. Encara que són aplicacions que segueixen encara en procés de d'investigació, resulta significatiu veure amb quina velocitat esta tecnologia s'està convertint en una opció a tenir en compte i com s'està fent lloc en l'escena col·lectiva a nivell mundial. Un exemple d'això el veiem proliferació de nous models d'impressores 3D comercials destinades al consum domèstic.

No obstant això, este procés es va iniciar com una utilitat enfocada principalment a l'àmbit industrial i acadèmic. Van ser moviments com la comunitat *maker* i projectes com *RepRap*, recolzats en les iniciatives de codi obert (*Open Source*) els que van impulsar esta tecnologia fins a convertir-la en un fenomen de masses. A partir d'este moment, la impressió 3D es converteix en una de les eines preferides per enginyers, estudiants, emprenedors i aficionats a l'electrònica i la tecnologia en general per dur a terme els seus projectes, usant-la com a eina de prototipat ràpid, estalviant gran quantitat de temps, costes i recursos.

Es en este context en el qual apareix la **motivació** per este projecte. Unir-se a una comunitat mundial de creadors i emprenedors i adquirir noves habilitats com a enginyer electrònic. Tot això usant una tecnologia en constant evolució que serveix com a base per desenvolupar gran quantitat de projectes en entorns multidisciplinaris. D'esta forma, es fomenta la creativitat i la empenedoria, donant com resultat un aprenentatge continu, un hàbit essencial per a un enginyer.

L'**objectiu**, per tant, d'este projecte és el desenvolupament d'una impressora 3D, cobrint cadascun dels passos del procés de fabricació incloent disseny, muntatge, programació i depuració. El projecte es basarà en tot moment en tecnologies ja existents, i consistirà en adaptar totes elles a un propòsit concret. La intenció no es cap moment la de "reinventar la roda", sinó aprendre el funcionament de la tecnologia i entendre cadascun dels passos que s'han seguit en tot moment per tal d'adquirir estos coneixements. A més, es pretén ser capaç d'aplicar aquests coneixements per adaptar els desenvolupaments existents a les especificacions desitjades i afegir noves funcionalitats que resolguin alguns dels problemes que aquests desenvolupaments solen presentar.

Així, el treball consistirà en crear una impressora completament funcional amb un pressupost d'entre 300 i 400 euros aproximadament, i amb unes prestacions comparables a les d'una impressora comercial. Per a això, en cap moment es farà ús d'un kit comercial preparat per al seu muntatge, sinó que es farà una anàlisi de cadascuna de les alternatives possibles per a cadascun dels principals components, tenint en compte el seu preu, disponibilitat, i la utilitat real que pot oferir. No obstant, degut a la gran quantitat d'informació i documentació existent, esta pot ser aprofitada i usada com a base per al disseny. Es podria fer ús dels plànols existents per a la construcció, però serà necessari modificar certes peces i crear algunes de noves per a determinats propòsits.

Es detallaran també els passos seguits durant el seu muntatge, fent especial èmfasi en els problemes oposats durant el procés i les solucions aportades. Això és important, ja que, en alguns casos, estos problemes fan necessaris canvis en el disseny inicial.

A més, es pretén resoldre un dels principals problemes de les impressores 3D, que és la necessitat de monitoratge durant la impressió, a causa de la possible aparició d'errors durant impressions llargues. Per a això, s'analitzaran les diferents alternatives possibles per a implementar un sistema de monitoratge via wifi que permeta observar l'estat de la impressora i de la peça i controlar, pausar i detindre la impressió. S'habilitarà, a més, un sistema per proporcionar accés en línia al sistema des de qualsevol lloc del món amb accés a Internet.

Per últim, es proposaran solucions a altres problemes associats a les impressores 3D, com la vulnerabilitat davant caigudes en el subministrament elèctric, per exemple. També es plantejaran possibles millores aplicables en un futur, ja que projectes com este tenen la particularitat que mai estan realment acabats. Com hem dit, es tracta d'una tecnologia en constant evolució, i sempre hi ha marge per a la millora. El límit està en la imaginació, l'habilitat i els coneixements de cadascun.

2. Antecedents i estat de l'art

2.1. Orígens de la impressió 3D

Els orígens de la impressió 3D es remunten a 1984, quan un enginyer de Colorado anomenat Charles Hull va imprimir en el garatge de sa casa una copa de plàstic amb un nou mètode creat per ell mateix al que va anomenar **estereolitografia**. Este mètode consistia en un contenidor ple d'una resina líquida fotopolimèrica, un monòmer fotosensible que es polimeritza i es solidifica en rebre radiació lluminosa. El procés d'impressió comença amb una plataforma submergida en el contenidor de resina, situada a una distància de la superfície igual al grossor de la capa a imprimir. Llavors un làser de radiació ultraviolada traça punt per punt la secció del model CAD, solidificant-la. A continuació, la plataforma descendeix fins a l'altura de la següent capa i es repeteix el procés fins a aconseguir la peça final. Finalment, es treu la peça del contenidor i se sotmet a un post-curació en un forn ultraviolat per acabar el procés de polimeritzat. El resultat és un prototip amb molt bon acabat superficial, ràpid i amb un alt nivell de detall. No obstant això, les resines són tòxiques i cares. ^{[1][2]}

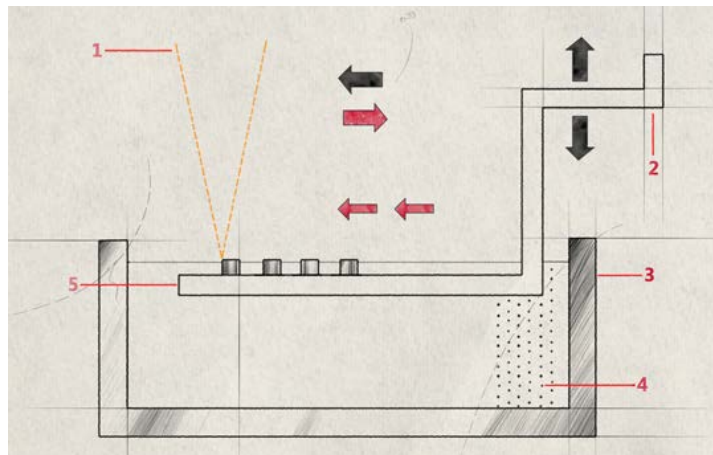


Figura 1. Esquema de funcionament de l'estereolitografia. Font: <http://diwo.bq.com/impresion-3d-historia/>



Figura 2. Peces impreses per estereolitografia en una impressora comercial. Actualment, algunes impressores imprimeixen les peces col·locant-les a l'inrevés i elevant poc a poc la plataforma. Font: http://www.3ders.org/images/Solidator_SixEiffelTowers.jpg

Un mètode similar a la estereolitografia és el **curat en base sòlida**. Este mètode es basa en el mateix principi de solidificar un polímer o una resina fotosensible. En aquest cas, per cada capa del model CAD es genera una màscara amb el negatiu d'esta capa. Llavors s'estén una capa de fotopolímer líquid sobre la base a imprimir i es col·loca la màscara damunt. En exposar-ho a la radiació ultraviolada, la part no coberta per la màscara es solidifica i la resta queda en estat líquid. Després de retirar el líquid sobrant, el buit generat s'emplena amb cera calenta, que servirà de suport. El resultat final d'aquest mètode és una impressió més ràpida i més resistent, però en la qual s'utilitzen grans quantitats de resina i cera. ^[1]

Existeix una altra tecnologia basada en materials fotopolimèrics anomenada **impressió per injecció d'aglutinant** o, en anglès, *Binder Jetting*. El seu funcionament és similar al de les impressores d'injecció de tinta tradicionals. En aquest cas, el capçal d'impressió injecta petites quantitats de resina fotosensible i pols (que serveix de suport), mentre simultàniament una llum ultraviolada ho solidifica per crear una capa. ^[4]

Una altra tècnica molt utilitzada és el **sinteritzat selectiu per làser**, en la qual el material a solidificar és una pols que pot ser de molts materials diferents (policarbonat, nylon, plàstic ABS, metalls, ceràmiques, etc.). El mètode és semblant a la estereolitografia. La superfície de treball es cobreix amb una fina capa de pols i mitjançant un feix làser, s'escalfa la secció desitjada fins a una temperatura propera a la de fusió d'esta pols. A continuació, un pistó descendeix la plataforma de treball i un corró d'anivellació estén una altra fina capa de pols per repetir el procés. Finalment, s'extreu el bloc compacte i es retira la pols sobrant, que és reutilitzable. El resultat és una peça sòlida que no necessita tractament posterior i pot adoptar qualsevol geometria sense necessitat d'elements addicionals de suport. En canvi, és un procés lent que requereix maquinària complexa. ^{[1][3]}

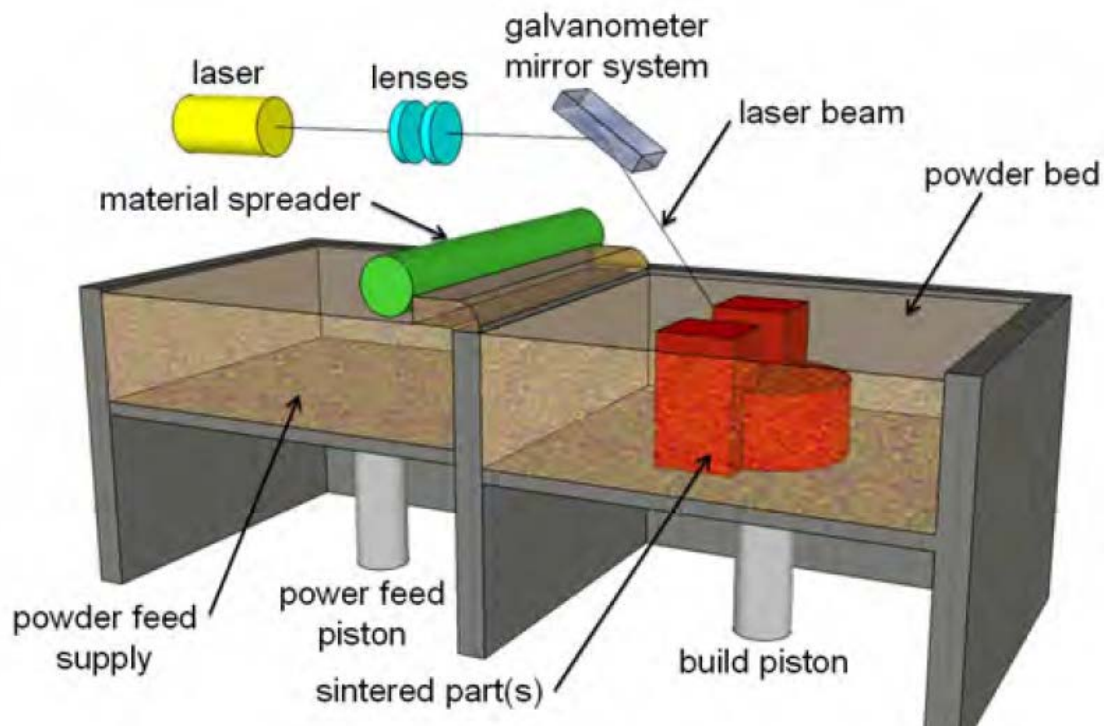


Figura 3. Esquema de funcionament del sinteritzat selectiu per làser. Font: <http://entresd.es/blog/tipos-de-impresoras-3d/>

D'altra banda, en 1989, Scott Crump va fundar l'empresa *Stratasys* i va patentar la tecnologia de **modelatge per deposició fosa** (FDM). Esta tècnica consisteix en l'extrusió d'un filament, fonent el material i dipositant-lo sobre la superfície i les capes inferiors ja fredes, mentre el capçal d'extrusió es mou per la superfície segons la geometria de la peça. El material, comunament plàstic, es refreda immediatament després de sortir de l'extrusor i s'adhereix a la capa inferior. En ocasions és necessària l'extrusió d'elements de suport per sustentar zones concretes de la peça. ^{[1][5]}

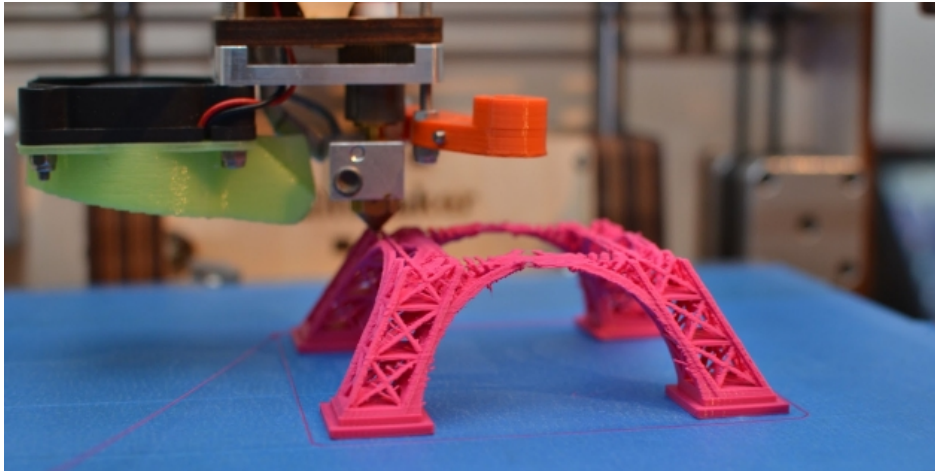


Figura 4. Impressora 3D per deposició fosa en funcionament. Font:
<https://www.ratolinformatic.es/las-mejores-impresoras-3d-principiantes/>

Esta tecnologia es convertiria en la tècnica d'impressió més utilitzada en l'actualitat. Malgrat una baixa velocitat d'impressió, la seva possibilitat d'usar una gran varietat de materials segurs i de baix cost, l'estabilitat dels models resultants i la seva facilitat de maneig i de manteniment, amb màquines realment senzilles, li va brindar un gran èxit. No obstant això, no seria fins a 2009 quan aquesta tecnologia es convertiria en el que és avui.

2.2. *RepRap*, Prusa i l'*Open Source*. La revolució

Quan en 2009 va expirar la patent de *Stratasys* sobre la tecnologia FDM, es va publicar la primera impressora 3D en forma de kit de muntatge, la impressora ***Darwin***, desenvolupada per Adrian Bowyer, professor d'enginyeria mecànica en la universitat de Bath, en Regne Unit. Aquesta impressora va ser basada en el concepte ***RepRap***, sent la primera vegada en la història en la qual s'havia creat una màquina capaç d'autorreplicar-se, és a dir, ser capaç de crear les peces necessàries per al seu propi funcionament. ^{[6][7]}

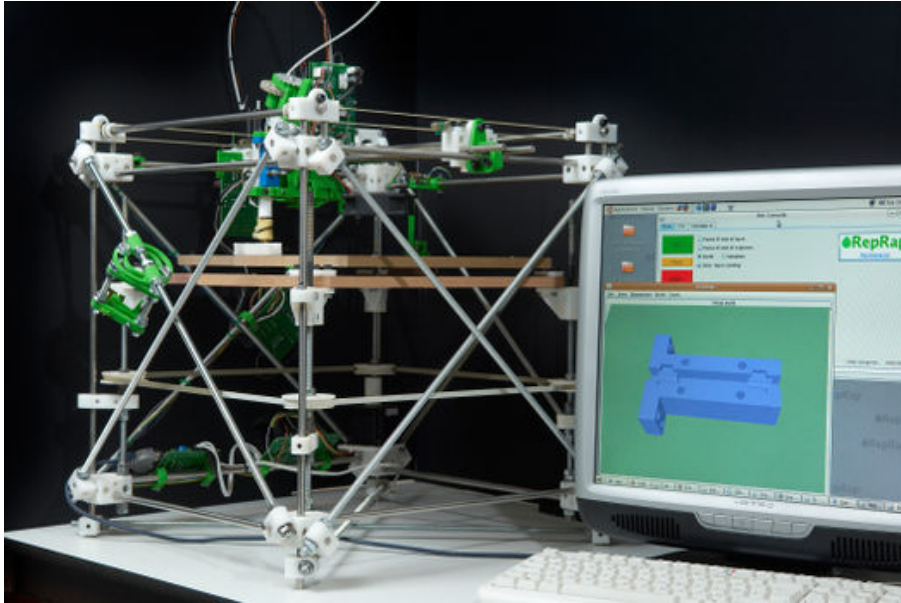


Figura 5. Impressora *RepRap Darwin*. Font: <http://reprap.org/wiki/Darwin>

Esta impressora es va recolzar en la filosofia **Open Source** (codi obert). Este concepte, fins llavors aplicat al desenvolupament de software, va donar vida al que avui coneixem com a software lliure, amb projectes com Linux, i a les comunitats de desenvolupament col·lectiu com *SourceForge* o *GitHub*. La idea consistia en que el coneixement i el desenvolupament tecnològic havia de ser alliberat i difós perquè qualsevol persona poguera accedir a ell, de la mateixa manera que ocorre amb el coneixement científic. Així, s'estalviaria gran quantitat de temps i diners en noves investigacions i desenvolupaments, compartint aquelles que altres persones ja han realitzat. Aquest mateix concepte arribaria a poc a poc al hardware, materialitzant-se en projectes com Arduino o Raspberry Pi. ^{[6] [7]}

La filosofia de *RepRap* es basa en el mateix principi. En 2009, un servei de prototipat comercial podia costar al voltant de 20.000 dòlars de base, i prototips fabricats en màquines comercials de gamma baixa podien costar uns dos dòlars per centímetre cúbic. En eixe context, l'objectiu de *RepRap* va ser disminuir de forma dràstica els costos tant de les màquines de prototipat com de la fabricació de prototips. No solament açò, sinó que la seua intenció era produir un aparell que siga accessible a qualsevol persona del món, alliberant tots els plànols i la documentació necessària per a açò. D'esta forma, tothom seria lliure d'utilitzar eixa tecnologia, estudiar-la, replicar-la i millorar-la segons les seues necessitats, per la qual cosa no solament es difondria sinó que evolucionaria contínuament. ^{[7] [9]}

Eixa mentalitat *Open Source* és la que va permetre la revolució en la impressió 3D tal com la coneixem avui dia. El 2 d'octubre de 2009 es va fer pública la segona generació d'impressores *RepRap*, l'anomenada **Mendel**, que millorava a la Darwin tant en costos, prestacions, facilitat de muntatge, manteniment i quantitat de peces. A partir d'aquell moment, van començar a aparèixer desenes de prototips creats per usuaris aliens al projecte inicial, per la qual cosa la revolució ja era imparable. A Espanya, naix en 2011 el Projecte *Clone Wars*, un grup dins de la comunitat *RepRap* dedicat a documentar en espanyol tota la informació necessària perquè qualsevol puga construir-se la seua pròpia impressora 3D. Destaca sobretot la figura de Juan González Gómez, més conegut com "Obijuan", considerat fundador de *Clone Wars* i principal difusor de la tecnologia d'impressió 3D i el *Open Source* a Espanya. ^{[7] [10]}

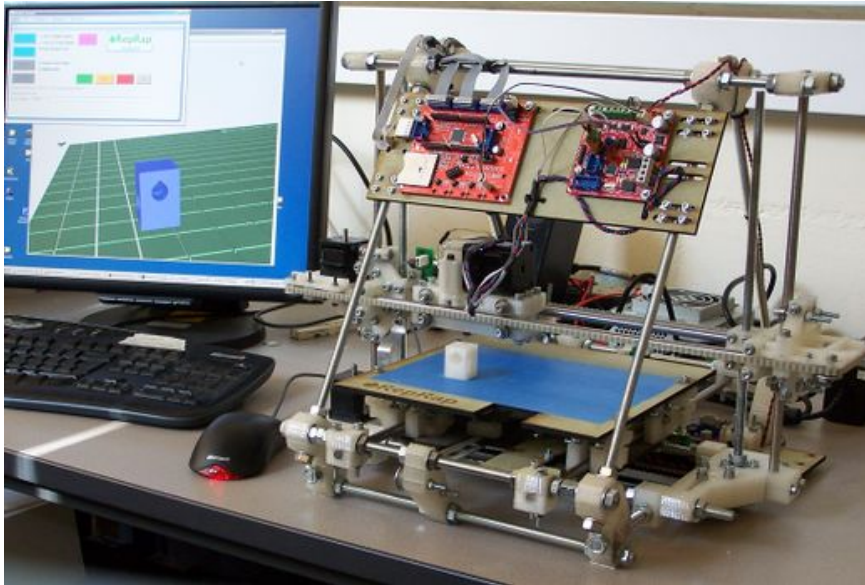


Figura 6. Impressora *RepRap Mendel*. Font: <http://reprap.org/wiki/Mendel/es>

En 2010, un dels membres principals del Projecte *RepRap*, un jove txec anomenat **Josef Prusa**, qui anteriorment havia desenvolupat el llit calent en PCB, va fer pública un versió millorada de la impressora Mendel, a la qual la comunitat va acabar cridant *Prusa Mendel*. Esta es diferenciava del model anterior en què simplificava significativament el temps emprat en la creació de les parts 3D que la componien. Un any després va publicar una nova versió d'aquesta, la *Prusa Mendel (iteration 2)*, que reduïa el nombre d'eines necessàries per a la seua construcció i presentava noves millores. ^[8]



Figura 7. Josef Prusa en un dels tallers de producció de Prusa Research. Font: <https://3dprintingindustry.com/news/interview-josef-prusa-ceo-founder-prusa-research-81650/>

En 2012, va presentar els dissenys d'una nova impressora. L'anomenada **Prusa i3** va suposar un important redisseny de les versions anteriors, abandonant la forma triangular de la *Mendel* i substituint-la per un marc rectangular d'alumini. Es va centrar més en la facilitat de construcció en comptes d'intentar maximitzar la quantitat de parts replicables. Esta nova versió es convertiria en el principal model de referència a seguir

per a la gran majoria d'aficionats que volgueren construir-se una impressora 3D, apareixent gran quantitat de variants amb diferents materials, formes i especificacions. També es convertiria en la base d'alguns models comercials que existeixen en l'actualitat. En 2015, el propi Josef va començar a comercialitzar l'anomenada *Original Prusa i3*, a través de la seua empresa Prusa Research. A aquest model li seguirien noves versions que segueixen a la venda avui dia.^[8]

2.3. La impressió 3D en l'actualitat

En l'actualitat, la comunitat *RepRap* ha perdut la influència i la importància que va tenir els anys anteriors. Encara que el domini web *reprap.org* segueix actiu i continua sent una font de referència fiable i un lloc perfecte d'aprenentatge, amb gran quantitat de documentació de tot tipus en molts idiomes, rep poques actualitzacions i a poc a poc comença a quedar-se obsolet. Malgrat açò, la comunitat de creadors no s'ha dissolt, ni molt menys, sinó que es troba en el seu millor moment, amb milions de d'usuaris repartits per tota la xarxa: amb milers de blocs d'aficionats, fòrums, xarxes socials, canals de YouTube i en comunitats com *Thingiverse*, una pàgina web en la qual cada persona pot publicar els seus dissenys 3D perquè altres persones puguen usar-los lliurement.

Actualment existeix una enorme varietat d'impressores construïdes per aficionats, tant basats en models de *RepRap* com de dissenys propis. Les estructures, materials, tamany, preus, prestacions i estètica depenen molt de la imaginació del dissenyador, de la seua habilitat, dels resultats que vulga aconseguir i del seu pressupost.

A més, amb el temps, han anat apareixent cada vegada més i més empreses que s'han sumat a la revolució. Tant empreses que han sorgit de la pròpia comunitat com de l'exterior han vist el potencial econòmic d'una tecnologia com aquesta i han volgut aprofitar-lo, ja siga fabricant impressores, peces, components, bobines de filament, accessoris, etc. Tot açò ha permès que en l'actualitat s'hagen reduït els preus dràsticament, de manera que és possible adquirir una impressora 3D funcional per menys de 200 euros. Tot i que, en la majoria de casos, la qualitat d'impressió no és comparable a les d'impressores industrials, molt més complexes i cares, les impressores d'escriptori actuals presenten unes prestacions excepcionals per a un ús domèstic, acadèmic i fins i tot professional. A més, milloren constantment en facilitat de maneig, manteniment i fiabilitat, característiques essencials si es pretén democratitzar la impressió 3D i que les impressores es convertisquen en un autèntic fenomen de masses, no una eina destinada només para entesos en electrònica. Encara queda uns quants anys per a açò, però anem per bon camí.

2.4. Impressores comercials

A continuació, farem un repàs a alguns dels models d'impressores comercials més venuts durant l'any 2017, segons un informe publicat per *3D Hubs*.^[11] El mercat de les impressores 3D gaudeix de moments de gran expansió, i cada dia sorgeixen noves empreses i productes que donen vida a este sector, sempre en constant evolució. Alguns d'estos models comercials venen directament d'integrants del projecte *RepRap* que van saltar al mercat en busca de convertir el que era una afició en un negoci. L'exemple més clar és el de Josef Prusa. Actualment, està a la venda l'última actualització de la seua impressora, la **Prusa i3 MK2S**.



Figura 8. Impressora *Original Prusa i3 MK2S*. Font: <http://www.prusaprinters.org/original-prusa-i3-mk2s-release/>

Esta impressora està considerada per molts com la millor impressora comercial del món actualment. A la venda des de 699 dòlars, compta amb les següents característiques: ^[12]

- Espai d'impressió de 25x21x20 cm, amb la millor proporció entre espai d'impressió i tamany total del mercat.
- Una impressió un 40% més ràpida que la versió anterior.
- Llit calent sense manteniment, amb un nou material polimèric al que s'adhereixen la gran majoria de materials, sense necessitat de vidres, clips ni problemes amb el broquet de l'extrusor i de fàcil neteja, amb una zona de d'escalfament molt més uniforme.
- Autocalibració automàtica dels tres eixos amb un sensor de proximitat inductiu.
- Construcció millorada i més robusta.
- Possibilitat d'acoblar diversos extrusors per a una impressió multi material.
- Suport en Windows 10
- Possibilitat d'actualitzar des de versions anteriors.

Una altra marca coneguda per la seua qualitat es Zortrax, que fabrica unes impressores d'aparença professional que destaquen per la seua gran fiabilitat i qualitat. Un dels models més valorats pels usuaris es la **Zortrax M200**. Amb una precisió i resolució excel·lents, un disseny professional i la possibilitat d'usar software i materials dissenyats exclusivament per a ella, no resulta estrany que el seu preu de venda estiga en 1799 €. ^[13]



Figura 9. Impressora Zortrax M200. Font: <https://store.zortrax.com/M200>

Una impressora semblant a esta última que també s'ha fet un lloc en la impressió 3D d'escriptori més professional ha sigut la **Ultimaker 2+**. Amb un preu d'aproximadament 1930 € presenta un volum d'impressió de 223x223x205 mm, broquetes intercanviables, una gran resolució i doble extrusor. ^[14]



Figura 10. Impressora Ultimaker 2+. Font: <http://ultimaker.tr3sdland.com/producto/ultimaker-2/>

L'última d'estes impressores d'escriptori de gama alta és la **Makerbot Replicator+**, una impressora de 2499 €, amb una resolució i qualitat sorprenents, ràpida i silenciosa, amb pantalla gràfica LCD i connectivitat wifi i bluetooth, control per càmera i un software dedicat molt eficient. ^[15]



Figura 11. Impressora *Makerbot Replicator+*. Font: <https://ultimaker.tr3sdland.com/producto/ultimaker-2/>

Tornant al terreny de les impressores d'ús domèstic, trobem opcions més assequibles en el mercat. Un exemple és el model **Prusa i3 Hephestos** de l'empresa espanyola BQ. Es tracta d'una versió alternativa de la primera *Prusa i3* original. Per un preu d'entre 400 i 499 € obtenim una impressora amb les funcionalitats bàsiques que qualsevol usuari mitjà pot necessitar, amb un bon volum d'impressió de 215x210x180 mm assegurant-se uns mínims de qualitat i fiabilitat, i mantenint les possibilitats de personalització. A més, compta amb molt bones crítiques per part de la comunitat per la seua relació qualitat preu, cosa que li aporta un ampli suport en quant a recursos i documentació. Tot açò la converteix en una opció perfecta per a principiants i per a àmbits educatius. ^[16]



Figura 12. Impressora *Prusa i3 Hephestos*. Font: <https://www.pccomponentes.com/bq-prusa-i3-hephestos-impresora-3d-roja>

Una de les impressores que més creixement ha experimentat en els últims temps fins convertir-se en una de les opcions preferides pels aficionats i principiants és sens dubte la **Anet A8**. Esta impressora xina s'ha obert camí en entre la comunitat per ser la impressora més barata de la seua categoria, de tal forma que es pot aconseguir en el mercat per preus entre 130 i 250 euros, depenent dels materials utilitzats. Per una mínima inversió, una persona pot tenir una impressora 3D operativa amb una qualitat d'impressió acceptable. Per contrapartida, ens trobe amb un model que constructivament té una qualitat molt limitada. Tal és així, que per tal d'aconseguir unes impressions fiables i d'una qualitat comparable a la d'una *Prusa i3 Hephestos*, per exemple, en molts casos és necessària una inversió addicional en components de major qualitat, com l'extrusor. Tot i així és una opció perfecta per a aficionats que vulguen iniciar-se en la impressió 3D amb un pressupost limitat, ja que és un model ideal per a aprendre a muntar, detectar errors, reparar i , en general, tots els aspectes de la tecnologia, cosa que suposa als usuaris una forma d'aprenentatge excel·lent.

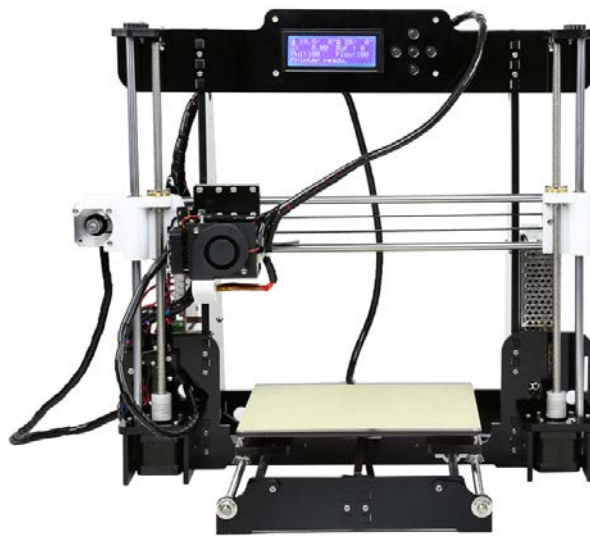


Figura 13. Impressora Anet A8. Font: <http://fpvmax.com/2017/03/30/mejor-impresora-3d-barata-anet-a8/>

2.5. Materials per a filament

Ja hem parlat de forma extensa de les impressores, però un element quasi tan important com les màquines és el material amb què es va a imprimir. Habitualment, este material es presenta en forma de bobines de filament, de major o menor grossor, però existeix una gran varietat de materials aptes per a impressió que aporten diferents característiques que poden ser útils. A continuació presentem alguns del més coneguts: ^[17]

- **PLA** (Poliàcid làctic): és un material vegetal, biodegradable i reciclable provinent de l'arrel de la tapioca, la canya de sucre i el midó de panís, amb una temperatura de fusió d'entre 190 °C i 200 °C. Es tracta d'un dels materials més utilitzats, degut a la seua gran facilitat i velocitat d'impressió i a la seua estabilitat. Presenta una gran disponibilitat, però té menys resistència tèrmica i mecànica i, per tant, resulta més fràgil que altres materials. No obstant, és un material ideal per a prototips i elements decoratius, i es presenta en una gran varietat de colors.

- **ABS** (Acrilonitril-butadié-estiré): es tracta d'un material derivat del petroli amb una temperatura de fusió d'entre 230 °C i 245 °C, molt utilitzat en la indústria. És molt estable en temperatures extremes, resistent a químics i impactes, amb una alta capacitat de mecanitzat. No obstant, és més difícil d'imprimir, amb la possibilitat de que es formen esquerdes o que es produïska l'efecte *warping*, cosa que fa necessari un llit calent a alta temperatura. A més, la seua fusió produeix gasos tòxics, per la qual cosa es recomana imprimir-lo en lloc amb bona ventilació.
- **PET** (Tereftalat de polietilè): és un material utilitzat per a ús alimentari, com envasos i ampolles. Pot donar lloc a peces transparents i d'alta resistència, amb temperatures de fusió semblants a les del PLA. A més, és impermeable i resistent a químics i corrosió, i presenta una considerable flexibilitat. No obstant, no es biodegradable i es torna fluix a partir dels 70 °C.
- **HIPS** (poliestirè d'alt impacte): es tracta d'un polímer similar a l'ABS, amb una gran resistència mecànica i contra impactes, amb una bona estabilitat i facilitat d'impressió, que no desprèn gaso tòxics. No obstant, no és indicat per a peces destinades a estar a la intempèrie, ja que és sensible a la llum ultraviolada.
- **Nylon**: utilitzat en peces de roba. Tendeix a encongir-se i no s'adhereix bé a l'alumini i al vidre, per la qual cosa és més difícil d'imprimir.
- **Filaflex** (elastòmer termoplàstic o TPE): és un material elàstic desenvolupat en Espanya, consistent en una combinació de plàstic i cautxú, que amorteix els impactes i resisteix estiraments i deformacions, sent a més molt agradable al tacte. En canvi, és més difícil d'imprimir i s'ha d'extrudir a velocitats baixes.
- **Fibra de carboni**: és molt utilitzat en totes les rames de la indústria degut a la seua alta resistència mecànica, i gran lleugeresa i estabilitat. Requereix de temperatures d'impressió elevades i resulta abrasiu per a les broquetes tradicionals de llautó.
- **Laywoo-D3**: compost de polímer i serradures. Té una textura similar a la fusta, no presenta *warping* ni requereix temperatures elevades.
- **CopperFill**: és una mescla de PLA i pols de coure.



Figura 14. Bobines de filament de diferents materials. Font:
<https://impresoras3d.com/blogs/noticias/108879559-la-guia-definitiva-sobre-los-distintos-filamentos-para-impresoras-3d>

3. Disseny de la impressora

A continuació, es procedirà a descriure el procés de disseny seguit per a la impressora. Es considerarà cadascuna de les parts de la mateixa per separat, comparant per a cadascun dels principals components quines són les diferents alternatives i quins criteris s'aplicaran per a l'elecció final.

3.1. Tipologies d'impressora. Estructura bàsica

Al llarg dels anys, han aparegut molts tipus de màquines, amb diferents configuracions, formes i estructures molt distintes entre sí. Algunes de les més importants a tenir en compte són les següents:

Una de les formes més reconegudes és la de la *Prusa i3*, amb un marc vertical, sobre el que reposen els eixos X i Z, mentre la base d'impressió es troba sempre a la mateixa altura, movent-se en l'eix Y. És una de les formes més simples de construir l'estructura, en la qual podem distingir dos variants. Una és l'anomenada **single frame** (marc únic), on el marc el compona una sola peça rectangular d'alumini o metacrilat. És el mètode que li dona una aparença més robusta, neta, estètica i professional.

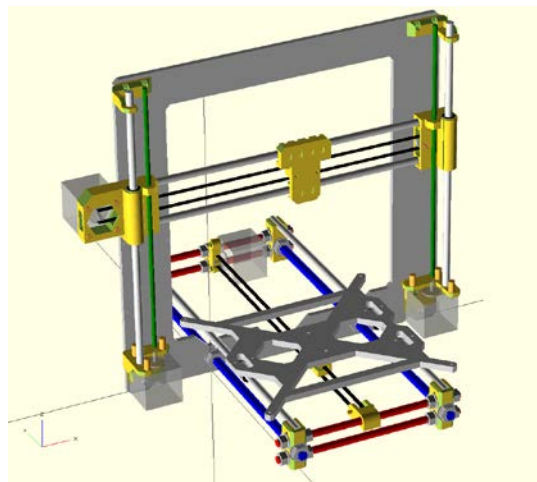


Figura 15. Esquema d'una impressora amb *single frame*. Font:

<http://arduinocolombia.blogspot.com.es/2013/11/impresora-3d-reprap-en-colombia.html>

No obstant, té el desavantatge de què estos marcs, si són metàl·lics, solen resultar més cars i al estar només subjectats en la part inferior, poden aparèixer vibracions i moviments no desitjats. Molts dissenyadors han solucionat això amb l'anomenat **box frame** (marc de caixa). Es tracta d'un marc format per distintes peces de materials més lleugers i assequibles, com fusta, aglomerat, o metacrilat, formant una estructura més rígida, lleugera i barata, però molt més voluminosa, i que a la llarga sofreix més desgast.

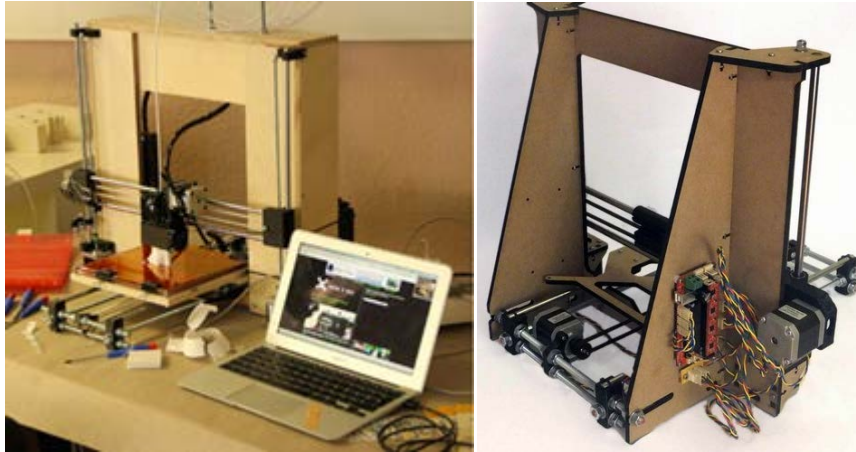


Figura 16. Exemples d'impressores amb *box frame*. Fonts:
http://reprap.org/wiki/Prusa_i3_Build_Manual, <https://www.thingiverse.com/thing:39889>

Es poden trobar també impressores amb la clàssica **estructura triangular** de l'antiga *Mendel*, que resulten molt robustes i estables, però que en general són més voluminoses, pesades i requereixen de més peces i components. Un bon d'exemple d'esta estructura el podem trobar de part de l'empresa espanyola *RepRapBCN*.

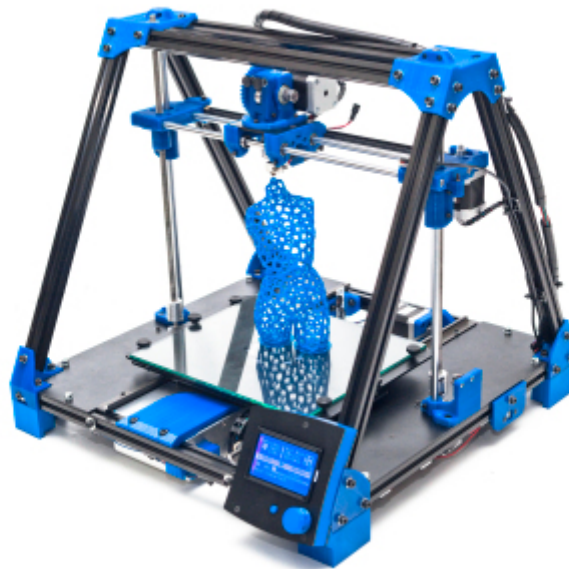


Figura 17. Model *BCN3D+* de l'empresa espanyola *RepRapBCN*. Font:
<https://reprapbcn.wordpress.com/category/bcn-3d/>

Una altra estructura habitual, són les de **forma cúbica**, semblants a la *Darwin*, amb la base fixa o movent-se al llarg de l'eix Z. Estes tenen l'avantatge de què són molt més robustes i agradables estèticament, ja que poden col·locar-se tots els components dins d'una mateixa "caixa", sense elements que sobresurtin. A més, podrien cobrir-se les cares amb làmines de metacrilat o fusta per ocultar la maquinària i augmentar l'efecte estètic. Tot i això, tenen el mateix problema que les triangulars, són més voluminoses, pesades i més costoses de construir, cosa que augmenta el preu final.

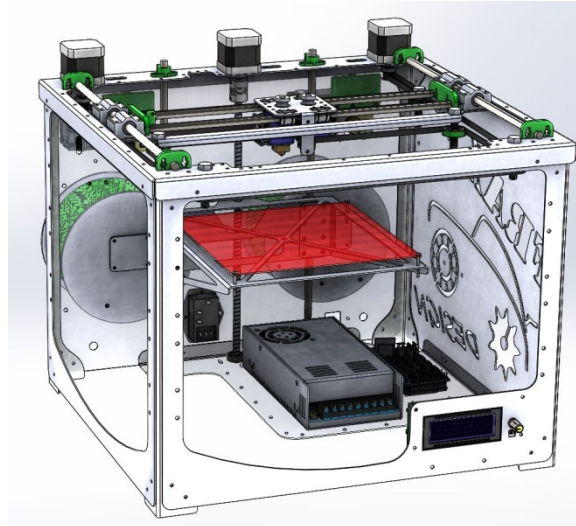


Figura 18. Esquema d'una impressora amb estructura cúbica. Font: <http://frax3d.com/uso-domestico-impresoras-3d>

Finalment, trobem un tipus nou d'impressores. Fins ara, totes les que hem nomenat es basen en un **robot cartesià**, en el qual un extrusor es mou al llarg d'uns eixos X, Y i Z, i en tot moment es pot localitzar mitjançant coordenades cartesianes. En canvi, existeixen un altre tipus anomenats **robots delta** o paral·lels, compostes per dos bases, una superior fixa i una inferior mòbil, unides per tres cadenes cinemàtiques tancades. En una impressora 3D, l'extrusor està unit a tres barres unides a tres motors diferents, que pugen i baixen per uns eixos verticals amb l'ajuda d'unes corretges.



Figura 19. Impressora delta model Geeetech Rostock G2 Mini. Font: <http://www.dx.com/es/p/geeetech-rostock-mini-g2-delta-3d-printer-blue-389287>

El gran avantatge d'este tipus d'impressores és la seua alta velocitat. Els robots delta són molt usats en la indústria per a empaquetatge o en faenes de pick & place. Per altra banda, requereixen estructures més altes i tenen un funcionament més complex.

Vistes totes les alternatives, l'estructura que més s'adequa als requeriments del projecte és el model Prusa i3 amb single frame. Els motiu de l'elecció és per la simplicitat constructiva, ja que s'aconsegueixen uns resultats excel·lents amb molt poques peces, i s'aconsegueix un resultat estètic agradable estalviant costos. El problema de rigidesa que comentàvem anteriorment es pot solucionar, o minimitzar, de dos formes: col·locant un marc d'un material rígid i durador i utilitzant un component de la impressora, com la font d'alimentació, per a què actue com a esquadra i mantinga el marc el més vertical possible.

Com a marc, escollirem un que siga d'**alumini** i que es base en els plànols de la *Prusa i3 MK2* o la *Hephestos*, ja que estos tenen ja els forats dels caragols mecanitzats i preparats amb unes mesures estàndard a les que estan adaptades la gran majoria de peces que es troben tant en les documentacions com en les dissenyades per la comunitat. La idea inicial era adquirir un marc de la *MK2*, però degut a qüestions de disponibilitat i terminis, es va acabar escollint el de la *Hephestos*, que encara que tenia alguns forats menys, també resultava més econòmic.



Figura 20. Marc i base d'alumini per a la BQ Prusa i3. Font:
<https://www.pccomponentes.com/bq-marco-y-base-para-prusa-i3>

3.2. Elements mecànics

Una volta hem escollit el marc, que és el xassís de la impressora, hi ha altres elements mecànics que hem de decidir. Donat que hem escollit basar-nos en la *i3 MK2* i la *i3 Hephestos*, usarem els mateixos components per a construir la estructura principal. No obstant això, estos dos models tenen una diferència significativa. En la *i3 Hephestos*, l'eix Z està compost per dos barres roscades de mètrica M5 que giren solidàries amb els motors per elevar i descendre el conjunt de l'extrusor, i dos barres llises de mètrica M8 que serveixen de guia. En la *MK2*, en canvi, les barres roscades es substitueixen per dos **cargols trapezoïdals de mètrica M8 i 2 mm de pas**. Este caragol comporta avantatges importants: al ser una barra més ampla, aporta molta més estabilitat i es manté més vertical; a més, el fet de ser trapezoïdal permet un moviment molt més suau i precís.



Figura 21. Cargols trapezoïdals usats en impressores. Font: <http://blog.bitbot3d.com/husillos-prusa-i3-hephestos-p3steel/>

Per a la resta d'**estructura**, els dos models d'impressora empenen pràcticament els mateixos materials, que al mateix temps són components utilitzats habitualment per la comunitat. Estos seran els que escollirem:

- 2 barres llises M8 de 320 mm (eix Z).
- 2 barres llises M8 de 330 mm (eix Y).
- 2 barres llises M8 de 370 mm (eix X).
- 2 barres roscades trapezoïdals M8 de 300 mm i rosques (eix Z).
- 4 barres roscades M8 de 200 mm (estructura de l'eix Y).
- 2 barres roscades M10 de 350 mm (estructura de l'eix Y).
- 10 rodaments lineals de diàmetre 8 mm, per a un desplaçament suau en els eixos X, Y i Z.
- 2 rodaments de diàmetres 4 mm i 13 mm, i 5 mm de grossor, per a les politges impreses en 3D de les corretges dels eixos X i Y.
- 2 politges de 16 dents, 6 mm d'ample i 2 mm de pas per als motors dels eixos X i Y.
- Corretja de 2 m, 6 mm d'ample i 2 mm de pas, per als eixos X i Y.
- 2 acobladors flexibles de 5 i 8 mm de diàmetre per a l'eix Z.
- 50 brides de 2'5 x 100 mm (aproximadament)

Finalment, per als **caragols**, no són obligatoris uns cargols, rosques i volanderes concrets, ja que en molts casos hi ha marge per escollir uns cargols més llargs o curts, de diferents caps, unes volanderes més amples, etc. No obstant això, tant els forats del marc d'alumini com moltes peces impreses en 3D "estàndard" estan preparades per a uns caragols i, en alguns casos, usar components diferents significaria haver de redissenyar algunes peces. Donat que els fabricants d'impressores no solen publicar una llista completa i clara de tots els caragols, ens referirem a un blog d'Internet en el qual un usuari ha recopilat tots els components necessaris per construir una *Prusa i3 MK2* casera. ^[20] Tot i això, com ja hem dit, es tracta d'una guia i els components finals i les quantitats no han de ser específicament les que ací es llisten:

- 22 volanderes M3 (DIN125)
- 22 volanderes M8 (DIN125)
- 8 volanderes M10 (DIN125)
- 30 volanderes fender M3 (DIN9021)
- 4 volanderes fender M10 (DIN9021)
- 30 rosques M3 (DIN934)
- 22 rosques M8 (DIN934)

- 2 rosques M5 (DIN934)
- 14 rosques M10 (DIN934)
- 4 rosques autoblocants M3 (DIN985)
- 6 rosques quadrades fines M3 (DIN562)
- 16 caragols M3 de cap cilíndric Allen de 10 mm (DIN912)
- 18 caragols M3 de cap cilíndric Allen de 18 mm (DIN912)
- 7 caragols M3 de cap cilíndric Allen de 20 mm (DIN912)
- 21 caragols M3 de cap cilíndric Allen de 30 mm (DIN912)
- 3 caragols M3 de cap cilíndric Allen de 40 mm (DIN912)



Figura 22. Exemple de kit comercial de caragols i barres per a *Prusa i3 Hephestos*. Font: <http://www.tienda.meya.es/mecanica/41-kit-de-varillas-y-tornilleria-para-prusa-i3-para-hephestos-8436545513552.html>

3.3. Electrònica. El controlador

El controlador és la peça clau que, junt a l'extrusor, determina en gran mesura les prestacions finals d'una impressora i la qualitat dels resultats. Esta és l'encarregada de rebre les instruccions del dissenyador, processar-les i executar les accions necessàries per a conformar la peça 3D; és a dir, és el cervell de la màquina. L'elecció una electrònica adequada no és trivial, ja que és decisiva en molts aspectes. Determinarà quants motors i extrusors podem connectar, quins *drivers* haurem d'usar, el corrent que arribarà a tot el circuit, si podem connectar un llit calent, ventilador o ventiladors, termistors, finals de cursa, pantalla, lector de targetes SD, connexió wifi, ethernet, bluetooth, USB, el voltatge necessari per a alimentar el sistema, etc. Tot això són elements a tenir en compte, juntament amb el preu, el tamany i l'espai que han d'ocupar en la màquina.

En la wiki oficial de *RepRap* es detallen una gran quantitat d'opcions a escollir per a l'electrònica. Òbviament, no apareixen ni totes ni necessàriament les millors opcions disponibles, però sí la gran majoria de les principals i preferides per la comunitat. El mateix article mostra una taula comparativa de les principals plaques, ordenades en funció de la popularitat. ^[18] El següent anàlisi es centrarà en els models més populars d'esta llista i després destacarà algunes altres opcions interessants que no hi apareixen.

- RAMPS (+Arduino Mega):** acrònim de *RepRap Arduino Mega Pololu Shield*. És una placa dissenyada per a incloure tot el que una impressora *RepRap* pot necessitar en un tamany reduït i a un preu baix. El processador pròpiament dit de la RAMPS està situat en la placa Arduino Mega a què ha d'anar connectada. La particularitat d'esta placa és que el seu disseny modular permet moltes formes d'expansió i de substitució de components, sobretot dels *drivers* dels motors, que són fàcilment intercanviables. L'Arduino Mega compta amb un processador ATmega2560 de 8 bits i 16 MHz, simple però suficient per a les operacions corrents d'una impressora. La placa RAMPS ofereix el suport per a connectar tota l'electrònica a la MEGA i realitzar totes les operacions a altes corrents que esta no suporta. Permet connectar 4 motors (2 per a l'eix Z), 3 ventiladors o escalfadors, 6 finals de cursa, 3 sensors de temperatura i fins dos extrusors. Tot i no comptar amb connexió Ethernet o Wifi, suporta targetes SD, pantalla LCD i connexió USB. I un dels seus aspectes que més atrau a la comunitat és sens dubte el seu baix preu. Degut a que es un disseny completament obert (tant la RAMPS com Arduino són *Open Source*), permet que apareguen en el mercat moltíssimes versions genèriques a un preu molt baix: al voltant de 9 € per l'Arduino i 6 € per la RAMPS.

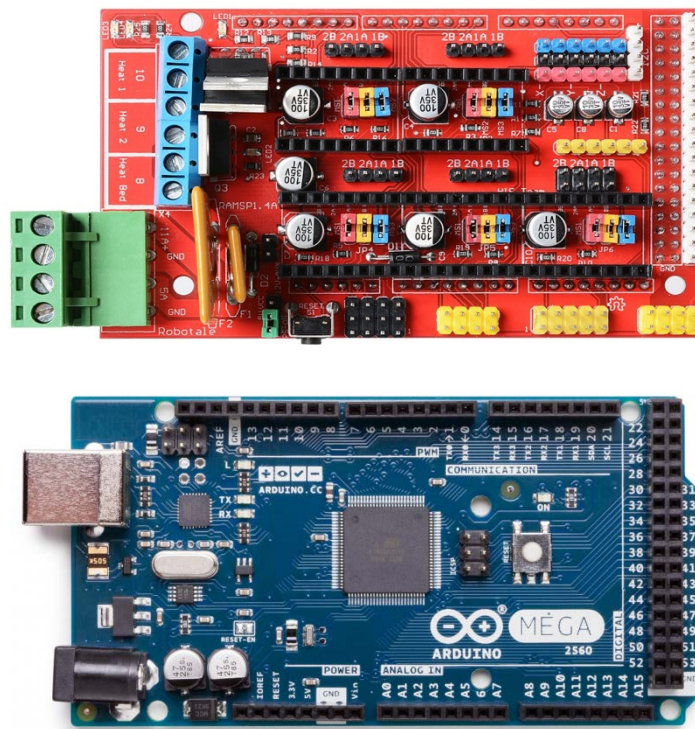


Figura 23. Plaques RAMPS 1.4 i Arduino MEGA. Fonts: <http://domoticx.com/prusa-i3-geeetech-firmware-ramps-1-4-gt2560/>, <https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3>

- SmoothieBoard:** Es tracta d'una placa integrada que inclou tota la electrònica en una sola placa. Amb un microcontrolador ARM Cortex-M3 de 32 bits i 120 MHz, *drivers* dels motors integrats i capacitat per a doble extrusió, inclou suport per a microSD, connexió USB i Ethernet. A més, té capacitats d'expansió i incorpora un sistema de configuració per arxius, que evita les càrregues de firmware via USB. D'altra banda, les seues magnífiques prestacions van acord al seu preu, a partir de 75 € per als models genèrics.

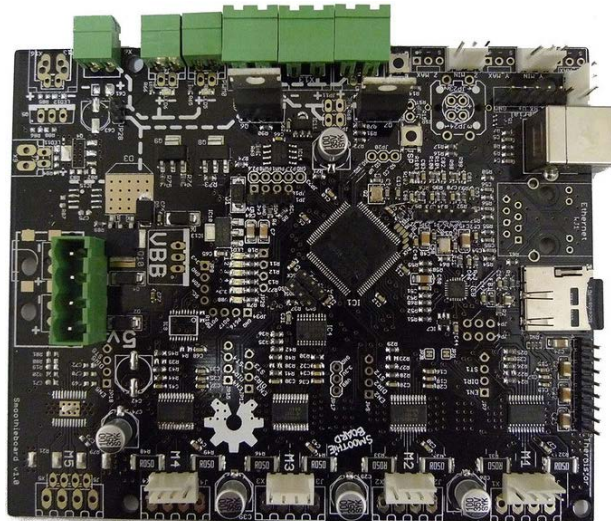


Figura 24. Placa Smoothieboard v1.1. Font: <https://www.smw3d.com/smoothieboard-v1-1/>

- **Generation 7 Electronics:** Esta placa té una particularitat que la fa molt interessant: està dissenyada de tal forma que puga ser fabricada de forma totalment casera. Tot el procés de serigrafia, perforació i soldadura de la PCB es pot fer en casa i de tal forma que la majoria de components puguen ser substituïts fàcilment, tot això en una única placa d'una cara i amb components THT (*through-hole technology*). En *RepRap* s'ofereix tota la documentació i la llista dels components necessaris. Algunes de les característiques d'esta placa DIY (*Do It Yourself*) són: controlador ARM LPC1114 de 32 bits i 48 MHz, capacitat per a un extrusor, 3 finals de cursa, dos sensors de temperatura i connexió USB, amb capacitat d'ampliació gràcies a diverses plaques d'expansió. A pesar de la seua simplicitat i el fet que siga independent de models comercials, té algunes restriccions importants que han de ser solucionades amb plaques d'expansió. A més, el sistema requereix d'un procés laboriós de fabricació que està subjecte a errors. Estos desavantatges no estan compensats pel preu, ja que requereix que es compren tots els components per separat, o en kits no tan econòmics que poden rondar entre 40 o 50 euros (molt aproximadament). Tot això fa que siguen una bona opció com a aprenentatge i com a curiositat, però resulta menys assequible i eficient que altres opcions.

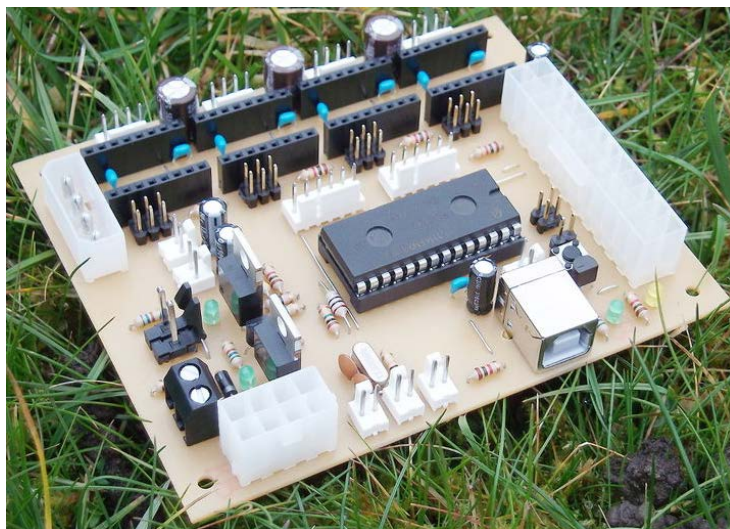


Figura 25. Placa Gen7 Board-ARM 2.0. Font: http://reprap.org/wiki/Generation_7_Electronics

- **RAMBo:** acrònim de *RepRap Arduino-compatible Mother Board*, és una altra placa tot en un, de gran qualitat, amb un processador ATmega2560 de 8 bits i 16MHz, amb la particularitat de què és reconeguda per Windows 10 gràcies a un driver instal·lable. La versió RAMBo Mini és la utilitzada en la *Prusa i3 MK2*. Es pot adquirir a partir dels 120 €.

- **DuetWifi:** esta és una placa basada en un potent microcontrolador ARM Atmel SAM4E8E de 32 bits i 120 MHz, amb *drivers* per als motors integrats, amb comunicació wifi i ranura per a targetes SD d'alta velocitat. En general és una placa de molt altes prestacions i amb capacitat d'ampliació. Es pot adquirir per uns 120 € aproximadament.

- **Megatronics:** ens trobem de nou amb una placa integrada, però en este cas té una característica que la diferencia de les altres. Es tracta d'un nou disseny que agrupa les plaques RAMPS i Arduino MEGA en una sola per a una major eficiència i fiabilitat, mantenint els *drivers* dels motors com a mòduls independents i totes les prestacions de les seues predecessores. Es tracta d'una solució compacta i més assequible que la resta de plaques integrades, disponible per uns 40 €.

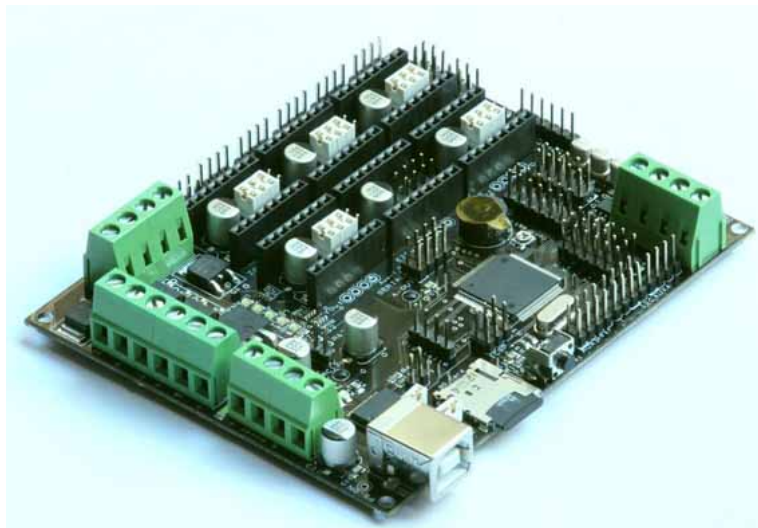


Figura 26. Placa Megatronics 2.0. Font: http://reprap.org/wiki/Megatronics_2.0

- **OVM20 Lite:** esta es tracta d'una placa de recent creació desenvolupada per l'empresa gallega *Staticboards*. A l'igual que la *Megatronics*, es basa en les plaques RAMPS i Arduino, però amb un redisseny complet que integra tots els elements necessaris, inclosos els *drivers* dels motors, en una placa molt compacta fabricada amb components de qualitat. És completament compatible amb Arduino, amb connexió microUSB, amb suport per a un extrusor, pantalla LCD i targetes SD. Es tracta d'una solució elegant, amb quasi les mateixes prestacions que una RAMPS+Arduino, però amb components de qualitat i més fiable i compacta que la *Megatronics*, i a un preu igual d'assequible: 42 €. ^[19]

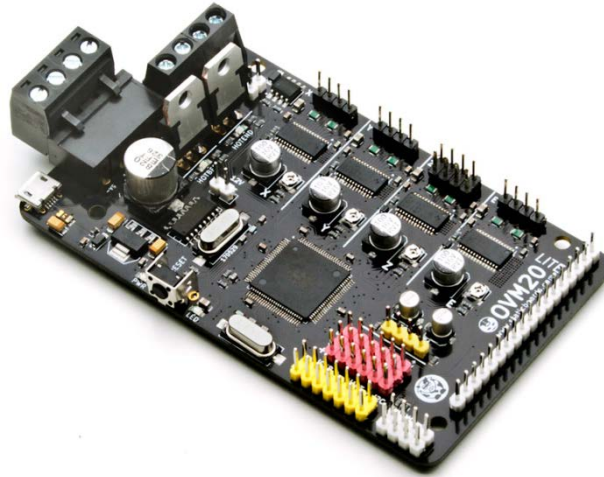


Figura 27. Placa OVM20 Lite. Font: http://reprap.org/wiki/Megatronics_2.0

Després d'haver comparat algunes de les principals opcions, s'ha decidit escollir el conjunt **RAMPS + Arduino Mega**. Els motius d'esta elecció són el seu baix preu, ja que tot el conjunt de les dos plaques i *drivers* dels motors es pot aconseguir per 25 euros, amb una qualitat acceptable, suport per a doble extrusió si fóra necessària i l'avantatge de la substitució senzilla d'elements gràcies a la seua naturalesa modular. A més, compta amb l'aval de tota la comunitat, és completament personalitzable i encaixa perfectament amb el marc de la *Prusa i3* que hem adquirit. Altres característiques com les connexions Wifi, Bluetooth o Ethernet no són imprescindibles, ja que el que es pretén és realitzar les impressions de forma local (amb targeta SD a través d'una pantalla) o amb control remot per wifi, i estes plaques estan pensades per a treballar amb elles a través d'un ordinador en una xarxa wifi local i són poc flexibles. Este treball vol plantejar una opció més versàtil i completa, i este controlador resulta idea per a este propòsit.

3.4. Motors pas a pas

Els motors més emprats en la construcció d'impressores 3D són els motors pas a pas. Este tipus de motors es mouen un determinat angle (pas) per cada pols elèctric proporcionat pel seu *driver*. Esta característica els fan especialment útils per mecanismes que hagen de mantenir posicions concretes, restant prioritat a paràmetres com velocitat o força. Les dimensions dels motors estan basades habitualment en l'estàndard americà NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*). Els tamanyos habituals en les impressores són NEMA 11, 14, 17 i 23. Cada valor indica el tamany de la cara frontal: el motor NEMA 17, per exemple, té una cara frontal quadrada de 1'7 in (4'318 cm) de costat. A més, dins d'este valor es poden trobar motors de diferents altures i par. Tot i que el tamany no és un indicatiu directe de la seua força, solen ser paràmetres proporcionals. En la wiki de *RepRap*, es pot trobar la següent recomanació:

"Si uses els NEMA 14, més menuts, busca l'opció que tinga més par. Els NEMA 14 són més ordenats, lleugers i menuts, però poden ser difícils de trobar amb l'apropiat par. Els NEMA 17 són més fàcils de trobar amb les especificacions que la Mendel necessita, però són més voluminosos i menys ordenats. Els NEMA 14 funcionen al límit de la seua capacitat i, per tant, s'escalfaran més. Els NEMA 17 funcionen dins de la seua zona de treball, i treballaran molt més freds." ^[21]

Fent cas a esta recomanació escollirem els **motors NEMA 17** per a la nostra impressora. Però, com ja hem dit, dins dels NEMA 17, trobem una gran varietat de models amb diferents especificacions. La wiki de *RepRap* recomana un model amb les següents característiques, aproximadament: corrent nominal entre 1'5 i 1'8 A per fase, entre 1 i 4 V de tensió lògica, entre 3 i 8 mH d'inductància de fase, 44 N·cm (4'5 kg·cm) de par motor i 1'8 o 0'9 graus per pas (200 o 400 passos per revolució).^[22]

Tenint en compte estes recomanacions, hem escollit un motor amb una alta disponibilitat i que encaixa aproximadament amb els paràmetres recomanats. El model escollit és el **17HS4401**, un motor pas a pas bipolar de 1'7 A de corrent nominal, 3'4 V de tensió lògica, 2'8 mH d'inductància, 42 N·cm de par motor i 1'8 graus per pas (com veurem a continuació, no és necessària més resolució). Seran necessaris 4 motors (1 per cada eix, i 2 per al Z) i un més per a l'extrusor.



Figura 28. Motor pas a pas 17HS4401. Font: <https://es.aliexpress.com/w/wholesale-17hs4401-nema-17.html>

3.5. Drivers dels motors pas a pas

El controlador d'un motor pas a pas (en anglès, *driver*) és un component encarregat de facilitar la connexió i el control d'un motor pas a pas. En una impressora 3D serveix per entregar la potència adequada al motor, ja que necessita unes corrents per a funcionar que la placa base (en este cas, l'Arduino), no és capaç de proporcionar. A més, proporcionen una funcionalitat interessant, anomenada micropassos (*microstepping*), de tal forma que s'aconseguix que els motors es col·loquen en posicions intermèdies, avançant fraccions d'un pas (1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32...). Açò augmenta la resolució i ajuda a suavitzar el moviment dels motors, evitant vibracions i ressonàncies a certes velocitats.^[24]

Actualment, la indústria ha creat un estàndard per als *drivers* que consisteix en un sòcol de dos tires de 8 pins. Este tipus de connexió és la que presenten plaques com la RAMPS. Basant-se en esta característica, entre la comunitat s'han popularitzat *drivers* basats en dos circuits integrats diferents.^[23]

Tradicionalment, el més utilitzat ha sigut el *driver* fabricat per la marca Pololu, basat en el circuit integrat A4988, fabricat per Allegro. Poc a poc van aparèixer controladors genèrics amb la mateixa configuració que els *drivers* Pololu, anomenats *Stepstick*, basats en el mateix circuit integrat. Més endavant, van començar a sorgir nous *drivers*

basats en nous circuits integrats, el DRV8811 i el DRV8825, de Texas Instruments, uns integrats que ofereixen més resolució i millors prestacions.

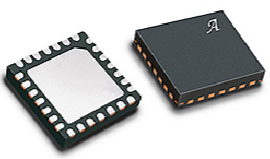
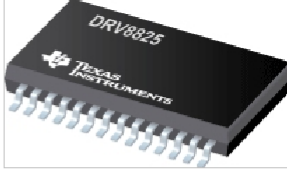
		
Nombre	A4988	DRV8825
Fabricante	Allegro MicroSystems, LLC	Texas Instruments Inc.
Voltaje de operación	8 – 35 V	8,2 – 45 V
Modos de micropaso disponibles	<i>Full-step, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16</i>	<i>Full-step, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32</i>
Corriente de salida máxima por bobina (con refrigeración)	2 A de pico; 1,4 A RMS	2,5 A de pico; 1,75 A RMS
Resistencia de salida de los FETs	0,32 – 0,45 Ω (según °C)	0,2 – 0,32 Ω (según °C)
Autoapagado por temperatura	Sí, a 165 °C	Sí, a 160 °C
Protección contra exceso de corriente	Para >2,1 A por bobina	Para >3 A por bobina
Protección contra cortocircuito	Sí	Sí

Figura 29. Taula comparativa entre els dos principals circuits integrats per a *drivers*. Font: <http://www.dima3d.com/motores-paso-a-paso-en-impresion-3d-ii-criterios-de-seleccion-de-motores-y-drivers/>

Com podem veure en la taula, el DRV8825 ofereix millors prestacions. No obstant això, s'han de tenir en compte algunes coses. En la wiki de *RepRap*, es pot trobar un enllaç a un article on s'analitza la relació entre el *microstepping* i la precisió obtinguda en un motor. ^[25] En este article es mostra com a l'augmentar el número de micropassos per pas, el par motor obtingut per cada micropas disminueix dràsticament. Això significa que, encara que la resolució augmenta, la precisió es veurà afectada. És a dir, quan el motor intenta avançar un micropas, la força exercida pel motor serà menor que la necessària per vèncer les forces de fregament i el pes de la càrrega, per la qual cosa el motor no es mourà i seran necessaris successius micropassos per a provocar moviment. No obstant això, una alta resolució comporta un moviment més suau i silencios dels motors i evita problemes de ressonància, però no augmenta la precisió. A més, s'ha descobert que, en alguns casos, els *drivers* basats en el DRV8825, a velocitats baixes, presenten problemes de vibracions i pèrdua de micropassos que poden afectar a la qualitat de les impressions, i es necessiten components addicionals per solucionar-ho. ^[26]

Tenint en compte totes estes consideracions, s'ha decidit escollir el **driver Stepstick A4988**, ja que evitarem els possibles problemes que pot ocasionar l'altre *driver* i, donat que no notarem un increment en la qualitat final de les peces, una resolució de 16 micropassos és suficient per a nosaltres. A més, són els *drivers* més assequibles del mercat, sent possible trobar-los a 2 € cada un.

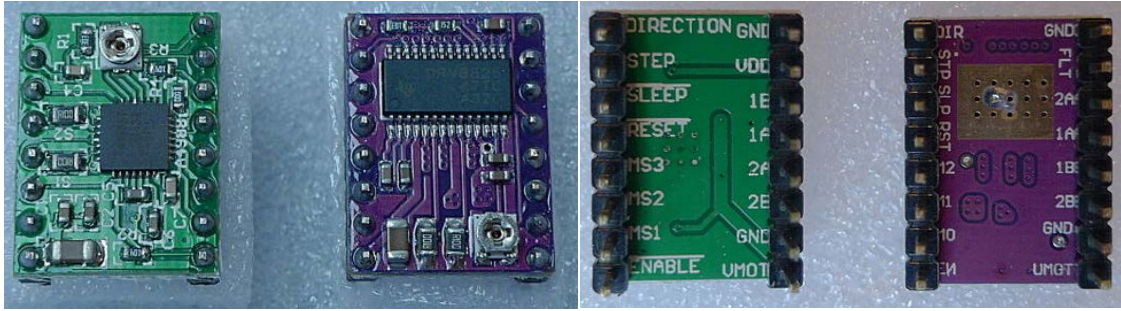


Figura 30. Vista superior i inferior dels drivers A4988 (esquerra) i DRV8825 (dreta). Font: http://reprap.org/wiki/A4988_vs_DRV8825_Chinese_Stepper_Driver_Boards

3.6. Finals de cursa

Els finals de cursa són, simplement, uns interruptors que indiquen al controlador que un eix ha arribat al seu límit. Una opció és utilitzar 6 finals de cursa, que indiquen el límit inferior i el límit superior de cada eix. No obstant això, és perfectament acceptable usar només 3 finals de cursa per indicar l'origen dels eixos i programar per software els límits superiors.

Existeixen dos tipus principals de finals de cursa: els mecànics i els òptics. Els mecànics són un simple interruptor que es tanca (o s'obri) quan es polsa un ressort metàl·lic. Els finals de cursa òptics són un optointerruptor: estan formats per un emissor de llum infraroja i un fototransistor que detecta la presència de llum. Quan un objecte es col·loca entre l'emissor i el receptor, el fototransistor deixa de rebre llum i el circuit es talla.

L'avantatge que tenen és que són molt precisos, però també més cars. Els **finals de cursa** mecànics resulten molt més assequibles i senzills d'instal·lar. Alguns models comercials es troben muntats sobre una placa amb resistències de *pull-up* soldades per evitar problemes de sobretensions. Tot i això, la placa Arduino ja porta integrades resistències *pull-up* que poden activar-se per software, per la qual cosa és suficient amb els finals de cursa sense cap component afegit.



Figura 31. Diferents tipus de final de cursa: mecànic, mecànic en placa integrada i òptic. Fonts: <https://www.staticboards.es/blog/marlin-instalacion-configuracion/>, https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-453259932-final-de-carrera-impresora-3d-prusa-marlin-hephestos-_JM, <https://electronilab.co/tienda/interruptor-final-carrera-optico-cnc-impresora-3d/>

3.7. Extrusor

L'extrusor és l'element encarregat de fondre el filament de plàstic i dipositar-lo sobre l'espai d'impressió. Bàsicament, un extrusor es pot dividir en dos parts: el *cold end* i el *hot end*. El *cold end* és la part que agafa mecànicament el filament de la bobina i l'alimenta al *hot end*, a què està connectat. El *hot end*, llavors, s'encarrega d'escalfar el material que li arriba i reduir-li el diàmetre per obtenir un fil prim de plàstic calent que servirà per definir les capes de la peça.

L'extrusor és un component que està format de distintes peces i que pot canviar molt d'una impressora a una altra, ja que poden ser construïts de moltes formes diferents. No obstant això, tots els extrusors solen tenir les següents parts: ^[27]

- **Motor pas a pas:** este motor s'utilitza per espentar el filament per tot el recorregut fins que surt per la broqueta. Bàsicament té les mateixes característiques que els motors dels eixos.
- **Engranatge de tracció:** esta peça està situada sobre l'eix del motor pas a pas. Es tracta d'una espècie de politja dentada la funció de la qual és fer pressió sobre el filament per fer que es desplace a mesura que gire el motor.
- **Engranatge reductor:** en alguns casos s'utilitza un engranatge de diàmetre superior al que està col·locat en l'eix del motor per tal d'augmentar la força aplicada sobre el filament. En este cas, este és l'engranatge en contacte amb el filament, i el de l'eix motor s'encarrega de transmetre-li el moviment.
- **Rodament de pressió:** es tracta d'un rodament simple amb una guia que exerceix certa pressió sobre el filament per mantindre'l ben orientat i en contacte constant amb l'engranatge de tracció.
- **Guia del filament:** també anomenat espàrrec o, en anglès, *throat* o *barrel*. És un tub metàl·lic vertical amb un diàmetre interior igual al del filament (habitualment, 1,75 mm o 3 mm), que s'encarrega de mantenir recte el filament sòlid i guiar-lo fins al *hot end*. En la part final del *barrel*, este es troba en contacte amb el *hot end*, per la qual cosa el filament comença a derretir-se en este punt. Per evitar que el calor es transmeta per tot el *barrel* i que el filament es fonga abans de temps, alguns *barrels* tenen un recobriment interior de tefló per aïllar tèrmicament el *barrel* i el filament en els primers trams.
- **Hot end:** es tracta d'un bloc metàl·lic amb una resistència que serveix per escalfar i derretir el filament. A més, compta amb un termistor per realitzar el control de temperatura.
- **Broquet de sortida:** consisteix en una peça metàl·lica en forma de con que va enroscada al *barrel* i al *hot end*, de tal forma que rep el plàstic fos i el trau per la seua punta, un forat amb un diàmetre molt menut (entre 0,1 i 0,8 mm, habitualment), obtenint així el plàstic extrudit per conformar les impressions.

En la majoria de casos, tots els extrusors presenten estos elements, podent variar en diàmetres i altres mesures. No obstant això, existeixen dos tipus d'impressió que presenten diferències importants:

- **Extrusió directa:** és el sistema més simple i efectiu, el que utilitzen la majoria d'impressores modernes. En este sistema, el filament passa directament del motor al *hot end* (passant pel *barrel*). Això fa que el conjunt de l'extrusor siga una sola peça més compacta i senzilla. A més, és totalment desmuntable i resulta senzill trobar averies o solucionar embossos.

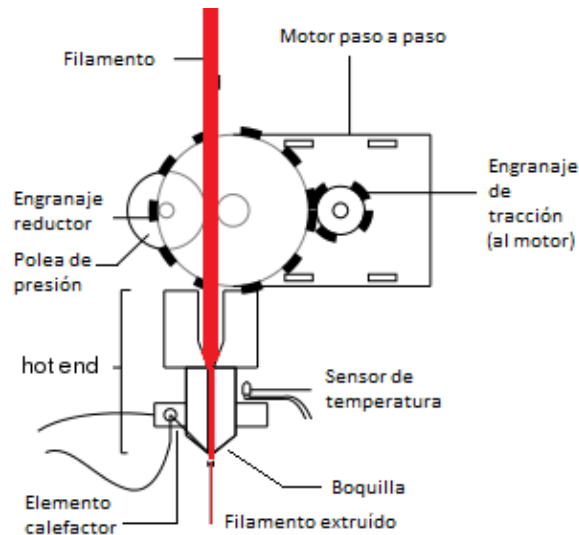


Figura 32. Esquema aproximat d'un extrusor amb extrusió directa. Font:
<http://www.mibqyyo.com/articulos/2014/09/22/asi-funciona-la-extrusion-en-las-impresoras-3d/>

- **Extrusió Bowden:** este sistema, també anomenat extrusió indirecta, és similar a l'extrusió directa en quasi tots els aspectes. Però en els extrusors Bowden, tot el sistema de tracció del filament (el *cold end*) està separat del *hot end*. Estes dos parts estan connectades mitjançant un tub flexible de teflón en l'interior del qual circula el filament, d'una forma semblant als cables de frens en una bicicleta. El principal avantatge d'este sistema és que al tenir el motor separat, el *hot end* és l'únic element muntat sobre l'eix X, cosa que fa que el moviment de l'eix siga molt més fàcil i ràpid i permet simplificar el carro. En canvi, és un sistema més complex de muntar i mantindre, ja que és més vulnerable contra averies, i resulta més complicat imprimir materials flexibles com el Filaflex.

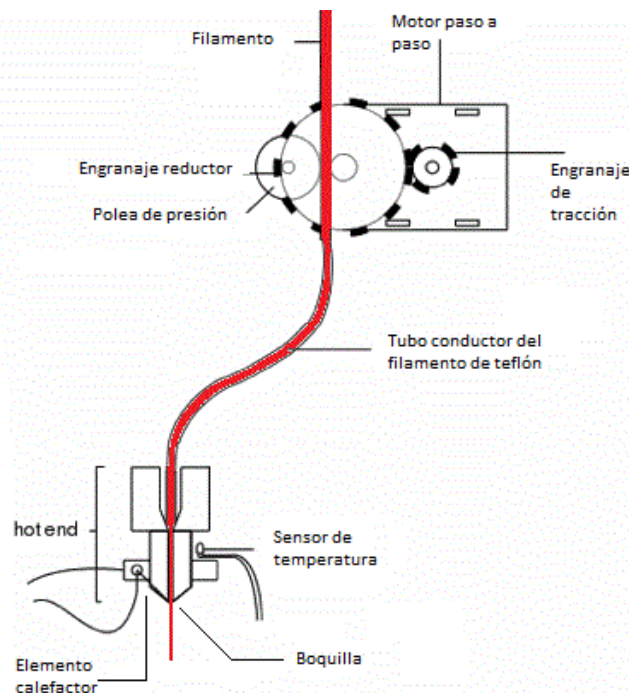


Figura 33. Esquema d'un extrusor Bowden. Font:
<http://www.mibqyyo.com/articulos/2014/09/22/asi-funciona-la-extrusion-en-las-impresoras-3d/>

Actualment, es poden trobar moltíssimes varietats d'extrusors, ja que cada persona tendeix a modificar progressivament el seu extrusor en base a la seua pròpia experiència i les necessitats de la seua impressora. En el nostre cas, ens decantarem pel sistema d'extrusió directa, molt més fiable i versàtil. I dins d'este grup, escollirem un extrusor relativament assequible, que ja haja sigut provat i haja demostrat la seua eficàcia: es tracta de l'anomenat **extrusor MK8**. Este model es pot trobar complet de forma senzilla, amb totes les peces necessàries incloses i ja acoblades. Està preparat per filaments de 1'75 mm de diàmetre i té un broquet de 0'4 mm de diàmetre amb un motor NEMA 17 igual que els que usarem per a la resta d'eixos, i és capaç d'imprimir amb facilitat molts dels principals materials usats en la indústria.

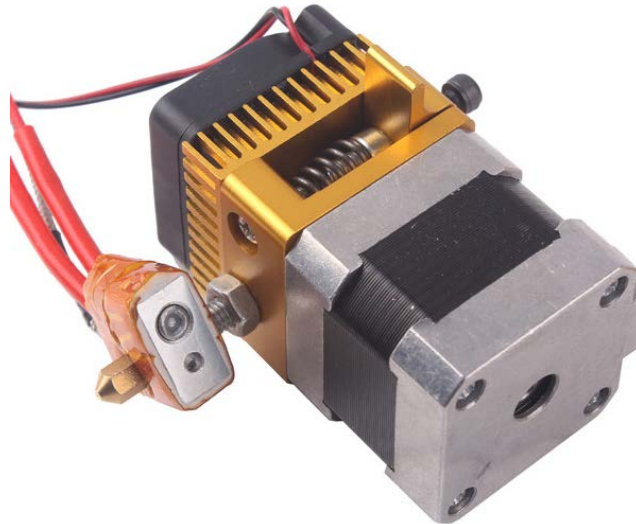


Figura 34. Extrusor MK8. Font: <http://inven.es/impresoras-3d/326-extrusor-mk8-direct-driver-04mm-30mm-termistor-ntc-completamente-ensamblado.html>

3.8. Llit calent

La base d'impressió és un element important de la impressora que, en bona mesura, decideix si una peça eixirà bé o eixirà malament. Són molts els factors que hi poden afectar. En primer lloc, la base ha d'estar completament anivellada, de forma que no hi haja diferències d'altura quan l'extrusor es moga d'un extrem a l'altre. Això provocaria que parts de la base de la peça no estigueren ben adherides i, en el pitjor cas, les peces es desenganxarien de la base d'impressió abans d'acabar, i resultarien completament inservibles. Un altre problema important amb què ens podem trobar és el *warping* (vinclament). Es habitual que quan s'imprimeixen peces que ocupen molta superfície, els cantons s'alcen. Açò es degut a la contracció que es produeix quan el plàstic surt a alta temperatura de l'extrusor i xoca amb la base, que està més freda.

La solució a este problema és instal·lar un **llit calent** (*hot bed*), que mantinga la base calenta. Això evitaria esta diferència tèrmica en les primeres capes de la peça, fent que estes capes es mantinguen planes i adherides a la base d'impressió. Este llit calent no és més que una placa PCB que actua com a resistència i s'escalfa amb el pas de corrent. A més, compta amb un **termistor** que s'encarrega de controlar la temperatura i mantindre-la en un valor concret. Tot el conjunt s'uneix a la base d'alumini de l'eix Y mitjançant 4 caragols amb uns **molls** que el mantenen en una posició estable, però fàcil de regular i anivellar. El model escollit és l'anomenat **MK2B**.

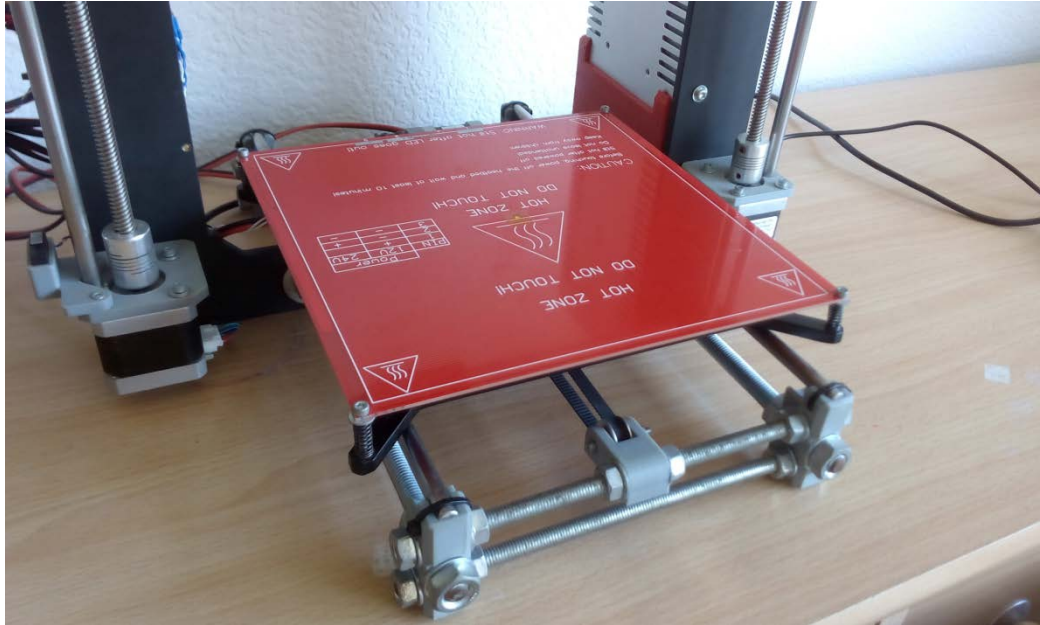


Figura 35. Llit calent MK2B instal·lat sobre l'eix Y. Font: pròpia.

Però este no és l'únic element important a tenir en compte, ja que, en general, els llits calents de PCB no són completament plans. Per la qual cosa, són necessaris uns elements addicionals que mantinguin tot el conjunt pla i actuen de protecció de la PCB. Els elements habituals són vidres transparents, ja que mantenen la superfície plana i transmeten el calor de forma acceptable. Però, en canvi, tenen un alt coeficient de dilatació i si tenen poc grossor, les variacions de temperatura podrien trencar-lo. Una altra opció és utilitzar vidres de borosilicat, amb un coeficient de dilatació tres voltes menor que el vidre comú, però també és molt més car. Altres persones utilitzen una planxa d'alumini, però si no té el grossor adequat pot arribar a corbar-se per la dilatació i, a més, és un material que no sol tenir bona adherència.

L'opció que hem escollit és utilitzar un **espill**, ja que és més fàcil d'aconseguir, és assequible i el fet de tenir la part reflectant metàl·lica, millora lleugerament la transmissió de calor. Tot i això, serà necessari usar un element fixador, com laca, per tal de millorar l'adherència.

3.9. Font d'alimentació

La font d'alimentació (en anglès, *power supply unit*, o PSU) és l'element encarregat de proporcionar una tensió continua i constant a tota la impressora, a partir de la xarxa elèctrica. Tradicionalment, s'utilitzen dos tipus de fonts d'alimentació diferents: ^[28]

- **Fonts de tires LED:** Les fonts de tires LED, també anomenades OEM, són fonts d'alimentació dissenyades per proporcionar tensions fixes de 12 o 24 V, amb relativament altes capacitats de corrent, entre 15 i 30 A o més, a llargues tires de LED en què cada un consumeix un menut percentatge del corrent total. En els últims anys, estes fonts s'han tornat molt assequibles i molt fàcils de trobar. Donat que este és el propòsit principal d'estes fonts i no es tracta de treballs excessivament complicats, els fabricants no estan obligats a proporcionar característiques que les facen més adequades per a la impressió 3D i, per tant, la seua qualitat serà limitada. No obstant això, les impressores no són tan sensibles a variacions en la regulació i, per tant, estes

fonts són una opció molt acceptable per a una impressora, tot i que és necessari realitzar treballs de cablejat i protecció per a una instal·lació segura.

- **Fonts ATX:** Estes fonts porten molts anys en el mercat, ja que són les fonts d'alimentació utilitzades en els ordenadors d'escriptori. El disseny d'estes fonts està estandarditzat i compten amb unes especificacions tècniques molt precises i una gran quantitat de característiques de seguretat. Estes fonts es dissenyen amb diferents característiques depenent de les necessitats de cada màquina. Per la qual cosa, es poden trobar una grandíssima varietat de fonts amb una bona relació qualitat preu i, per tant, es pot realitzar una elecció més adequada per a les necessitats de cada impressora.

En la wiki de *RepRap*, es pot trobar una taula comparativa de les principals característiques d'este tipus de fonts: ^[28]



	LED Strip PSUs	ATX PSUs
		
Availability	widely available	very widely available
Price	\$20-\$120	\$20-\$200 or more
Power	200W-480W	200W-600W or more
Power Factor Correction	No (not mandated)	Passive or Active PFC (or no PFC at all) available
Thermally regulated fan	On higher power models	Yes (12 or 14cm diameter)
Guaranteed minimum efficiency	No (not mandated)	Yes
Cables included	No	Yes (but you get too many attached cables unless you buy a "modular" PSU)
Low ripple/noise DC output	No, but good enough	Yes
Load/line regulation	Moderate	On 12V output varies from very poor to very good
Modifications needed for RepRap use	Power inlet and cover to safeguard the mains connections	Usually need a minimum load on at least the 5V rail. Also see below.
Protections	Usually short circuit protected	Many
Remote softstart and standby	No	Yes
On/Off switch	No (usually)	Yes (usually)
24V versions available	Yes	No
Established brands	A few (e.g. Meanwell)	Yes
Voltage adjustment	Yes	No

Figura 36. Taula comparativa entre els diferents tipus de fonts d'alimentació. Font: http://reprap.org/wiki/Choosing_a_Power_Supply_for_your_RepRap/

Com es pot apreciar, els dos tipus tenen unes característiques semblants, però les fonts ATX superen a les altres en molts aspectes. No obstant això, les fonts ATX també requereixen un treball de cablejat previ i, pel general, són molt més voluminoses que les fonts de tires LED. Donat que les prestacions que ofereixen són suficients per a les característiques del projecte, escollirem una **font de tires LED de 12 V**.

Una volta decidit això, hem de concretar quina potència necessitem, ja que es poden trobar models des de 36 W fins 360 W, o més. Quant a aquesta característica, la wiki de RepRap fa la següent recomanació: ^[28]

“Una altra forma de calcular el nostre corrent total i, per tant, els requisits totals de potència de la PSU és comprovar el fusible o els fusibles que protegeixen la nostra RepRap. Per exemple, en una placa RAMPS_1.4 hi ha dos fusibles resetejables PTC: un és un fusible 5 A per a l'electrònica, extrusors i motors pas a pas, l'altre és un fusible 11 A exclusivament per al llit calent. Així, el corrent màxim del nostre sistema Arduino Mega 2560 + RAMPS_1.4 seria 16 A. Anem a afegir un marge de seguretat del 25% i ens portarà a 20 A o $12\text{ V} \times 20\text{ A} = 240\text{ W}$. Per tant, hem de buscar una PSU que pugui oferir un mínim de 20 A a 12 V. No obstant això, tingueu en compte que no haureu de seleccionar necessàriament una PSU que compleixi aquestes puntuacions de potència, ja que funcionaria a prop de la seva capacitat màxima. Qualsevol cosa que supera aquests requisits de potència funcionarà, però si us ho podeu permetre, compreu una PSU que excedeixi els requisits mínims de potència en un 30% o més.”

Tenint en compte esta recomanació, sobredimensionarem la nostra font partint dels 16 A del sistema Arduino + RAMPS, que alimenta els motors, el llit, etc. A este valor, li hem de sumar un corrent de 2 A (aproximadament) per alimentar tot el sistema de control wifi que volem instal·lar. Això ens deixa amb un corrent de 18 A que, aplicant un marge del 30%, ens deixa amb una potència de $12\text{ V} \times 23,4\text{ A} = 280,8\text{ W}$. Ja que la diferència en el preu no és significativa, optarem per una **font de 360 W**, cosa que ens deixa un marge més que suficient en cas que vulguem connectar altres perifèrics, com un sistema d'il·luminació LED.



Figura 37. Font d'alimentació de 12V i 360 W. Font: <https://es.aliexpress.com/item/Universal-AC-TO-DC-12V-30A-Regulated-Switching-Power-Supply-For-LED-Light-Strip/32795913586.html>

3.10. Interfície d'usuari

A continuació, és hora de decidir el sistema d'interfície d'usuari. Es tracta del sistema que permetrà a l'usuari controlar l'impressora, iniciar, pausar i parar impressions, realitzar faenes de preparació, manteniment, monitoratge, etc. Habitualment, estes faenes es realitzen a través d'una pantalla LCD. A més, la majoria de pantalles preparades per a impressores porten incloses un lector de targetes SD per a introduir els arxius de les peces per a imprimir.

Tot i això, no és estrictament necessari instal·lar una pantalla. En moltes ocasions, les impressores es controlen mitjançant una connexió USB a un ordinador. Molts softwares d'impressió, com *Cura* o *Repetier*, permeten connectar-se directament a l'impressora i enviar els arxius directament sense necessitat d'una targeta SD ni cap element intermedi. A pesar d'això, resulta molt còmode tenir una pantalla i poder iniciar impressions sense necessitat d'usar un ordinador, usant aquelles que estan en la targeta. O simplement, fer proves o feines de manteniment ràpides, com canviar el filament. Per eixa raó, hem decidit instal·lar una pantalla simple que es proporcione totes estes funcions.

En el mercat podem trobar diferents tipus de pantalles LCD, on cada fabricant les dissenya de diferents formes o amb diferents colors o serigrafies, però bàsicament tots estos models es poden classificar en dos tipus: un tipus de pantalles disposen d'una pantalla LCD de 4 x 20 caràcters anomenats *Smart Controllers*, i els altres estan compostos per un display amb una matriu de 128 x 64 punts anomenats *Full Graphic Smart Controller*. No existeixen moltes diferències significatives entre els dos tipus apart del tamany i el controlador que usa Arduino per mostrar les dades. Les dos pantalles mostren la mateix informació i tenen els mateixos menús i funcions, però mostrats de forma diferent. ^[29]



Figura 38. Diferents tipus de pantalles LCD. Font: <https://www.zonamaker.com/impresion-3d/mejoras-trucos-y-consejos/pantalla-lcd>

Per tant, utilitzarem una de les pantalles més usades per la comunitat i una de les més assequibles del mercat: la **ReRapDiscount Smart Controller**, una pantalla senzilla de 4 x 20 caràcters, amb ranura SD i un encòder rotatori, suficient per a les prestacions que volem obtenir.

3.11. Peces impreses en 3D

Finalment, una volta decidida tota l'estructura, la mecànica i tots els elements electrònics que formen part de la impressora, és hora de dissenyar les peces que seran impreses en 3D. Estes peces completen l'estructura i uneixen totes les parts, i són la part central de la filosofia *RepRap*: la replicabilitat, ja que, com veurem en l'apartat de muntatge, algunes de les peces que anem a dissenyar seran impreses per la pròpia impressora.

Tots els models 3D de les peces utilitzades i els arxius CAD amb les peces dissenyades expressament per a este projecte es trobaran annexades a la memòria com a arxius *.stl* i *.dwg*. Estos arxius *.stl* es poden obrir i visualitzar amb programes de modelat 3D o amb l'aplicació *3D Builder* disponible en Windows 10.

Així doncs, procedirem a escollir les peces necessàries. Per a això, hem de tenir en compte que la majoria d'impressores basades en la *Prusa i3* tenen unes peces comuns que poden variar lleugerament les unes de les altres. Donat que en este projecte es pretén fabricar un model inspirat en la *Prusa i3 MK2*, ens basarem en els plànols i els models de peces que proporciona el fabricant i escollirem les que més s'adapten a les nostres necessitats i modificarem aquelles que ho necessiten o en dissenyarem de noves.^[30]

3.11.1. Peces originals

Les primeres peces que podem usar són les de l'eix Y. Són les peces que conformen la part horitzontal de l'estructura, juntament amb les barres roscades, i permeten que l'eix Y es desplace.

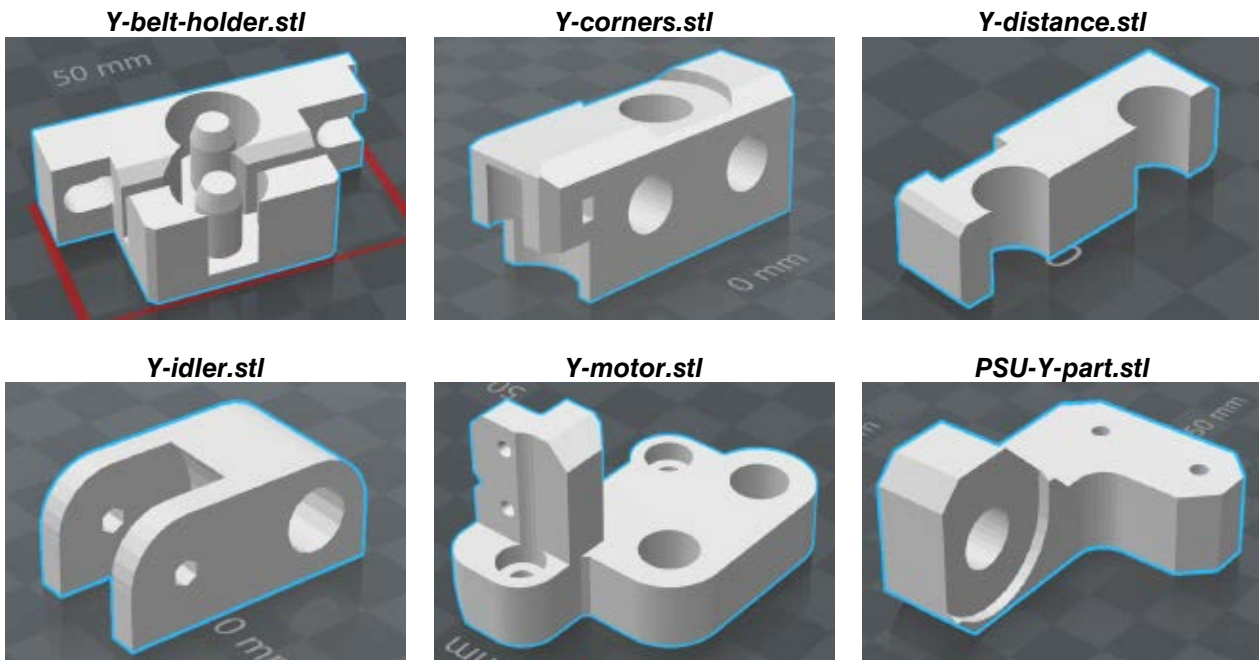


Figura 39. Models 3D de les peces de l'eix Y. Font: pròpia.

A continuació, escollim algunes de les peces que formen part de l'eix Z i de l'eix X, sense comptar les de l'extrusor, ja que no es tracta del mateix model. També es poden aprofitar els suports de les bobines de filament:

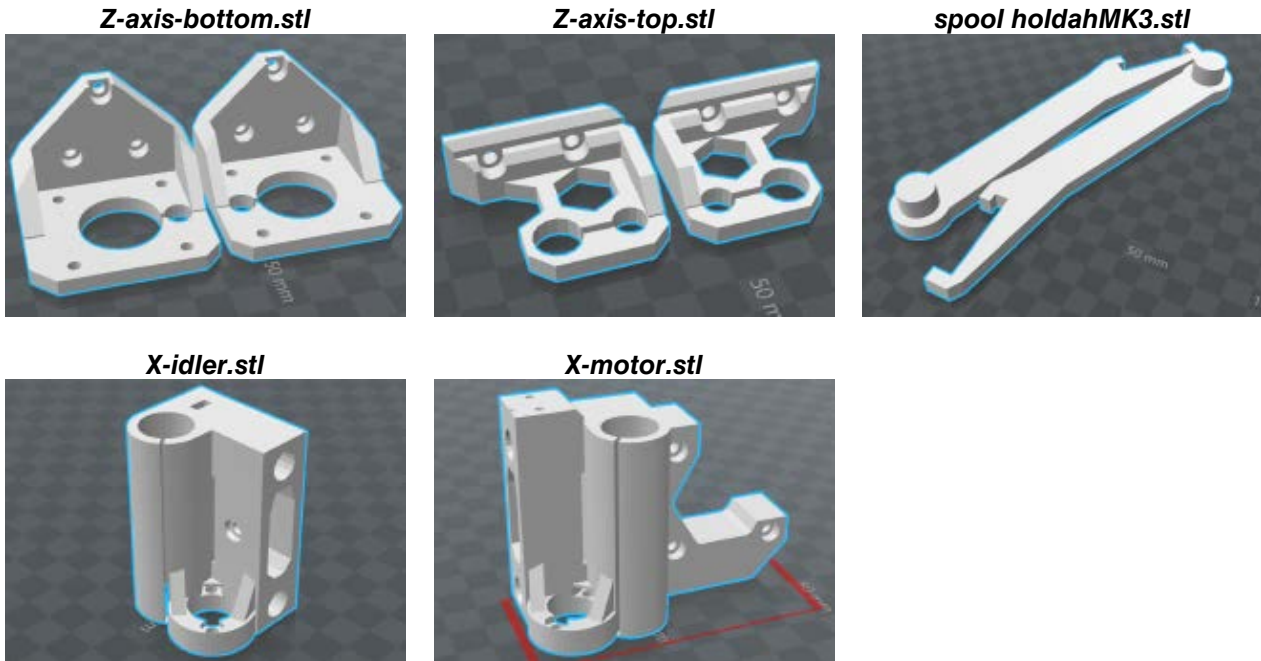


Figura 40. Models 3D de les peces dels eixos X i Z, i suport de les bobines. Font: pròpia.

Fins ara, les peces que hem nomenat corresponen a la *Prusa i3 MK2*. No obstant això, degut a què no tots els components són els mateixos, utilitzarem dissenys d'altres fonts. Una de les principals fonts per a dissenyadors i aficionats de tot el món és la pàgina *Thingiverse.com*. En ella, els dissenyadors publiquen els seus dissenys i models 3D de tot tipus: parts d'impressores, objectes quotidians, objectes de decoració, parts de màquines, robots, etc. La idea darrere d'esta pàgina es que els usuaris publiquen els seus dissenys i els oferisquen al públic general mitjançant llicències GNU-GPL i *Creative Commons*, que permeten la redistribució i modificació dels dissenys baix certes condicions.

La primera peça que necessitem és el carro de l'extrusor, que l'uneix a les barres de l'eix X. El disseny escollit ha sigut dissenyat per l'usuari Andre Balsa en *Thingiverse*.^[31]

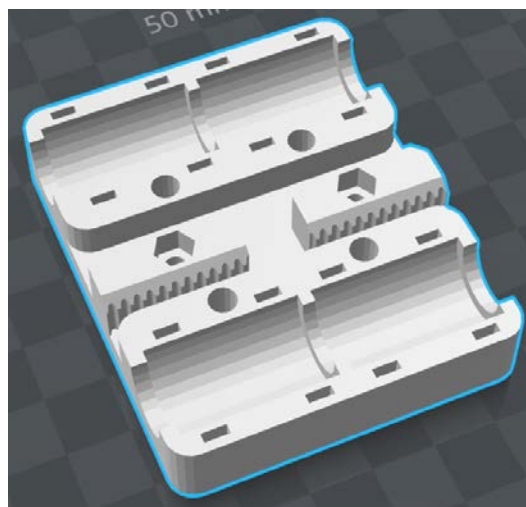


Figura 41. Model 3D del carro de l'extrusor. Font: pròpia.

Seguidament, una altra peça que necessitem és la carcassa de la pantalla LCD. Seria possible usar la de *i3 MK2*, però està situada en la part frontal de la base i els cables

de la pantalla no serien suficientment llargs per arribar a la connexió en la RAMPS. Així que utilitzarem el disseny de la *Hephestos*, ja que en este cas està pensat per situar la pantalla en la part superior del marc d'alumini, on els cables tenen una longitud adequada per connectar-los. Es tracta d'un disseny molt minimalista, però efectiu, que està compost per una frontissa i un marc que subjecta la pantalla. ^[32]

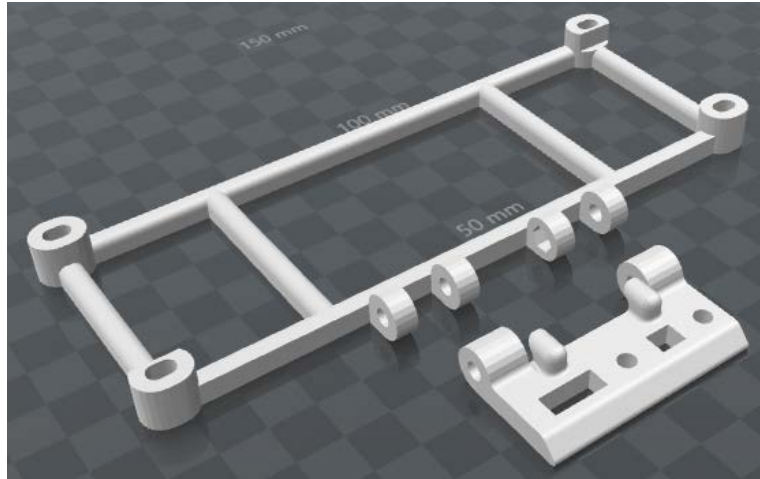


Figura 42. Model 3D de la carcassa de la pantalla LCD. Font: pròpia

3.11.2. Peces modificades i pròpies

Degut a la gran quantitat d'impressores diferents i al fet de què cada persona modifica i personalitza la seua impressora al seu gust i segons les seues necessitats, en ocasions és molt difícil trobar peces que siguen vàlides per a tots. En eixos casos, es fa necessari dissenyar les teues pròpies peces, per tal de què s'adapten perfectament a la màquina concreta.

El software que utilitzarem per a dissenyar és l'*Autodesk AutoCAD 2017*. No és un software especialment indicat per al modelat en 3D, però és molt útil per dissenyar peces geomètriques de poca complexitat.

La primera peça que hem de dissenyar és el suport del final de cursa de l'eix Z. En la *Prusa i3 MK2*, no és necessari un final de cursa en este eix, ja que utilitza un sistema d'autoanivellament amb un sensor de proximitat inductiu. Per tant, com en el nostre cas sí que utilitzem final de cursa. Inspirant-mos en dissenys trobats en *Thingiverse*, hem creat la següent peça:



Figura 43. Model 3D del suport del final de cursa de l'eix Z. Font: pròpia.

Una altra peça necessària per al funcionament de la impressora és la politja de la corretja. En els eixos X i Y, el moviment es produeix a través d'una corretja accionada pel motor. En els dos casos, fa falta una politja que mantinga tensa i recta la corretja. Habitualment, a falta de politja metàl·lica s'imprimeix una politja amb dents de plàstic i s'encaixa en l'interior un rodament menut per produir un gir suau. En este cas, per tal que coincidisca amb la corretja, escollirem una politja de 26 dents i 2 mm de pas. Com els buits en les peces on va la corretja tenen diferents amplades, s'han dissenyat dos politges diferents: una de 8 mm i una altra de 9 mm d'ample:

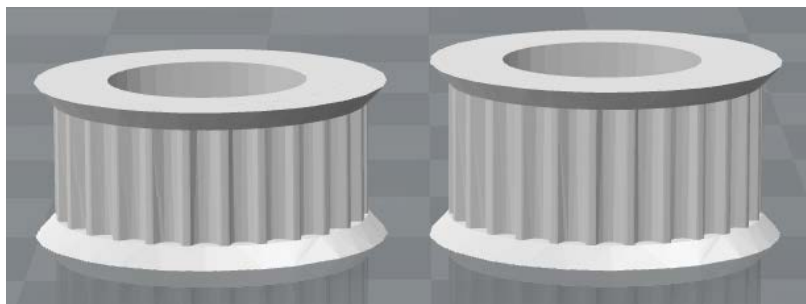


Figura 44. Models 3D de les politges. Font: pròpia.

Les últimes peces necessàries són la carcassa de la font d'alimentació i el suport del ventilador de capa. La carcassa, per exemple, tot i que no és imprescindible, és molt recomanable per protegir el cablejat de la font i evitar descàrregues. A més, manté la font fixa sobre el marc, cosa que suma ordre i fa l'estructura més rígida. A l'igual que en les peces anteriors, per a esta cada persona té també la seua versió, així que s'haurà de dissenyar una de nova que s'adapte perfectament a la forma de la impressora. El mateix passa amb el ventilador de capa. Es tracta d'un element opcional que, com veurem mes endavant, resulta útil per millorar la qualitat de les impressions. Este ventilador també necessita un suport que haurem de dissenyar i imprimir. No obstant això, el disseny d'estes peces es deixarà per un altre apartat, ja que no serà fins que estiga muntada la impressora quan sabrem les mesures necessàries per modelar-les.

4. Muntatge de la impressora

Una vegada s'ha establert el disseny final de la impressora i s'han decidit tots els components que s'utilitzaran, tant estructurals, mecànics o electrònics, és hora de passar al muntatge. A continuació es detallaran els passos seguits i es procedirà a comentar aspectes rellevants d'este. Es posarà especial èmfasi en aquells problemes que s'han trobat durant el procés i quines solucions s'han proposat. Donat que molts components són els mateixos o semblants, es seguirà la guia de muntatge de la *Prusa i3 MK2S*.^[32]

El primer que es munta és l'eix Y. Durant el muntatge van aparèixer problemes ven al principi, ja que les barres llises van resultar estar fetes de ferro, i es van pler molt ràpidament de corrosió, així que es van haver de tornar a comprar unes barres llises d'acer inoxidable. També, va ser resultat que les politges impreses en 3D tenien un diàmetre molt més menut que els rodaments que teníem, per la qual cosa es va intentar fixar en l'interior de la politja un tub de plàstic que actuara com a eix de gir de la politja, però això resultava en un moviment molt poc uniforme. Apegant les dos parts de forma que no hi haguera oscil·lació entre elles resolva parcialment el problema, però a la llarga tornaria a aparèixer. La solució va ser adquirir unes politges metàl·liques amb rodament incorporat. El resultat va ser una cosa semblant a açò:

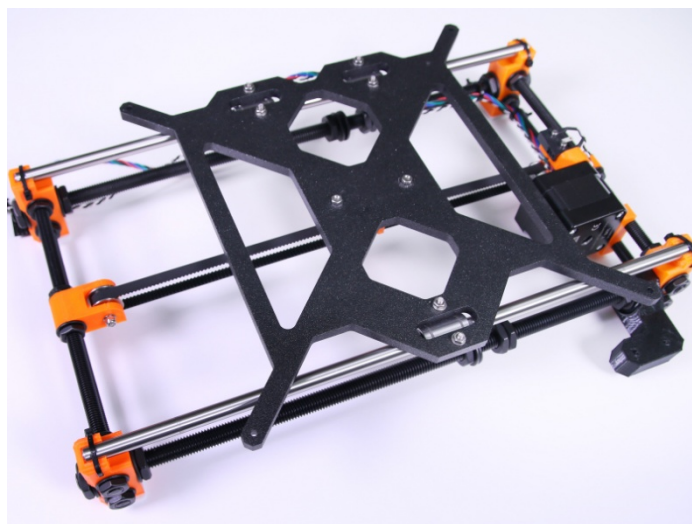


Figura 45. Eix Y de la *Prusa i3 MK2* acoblat. Font: <http://manual.prusa3d.com/Guide/2.+Y-axis+assembly/298>

A continuació, vam procedir a muntar l'eix X. En este moment, vam tenir un altre problema. A l'intentar unir les peces dels extrems de l'eix X amb les rosques de les barres trapezoïdals, ens vam trobar amb què no encaixaven, i no era suficient amb taladrar uns forats nous, així que es van modificar les peces amb el software *Autodesk Fusion 360*. Això va solucionar el problema, però quan vam intentar tornar a muntar, ens vam trobar amb que s'havia comés un error de disseny que no permetia que les barres arribaren fins al final de la peça. La solució va ser usar una broca molt ampla i taladrar la peça afectada i anar llimant les vores per crear el forat per on havia d'anar la barra. Una volta encaixat l'eix X en les barres verticals, vam muntar l'extrusor. Per poder caragolar el suport del motor i tot l'extrusor al carro va ser necessari des muntar-lo i tornar a acoblar-lo junt al suport.

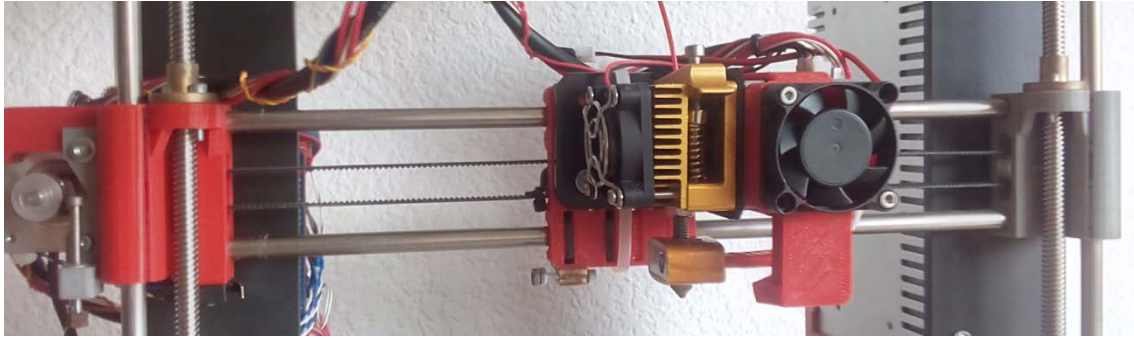


Figura 46. Resultat final de l'eix X. Font: pròpia.

Una volta amb tota l'estructura muntada, toca instal·lar i connectar tota l'electrònica. Per a això, es seguirà el següent esquema de connexió:

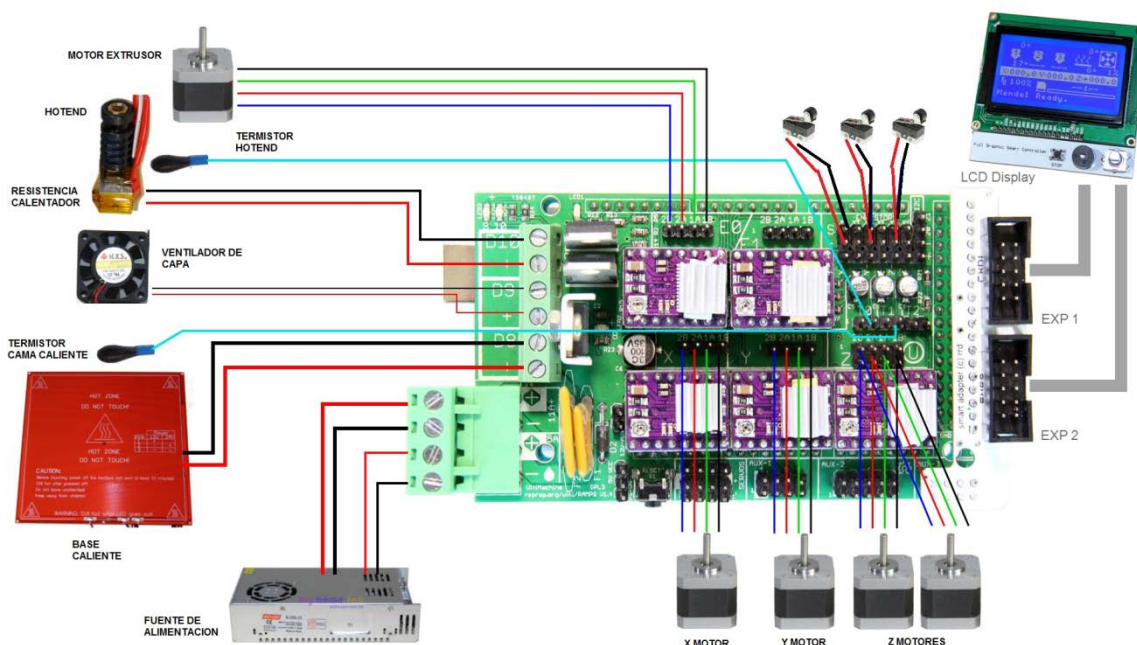


Figura 47. Esquema de connexió de l'electrònica. Font: <http://www.3despana.com/imagenes/p3steel/13.jpg>

La connexió en sí no era excessivament complicada. La part més tediosa és el treball de cablejat, ja que, per exemple, els finals de curs venien sense cable i va ser necessari soldar-ne uns i protegir-los amb cinta termoretràctil. També va fer falta soldar els cables al llit calent i fixar el termistor en la part inferior amb pasta tèrmica i cinta kapton. S'ha intentat en tot moment mantenir el cablejat ordenat per tal de saber en tot moment quina connexió este manipulant. Una característica que hem tenir en compte és que el conjunt de cables que venen de l'extrusor han sigut col·locats per què passen entre el mar d'alumini i les barres de l'eix Z. Habitualment, eixe cable es fa passar per dalt del marc, però això provocaria que fóra molt fàcil enganxar-se quan puja i baixa l'eix. Una altra cosa important es el conjunt Arduino MEGA + RAMPS no es pot caragolar directament en el marc encara que tinga els forats roscats fets a mida, ja que toca el motor de l'eix Z i no permet el seu moviment. Això es pot solucionar utilitzant separadors de llautó per a PCB. Durant la instal·lació, un d'eixos separadors es va trencar i la rosca es va quedar encallada en el forat, i va ser necessari taladrar eixa rosca amb una broca molt fina i anar llimant-la poc a poc fins pulveritzar-la i poder tornar a enroscar una altra cosa.

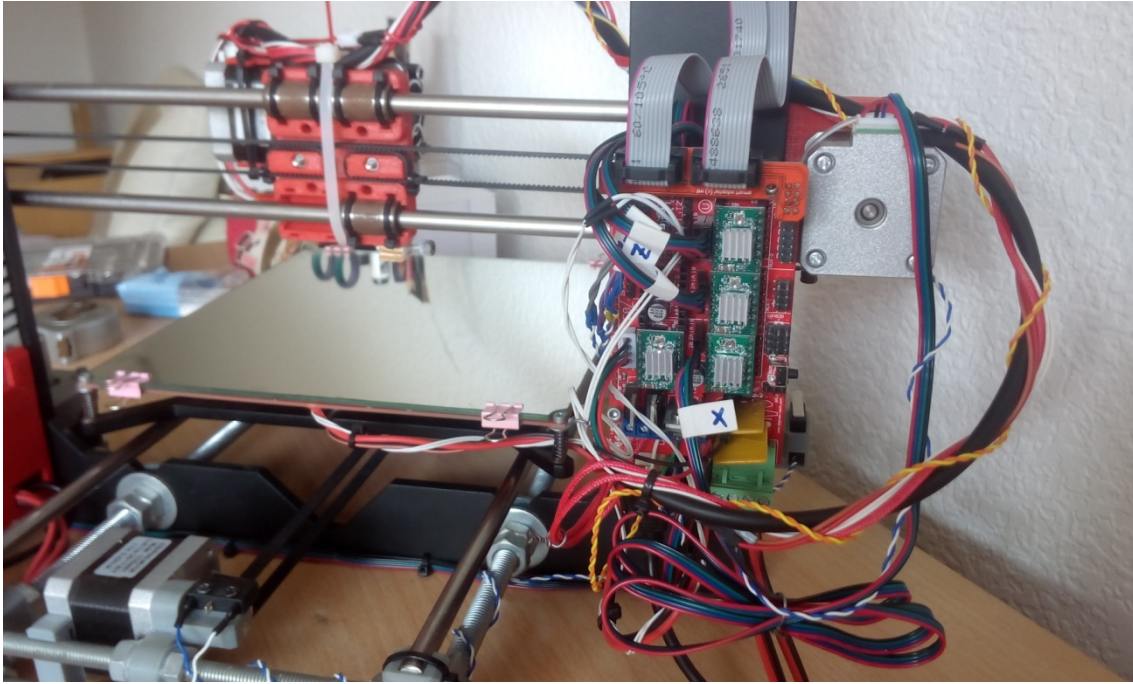


Figura 48. Resultat del connexionat elèctric. Font: pròpia.

Un últim apunt sobre el muntatge és que l'espill del llit calent es va tallar a mida per encaixar perfectament sobre ell. Habitualment s'utilitzen vidres o espills rectangulars i es fixen amb pinces metàl·liques. Això fa que no s'aprofite tota l'àrea d'impressió. Els que hem fet ha sigut es tallar el vidre amb un tallavidres de forma quadrada aprofitant tota la superfície del llit i després se li han perforat i llimat els 4 buits per què passen els caragols. Açò té un clar avantatge, i ens permetrà que la impressora arribe realment a un espai d'impressió de 20 x 20 x 20 mm. El resultat és el següent:

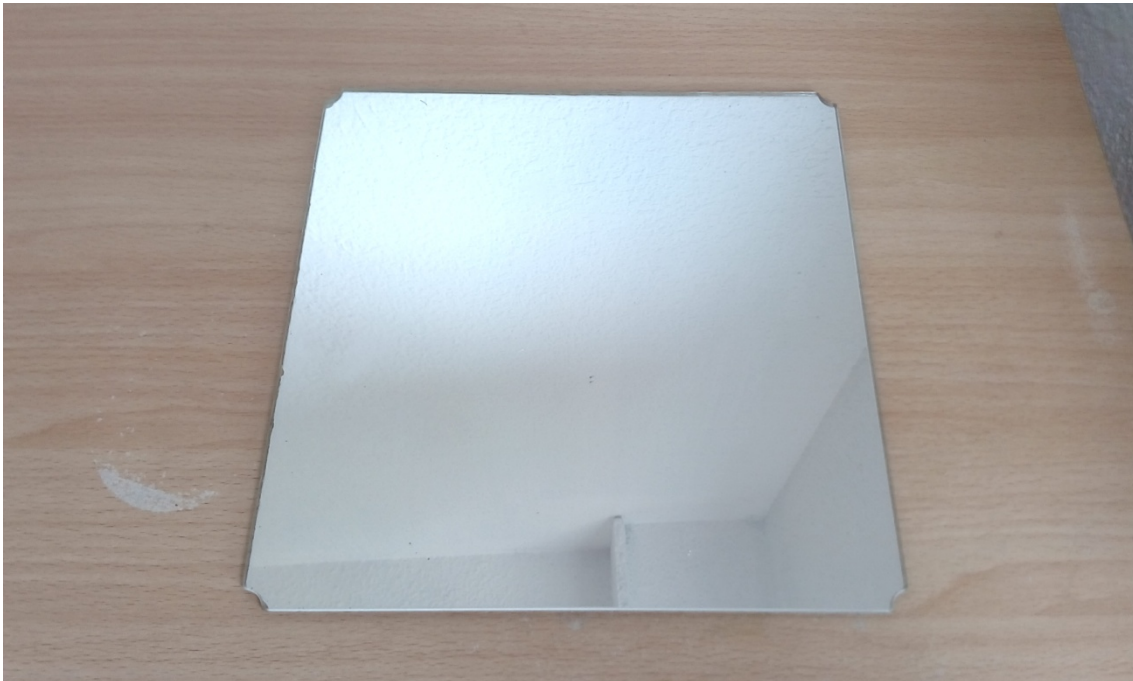


Figura 49. Vidre del llit tallat a mida. Font: pròpia

5. Firmware, configuració y primera impressió

5.1. Introducció al procés d'impressió

Abans de pensar en imprimir una peça, s'han de tenir clars els conceptes bàsics sobre com funciona el procés d'impressió 3D. Tot comença amb un arxiu de dibuix tipus CAD o, en general, qualsevol programa de modelat 3D com AutoCAD, Solidworks, Blender, OpenSCAD, etc. El primer pas una volta modelada la peça desitjada, es guarda esta peça amb un format d'arxiu que reconega formes en tres dimensions. Actualment, l'estàndard establert és el format STL (*Standard Triangle Language*), un tipus de format que guarda els models 3D com una malla de superfícies triangulars, excloent paràmetres com el color o les textures. Una analogia senzilla per entendre este concepte és pensar que un arxiu *.cad* és comparable a un arxiu de text *.doc*, mentre que els arxius *.stl* són comparables als *.pdf*.

Després d'haver convertit el model en un arxiu STL, el següent pas és processar este arxiu de forma que la impressora l'entenga. Les impressores 3D funcionen amb un tipus d'arxius anomenats **GCODE**. Este tipus d'arxius són simplement un conjunt d'ordres que la impressora entén i que tradueix en moviments dels motors, activació desactivació de pins, etc.

Però per poder arribar a este tipus d'arxius, necessitem un programa anomenat **licer** (filetejador). Este programa dividirà el model 3D en capes d'un grossor determinat i definirà la ruta que han de recórrer els motors per conformar la peça, seguint una sèrie de paràmetres que podem configurar. Una volta convertit l'arxiu STL en un GCODE, només queda enviar eixe arxiu a la impressora i començar a imprimir.

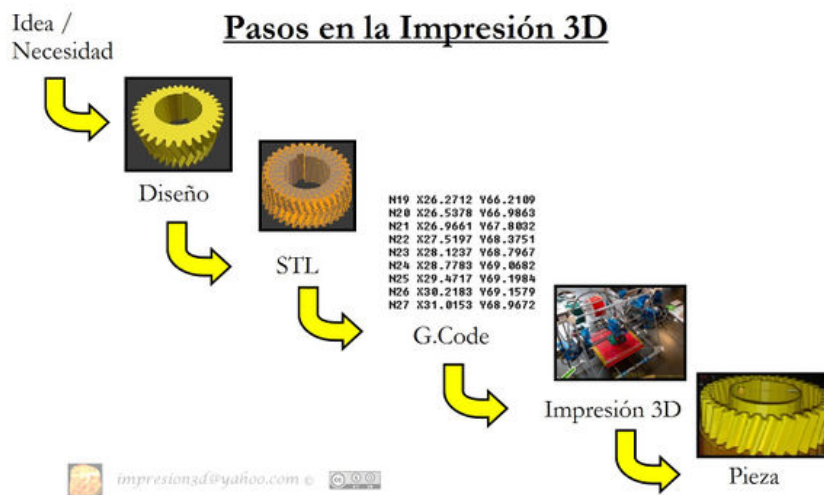


Figura 50. Esquema simplificat del procés d'impressió. Font: http://reprap.org/wiki/Introducci%C3%B3nALaImpresi%C3%B3n3D_PasosARealizar

5.2. Firmware y configuració. Marlin

El firmware és un programa informàtic instal·lat en la placa Arduino per controlar la impressora. Este programa serà l'encarregat de llegir la llista de comandos GCODE dels arxius d'impressió a través del port sèrie o des d'una targeta SD i controlar els

moviments dels motors pas a pas, de l'extrusor, del control de temperatura, etc., per tal de crear unes impressions precises. Existeixen diferents firmwares, però el més estès, complet i potent actualment és, sens dubte, **Marlin**, una variant del conegut firmware GBRL per a màquines CNC. És un firmware especialment pensat per a microcontroladors de 8 bits de Atmel, la família a la que correspon el xip ATmega 2650 de l'Arduino MEGA.

El primer que hem de fer per instal·lar Marlin és descarregar i instal·lar l'última versió de l'entorn de desenvolupament d'Arduino, [35] A continuació, també hem de descarregar l'última versió del Marlin, o una versió anterior estable. [36] La versió utilitzada en este cas és la 1.1.4. A continuació, detallarem els passos a seguir per configurar el Marlin. [33][34]

El primer pas és connectar la placa al port USB de l'Arduino i obrir l'arxiu del projecte de Marlin, anomenat *Marlin.ino*. amb el IDE d'Arduino. A continuació, seleccionarem la placa, el processador i el port sèrie al que tenim connectat la placa MEGA.

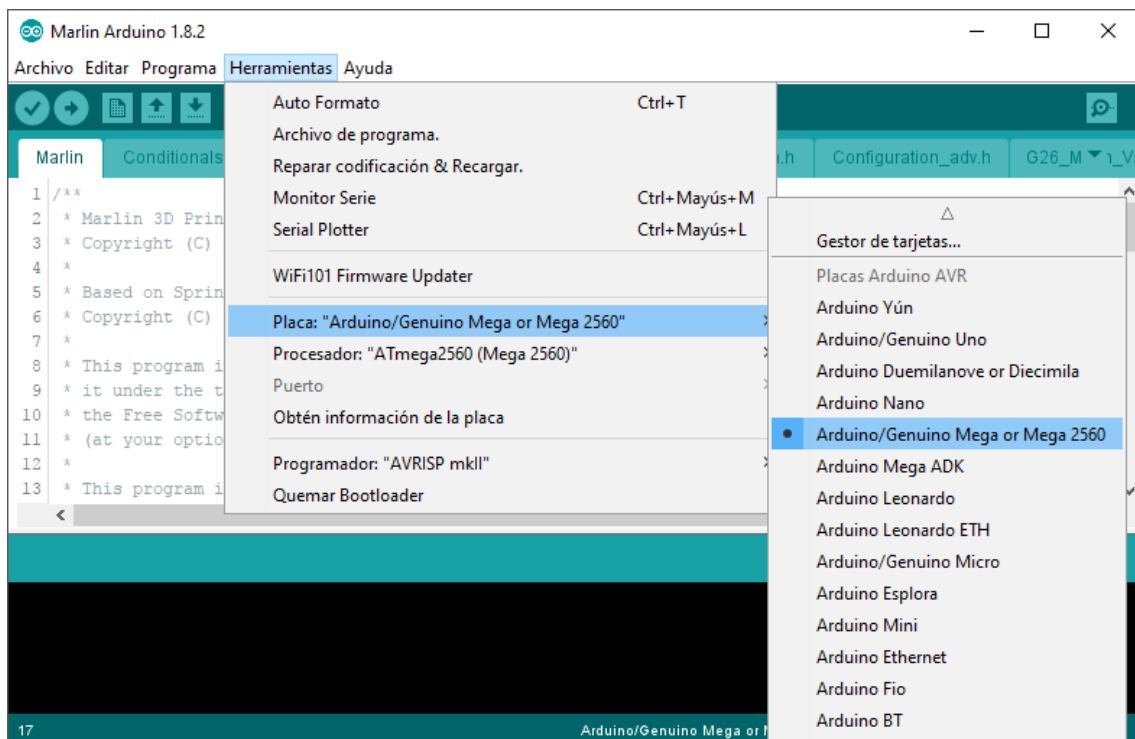


Figura 51. Configuració del firmware Marlin. Font: pròpia.

A partir d'ara, totes les modificacions en la configuració es realitzaran en la pestanya **Configuration.h**. Només s'explicaran els paràmetres que s'han modificat, la resta es deixaran per defecte. El primer conjunt de paràmetres que configurarem són el tipus de placa (podem consultar el model en la pestanya *boards.h*), el nom que li donarem a la impressora, i el nombre d'extrusors. A més, indicarem la velocitat de comunicació amb la impressora, que posarem a 250000 bauds. La nostra placa serà "BOARD_RAMPS_14_EFB", que correspon a una RAMPS v1.4, amb les eixides de tensió configurades per al *hotend*, el ventilador de capa i el llit calent.

```

/**
 * This setting determines the communication speed of the printer.
 *
 * 250000 works in most cases, but you might try a lower speed if
 * you commonly experience drop-outs during host printing.
 *
 */

```

```
* :[2400, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 250000]
*/
#define BAUDRATE 250000

// The following define selects which electronics board you have.
// Please choose the name from boards.h that matches your setup
#ifndef MOTHERBOARD
  #define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_EFB
#endif

// Optional custom name for your RepStrap or other custom machine
// Displayed in the LCD "Ready" message
#define CUSTOM_MACHINE_NAME "Prusa i3"

// @section extruder

// This defines the number of extruders
// :[1, 2, 3, 4, 5]
#define EXTRUDERS 1
```

Més avall trobarem paràmetres relacionats amb els termistors. En les línies següents línies hem d'indicar el tipus de termistor utilitzat. En este cas es tracta d'un termistor de 100 kΩ, per la qual cosa se li assigna el valor 1, seguint la llegenda en la part superior. Farem el mateix per al termistor del llit.

```
#define TEMP_SENSOR_0 1
#define TEMP_SENSOR_1 0
#define TEMP_SENSOR_2 0
#define TEMP_SENSOR_3 0
#define TEMP_SENSOR_4 0
#define TEMP_SENSOR_BED 1
```

Els següents paràmetres fan referència a la temperatura. El primer que hem de conèixer és "HEATER_MINTEMP", una variable en la qual, si s'intenta escalfar l'extrusor quan es registra una temperatura inferior a l'indicada ací, es cridarà a un "ERROR_MIN_TEMP" i no escalfarà. D'esta forma s'eviten problemes si, per exemple, el termistor no està connectat. Un altre paràmetre important és el que fixarà els límits de temperatura tant en l'extrusor com en el llit. Si l'extrusor és tot de metall, es pot fixar eixa temperatura en 300, i sinó en 250, aproximadament. El nostre extrusor MK8 és tot de metall, així que posarem la temperatura màxima a 275 °C. Finalment, el paràmetre "EXTRUDE_MINTEMP" impedirà la extrusió en fred.

```
// The minimal temperature defines the temperature below which the heater will
not be enabled It is used
// to check that the wiring to the thermistor is not broken.
// Otherwise this would lead to the heater being powered on all the time.
#define HEATER_0_MINTEMP 5
#define HEATER_1_MINTEMP 5
#define HEATER_2_MINTEMP 5
#define HEATER_3_MINTEMP 5
#define HEATER_4_MINTEMP 5
#define BED_MINTEMP 5

// When temperature exceeds max temp, your heater will be switched off.
// This feature exists to protect your hotend from overheating accidentally,
but *NOT* from thermistor short/failure!
// You should use MINTEMP for thermistor short/failure protection.
#define HEATER_0_MAXTEMP 275
#define HEATER_1_MAXTEMP 275
```

```
#define HEATER_2_MAXTEMP 275
#define HEATER_3_MAXTEMP 275
#define HEATER_4_MAXTEMP 275
#define BED_MAXTEMP 150

// @section extruder

// This option prevents extrusion if the temperature is below EXTRUDE_MINTEMP.
// It also enables the M302 command to set the minimum extrusion temperature
// or to allow moving the extruder regardless of the hotend temperature.
// *** IT IS HIGHLY RECOMMENDED TO LEAVE THIS OPTION ENABLED! ***
#define PREVENT_COLD_EXTRUSION
#define EXTRUDE_MINTEMP 170
```

Seguidament, podrem configurar els finals de cursa i el moviment dels eixos. Primer activarem els límits inferiors dels eixos X, Y i Z, i activarem totes les resistències Pull-Up, com ja hem explicat en l'apartat de disseny. Després, depenent com s'hagen connectat els finals de cursa, invertirem la seua lògica. En el nostre cas, com els hem connectat entre "Normalment Tancat" (NC) i "Massa" (GND), ho mantindrem en "false".

```
// @section homing

// Specify here all the endstop connectors that are connected to any endstop
or probe.
// Almost all printers will be using one per axis. Probes will use one or more
of the
// extra connectors. Leave undefined any used for non-endstop and non-probe
purposes.
#define USE_XMIN_PLUG
#define USE_YMIN_PLUG
#define USE_ZMIN_PLUG
//#define USE_XMAX_PLUG
//#define USE_YMAX_PLUG
//#define USE_ZMAX_PLUG

// coarse Endstop Settings
#define ENDSTOPPULLUPS // Comment this out (using // at the start of the line)
to disable the endstop pullup resistors

// Mechanical endstop with COM to ground and NC to Signal uses "false" here
(most common setup).
#define X_MIN_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of
the endstop.
#define Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of
the endstop.
#define Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of
the endstop.
#define X_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of
the endstop.
#define Y_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of
the endstop.
#define Z_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of
the endstop.
#define Z_MIN_PROBE_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic
of the probe.
```

La següent línia de codi és important, ja que determinarà que els eixos es moguen la distància concreta que volem. La variable `DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT`, indica el número de passos per mm que farà cada motor, tant els eixos X, Y i Z com de l'extrusor. Una forma senzilla d'ajustar estos paràmetres és connectar la impressora (ja

amb el firmware carregat i configurat) i mitjançant els menús de la pantalla, moure cada eix una determinada distància. Llavors, es mesura quina distància s'ha desplaçat realment l'eix (o la longitud de filament que s'ha extrudit) i per regla de 3 s'obté el valor real. Una volta canviat, es torna a carregar el firmware i ja es trobarà correctament configurat.

```
/**
 * Default Axis Steps Per Unit (steps/mm)
 * Override with M92
 *
 *                               X, Y, Z, E0 [, E1[, E2[, E3[, E4]]]]
 */
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 80, 80, 400, 100 }
```

Més avall, trobem la resta de paràmetres que afecten al moviment dels eixos. Les variables "INVERT_X_DIR" inverteixen la direcció dels motors en cas de que giren en sentit contrari, degut a com estan col·locats físicament en la impressora. De nou, es poden comprovar estes circumstàncies per assaig i error. En el nostre cas, va ser necessari invertir els eixos Y i Z. I el mateix per a l'extrusor.

```
// @section machine

// Invert the stepper direction. Change (or reverse the motor connector) if an
// axis goes the wrong way.
#define INVERT_X_DIR false
#define INVERT_Y_DIR true
#define INVERT_Z_DIR true

// @section extruder

// For direct drive extruder v9 set to true, for geared extruder set to false.
#define INVERT_E0_DIR false
#define INVERT_E1_DIR false
#define INVERT_E2_DIR false
#define INVERT_E3_DIR false
#define INVERT_E4_DIR false
```

També trobarem un dels paràmetres més determinants d'una impressora 3D: el tamany de l'espai d'impressió. En el nostre cas mesurarem manualment els eixos per obtenir l'espai on el broquet de l'extrusor és capaç d'arribar, tenint en compte que no pot eixir-se de la superfície del llit. Com ja hem dit, la forma del nostre espill ens permet aprofitar quasi tota l'àrea del llit, així que la nostra impressora serà capaç d'aconseguir un espai d'impressió de **200 x 200 x 200 mm**. Les dos línies següents evitaran que els eixos es moguen més enllà dels límits marcats, així que les deixarem des-comentades.

```
// @section machine

// Travel limits after homing (units are in mm)
#define X_MIN_POS 0
#define Y_MIN_POS 0
#define Z_MIN_POS 0
#define X_MAX_POS 200
#define Y_MAX_POS 200
#define Z_MAX_POS 200

// If enabled, axes won't move below MIN_POS in response to movement commands.
#define MIN_SOFTWARE_ENDSTOPS
// If enabled, axes won't move above MAX_POS in response to movement commands.
#define MAX_SOFTWARE_ENDSTOPS
```

La impressora té una opció en el menú que permet preescalfar tant l'extrusor com el llit, amb dos temperatures de referència diferents (per a PLA i ABS, per exemple). Des de la següent línia podem modificar eixos valors.

```
// @section temperature

// Preheat Constants
#define PREHEAT_1_TEMP_HOTEND 180
#define PREHEAT_1_TEMP_BED     60
#define PREHEAT_1_FAN_SPEED    0 // Value from 0 to 255

#define PREHEAT_2_TEMP_HOTEND 240
#define PREHEAT_2_TEMP_BED    110
#define PREHEAT_2_FAN_SPEED    0 // Value from 0 to 255
```

Finalment, podem configurar la pantalla LCD. Podem escollir l'idioma dels menús: en anglès, espanyol, català i molts més. Hem de seleccionar també la codificació dels caràcters. Més avall podem escollir entre un display basat en caràcters o un *Full Graphics*. Com sabem, el nostre és un display de 4 x 20 caràcters. Activarem, a més, el suport per a targetes SD. *Marlin* també ofereix opcions per canviar la velocitat amb què es desplacen els menús amb l'encòder, poder invertir el sentit de gir de l'encoder, canviar la freqüència i la duració del so de brunzidor (*buzzer*). Finalment, podrem escollir el model exacte de pantalla LCD a partir d'una llista detallada. En el nostre cas, des-comentarem la línia corresponent al *RepRapDiscount Smart Controller*.

```
// @section lcd

/**
 * LCD LANGUAGE
 */

#define LCD_LANGUAGE es

-----

/**
 * LCD Character Set
 *
 * - JAPANESE ... the most common
 * - WESTERN  ... with more accented characters
 * - CYRILLIC ... for the Russian language
 */
#define DISPLAY_CHARSET_HD44780 WESTERN

-----

/**
 * LCD TYPE
 */
#define ULTRA_LCD // Character based
// #define DOGLCD // Full graphics display

-----

/**
 * SD CARD
 *
 * SD Card support is disabled by default. If your controller has an SD slot,
 * you must uncomment the following option or it won't work.
 */
#define SDSUPPORT
```



```
// ENCODER SETTINGS
//
// This option overrides the default number of encoder pulses needed to
// produce one step. Should be increased for high-resolution encoders.
//
// #define ENCODER_PULSES_PER_STEP 1
//
// Use this option to override the number of step signals required to
// move between next/prev menu items.
//
// #define ENCODER_STEPS_PER_MENU_ITEM 5
//
// This option reverses the encoder direction everywhere.
//
// Set this option if CLOCKWISE causes values to DECREASE
//
#define REVERSE_ENCODER_DIRECTION
//
// This option reverses the encoder direction for navigating LCD menus.
//
// If CLOCKWISE normally moves DOWN this makes it go UP.
// If CLOCKWISE normally moves UP this makes it go DOWN.
//
// #define REVERSE_MENU_DIRECTION

```

```
// SPEAKER/BUZZER
//
// If you have a speaker that can produce tones, enable it here.
// By default Marlin assumes you have a buzzer with a fixed frequency.
//
// #define SPEAKER
//
#define LCD_FEEDBACK_FREQUENCY_DURATION_MS 50
// #define LCD_FEEDBACK_FREQUENCY_HZ 1000

```

```
// RepRapDiscount Smart Controller.
// http://reprap.org/wiki/RepRapDiscount_Smart_Controller
//
// Note: Usually sold with a white PCB.
//
#define REPRAP_DISCOUNT_SMART_CONTROLLER

```

Amb això, hem finalitzat la configuració del firmware *Marlin*. A continuació, només falta compilar i carregar el programa a la placa MEGA. Si tot va bé, al reiniciar la placa, ens trobarem amb el firmware carregat i preparat per a imprimir. Ara és el moment de comprovar que tots els paràmetres són correctes i que tot funciona com ho hauria de fer. En cas contrari, només faria falta modificar una altra vegada el *Marlin* i tornar a carregar-lo.

5.3. Repetier, Slic3r i primera impressió

Amb el *Marlin* configurat i carregat, és el moment de preparar tot el necessari per a realitzar la primera impressió. Com hem comentat en l'apartat 5.1., necessitem un software que convertisca els arxius STL a GCODE. Esta operació es pot realitzar directament mitjançant un *slicer* al qual se li introdueixen els paràmetres específics de la impressora. Però, en la pràctica, s'utilitza un software addicional que ja porta inclòs un *slicer* i que facilita la labor de configurar els paràmetres i preparar les peces. Alguns programes coneguts són *Cura*, **Repetier** o *Simplify3D*, i en moltes impressores

comercials s'utilitzen programes i *slicers* propis. Per a este projecte usarem el software *Repetier*, un programa gratuït i molt robust que ofereix moltes opcions de configuració. A més, inclou **Slic3r**, el programa filetejadador més utilitzat en l'actualitat.

Així doncs, procedirem a instal·lar el software *Repetier Host*, des de la web del fabricant. ^[37] La versió *Host* està pensada per treballar amb la impressora independent o a través d'una connexió sèrie. Existeix la versió *Repetier Server*, que proporciona ferramentes per connectar-se a través de wifi o bluetooth.

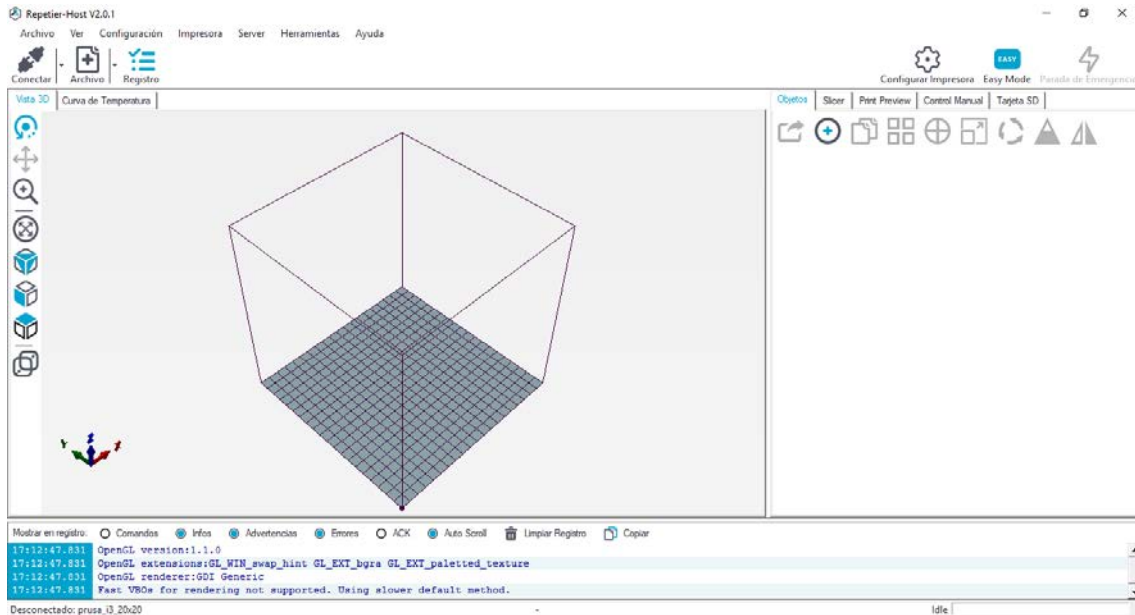


Figura 52. Interfície d'usuari del software *Repetier Host*. Font: pròpia.

La primera faena que hem de realitzar és configurar el perfil de la impressora. Per a això, entrarem en l'opció "*Configurar impressora*" i crearem un nou perfil al que anomenarem "Prusa i3 v1". En principi, es poden deixar la majoria d'opcions per defecte, ja que no tenim intenció de connectar-nos des del programa i els paràmetres més importants els aplicarem en els perfils d'impressió. L'única opció que hem d'assegurar-nos de modificar són les dimensions de l'espai d'impressió.

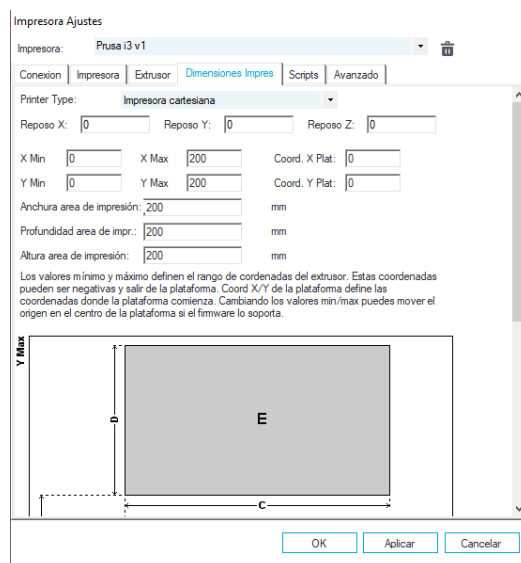


Figura 53. Menú de configuració de la impressora. Font: pròpia

Ara podem procedir a configurar els perfils d'impressió que utilitzarem per a les nostres peces. *Repetier* compta amb tres *slicers* diferents per defecte que podem escollir i dóna l'opció d'instal·lar-ne més. Nosaltres usarem *Slic3r*. Des de la pestanya "Slicer", entrem en el menú "Configuration". Ens trobem amb una pantalla en què tenim tres pestanyes, una per a cada element que anem a configurar: impressió, filament i impressora. Primerament, crearem un nou perfil per a cada pestanya, al que nomenarem "Prusa i3 v1".

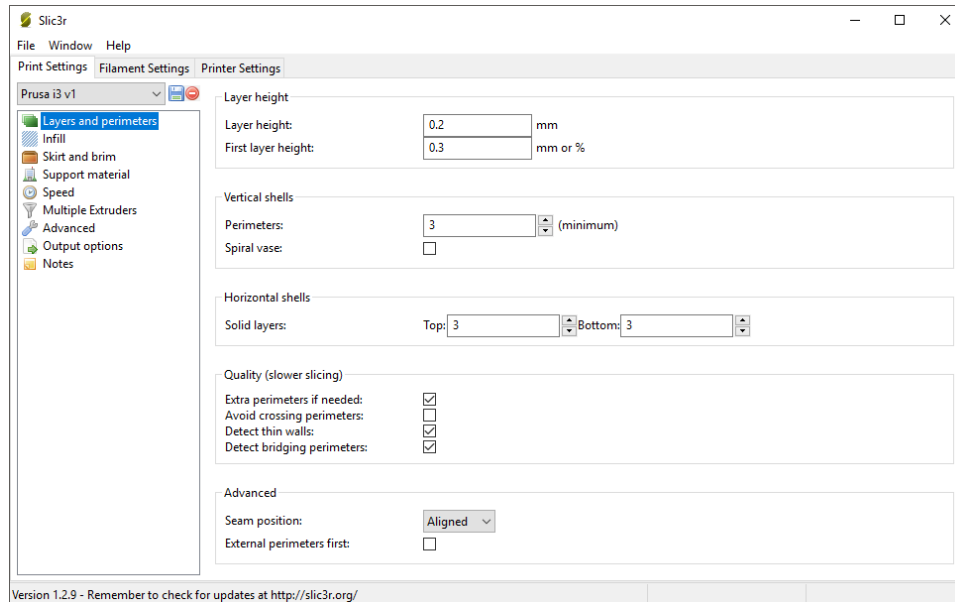


Figura 54. Menú de configuració dels perfils d'impressió. Font: pròpia

Es poden crear tants perfils com es necessite, depenent de la peça que es farà, de la qualitat desitjada, la resistència, etc. El perfil que anem a configurar és un perfil estàndard que serveix per a la majoria de peces. Existeixen una gran quantitat de paràmetres que es poden modificar, però que no suposen una diferència significativa en a qualitat percebuda. Els que llistarem corresponen a alguns dels paràmetres més importants, i seran els que ens preocuparem de canviar:

- Altura de capa: 0'2 mm
- Altura de la primera capa: 0'3 mm
- Pareds verticals: 3 perímetres
- Pareds horitzontals: 3 perímetres dalt i 3 baix
- Densitat d'emplenament: 15 %
- Patró d'emplenament: Rectilini
- Número de voltes en la falda: 2
- Diàmetre del filament: 1'75 mm
- Temperatura en l'extrusor: 210 °C en la primera capa i 200 °C en la resta
- Temperatura en el llit: 45 °C en la primera capa i 45 °C en la resta
- Mantenir ventilador de capa sempre encès
- Deshabilitar *auto-cooling*
- Velocitat del ventilador de capa: 100%
- Deshabilitar ventilador de capa per a les primeres 2 capes
- Offset en l'eix Z: 0
- Diàmetre del broquet: 0'4 mm
- Longitud de retracció: 3 mm
- Alçar Z: 0'25 mm

Finalment, ja tenim configurada la impressora i els perfils d'impressió, i ara procedirem a imprimir la primera peça. Per a provar com funciona el sistema, utilitzarem un model 3D molt conegut per la comunitat: el **3DBenchy**, un model amb forma de vaixell molt utilitzat per a realitzar proves, ja que resulta ideal per trobar errors o aspectes en què millorar. ^[38]



Figura 55. 3DBenchy imprès en 3D. Font: <https://www.thingiverse.com/thing:763622>

Així doncs, procedim a carregar el model 3D del 3DBenchy en *Repetier*, amb l'opció "Archivo". Després, en la pestanya "Slicer", seleccionem els perfils que acabem de crear i polsem en "Slice con Slic3r". Quan acabe de processar la peça, el resultat serà el següent:

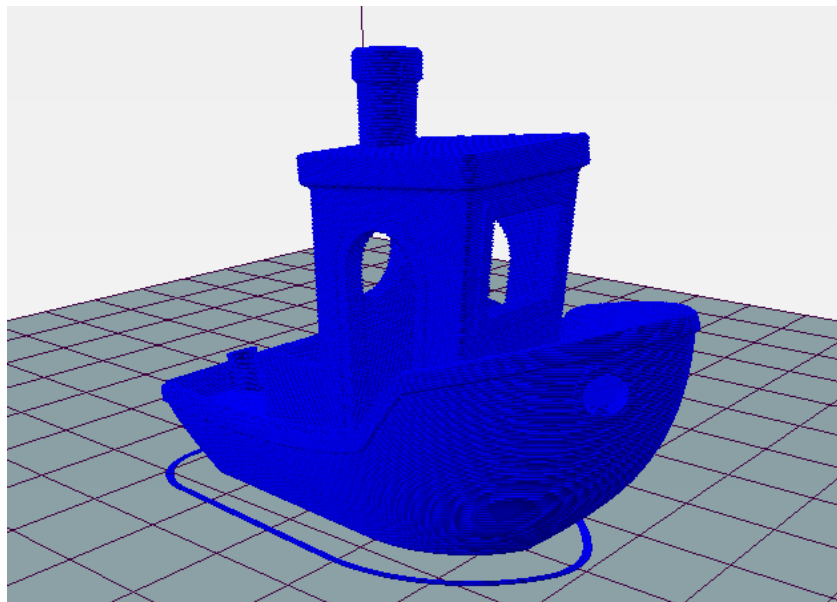


Figura 56. 3DBenchy després de passar per un *slicer*. Font: pròpia.

Com es pot veure, ha dividit el model 3D en capes de 0'2 mm d'altura. Si ens apropem, es poden veure els camins que ha traçat el *slicer*, que representen el recorregut que farà el broquet de l'extrusor. *Repetier* també dona l'opció de veure capes individuals o un ran de capes. Ara només ens queda seleccionar l'opció "Save for SD print" i guardar l'arxiu GCODE que s'ha generat en una targeta SD.

Finalment, connectem la nostra impressora 3D i col·loquem la targeta SD en la ranura. Abans d'imprimir, activarem l'opció "Precalentar PLA" des de la pantalla LCD. Quan la temperatura en l'extrusor haja arribat a 180 °C, podem introduir el filament en l'extrusor i deixar-lo preparat per a imprimir. Ara, per fi, podem entrar el menú de la targeta SD i seleccionar "3DBenchy.gco". La impressora, llavors, tornarà a l'origen de coordenades i escalfarà el *hotend* i el llit a la temperatura indicada. En eixe moment, és recomanable estendre una fina capa de laca de pèl o algun altre tipus d'adhesiu per tal de millorar l'adherència.

Una volta tot a la temperatura adequada, comença la impressió. El sistema comença dibuixa la falda; açò serveix per netejar el broquet de restes d'altres materials i preparat el material nou per tal de començar la peça amb un fil net i estable. En esta primera impressió tot va anar correctament, i la peça es va imprimir en 1 hora i 20 minuts. El resultat va ser el següent:



Figura 57. Resultat de la primera impressió. Font: pròpia

Com es pot observar, el resultat general és molt satisfactori, tot i que va ser necessari retirar alguns fils fins que van quedar en l'interior de la cabina. El major problema el trobem clarament en el casc de proa. Mentre s'imprimien les primeres capes, la punta de la proa poc a poc començava a alçar-se, cosa que ha provocat este efecte ondulat en el casc fins quasi el final, on va començar a estabilitzar-se. No obstant això, no és un problema que no es puga solucionar amb una bona calibració o amb un ventilador de capa. A més, en la resta de la peça es pot apreciar una bona definició. Es pot dir que el resultat final té una bona qualitat, comparable a la de qualsevol impressora comercial de gama mitjana.

6. Sistema de monitoratge per wifi

6.1. Anàlisi d'alternatives

Un dels principals problemes que tenen les impressores 3D actuals és que, pel general, les impressions de peces mitjanes solen ocupar hores. A més, els models d'escriptori comuns són susceptibles a errors que poden provocar que tota una peça es torne inservible. El problema és que si una impressió falla, no es deté, sinó que continua fins que acabe totes les capes. I això, en impressions llargues, significa malgastar una quantitat enorme de filament i la possibilitat de que es produïsquen embossos i averies. Per tot això, és necessari, o al menys recomanable, vigilar periòdicament les impressions per comprovar que tot va correctament. Però això no sempre és possible.

Per solucionar este problema, hem decidit instal·lar un sistema que ens permeta conèixer en tot moment l'estat d'una impressió i controlar la impressora sense necessitat d'estar físicament junt a ella per vigilar-la. Este sistema hauria de ser capaç de funcionar siga o siga que ens trobem, i donar-nos l'oportunitat d'iniciar, pausar o parar impressions en qualsevol moment. A més, hauria de ser possible veure en temps real a través d'una càmera si la impressió s'està realitzant correctament.

Una forma de fer possible açò, i la que es va considerar en un primer moment, va ser la següent: usar un Arduino UNO, o algun altre tipus de microcontrolador i connectat a una càmera. Llavors, connectar el controlador a la xarxa wifi local i crear un servidor web que mostre les imatges de la càmera en *streaming*. A més, este servidor hauria d'oferir opcions per controlar les impressions: com a mínim, pausar i parar, per la qual cosa hauria d'estar connectat a través del port sèrie a l'Arduino MEGA de la impressora i enviar-li comandos per tal de controlar-la.

Esta va ser la idea inicial: un Arduino UNO, un mòdul wifi ESP8266 i una càmera VGA de 640x480 píxels model OV7670, compatible amb Arduino. Tot este sistema comportava molts problemes. El Arduino UNO no era suficientment potent per processar la imatge d'eixa càmera; hauria sigut necessari una càmera semblant a eixa, però amb una buffer FIFO que ajudara a processar totes les dades de la càmera. D'altra banda, usar este tipus de càmera feia que la faena de programar i testejar fóra molt difícil, ja que no hi havia forma de comprovar les imatges provinents de la càmera sense algun tipus de pantalla o client d'escriptori que rebera les imatges, cosa que complicaria escara més el sistema. Usar una webcam comú no era una opció, degut a què tornem al fet de què l'Arduino UNO no és suficientment potent per al vídeo en streaming i usar un ordinador que controlara la càmera no tenia massa sentit. A més, això provocaria haver d'usar dos sistemes diferents per a un mateix propòsit: un per veure les imatges i un altre per enviar comandos a la placa MEGA. Usar una càmera IP evitava haver d'usar un ordinador per a la càmera, ja que les imatges serien fàcilment accessibles a través de serveis web. El problema de tenir dos sistemes separats tampoc es soluciona i, encara que ho considerem acceptable, seguim estant limitats quant a les accions de control que podem efectuar.

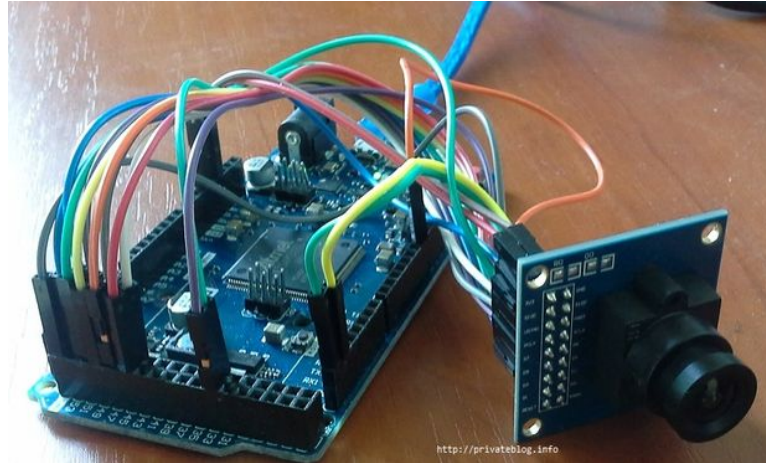


Figura 58. Càmera OV7670 connectada a un Arduino Due. Font:
<http://www.instructables.com/id/How-to-Connect-OV7670-to-Arduino-Due/>

Tot açò feia que la alternativa d'un sistema Arduino + càmera / webcam + servidor web wifi fóra una opció complicada de dissenyar, programar i testejar, i no resultava còmoda ni elegant. Una possible solució podria ser usar un microcontrolador més potent que suportara tot el sistema de servidor web i *streaming* com, per exemple Raspberry Pi. Llavors, investigant sobre les possibilitats d'un sistema d'estes característiques, ens trobem amb **Octopi**.^[39]

Octopi és una distribució de Raspberry Pi pensada per a impressores 3D. Està composta per Octoprint, un software que, connectat via USB a la impressora, actua com a Host i permet control total sobre totes les seues funcions. Compta també amb MJPG-streamer, un programa capaç de controlar càmeres i crear servidors de vídeo en *streaming*. Inclou fins i tot el Cura Engine 15.04, un conegut *slicer* que permet processar models 3D directament en la Raspberry Pi, sense necessitat d'un ordinador.

Esta és, sens dubte, la millor opció per al sistema que estem buscant. Té totes les característiques que desitjàvem: un sistema simple que incloga *streaming* de vídeo en temps real i control sobre totes les funcions de la impressora via servidor web, tant wifi com Ethernet (depenent del model de Raspberry Pi), tot en un únic lloc. La idea es torna més interessant si s'utilitza una **Raspberry Pi Zero W**. Es tracta d'un dels models més assequibles i compactes de tota la família Raspberry, i inclou connexions wifi i bluetooth integrades, amb un consum d'energia molt baix.

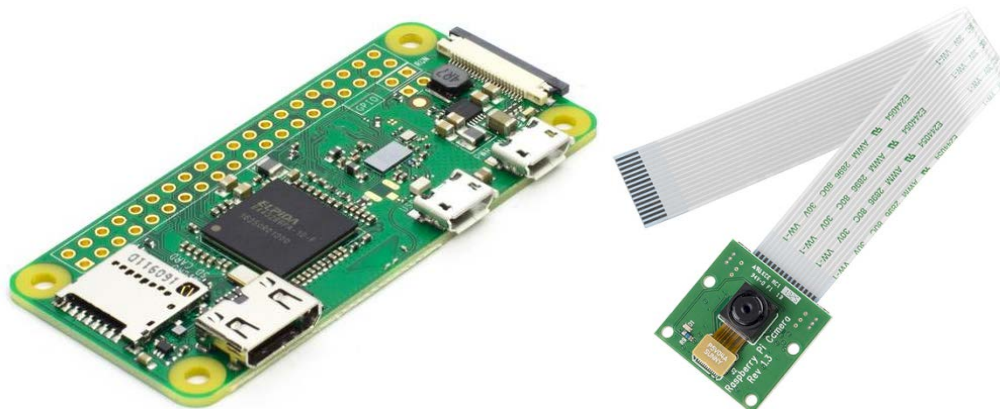


Figura 59. Raspberry Pi Zero W i mòdul de càmera. Fonts:
<https://shop.pimoroni.com/products/raspberry-pi-zero-w>, <https://electronilab.co/tienda/camara-para-raspberry-pi-5mp/>

6.2. Sistema de monitoratge en xarxes wifi locals

Ara que hem decidit com serà el nostre sistema, toca posar-lo en marxa. El procediment és molt senzill, només s'ha d'instal·lar la imatge d'Octopi en la Raspberry. Per a això, descarreguem la imatge des de la web dels desenvolupadors i obtenim l'arxiu .img que hem de carregar. Una Raspberry Pi no es més que un ordinador en miniatura, però en este cas, el disc dur es substitueix per una targeta microSD, Així, disposem una targeta de 8 GB on carregarem la imatge, que després connectarem a la Raspberry. Per a això necessitarem un programa con DAEMON Tools o UltraISO. En el nostre cas, usarem una aplicació gratuïta anomenada Rufus. ^[40] Seleccionem la SD i maquem l'opció "Imagen DD".

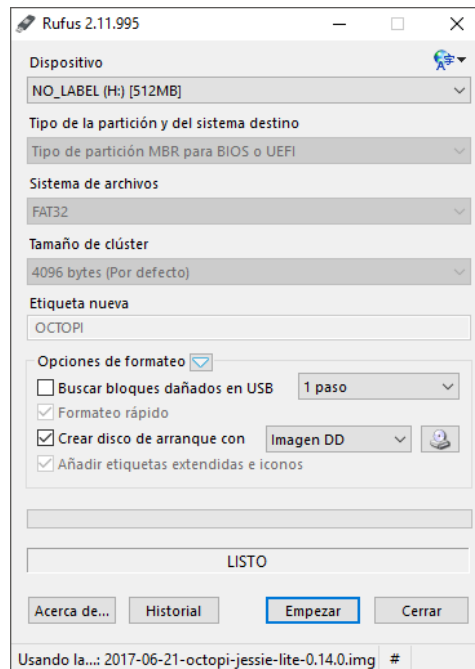


Figura 60. Interfície d'usuari de Rufus 2.11. Font: pròpia.

Una volta finalitzat, el programa crearà diferents particions en la SD. Ara ens dirigirem a l'Administrador de discs de Windows, convertirem en activa la partició *boot* de la SD i li assignarem una lletra per poder accedir a ella. Dins d'esta partició, buscarem l'arxiu "*octopi-network.txt*". Este arxiu conté la configuració de la xarxa wifi que utilitzarà el sistema operatiu. Per tant, hem d'introduir les dades de la nostra xarxa wifi i descomentar l'apartat corresponent, depenent del tipus de seguretat que presente.

```
## WPA/WPA2 secured
iface wlan0-octopi inet manual
    wpa-ssid "NOM_DE_LA_XARXA"
    wpa-psk "CONTRASSENYA"
```

A continuació, guardem l'arxiu i connectem la targeta SD a la Raspberry. En este moment, ja podem tancar la placa en la seua carcassa i connectar el cable d'alimentació, el cable USB de la impressora i la càmera. A més, connectarem un cable HDMI amb un adaptador mini-HDMI a un monitor per observar si el sistema s'inicia correctament.



Figura 61. Raspberry Pi Zero W en la carcassa amb la càmera i les connexions. Font: pròpia

La Raspberry s'inicia amb una típica consola de Linux. Donat que només té dos ranures micro-USB i estan les dos ocupades, no podem connectar un teclat per introduir canvis, per exemple. Per tant, ens connectarem a la placa via SSH amb un ordinador i el software PuTTY. Per defecte, Octopi utilitza la direcció IP 192.168.1.250 i el port 22. Alternativament, es pot utilitzar la direcció "octopi.local", però en Windows presenta alguns problemes. Al connectar-nos, ens demanarà un usuari i una clau, que per defecte són "pi" i "raspberrypi", respectivament. El primer que farem serà canviar esta clau amb l'ordre "passwd".

```

pi@octopi: ~
login as: pi
pi@192.168.1.100's password:

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Tue Sep  5 18:15:52 2017 from acer

-----
Access OctoPrint from a web browser on your network by navigating to any of:

    http://octopi.local
    http://192.168.1.100

https is also available, with a self-signed certificate.
-----
This image comes without a desktop environment installed because it's not
required for running OctoPrint. If you want a desktop environment you can
install it via

    sudo /home/pi/scripts/install-desktop
-----
OctoPrint version : 1.3.4
OctoPi version    : 0.14.0
-----
pi@octopi:~$

```

Figura 62. Consola d'Octopi via SSH. Font: pròpia.

Una volta fet açò estem llestos per entrar en l'interfície d'usuari d'OctoPrint. Obrim el navegador d'Internet i entrem en la pàgina <http://192.168.1.250/>. El primer que farem serà crear un compte d'usuari i una contrasenya. Finalment, connectem la impressora i ja estem preparats per començar a imprimir.

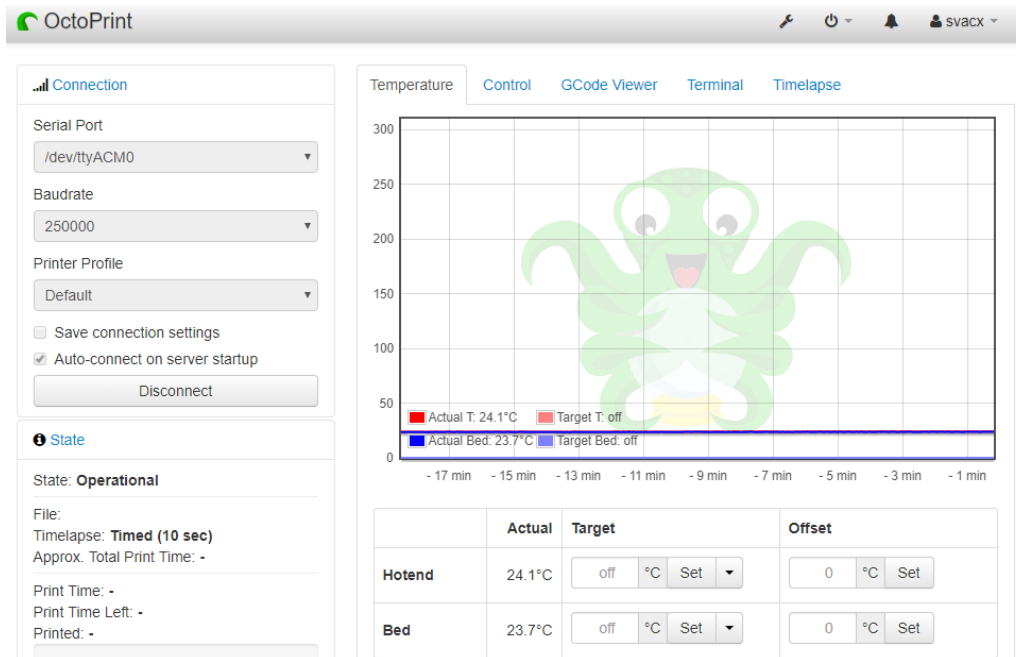


Figura 63. Interfície d'usuari d'OctoPrint. Font: pròpia.

Com podem veure, OctoPrint ens permet controlar els moviments dels motors, les temperatures, treballar amb els arxius de la targeta SD, modificar-los, carregar-ne de nous, iniciar, pausar i parar impressions i el més important: el control per càmera. Una característica interessant, és que és possible gravar les impressions i crear *time-lapses*. En definitiva, OctoPrint compleix totes les nostres expectatives.

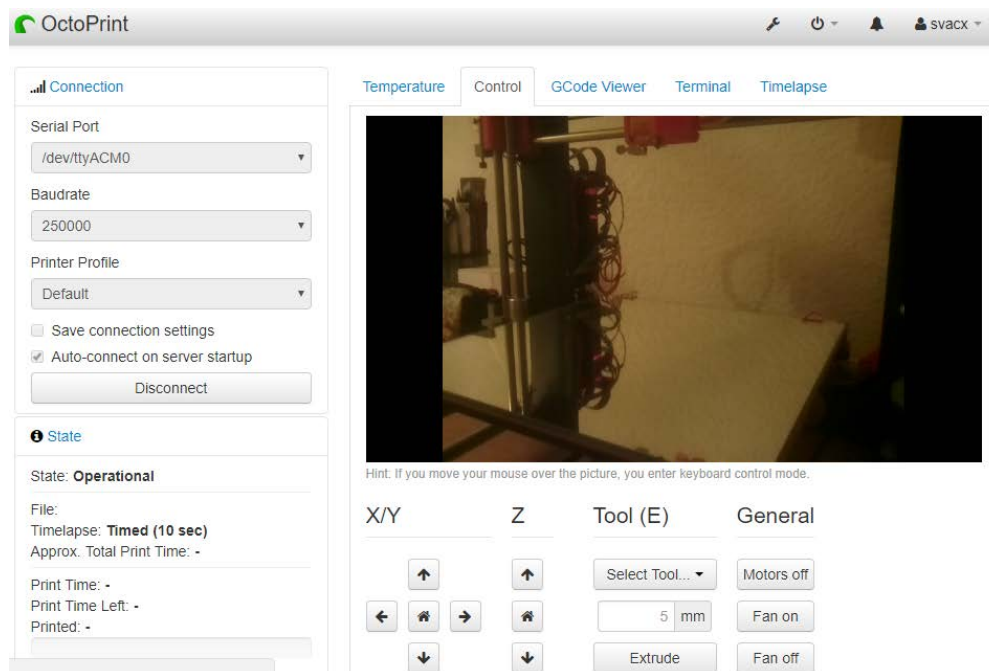


Figura 64. Pestanya de control per càmera en OctoPrint. Font: pròpia.

6.3. Configuració d'accés per a xarxes externes

No obstant això, OctoPrint només funciona quan l'ordinador o el telèfon mòbil que ho controla està connectat en la mateixa xarxa wifi. Açò, per tant, no soluciona el problema inicial: si hem de sortir de casa mentre deixem una impressió llarga a mitges, seguim sense tenir cap forma de controlar-ho. Per tant, el que farem serà configurar el sistema per fer-lo accessible des de qualsevol lloc. ^[41]

En la majoria de xarxes wifi domèstiques, ens trobem amb un mòdem i un enrutador (en ocasions, es troben en el mateix aparell). L'enrutador s'encarrega de donar-li a cada dispositiu connectat a la xarxa una direcció IP diferent mitjançant el sistema automàtic DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*). Habitualment, estes direccions assignades solen tenir el format 192.168.0.x o 192.168.1.x. Quan un dispositiu es troba desconnectat de la xarxa un temps determinat, perd la seua direcció IP i, quan torna a connectar-se, en rep una de nova (este procés s'anomena *leasing*). Per fer que un dispositiu tinga sempre la mateixa direcció IP quan es connecta, es poden configurar reserves de direccions. Per fer això, es vincula la direcció IP a la direcció MAC del dispositiu desitjat i, llavors, eixa direcció queda reservada i només se li podrà assignar a eixe dispositiu quan es connecte.

Una característica que hem de tenir en compte és que este procés es realitza totalment de forma interna en eixa xarxa. Les direccions IP dels dispositius només són accessibles des de l'interior de la xarxa i, en principi, fora d'ella no hi ha forma d'accedir a eixos dispositius. El mòdem és l'encarregat de fer de nexa entre la Internet i la xarxa local. Per a això, el mòdem crea una direcció IP externa, de tal forma que des de qualsevol lloc es pot accedir al mòdem mitjançant eixa direcció IP externa, però això no ens portarà a un dispositiu concret de dins de la xarxa. El problema que hi ha és que les xarxes domèstiques (a diferència de les empresarials, per exemple), tenen direccions IP dinàmiques, és a dir, que varien contínuament. Per tant, si voldríem accedir a la nostra xarxa local, hauríem de saber en tot moment quina direcció té i estar atents a quan canvie.

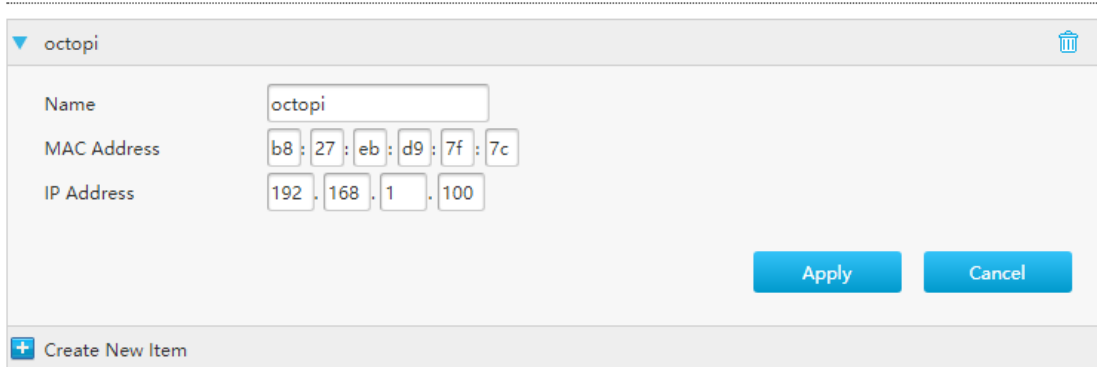
Per evitar este problema, existeix el servei DNS (*Domain Name Service*). Este servei s'encarrega d'assignar un nom a cada direcció IP (*google.com*, *upv.es*, etc.), de tal forma que no hem de recordar la direcció numèrica. Quan escrivim el nom d'una pàgina, accedim a un servidor DNS que, gràcies a uns registres que guarda, tradueix eixe nom en una direcció IP.


Tot este sistema es pot utilitzar per accedir a un dispositiu de la nostra xarxa local, com la Raspberry Pi. Els passos que hem de seguir són:

- Efectuar una reserva d'una IP local per a la nostra Raspberry Pi.
- Utilitzar un servei online de DNS que ens traduïska la nostra IP externa en un nom fàcil de recordar.
- Configurar l'anomenat *port forwarding*. Utilitzarem el port habitual per al tràfic d'Internet, el port 80, per accedir a la Raspberry. D'eixa forma, quan accedim al nom que correspon a la direcció IP externa de la nostra xarxa (per defecte, a través del port 80), ens redireccionarà a la IP local de la Raspberry.

Estos passos varien dependent del model de mòdem, però són molt semblant. En el nostre cas, entrarem en l'opció *DHCP Binding* i efectuarem una reserva de la direcció 192.168.1.100 per a la direcció MAC de la Raspberry.

▼ DHCP Binding



octopi 

Name: octopi

MAC Address: b8 : 27 : eb : d9 : 7f : 7c

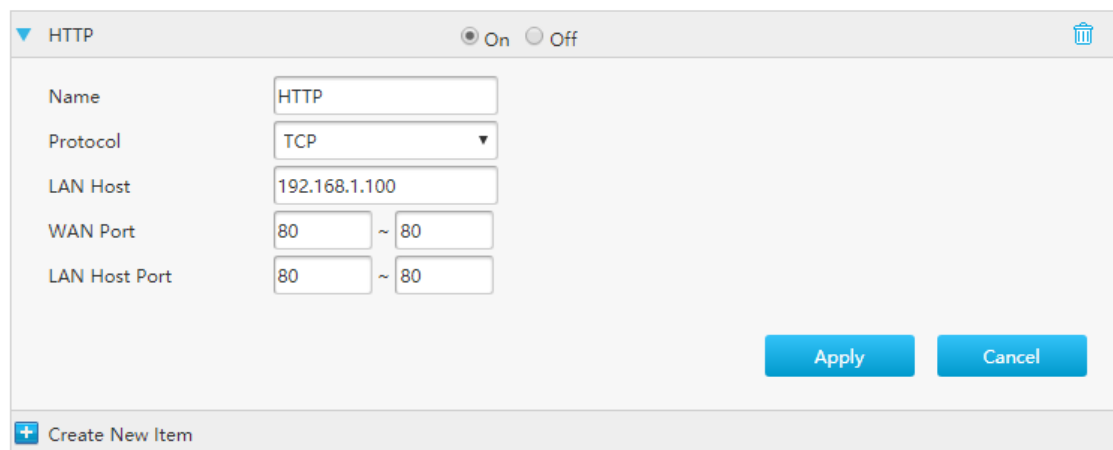
IP Address: 192 . 168 . 1 . 100


Figura 65. Configuració de reserva de direcció IP. Font: pròpia.

Al mateix temps, configurarem el *port forwarding* per al servei HTTP a través del port 80 a la direcció 192.168.1.100.

▼ Port Forwarding

[What should be noticed when configuring port forwarding?](#)



HTTP On Off 

Name: HTTP

Protocol: TCP

LAN Host: 192.168.1.100

WAN Port: 80 ~ 80

LAN Host Port: 80 ~ 80

Figura 66. Configuració del *port forwarding*. Font: pròpia.

Finalment, accedirem al servei online *noip.com* i triarem un nom i un domini per a la nostra "pàgina web". El nom que hem escollit és "*svacx.ddns.net*". L'última cosa que hem de fer és enviar a este servei la nostra direcció IP externa, i mantenir-la actualitzada cada volta que canvie. Ho ha una forma d'aconseguir que la Raspberry faça tot este procés automàticament. Es tracta d'instal·lar un client d'actualització dinàmica (DUC) que proporciona la el propi servei *noip.com*. En la seua pàgina web podem trobar les instruccions per instal·lar este client en la Raspberry, mitjançant simplement un conjunt d'ordres per consola.^[42] Açò ho podem fer connectant-mos via SSH a la Raspberry, com hem fet anteriorment.

Una volta fet açò, el sistema s'encarregarà d'actualitzar automàticament la direcció IP de la xarxa, i ja podem accedir sempre al sistema d'OctoPrint a través de la nostra direcció personalitzada des de qualsevol lloc, amb qualsevol dispositiu.

7. Proves, experiments i millores

Des de la primera impressió, s'ha intentat trobar formes de millorar la impressora en tots els aspectes i provar fins on és capaç d'arribar. La primera millora que s'ha volgut incorporar és la instal·lació d'un **ventilador de capa**. L'objectiu d'este ventilador és proporcionar un flux d'aire localitzat en aquells punts de la impressió que ho necessiten. Açò permet accelerar el refredament de les capes i reduir així el risc d'irregularitats. El ventilador que s'usarà serà un ventilador simple de 12 V i 40 x 40 x 10 mm. Per a instal·lar-lo, ha sigut necessari dissenyar un suport específic, ja que cap dels dissenys disponibles en Internet s'adaptaven al que es necessitava.

El primer disseny que es va provar tenia alguns problemes importants. Encaixava de forma molt ajustada en el seu lloc, i això provocava que estiguera molt flexionat. Tot el model, en general, era molt voluminós i, degut a un mal disseny, gastava més plàstic del que era necessari. A més, es va cometre l'error d'usar suports que després resultava quasi impossible retirar. L'obertura per on sortia l'aire tampoc estava ben orientada i tot això provocava que fora molt ineficient. A continuació es pot veure el disseny millorat, que solucionava tots els problemes del primer i tardava una hora menys en imprimir-se.

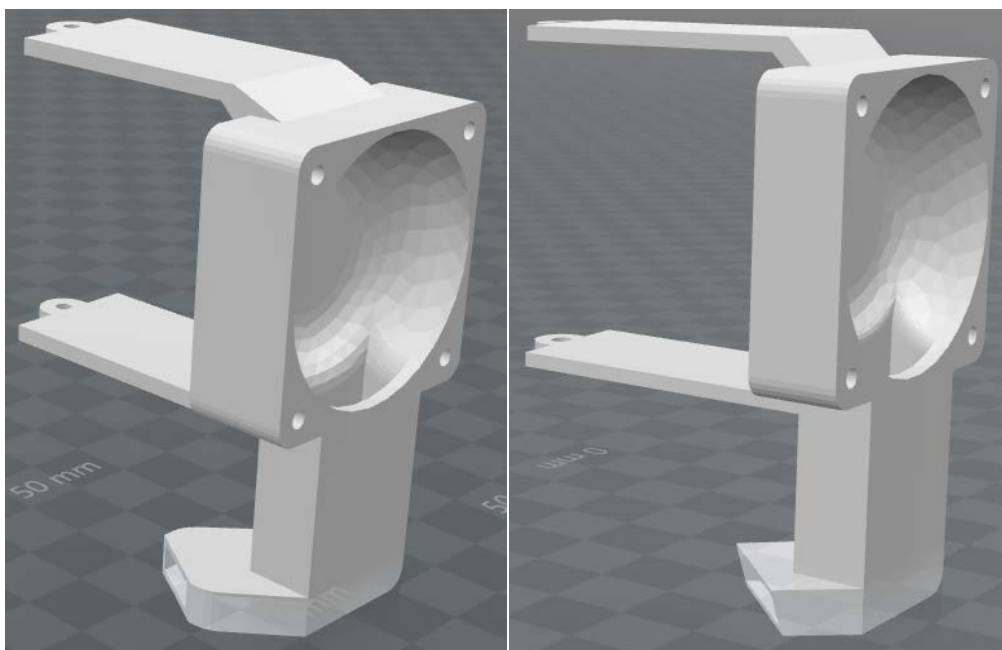


Figura 67. Models 3D del *fan-holder_1.0.stl* i *fan-holder_2.0.stl*. Font: pròpia

Una volta instal·lat el ventilador, es va procedir a imprimir un 3DBenchy de prova. Els resultats obtinguts van ser molt satisfactoris. Es pot apreciar com en el segon intent, tot i que no és perfecte, la peça comença a estabilitzar-se molt abans i les ondulacions tan pronunciades el primer intent ja no es produïen, encara que sí que s'apreciaven unes lleugeres ondulacions en les capes baixes.



Figura 68. Comparativa entre la primera i la segona impressió del 3DBenchy. Font: pròpia

La següent millora que es va dissenyar és una carcassa per a la font d'alimentació. Prenent referències del model de la *i3 MK2*, però canviant completament el disseny, es va arribar al següent:

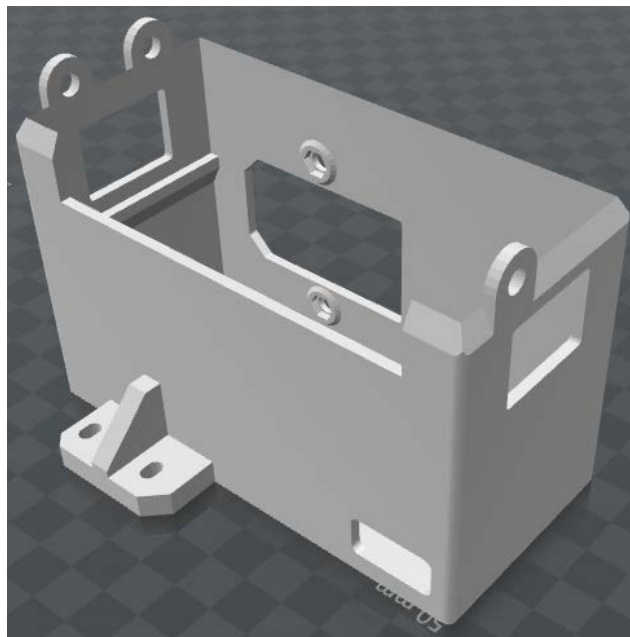


Figura 69. Model 3D de la *PSU-cover_1.0.stl*. Font: pròpia

Malauradament, va haver un error a l'hora de prendre les mesures i la peça (que, per cert, va tardar molt de temps i va utilitzar més plàstic del necessari) va resultar ser més curta i la font d'alimentació no encaixava correctament. Per sort, es va poder solucionar fent uns talls en la part frontal de la peça. Després, per fixar la font en el seu lloc, es van taladrar dos forats amb la Dremel en el marc d'alumini i es va fixar amb dos caragols. Això va fer que l'estructura resultara molt més rígida. També es va fixar l'interruptor en el seu lloc i es van reconnectar tot el cablejat. Este és el resultat final;



Figura 70. Font d'alimentació amb la carcassa. Font: pròpia.

A continuació, es va decidir instal·lar un sistema per tal de eliminar la necessitat d'un transformador addicional per alimentar la Raspberry Pi. La idea era utilitzar un regulador de 12 a 5 V connectat a la font d'alimentació que proporcionara el corrent necessari per al seu funcionament.



Figura 71. Regulador de voltatge LM2596. Font: <https://www.addicore.com/lm2596-module-p/ad281.htm>

Es va escollir el model LM2596 ja que era molt econòmic i oferia una regulació que s'adaptava perfectament al que es necessitava. A més, és capaç de proporcionar 2 A i fins a 3 A amb dissipador de calor, així que se li va acoblar un dels dissipadors sobrants dels *drivers*. Amb l'ajuda d'un multímetre es va ajustar la tensió de sortida a 5 V. Llavors se li van soldar els cables d'entrada, i com a cables de sortida es van usar els cables d'alimentació i massa d'un cable USB reciclat. Finalment, es va fixar el regulador en la base de la carcassa de la font i es va tornar a connectar. En un primer intent, es va connectar incorrectament i el regulador va quedar inservible. En el segon intent, amb un nou regulador, el sistema funcionava perfectament.,

8. Projectes futurs

Com ja hem dit en alguna altra ocasió, una impressora 3D és un projecte que mai acaba d'estar complet del tot. Sempre hi ha un marge per a la millora i per a l'experimentació.

Una modificació que es pretenia aplicar en este projecte era el disseny d'un sistema que protegira les impressions contra caigudes de tensió. Actualment, les impressores són completament vulnerables a caigudes de tensió i que una impressora s'apague significa perdre tota la impressió, ja que al recuperar l'alimentació, tot el sistema es reinicia. La idea era instal·lar una bateria de tipus *power bank* de 5V que es carregue contínuament amb la sortida del regulador i que, al mateix temps, connectat a l'interruptor principal de la font d'alimentació, alimente la Raspberry Pi. D'eixa forma, en cas d'una baixada de tensió o e què es desconnecte la regleta de la impressora, la bateria seguirà alimentant la Raspberry Pi, ja que l'interruptor principal seguirà activat. I de la mateixa manera, quan apaguem la impressora de forma normal, s'apagarà tot el sistema.

Degut a què la Rapsberry Pi està connectada a la Impressora a través d'un cable USB, la placa MEGA també estaria alimentada, per la qual cosa la impressora no perdria tot el progrés de la impressió. Com la RAMPS ja no rebria els 12 V d'alimentació, els motors, l'extrusor i el llit no funcionarien, o ho farien de forma erràtica. Però, durant eixe temps, tindríem la oportunitat de pausar la impressió i salvar la peça fins que torne el subministrament elèctric.

El problema d'este sistema és que el corrent recomanat per a l'alimentació de la Raspberry és aproximadament 1 A, i l'Arduino MEGA també consumiria corrent. Això provocaria que necessitàrem una bateria que poguera treballar en eixes corrents contínuament, sense afectar a la seua vida útil, cosa que complica el sistema.

9. Pressupost

A continuació s'ofereix la llista completa de materials utilitzats durant el projecte, desglossats en diferents categories:

- **Materials bàsics:** S'inclouen aquells components que hagen sigut substituïts per trencament o per motius de redisseny, sinó només aquells materials necessaris per a construir un prototip funcional. Els costos que es detallen corresponen al preu unitari final de cada component, sense tenir en compte descomptes, si van ser adquirits per lots o si va ser necessari adquirir més unitats que finalment no foren utilitzades.

Descripció de l'article	Quantitat	Preu unitari	Preu total
Marc d'alumini per a Prusa i3 negre	1	49,95 €	49,95 €
Barra roscada trapezoïdal M8 x 350 mm amb rosca M8 x 320 mm (2 unitats) M8 x 330 mm (2 unitats) M8 x 370 mm (2 unitats)	2	12,93 €	25,86 €
Joc de barres llises d'acer inoxidable M8 x 200 mm (4 unitats) M8 x 350 mm (2 unitats)	1	6,00 €	6,00 €
Joc de barres roscades	1	1,81 €	1,81 €
Rodament lineal LM8UU 8 mm	10	0,85 €	8,50 €
Polítja corretja GT2 20 dents 6 mm	2	1,60 €	3,20 €
Polítja motor GT2 16 dents 6 mm	2	3,39 €	6,78 €
Corretja GT2 1 m	2	3,39 €	6,78 €
Acoblador flexible motor 5 / 8 mm	2	3,39 €	6,78 €
Caragols, rosques i volanderes	1	5,00 €	5,00 €
Placa MEGA 2650 (compatible amb Arduino)	1	13,53 €	13,53 €
Placa RAMPS v1.4	1	10,35 €	10,35 €
Motor pas a pas NEMA 17 4'28 kg 17HS4401	4	10,70 €	42,80 €
Driver Stepstick A4988 + Dissipador	4	1,99 €	7,96 €
Final de cursa mecànic	3	0,48 €	1,44 €
Extrusor MK8 acoblat amb broquet de 0'3 mm	1	28,90 €	28,90 €
Suport metàl·lic motor NEMA 17	1	2,45 €	2,45 €
Ventilador 12 V 40 x 40 x 40 mm	1	1,88 €	1,88 €
Llit calent MK2B	1	6,25 €	6,25 €
Espill 300 x 300 x 3 mm	1	1,75 €	1,75 €
Molls	4	0,34 €	1,36 €
Termistor NTC 100 kΩ	1	1,59 €	1,59 €
Font d'alimentació 12 V 30 A 360 W	1	25,90 €	25,90 €
Connector interruptor 220V tipus C14	1	3,95 €	3,95 €
RepRapDiscount Smart Controller LCD	1	16,64 €	16,64 €
		Subtotal	287,41 €

- **Sistema de control wifi:** En esta secció es detallen els costos corresponents al sistema de control wifi i tots els seus components.

Descripció de l'article	Quantitat	Preu unitari	Preu total
Raspberry Pi Zero W Starter Kit	1	26,00 €	26,00 €
Mòdul de càmera Raspberry Pi	1	15,99 €	15,99 €
Targeta microSD de 8 GB	1	6,88 €	6,88 €
Convertidor DC 3A 1,25-32V LM2596 Step-Down	1	1,35 €	1,35 €
		Subtotal	50,22 €

- **Elements auxiliars:** En esta part es llisten els element auxiliars, és a dir, totes aquelles ferramentes o components que no han sigut utilitzats íntegrament en el projecte, sinó només de forma parcial, com ferramentes, bobines de cables o cintes.

Descripció de l'article	Quantitat	Preu unitari	Preu total
Cable Hi-Fi 2x1,5 Negre/Roig 5 m	1	3,10 €	3,10 €
Cinta tèrmica 20 mm Kapton	1	3,79 €	3,79 €
Separador hexagonal M3 10 mm mascle/femella	5	0,30 €	1,50 €
Separador hexagonal M3 25 mm mascle/femella	5	0,40 €	2,00 €
Tallavidres	1	3,40 €	3,40 €
Pack 3 m tub termoretràctil 5 colors	1	2,59 €	2,59 €
Pasta tèrmica adhesiva 10 g	1	2,95 €	2,95 €
Paquet de pinzes metàl·liques menudes	1	0,99 €	0,99 €
Paquet de 50 brides de 2'5 x 100 mm	1	0,84 €	0,84 €
Bobina de PLA 1'75 mm 1 kg color roig	1	15,99 €	15,99 €
Bobina de PLA 1'75 mm 1 kg color blanc	1	15,99 €	15,99 €
		Subtotal	53,14 €

- **Recanvis, sobrants i components descartats:** En este punt, apareixen els materials addicionals que van ser adquirits però finalment no van ser utilitzats o no formen part directament de l'impressora: això inclou recanvis, components descartats o trencats, etc.

Descripció de l'article	Quantitat	Preu unitari	Preu total
M8 x 320 mm (2 unitats)			
M8 x 330 mm (1 unitat)			
M8 x 370 mm (2 unitats)			
Joc de barres llises de ferro	1	10,43 €	10,43 €
M8 x 310 mm (2 unitats)			
M8 x 330 mm (1 unitats)			
Joc de barres llises d'acer inoxidable	1	3,00 €	3,00 €
Rodament lineal LM8UU 8 mm	2	1,43 €	2,86 €
Polítja corretja GT2 20 dents 6 mm	3	1,60 €	4,80 €
Motor pas a pas NEMA 17 4'28 kg 17HS4401	1	10,70 €	10,70 €
Driver Stepstick A4988 + Dissipador	5	2,84 €	14,20 €
Espill 300 x 300 x 3 mm	3	1,75 €	5,25 €
Rodament amb pestanya f624zz 4 x 13 x 5 mm	2	1,00 €	2,00 €
Rodament 624zz 4 x 13 x 5 mm	5	0,54 €	2,70 €
Convertidor DC 3A 1,25-32V LM2596 Step-Down	2	1,35 €	2,70 €
Ventilador 12 V 30 x 30 x 10 mm	1	2,29 €	2,29 €
Mòdul Wifi ESP8266	1	2,38 €	2,38 €
Càmera VGA 640x480 OV7670	1	5,90 €	5,90 €
Jack alimentació DC 2.1 x 5.5mm Mascle	1	1,00 €	1,00 €
		Subtotal	70,21 €

- Peces impreses en 3D:** Finalment, es detalla el preu aproximat de cada una de les peces impreses en 3D, tenint en compte les estimacions de filament utilitzat i el preu del material, juntament amb una estimació del temps d'impressió, la longitud del filament i el pes. Es fa esta distinció ja que la majoria d'estes peces es van realitzar en el laboratori d'impressió 3D de l'ETSID de forma gratuïta. No obstant això, es pretén saber el cost final total en cas de voler construir un prototip, per la qual cosa s'inclouran estos elements en el cost total.

Descripció de la peça	Material	Duració	Longitud	Pes	Preu unitari	Preu total
Y-belt-holder	Z-HIPS	2 h 03'	4,52 m	11 g	0,060 €/g	0,66 €
Y-corners (4)	Z-HIPS	8 h 00'	18,00 m	45 g	0,060 €/g	2,70 €
Y-distance	Z-HIPS	0 h 24'	1,20 m	3 g	0,060 €/g	0,18 €
Y-idler	Z-HIPS	1 h 01'	2,82 m	7 g	0,060 €/g	0,42 €
Y-motor	Z-HIPS	1 h 42'	3,93 m	10 g	0,060 €/g	0,60 €
PSU-Y-part	Z-HIPS	1 h 53'	5,17 m	13 g	0,060 €/g	0,78 €
Z-axis-bottom	Z-HIPS	4 h 50'	13,25 m	33 g	0,060 €/g	1,98 €
Z-axis-top	Z-HIPS	2 h 40'	6,65 m	16 g	0,060 €/g	0,96 €
spool holdahMK3	Z-HIPS	4 h 26'	4,78 m	12 g	0,060 €/g	0,72 €
X-end-idler_1.0	Z-HIPS	5 h 27'	11,37 m	28 g	0,060 €/g	1,68 €
X-end-motor_1.0	PLA	2 h 36'	15,36 m	18 g	0,016 €/g	0,29 €
X-carriage	PLA	1 h 51'	9,06 m	10 g	0,016 €/g	0,16 €
LCD-hinge	PLA	0 h 19'	1,70 m	2 g	0,016 €/g	0,03 €
LCD-holder	PLA	0 h 59'	5,47 m	7 g	0,016 €/g	0,11 €
Z-endstop-adjuster	Z-HIPS	0 h 38'	2,07 m	5 g	0,060 €/g	0,30 €
Z-endstop-holder	Z-HIPS	0 h 59'	2,72 m	7 g	0,060 €/g	0,42 €
fan-holder_2.0	PLA	1 h 12'	6,06 m	7 g	0,016 €/g	0,11 €
PSU-cover_1.0	PLA	4 h 05'	27,26 m	33 g	0,016 €/g	0,53 €
Subtotal						12,63 €

- Cost final:** Finalment sumarem el cost total del projecte i, d'altra banda, el cost d'un prototip funcional, sense comptar components desaprofitats ni ferramentes.

Cost total del projecte

Materials bàsics	287,41 €
Sistema de monitoratge wifi	50,22 €
Elements auxiliars	53,14 €
Recanvis, sobrants i components descartats	70,21 €
Peces impreses en 3D	12,63 €
TOTAL	473,61 €

Cost del prototip

Materials bàsics	287,41 €
Sistema de monitoratge wifi	50,22 €
Peces impreses en 3D	12,63 €
TOTAL	350,26 €

10. Conclusions

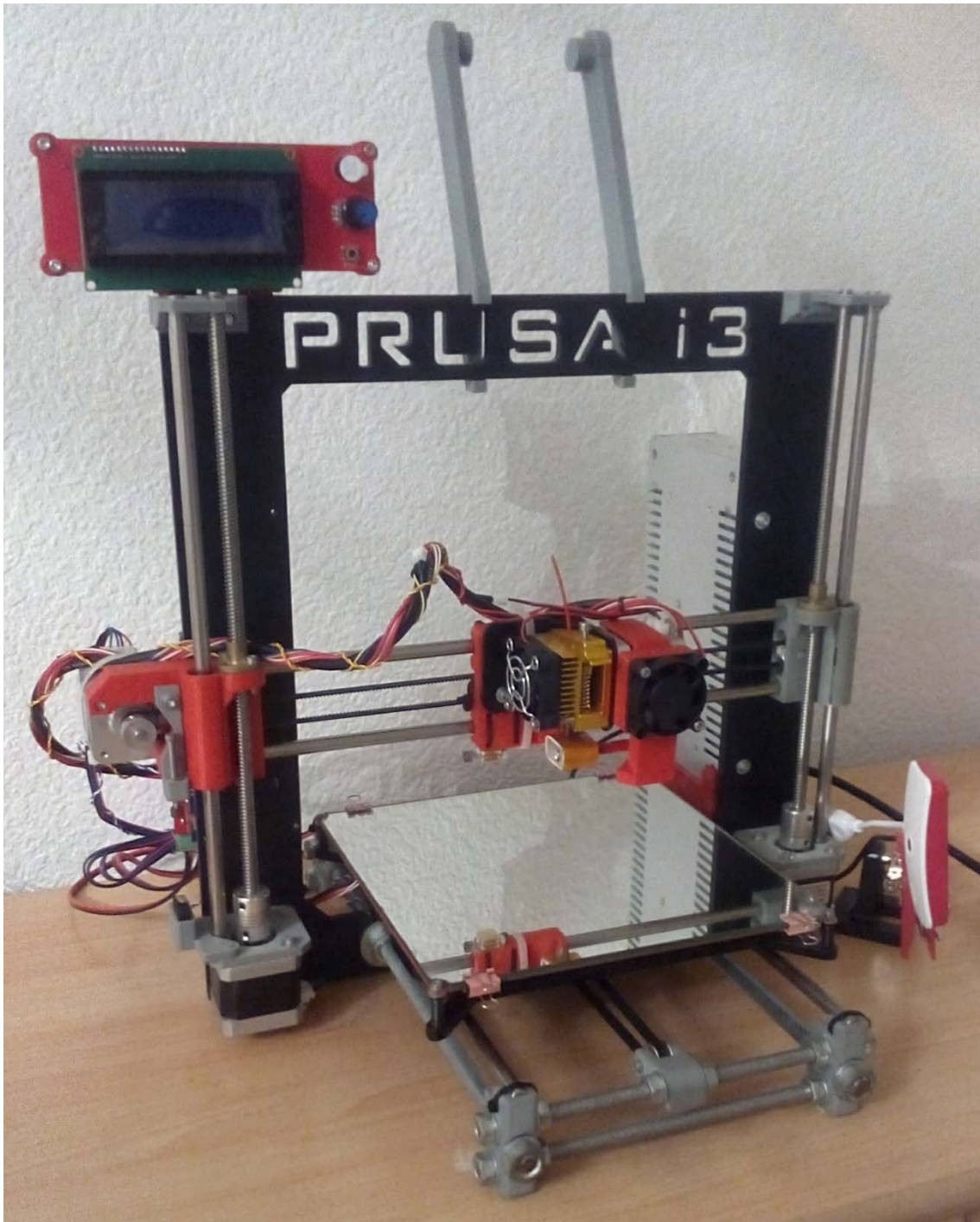
Com a conclusió, podem dir que hem aconseguit crear una impressora 3D d'escriptori completament funcional i hem complit tots els objectius que ens havíem marcat a l'inici del projecte. Hem obtingut unes prestacions finals i una qualitat molt satisfactòries, comparables a les de moltes impressores comercials de gama mitjana.

De fet, es podria dir que hem igualat la qualitat d'un dels models que ens havíem marcat com a base: la *Prusa i3 Hephestos*. Si comparem el pressupost total de projecte, són 10 € menys que el model de BQ, amb l'avantatge de que la impressora que hem fabricat porta incorporat el sistema de monitoratge wifi, que cap altra impressora del mateix tipus porta de sèrie. Encara podríem dir més: si ens basem només en el cost del prototip, la diferència és encara major. Si repetíem el projecte, amb tota l'experiència que hem adquirit, aconseguiríem encara un preu més baix i podríem, fins i tot, aconseguir un cost final d'aproximadament 300 €.

Un aspecte important a tenir en compte és que s'ha seguit una filosofia durant tot el projecte de "no reinventar la roda". Una qualitat important per a un enginyer és saber administrar el recursos que té a la seua disposició i això significa també aprofitar els coneixements que altres persones et poden proporcionar. Això no significa copiar o plagiar, sinó que significa prendre com a base els estudis d'altres persones i portar-los més enllà gràcies amb els teus propis coneixements. És a dir, ser capaç de transformar allò que ja existeix en allò que tu necessites i, a partir d'ací, començar a crear coses noves.

El més important són tots els coneixements adquirits durant el procés. Per arribar fins ací ha sigut necessari aplicar coneixements tant d'electrònica, com d'informàtica, com de mecànica, una faceta no tan potenciada en la carrera. S'ha realitzat un treball que ha obligat a aguditzar l'enginy i trobar solucions a tots els problemes que s'han presentat i, en general, complir els objectius que s'havien marcat.

Per primera vegada, s'ha dut a terme un projecte que té una autèntica utilitat pràctica i tangible, i eixa és la part que resulta més satisfactòria per a un enginyer. Esta impressora no és més que el principi, ja que serà la base de tota la resta de projectes que queden per vindre. Perquè, no ens enganyem, la formació d'un enginyer no acaba ara, ni molt menys, sinó que ara comença. Una enginyer no té per què eixir de la universitat sabent de tot, ni sabent molt sobre un tema. El que al final distingeix a un bon enginyer és que tinga les ferramentes necessàries per a saber allò que encara no sap, que siga capaç de trobar solucions a qualsevol problema que se li puga plantejar i que aconseguisca dur a terme tot allò que es plantege. Esta, en definitiva, és la idea que s'ha volgut transmetre amb este projecte.



11. Bibliografía

- [1] Sánchez, A. (2015). ¿Cómo surgió el mundo de la impresión 3D? Impresión 3D antes de RepRap. [Blog] *DIWO*. Disponible en: <http://diwo.bq.com/impresion-3d-historia/> [Data de consulta: 10/09/2017].
- [2] Solid Concepts (2013). *Stereolithography (SLA) Technology*. [video] Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=NM55ct5Kwil> [Data de consulta: 10/09/2017].
- [3] Solid Concepts (2013). *Selective Laser Sintering (SLS) Technology*. [video] Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=9E5MfBAV_tA&t=77s [Data de consulta: 10/09/2017].
- [4] Solid Concepts (2013). *PolyJet Technology*. [video] Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=Som3CddHfZE> [Data de consulta: 10/09/2017].
- [5] Solid Concepts (2013). *Fused Deposition Modeling (FDM) Technology*. [video] Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=WHO6G67GJbM> [Data de consulta: 10/09/2017].
- [6] Sánchez, A. (2015). El movimiento RepRap y el conocimiento libre. [Blog] *DIWO*. Disponible en: <http://diwo.bq.com/el-movimiento-reprap-y-el-conocimiento-libre/> [Data de consulta: 10/09/2017].
- [7] Wikipedia, la enciclopedia libre. (2017). *Proyecto RepRap*. [online] Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Proyecto_RepRap [Data de consulta: 10/09/2017].
- [8] Wikipedia, the free encyclopedia. (2017). *Prusa i3*. [online] Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Prusa_i3 [Data de consulta: 10/09/2017].
- [9] RepRap Wiki. *RepRap Wiki*. [online] Disponible en: <http://reprap.org/> [Data de consulta: 10/09/2017].
- [10] RepRap Wiki. *Proyecto Clone Wars*. [online] Disponible en: http://reprap.org/wiki/Clone_wars [Data de consulta: 10/09/2017].
- [11] 3D Hubs (2017). *3D Printing Trends Q3/2017*. [online] Disponible en: <https://www.3dhubs.com/s3fs-public/3d-printing-trends-Q3-2017.pdf> [Data de consulta: 11/09/2017].
- [12] Prusa Research. *Official Josef Prusa Shop*. [online] Disponible en: <http://shop.prusa3d.com/es/impresoras-3d/59-kit-original-prusa-i3-mk2s.html> [Data de consulta: 11/09/2017].
- [13] Zortrax. *Zortrax M200 3D Printer*. [online] Disponible en: <https://zortrax.com/printers/zortrax-m200/> [Data de consulta: 11/09/2017].
- [14] Ultimaker. *Tienda oficial de Ultimaker para España y Portugal*. [online] Disponible en: <https://ultimaker.tr3sdland.com/> [Data de consulta: 11/09/2017].
- [15] Makerbot Store. *Replicator+ Desktop 3D Printer*. [online] Disponible en: <https://store.makerbot.com/printers/replicator/> [Data de consulta: 11/09/2017].

- [16] BQ. *Impresora 3D BQ Hephestos*. [online] Disponible en: <https://www.bq.com/es/hephestos-prusa> [Data de consulta: 11/09/2017].
- [17] Bernabé, J. (2016). *La guía definitiva sobre los distintos filamentos para impresoras 3D*. [online] Impresoras3D.com. Disponible en: <https://impresoras3d.com/blogs/noticias/108879559-la-guia-definitiva-sobre-los-distintos-filamentos-para-impresoras-3d> [Data de consulta: 11/09/2017].
- [18] RepRap Wiki. (2017). *List of electronics*. [online] Disponible en: http://reprap.org/wiki/List_of_electronics [Data de consulta: 15/09/2017].
- [19] Staticboards (2017). *Staticboards: Electrónica para tu impresora*. [online] Disponible en: <https://www.staticboards.es/> [Data de consulta: 15/09/2017].
- [20] Sanladerer, T. (2017). *Building the cheapest possible Prusa i3 MK2*. [online] Tom's 3D printing guides and reviews. Disponible en: <https://toms3d.org/2017/02/23/building-cheapest-possible-prusa-i3-mk2/> [Data de consulta: 18/09/2017].
- [21] RepRap Wiki. (2017). *Stepper motor*. [online] Disponible en: http://reprap.org/wiki/Stepper_motor [Data de consulta: 18/09/2017].
- [22] RepRap Wiki. (2017). *NEMA 17 Stepper motor*. [online] Disponible en: http://reprap.org/wiki/NEMA_17_Stepper_motor [Data de consulta: 18/09/2017].
- [23] Ureta, S. (2017). *Motores paso a paso (II): Criterios selección motores y drivers*. [online] Dima 3D. Disponible en: <http://www.dima3d.com/motores-paso-a-paso-en-impresion-3d-ii-criterios-de-seleccion-de-motores-y-drivers/> [Data de consulta: 18/09/2017].
- [24] RepRap Wiki. (2017). *Stepper motor driver*. [online] Disponible en: http://reprap.org/wiki/Stepper_motor_driver [Data de consulta: 18/09/2017].
- [25] Micromo. (2017). *Stepper Motor Technical Note: Microstepping Myths and Realities*. [online] Disponible en: https://www.micromo.com/media/wysiwyg/Technical-library/Stepper/6_Microstepping%20WP.pdf [Data de consulta: 18/09/2017].
- [26] Impresión 3D - YouTube (2017). *Problema que afecta a la mayoría de las impresoras 3D: DRV8825 TL Smoother*. [video] Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=W6N12Prhaz4> [Data de consulta: 18/09/2017].
- [27] Rodríguez, J. (2017). *Así funciona la extrusión en las impresoras 3D*. [online] Mi bq y yo. Disponible en: <http://www.mibqyyo.com/articulos/2014/09/22/asi-funciona-la-extrusion-en-las-impresoras-3d/> [Data de consulta: 18/09/2017].
- [28] RepRap Wiki. (2017). *Choosing a Power Supply for your RepRap*. [online] Disponible en: http://reprap.org/wiki/Choosing_a_Power_Supply_for_your_RepRap [Data de consulta: 19/09/2017].
- [29] Diosado, R. (2017). *Pantalla LCD en la impresora 3D*. [online] Zona Maker. Disponible en: <https://www.zonamaker.com/impresion-3d/mejoras-trucos-y-consejos/pantalla-lcd> [Data de consulta: 19/09/2017].
- [30] Prusa, J. (2017). *Prusa i3 printable parts*. [online] Prusa Research. Disponible en: <http://www.prusa3d.com/prusa-i3-printable-parts/> [Data de consulta: 19/09/2017].

- [31] Balsa, A. (2014). *Prusa i3 Rework X-carriage with additional holes for Wade's extruder*. [online] Thingiverse. Disponible en: <https://www.thingiverse.com/thing:586636> [Data de consulta: 19/09/2017].
- [32] BQ. (2017). *DIY 3D Printer derived from RepRap Prusa i3*. [online] Disponible en: <https://github.com/bq/prusa-i3-hephestos> [Data de consulta: 19/09/2017].
- [33] Loureiro, J. (2017). *Guía detallada para configurar Marlin*. [online] staticboards. Disponible en: <https://www.staticboards.es/blog/marlin-instalacion-configuracion/> [Data de consulta: 20/09/2017].
- [34] Diosdado, R. (2017). *Firmware definitivo (Marlin)*. [online] Zona Maker. Disponible en: <http://www.zonamaker.com/impresion-3d/crea-impresora/14-crea-imp-firmware-marlin> [Data de consulta: 10/09/2017].
- [35] Arduino. (2017). *Arduino IDE*. [online] Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/main/software> [Data de consulta: 20/09/2017].
- [36] GitHub. (2017). *Marlin Firmware*. [online] Disponible en: <https://github.com/MarlinFirmware/Marlin> [Data de consulta: 20/09/2017].
- [37] Repetier. (2017). *Repetier Host Software*. [online] Disponible en: <https://www.repetier.com/> [Data de consulta: 20/09/2017].
- [38] Thingiverse. (2017). *#3DBenchy - The jolly 3D printing torture-test by CreativeTools*. [online] Disponible en: <https://www.thingiverse.com/thing:763622> [Data de consulta: 20/09/2017].
- [39] OctoPi. (2017). *OctoPi: The ready-to-go Raspberry Pi image with OctoPrint*. [online] Disponible en: <https://octopi.octoprint.org/> [Data de consulta: 20/09/2017].
- [40] Rufus. (2017). *Rufus - Create bootable USB drives the easy way*. [online] Disponible en: <https://rufus.akeo.ie/?locale> [Data de consulta: 20/09/2017].
- [41] Terranella, J. (2017). *OctoPrint Tutorial Series : Video 2 - Accessing Octoprint from Anywhere*. [video] Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=jUX_sc5B9hw [Data de consulta: 20/09/2017].
- [42] No-IP Support. (2017). *How to Install the No-IP DUC on Raspberry Pi*. [online] Disponible en: <http://www.noip.com/support/knowledgebase/install-ip-duc-onto-raspberry-pi/> [Data de consulta: 20/09/2017].
- [43] Prusa Research. (2017). *Original Prusa i3 MK2S kit assembly v2.05*. [online] Disponible en: http://manual.prusa3d.com/c/Original_Prusa_i3_MK2S_kit_assembly [Data de consulta: 20/09/2017].