

Disseny i construcció d'una impressora 3D

Asier Alcorta Madrona

Jesuïtes el Clot
7-10-2016

Tutora: Montserrat Majolero

2n Batx E

Agraïments

Vull agrair tot el suport rebut en primer lloc, de la meva tutora, la Montse, del Josep Alegret i del Ferran Segura, que sempre han estat disposats a resoldre qualsevol qüestió.

També vull agrair a la meva família per tots els ànims i la confiança rebuda.

ÍNDEX

1	INTRODUCCIÓ	4
2	QUÈ ÉS UNA IMPRESSORA 3D?	7
3	HISTÒRIA DE LES IMPRESSORES 3D	8
4	QUINS TIPUS HI HA I QUINES CARACTERÍSTIQUES TENEN?	10
4.1	Impressió amb resines fotosensibles	10
4.2	Impressió amb materials polvoritzats.....	12
4.3	Impressió amb làmines de paper.....	14
4.4	Impressió amb materials plàstics	15
5	ELEMENTS D'UNA IMPRESSORA FDM	16
5.1	El cervell:	19
5.1.1	Eines computer aided manufacturing (CAM).....	19
5.1.2	Controlador	20
5.2	El cor.....	21
5.2.1	Extrusor	21
5.2.2	Placa d'impressió (<i>Build plate</i>).....	26
5.3	La sang.....	28
5.4	Els músculs	30
5.4.1	Tren de moviment	30
5.4.2	Motors.....	31
5.4.3	<i>Drivers dels motors pas a pas</i>	31
5.4.4	Finals de carrera	32
5.5	L'esquelet	32
5.6	Alimentació	35
6	SELECCIÓ DE COMPONENTS.....	36
6.1	Controlador	37
6.2	<i>Drive Train</i>	38

6.3	<i>Drivers</i>	40
6.4	Extrusor	41
6.4.1	<i>Hot End</i>	41
6.4.2	<i>Cold End</i>	42
6.5	Superfície d'impressió	43
6.5.1	Heated Bed	43
6.5.2	Print Bed	43
6.5.3	Sistema d'anivellat.....	44
6.6	Filament.....	45
6.7	Font d'alimentació.....	46
6.8	Carcassa.....	48
6.8.1	Principi de construcció.....	48
6.8.2	Material/s	49
7	PROVES PRELIMINARS	50
8	DISSENY	62
9	CONSTRUCCIÓ	97
10	REDISSENY	106
11	CONSTRUCCIÓ II	119
12	CONFIGURACIÓ DEL <i>SOFTWARE</i>	143
12.1	Configuració del <i>firmware</i>	143
12.2	Configuració de l'emissor de codi-G	157
12.3	Configuració del creador de codi-G	161
13	PROCEDIMENT D'IMPRESSIÓ.....	167
14	CONCLUSIONS	173
15	BIBLIOGRAFIA	177
16	ANNEXOS.....	199

1 INTRODUCCIÓ

El dia 13 de setembre de 2010 apareixia al *New York Times* la següent notícia: *3-D Printing Spurs a Manufacturing Revolution*. Notícies com aquesta apareixen sovint i cada cop més en mitjans de referència. Tots parlen de la Tercera Revolució Industrial, que comptarà amb un nou model de producció amb les impressores 3D com a protagonistes. Les energies renovables i internet també jugaran un paper clau segons experts com Jeremy Rifkin, autor d'un altre article titulat *The Third Industrial Revolution: How the Internet, Green Electricity, and 3-D Printing are Ushering in a Sustainable Era of Distributed Capitalism*. Segons ell, la Tercera Revolució Industrial canviarà la forma en que l'energia és distribuïda; milions de persones crearan energia elèctrica a escala local gràcies a plaques fotovoltaïques, aerogeneradors, autopistes intel·ligents, etc... i la compartiran entre tots en una espècie d'Internet d'Energia, abandonant el model de les grans centrals elèctriques. La producció seguirà el mateix camí i desapareixeran els grans centres de producció donant pas a un model on cadascú fabriqui el que necessiti gràcies a les impressores 3D, des d'objectes quotidians fins menjar i òrgans. Les impressores 3D seran les impulsores d'un gran canvi social. No són solament idees d'un visionari, el Parlament Europeu va aprovar una resolució instant a la Comissió Europea a elaborar un pla amb els mitjans necessaris per implementar aquesta Revolució.

Realment en algun moment del futur tothom tindrà una impressora 3D a casa i podrà fabricar tot allò que desitgi? Seran les impressores 3D les responsables d'un canvi tan radical en la nostra forma de vida, en la nostra economia? Des de sempre he tingut vocació per les màquines en particular i l'Enginyeria Industrial en general. Per aquest motiu interrogants com aquests em fascinen. Com a apassionat de tot allò que porti motors, cables o engranatges tinc una gran curiositat per aquestes màquines miraculoses que canviaran el món, pel seu funcionament i per les seves possibilitats. Per això, la millor manera per satisfer aquesta curiositat és dissenyar i construir jo mateix una impressora 3D.

Per tant, els objectius d'aquest treball són, en primer lloc, el de dissenyar i construir una impressora 3D que funcioni. Com que els meus coneixements previs en matèria d'impressores 3D són molt escassos, la principal finalitat d'aquest treball serà l'aprenentatge per davant de tot. Amb aquest treball no solament pretenc construir una impressora i saber com funciona i les seves possibilitats, sinó adquirir a més a més coneixements que em siguin útils també en altres projectes i adquirir-los a través de la meua pròpia experiència.

El segon objectiu del treball serà demostrar que no calen grans coneixements per apropar-se a la impressió en 3D i ni tan sols per construir-ne una nosaltres mateixos. Per tant, no prioritzarem

la qualitat ni les capacitats de la impressora que es construirà, com podrien ser el poder imprimir peces més grans, tenir una major precisió, etc.. sinó el fet de poder dissenyar-la, construir-la i fer-la funcionar en si.

En tercer lloc, l'ús de qualsevol component així com qualsevol decisió presa durant el treball hauran de justificar-se per tal de demostrar que la impressora és com és perquè aquesta ha estat la millor forma de fer-la seguint els objectius i els requisits plantejats i emfatitzar que no és una còpia d'una impressora ja existent.

En quart lloc, aquest treball ha de poder utilitzar-se com a referència vàlida per a construir una impressora com la que dissenyarem, de manera que tots els procediments i mètodes utilitzats quedaran explicats. Per aquest motiu un altre objectiu serà elaborar el treball de forma que sigui comprensible per a una persona sense cap tipus de coneixements previs del tema i d'aquesta manera posar el meu granet de sorra en la popularització de les impressores 3D.

La impressora i per tant els seus components, hauran de complir una sèrie de requisits: haurà de poder construir-se de la forma més senzilla possible amb l'ajuda de les mínimes i més quotidianes eines possibles per tal de que calguin els menors coneixements previs per muntar-la. La impressora haurà de ser el més econòmica que es pugui per tal de reduir el cost del treball. Tot i així, la impressora tindrà una certa fiabilitat de manera que pugui ser utilitzada regularment sense problemes. Els components utilitzats hauran de poder trobar-se fàcilment per facilitar l'adquisició d'aquests. Per últim la impressora haurà de tenir un disseny compacte i relativament portàtil que permeti emmagatzemar-la i treure-la de nou per imprimir fàcilment i amb la menor despesa de temps durant el procés.

Per dur a terme de forma satisfactòria tots aquests objectius organitzaré el treball en dos parts: un marc teòric, que inclourà un breu apartat sobre la història de les impressores 3D i l'explicació dels seus diferents components i un marc pràctic, que inclourà el procés de selecció de components, disseny i construcció de la impressora. Tota la informació addicional com plànols i costos es trobarà als Annexos.

En quant a la metodologia, en primer lloc realitzaré una cerca per internet per adquirir informació sobre els diferents tipus d'impressores 3D i analitzar quin és el més senzill de construir i adequat per l'ús domèstic. Aprofitaré aquesta fase per identificar les pàgines web més grans i populars dedicades a la impressió 3D que puguin servir de referència per algú que estigui realitzant un projecte com el meu. Mitjançant aquestes pàgines i fòrums investigaré el funcionament d'una impressora 3D del tipus que hagi triat així com els diferents components que utilitza, facilitat/dificultat d'aconseguir-los, preus, etc... Tot seguit i amb tota aquesta

informació seleccionaré els components que utilitzaré per la meva impressora 3D basant-me en els objectius i requisits plantejats més a dalt. Un cop tingui clars quins components faré servir i les seves característiques utilitzaré els programes Solidworks i AutoCAD per dissenyar la impressora. Posteriorment iniciaré el muntatge i intentaré resoldre els diferents problemes que es puguin presentar. Finalment, configuraré tots els programes i controladors necessaris per fer funcionar la impressora amb ajuda de guies i fòrums que es puguin trobar per internet.

2 QUÈ ÉS UNA IMPRESSORA 3D?

La impressió 3D és un procés de fabricació que permet crear peces tridimensionals a partir d'arxius digitals.

En tots els tipus d'impressores 3D, un programa obre l'arxiu amb l'objecte a imprimir i el divideix en moltes seccions horitzontalment, anomenades seccions transversals. El programa envia la informació a la impressora on un altre programa interpreta aquesta informació i la tradueix als moviments que la impressora haurà d'efectuar per imprimir l'objecte. La impressora crea l'objecte capa per capa, i a cada capa li correspon una secció transversal. L'objecte final és una peça tridimensional formada per moltes capes una sobre l'altra.



Impressora 3D Makerbot® Replicator®. Extret de: <https://all3dp.com/3d-printing-3d-printing-work/>

3 HISTÒRIA DE LES IMPRESSORES 3D

La història de les impressores 3D és relativament curta, doncs va començar als anys 1980. Hideo Kodama, treballador de l'Institut de Recerca Industrial Municipal de Nagoya planteja al 1981 el concepte del que en pocs anys s'anomenaria una impressora estereolitogràfica. Va ser Charles Hull, futur cofundador de l'empresa 3D Systems qui, al 1984, va construir la primera impressora 3D estereolitogràfica. En aquell moment,

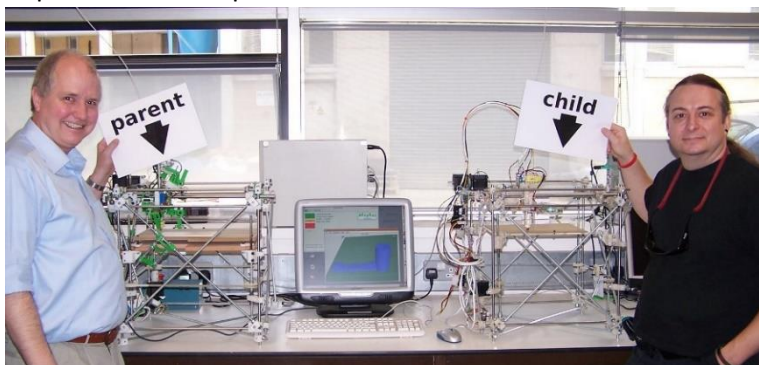


Carl Deckard (esquerra) amb la seva impressora SLS al 1984.
Extret de: <http://www.engineersonline.nl/what-makes-you-tick/233-dwaze-dagen.html>

s'anomenava aquestes màquines exclusivament amb el nom de màquines de prototipatge ràpid, ja que aquesta és precisament la seva funció, produir prototips de forma més ràpida i econòmica que els mètodes tradicionals.

A l'any 1987 Carl Deckard patenta la tecnologia de sinterització selectiva per làser. Pocs anys després, al 1988, Scott Crump, futur cofundador de l'empresa Stratasys® construeix la primera impressora amb tecnologia de deposició de material fos. Les primeres impressores es van comercialitzar a principis dels anys 1990. Durant tota aquesta dècada apareixen les tecnologies d'impressió de les que avui dia disposem. A l'any 1999 s'implanta el primer òrgan imprès en 3D a un pacient, obrint un nou món d'aplicacions a les impressores 3D.

La majoria d'impressores 3D que havien existit fins al moment eren màquines molt cares orientades al sector industrial. Amb l'inici del segle XXI, els fabricants van intentar apropar les impressores 3D al públic reduint el cost de mica en mica. La revolució arriba el 2005 quan el



Adrian Bowyer amb la Darwin, la impressora que imprimia les seves pròpies peces. Extret de: https://en.wikipedia.org/wiki/RepRap_project

doctor Adrian Bowyer de la Universitat de Bath crea el projecte obert RepRap, que pretén democratitzar el món de la impressió 3D. Les impressores RepRap utilitzen el sistema de deposició de material fos, i el seu baix

preu així com el fet de ser obertes van provocar una revolució en el món de la impressió 3D, situant-lo més a prop que mai del públic. Al 2008 RepRap va presentar la Darwin, una impressora que imprimia la majoria de les seves pròpies peces i que per tant podia elaborar còpies de si mateixa. Aquest apropament al públic va continuar i amb l'aparició de la web Kickstarter, centenars de projectes d'impressores 3D van rebre finançament per part del públic. Mentrestant, la gran quantitat d'impressores 3D disponibles fabricades per empreses de renom en el sector industrial van fer que el preu d'una impressora 3D anés baixant constantment.

Simultàniament, al sector industrial es va produir la primera impressora de Sinterització Selectiva per Làser. Al 2012 les tecnologies d'impressió amb materials fotosensibles es van abaratir prou com per abandonar el sector industrial i comercialitzar-se al públic.

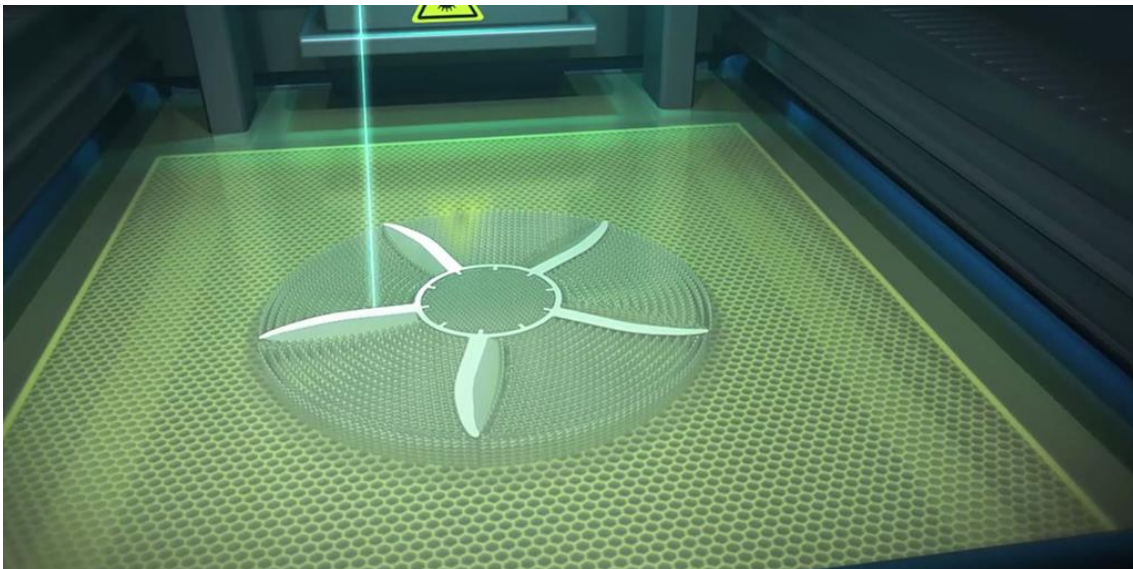
Avui dia, el preu de les impressores segueix baixant i la qualitat d'impressió augmentant. Més impressores que mai i amb més varietat que mai es troben disponibles a preus assequibles per al públic en general, permetent a qualsevol persona la fabricació dels seus propis dissenys.

4 QUINS TIPUS HI HA I QUINES CARACTERÍSTIQUES TENEN?

Hi ha diferents tipus de tecnologies d'impressió 3D, i cadascuna té unes determinades característiques que fan que sigui més o menys adequada depenent de les propietats que volem que tingui l'objecte que imprimirem. A continuació es descriuen breument els diferents tipus d'impressores classificades segons el tipus de material amb el que imprimeixen.

4.1 IMPRESSIÓ AMB RESINES FOTOSENSIBLES

Estereolitografia (SLA): L'estereolitografia és el mètode d'impressió 3D més antic, i utilitza resina fotosensible i un raig de llum ultraviolada de gran precisió. La impressora té un contenidor on es van dipositant finíssimes capes de resina. A cada capa, el raig de llum dibuixa la secció transversal de l'objecte corresponent a aquella capa i solidifica la resina que il·lumina. Quan el raig acaba de dibuixar la secció transversal, s'afegeix una nova capa de resina i el procés es repeteix fins que es constitueix l'objecte a imprimir. Aleshores, es retira l'objecte del contenidor i se li extreuen les estructures de suport que imprimeix la impressora. La majoria d'objectes impresos amb estereolitografia necessiten curar-se a un forn de llum ultraviolada, on es consolida la solidificació de la resina. La resina que queda al contenidor i que no ha estat solidificada es pot reutilitzar per a la propera impressió.



Representació d'una impressora 3D de tipus SLA. Extret de: <https://www.stratasysdirect.com/blog/how-it-works-stereolithography/>

L'estereolitografia permet imprimir peces amb una gran resolució i precisió. L'altra cara de la moneda és que les peces són fràgils i degut a que la resina es fotosensible, amb el temps es poden deformar. Un altre inconvenient és el preu de la resina fotosensible i de la pròpia impressora. Les aplicacions principals de l'estereolitografia es troben en la creació de prototips no funcionals i alguns tipus de motlles.

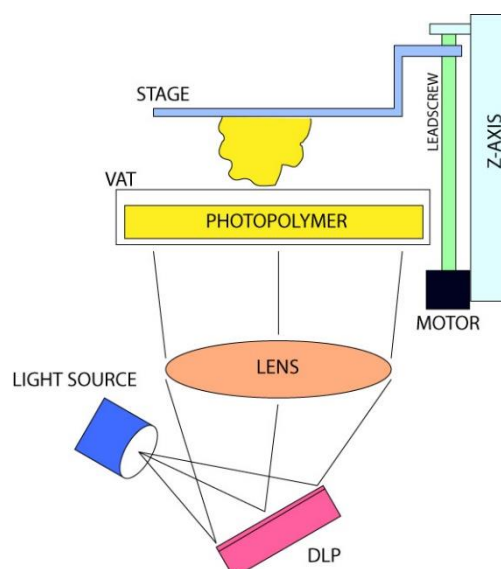
Polyjet: Les impressores 3D amb tecnologia Polyjet són molt similars a les estereolitogràfiques. La seva diferència rau en el fet de que dipositen i solidifiquen la resina fotosensible al mateix temps. La impressora té una part mòbil amb la que diposita la resina que



Impressora 3D de tipus Polyjet. Extret de:
<https://www.youtube.com/watch?v=D4Yq3glEyec>

instantàniament és solidificada pel raig de llum ultraviolada. Aquest procés té l'avantatge de que permet imprimir amb diverses resines de colors variats i propietats diferents en una mateixa peça. A més, en lloc d'utilitzar estructures de suport, crea motlles d'un material similar a la cera per a la peça amb el mateix objectiu que les estructures de suport. El motlle es pot extreure molt fàcilment i es pot utilitzar de nou com a motlle per a una peça no impresa en 3D.

Processament per llum digital (DLP): Les impressores DLP en lloc de projectar un raig molt precís de llum ultraviolada que repassa la secció transversal a cada capa, projecten la secció transversal amb un projecteur, de manera que la secció transversal de la capa de resina s'asseca a la vegada i el procés d'impressió es molt més ràpid.



Esquema que representa el funcionament d'una impressora DLP. Extret de:
<http://depts.washington.edu/open3dp/>

4.2 IMPRESSIÓ AMB MATERIALS POLVORITZATS

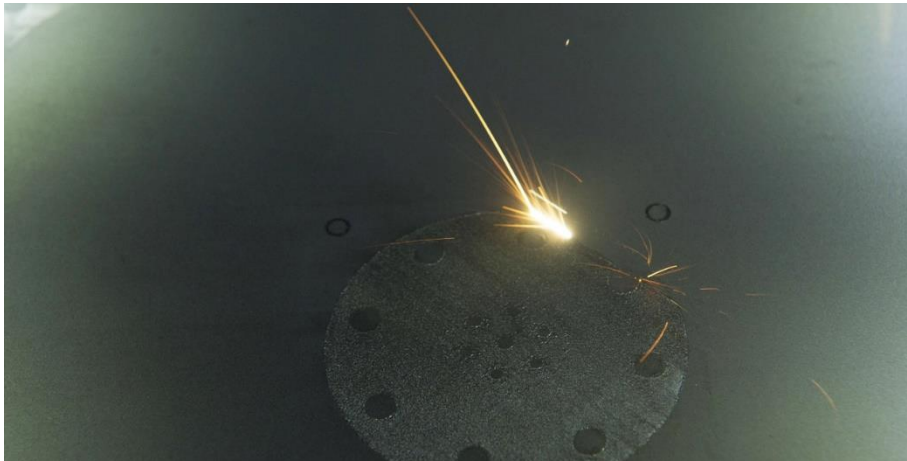
Sinterització selectiva per làser (SLS): Encara que és un procés que recorda a l'estereolitografia, la sinterització selectiva per làser guarda unes diferències notables. Les impressores SLS van dipositant capes de pols de plàstic, vidre o ceràmica en un contenidor on un raig làser dibuixa la secció transversal de la peça. L'escalfor del raig làser fa que les partícules de pols s'uneixin unes amb les altres encara que sense arribar a fondre's. Quan el raig acaba de dibuixar la secció transversal, s'afegeix una nova capa de pols i es repeteix el procés fins que es forma la peça. Aleshores, simplement es retira la peça del contenidor amb la pols. A diferència de les peces impreses per mitjà de l'estereolitografia, les impreses per sinterització selectiva per làser no necessiten estructura de suport, ja que es troben envoltades per la pols no solidificada i no són sensibles a la llum.



*Peça imprimida amb tecnologia SLS en el moment de ser retirada de la zona d'impressió.
Extret de: <http://www.3ders.org/articles/20141007-engineer-constructs-his-own-sls-3d-printer.html>*

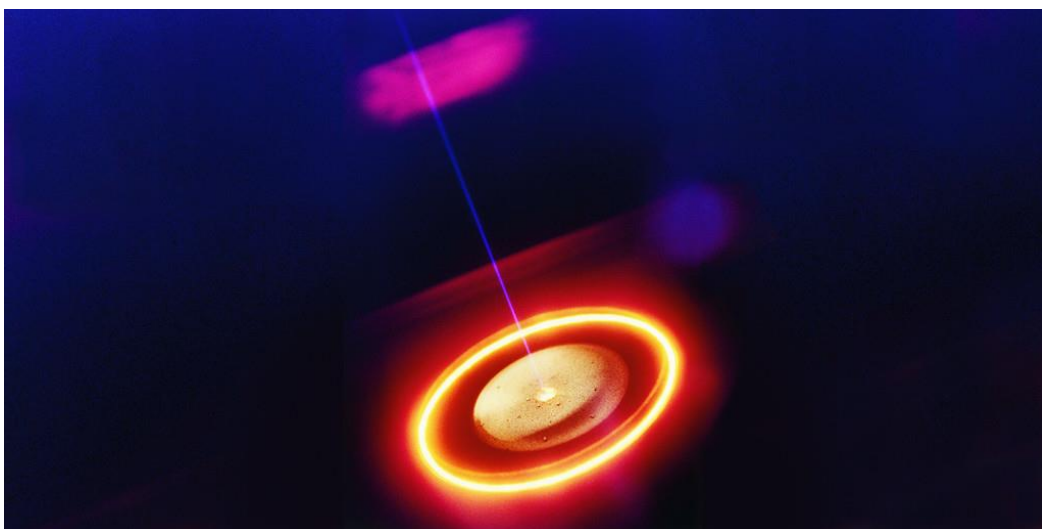
Tenen moltes aplicacions ja que permeten imprimir en molts tipus de materials, com plàstics (nylon, poliestirè) i ceràmiques i les peces impreses poden arribar a ser molt resistents depenent del material utilitzat. També tenen una gran resolució. S'utilitzen tant per crear prototips com productes finals. S'usen freqüentment en la indústria aeroespacial o en la fabricació de pròtesis i en la creació de prototips per provar-los a túnels de vent. El seu principal inconvenient es el preu i el seu ús limitat al sector industrial.

Fusió selectiva per làser (SLM): Les impressores SLM funcionen de manera pràcticament igual a les impressores SLS però que fonen la pols en lloc d'escalfar-la. Aquest tipus d'impressores permeten imprimir en metalls com l'alumini, l'acer inoxidable, el titani i diversos aliatges.



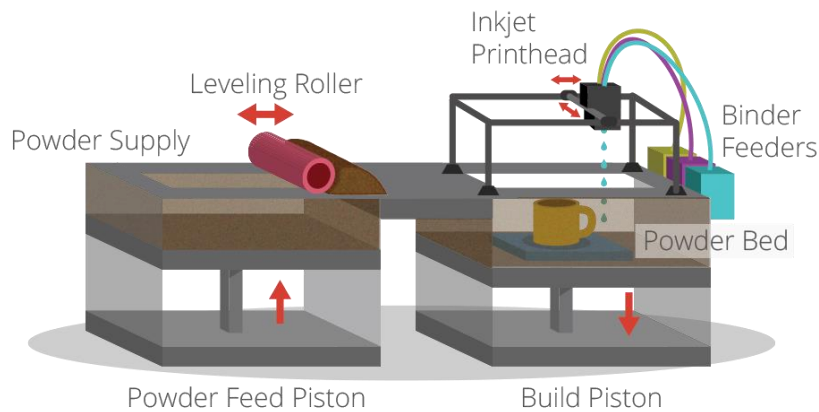
Impressora 3D de tipus SLM en funcionament. Extret de: <http://www.tested.com/tech/3d-printing/453768-nasa-3d-printing-future-rocket-parts-lasers/>

Fusió per raig d'electrons (EBM): Les impressores EBM funcionen de manera similar a les SLS i SLM. Les impressores EBM treballen exclusivament amb metalls conductors i utilitzen el mateix sistema de capes de pols que les impressores SLS i SLM, però al contrari que aquests dos tipus d'impressores, les EBM no utilitzen un raig làser, sinó un raig d'electrons. Per a que el raig d'electrons sigui viable, les impressores EBM estan equipades amb una cambra d'impressió hermètica on es fa el buit al moment de la impressió. Davant de les impressores SLS, el seu principal avantatge és una major temperatura de fusió que permet obtenir peces molt més resistents.



Representació d'una impressora 3D EBM en funcionament. Extret de: http://www.notey.com/@threedprinting_unofficial/external/10306929/new-facility-for-selective-electron-beam-melting.html

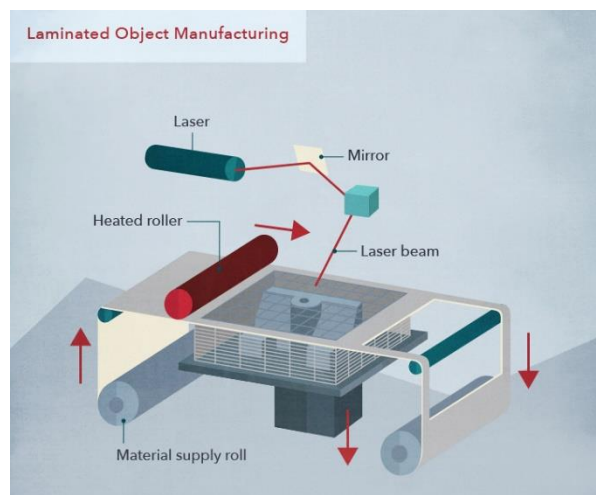
Injecció d'aglutinant: Aquest tipus d'impressores són similars a les SLS, però en lloc d'escalfar les partícules per unir-les, dipositen un aglutinant de forma selectiva a cada capa de pols mitjançant un capçal similar al d'una impressora d'oficina de manera que només es solidifica la secció transversal de la peça corresponent a aquella capa. Aquest procediment té uns resultats similars al SLS però permet imprimir en diversos colors alhora, ja que l'aglutinant pot tenir qualsevol tonalitat. Com a desavantatge, els objectes impresos són molt fràgils.



Esquema del funcionament d'una impressora 3D amb tecnologia d'injecció d'aglutinant. Extret de: <http://www.aniwaa.com/3d-printing-technologies-and-the-3d-printing-process/>

4.3 IMPRESSIÓ AMB LÀMINES DE PAPER

Manufatura d'objectes laminats (LOM): A les impressores LOM, es construeixen les peces capa a capa utilitzant làmines de paper amb adhesiu on un làser o una fulla molt esmolada talla la secció transversal corresponent a cada capa fins que les làmines apilades i enganxades entre elles formen un objecte en tres dimensions. El paper sobrant és retirat de la peça i el resultat és un objecte compacte de tacte similar a la fusta. Els avantatges que presenta aquest procediment són el baix cost de les làmines de paper així com la varietat de colors amb què pot imprimir. Les peces que permet imprimir, però, tenen una resolució baixa en comparació a procediments com l'estereolitografia o la sinterització per làser i al estar fets de paper no són resistents a l'aigua i no es poden utilitzar com peces funcionals per a una màquina.



Esquema del funcionament d'una impressora LOM. Extret de: <http://www.custommade.com/blog/power-of-3d-printing/>

4.4 IMPRESSIÓ AMB FILAMENTS DE MATERIALS PLÀSTICS

Modelat per deposició de material fos (FDM): Les impressores FDM utilitzen filaments de diferents polímers que són escalfats fins a arribar a fondre's a un extrusor i són dipositats a la superfície d'impressió on s'assequen ràpidament formant les seccions transversals corresponents a cada capa. Són l'únic tipus d'impressora que permet imprimir termoplàstics, per tant, les propietats químiques, tèrmiques i mecàniques de les peces impreses són bones. Tot i així la qualitat d'impressió és baixa comparant a altres tecnologies com l'SLS o l'estereolitografia. És la tecnologia d'impressió més popular fora del sector industrial per la seva relativa simplicitat i pel baix cost tant de la impressora com del material d'impressió en relació a altres tipus d'impressores.



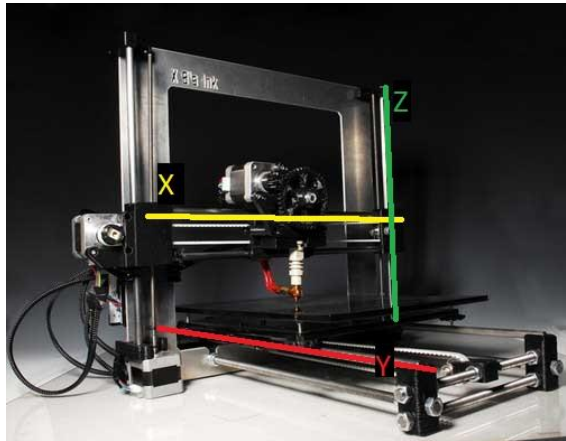
Impressora Prusa i3. Molt popular dintre de la tecnologia FDM. Extret de: http://reprap.org/wiki/Prusa_i3_Rework_Introduction

5 ELEMENTS D'UNA IMPRESSORA FDM

En aquest apartat s'enumeren i descriuen tots els elements que formen una impressora FDM com la que construirem. Hem triat la tecnologia FDM ja que és la més senzilla i popular, els seus components són fàcils d'aconseguir i és la tecnologia sobre la que hi ha més informació disponible.

Abans de res, és convenient saber que hi ha diferents configuracions d'impressores FDM:

- **Cartesiana:** Aquesta configuració és la més popular i antiga, així com la més intuïtiva. Posiciona l'extrusor mitjançant el sistema de coordenades cartesianes. La seva àrea d'impressió sol ser quadrada o rectangular. Aquestes impressores mouen l'extrusor pels eixos X, Y i Z.



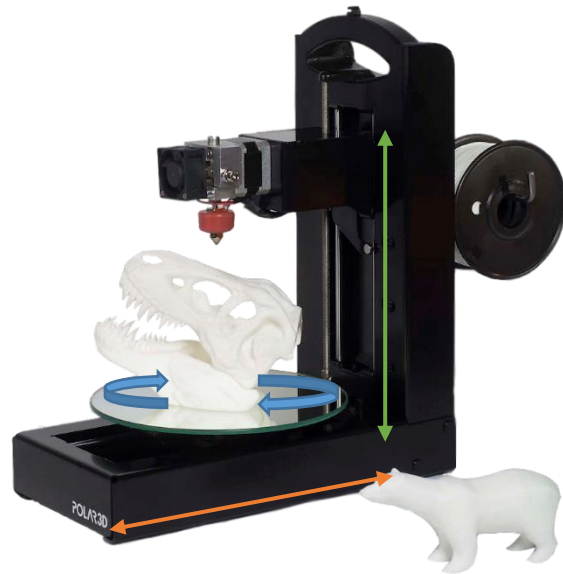
Eixos del moviment en una impressora Cartesiana. Extret de: <http://www.ethanmerrill.com/?p=104>

- **Delta:** També treballen en el pla cartesià, tot i així la seva àrea d'impressió és circular. L'extrusor es troba suspès per tres braços sobre la superfície d'impressió. Aquests braços pugen i baixen per situar l'extrusor en la posició adequada. Els avantatges d'aquesta configuració són que tenen una planta reduïda, són més simples a l'hora de la construcció (els tres costats són iguals) i solen ser més econòmiques que les cartesianes. A més, la seva superfície d'impressió és estàtica, cosa que permet una major resolució. Els seus inconvenients són que requereixen uns càlculs més complexos que les cartesianes per posicionar l'extrusor i per tant exigeixen més al controlador i són difícils de dissenyar. El procés de calibrat és molt complex i és difícil solucionar errors i problemes.



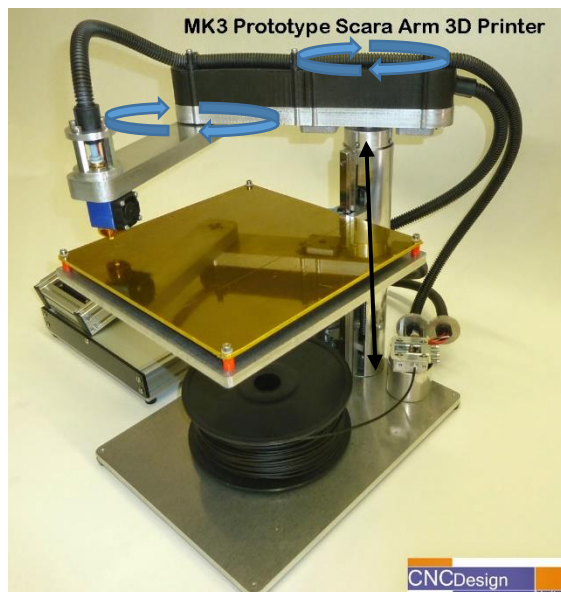
Eixos del moviment en una impressora Delta. Extret de: <https://grabcad.com/library/kossel-delta-configuration-3d-printer-1>

- Polar:** Les impressores FDM polars utilitzen com indica el seu nom, coordenades polars. Tenen una àrea d'impressió circular. Girant la superfície d'impressió i movent-la endavant i endarrere poden posicionar l'extrusor en qualsevol punt d'aquesta. Un altre motor puja i baixa l'extrusor per tal de poder fer les diferents capes. Com les delta, requereixen càlculs més complexos, no son tan intuïtives com les cartesianes, i requereixen un complex procés de calibrat. A més, les impressores polars son molt recents i no hi ha disponible gaire informació. Els seus avantatges son que ocupa un espai reduït i requereix un mínim de dos motors en lloc de tres per moure l'extrusor.



Eixos del moviment en una impressora Polar. Extret de: <http://thebest3dprinters.com/polar-3d-review/>

- SCARA:** Les impressores FDM Scara es troben encara en fase experimental i són molt recents. Es caracteritzen per ocupar un espai mínim i per tenir una gran precisió. Posicionen l'extrusor mitjançant un braç articulat que funciona de manera similar als que es troben en les cadenes de muntatge de cotxes. Tot i així, requereix components específics i una gran precisió al muntatge.



Eixos del moviment en una impressora SCARA. Extret de: <http://diy3dprinting.blogspot.com.es/2014/06/new-scara-3d-printer-design-by-sean-aka.html>

Nosaltres vam decidir construir una impressora FDM de tipus cartesià, ja que són les més senzilles de dissenyar i intuïtives, els seus components es poden trobar fàcilment i a internet hi ha moltíssima informació sobre elles.

Per explicar el seu funcionament començarem primerament amb una explicació general per entendre el funcionament a grans trets d'una impressora FDM cartesiana i després farem una explicació més detallada dels diferents components, ja que creiem que així és més fàcil d'entendre el seu funcionament.

Com ja hem vist, les impressores FDM utilitzen filaments de plàstics que són fosos i dipositats en la zona d'impressió formant les diferents seccions transversals de l'objecte a imprimir. Aquest procés de fusió del plàstic el duu a terme un component anomenat extrusor. Un mecanisme s'encarrega d'introduir el filament des d'una bobina a l'interior de l'extrusor perquè aquest el fongui. L'extrusor es mou per la zona d'impressió pels eixos X, Y i Z seguint coordenades cartesianes per tal de dipositar el plàstic fos on calgui. Una sèrie de motors i mecanismes s'encarreguen de que es mogui en línia recta i amb la màxima precisió possible. Aquest conjunt de motors i mecanismes, que formen la part més mecànica de la impressora, s'anomena Mecanisme Cartesià, ja que s'encarrega de moure l'extrusor pels tres eixos cartesianes.

Tots aquests moviments són ordenats per un controlador. El controlador interpreta la informació que li enviem de la peça a imprimir i en funció d'aquesta ordena als diferents components de la impressora les diferents instruccions que han de dur a terme.

La impressora compta amb una font d'alimentació que proporciona energia elèctrica als seus components per funcionar.

Hem classificat els components de la impressora en cinc grans grups fent servir un símil anatòmic: el cervell, el cor, la sang, els músculs, l'esquelet i l'alimentació, ja que considerem que d'aquesta manera resulta més senzill comprendre el funcionament d'una impressora FDM.

5.1 EL CERVELL:

El cervell de la impressora el formen tots aquells components que reben, interpreten i/o envien informació a altres components amb l'objectiu de que aquests executin una determinada acció.

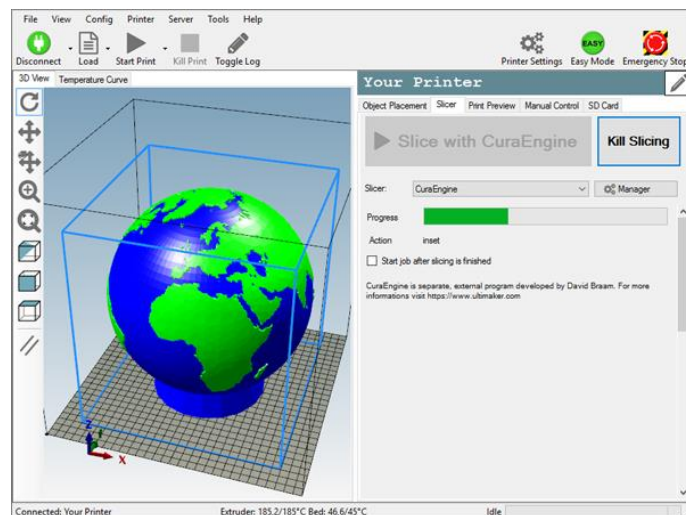
5.1.1 EINES COMPUTER AIDED MANUFACTURING (CAM)

Quan volem imprimir un objecte amb una impressora 3D, el primer que hem de fer és crear un model tridimensional digital d'aquest objecte mitjançant un programa CAD (Disseny assistit per ordinador, en anglès *Computer Aided Design*), com per exemple AutoCAD, Solidworks o SketchUP. Les impressores 3D utilitzen el format STL, ja que no és necessari per a la impressió 3D] de manera que hem de desar el nostre model tridimensional en format STL, cosa que la majoria de programes CAD permeten avui dia. El controlador de la nostra impressora 3D, però, no treballa amb el format STL, sinó que aquest ha de ser convertit en una sèrie d'instruccions que s'anomenen codi-G mitjançant la primera eina CAM: un creador de codi-G.

La funció del creador de codi-G és la de dividir el model de l'arxiu STL en seccions transversals i desar aquesta informació en forma d'operacions que la impressora 3D durà a terme, l'anomenat codi-G. Alguns exemples de creadors de codi-G són Cura, Repetier-Host o Skeinforge.

Ara que hem creat el codi-G, necessitem una eina que ens permeti enviar tota aquesta informació al controlador de la nostra impressora 3D, mitjançant la segona eina CAM: l'emissor de codi-G, un pont entre l'ordinador i la impressora.

L'emissor de codi-G, envia el codi-G prèviament generat al controlador de la impressora 3D per a iniciar el procés d'impressió. Aquesta acció es realitza normalment mitjançant un cable de connexió entre l'ordinador i la impressora. Molts emissors de codi-G incorporen un creador de codi-G, de manera que s'inclouen ambdós eines en un sol programa.

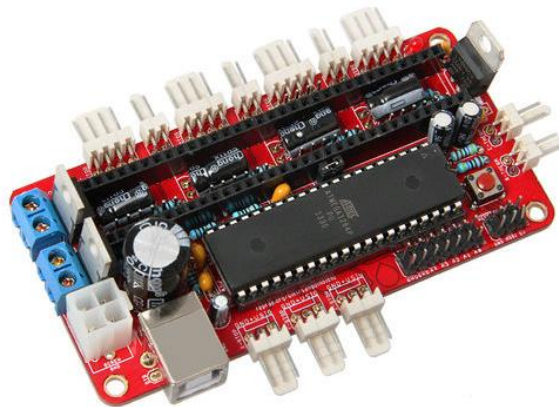


Repetier-Host, un emissor de codi-G. Extret de: <https://www.repetier.com/>

5.1.2 CONTROLADOR

El controlador d'una impressora 3D és un ordinador en miniatura, amb una potència molt reduïda, similar a ordinadors de fa uns quinze anys, però suficient per les funcions que ha de realitzar. El seu component central és un microcontrolador, un petit xip programable que té la funció d'interpretar les instruccions d'un programa informàtic gravat a la seva memòria. El controlador d'una impressora 3D també incorpora elements com ports per connexions de diversos tipus (que inclou un port de connexió amb l'ordinador per carregar el codi-G), una unitat d'emmagatzematge de dades, una entrada d'energia, etc... Alguns exemples de controladors d'impressores 3D són Generation 4, Sanguinololu, RAMPS 1.4 o Alligator.

Com ja s'ha dit, la funció del controlador és interpretar les instruccions d'un programa informàtic. Aquest programa informàtic és el que anomenem firmware, que explicarem a continuació.



*Sanguinololu, un controlador molt popular. Extret de:
<http://www.geeetech.com/wiki/index.php/File:Sanguinololu1.jpg>*

El firmware és un programa informàtic primitiu que controla un dispositiu electrònic al més baix nivell. Per entendre-ho millor, en el nostre àmbit podríem dir que és el sistema operatiu de la nostra impressora 3D. La funció del firmware d'una impressora 3D és interpretar el codi-G i dur a terme les instruccions que hi llegeix, és a dir, controlar la velocitat de gir dels motors, pararlos si és necessari, escalfar l'extrusor a la temperatura necessària, etc... El nostre sistema operatiu duu a terme aquestes tasques gràcies a la informació que rep des de diferents sensors (termistors i finals de carrera) connectats al controlador que l'informen de l'estat, temperatura i/o posició de cada component. Alguns exemples són Marlin o Repetier Firmware.

5.2 EL COR:

El cor de la impressora el formen tots aquells components que tenen l'objectiu de transportar, fondre i dipositar el filament de plàstic per a formar l'objecte a imprimir.

5.2.1 EXTRUSOR

L'extrusió és un procés per mitjà del qual es poden elaborar objectes amb seccions transversals fixes. En el cas d'una impressora FDM, el procés s'anomena extrusió de polímers i consisteix en fondre un plàstic i aplicar-li pressió perquè aquest passi per un motlle i surti amb la secció transversal desitjada, en el nostre cas circular. L'extrusor és un component de mida bastant petita, però és un dels més importants de la impressora, el que treballa en condicions més extremes i per tant el més delicat. En una impressora FDM, l'extrusor està format per dos blocs:

5.2.1.1 EXTREM FRED (*COLD END*)

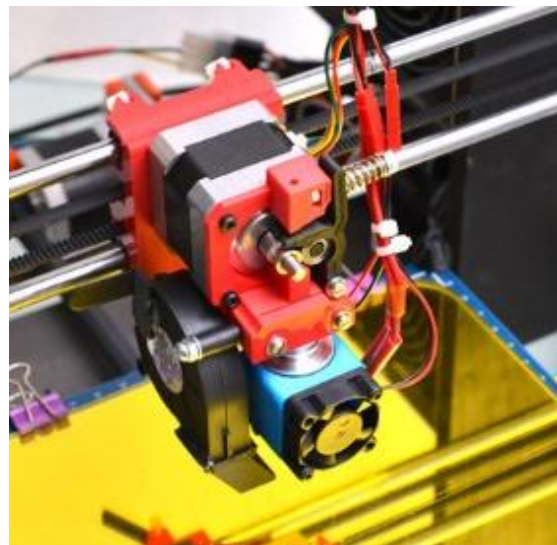
El *Cold-End* és com es coneix la part de l'extrusor on es troba el mecanisme dedicat a introduir el filament de plàstic en l'Extrem Calent (*Hot-End*), on es fondrà. El filament de plàstic es va desenrotllant d'una bobina a mesura que el mecanisme del *Cold-End* l'introdueix en el *Hot-End*. El *Cold-End* consta d'un motor pas a pas que fa girar un engranatge que empeny el filament com si es tractés d'una cinta transportadora. El filament està pressionat contra aquest engranatge per un rodament. Aquesta mesura té l'objectiu de garantir que el fregament entre l'engranatge i el filament sigui prou gran com perquè el filament no rellisqui sobre l'engranatge i aquest el pugui introduir en el *Hot-End*.

El mecanisme del *Cold-End* ha de ser molt precís ja que és el que controla la quantitat de plàstic que es dipositarà a la zona d'impressió, i aquesta varia depenent de diversos factors com la velocitat d'impressió o el tipus de plàstic.

Podem trobar dos tipus diferents de *Cold-End*:

- Mecanisme Directe (*Direct Drive*)

En aquest tipus, el mecanisme del *Cold-End* es troba just a sobre del *Hot-End*. Aquest sistema és molt precís, ja que introdueix el filament directament al

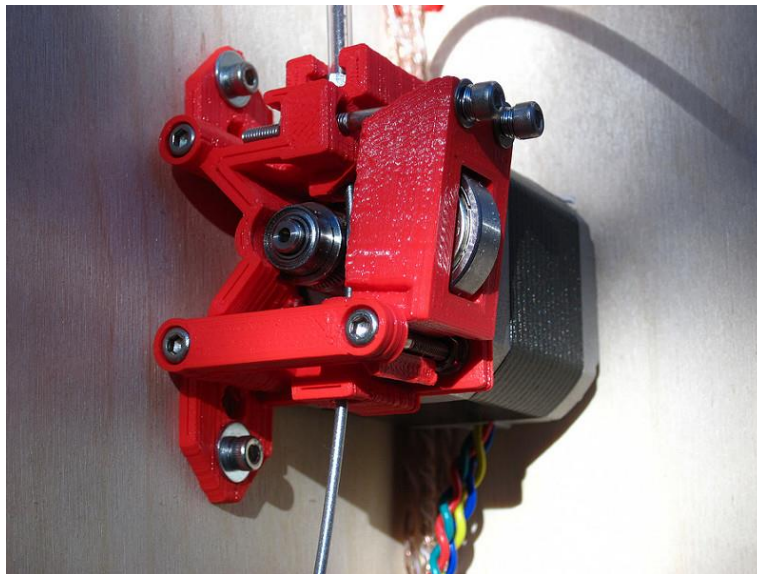


Cold End d'un sistema Direct Drive. Extret de: <http://www.thingiverse.com/thing:147705>

Hot-End, és molt compacte i és fàcil detectar-hi avaries o encallaments. Tanmateix, el moviment de l'extrusor per la zona d'impressió és més complicat degut a que al estar el *Hot-End* i el *Cold-End* units formant un bloc, aquest bloc és força pesant.

- Mecanisme Bowden (*Bowden Drive*)

En aquest tipus, el mecanisme del *Cold-End* es troba fixe en algun punt de la impressora separat del *Hot-End*. El *Cold-End* introdueix el filament per l'extrem d'un tub flexible de baix fregament (usualment de tefló) amb el mateix diàmetre intern que el filament. L'extrem oposat del tub per on surt el filament està connectat al *Hot-End*. El seu principal avantatge és que redueix la càrrega que han de moure els motors del Mecanisme Cartesià. Això implica que sigui molt més àgil i que no necessitem motors tan potents per moure'l, a més de reduir la mida del Mecanisme Cartesià de manera que aquest té més mobilitat. Al reduir la càrrega dels motors, es redueixen les vibracions al *Hot-End* i millora la qualitat d'impressió. Els seus inconvenients són que és més complex que el *Direct Drive*, menys precís degut al recorregut que el plàstic fa dins del tub i més propens a avaries i encallaments dins del tub de tefló que el *Direct Drive*, que no el necessita.



Cold End d'un sistema Bowden Drive. Extret de:
<https://sites.google.com/site/3dprinterlist/home/extruders/filament-extruders/airtripper-s-direct-drive-bowden-extruder>

5.2.1.2 EXTREM CALENT(HOT-END)

El *Hot-End* és la part de la impressora 3D més delicada. La seva funció és escalfar el plàstic de manera que es fongui just quan ha de ser dipositat en la zona d'impressió. El *Hot-End* pot ser completament metàl·lic, cosa que li permet arribar a majors temperatures i treballar amb més tipus de plàstic o bé pot contenir parts de plàstic, restringint la varietat de plàstics amb què pot imprimir però reduint el seu cost. El *Hot-End* està format de diverses parts:

Dissipador de calor (*Heat Sink*): El *Heat Sink* és la part del Hot End per on entra el filament. Enllaça el *Hot-End* i el *Cold-End*. La seva funció és mantenir el plàstic a temperatura ambient fins que entra a la zona de fusió, el Bloc d'escalfament (*Heating Block*). Si el plàstic s'escalfés en aquest punt de forma prematura, el Hot End quedaria obstruït. El *Heat Sink* necessita algun sistema de refrigeració per no absorbir massa escalfor del *Heating Block* i fondre el plàstic al seu interior. Aquest sistema de refrigeració pot ser:

- Actiu: S'encaixa un petit ventilador al *Heat Sink* per tal de garantir que es manté a una temperatura adequada. El seu inconvenient és l'augment de la complexitat del *Hot-End*.
- Passiu: Es dissenya el *Heat Sink* com si es tractés d'un radiador, amb la màxima superfície per dissipar l'escalfor de forma més eficaç.
- Mixt: Es combinen el sistema passiu i l'actiu per dissipar l'escalfor amb la màxima eficàcia

El *Heat Sink* pot estar construït amb metall o amb plàstics resistents a la calor com el PEEK. Els *Heat Sinks* de plàstic no són tan bons conductors tèrmics com els *Heat Sinks* de metall i per tant no necessiten refrigeració.

Molts *Hot Ends* utilitzen un tub de tefló amb el diàmetre intern igual al diàmetre del filament que utilitzem. El tub de tefló s'utilitza per reduir el fregament entre el filament i el *Heat Sink* i que aquest passi de la forma més suau possible. En el *Bowden Drive*, aquest tub tan sols és una prolongació del tub de tefló característic d'aquest sistema.



Heatsink amb sistema de refrigeració passiu.
 Extret de: http://e3d-online.com/index.php?route=extras/blog/getblog&blog_id=21

Separador tèrmic (*Heat Break*): El *Heat Break* és la zona de transició de fred a calent del *Hot End*. El *Heat Break* actua com un aïllant per impedir que l'escalfor necessària per fondre el plàstic al *Heating Block* no passi al *Heat Sink*. Sol ser un tub molt fi d'acer inoxidable per tal de reduir al màxim la conductivitat tèrmica. Acostuma a ser el component més car del *Hot End* per la dificultat que comporta fabricar-lo.



Heat Break d'hacer inoxidable. Extret de: <http://www.filastruder.com/products/e3d-heat-break-v6>

Bloc calefactor (*Heating Block*): El *Heating Block* és un bloc metàl·lic unit per la part superior al *Heat Break* i al Broquet (*Nozzle*) per la part inferior. La seva funció es escalfar el filament fins al punt de fusió. El *Heating Block* té dos orificis, en un s'introdueix un termistor i a l'altre una potent resistència elèctrica.



Heating Block d'alumini. Els forats són pel Nozzle, un termistor i un Heater Cartridge, que veurem més endavant. Extret de: <http://makershopbcn.com/en/product/heating-block-for-aluminum-hotend>

Termistor: El termistor és un component electrònic que varia la seva resistència al pas de la corrent amb la temperatura. Ens permet conèixer la temperatura a la que es troba el *Heating-Block*. Sol trobar-se a l'interior d'aquest per obtenir una millor lectura.



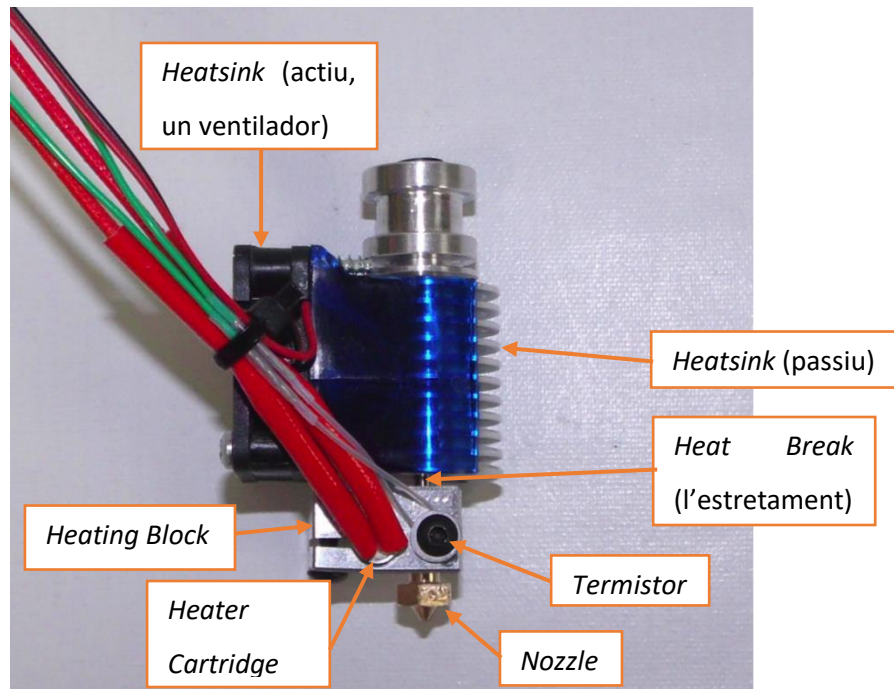
Termistor. Extret de: https://www.alibaba.com/product-detail/100k-reprap-3D-printer-thermistor-hot_1961638922.html

Resistència elèctrica (*Heater Cartridge*): El *Heater Cartridge* és una potent resistència elèctrica dissenyada per generar escalfor, en el nostre cas el suficient per escalfar el *Heating Block* a més de 240 graus centígrads.



Heater Cartridge de 40W i els seus cables. Extret de: <http://www.terapeak.com/worth/2pcs-12v-40w-3d-printer-reprap-mendel-prusa-heater-cartridge-for-hot-end-j-head/181905865988/>

Broquet (Nozzle): El *Nozzle* és la part del *Hot End* per la qual surt el plàstic fos. Té un petit forat circular en la part inferior que varia entre els 0,2 i els 0,8 mil·límetres pel qual s'extrudeix el plàstic.



Hotend E3D-v6. Extret de: <https://www.think3dprint3d.com/E3D-V6-standard-kit>

5.2.2 PLACA D'IMPRESSIÓ (*BUILD PLATE*)

La placa d'impressió està formada per tres elements principals. Tot i així, no totes les impressores estan equipades amb tots ells:

5.2.2.1 LLIT D'IMPRESSIÓ (*PRINT BED*)

El *Print Bed* és la zona de la impressora on es diposita el filament fos per elaborar el model. Pot estar elaborat amb diferents materials com plàstic, vidre o metall. El *Print Bed* sol ser extraïble per tal de desenganxar la peça un cop impresa. Els *Print Beds* s'enfronten al problema de l'adhesió. Per aconseguir que el filament s'adhereixi al *Print Bed* sovint s'utilitzen alguns remeis que poden semblar poc ortodoxos però que donen bons resultats. Aquí citem tres dels més utilitzats:

- Cobrir el *Print Bed* amb laca per al cabell abans de cada impressió: Abans de cada impressió s'extreu el *Print Bed* i es ruixa amb laca per tal de que quedi una fina capa sobre aquest.
- Cobrir el *Print Bed* amb cinta adhesiva de pintor: Es cobreix el *Print Bed* amb tires d'aquesta cinta adhesiva una al costat de l'altra perfectament paral·leles i sense

superposar-se. A diferència de la laca, és una mica més permanent i no cal fer-ho abans de cada impressió.

- Cobrir el *Print Bed* amb cinta Kapton: És molt similar a l'anterior, però es realitza amb una cinta adhesiva que resisteix altes temperatures anomenada cinta Kapton (o cinta de Poliamida).



Llit d'impressió cobert amb cinta de pintor blava d'una impressora Printrbot.
Extret de: <http://fpynter.com/2015/11/glass-print-bed-for-printrbot-simple-metal-part-iv/>

5.2.2.2 LLIT ESCALFAT (*HEATED BED*)

Els tres remeis anteriorment citats només són suficients per a un tipus de plàstic, el PLA, per altres plàstics es necessiten mètodes addicionals. Per aquest motiu existeixen els *Heated Beds*. El concepte consisteix a escalfar el *Print Bed* de manera que el plàstic s'adhereixi millor. Les temperatures a les que s'escalfen els *Print Beds* depenen del tipus de plàstic, però es troben entre els 70 i els 130 graus centígrads. Els *Heated Beds* utilitzen resistències elèctriques per tal de produir l'escalfor necessària.

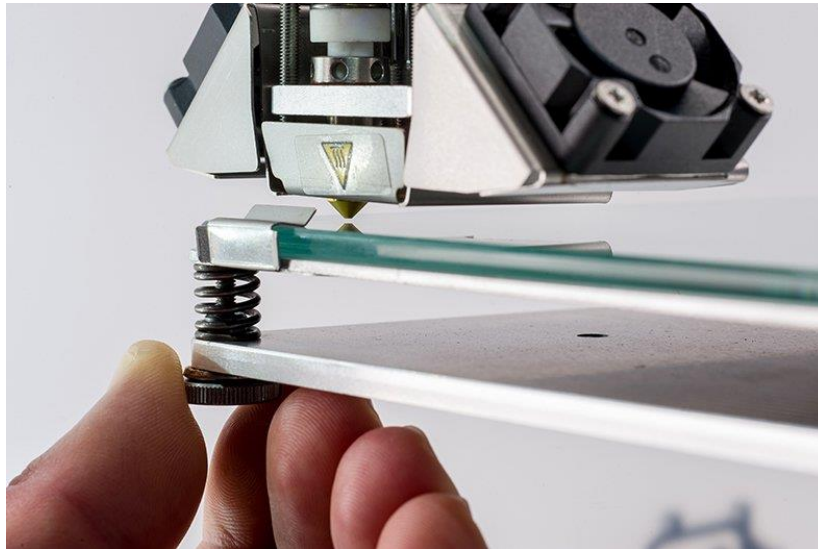


Heated Bed MK2. Extret de: <https://www.3dware.ch/MK3-Alu-Heated-Bed-Mendel/Prusa-214mm-x-214mm-En.htm>

5.2.2.3 SISTEMA D'ANIVELLAT

El sistema d'anivellat es troba present en algunes impressores i és molt útil per acabar d'ajustar l'altura del *Print Bed* i garantir que es trobi completament pla, ja que després del procés de construcció és freqüent que hi hagi petits errors o desviacions que encara que siguin menors d'1 mil·límetre poden espatllar una impressió.

Aquests sistema funciona mitjançant unes molles que empenyen el *Print Bed* cap a dalt. Cargolant o descargolant uns cargols podem regular l'altura del *Print Bed* a cada vèrtex.



Sistema d'anivellat d'una impressora Ultimaker 2. Extret de:
<https://pinshape.com/blog/6-simple-steps-to-3d-printer-bed-leveling/>

5.3 LA SANG

La sang d'una impressora 3D és el filament amb el que imprimeix. Existeixen moltíssims tipus de termoplàstics (polímers que poden tornar a l'estat sòlid després d'escalfar-se i que no alteren les seves propietats en el procés) amb propietats molt diferents amb els quals les impressores FDM poden imprimir. Els filaments d'impressores FDM tenen dos diàmetres universals. Aquests gruixos són 1.75 mil·límetres i 3 mil·límetres. Els filaments es subministren en bobines que solen contenir 500g, 750g o 1Kg de filament normalment. A continuació enumerem alguns dels polímers més populars:

- PLA: El PLA (Poliàcid làctic) és un filament biodegradable que s'obté del midó. És un material resistent i s'extrudeix a uns 190 graus centígrads. És l'únic material que no necessita que la superfície sobre el que s'imprimeix estigui calenta per quedar adherit.

- **ABS:** L'ABS (Acilonitril Butadiè Estirè) és un filament amb excel·lents propietats mecàniques. És rígid, bastant resistent a atacs químics, estable a altes temperatures i la seva característica estrella és la tenacitat. Tot i així, durant l'extrusió, l'ABS emet fums que encara que són tolerables, poden representar un risc per persones amb problemes respiratoris. Presenta un fregament menor que el PLA tot i que la seva temperatura d'extrusió és més elevada, 230 graus centígrads. És el material amb el que estan fetes les peces de LEGO.
- **Niló:** El Niló (Poliamida) és un dels filaments més econòmics de tots amb els que podem imprimir. Resisteix bé el desgast. El seu problema és que es més difícil aconseguir una bona adhesió a la base. La seva temperatura d'extrusió és alta, 245 graus centígrads.
- **HIPS:** El HIPS, també conegut com Poliestirè d'Alt Impacte (variant del poliestirè al qual se li afegeix polibutadiè per fer-lo més resistent) que té unes propietats similars a l'ABS. S'utilitza sobretot per estructures de suport per peces impreses amb altres materials, sobretot l'ABS, ja que el HIPS es dissol amb una substància anomenada limonè que no afecta l'ABS. Per tant, podem submergir tota la peça en limonè, dissolent les estructures de suport de HIPS però deixant perfectament intacte l'ABS.
- **PVA:** El PVA (Acetat de polivinil) és un polímer que es pot dissoldre en aigua. Té el mateix ús que el HIPS. Degut a que és soluble en aigua és ideal per aquest propòsit. El PVA es troba en la vida quotidiana en forma de cola blanca per manualitats.

5.4 ELS MÚSCULS

Els músculs de la impressora inclouen tots aquells components que tenen la funció de moure l'extrusor per la superfície d'impressió en els eixos X, Y i Z.

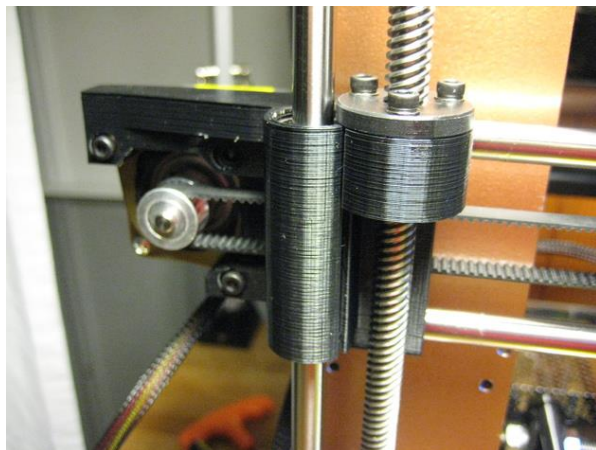
5.4.1 TREN DE MOVIMENT

Totes les impressores cartesianes tenen tres *Drive Trains*. Un *Drive Train* és un dispositiu dedicat a moure l'extrusor per un dels tres eixos de moviment de forma lineal. Es divideix en tres parts:

5.4.1.1 MECANISMES DEL *DRIVE TRAIN*

Gràcies als nostres motors la impressora compta amb una font d'energia mecànica, però els motors giren, i l'extrusor s'ha de moure pels diferents eixos en línia recta així que necessitem un dispositiu que transformi el moviment circular en moviment rectilini. Els sistemes més utilitzats funcionen per mitjà de corretges o per mitjà de cargols sense fi, tot i així existeixen moltíssims sistemes alternatius.

- Per mitjà de corretges: Aquest sistema funciona de forma similar a un funicular. L'extrusor, com un funicular, es mou sobre unes guies i està unit a una corretja accionada per un motor. En el cas del funicular el motor es troba a la part més alta del recorregut i en el cas d'una impressora 3D es tracta del motor pas a pas situat a un dels extrems del recorregut de l'extrusor. La corretja gira sobre una politja al costat oposat del motor.
- Per mitjà d'un cargol sense fi: En aquest sistema hi ha una vara roscada unida a l'eix del motor com si fos una prolongació d'aquest. L'extrusor està unit a una femella que s'enrosca en la vara roscada. El conjunt de l'extrusor es mou per unes guies, de manera que al girar la vara roscada per efecte del motor, l'extrusor es desplaça linealment. Aquest sistema actua també com una reducció per al motor, de manera que fa el moviment més precís.



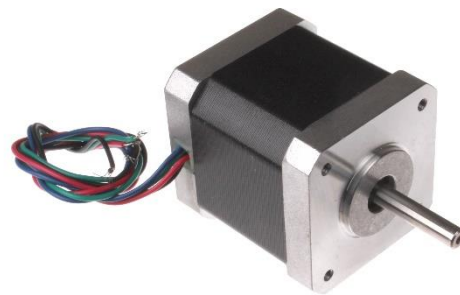
Drive Train amb sistema de cargol sense fi. Extret de: <http://www.thingiverse.com/thing:362019>

5.4.2 MOTORS

Els motors s'encarreguen de moure l'extrusor per la superfície d'impressió i d'introduir el filament en el *Hot-End*. En el món de la impressió 3D qualsevol moviment que faci la impressora ha de ser extremadament precís. De tots els tipus de motors elèctrics que existeixen, els que més s'ajusten a aquest requisit són els motors pas a pas.

Els motors pas a pas tenen diverses particularitats molt apropiades per aquesta finalitat. Tenen un elevat parell de frenada, és a dir, podem fer-los parar de forma immediata sense que segueixin girant per inèrcia. Tenen més parell a velocitats baixes, i la més important per a nosaltres, tenen la particularitat de poder girar un cert angle que nosaltres podem controlar, en lloc de donar voltes contínuament com altres tipus de motors.

Mitjançant un controlador podem fer que un motor pas a pas giri x graus en sentit horari, y segons i giri z graus en sentit antihorari. Aquesta particularitat és deguda a que un motor pas a pas utilitza un principi de funcionament diferent al d'un motor elèctric convencional. Imaginem una brúixola, si situem un imant a un punt cardinal, l'agulla girarà i es situarà indicant aquell punt cardinal. Si en lloc de moure



Motor pas a pas NEMA-17. Extret de: <http://www.vjtronics.com/product/stepper-motor-nema-17/>

manualment nosaltres l'imant, situem un electroimant connectat a un controlador a cada punt cardinal, podrem controlar cap a on apunta l'agulla activant l'electroimant del punt cardinal que vulguem a través del nostre controlador. Si situem un electroimant cada pocs graus de la circumferència, podrem situar l'agulla a una determinada posició angular amb gran precisió. Si activem i desactivem electroimants adjacents en el moment precís aconseguirem que l'agulla vagi traçant circumferències, i si continuem fent més complex i precís el nostre dispositiu arribarem a tenir un motor pas a pas.

Però per activar les fases que té un motor pas a pas en el moment precís amb la màxima precisió es necessita un *driver* dedicat a aquesta funció.

5.4.3 DRIVERS DELS MOTORS PAS A PAS

El controlador d'una impressora 3D no té capacitat per controlar els motors directament degut a que aquests necessiten un amperatge massa elevat. Aleshores, es veu obligat a recórrer a un intermediari (el *driver*) que sí que pot operar amb aquest corrent i que s'encarrega de regular-lo i d'activar cada bobina del motor en el moment precís per posicionar-lo correctament seguint

les ordres del controlador. A més, l'ús dels drivers té certs avantatges com majors mesures de seguretat i sobretot la possibilitat dels micropassos. Els micropassos consisteixen a dividir cada pas del motor en diversos passos separats activant les bobines del motor d'una forma específica. Alguns drivers arriben a una resolució d'1/32 passos. Amb això es aconsegueix augmentar la resolució dels moviments del motor, tot i que pot significar una pèrdua de precisió en el posicionament, a més d'exigir un esforç extra al *driver* per la complexitat d'activar les bobines correctament.



Driver Pololu A4988. Extret de: <https://www.pololu.com/product/1182/pictures#lightbox-picture0J4578>

5.4.4 FINALS DE CARRERA

Per moure l'extrusor pels diferents eixos, el controlador d'una impressora 3D necessita un punt des del que referenciar tots els moviments. A l'inici de cada impressió el controlador situa l'extrusor en aquesta posició i a continuació inicia el procés d'impressió. Per saber si l'extrusor es troba al punt de referència, es situen els finals de carrera a l'inici de cada *Drive Train*. Un final de carrera és un petit interruptor que



Final de carrera. Extret de: <http://smoothieware.org/guide-endstops>

detecta la posició d'un objecte mòbil mitjançant accionament mecànic, és a dir, quan el mòbil entra en contacte amb ell s'activa i per tant sabem que el mòbil es troba al costat del final de carrera. En algunes impressores no només es troben a la posició mínima sinó que també a la màxima per evitar que si hi hagués algun problema els motors no excedissin mai la posició màxima.

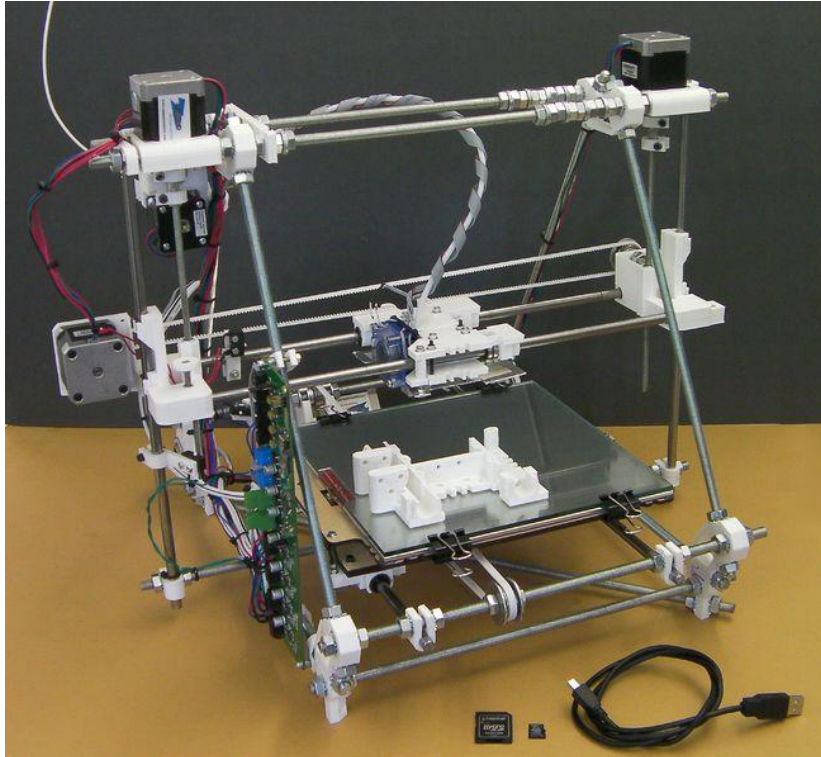
5.5 L'ESQUELET

L'esquelet de la impressora fa de suport per a tots els components i es correspon a la carcassa.

La carcassa d'una impressora 3D té la funció de fer de suport per la resta de components i alhora protegir-los de possibles cops. La carcassa d'una impressora 3D pot estar feta d'una gran varietat de materials com fusta, metacrilat, alumini, etc...

Tot mirant fotografies d'impressores 3D per internet, ens hem adonat de que hi ha dos estils principals de construcció de carcasses d'impressora 3D:

- Estil RepRap Mendel: Si ens fixem en aquesta impressora observarem que realment no existeix una carcassa com a tal, sinó que la impressora està construïda a base de barres metàl·liques que formen l'estructura principal i que estan unides entre si per peces de plàstic impreses en 3D amb les que també subjecten els components al seu lloc.



Impressora RepRap Mendel. Extret de: http://reprap.org/wiki/RepRapPro_Mendel

- Estil Makerbot® Thing-O-Matic: A primera vista podem observar que aquesta impressora no té res a veure amb la RepRap Mendel. La carcassa de la Thing-O-Matic sí que es pot anomenar carcassa com a tal. Està formada per planxes de fusta que tanquen tots els components i els cables.



Impressora Makerbot® Thing-O-Matic. Extret de:
<https://en.wikipedia.org/wiki/MakerBot>

5.6 ALIMENTACIÓ

El sistema d'alimentació el formen tots aquells components destinats a proporcionar energia elèctrica a la impressora, és a dir, la font d'alimentació.

La font d'alimentació d'una impressora 3D té la funció de convertir el corrent altern de la xarxa elèctrica en corrent continu i alimentar els diferents components d'un dispositiu electrònic. Una mateixa font d'alimentació pot proporcionar diversos voltatges de sortida. És important tenir en compte que si una font d'alimentació està certificada a 50W no vol dir que sempre subministrarà 50W, ja que aleshores si connectéssim un dispositiu que funcionés a 30W el destruiríem. Les fonts d'alimentació subministren la potència que el dispositiu al qual estan connectades demana en cada moment. Si connectem una tira de LEDs de 20W a una font de 50W la font els subministrarà 20W. 50W és la potència màxima que poden subministrar, tot i així no és gens recomanable portar una font al màxim.

Les impressores 3D, com molts dispositius electrònics utilitzen fonts d'alimentació commutades, més eficients i lleugeres que la seva alternativa, les lineals. La majoria d'impressores 3D funcionen amb 12 volts i algunes amb 24 volts i uns 5-20 ampers i poden utilitzar tres tipus de fonts d'alimentació:

- Fonts d'alimentació per ordinadors de sobretaula: També conegudes com fonts ATX. Són les fonts que utilitzen els ordinadors de sobretaula. Tenen potències elevades. Aquesta potència es distribueix en diversos canals: 3.3 volts, 5 volts, 12 volts i -12 volts. A nosaltres només ens interessa el canal de 12 volts.
- Fonts d'alimentació per tira de LEDs: Com indica el seu nom, s'utilitzen per alimentar tires de LEDs. A diferència de les fonts ATX tenen un sol canal. Podem trobar fonts d'aquest tipus per molts voltatges i amperatges diferents.
- Fonts d'alimentació de portàtils: Són els carregadors que utilitzem pels nostres ordinadors portàtils. No solen proporcionar potències tan altes com els altres dos tipus de fonts i no són gaire populars. Només tenen un canal i el seu voltatge depèn del model de portàtil pel qual estiguin dissenyats. Tot i així els 12 volts són un voltatge freqüent.



Font d'alimentació per tira de LEDs. Extret de: <https://www.cybermarket.co.uk/shop/power-supplies/led-lighting-psu.html>

6 SELECCIÓ DE COMPONENTS

En aquest apartat triarem quins components utilitzarem per la construcció de la impressora. Farem les diferents tries sempre amb els ítems que apareixen als objectius (simplicitat, baix cost, fiabilitat, disseny compacte i facilitat de muntatge) com a referència. A cada tria exposarem els motius que ens han portat a triar un component o un altre i les raons per les quals hem donat més preferència a determinades característiques sobre altres.

El component central de tota impressora és el controlador, per tant començarem per aquí. Després del controlador escollirem els mecanismes del *Drive Train* inclosos els motors (i els drivers) i a continuació l'extrusor (*Hot-End* i *Cold-End*). Tot seguit valorarem si utilitzar o no un *Heated Bed*, un sistema d'anivellat i el material del nostre *Print Bed* i a continuació tenint en compte l'extrusor i el tipus de superfície d'impressió triarem el filament. Quan coneguem la potència total que la nostra impressora necessitarà, seleccionarem la font d'alimentació i per últim triarem els materials i el tipus de carcassa que tindrà la impressora.

Aquest ordre de selecció de components no és arbitrari sinó que està condicionat per l'objectiu pel qual construïm la impressora. Si busquéssim crear una impressora amb altes prestacions capaç de treballar amb molts tipus de materials, l'element fonamental seria l'extrusor, l'elecció del qual condicionaria els tipus de motors que necessitarem, donat el pes, la mida i la potència necessària per moure aquest component. Si, com en el nostre cas, prioritzem construir una impressora a un preu més reduït i una major simplicitat de muntatge és millor triar en primer lloc els motors i adaptar el sistema d'extrusió a la potència d'aquests, donat que els motors poden incrementar molt el preu i la complexitat de muntatge de la impressora.

6.1 CONTROLADOR

En aquest apartat triarem el controlador amb el que funcionarà la nostra impressora FDM.

Al mercat trobem moltíssims controladors per impressores 3D amb orígens molt diversos. La gran quantitat d'alternatives existents dificulta la tria, de manera que hem decidit organitzar els controladors en tres grans grups, tenint en compte només aquelles alternatives més populars (i per tant més fàcils d'aconseguir):

- **Controladors basats en Arduino:** Al primer dels tres grans grups trobem tots aquells basats en l'ATmega2560, el mateix microcontrolador de l'Arduino. Encapçalats pel popular RAMPS, altres exemples són RUMBA, RAMBo o Megatronics.
- **Controladors basats en processadors ARM:** ARM és un tipus d'arquitectura que utilitzen molts processadors avui dia que requereix menys transistors i per tant permet reduir el consum d'energia, l'emissió de calor i el cost. Els controladors que utilitzen aquests tipus de processadors són els més potents dels tres grups. Alguns exemples són Smoothieboard i Alligator.
- **Sanguinololu i derivats:** Aquesta família de controladors procedeixen del Sanguinololu, no estan basats en Arduino (tot i que en major o menor grau són compatibles amb l'eina de programació d'Arduino) i no utilitzen processadors ARM, en canvi, abunden els que incorporen el microcontrolador ATmega644P. Alguns exemples apart del propi Sanguinololu són Printrboard, Melzi i Teensylu.

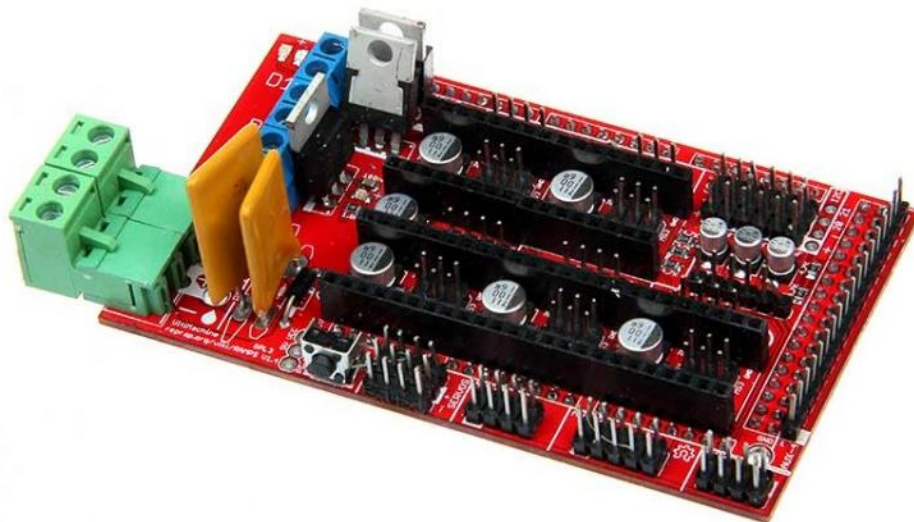
El grup de controladors basats en processadors ARM queda inicialment descartat, ja que no s'ajusta a la filosofia d'aquest treball. És cert que aquests controladors ofereixen moltes funcions i tenen una gran potència, cosa que per altra banda implica el preu més alt dels tres grups, però és justament per això que els descartem. Nosaltres busquem un controlador simple i econòmic i no un sofisticat controlador d'última generació.

Entre els grups d'Arduino i Sanguinololu no hi havia gaire diferència, tant de preus com de qualitat. Tot i així ens vam acabar decantant pel grup d'Arduino i concretament pel controlador RAMPS 1.4. Això era degut a que aquest controlador en concret presentava diversos avantatges sobre els demés que el feien idoni pel nostre projecte.

En primer lloc el seu preu varia depenent del fabricant i de la seva qualitat, per tant podem decidir nosaltres l'equilibri entre qualitat i preu.

És cert que també cal comprar un Arduino Mega, però RAMPS pot funcionar perfectament amb qualsevol còpia d'aquesta placa. Aquest fet és rellevant ja que si comprem un Arduino Mega oficial haurem de pagar uns quaranta euros, però al ser Arduino un projecte obert podem comprar qualsevol còpia de la placa de forma legal sempre que no porti el nom d'Arduino. Això permet que hi hagi una gran varietat de preus i de qualitats diferents disponibles.

Un altre avantatge és que el RAMPS 1.4 és un controlador molt popular i podem trobar moltíssima informació a internet sobre el seu funcionament, configuració i solució de problemes. Degut al fet de ser tan popular, hi ha disponibles una gran varietat de firmwares amb els quals és compatible, de manera que tenim la opció de triar.



Controlador RAMPS 1.4. Extret de: <http://www.geeetech.com/ramps-14-reprap-mega-pololu-a4988-extend-shield-p-606.html>

6.2 DRIVE TRAIN

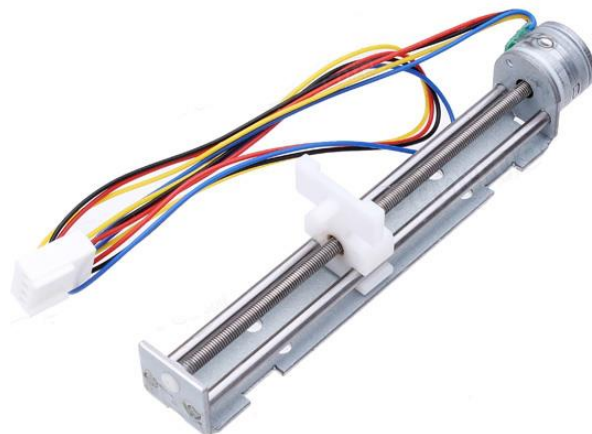
Per al *Drive Train*, teníem dues opcions entre les quals escollir:

- La primera opció consisteix en utilitzar un motor pas a pas i acoblar un sistema de cargol sense fi o de corretges que conformarien el *Drive Train*. Els avantatges d'aquest sistema són que podríem utilitzar un motor de potència considerable (tot depèn del preu que estiguem disposats a pagar) i que podríem tenir una àrea d'impressió d'una mida tan gran com vulguem, depenent de la longitud de la barra roscada en el cas del cargol sense fi o de la longitud de la corretja en l'altre cas. Els inconvenients són que el muntatge i el

disseny són complexos, ja que aquests sistemes necessiten una gran quantitat de peces com engranatges, politges, rodaments, varetes metàl·liques, etc... El preu no és ni un inconvenient ni un avantatge, ja que varia molt depenent de la qualitat que busquem, de manera que en realitat el posem nosaltres.

- La segona opció és utilitzar uns petits motors pas a pas que porten un sistema de cargol sense fi integrat. El principal avantatge d'aquest sistema és que el *Drive Train* ja està incorporat al motor i no cal muntar-lo, de manera que reduïm el temps i la complexitat del muntatge així com del disseny. Els seus inconvenients són que l'àrea d'impressió és limitada a la longitud de la barra roscada del motor, que varia entre els 74mm i els 90mm segons el model. La seva mida reduïda pot provocar també alguns problemes amb l'escalfor, però es poden solucionar subministrant-los menys corrent elèctric, tot buscant l'equilibri entre potència i temperatura.

Entre les dues opcions, vam escollir la segona ja que simplificava molt el disseny i la construcció i per tant reduïa el temps necessari per dur-los a terme. Un altre motiu va ser que utilitzar la primera opció seria una bona idea per a una impressora de major mida, però com que busquem una impressora que sigui compacta, vam pensar que no compensava incrementar la complexitat del disseny triant la primera opció només per guanyar uns mil·límetres d'àrea d'impressió. Vam triar el motor amb la barra roscada de 90mm ja que ens donava l'àrea d'impressió més gran que els de 74mm.



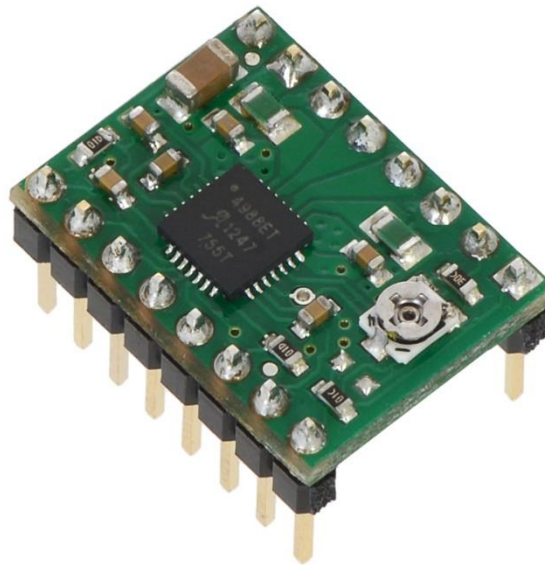
Motor amb barra roscada de 90mm. Extret de:
<http://www.banggood.com/DC-4-9V-Drive-Stepper-Motor-Screw-With-Nut-Slider-2-Phase-4-Wire-p-964613.html>

6.3 DRIVERS

Per als drivers, hem de triar entre les dues alternatives que són compatibles amb RAMPS 1.4: Pololu A4988 i Texas Instruments DRV 8825. A continuació veiem les seves característiques:

- Pololu A4988: Aquesta és la opció més bàsica de totes i una de les més populars. Pot subministrar una intensitat màxima de fins a 2 Ampers amb refrigeració i 1 Amper sense. Permet una resolució de fins a 1/16 de pas. Això vol dir que pot dividir cada pas del motor en 16 micropassos (*microsteps*), de manera que incrementa la precisió del moviment. Existeixen moltes variants de l'A4988 (StepStick, G3D, etc...) que incorporen petites millores però incrementen el preu.
- Texas Instruments DRV 8825. Aquesta opció és una mica més cara que la primera però té algunes funcions extra. Pot subministrar fins a 2,2 Ampers amb refrigeració i 1,5 Ampers sense. També té una resolució de *microstepping* superior (1/32 de pas).

Finalment vam escollir la primera opció, els A4988. És cert que no tenen tanta resolució com els DRV 8825, però segurament el nostre disseny de la impressora no serà tan perfecte com per apreciar una diferència notable entre 1/16 de pas i 1/32 de pas. Tampoc poden subministrar tanta corrent, però els nostres motors funcionen a 0,5 Ampers, la meitat del que els A4988 poden subministrar sense refrigeració. D'aquesta manera vam preferir el preu reduït dels A4988 a les funcions que no necessitàvem del DRV 8825.



Driver Pololu A4988. Extret de:
<https://www.pololu.com/product/1182>

6.4 EXTRUSOR

En aquest apartat triarem el *Hot End* i el *Cold End* que utilitzarem i la seva configuració (*Bowden Drive* o *Direct Drive*). Vam començar per aquí i vam decidir utilitzar un sistema *Bowden Drive* en lloc d'un *Direct Drive* degut a que els motors que havíem triat no podrien moure el pes del conjunt de *Hot End* i *Cold End*.

6.4.1 HOTEND

Havent pres aquesta decisió vam començar per triar el nostre *Hot End*. Vam tenir clar des del principi que no seria un *Hot End* completament metàl·lic, ja que tot i que aquests permeten treballar amb moltes varietats de plàstic, també són els més cars. Degut a l'immens nombre de *Hot Ends* disponibles al mercat vam decidir, en lloc de comparar totes les opcions disponibles, centrar-nos en una que complís els nostres requisits. El nostre requisit principal era la qualitat, ja que podem trobar *Hot Ends* molt econòmics fabricats a la Xina, però molts usuaris afirmen que donen problemes i que no són gens recomanables per novells en la impressió 3D. Tot i així, el preu seria també important, ja que segons la nostra elecció, el cost de la impressora es podia disparar. Un altre aspecte que valoraríem era que fos compacte, ja que la nostra àrea d'impressió no era gaire gran i un *Hot End* voluminós no seria pràctic.

D'aquesta manera ens vam trobar amb l'E3D-lite6. Aquest *Hot End* era l'últim producte de l'empresa E3D, dedicada a la fabricació de dispositius d'extrusió per impressores FDM. E3D fabrica productes de qualitat i valorats pels usuaris, com el popular E3D-v6, així que vam prendre la seva bona reputació com a garantia de fiabilitat. Una altra garantia és que el lite6 és en realitat un derivat de l'anteriorment esmentat v6, un extrusor molt estimat pels usuaris i l'orgull d'E3D.

El propòsit del lite6 segons E3D és el d'esdevenir un *Hot End* de bona qualitat però que tothom es pugui permetre, cosa que ve motivada per la gran quantitat de còpies il·legítimes de l'E3D-v6 que es poden trobar a un preu molt menor. Per aconseguir aquesta reducció de preu, el lite6 sacrifica el poder imprimir a altes temperatures i grans velocitats (limitant-lo a imprimir



Hot End E3D lite6. Extret de: <http://e3d-online.com/Lite6>

únicament PLA i ABS a un màxim de 245 graus). D'aquesta manera el seu preu baixa fins a només 30 euros per la versió *Bowden-Drive* (que inclou el tub de PTFE).

En quant a mida, l'E3D lite6 era un *Hot-End* relativament compacte per si sol, però tenia l'inconvenient de que el ventilador que utilitzava per refrigerar-se ocupava un espai extra. Tot i així, vam pensar que el volum del lite6 es trobava dintre dels límits tolerables.

Per últim, els usuaris coincideixen en que és un *Hot End* ideal per novells, ja que és econòmic, simple i dona molt pocs problemes. D'aquesta manera vam arribar a la conclusió de que l'E3D-lite6 es tractava del *Hot End* perfecte pel nostre projecte.

És cert que pel *Hot End* vam estar pensant també en utilitzar algun model de la família J-Head, ja que també eren econòmics, compactes i populars. Tot i així, el problema dels J-Head era que la majoria dels que circulaven pel mercat, tot i que venuts assegurant que eren autèntics, es tractaven de còpies il·legítimes (d'aquí el seu baix preu) i la seva fiabilitat era molt discutible, de manera que vam decidir no arriscar-nos. Tot i així, el preu dels únics J-Head legítims que vam trobar era de 53 euros, molt superior al del lite6.

6.4.2 COLD END

Per al *Cold End* també existeixen gran quantitat d'opcions, mecanismes, preus i qualitats. Ens vam decantar pel *Cold End* de l'extrusor MK8, que funciona amb un motor NEMA 17 (necessitem la seva potència per vèncer la força de fregament entre el tub de PTFE i el filament) i està construït amb alumini. El *Cold End* de l'MK8 es ven separatament del *Hot End* i tot i estar dissenyat pel seu propi *Hot End*, pot funcionar amb qualsevol altre. El mecanisme de l'MK8 era molt simple però efectiu i ideal per sistemes *Bowden Drive*. Això, sumat al fet de que es podia trobar per 16 euros (davant dels 90 euros que costen altres models) feia que l'MK8 fos perfecte pel nostre projecte.



Cold End de l'extrusor MK8. Extret de:
<https://es.pinterest.com/pin/462041243000135634/>

6.5 SUPERFÍCIE D'IMPRESSIÓ

En aquest apartat decidirem quin material utilitzarem per la superfície d'impressió, valorarem si utilitzar un *Heated Bed* o no i si utilitzem un sistema d'anivellat pel *Print Bed*.

6.5.1 HEATED BED

El *Heated Bed* és absolutament necessari per imprimir qualsevol plàstic excepte el PLA, de manera que si decidim incorporar un *Heated Bed* a la impressora no estariem limitats a imprimir solament PLA, cosa que comporta un important avantatge. Cal tenir en compte, però, que el nostre Hot End només pot treballar amb PLA i ABS, per tant l'ús d'un *Heated Bed* ens permetria imprimir amb un plàstic més solament. Tanmateix l'ABS és un plàstic que ofereix moltes possibilitats i té unes grans propietats, per tant el fet de poder imprimir encara que només fos amb ell ja comportaria un gran avantatge.

Tot i així, el *Heated Bed* implica una necessitat de potència major per part de la font d'alimentació així com un augment significatiu de la complexitat de la impressora. Aquesta opció afegiria una considerable dificultat al projecte i un temps extra que hauríem de dedicar.

Degut a l'augment de complexitat de la impressora al haver d'implementar un *Heated Bed* vam decidir no utilitzar-lo, tot i que no queda descartat implementar-lo posteriorment.

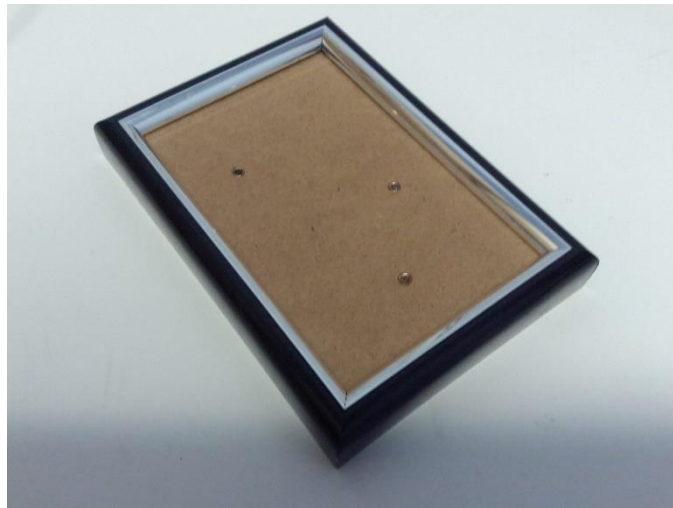
6.5.2 PRINTBED

Per triar el material del *Print Bed* hem de tenir en compte que la nostra impressora imprimeix en PLA i que no té *Heated Bed*. En primer lloc, vam pensar que, independentment del material del *Print Bed* utilitzaríem cinta de pintor per garantir una bona adhesió del PLA a la superfície d'impressió. Com ja hem explicat anteriorment, existeixen altres remeis com cinta Kapton o la laca, però vam pensar que la cinta adhesiva de pintor era el més fàcil d'aplicar i a més ja en teníem a casa.

Ara havíem d'escollir el material del *Print Bed*. Aquest material ha de tenir dues característiques importants:

- Ha de deformar-se poc per efecte de l'escalfor, ja que estarà molt a prop del *Heating Block* que es trobarà a uns 190 graus i les deformacions del *Print Bed* podrien afectar els resultats de la impressió.
- Ha de ser un bon aïllant, per tal d'evitar transmetre l'escalfor a la carcassa o a la resta de peces de la impressora i evitar que es deformin.

Algunes opcions que hem vist en algunes impressores són el metacrilat o fins i tot la fusta, però no compleixen els requisits anteriorment esmentats. La opció ideal i que es troba en la majoria d'impressores és el vidre, que té ambdós propietats. Tot i així, tallar el vidre a mida és car, per tant havíem d'utilitzar el vidre d'algun objecte quotidià que s'adaptés el millor possible a les mides necessàries, que vam pensar que com a mínim i com a ideal haurien de ser 90mm x 90mm. Vam arribar a la conclusió de que la millor opció era utilitzar el vidre d'un marc de fotografies. Hi havia disponibles dues mesures que s'apropaven a la desitjada; 90mm x 130mm i 100mm x 100mm. La ideal seria la segona opció, ja que era quadrada i no sobrava tant per cada costat, tot i així, aquesta última era més cara ja que només la vam trobar en una botiga de fotografia, mentre que la primera es pot trobar en qualsevol basar xinès. La diferència de preu era considerable, per tant vam decantar-nos per la primera opció, 90mm x 130mm.



Marc de fotos amb vidre de 90mm x130mm que vam comprar.

6.5.3 SISTEMA D'ANIVELLAT

L'avantatge principal d'un sistema d'anivellat és que actua com un mitgador d'errors durant el procés de construcció. És extremadament complicat que després de construir la impressora ens quedi el *Print Bed* perfectament horitzontal i a l'altura justa. El sistema d'anivellat ens permet ajustar l'altura del *Print Bed*, així com la inclinació per compensar aquests errors. L'increment de complexitat que comporta l'ús d'aquest sistema considerem que no és exagerat, ja que només es tracta d'afegir uns cargols més i unes molles. El preu dels components extra no és tampoc excessiu, per tant vam decidir implementar un sistema d'anivellat.

6.6 FILAMENT

Degut a la nostra combinació del *Hot End* E3D-lite6 i l'absència de *Heated Bed*, només podrem imprimir amb PLA. El nostre *Hot End*, l'E3D-lite6 només està disponible en la versió de filament d'1,75mm, així que no cal fer cap tria en matèria de filament, ja que només tenim una opció. Tot i així, el filament d'1.75mm ens convé ja que és el més adequat per sistemes *Bowden Drive* al ser més flexible que el de 3mm (mentre que aquest és molt popular per imprimir amb filaments elàstics, ja que els manté més rígids). A més, el filament d'1.75mm ofereix més precisió, cosa que vam valorar positivament mentre que el de 3mm ofereix més velocitat d'impressió. Per últim, el filament d'1.75mm és el més utilitzat i està disponible més fàcilment. Nosaltres vam comprar una bobina de PLA negre d'1Kg de diàmetre 1.75mm per 18.75 euros.



*Bobina de PLA negre similar al que vam comprar. Extret de:
<http://www.3dprima.com/en/filaments-for-3d-printers/pla-175mm/primavalue-pla-filament-175mm-1-kg-spool-black.html>*

6.7 FONT D'ALIMENTACIÓ

En aquest apartat decidirem quin tipus de font d'alimentació utilitzar dels tres tipus diferents que podem trobar. Per aquest apartat tindrem molt en compte la seguretat i la fiabilitat, ja que si la font d'alimentació falla pot causar problemes seriosos, des de flames fins a fortes descàrregues elèctriques. Cal tenir molt present que estem treballant amb electricitat i que aquesta és perillosa. Abans de començar la selecció cal tenir una simple fórmula clara:

$$\text{Potència (watts)} = \text{Voltatge (volts)} * \text{Intensitat (ampers)}$$

Abans de triar, però, és important estimar el consum de la nostra impressora 3D. El RAMPS 1.4 funciona a 12 volts i té dues entrades de corrent, una destinada exclusivament a alimentar el *Heated Bed* i que com a màxim requereix 11 ampers i la segona dedicada a tota la resta de components (que es la que a nosaltres ens interessa) i que com a màxim requereix 5 ampers. És a dir, el *Heated Bed* requereix 132 watts i la resta de components 72 watts com a màxim. Nosaltres deixarem per raons de seguretat un marge mínim del 20% sobre els 72 watts que necessita la impressora, així que com a mínim la nostra font hauria d'estar certificada per poder subministrar 87 watts (12 volts, 7,25 ampers). D'aquesta manera deixem un bon marge i no ens haurem de preocupar pel sobreescalfament ni per danys a la font ni als components de la impressora al no poder subministrar la font suficient potència. A continuació mostrem els avantatges i inconvenients dels tres tipus de fonts entre les que triarem:

- Font d'alimentació d'ordinador: Els seus principals avantatges són la seva versatilitat, elevada potència, baix preu, facilitat d'ús i la seva enorme facilitat d'adquisició. A més són molt segures, ja que després de molts anys en el mercat s'han creat certificats i establert estàndards per garantir una certa qualitat i fiabilitat. Els seus principals inconvenients son la seva mida considerable i que no aprofitem totalment la seva potència, ja que només utilitzem el canal de 12 volts.
- Font d'alimentació de tira de LEDs: Aquest tipus de fonts són una mica més cares en general que les fonts d'alimentació d'ordinador i no es troben amb tanta facilitat. Tampoc estan obligades a complir els certificats de les fonts d'alimentació d'ordinador. Tot i així, són més compactes, tenen també una elevada potència i són fàcils d'implementar en una impressora.
- Font d'alimentació de portàtil: El principal avantatge d'aquest tipus de fonts és la seva mida reduïda. Son similars en quant a preu als altres dos tipus però no solen subministrar potències tan altes. Els seu principal inconvenient es que les que han de subministrar potències com les que nosaltres necessitem s'escalfen molt, cosa que

reduïx la vida de la font. A més, cal tenir en compte que per implementar-la a la impressora caldria soldar, i que tot i que són fàcils d'aconseguir, trobar una adequada als requisits de la nostra impressora pot no ser tan senzill.

Vam descartar des del començament la font d'alimentació de portàtil ja que vam adonar-nos que en general aquest tipus de fonts no son adequades per subministrar tanta potència. Vam decidir finalment descartar la font d'alimentació per tira de LEDs a favor d'una font d'alimentació d'ordinador, principalment per la seva seguretat, facilitat d'implementació a la impressora, baix preu i gran potència encara que sigui més voluminosa. Tot i que la font tindrà capacitat de subministrar probablement el doble o més de la potència necessària, hem decidit valorar positivament aquest aspecte per si en algun moment del futur volem implementar un *Heated Bed*. De ser així, no caldria redissenyar la impressora ja que totes les fonts d'ordinador segueixen unes mesures estàndard. Com a molt caldria canviar la font en el cas de que veiéssim que la nostra seria massa justa.

Vam decantar-nos per una font de 500W amb 14 ampers al canal de 12 volts, és a dir, una potència útil per a nosaltres de 168W com a màxim i que ens va costar 15 euros. Aquesta xifra excedeix sobradament el mínim de 87W que ens havíem proposat.



Font d'ordinador de sobretaula de 500W que vam comprar.

6.8 CARCASSA

En aquest apartat triarem el principi de construcció de la carcassa així com el o els materials que utilitzarem per a aquest propòsit.

6.8.1 PRINCIPI DE CONSTRUCCIÓ

En aquest apartat escollirem entre els dos estils de construcció que vam identificar anteriorment:

- Estil RepRap Mendel: El principal avantatge d'aquest principi de construcció és que no cal tallar cap peça. Com a inconvenients tenim que necessitem peces de plàstic per les unions i per subjectar els components. En la Mendel aquestes peces s'imprimeixen amb una altra impressora 3D seguint la filosofia RepRap, tot i així això representaria un cost elevat per a nosaltres, ja que hauríem d'encarregar-les a un servei d'impressió 3D. Un altre inconvenient és que els components, cables, connexions, etc... queden a la vista i es poden fer malbé, rebre cops, etc...
- Estil Makerbot® Thing-O-Matic: Els seus principals avantatges són que conté tots els components de la impressora al seu interior protegint-los de cops i fa que sigui molt més compacta, a més de que no requereix peces de plàstic que s'haurien d'imprimir en 3D. El seu gran inconvenient és que requereix tallar totes les peces que la formen.

Finalment vam decidir seguir el segon principi de construcció ja que imprimir les peces en 3D seria massa car, a més de que ens interessa que la nostra impressora sigui compacta i que quedin tots els components, cables i unions ben recollits i protegits. Considerem també que l'estil RepRap Mendel implica una major dificultat a l'hora del disseny i que l'estil Makerbot® Thin-O-Matic és més intuïtiu.

Una altre decisió que vam prendre dintre de l'estil de la carcassa va ser la de no construir un suport per al filament. Considerem que aquest suport només és necessari en el cas de que estiguem tractant amb una impressora amb una gran àrea d'impressió, ja que per les impressions més grans caldrà anar desenrotllant la bobina des d'un suport adequat per tal de que això sigui possible. La nostra impressora, en canvi, tindrà mides reduïdes i no gastarà gaire plàstic a cada impressió, de manera que si desenrotllem manualment una mica de filament de la bobina abans de la impressió ja hauria de ser suficient. D'aquesta manera ens estalviem el cost i el temps que comportaria construir el suport.

6.8.2 MATERIAL/S

Els materials més populars en la construcció d'impressores 3D són el metacrilat, el contraplacat, l'acer i l'alumini ja que combinen resistència estructural i un preu baix.

Vam haver de descartar des del principi l'alumini i l'acer pel fet de requerir eines molt especialitzades i processos més complexos per treballar-los. Les dues alternatives restants eren el metacrilat i el contraplacat. Entre aquests dos materials, el metacrilat era el més car i el que presentava més deformació per efecte de l'escalfor, de manera que vam triar el contraplacat.

Vam decidir utilitzar contraplacat de 6mm de gruix per a la carcassa externa, per donar més resistència i fermesa a la impressora i contraplacat de 4mm per petits detalls i peces petites amb la funció de subjectar components, ja que el de 6mm és massa gruixut per aquesta funció.

Com a tècnica per treballar aquest material vam haver d'utilitzar el tall làser, ja que no comptàvem amb les eines necessàries a casa per utilitzar el mètode manual. Aquesta elecció era una mica més costosa a nivell de preu, però ho compensava amb una dràstica reducció del temps necessari per elaborar les peces i una major qualitat en l'acabat de les mateixes. Aquest sistema només requereix coneixements molt bàsics de programes de disseny 2D per ordinador com AutoCAD. A més, a Barcelona es poden trobar molts establiments que ofereixen aquest servei de tall làser.

Vam comprar una planxa de contraplacat de 4mm de 600mm x 300mm i dues planxes de contraplacat de 6mm de 550mm x 500mm i 500mm x 600mm.

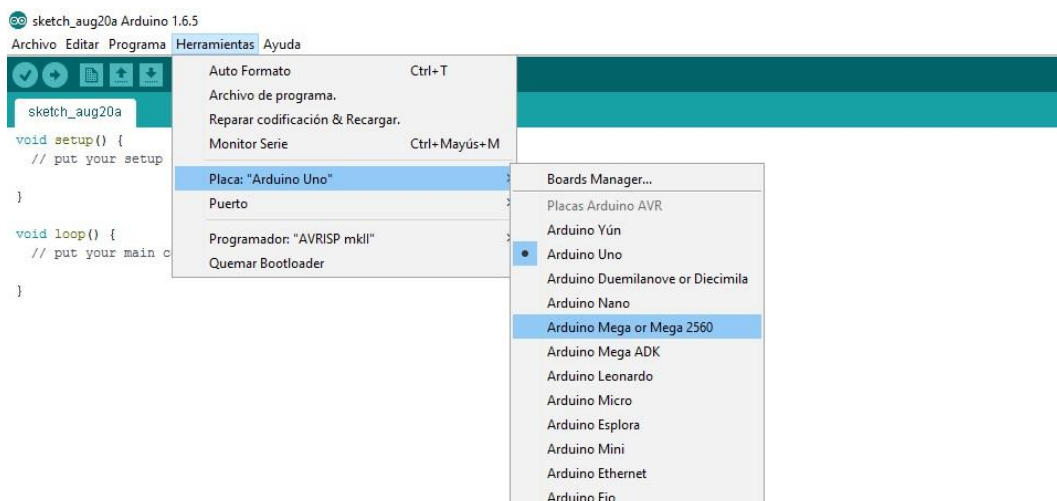
7 PROVES PRELIMINARS

A mesura que vam anar rebent components vam considerar necessari realitzar una sèrie d'operacions, tests i proves abans de començar l'etapa del disseny, ja que influïrien en aquesta. Aquestes proves ens serviran per explicar una sèrie de procediments que necessitarem en la fase de construcció. Són les següents:

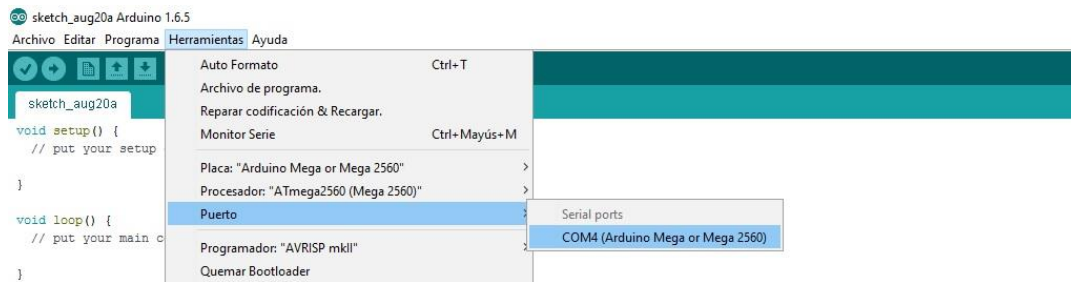
- Provar l'Arduino Mega per assegurar-nos de que funciona i aprofitar per familiaritzar-nos amb la seva eina de programació, l'Arduino IDE.
- Provar els motors pas a pas i els *drivers* per assegurar-nos de que tots funcionen correctament i familiaritzar-nos amb el seu ús així com fer-nos una idea de la seva potència. També aprofitarem per decidir la intensitat màxima a la que els farem treballar.
- Muntar el *Hot End*, ja que aquest ens arriba desmuntat.
- Preparar la font d'alimentació per funcionar.

Per provar l'Arduino Mega vam decidir carregar un codi molt bàsic que faria que un dels LEDs que té la placa s'encengués i s'apagués a intervals regulars. D'aquesta manera vam connectar l'Arduino Mega al nostre ordinador amb el cable USB que havíem rebut juntament amb aquest.

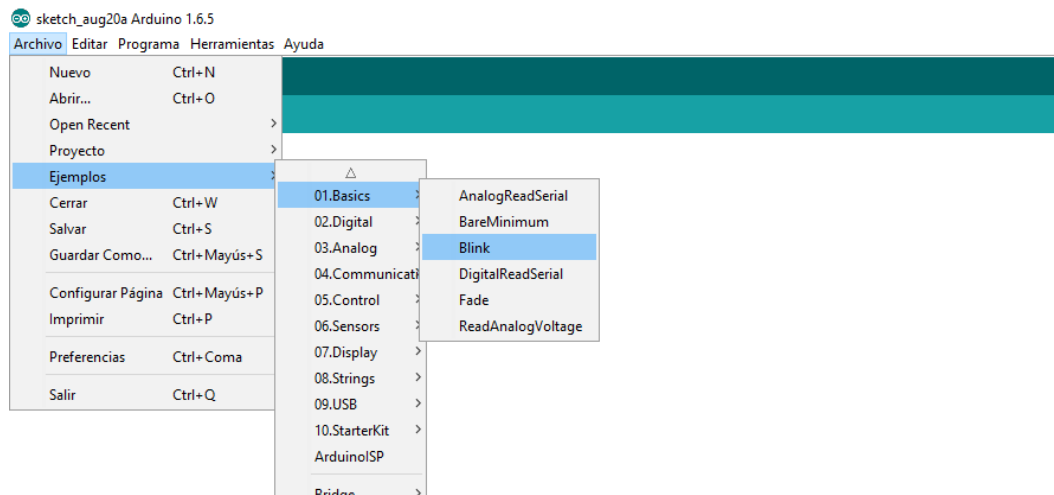
Tot seguit vam descarregar l'Arduino IDE de forma gratuïta des de la pàgina web d'Arduino, el vam instal·lar com qualsevol altre programa i el vam obrir. El primer que vam fer va ser especificar el tipus d'Arduino que utilitzàvem, Arduino Mega. D'aquesta manera vam anar a *Herramientas > Placa* i vam seleccionar la opció *Arduino Mega or Mega 2560*.



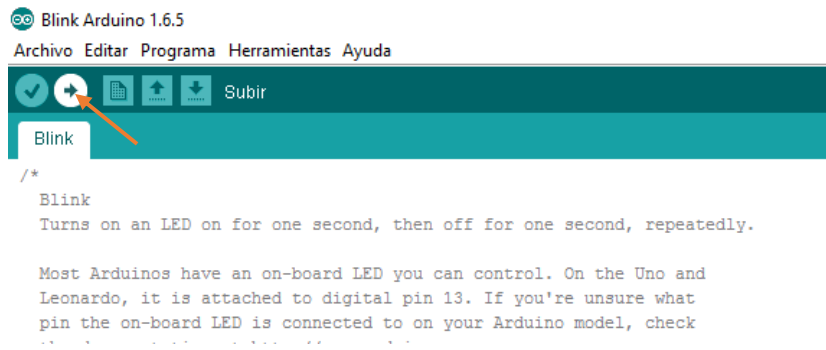
A continuació vam configurar el port que utilitzava l'Arduino Mega per connectar-se a l'ordinador. Amb aquest objectiu vam anar a *Herramientas > Puerto* i vam seleccionar *COM4 (Arduino Mega or Mega 2560)*.



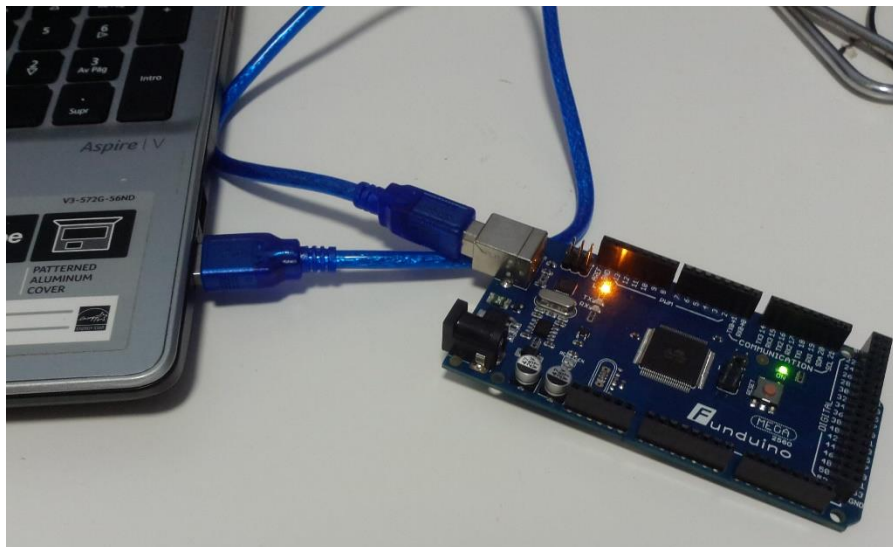
En aquest moment estem llestos per carregar codi a l'Arduino. Cal dir que sempre que ho fem al llarg del procés de construcció serà amb aquesta configuració de l'Arduino IDE. D'aquesta manera vam buscar el codi que volíem carregar per fer la prova, anomenat *Blink*, un dels exemples que incorpora l'Arduino IDE. Per trobar-lo vam anar a *Archivo > Ejemplos > 01.Basics* i vam seleccionar la opció *Blink*.



Tot seguit vam clicar al botó amb una fletxa situat a l'extrem superior esquerre de la pantalla que ens permet carregar el codi a l'Arduino.

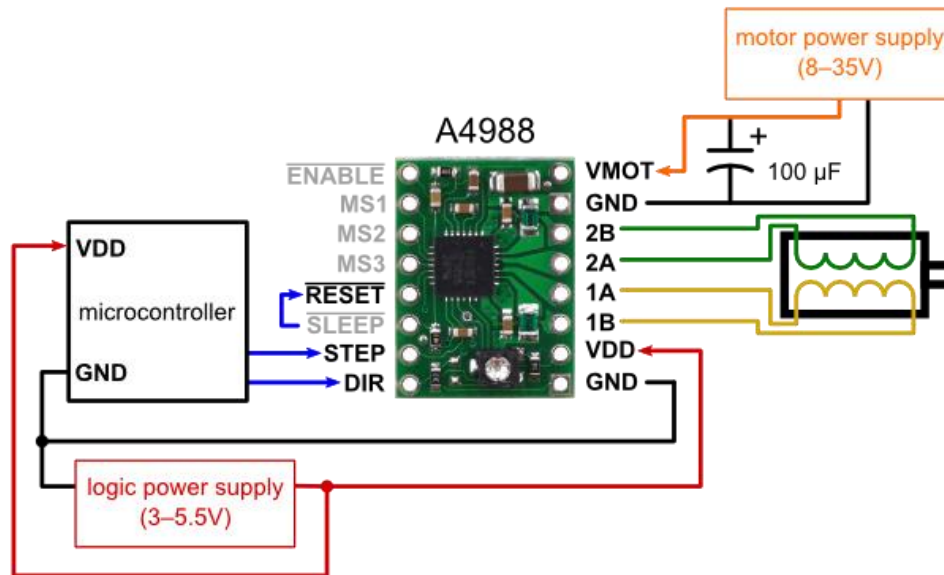


Havent fet això, vam observar la placa i efectivament un petit LED taronja s'encenia i s'apagava a l'Arduino. D'aquesta manera vam comprovar que l'Arduino Mega funcionava perfectament.



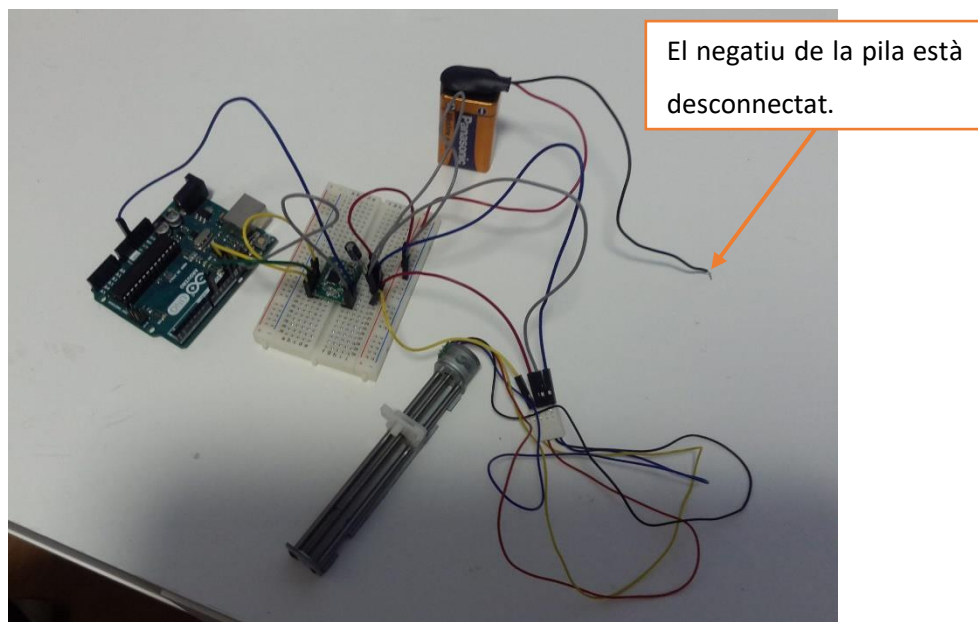
Ara que ja hem explicat com es configura l'Arduino IDE i com s'obre un script i es carrega a la placa, explicarem com vam provar els motors pas a pas.

Com encara no teníem el controlador ni el firmware configurats i llestos per funcionar, vam decidir que només per aquesta prova controlaríem els motors de forma alternativa. Vam decidir utilitzar un Arduino UNO que faria de controlador i al qual connectaríem els *drivers* i els motors. Per la connexió vam utilitzar el diagrama disponible a la pàgina web de Pololu que indica com realitzar una connexió bàsica i que podem veure a continuació.



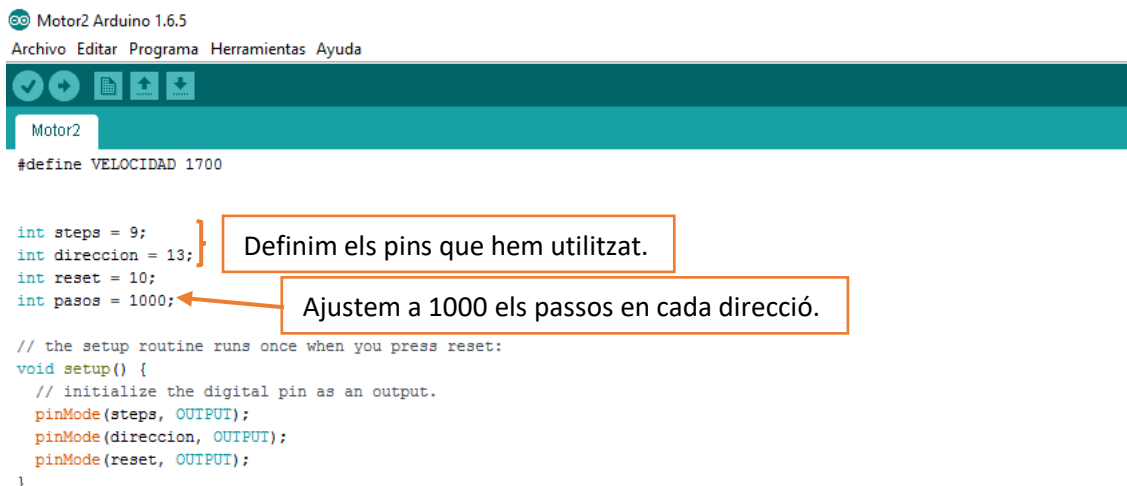
Extret de: <https://www.pololu.com/product/1182/pictures>

Podem apreciar que els pins VMOT i GND van al positiu i al negatiu de la font d'alimentació del motor (una pila de 9V per aquesta prova) i que entre ells cal col·locar un condensador de 100µF. Tot seguit per la banda dreta del driver tenim quatre pins, dedicats a les dues fases del motor (1A i 1B per una i 2A i 2B per l'altra). Tot seguit veiem els pins VDD i GND que van al pin de 5V



de l'Arduino i al pin GND de l'Arduino respectivament. Pel costat esquerre cal connectar entre sí els pins SLEEP i RESET, cosa que té l'objectiu de simplificar la connexió. També al costat esquerre trobem els pins DIR i STEP que vam connectar als pins 13 i 9 de l'Arduino respectivament. Per ajudar-nos en les connexions vam utilitzar una placa protoboard i uns jumpers com es veu a continuació. En la imatge es pot apreciar com vam deixar provisionalment desconnectat el negatiu de la pila del pin GND del driver corresponent a l'alimentació del motor per tal de que no s'activés de forma espontània quan carreguéssim el codi a l'Arduino.

Un cop realitzades les connexions vam obrir amb l'Arduino IDE un script que vam trobar a internet (no teníem els coneixements de programació necessaris per realitzar-lo nosaltres mateixos) que feia que el motor es mogués una sèrie de passos en un sentit i després en l'altre, cosa que en el nostre cas faria que la peça lliscant es mogués primer cap a un costat i després cap a l'altre. Com es veu a la imatge següent, vam ajustar la variable que indica el pin de l'Arduino al qual hem col·locat el pin STEPS del *driver* del motor pas a pas al 9, i vam fixar el pin DIR del *driver* al pin 13 de l'Arduino al que l'havíem connectat. També vam ajustar els passos que faria el motor en cada direcció a 1000. Seguidament vam connectar l'Arduino a l'ordinador amb el cable USB i vam carregar el codi.



```
Motor2 Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Motor2
#define VELOCIDAD 1700

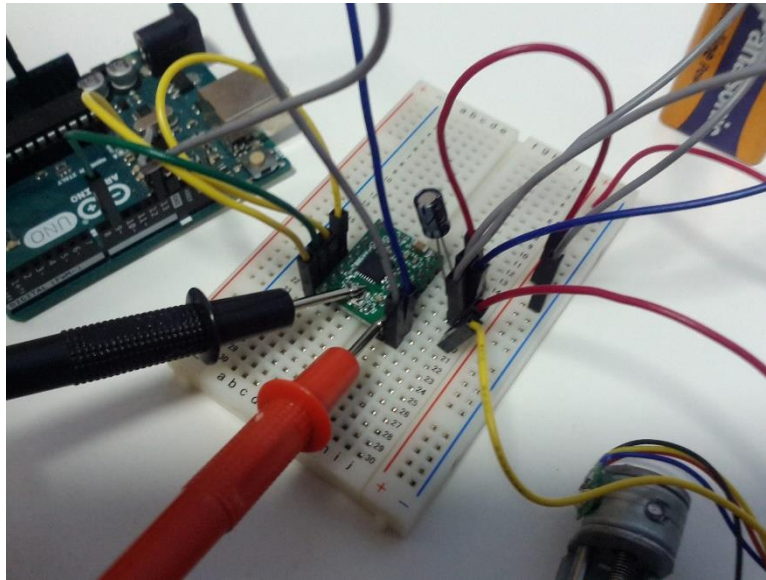
int steps = 9;
int direccion = 13;
int reset = 10;
int pasos = 1000;

// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() {
  // initialize the digital pin as an output.
  pinMode(steps, OUTPUT);
  pinMode(direccion, OUTPUT);
  pinMode(reset, OUTPUT);
}
```

Definim els pins que hem utilitzat.

Ajustem a 1000 els passos en cada direcció.

El següent pas era ajustar la intensitat a la que funcionaria el motor. És molt important que l'alimentació del motor (en el nostre cas la pila de 9V) estigui desconnectada. A la pàgina web del venedor del motor indica que el motor funciona a 9V i 500mA. Per regular la intensitat màxima que el *driver* subministrarà al motor, aquest compta amb un potenciòmetre que es gira amb un tornavís. Tot i així per saber quin valor li estem donant en cada moment, necessitarem un voltímetre. Col·locarem un dels pins del voltímetre en el potenciòmetre i l'altre al pin GND (corresponent a l'alimentació del *driver*).



D'aquesta manera obtindrem una lectura, però aquesta lectura és un voltatge, ja que estem utilitzant un voltímetre, i nosaltres volem ajustar la intensitat (ampers). Per esbrinar la intensitat màxima a través del voltatge del pin VREF (així es com s'anomena el voltatge que hem llegit) haurem de fer servir una fórmula molt simple:

$$\text{Intensitat màxima} = 2,5 * \text{Voltatge del pin VREF}$$

D'aquesta manera si mesurem un voltatge de 0,4 Volts sabrem que el driver està ajustat a una intensitat màxima d'1 amper. Nosaltres vam girar el potenciòmetre (en sentit horari el voltatge augmenta, en antihorari disminueix) fins a llegir un voltatge de 0,2V, corresponent a una intensitat de 500mA.

Tot seguit vam connectar la pila de 9V i el motor va començar a girar. Vam deixar-lo funcionar una estona per veure si s'escalfava molt, cosa que va ser així. Per solucionar el problema vam reajustar la intensitat màxima a 400mA (0,16 volts al pin VREF). Aquest cop els motors només s'escalfaven uns graus. Amb la reducció de la intensitat màxima sacrificàvem rendiment, però

vam pensar que una temperatura més baixa seria més útil per impressions llargues i per prolongar la vida dels motors.

Vam comprovar tots els motors i tots els *drivers* i els vam ajustar tots a un voltatge al pin VREF de 0,16 volts. Pel motor NEMA-17 del *Cold-End*, que el venedor indicava que funcionava a 1,2 ampers, vam ajustar el voltatge del pin VREF a 0,44 volts de manera que teníem una intensitat màxima d'1,1 ampers.

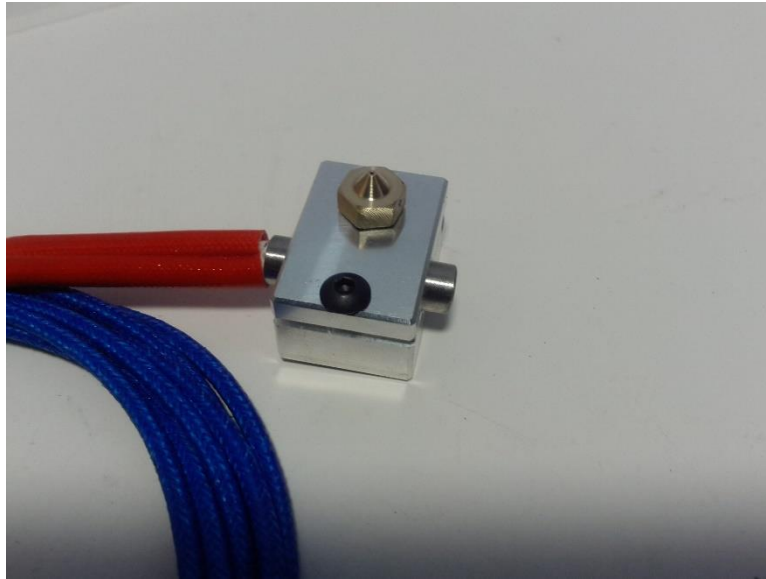
Ara que ja havíem provat tots els motors i drivers i l'Arduino Mega vam procedir a muntar el *Hot End*.

El *Hot End* el vam rebre en un paquet de cartró on es trobaven les peces en diferents bosses de plàstic rodejades per trossos de porexpan. A continuació veiem les diferents peces tal com van arribar. La bossa d'ossets Haribo venia inclosa en el paquet. Ens els vam reservar per quan haguéssim entregat el treball.

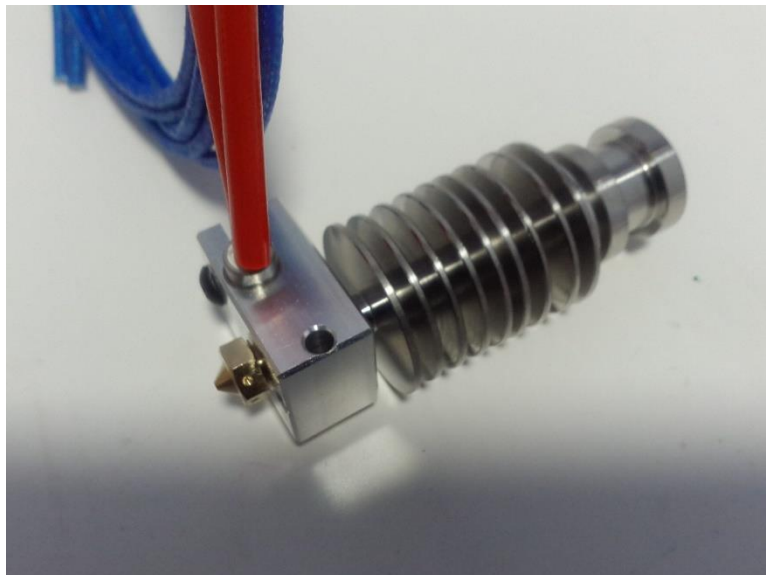


Vam començar per fixar la resistència elèctrica al *Heating Block*. D'aquesta manera vam introduir-la per l'únic forat pel qual cabia i vam utilitzar un dels dos cargols més llargs que incloïa el kit per fixar la resistència al seu lloc amb una clau allen també inclosa. La resistència ha de sobresortir pels dos costats del *Heating Block*.

Tot seguit vam cargolar el *Nozzle* pel mateix costat on es trobava el cargol que subjectava la resistència elèctrica. Tal com indica E3D, cal cargolar el *Nozzle* fins al fons i aleshores descargolar-lo un quart de volta.



A continuació vam cargolar el *Heat Break* (per la part amb la rosca més llarga) al *Heatsink* i per l'altre extrem al *Heating Block*, per l'extrem oposat del forat per on hem cargolat el *Nozzle* tal com veiem a la imatge inferior. Cal cargolar el *Heatsink* fins que aquest toqui amb el *Nozzle*.



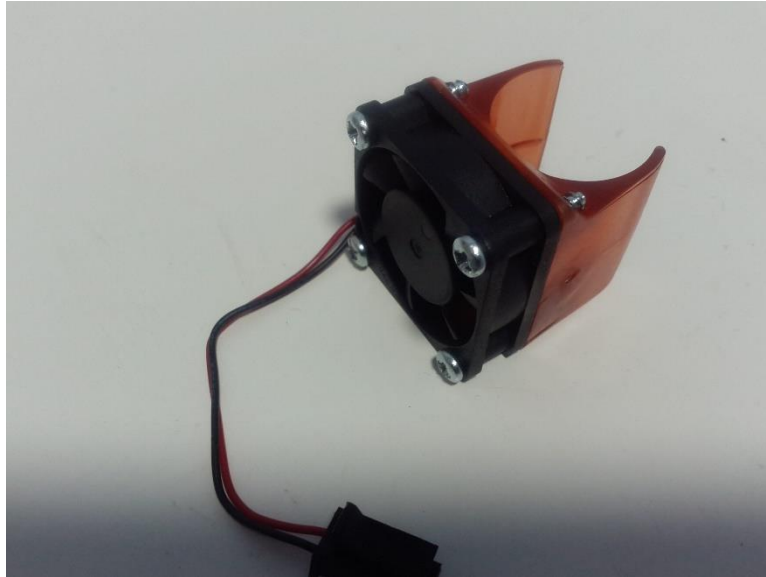
Seguidament vam introduir la petita peça de plàstic negra que mantindrà el tub de PTFE al seu lloc a la part superior del *Heatsink*.



A continuació vam introduir el termistor en el seu forat corresponent, de forma idèntica a la resistència elèctrica però en un forat més petit. Per fixar-lo vam utilitzar un dels petits cargols sense cap que incloïa el kit que vam carregar amb la clau allen que ja havíem utilitzat abans. És important assegurar-se que els cables de la resistència elèctrica i del termistor quedin pel mateix costat del *Heating Block*. Per mantenir els cables junts vam utilitzar unes brides de Nylon. Ho podem veure a la següent imatge:



Tot seguit vam col·locar els quatre cargols del ventilador al seu lloc i vam cargolar-lo al seu suport, que posteriorment vam encaixar al *Heatsink*.



Per últim vam introduir el tub de PTFE pel forat de la part superior del *Heatsink* fins que vam notar que no es podia més com veiem a la imatge de la pàgina següent. És important que el tub de PTFE baixi fins abaix de tot ja que si no correm el risc d'obstruir el *Hot End*.



Només ens quedarà apretar el *Nozzle* quan el *Hot-End* estigui calent, ja que per efecte de l'escalfor el metall es dilata i aquest podria desenroscar-se. Tot i així, aquesta operació la durem a terme molt més endavant, ja que ara no tenim el controlador ni la font preparats per funcionar.

L'últim procediment que realitzarem serà la preparació de la font d'alimentació pel seu funcionament. És important tenir sempre en compte que una font d'alimentació pot ser molt perillosa i que hem de prendre sempre les màximes precaucions. Si volem manipular-la el més segur és esperar dos dies des de l'últim cop que la vam connectar a la corrent per tal de que tots els seus components interns es descarreguin del tot.



Les fonts d'alimentació ATX estan dissenyades per funcionar en un ordinador, i no funcionaran si no els fem creure que això és així. Per "enganyar" la nostra font d'alimentació primerament cal localitzar el connector més gran, el de 20+4 (el connector té vint pins més quatre pins que es poden separar). El connector es reconeix fàcilment ja que és el més gran de tots els que té la font.

Tot seguit buscarem el pin del connector corresponent a un cable de color verd i el connectarem a un dels pins corresponent a un dels cables negres, qualsevol d'ells serveix. Per connectar-los podem utilitzar un petit tros de cable. Nosaltres vam col·locar cinta aïllant per mantenir-lo fixe i per evitar curtcircuits.



En aquests moments la font està convençuda de que es troba a l'interior d'un ordinador i si la connectem a la corrent i activem l'interruptor situat a la part posterior veurem que el ventilador que porta incorporat comença a girar, indicant que la font funciona.

8 DISSENY

En aquest apartat explicarem el procés de disseny de la impressora.

Primerament vam pensar en les diferents parts que tindria la impressora i en la distribució general dels components. Vam pensar que dividiríem la impressora en dues parts: zona d'impressió i zona d'electrònica. En la zona d'impressió es trobarien els motors, el *Hot End*, el *Cold End* i tot el conjunt del *Build Plate*. En la zona d'electrònica hi hauria dos compartiments, un per la font d'alimentació i un altre pel controlador. El filament el situaríem en un suport separat de la impressora.

Vam decidir que col·locaríem la zona d'impressió sobre la zona d'electrònica i que aquesta seria una caixa tancada per tal de tenir tots els cables i les connexions ben protegits. La zona d'electrònica situada a baix contribuiria a donar més estabilitat a la impressora ja que tot el pes de la font i el del controlador desplaçarien cap a baix el centre de gravetat.

Vam decidir començar dissenyant la zona d'impressió que és la més complexa i posteriorment adaptar la zona d'electrònica a les mesures d'aquesta.

El primer que vam fer va ser decidir on situar cadascun dels tres eixos, és a dir, el *Drive Train* corresponent a cada eix. En el nostre cas els motors porten el *Drive Train* incorporat, així que el que decidim és on situar cada motor. Podíem situar els eixos seguint diferents configuracions:

- Motors a la base: Els motors es situen tots a la base de la impressora i mouen el *Print Bed* en tots els eixos. El *Hot-End* es troba fixe.
- Motors al *Hot End*: Els motors es troben tots a la part superior de la impressora i mouen el *Hot End* en tots els eixos. El *Print Bed* es troba fixe i és el *Hot End* el que es posiciona en el lloc corresponent per col·locar el plàstic fos.
- Mixte: Els motors es distribueixen entre la base i el *Hot End* i tant aquest com el *Print Bed* es mouen. En aquest últim cas hem de valorar quins motors col·loquem a la base i quins al *Hot-End*

Els factors que determinaven l'elecció eren la forma dels motors (el fet de tenir el *Drive Train* integrat, implica algunes restriccions a l'hora del disseny), les vibracions produïdes pels motors i el fet de que ens interessava que el muntatge fos senzill.

La primera decisió que vam prendre al respecte és que era preferent col·locar els eixos a la base, ja que és molt més ferma i estable. Si preferíssim situar-los al *Hot End*, hauríem de tenir en compte que aquest es troba sobre la superfície d'impressió, en una posició elevada i subjectat

per algun tipus d'estructura. Situar els eixos en aquesta posició elevada implicaria tenir un volum molt gran de components bastant per sobre de la superfície d'impressió, cosa que augmentaria la complexitat del disseny de la impressora al haver de situar molts components junts en un espai petit i la faria més voluminosa i poc pràctica.

Si donem preferència a situar els eixos a la base, aconseguim més estabilitat (ja que el centre de gravetat de la impressora baixa), una impressora més compacta i una distribució més uniforme dels components per tota la impressora que redueix la complexitat del disseny.

Tot i així, un altre decisió que vam prendre va ser la de no situar tots els motors junts, sinó en una configuració mixta, ja que degut a la forma dels nostres motors això implicaria que hauríem de fer una espècie de torre de motors, un sobre l'altre, que seria poc pràctic i augmentaria la complexitat del disseny. Per tant vam decidir situar un eix al *Hot End*.

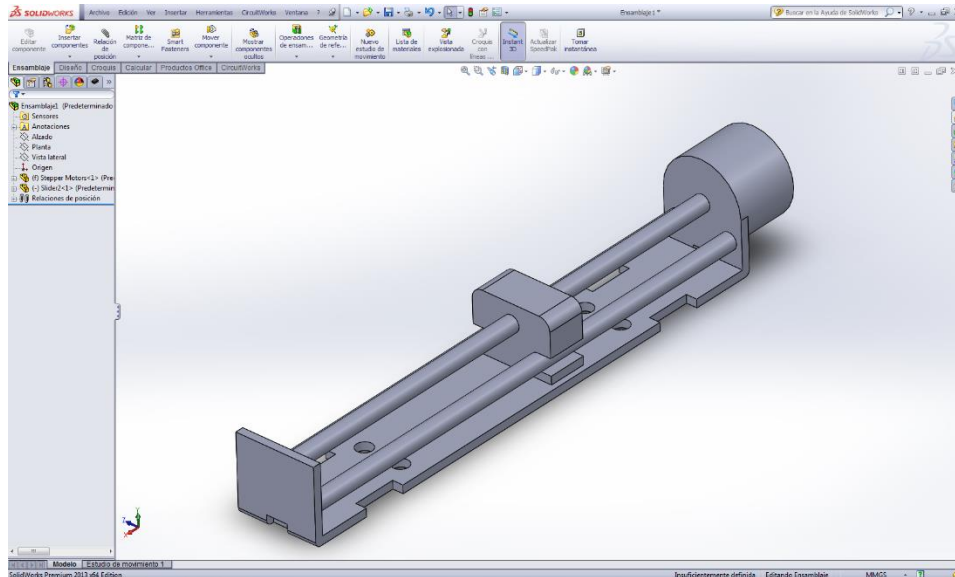
Aquest cop tocava decidir quin eix situar al *Hot End*. A primera vista, semblava que era indiferent, però fixant-nos bé vam descobrir que l'eix Z era la opció més lògica. Degut a la forma dels motors era difícil situar-lo a la base i mantenir la impressora compacta i amb la mínima complexitat i vibracions, així que vam decidir col·locar-lo aïllat al *Hot End*.

D'aquesta manera la nostra impressora tindria els motors encarregats dels moviments en el pla bidimensional a la base, movent la superfície d'impressió en els eixos X i Y i seria el *Hot End* el que pujaria i baixaria per l'eix Z.

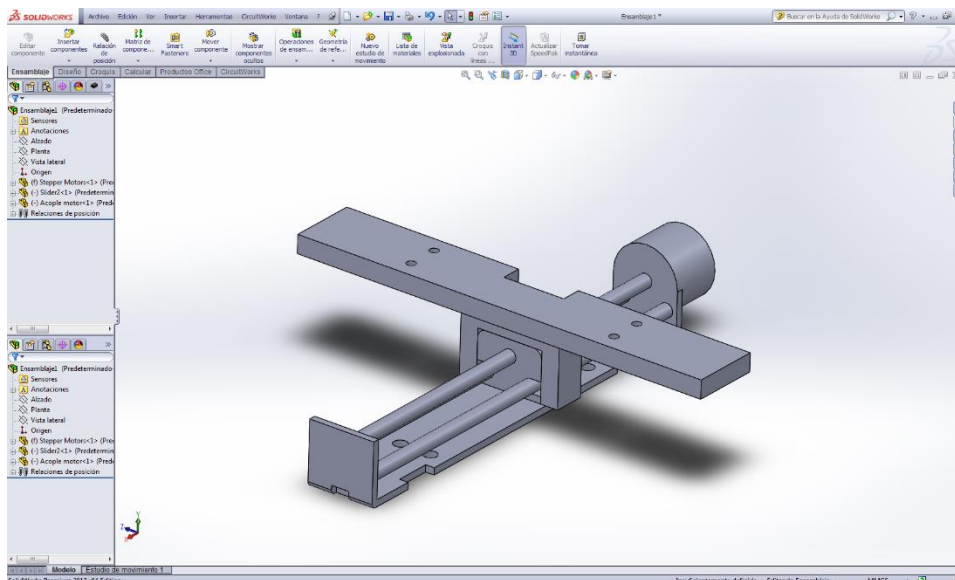
Ara que ja teníem pensada la forma de la impressora a grans, havíem de començar a tractar amb mides concretes i a dissenyar peces. Vam utilitzar el programa de disseny en 3D Solidworks 2013 per crear models tridimensionals virtuals dels nostres components. El Solidworks compta amb un mode anomenat "Ensamblatge" en el qual podem construir el dispositiu que estem dissenyant a partir dels diversos models tridimensionals que hem creat prèviament. Per entendre-ho millor, imaginem que dissenyem les peces d'un puzzle, elaborant un model tridimensional per cada peça. Per veure si tot encaixa correctament i el puzzle queda bé haurem de fabricar les nostres peces i fer el puzzle. En el mode "Ensamblatge" de Solidworks podem unir les peces i fer el puzzle com si ho féssim físicament. Aquest és un gran avantatge ja que podem muntar virtualment la nostra impressora 3D a mesura que anem creant les peces, i si alguna cosa no ens agrada, simplement modifiquem la peça problemàtica i d'aquesta manera reduïm la possibilitat de cometre algun error. Els plànols amb les mesures que hem pres dels components es poden trobar a l'Annex.

Vam començar dissenyant l'estructura de suport dels eixos X i Y així com el *Build Plate*. Per qüestions de simplicitat i facilitat de muntatge, vam decidir col·locar un motor sobre l'altre de forma perpendicular i sobre el motor superior situar l'estructura del *Print Bed*.

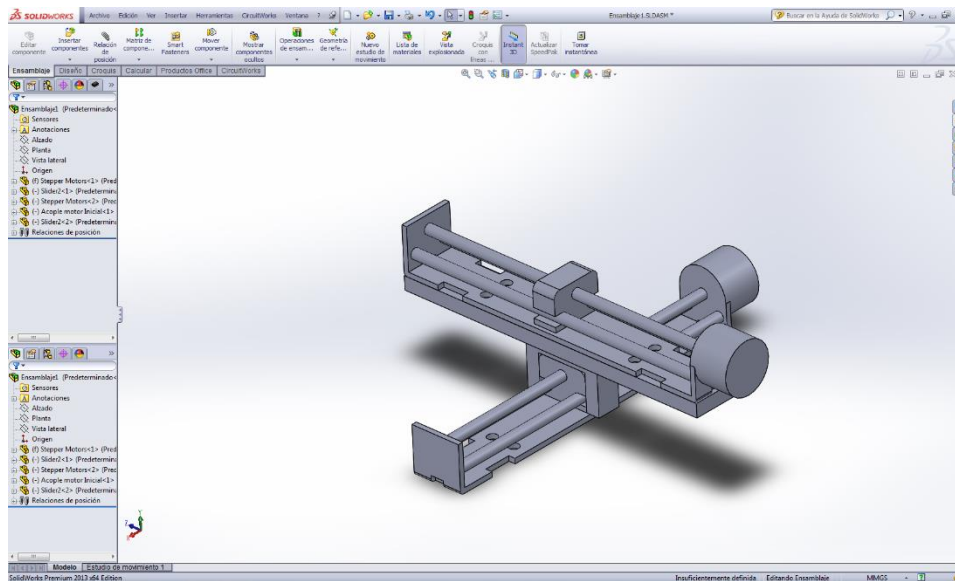
Vam decidir eliminar la protuberància que tenen les peces lliscants dels motors per poder recolzar millor un motor sobre l'altre.



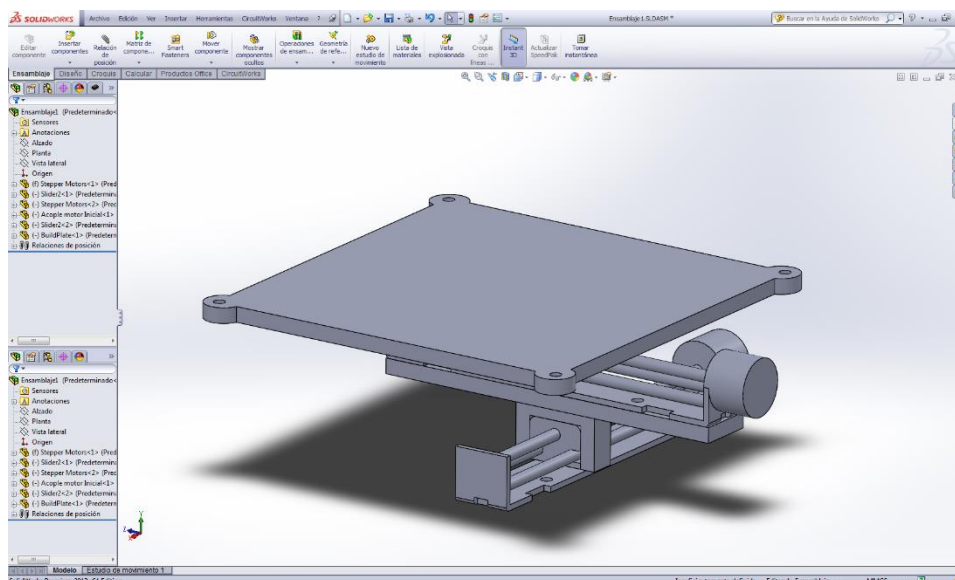
Vam dissenyar unes peces (amb el contraplacat de 4mm) destinades tant a millorar la unió entre els dos motors així com a permetre que el motor superior es pogués retirar per realitzar reparacions o neteja. Amb aquest motiu vam dotar de quatre forats de 2mm de diàmetre a la peça que coincidien amb els forats de la base del motor per poder col·locar cargols. Com es pot veure a la imatge vam haver de retallar una mica la peça horitzontal per un costat per tal de que no xoqués amb el motor.



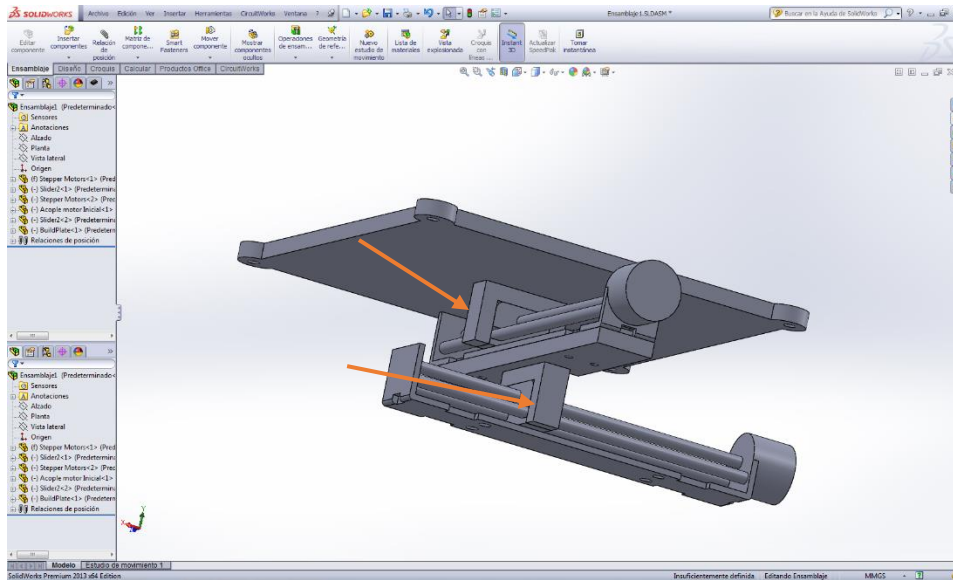
Per unir el motor superior al inferior vam decidir utilitzar cargols M2 de 8mm de longitud. A aquest motor també li vam eliminar la protuberància per poder col·locar l'estructura del Print Bed més còmodament.



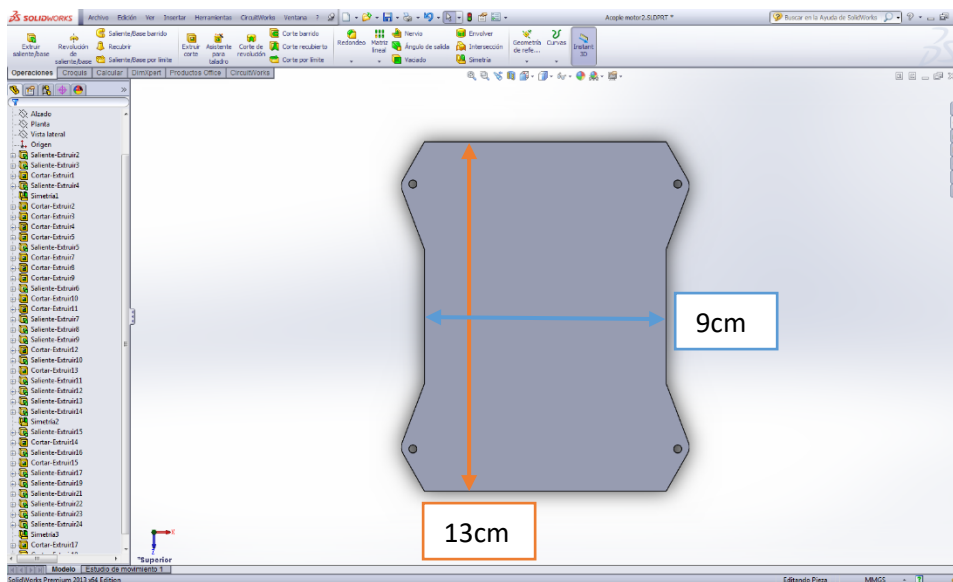
A continuació vam començar a dissenyar el conjunt del *Build Plate* (tot amb fusta de 4mm). Vam col·locar la primera de les tres plataformes just a sobre de la peça lliscant del motor. Tot i que el vidre del *Print Bed* era rectangular, vam decidir fer la primera plataforma quadrada per tal de que si algun dia aconseguíem un vidre amb les mides adequades només fos falta canviar la segona. La plataforma era un quadrat de 10 cm de costat, cosa que ens deixava una mica de marge pel costat més curt del vidre del *Print Bed* (9 cm). A cada vèrtex vam situar un forat de 3 mm de diàmetre per passar-hi els cargols. Com es pot veure a la imatge, els vam col·locar més cap a fora per evitar que el cap dels cargols xoqués amb el vidre del *Print Bed*.



En la següent imatge veiem el conjunt des de sota. Com es pot observar, vam utilitzar les mateixes peces que al motor inferior per unir la primera plataforma a la peça lliscant del motor.

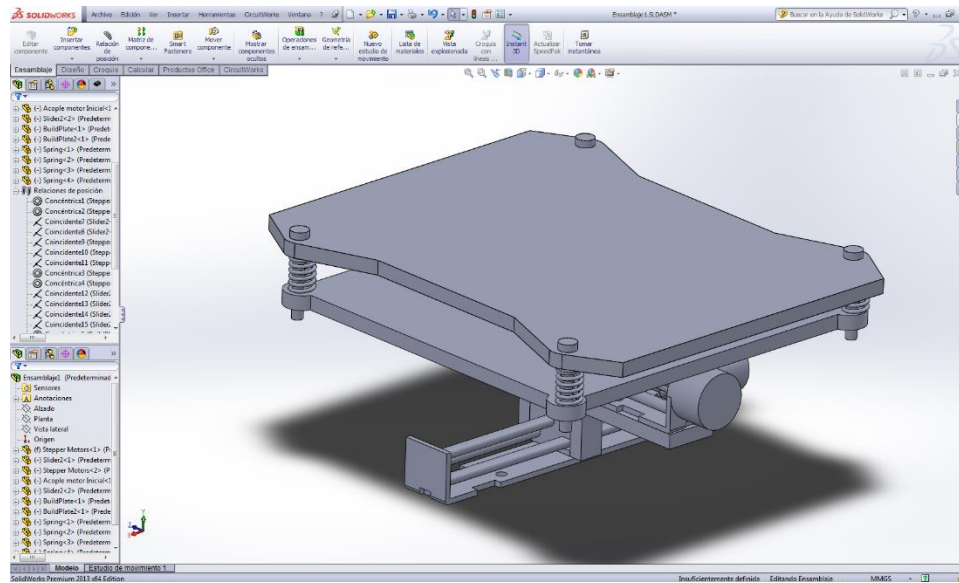


La segona plataforma la vam fer d'acord amb les mesures del vidre, 13x9 cm. Per als forats vam fer unes estructures als costats, ja que recordem, els havíem situat més cap a fora per evitar que els caps dels cargols xoquessin amb el vidre del *Print Bed*. En la imatge següent es mostra solament la segona plataforma:

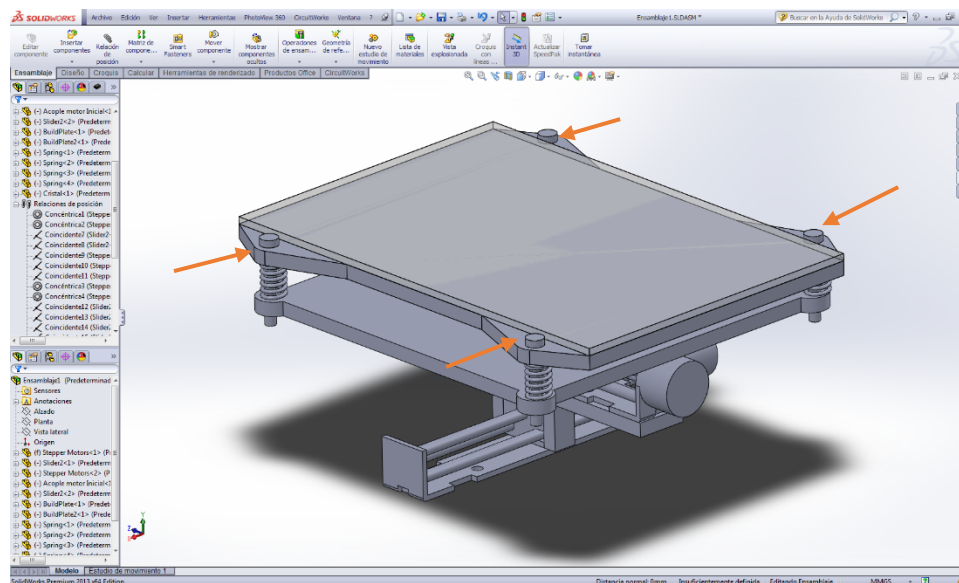


A continuació veiem la segona plataforma unida a la resta del conjunt amb cargols i amb les molles del sistema d'anivellat col·locades. Es troba a una altura d'1cm per sobre de la primera plataforma (aquesta altura la podem regular cargolant o descargolant els quatre cargols). Els cargols que apareixen a la imatge no tenen la longitud dels cargols que utilitzarem i són només

per orientar. Nosaltres vam decidir aprofitar uns cargols M2,5 de 25mm de longitud que ja teníem.

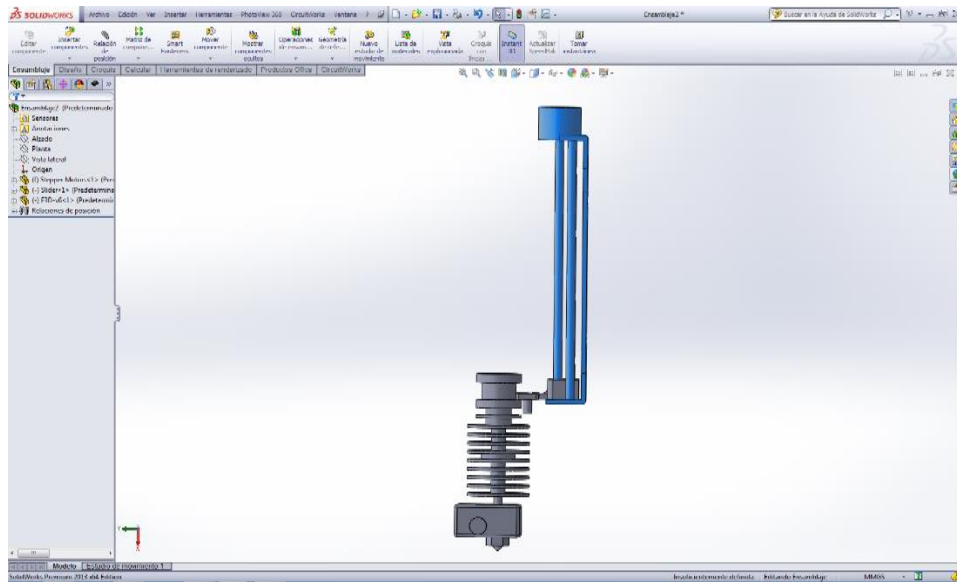


La tercera plataforma, el vidre, aniria subjectada a la segona per mitjà de pinces, un sistema comú en altres impressores FDM i que permet retirar amb facilitat el *Print Bed*. Aquest és un requisit indispensable per la nostra impressora ja que hem de poder retirar amb cura les peces del vidre un cop impreses, de manera que el millor es fer que es pugui posar i treure. Les dues primeres plataformes s'elaborarien amb fusta de 4mm. A la imatge següent es mostra el conjunt amb el vidre col·locat. Les pinces no apareixen. Es pot apreciar com la decisió de col·locar els cargols més cap a fora per tal de que no xoquessin els seus caps amb el vidre ha estat bona.

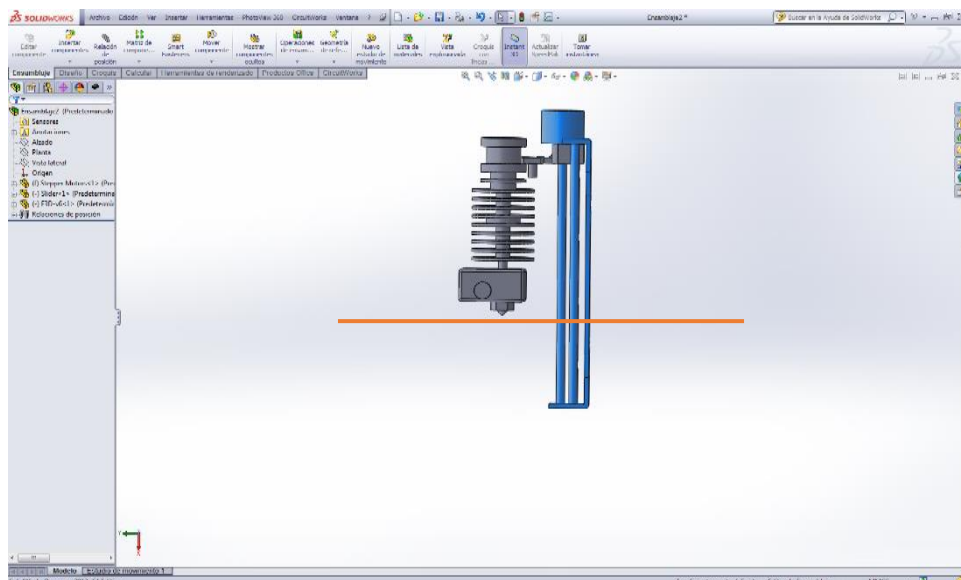


Fins aquí havíem aconseguit dissenyar els eixos X i Y i el *Print Bed* amb sistema d'anivellat. Vam decidir dissenyar ara totes les peces pel *Drive Train Z* i la subjecció del *Hot End*.

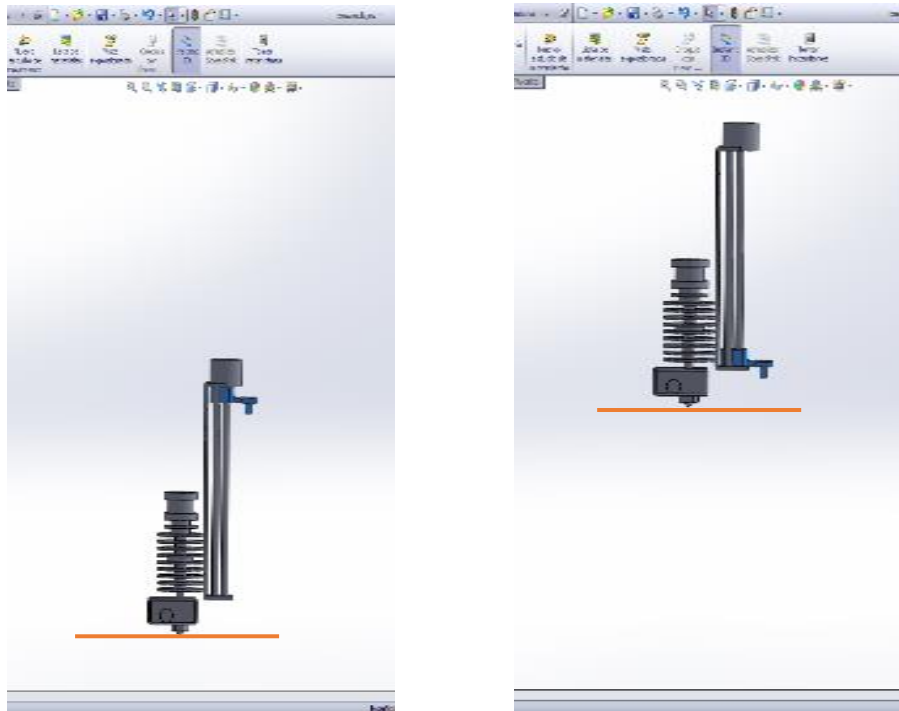
Primerament, vam pensar com col·locaríem el motor, ja que no és tan senzill com en els casos anteriors. Imaginem que unim el *Hot End* a la peça lliscant del motor d'alguna manera i col·loquem aquest fixe verticalment. El color blau indica quina peça està fixada. En la posició més baixa veiem que no hi ha problema:



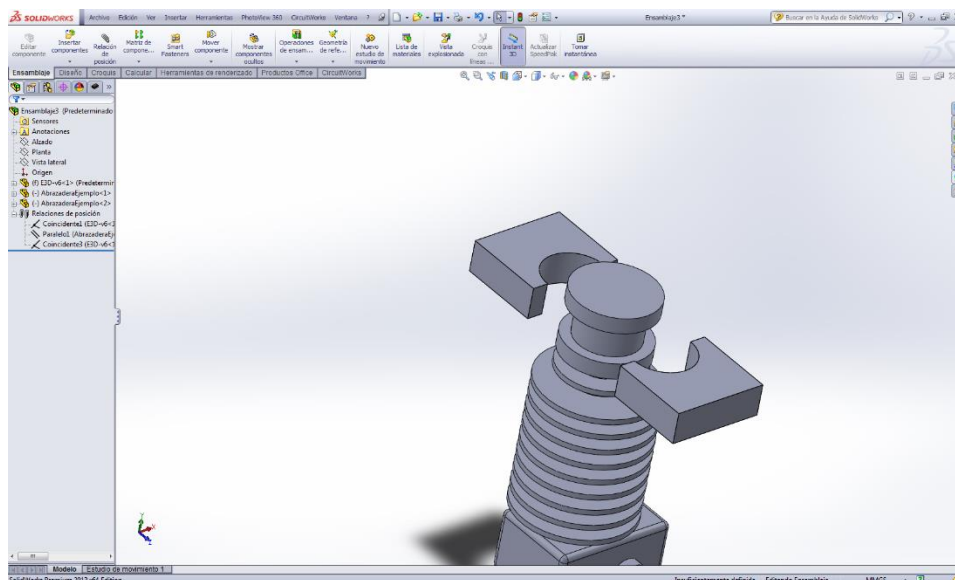
Però fixem-nos ara en la posició més alta. La línia taronja representa l'altura a la que el *Hot End* imprimiria. Com podem veure, el motor queda per sota d'aquesta línia, per tant si estiguéssim imprimint un objecte el motor xocaria amb aquest.



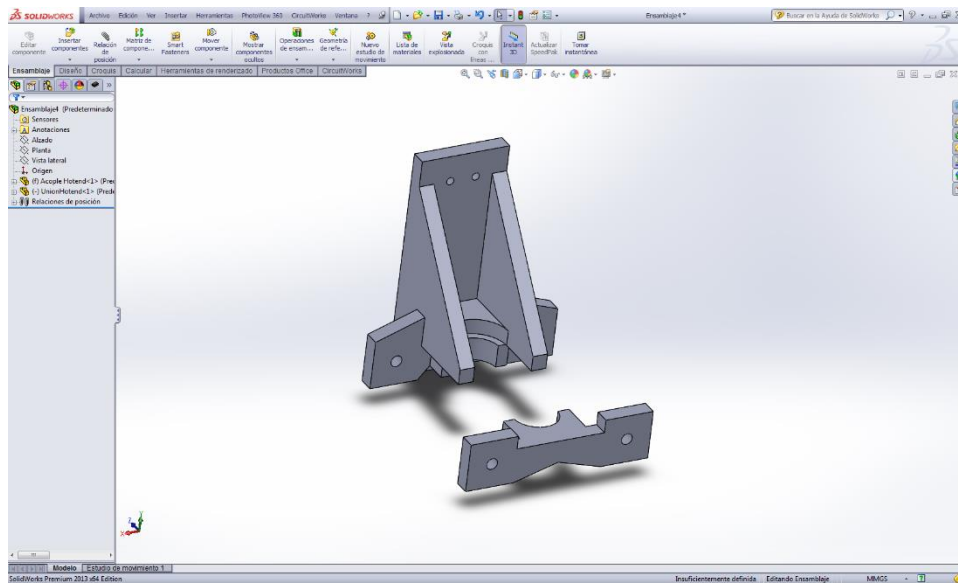
Per solucionar aquest problema vam pensar que en lloc de ser el motor la part fixa, que la part fixa fos la peça lliscant i que tot el conjunt de *Hot End* i motor es mogués. D'aquesta manera no hi hauria cap problema, la línia taronja és sempre la més baixa.



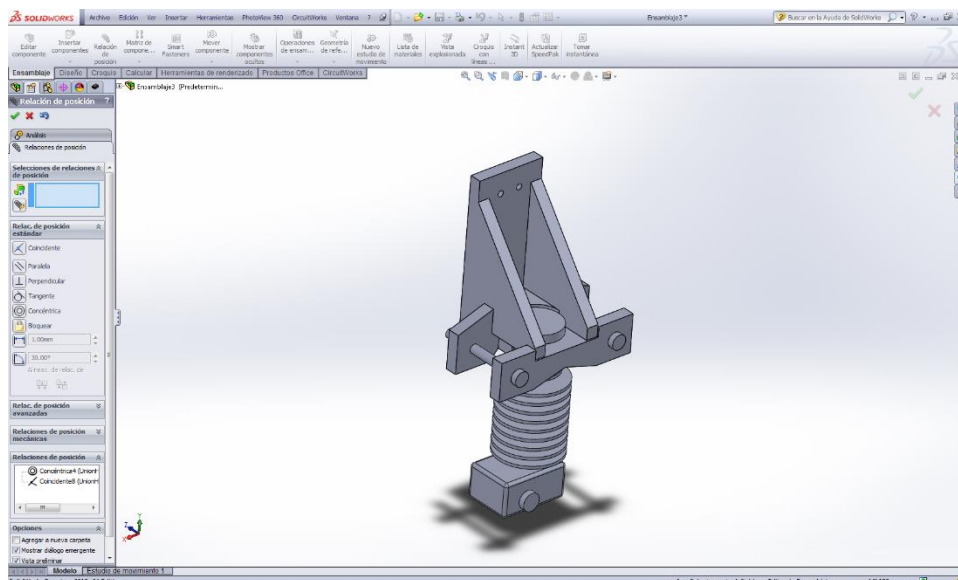
Vam pensar que faríem dues peces per tot el conjunt de l'eix Z. La primera destinada a unir el *Hot End* amb el motor i la segona destinada a unir la peça lliscant del motor amb la resta de la impressora. Vam començar per la peça que uniria el *Hot End* al motor. Aprofitaríem els forats de la base del motor per fer que aquesta peça es pogués carregar i descarregar. Vam pensar que agafaríem el *Hot End* per la part superior del *Heat Sink* aprofitant la fusta de 6mm i mitjançant un sistema d'abraçadores tal com s'explica a la imatge:



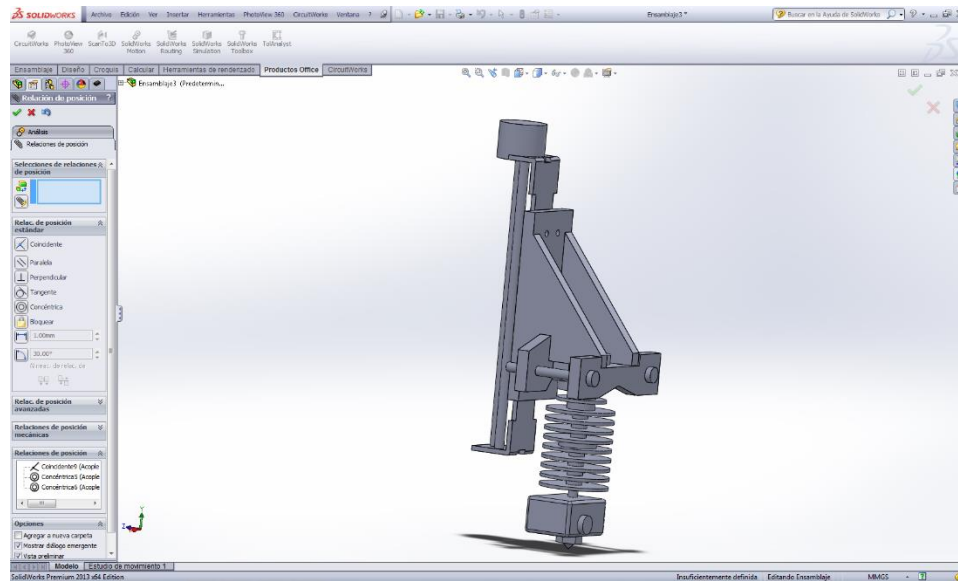
El resultat va ser la peça que es veu a continuació:



A la part superior de la peça més gran es poden observar dos dels quatre forats pels quals passaran els cargols que permetran cargolar la peça al motor. Els altres dos no es veuen des d'aquest angle. Com es pot apreciar, vam deixar fixa una de les dues abraçadores a la peça gran. L'altra es pot cargolar i descargolar per posar o treure el *Hot End*. Les "orelles" de la peça més gran són per passar els cargols amb els que es cargola la segona abraçadora. Els forats de la peça petita estan alineats amb els de la peça gran amb aquest objectiu. Les dues parets paral·leles de forma triangular de la peça gran estan pensades per fer de suport a l'abraçadora fixa i garantir que es troba en posició horitzontal impedit que el *Hot End* la inclini cap a baix pel seu pes. A la imatge següent es veu el *Hot End* subjectat per les dues peces. Els cargols que es veuen són de 3x30mm. Vam decidir utilitzar aquests perquè ja els teníem a casa.



Com es pot comprovar el *Hot End* queda ben agafat. Amb aquest sistema d'abraçadores podem extreure el *Hot End* molt fàcilment en cas d'algun problema o per manteniment. Tot seguit veiem l'altura a la que queda el *Hot End* en relació al motor quan cargolem el conjunt a aquest:

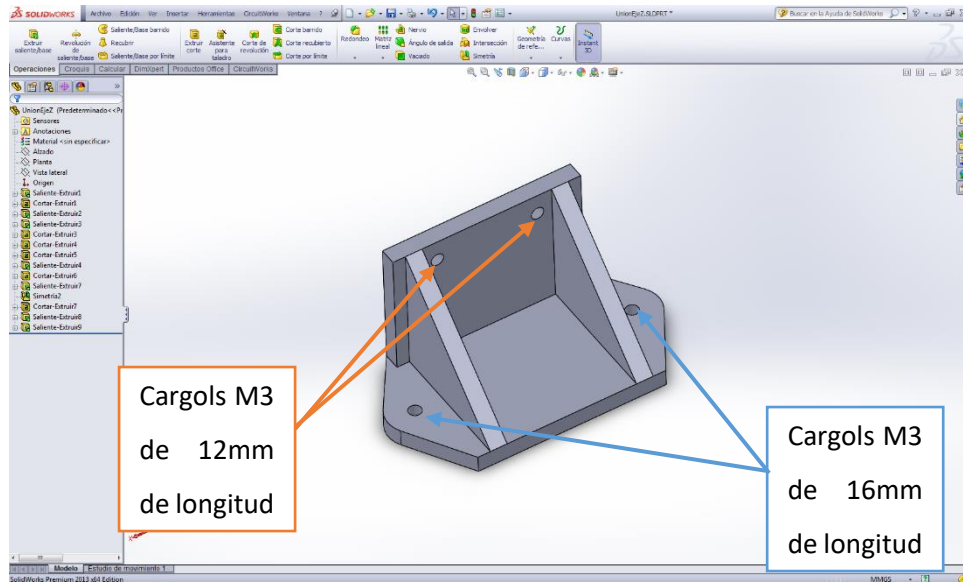


Vam pensar que el *Heating Block* quedés una mica per sota del motor per tal d'evitar problemes a causa de l'escalfor. El *Hot End* queda separat 5mm del motor per la zona del *Heat Sink*. No volíem separar-lo molt ja que quan més allunyat estigués el centre de gravetat del conjunt de la peça lliscant més difícil resultaria al motor aixecar el pes. Com es pot veure, vam col·locar l'extrem del conjunt del motor amb el motor pròpiament dit a la part superior, ja que si no, els cables d'aquest sortien per sota i podrien tocar el *Heating Block*. Tal com està ara, els cables sortiran cap a dalt i no molestaran.

Ara que ja teníem la primera peça del conjunt de l'eix Z vam continuar amb la segona, la que uniria el conjunt per la peça lliscant amb la resta de la impressora.

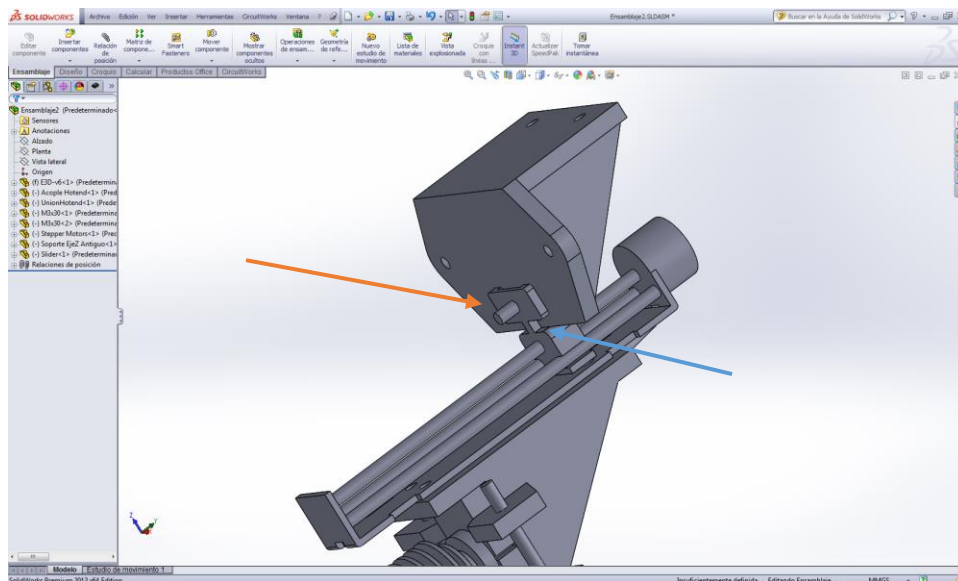
Vam pensar que tot el conjunt de l'eix Z quedés cargolat a la resta de la impressora per dos plans: l'horitzontal i el vertical, de manera que la nostra peça tindria forma de L. En cada pla vam decidir col·locar dos forats de 3mm de diàmetre per passar els cargols, d'aquesta manera tindríem el conjunt cargolat a la carcassa per quatre punts. Pels dos forats del pla horitzontal passaríem cargols M3 de 16mm i pel vertical cargols M3 de 12mm de longitud. La diferència es deu a que la peça horitzontal superior de la carcassa on es cargolaria el cargol de 16mm té 6mm de gruix comparat amb els 4 de la vertical.

Per garantir que la nostra "L" es mantenia en un angle de 90 graus vam col·locar dues peces de suport paral·leles de forma triangular com es veu en la imatge de la pàgina següent:



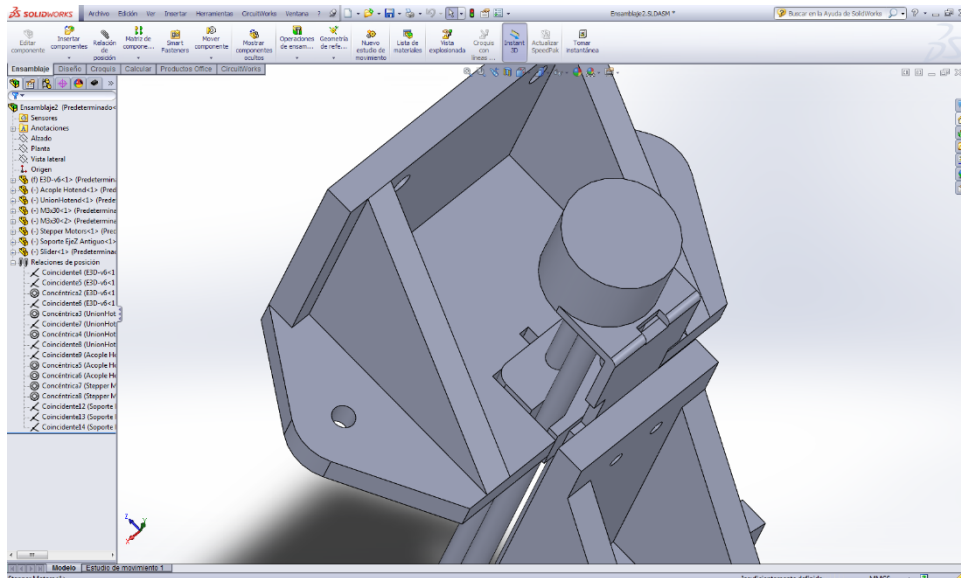
Com podem veure, tenim dos forats per cargols en el pla vertical i dos en el pla horitzontal per tal de que la peça quedi fortament subjectada a la carcassa. També podem apreciar els dos suports triangulars per garantir que es manté l'angle de 90 graus.

Ara calia pensar com uníem la peça lliscant aquí. Vam pensar d'aprofitar la protuberància d'aquesta per tenir una major superfície per enganxar-la (i no tallar-la com amb els altres motors). La nostra idea consistia en enganxar-la amb cola a la part inferior del costat horitzontal de la peça anterior tal com es veu a la següent imatge:

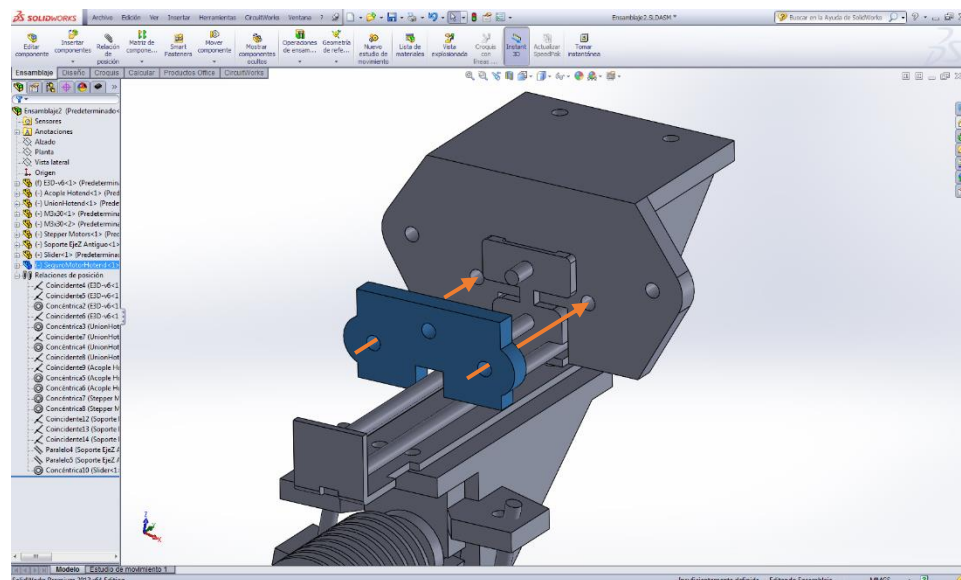


El problema d'aquesta opció era que el plàstic de la peça lliscant era una mica flexible, de manera que segurament, degut al pes del conjunt, s'inclinaria cap avall per la zona més estreta de la

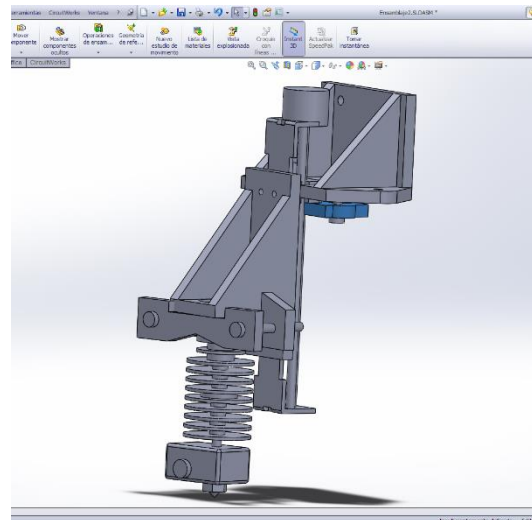
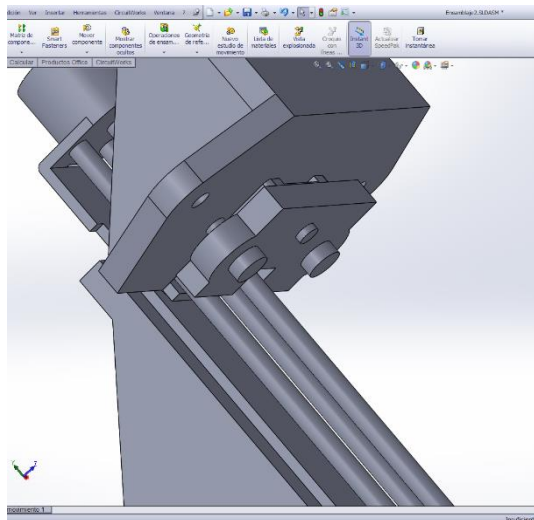
peça lliscant (marcada amb una fletxa blava a la imatge). Per solucionar aquest problema vam decidir que agafaríem la peça lliscant també pels costats tal com es mostra a continuació:



Com es pot veure, hem retallat una mica la peça d'abans per tal de que el motor hi quedí encastat. D'aquesta manera podem enganxar la peça lliscant també pels costats. Tot i així, ens semblava que degut al pes o a l'ús, la cola podria fallar i desenganxar-se la peça lliscant, per tant vam decidir col·locar una peça que subjectés la peça lliscant mitjançant uns cargols com veiem a continuació:



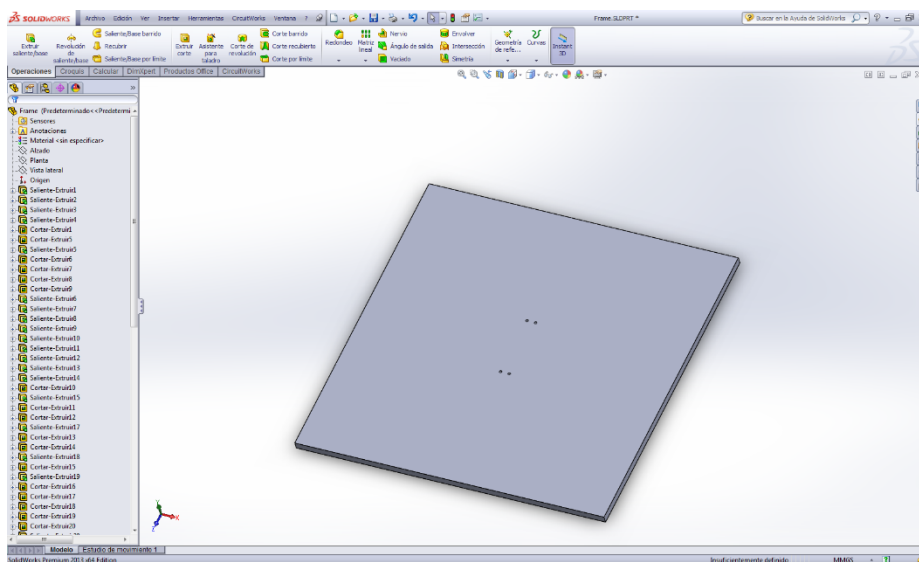
Hem fet dos forats més al costat horitzontal de la peça. La peça blava de la imatge és la que es cargolarà fent pressió contra la protuberància de la peça lliscant per mantenir-la fortament subjectada en la posició correcta. En les imatges següents veiem com queda un cop cargolada:



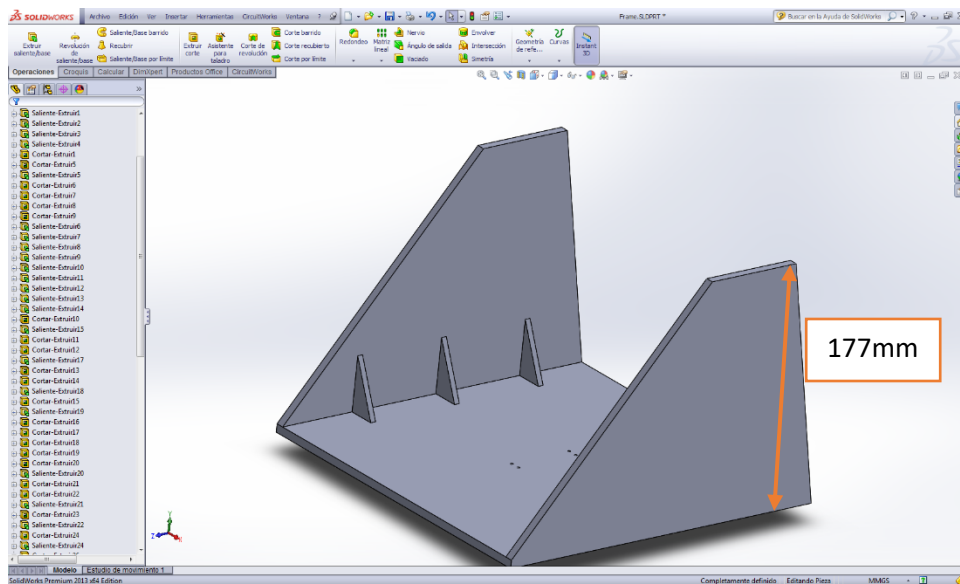
Els cargols que es veuen a la imatge subjectant la peça són uns M3 de 16mm de longitud.

D'aquesta manera donàvem ja per acabat l'últim *Drive Train* que ens quedava i per tant, teníem ja tots els *Drive Trains* dissenyats. Ara havíem de dissenyar la carcassa de la impressora a on cargolaríem els diferents conjunts dissenyats fins ara. Recordem que vam dividir la carcassa en zona d'impressió i zona d'electrònica. Ara dissenyarem la zona d'impressió. Tota la carcassa estarà elaborada amb fusta de 6mm. Si hi ha alguna excepció ho indicarem.

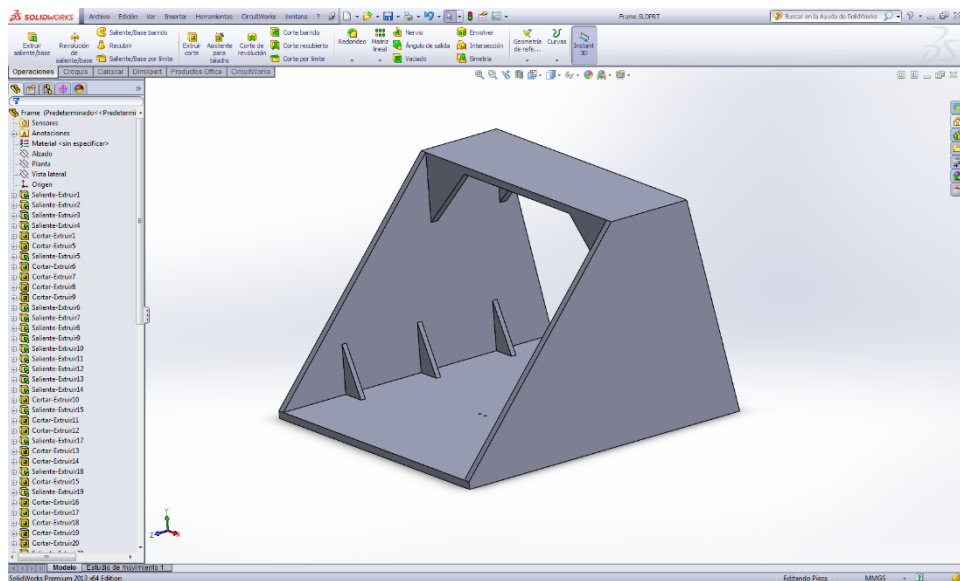
Vam començar per la base, un quadrat de fusta de 6mm de 25 cm de costat. D'aquesta manera deixàvem un marge considerable per moure el *Print Bed*. Vam situar quatre forats de 2mm de diàmetre que es corresponien amb els quatre forats del motor inferior del conjunt d'eixos X i Y i *Build Plate* de manera que aquest quedés completament centrat sobre la base:



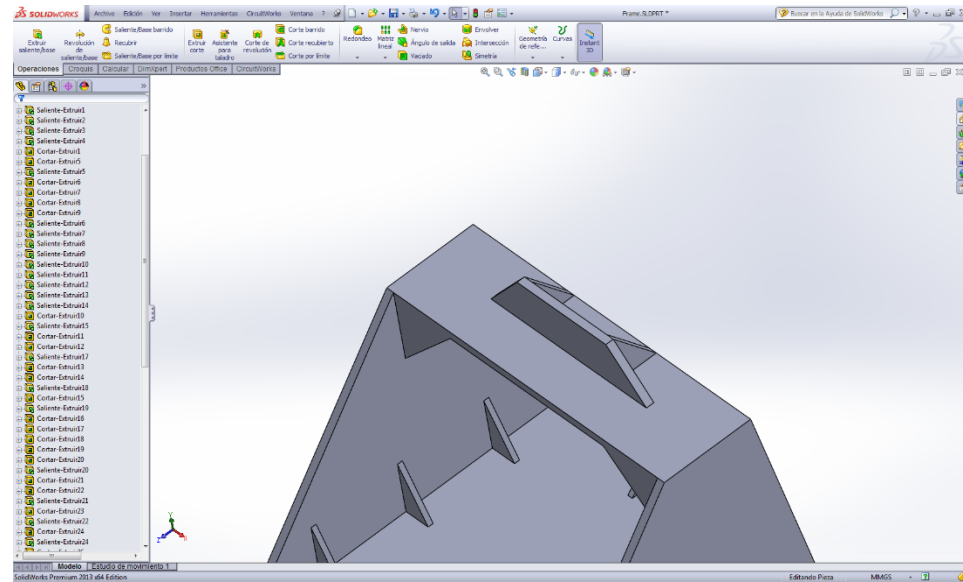
Ara teníem la base on aniria el conjunt d'eixos inferior. Tot i així, calia crear una estructura que aguantés el conjunt de l'eix Z suspès sobre el *Print Bed* centrat i a l'altura justa. Amb aquest objectiu vam aixecar dues parets amb forma de trapezi escalè i vam col·locar tres suports a cadascuna de fusta de 4mm per ajudar a mantenir-les en posició:



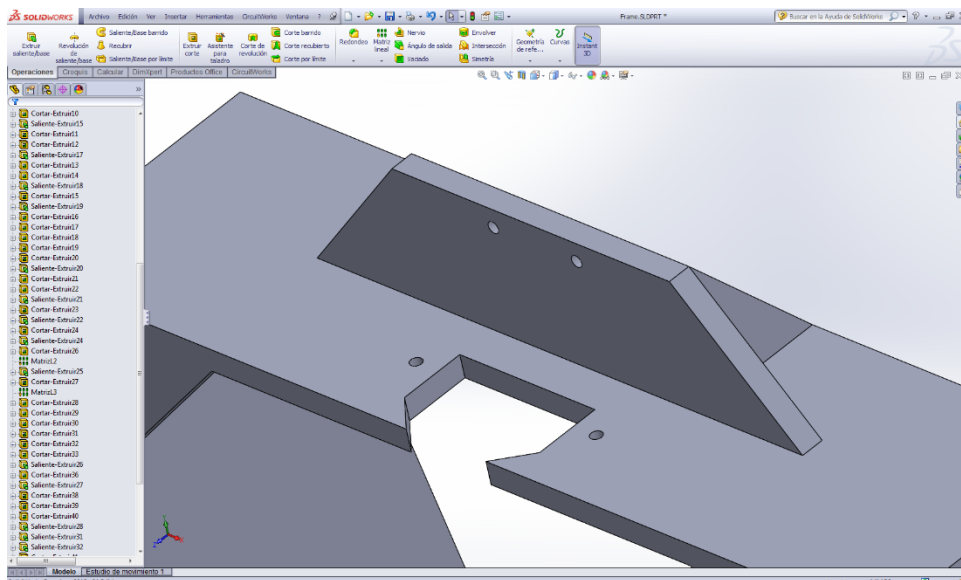
Tot seguit vam col·locar una peça horitzontal sobre el costat curt del trapezi escalè, la peça a la qual s'uniria el conjunt de l'eix Z en el pla horitzontal. Vam col·locar quatre peces de suport triangulars de fusta de 4mm per garantir que es trobés fermament fixada en la posició correcta:



Per fixar l'eix Z en el pla vertical vam col·locar una petita peça de fusta de 4mm sobre la peça horitzontal anterior. També vam col·locar unes peces triangulars de suport:

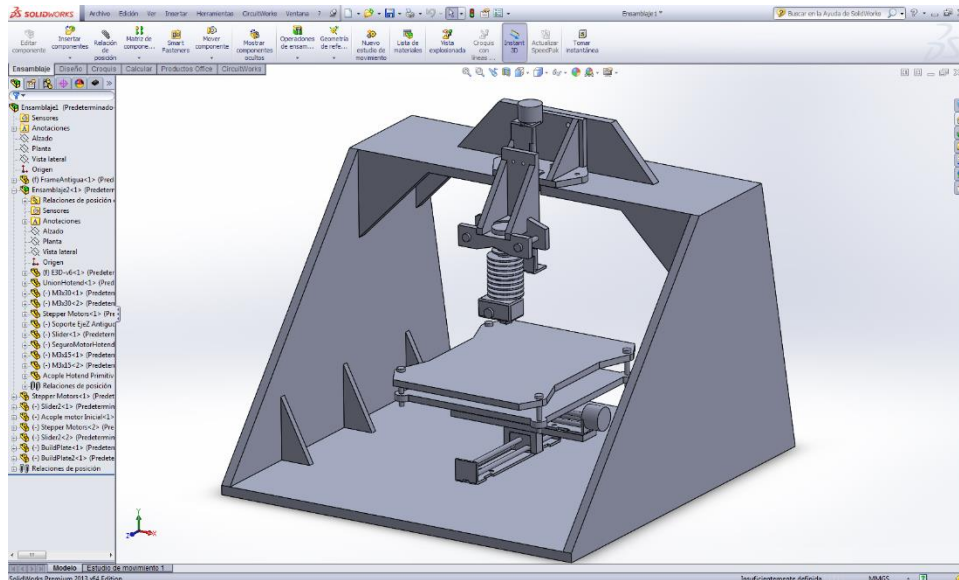


Vam continuar fent els forats necessaris per poder col·locar l'eix Z:

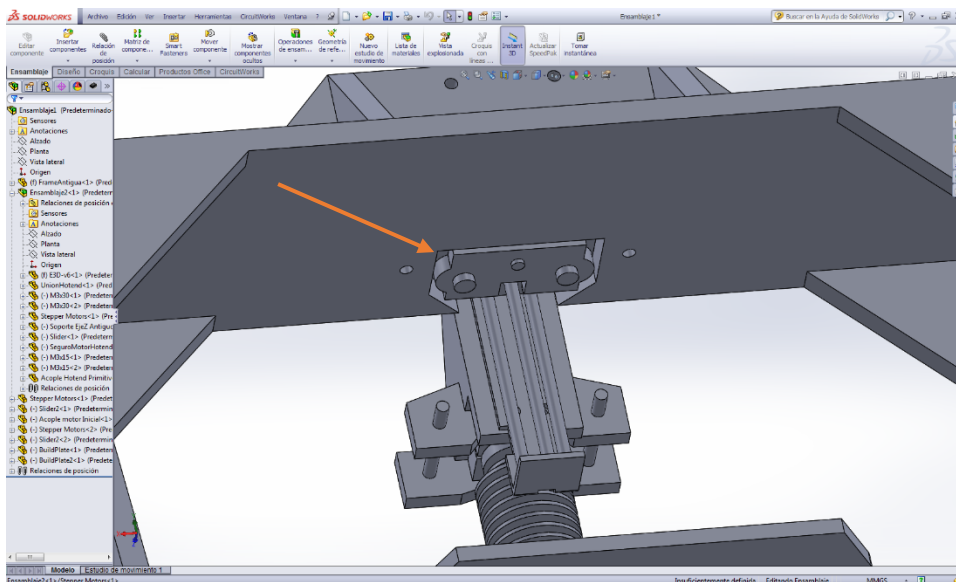


Com es pot veure, va ser necessari retallar un bon tros de la peça horitzontal. Això és a causa de que calia deixar espai per la peça que havíem col·locat al conjunt de l'eix Z per aguantar la peça lliscant en posició. Com que quedava per sota, si no retallàvem aquí la peça horitzontal no es podria col·locar.

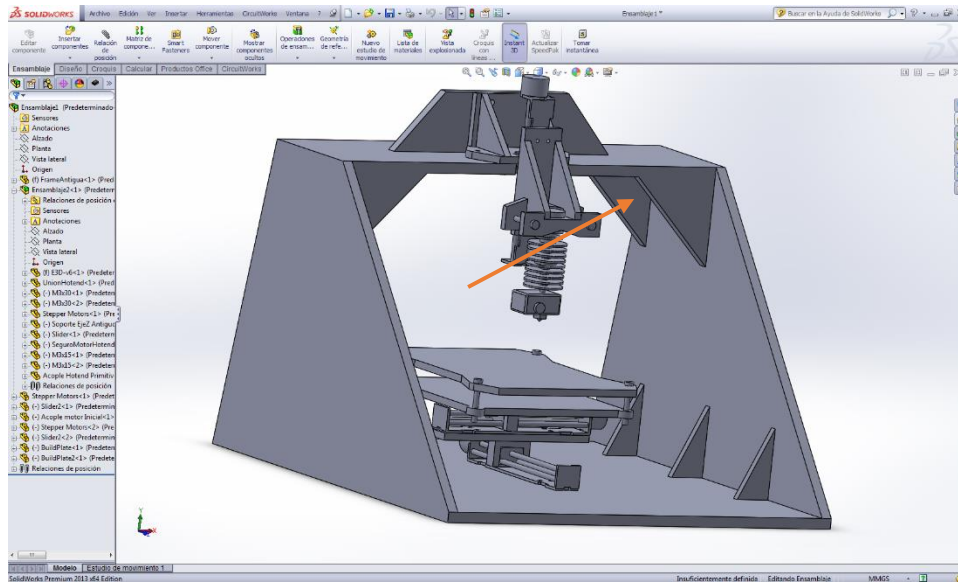
A continuació podem veure com queda la impressora amb els diferents eixos col·locats a la carcassa:



Veiem també com ha quedat l'eix Z per la part inferior per tal de veure millor el motiu pel qual hem retallat la peça horitzontal:

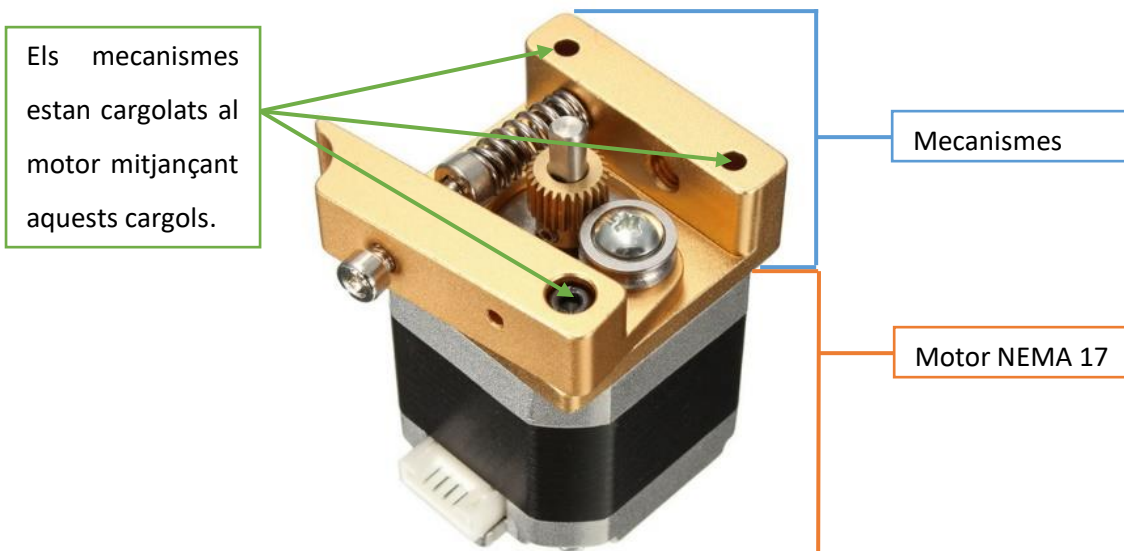


El proper que havíem de pensar era a quin lloc de la impressora col·locaríem el *Cold End*. El *Cold End* era voluminós comparat amb la mida de la nostra impressora. Havia de tractar-se d'un lloc on quedés fermament subjectat, havia de sobresortir el mínim possible de la carcassa i no podia obstaculitzar el moviment dels motors. A més, havia de trobar-se a una altura similar a la del *Hot End* per evitar que el tub de PTFE del sistema *Bowden Drive* donés masses voltes per la impressora. L'emplaçament final va ser sota la peça horitzontal, en un dels extrems entre les dues peces de suport triangulars tal com es veu en la imatge següent:

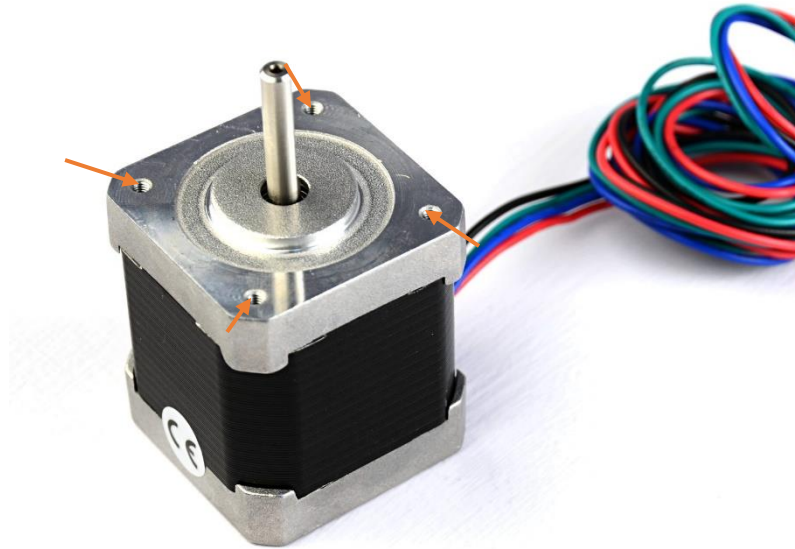


Per unir-lo amb la carcassa vam decidir separar el motor NEMA 17 que fa funcionar el Cold End dels mecanismes per col·locar entre ells la paret de la impressora. A la paret hi haurà uns forats per on passaran els cargols que aguantaran totes les peces al seu lloc. A continuació ho expliquem més detalladament:

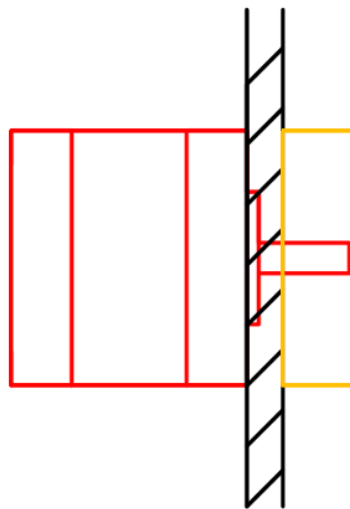
Observem primerament el nostre *Cold-End*, veurem que està format pel motor pas a pas NEMA 17 i per una sèrie de mecanismes que estan cargolats al motor:



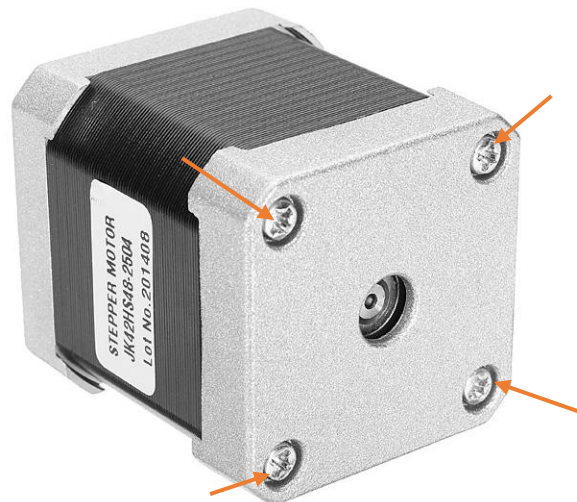
Com que aquests dos blocs es poden separar vam aprofitar aquest avantatge per descarregar tot el conjunt de mecanismes del motor. El motor té quatre forats que van d'un extrem a l'altre d'aquest, un a cada vèrtex com podem veure a la següent imatge:



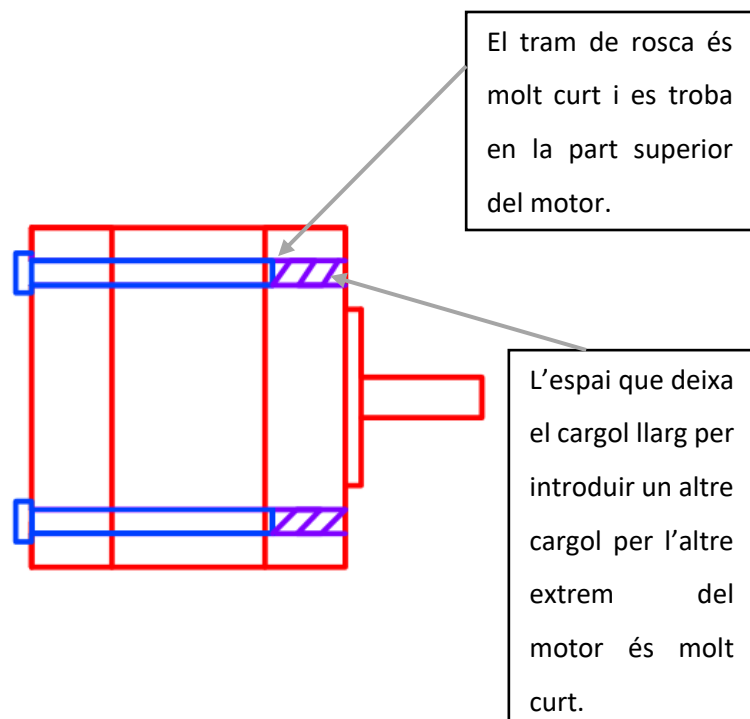
La nostra idea consistia en fer uns forats com aquests a la paret de la nostra carcassa (així com un forat central per l'eix) per tal de col·locar el motor per un costat de la paret i cargolar els mecanismes per l'altre. En l'esquema següent, on veiem com quedaria el *Cold End* de costat, el vermell representa el motor, el negre la paret i el groc el conjunt de mecanismes.



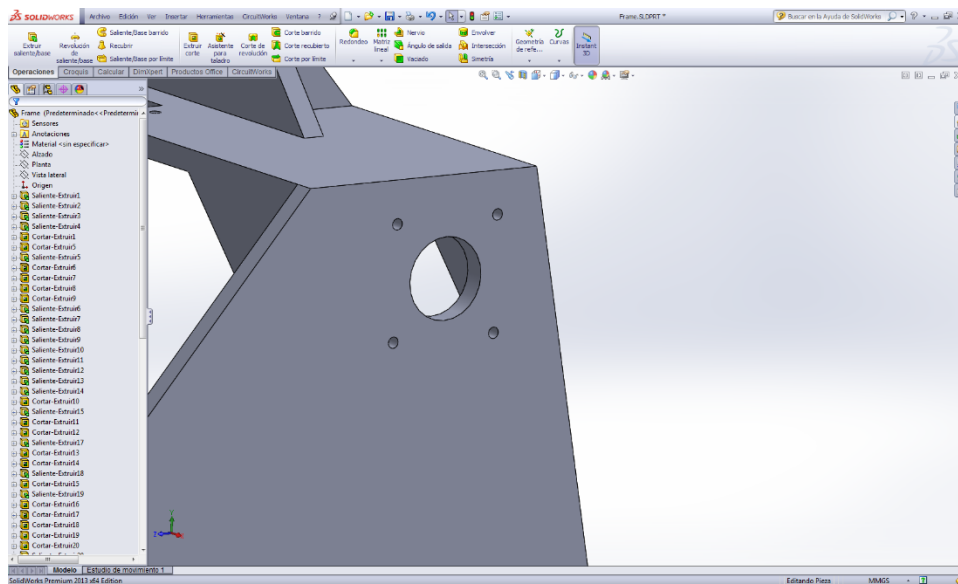
Aquest sistema tenia un problema, però, i és que els cargols que mantenien els mecanismes cargolats als motors eren massa curts i no podrien arribar a la rosca del motor degut al gruix de la fusta. Per solucionar aquest problema vam decidir canviar els cargols per uns més llargs. Vam observar que el nostre *Cold End* tenia quatre llargs cargols cargolats per la part inferior del motor i que aparentment no realitzaven cap funció així que vam decidir aprofitar-los pel nostre objectiu:



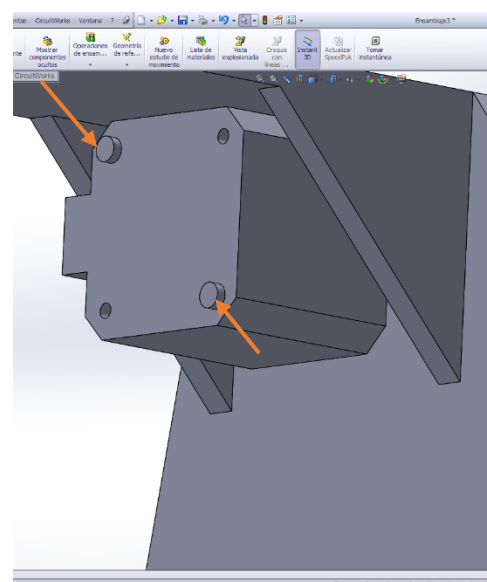
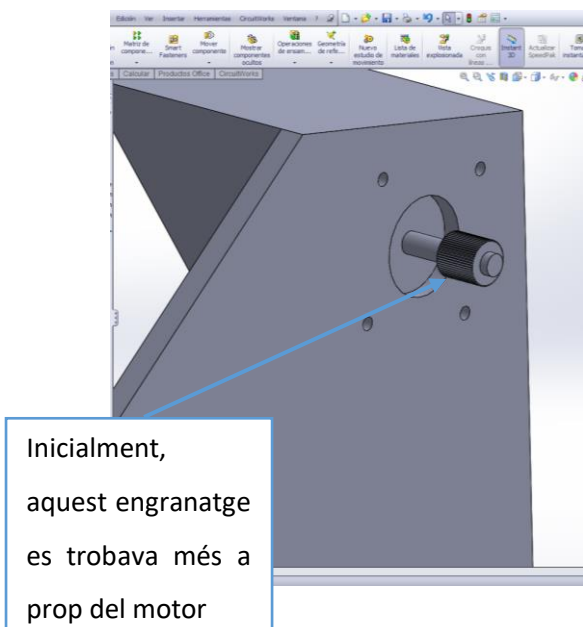
Desgraciadament, vam comprovar que els cargols que volíem extreure no estaven per fer bonic. La seva funció era mantenir les peces que formaven el propi motor juntes. Ens trobàvem amb un problema, ja que si els deixàvem col·locats, no podíem cargolar per l'extrem superior els cargols més llargs que necessitàvem per aguantar els mecanismes, ja que els cargols que aguantaven el motor eren massa llargs i deixaven solament l'espai just per als cargols curts per cargolar els mecanismes que ja venien de fàbrica amb el motor. Per acabar-ho d'adobar, el tram de rosca que tenien els forats del motor era molt curt i estava situat a la part superior, de manera que si descargolàvem una mica els cargols llargs, quèien. En l'esquema següent es veu el motor (vermell) des d'un costat. En blau es veu un dels cargols que aguanten les peces del propi motor. El color lila indica la part del forat pel cargol que té rosca, ja que la resta del forat és llis.



La solució final va ser la següent: Vam deixar tal com estaven dos dels quatre cargols de la base en vèrtex oposats. Els altres dos forats buits els vam aprofitar per introduir els dos cargols llargs sobrants però per la part superior amb la funció d'aguantar els mecanismes al seu lloc. D'aquesta manera el motor no es desmuntaria gràcies als dos cargols que el subjectaven per sota. El mecanisme, tot i tenir tres forats per aguantar-lo quedava ben agafat al motor amb dos. Els tres cargols que aguantaven els mecanismes abans els guardàrem per algun altre projecte futur. A continuació veiem com van quedar els forats a la carcassa:

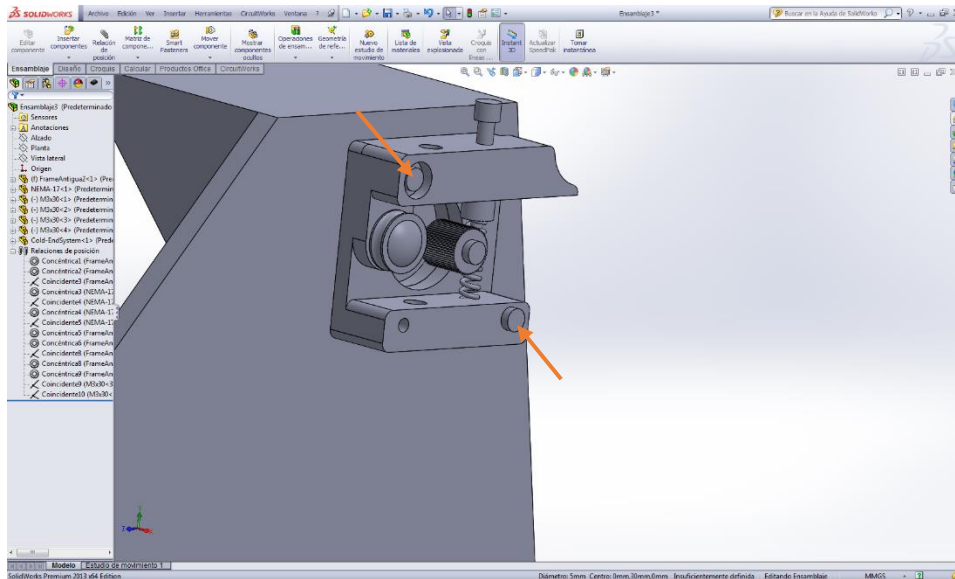


Tot seguit col·loquem el motor i els dos cargols que el subjecten, que recordem, es troben en vèrtex oposats. A les imatges apareixen senyalats els cargols:



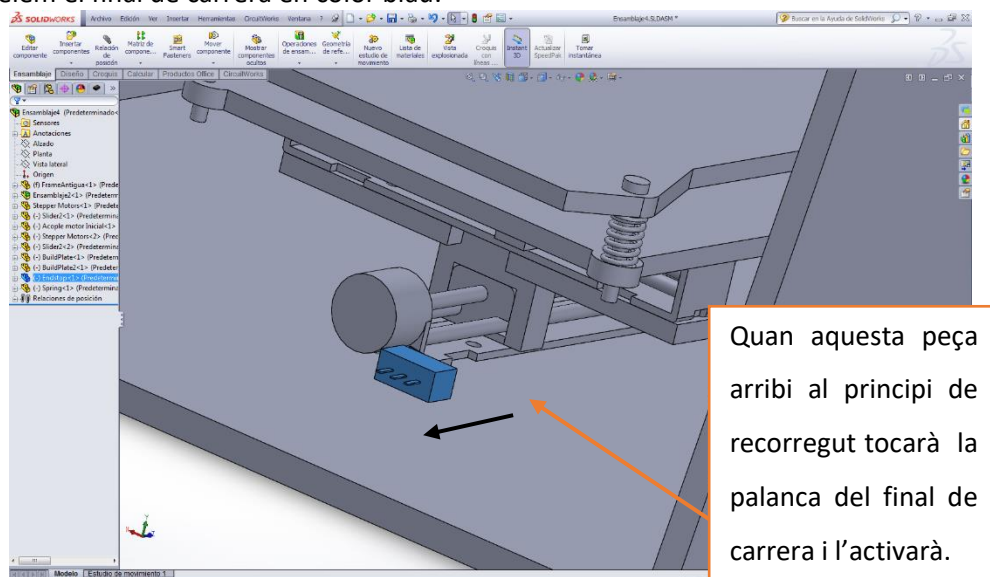
Com es veu a les imatges anteriors, vam moure l'engranatge que té l'eix 6mm cap a fora per tal de que estigués a la posició correcta quan coloquéssim els mecanismes (ja que ara aquests també es trobaran 6mm més enfora degut al gruix de la fusta). Això a l'etapa de la construcció serà possible afluixant un cargol que té l'engranatge (no apareix al model en 3D).

Tot seguit cargolem el conjunt dels mecanismes:

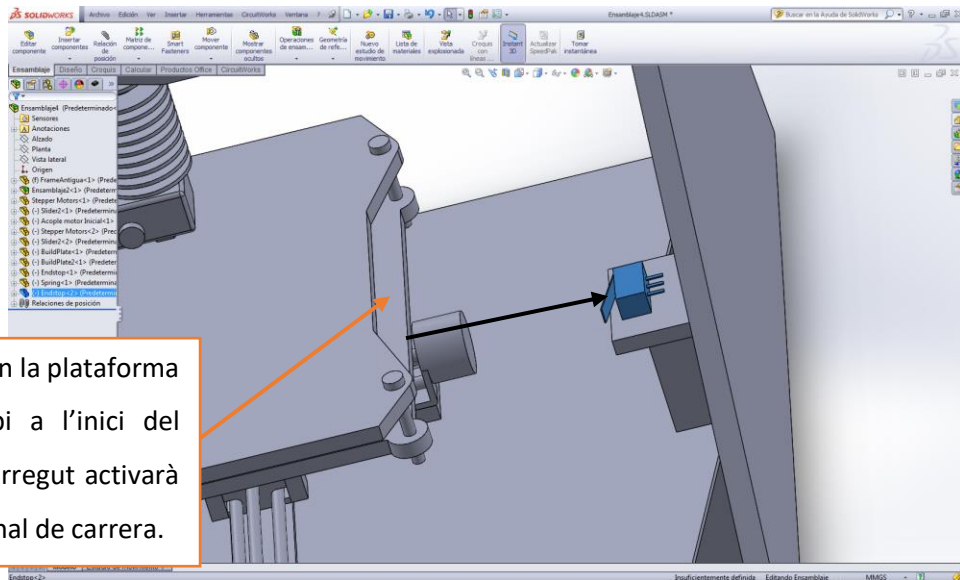
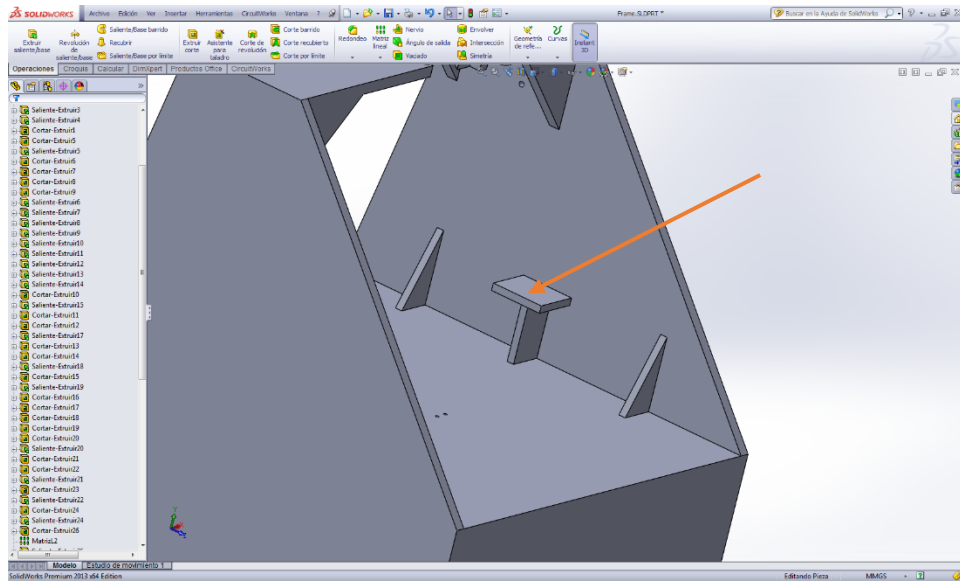


En aquest moment per acabar la zona d'impressió només ens faltava decidir on situariem els finals de carrera. Recordem que vam decidir col·locar-los només en la posició mínima.

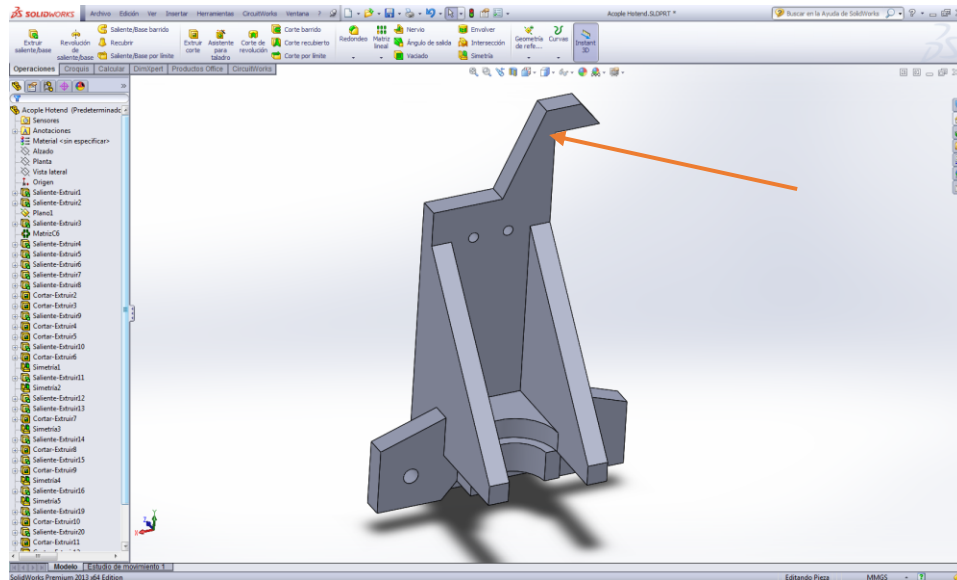
Pel final de carrera del *Drive Train Y* vam pensar que el final de carrera el col·locariem a la base de la carcassa i que l'activaria la peça de fusta que aguanta el motor del *Drive Train X*. En la imatge veiem el final de carrera en color blau.



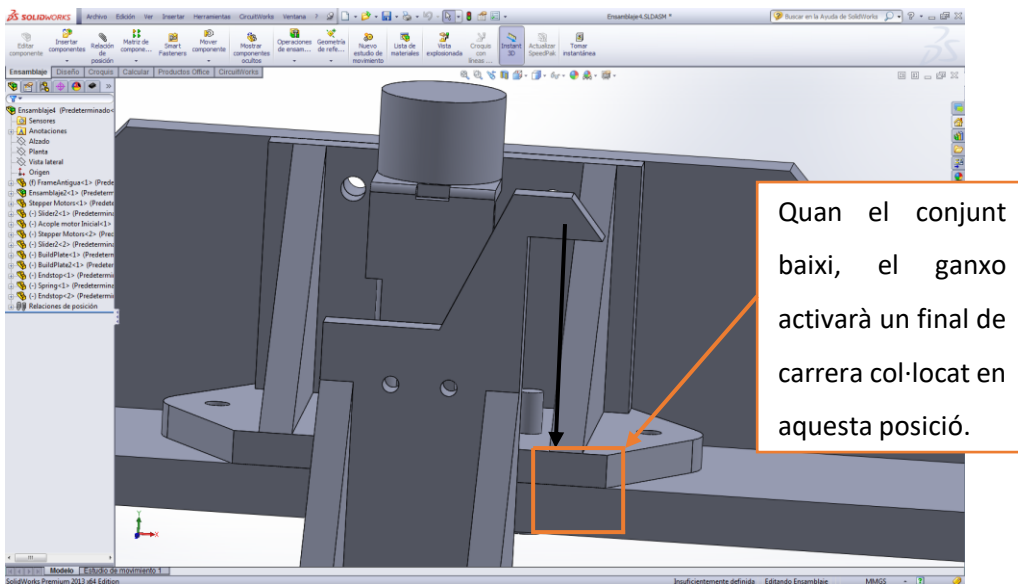
Pel final de carrera del *Drive Train X*, vam decidir reformar el suport lateral central de la paret dreta per tal de convertir-lo en una plataforma on col·locar el final de carrera. Aquest seria activat per la plataforma inferior del sistema d'anivellat:



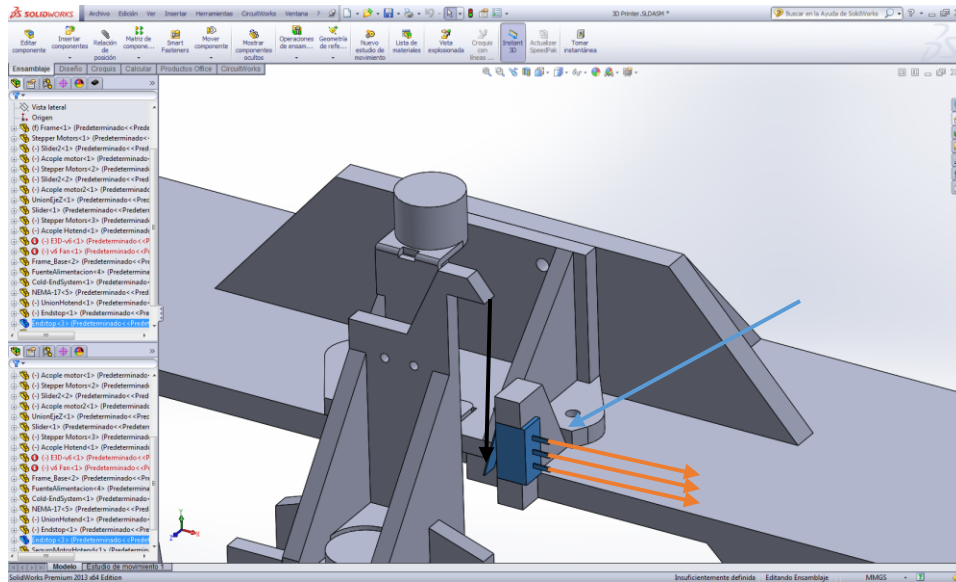
Només quedava l'eix Z, però aquest seria el més complicat. En primer lloc vam afegir una protuberància en forma de ganxo a la peça que subjectava el *Hot End* com es veu en la imatge de la pàgina següent:



Aquest ganxo, com veiem en la imatge a continuació, ens permet activar un final de carrera col·locat al marge de la peça horitzontal superior de la carcassa:



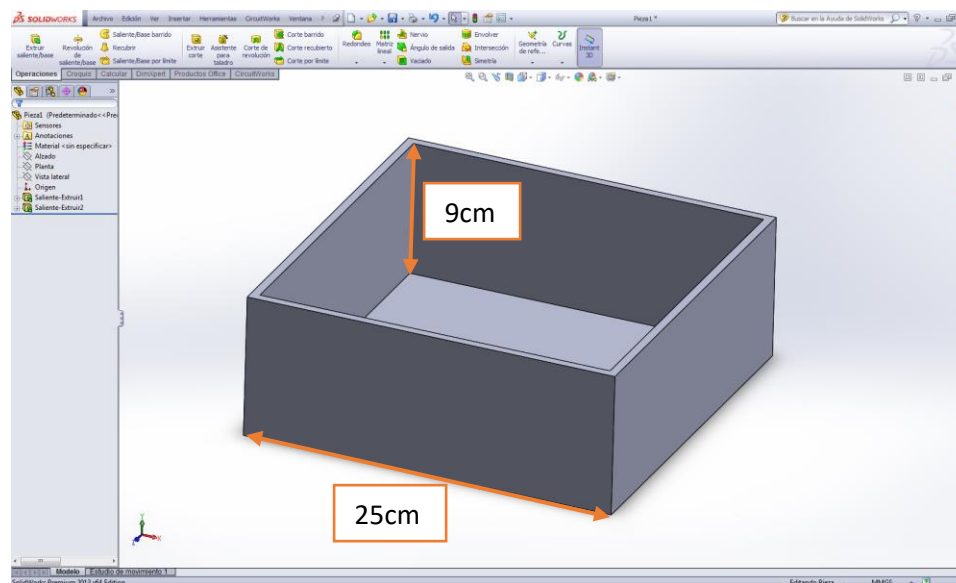
Per aguantar un final de carrera en aquesta posició vam elaborar unes peces de suport en fusta de 6mm. Vam decidir col·locar el final de carrera verticalment perquè d'aquesta manera quan col·loquéssim els cables, aquests quedarien cap a un costat i no cap avall (com passaria si el col·loquéssim en posició horitzontal) i no molestarien els moviments del conjunt de l'eix Z. A la pàgina següent podem veure una imatge on es mostra el resultat final:



Com es pot apreciar, per fer lloc a la peça de suport del final de carrera va fer falta retallar una mica la peça que uneix el motor de l'eix Z a la carcassa (fletxa blava). També veiem la direcció cap a on sortiran els cables del final de carrera (fletxes taronges).

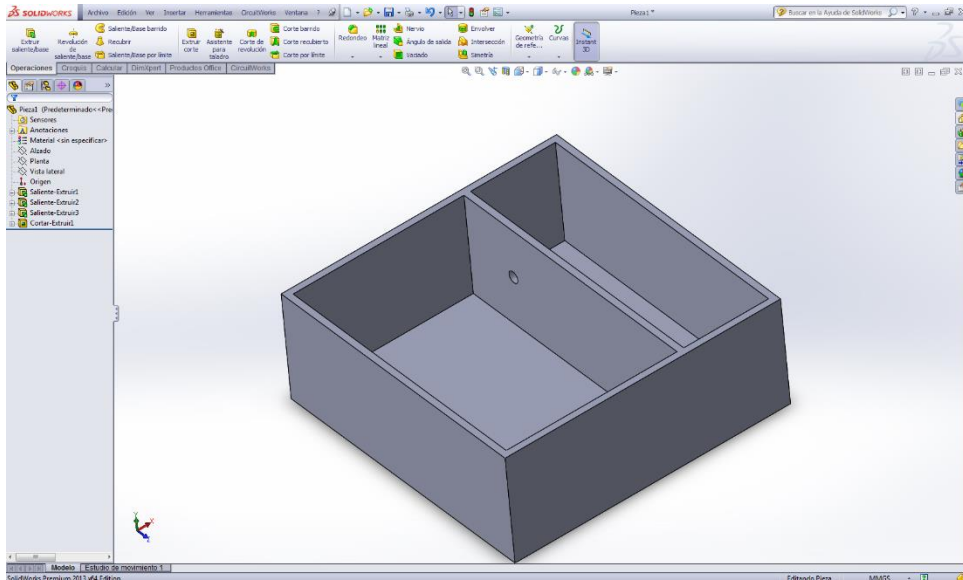
Ara que ja teníem la zona d'impressió dissenyada, vam continuar per la zona d'electrònica. Recordem que aquesta part seria una caixa i aniria a la part inferior de la zona d'impressió. Vam utilitzar fusta de 6mm per tota aquesta zona.

Vam començar igual que amb la zona d'impressió, un quadrat de 25x25 cm. La nostra font d'alimentació (el component més voluminós de la zona d'electrònica) mesurava 86mm d'alt més dos mil·límetres que sobresortia l'estructura del ventilador. Vam decidir que les parets de la caixa tinguessin 90mm d'alçada per deixar una mica de marge.



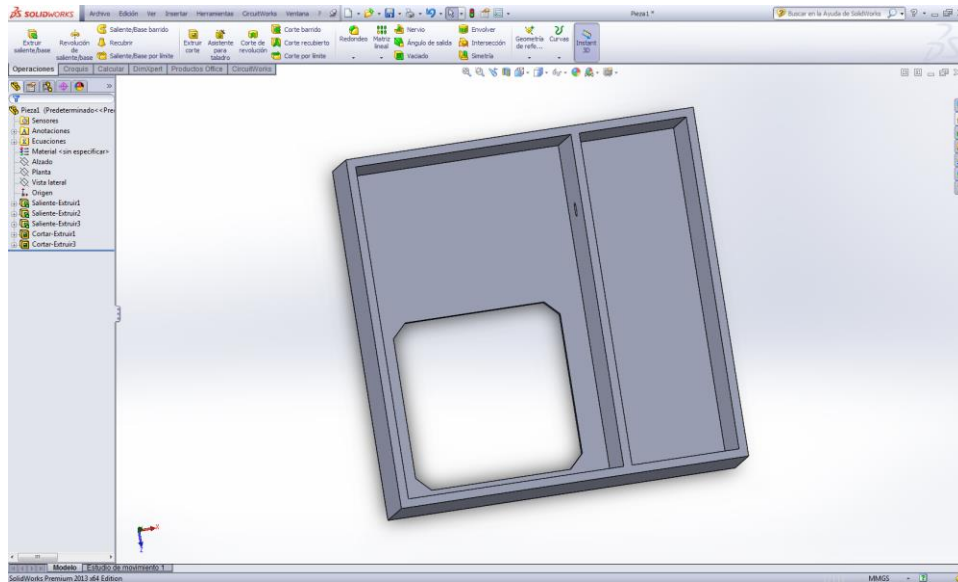
Vam procedir a aixecar la paret que separaria ambdós compartiments. Aquest separador tenia com a objectiu evitar que tot el cablejat del controlador es barrejés amb el cablejat de la font d'alimentació, cosa que, tot i que improbable, podria arribar a provocar un curtcircuit.

La nostra font mesurava 150mm d'ample, així que vam fer que el seu compartiment en mesurés 155 per deixar una mica de marge per cada costat. Vam fer un forat en un extrem del separador per passar els cables de la font que es connectarien als ports d'alimentació del RAMPS.

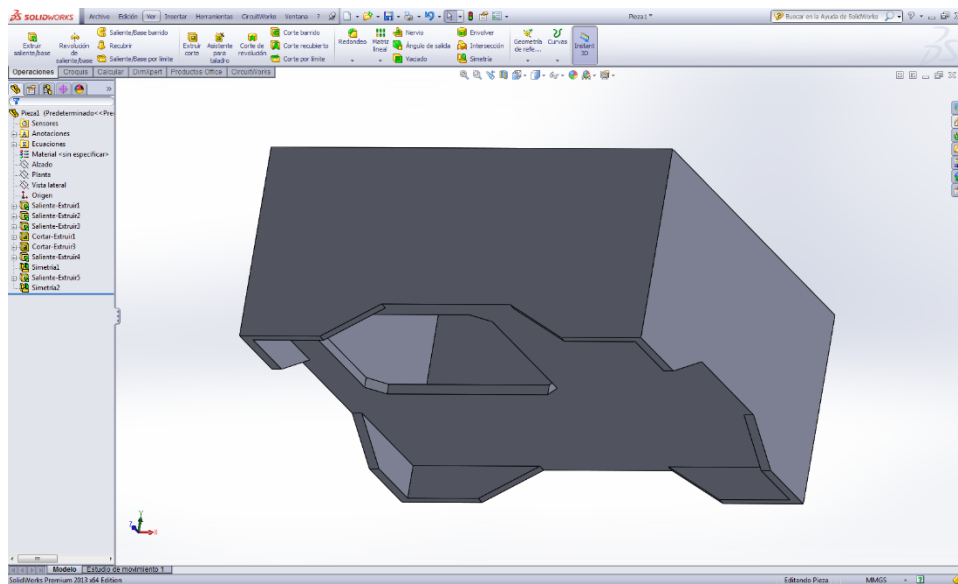


Tot seguit vam pensar com col·locar la font d'alimentació. Teníem dues opcions, o bé fèiem que el ventilador quedés mirant cap a dalt, cosa que comportaria fer un forat a la base de la zona d'impressió o bé que quedés mirant cap a baix, que comportaria fer el forat en la base de la zona d'electrònica.

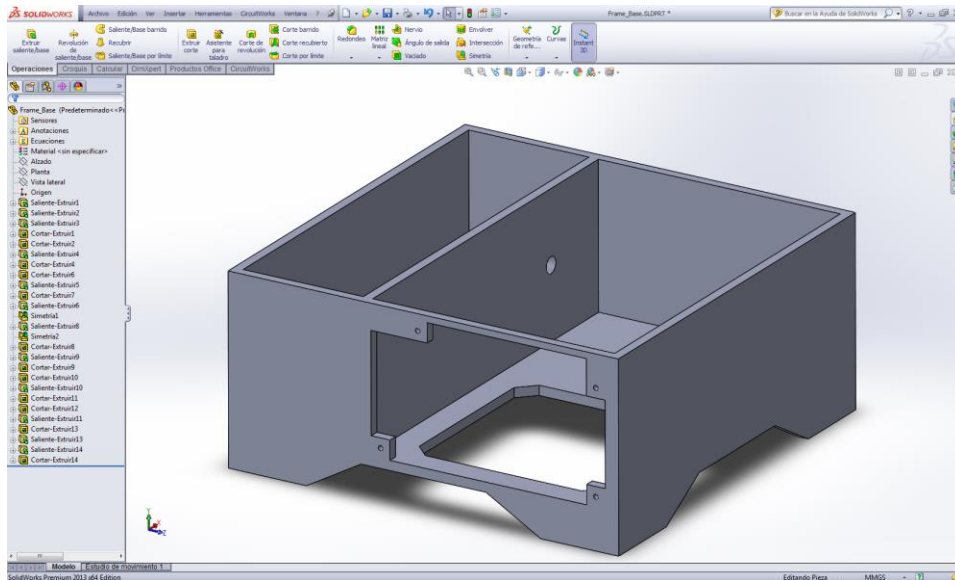
Vam pensar que la segona opció era millor, ja que si escollíssim la primera, hem de tenir en compte que el ventilador crearia un flux d'aire per la zona d'impressió, cosa que podria afectar a l'objecte que s'estigués imprimint i comprometre un resultat final satisfactori. D'aquesta manera vam decidir col·locar el ventilador cap avall i fer el forat en la base de la zona d'electrònica. El ventilador de la nostra font era de 120mm, així que aquestes van ser les mesures dels costats del quadrat que vam fer. Per tenir una major superfície on recolzar la font vam fer uns petits xamfrans als vèrtexs del quadrat:



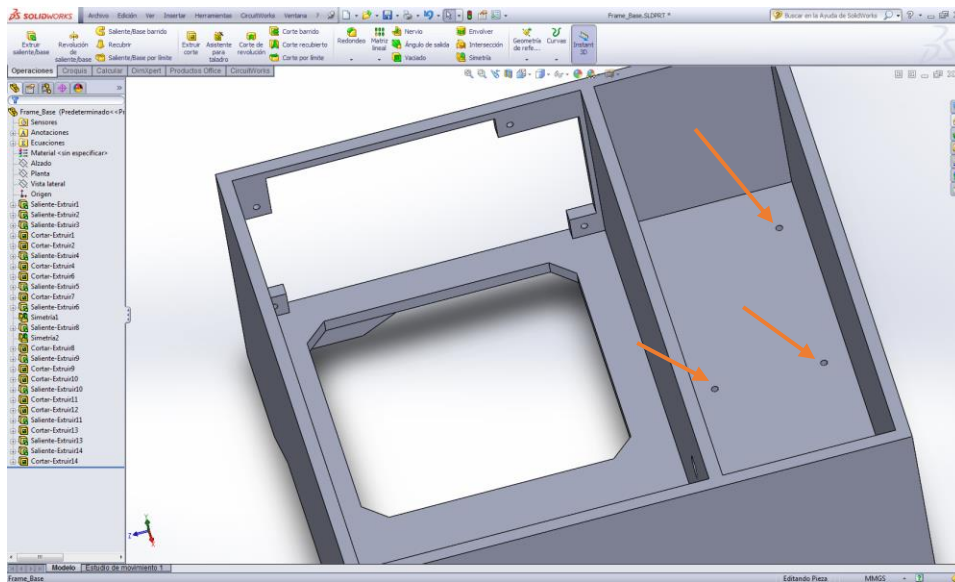
Vam decidir col·locar unes potes per tal de que la base de la caixa quedés elevada 20mm per tal de que l'entrada d'aire pel ventilador de la font no quedés obstruïda per la pròpia superfície sobre la qual la col·locaríem. En la imatge a continuació podem veure el conjunt des de sota:



Vam continuar per fer els forats per als cargols que aguantarien la font d'alimentació a la part posterior de la caixa. També per la part posterior vam fer un forat ja que la font d'alimentació tenia uns forats per ventilar i si no quedarien tapats. També és per aquesta zona que es troba el connector pel cable que s'endolla a la xarxa elèctrica i l'interruptor de la font per encendre-la o apagar-la.

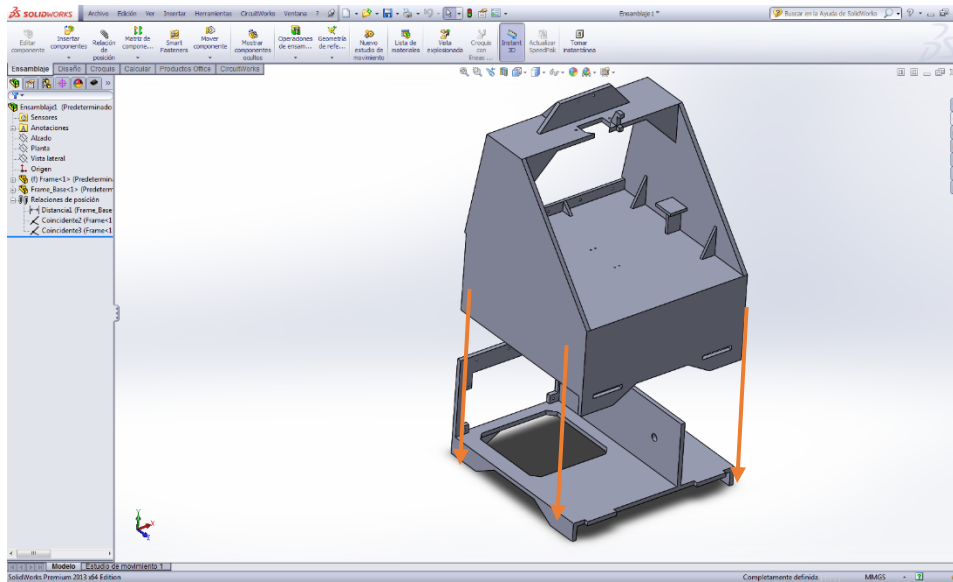


L'últim detall que ens quedava era fer els forats per cargolar l'Arduino Mega (sobre el que col·locaríem el RAMPS) en el compartiment del controlador.

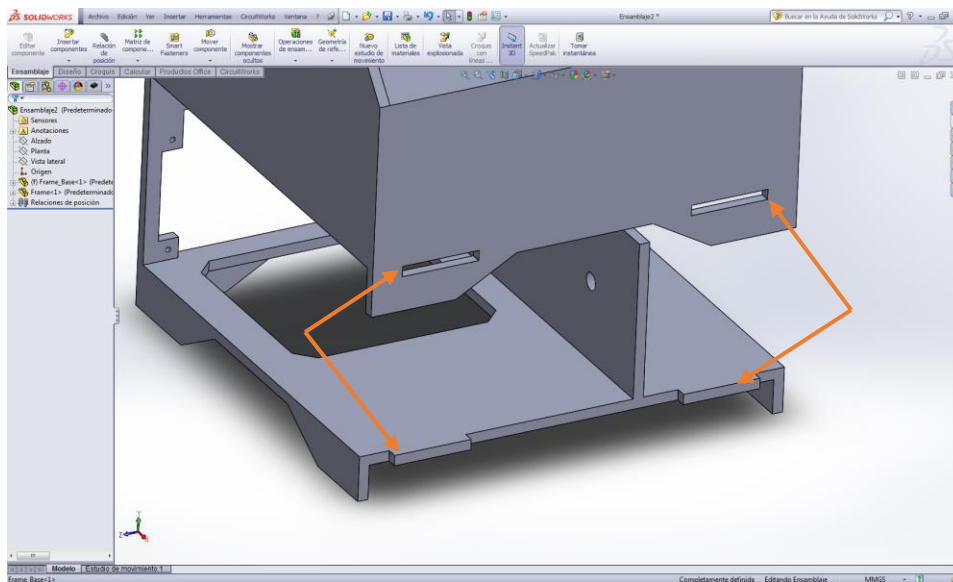


L'últim que ens quedava per acabar la zona d'electrònica era pensar com unir-la a la zona d'impressió i que aquesta unió es pogués muntar i desmuntar per fer manteniment, reparacions, canviar components, etc...

La nostra solució va consistir en passar algunes de les peces de la zona d'electrònica a la zona d'impressió i que d'aquesta manera es poguessin encaixar. Ho veurem bé en la imatge següent:

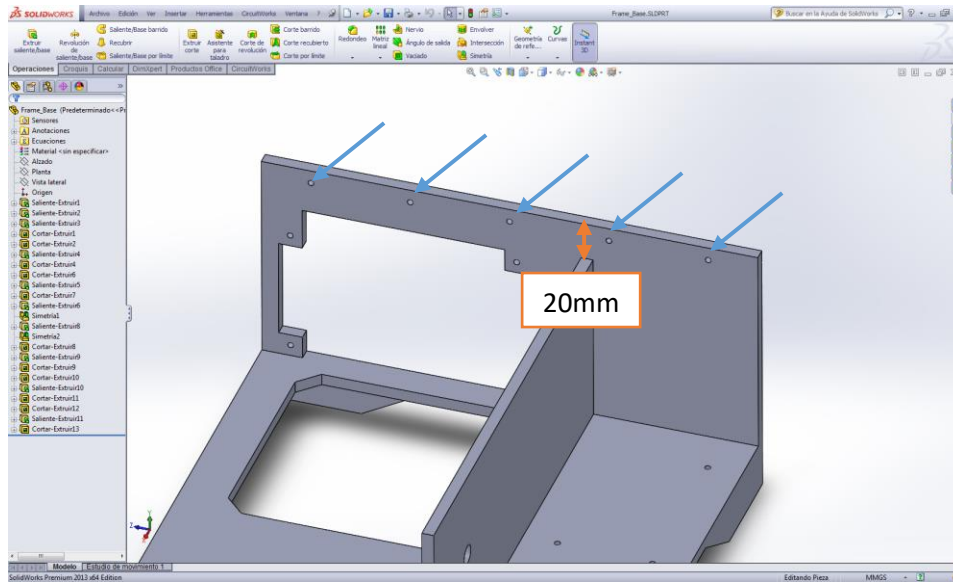


Com podem comprovar, vam col·locar unes dents en la zona d'electrònica per encaixar-les a la zona d'impressió:

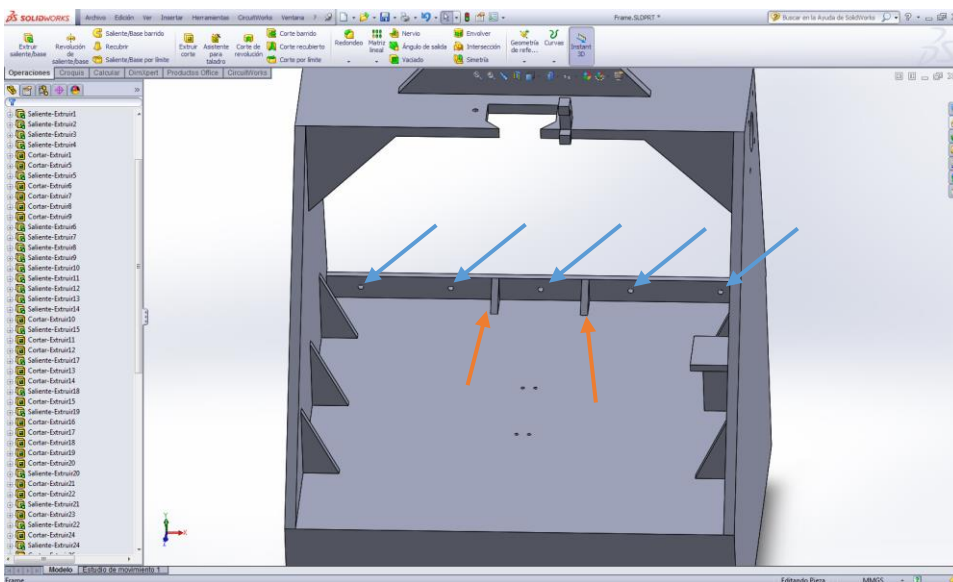


A causa de les dents que acabem de veure la carcassa no s'encaixarà de dalt a baix, com suggereix la primera imatge d'aquesta pàgina, sinó de davant cap endarrere, per tal de poder encaixar les dues peces.

També vam redissenyar la part posterior de les dues zones per tal de que quan estiguessin encaixades poguéssim passar uns cargols per mantenir-les unides. Aquest redisseny va consistir en aixecar 20mm la part posterior de la zona d'electrònica (on es trobaven també els cargols per la font) per poder col·locar cinc forats per cargols de 3mm. En la zona d'impressió vam utilitzar una peça de 4mm per fer els forats pels cargols:

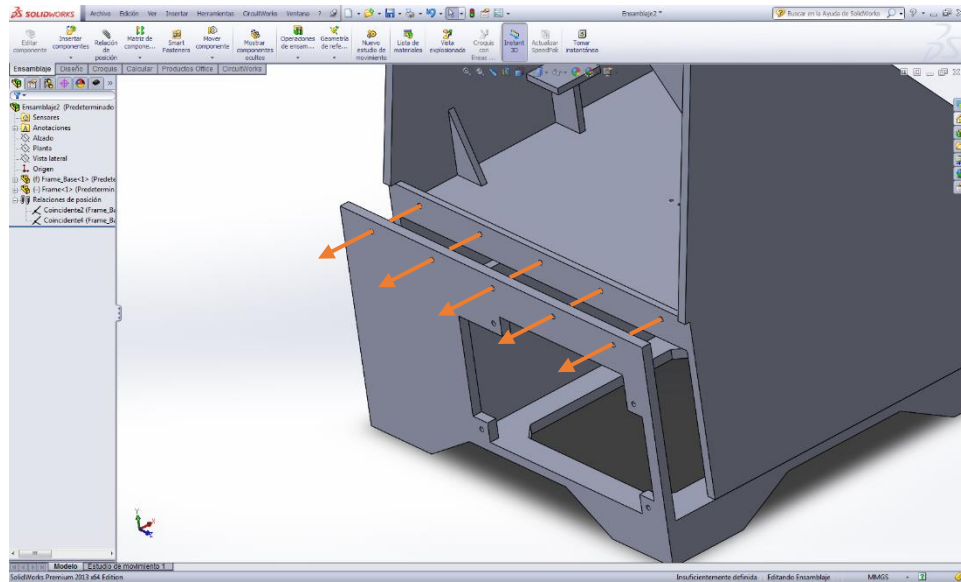


A la imatge superior veiem com hem aixecat la paret posterior 20mm així com els cinc forats pels cargols (fletxes blaves). Tot seguit veiem les modificacions realitzades a la zona d'impressió per col·locar els forats:

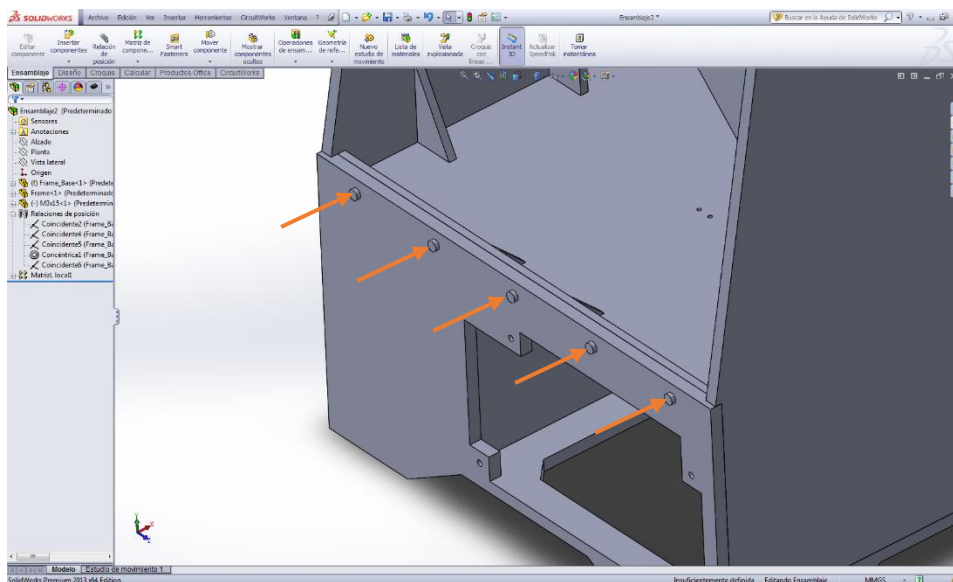


Es pot veure que hem col·locat una peça vertical a la part posterior (en contraplacat de 4mm). En aquesta peça es troben els cinc forats pels cargols (fletxes blaves) alineats amb els de la zona d'electrònica. Vam col·locar dues peces de suport per mantenir la peça vertical en posició (fletxes taronges).

Tot seguit veiem com s'encaixen les dues peces i com queden subjectades pels cargols:

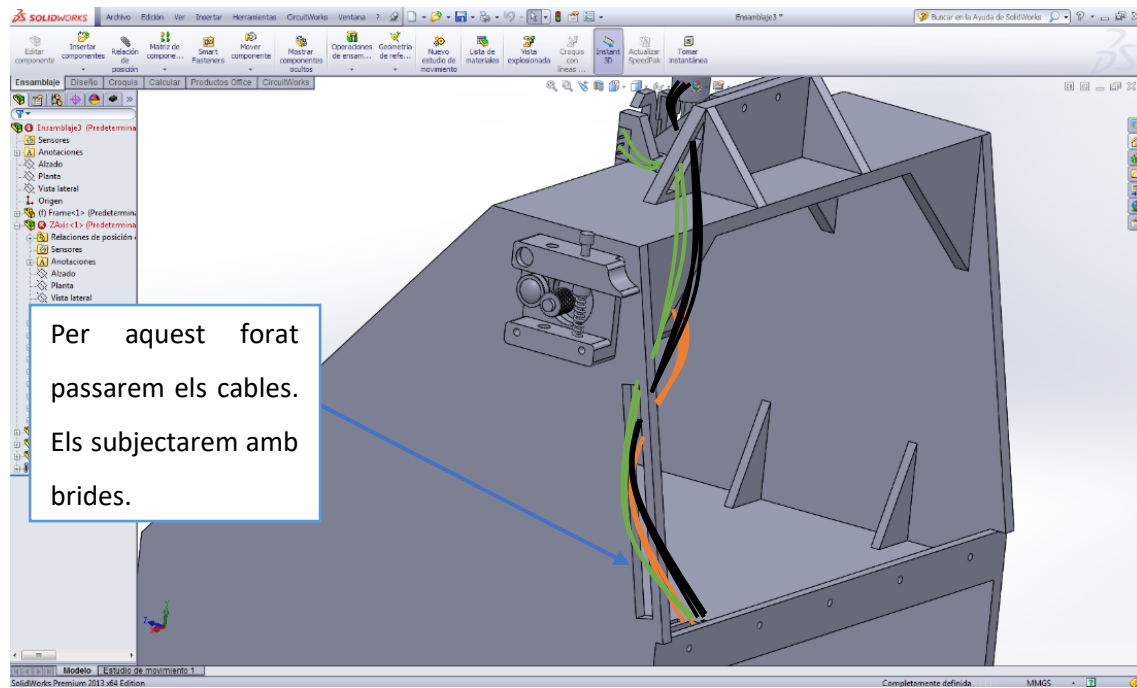


A continuació veiem les dues peces encaixades i amb els cargols col·locats. Aquests són els M3 de 16mm de longitud.



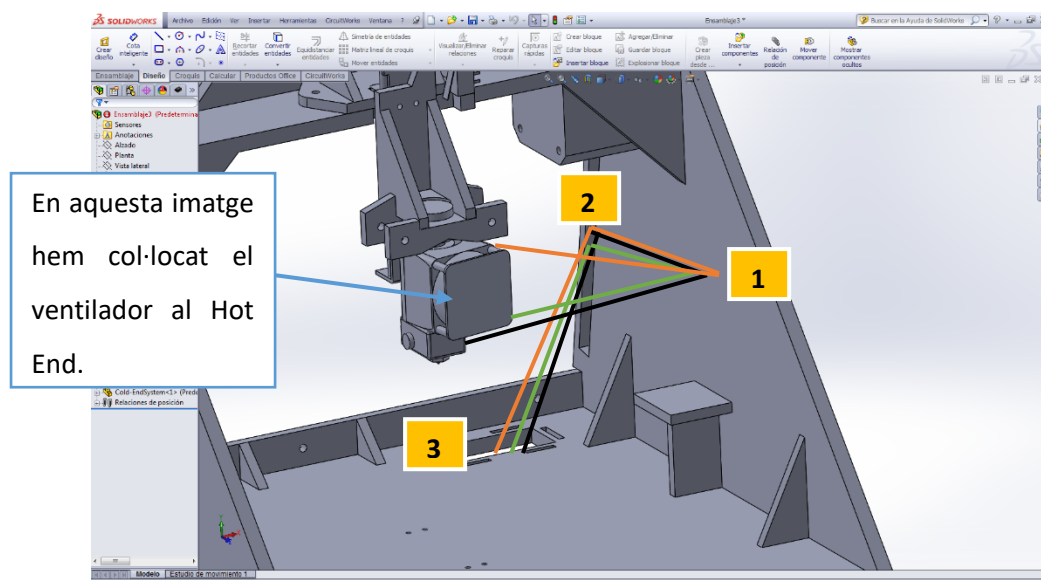
En aquests moments, només quedava una cosa per acabar amb el disseny de la carcassa, i és fer els forats per passar els cables dels motors. Volíem que els cables quedessin el més ordenat possible, de manera que vam pensar en fer diversos forats per passar els cables i dirigir-los tots al compartiment del controlador tal com veurem en les properes pàgines. Vam començar per fer un forat a la part posterior dreta de la base de la zona d'impressió per passar tots els cables al compartiment del controlador. Al voltant del forat principal vam col·locar diversos forats més petits per passar brides o similars per aguantar els cables en posició:

En negre podem veure com pensem passar els cables pel forat. Per baixar els cables fins al compartiment del controlador vam decidir fer un altre forat a la paret de la carcassa, que també serviria pels cables del *Cold End*:

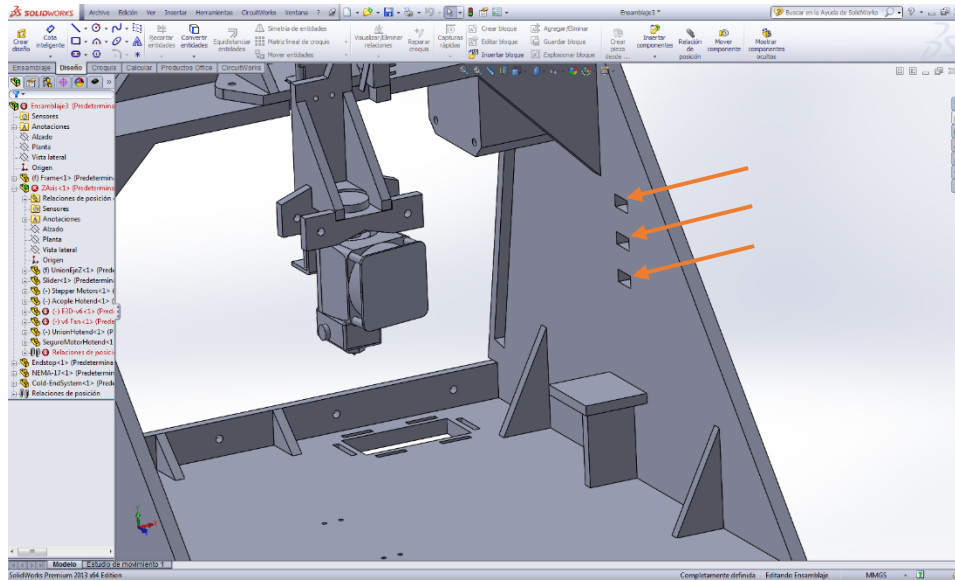


En la imatge superior veiem com quedarien els cables quan els passéssim pels forats que hem fet. En verd estan els cables del final de carrera del *Drive Train Z*, en negre els del motor del *Drive Train Z* i en taronja els del motor del *Cold End*.

Vam passar ara a ocupar-nos dels cables del *Hot End*. Vam pensar que els portàriem cap a la paret dreta de la impressora (punt 1), d'aquí al forat que ja hem fet a la paret de la impressora (punt 2) i d'aquí al compartiment del controlador (punt 3):

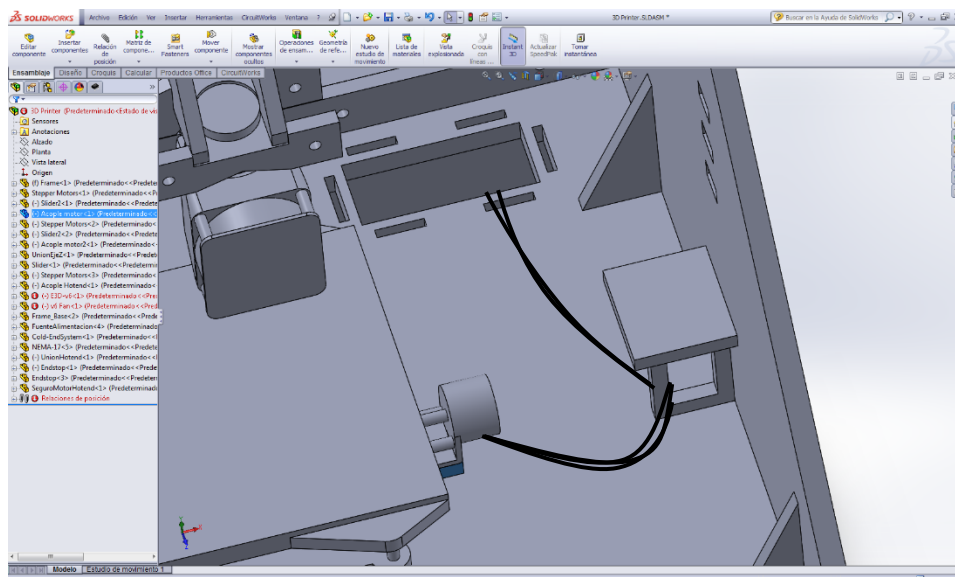


En la imatge anterior veiem representats en negre els cables de la resistència elèctrica, en verd els del termistor i en taronja els del ventilador del *Hot End*. Com podem veure, serà necessari algun element per aguantar els cables al punt 1. Vam fer uns forats a la carcassa per passar brides:



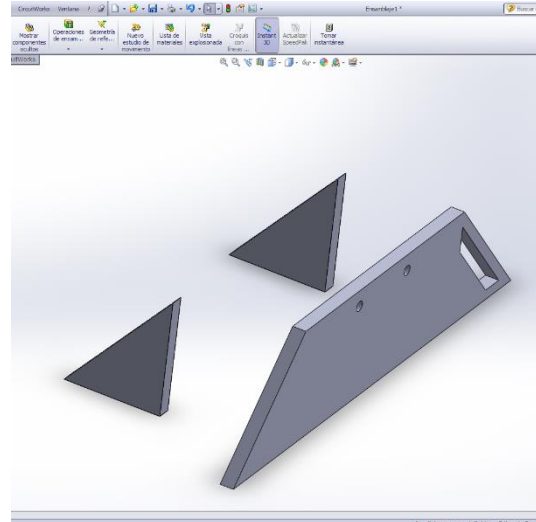
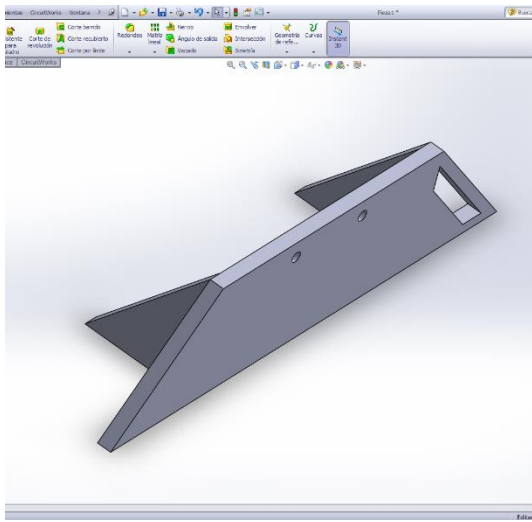
Si ens fixem, podem veure que tot aquest sistema té un problema, i és que el *Hot End* es mou al dalt i a baix, per tant els cables es mouen. No hi ha cap problema. Si deixem marge, els cables giraran sobre si mateixos en el punt 1, apuntant cap a dalt o cap a baix quan el *Hot End* pugui o baixi, de fet hem situat els forats per les brides en el punt mig entre l'altura màxima i la mínima del *Hot End* amb aquest objectiu.

Per últim vam fer un forat en el suport del final de carrera de l'eix X per passar els cables del motor del *Drive Train X*:

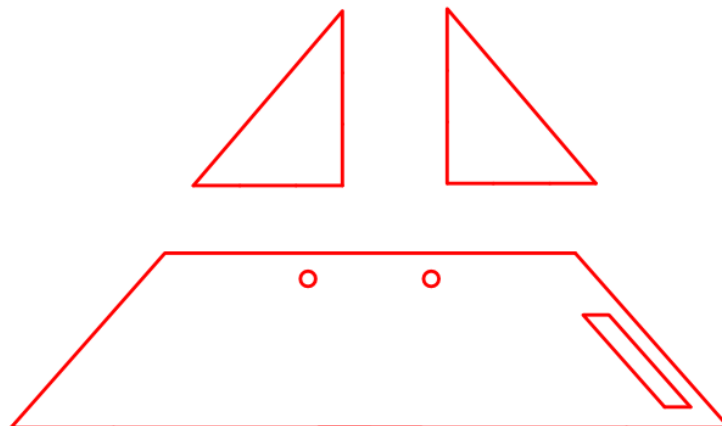


Per enllestir tota la fase del disseny només quedava dibuixar les peces que havíem dissenyat amb Solidworks en AutoCAD per tal de que la talladora làser les tallés. Per realitzar aquest procés cal seguir una sèrie de passos. A continuació veurem com a exemple el procés per la peça a la qual es cargola el conjunt del Drive Train Z en el pla vertical:

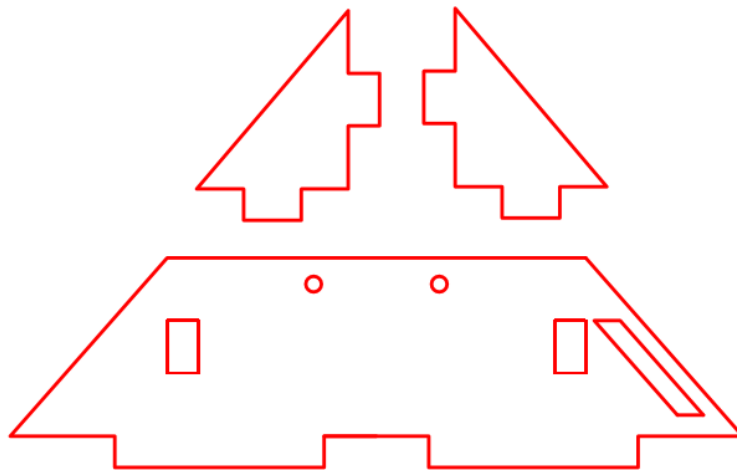
En primer lloc cal separar la peça que havíem dissenyat en diferents parts planes, ja que aquestes seran les peces que tallarem de la fusta:



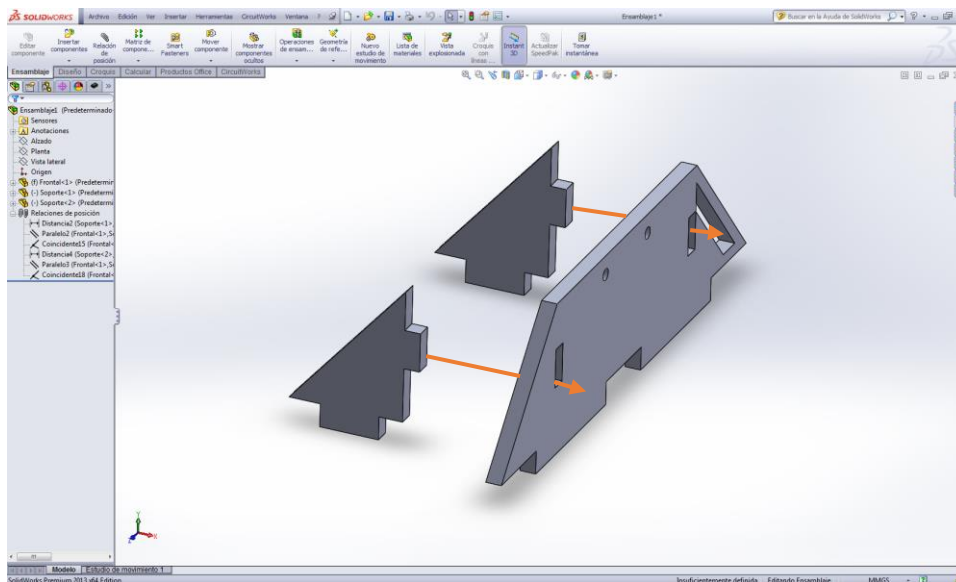
Tot seguit cal dibuixar les tres peces en AutoCAD. El color ha de ser el vermell, ja que la talladora interpreta les línies vermelles com línies per tallar:



Podríem donar el procés per acabat, tot i així, aprofitant la precisió i velocitat de la talladora, podem incorporar dents a les nostres peces per tal de que encaixin entre elles i el muntatge sigui molt més senzill i en ocasions, que ni tan sols calgui cola per unir les peces.



Com es pot veure a la imatge hem afegit dents a la part inferior de les peces per tal d'encaixar-les a la peça horitzontal superior de la carcassa així com dues dents als suports que s'encaixaran als forats de la peça principal. A continuació veurem com encaixaran les nostres peces:



Aquest es el procés que cal seguir per totes les peces que hem dissenyat. No cobrirem amb detall com l'hem realitzat per cada peça, tot i així, podem trobar els plànols amb les dimensions finals de totes les peces tal com van quedar dibuixades a l'AutoCAD a l'Annex.

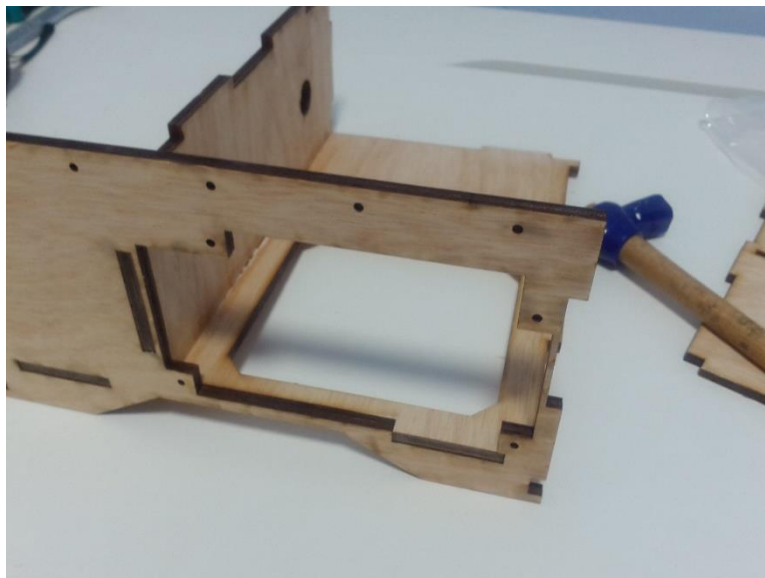
Després de dibuixar totes les peces a l'AutoCAD les vam portar a tallar. A partir d'aquí vam iniciar el procés de construcció de la impressora.

9 CONSTRUCCIÓ

Per la construcció vam decidir començar per la zona d'electrònica. Vam unir la peça central, que separa el compartiment de la font d'alimentació i el del controlador a la base. Degut a que el contraplacat mesurava unes dècimes de mil·límetre més dels 6mm van fer falta uns cops de martell per encaixar-lo.



Tot seguit vam continuar unint la peça posterior on aniria cargolada la font d'alimentació. En aquest cas també va caldre llimar una mica les dents amb les que s'encaixava degut a l'error del gruix del contraplacat. Amb uns cops de martell va quedar ben encaixada. El següent va ser enganxar les quatre potes de la impressora a la base. Vam utilitzar cola blanca per subjectar-les bé. Ja teníem la base de la carcassa enllestida.



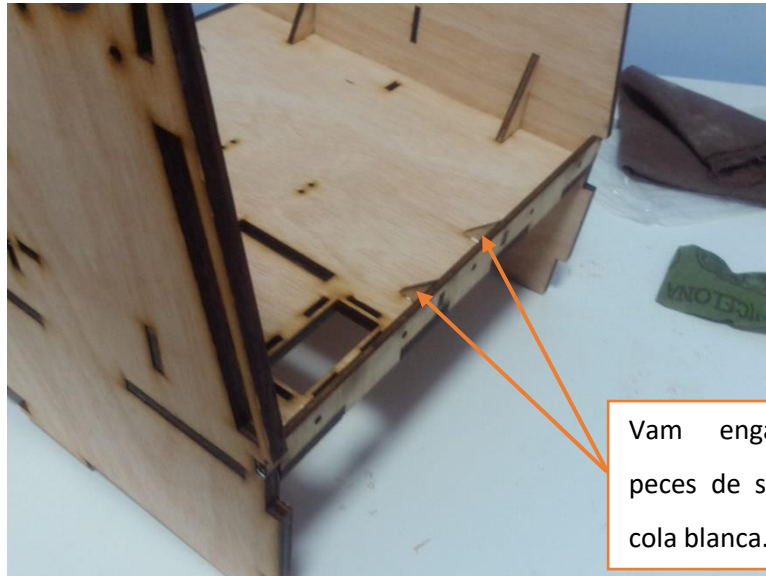
Vam procedir a muntar la zona d'impressió. Vam decidir muntar-la d'un costat a un altre, ja que així seria més fàcil encaixar les peces. D'aquesta manera vam començar unint la tapa del conjunt de la caixa a la paret dreta de la impressora. Vam haver de repassar de nou les dents amb el paper de llima. Amb aquesta peça però, el llima no va ser suficient i van caldre un bon nombre de contundents cops de martell per encaixar-la al seu lloc. Va quedar fixada molt fortament sense necessitat de cola blanca. Abans d'encaixar-la del tot vam col·locar els reforços de la paret i el conjunt de suport del final de carrera de l'eix X.



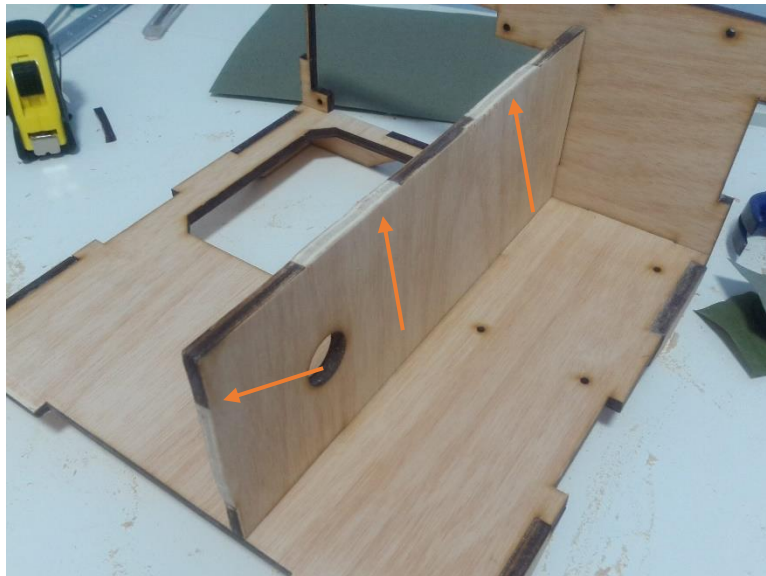
El següent que vam fer va ser muntar la peça frontal de la caixa. Aquest cop ni la llima ni el martell van fer falta. Vam unir la peça amb cola a la resta. Vam procedir a encaixar la paret del costat esquerre. Vam llimar bé totes les dents de la base. Vam col·locar les peces de suport, i va ser llavors quan ens vam adonar de que ens havíem deixat una per tallar. Com que no era una peça essencial vam continuar el muntatge. Amb uns cops de martell vam encaixar la paret que va quedar fermament subjectada.



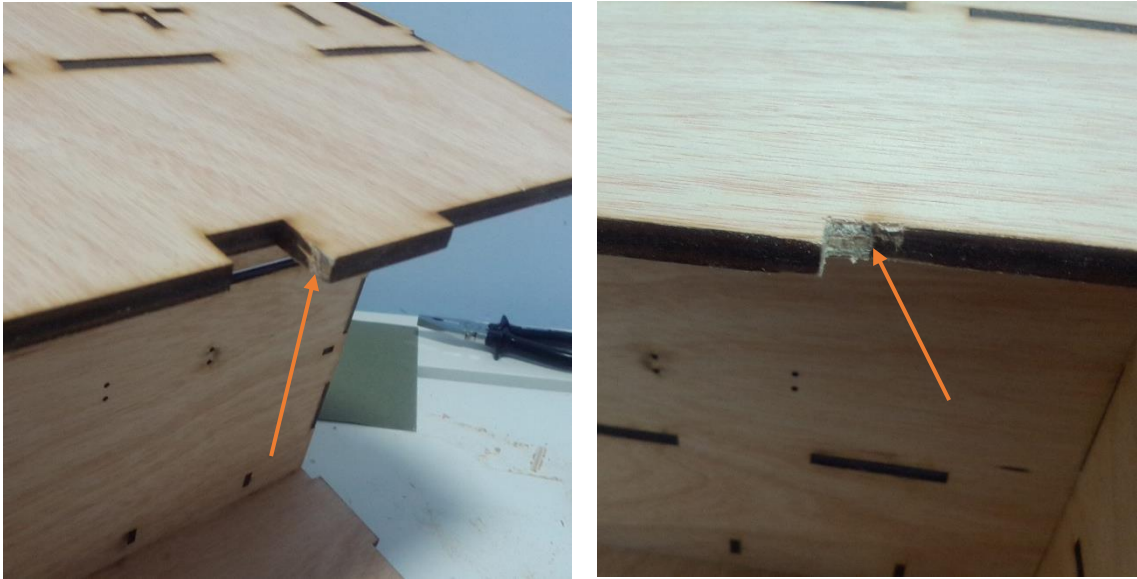
Tot seguit vam unir la peça de quatre mil·límetres que ens permetria cargolar el conjunt a la base de la carcassa. No va caldre ni martell ni llima i la vam enganxar amb cola blanca. També vam unir les seves peces de suport.



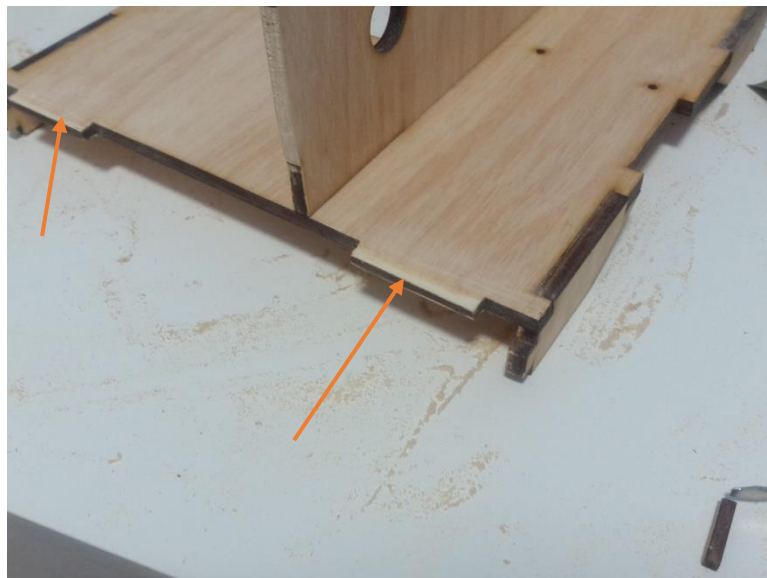
Acabat de fer això, vam provar d'encaixar les dues parts de la carcassa. No va ser possible, ja que les dents de la peça que separava els compartiments de la zona d'electrònica que havíem col·locat al dibuixar les peces a l'AutoCAD anaven tan ajustades que no hi havia manera d'encaixar les dues parts. Com que no podríem utilitzar el martell quan la impressora estigués muntada, vam decidir tallar les dents. Vam realitzar l'operació amb una petita serra de marqueteria que teníem a casa.



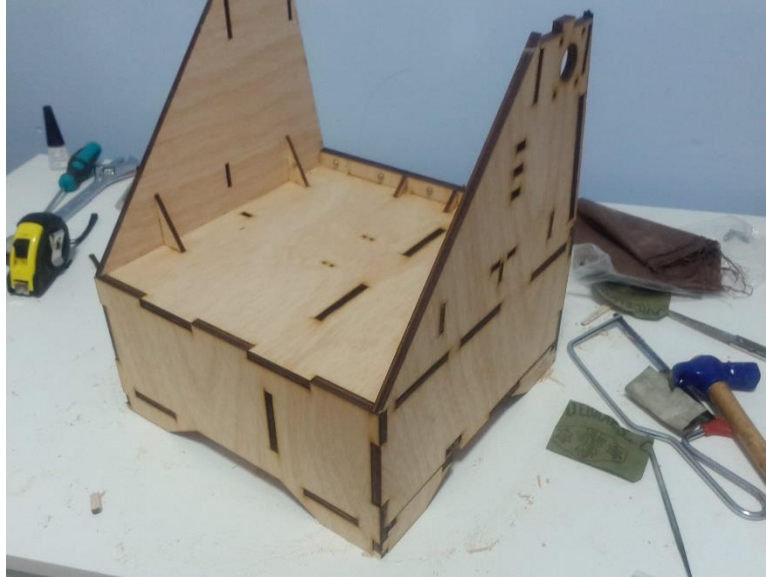
Havent tallat les dents vam descobrir que aquest no era l'únic factor que impedia el tancament. El problema es trobava en les dents amb les quals les parets s'encaixaven a la base de la impressora. Vam tallar un tros d'aquestes dents per permetre que les dues parts de la carcassa encaixessin.



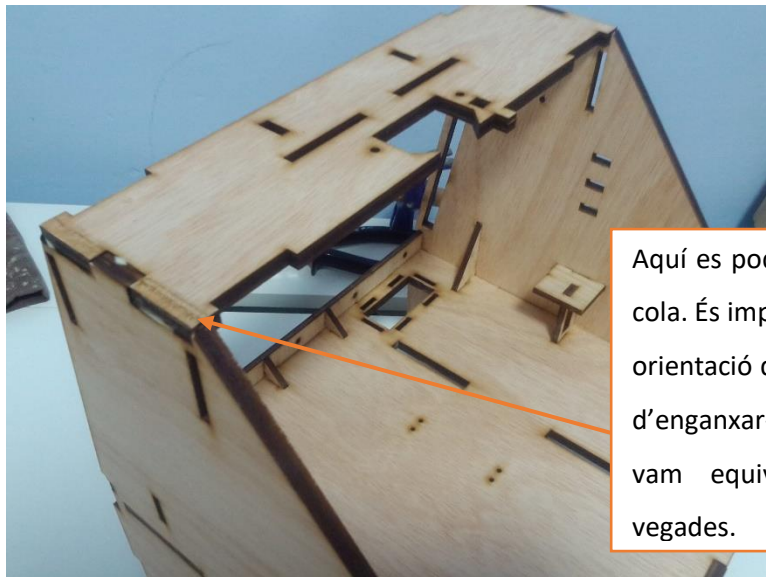
Finalment, vam llimar les dents de la base de la carcassa amb les que s'encaixava la part frontal de la caixa per tal de que aquesta entrés més fàcilment.



Amb aquestes modificacions vam ser capaços d'encaixar i desencaixar les dues parts amb suavitat. Vam cargolar els cargols de la part posterior que unien les peces per deixar-les ben subjectades com es veu a la imatge de la pàgina següent:



A continuació, vam procedir a muntar la part superior de l'estructura, on aniria l'eix Z. Vam començar per la peça horitzontal de 6mm, que vam unir amb cola a la resta.



Aquí es poden veure restes de cola. És important fixar-se en la orientació de les peces a l'hora d'enganxar-les, ja que nosaltres vam equivocar-nos diverses vegades.

Vam voler enganxar els quatre suports de la peça horitzontal, però havíem comès un error i no encaixaven, de manera que vam continuar el muntatge sense elles.

Mentre la cola s'assecava, vam unir també les tres peces de fusta de 4mm a les quals es cargola en el pla vertical tot el conjunt de l'eix Z (com veiem a la pàgina següent). Un cop aquestes es van assecar les vam enganxar a la carcassa també amb cola blanca. Finalment vam enganxar la petita peça de contraplacat de 6mm que subjectava el final de carrera de l'eix Z a la carcassa.



Ara que ja teníem tota la carcassa muntada vam començar amb les peces més petites del contraplacat de 4mm. Vam procedir a muntar el conjunt que subjecta l'eix Z a la carcassa. Vam unir els dos suports a la peça vertical i posteriorment aquest conjunt a la peça horitzontal.

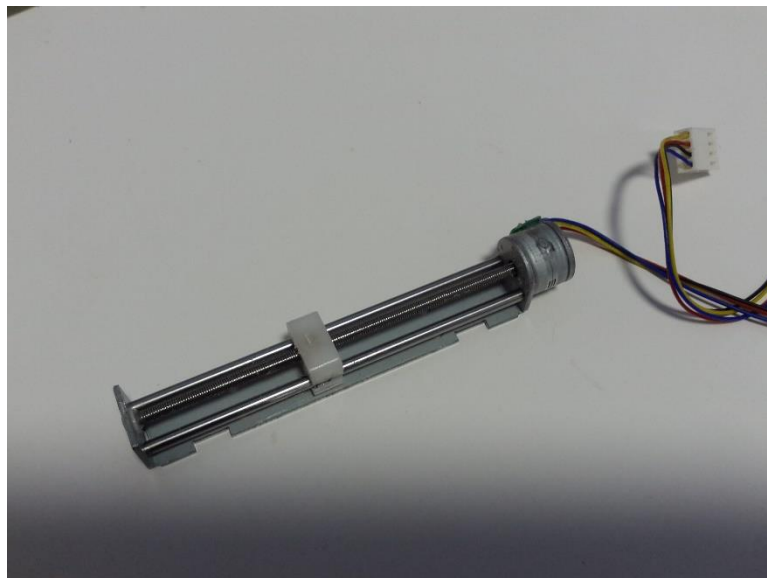


Vam començar per comprovar si les abraçadores de 6mm encaixaven al Hot-End o no degut a l'error amb el gruix del contraplacat. Les nostres sospites van quedar confirmades, vam haver de llimar ambdós peces. Tot seguit vam unir les abraçadores fixes de 6mm i 4mm a la peça que es cargolaria al motor. A continuació vam enganxar la resta de peces que formaven el conjunt. També vam enganxar les dues peces que formaven l'abraçadora extraïble que impedia que el

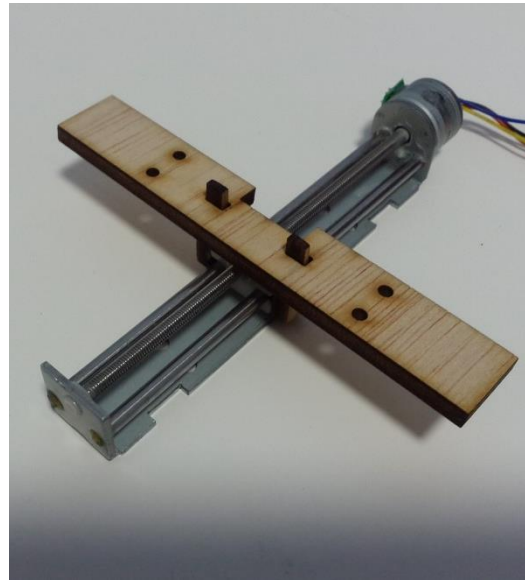
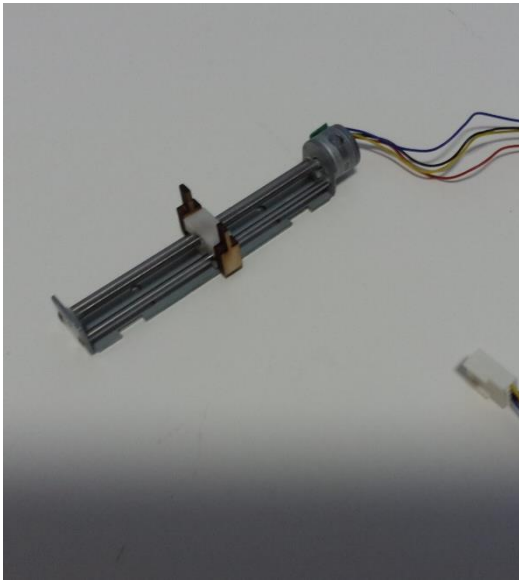
Hot End caigués. Per últim vam comprovar que els cargols encaixaven correctament. Ja teníem les peces de fusta de l'eix Z muntades.



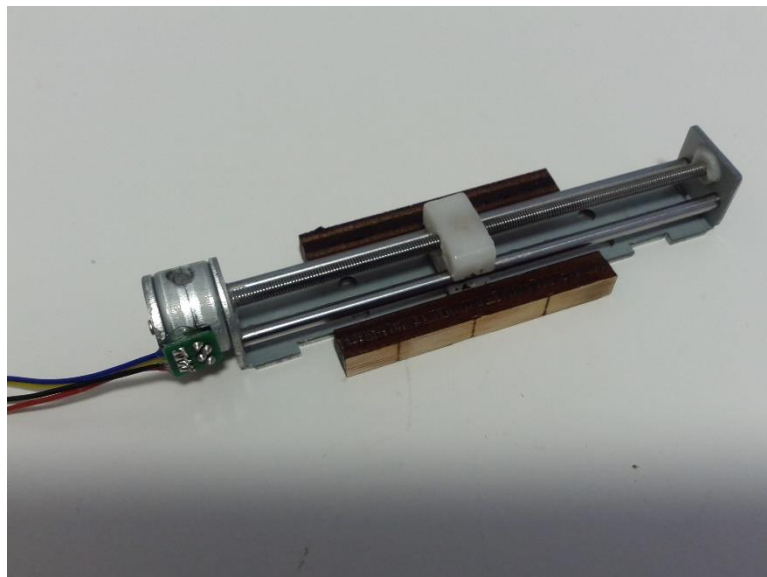
Seguidament vam muntar l'eix Y. Vam tallar la protuberància de la peça de plàstic del motor tal com vam pensar en el disseny. Vam utilitzar una petita serra de marqueteria de que disposàvem a casa, tot i així, també es pot utilitzar un cúter si es té paciència o fins i tot un ganivet de cuina en el cas extrem de que no comptem amb cap de les eines anteriors a casa.



A continuació vam unir les dues peces de fusta laterals a la peça lliscant del motor i finalment la peça sobre la que es cargolaria el motor de l'eix X.



Va ser en aquest moment quan ens vam adonar de que el sistema que havíem ideat per impedir que la peça lliscant no ballés no era suficient, ja que al moure aquesta última peça el problema tornava a aparèixer. Vam pensar diferents sistemes per tractar de solucionar el problema, però cap va tenir èxit. L'únic que finalment va funcionar consistia en utilitzar trossos de fusta de 6mm sobrants del tall amb làser procedents dels forats que tenien algunes peces on s'encaixaven les dents. La solució consistia a enganxar aquestes peces als laterals de les peces lliscants de manera que, aprofitant la forma de la base del motor, forçaven a que la peça lliscant es mantingués en la posició adequada.



Tot i així, per utilitzar aquest sistema caldria redissenyar els eixos i tallar noves peces, ja que les velles no es podien adaptar a aquest nou sistema. Abans, però, vam decidir provar si el motor

de l'eix Z podia aixecar el pes del *Hot End* i si tenia algun problema amb el centre de gravetat del conjunt tan separat de la peça lliscant, cosa que ja ens preocupava a la fase del disseny. També volíem veure com afectava el problema que havia aparegut anteriorment amb les peces lliscants dels motors. D'aquesta manera, si alguna cosa fallava aprofitaríem que havíem de tallar noves peces per corregir-ho. Vam comprovar que efectivament el motor no tenia prou força ja que al estar el centre de gravetat a un costat de la peça lliscant, aquesta s'inclinava una mica cap aquell costat i quedava d'alguna manera clavada contra la rosca de forma que el motor no la podia moure.

Per solucionar tots els problemes que ens havien sorgit vam decidir tornar al Solidworks i l'AutoCAD per redissenyar les peces amb errors.

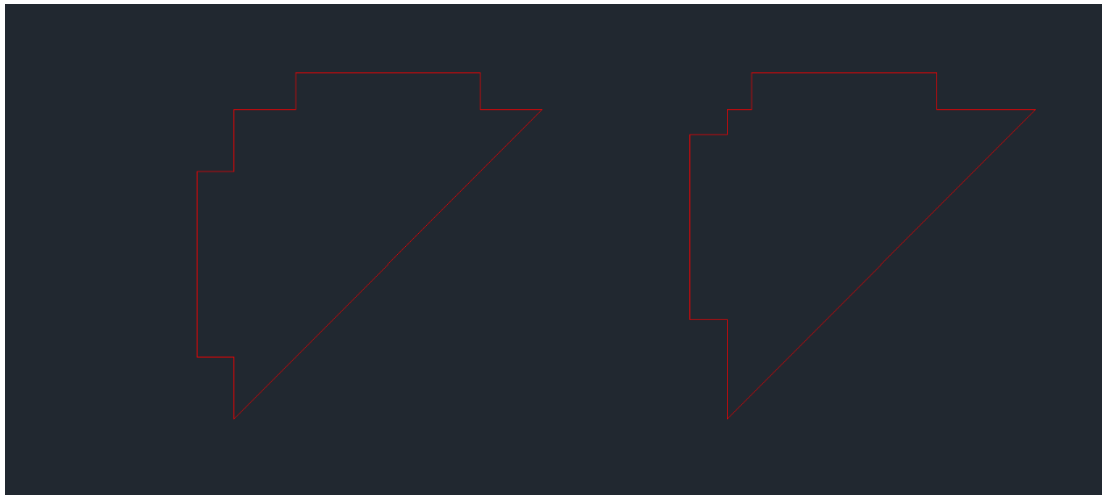
10 REDISSENY

En aquest apartat veurem com vam solucionar els diversos problemes que van sorgir durant la construcció.

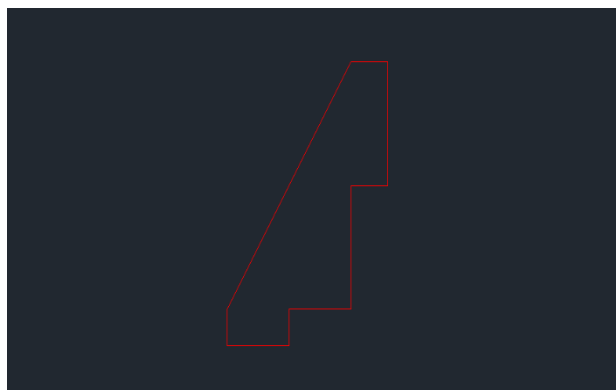
En total, els errors que vam detectar van ser:

- Les quatre peces de suport superiors de contraplacat de 4mm no encaixaven.
- Ens havíem deixat la peça de suport central de la paret esquerre de la impressora.
- La solució que havíem buscat per evitar que la peça lliscant dels motors oscil·lés no va funcionar. Vam trobar una solució però calia redissenyar els tres eixos.

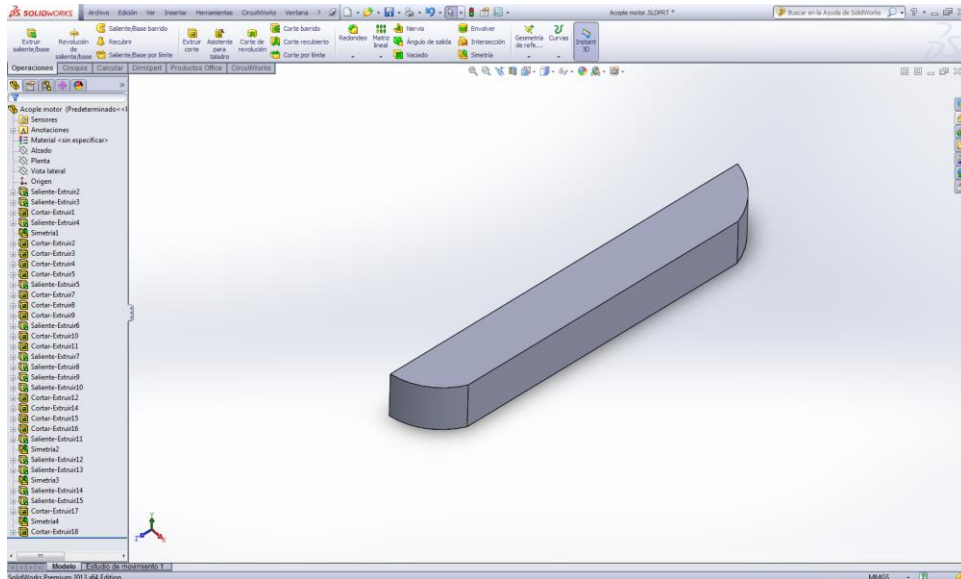
El primer que vam fer va ser corregir l'error que hi havia a les peces de suport superiors. Va ser molt senzill de solucionar, ja que el problema provenia d'un petit error amb les mesures l'hora de dibuixar la peça a l'AutoCAD. A continuació veiem les diferències entre l'antiga (esquerra) i la nova (dreta).



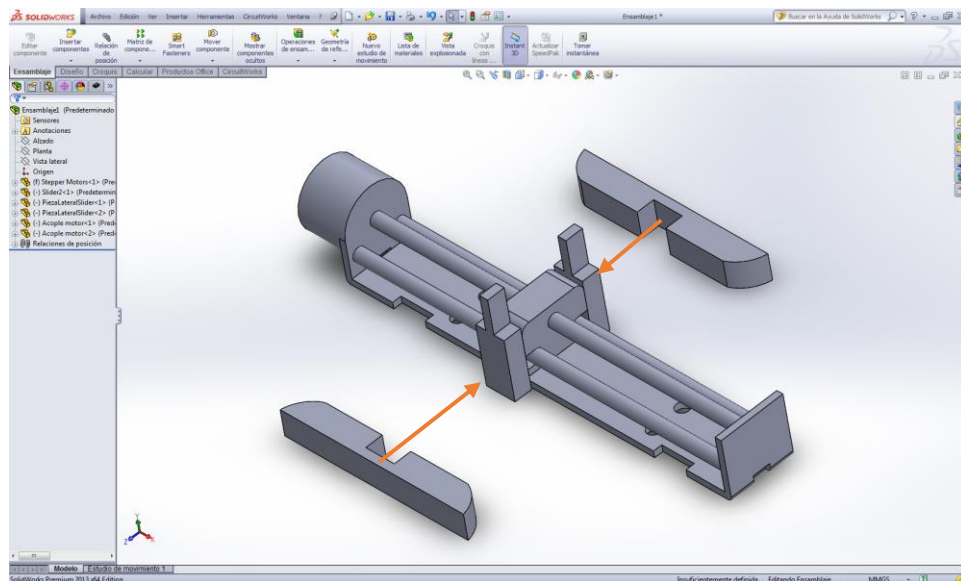
Tot seguit vam dibuixar el suport lateral que faltava a l'AutoCAD.



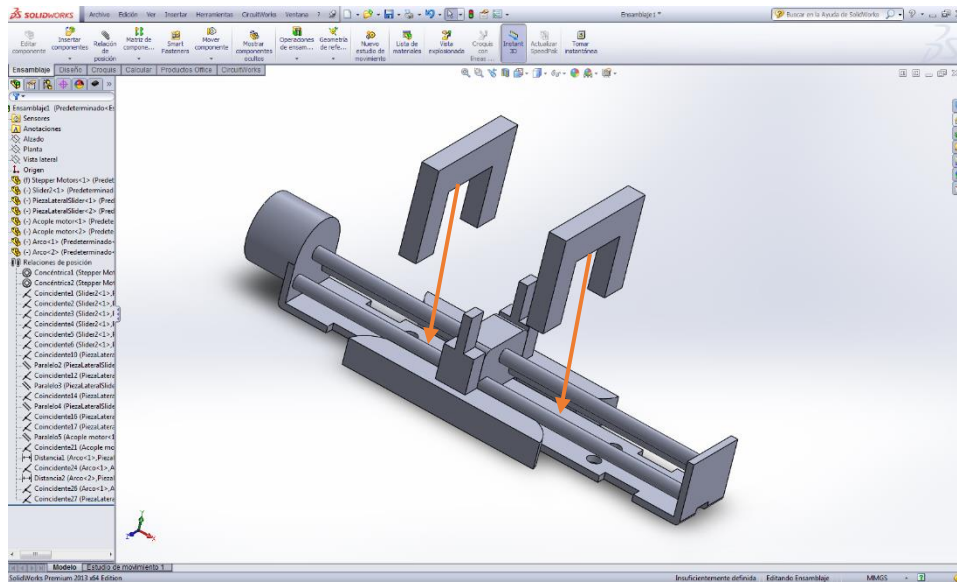
Per als nous eixos no va ser tan senzill. Vam començar pel *Drive Train Y*. Recordem que vam decidir utilitzar uns patins de fusta de 6mm sobrants dels forats que tenia la carcassa. Vam crear unes peces idèntiques però amb una forma optimitzada amb l'objectiu d'evitar que s'entrebanquessin:



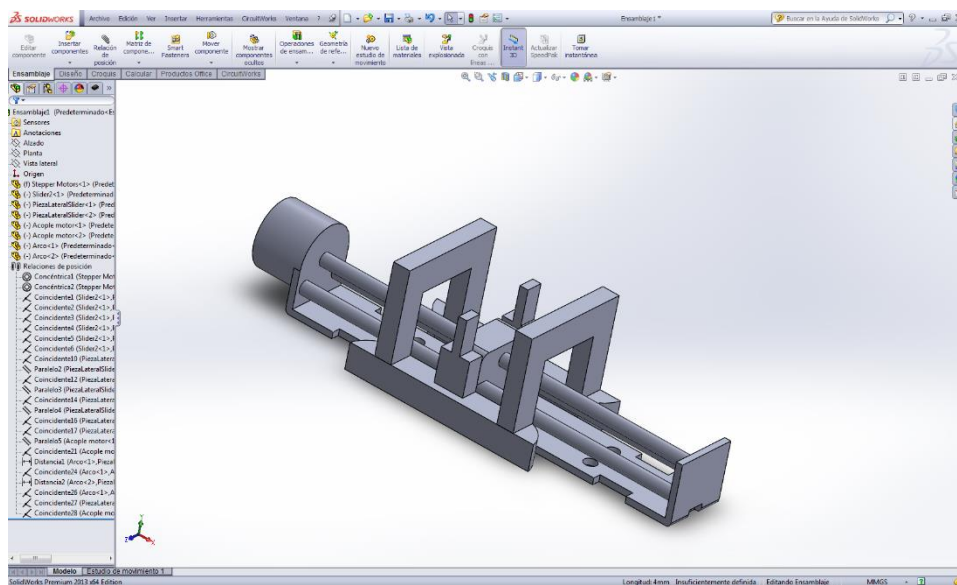
Per agafar-los al motor vam utilitzar un sistema similar al d'abans, una petita peça enganxada al costat de la peça lliscant. Aquest cop però, la peça seria més llarga per tal de que el patí s'hi pogués encaixar. Amb aquest objectiu vam retallar un tros al patí com es veu a la imatge següent:



Per assegurar-nos de que els patins quedaven subjectats contra l'estructura del motor vam afegir uns "arcs" que s'enganxarien als dos patins:

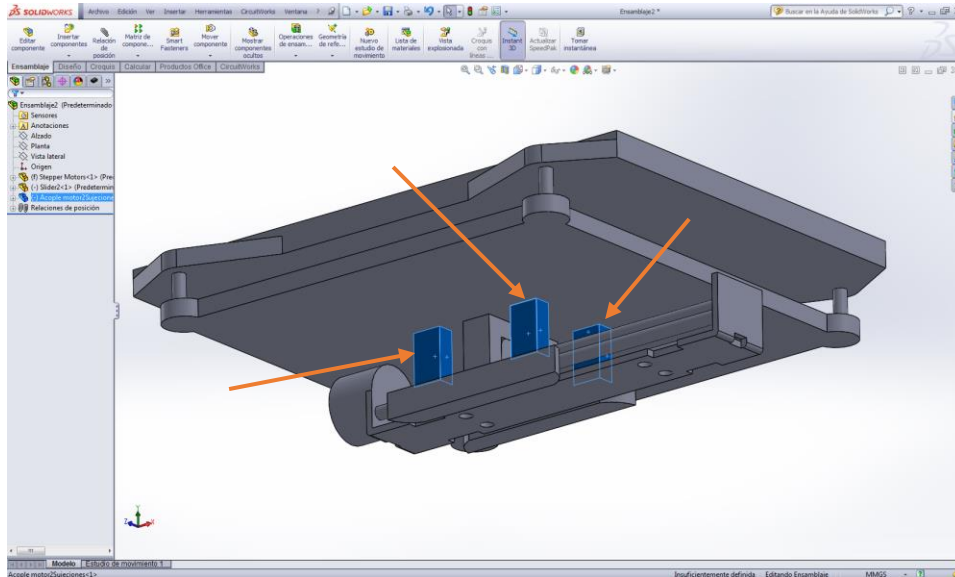


D'aquesta manera aconseguíem que la peça lliscant quedés ben ajustada. A la imatge següent veiem el Drive Train Y muntat:

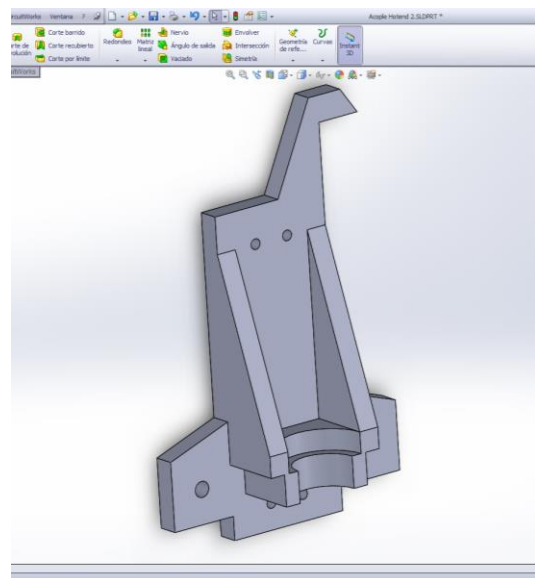
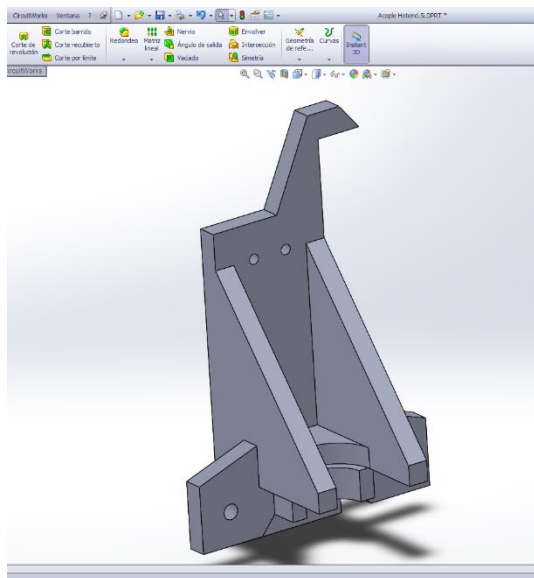


Vam continuar amb el redisseny de l'eix X. Com veiem a la següent pàgina, el sistema és exactament el mateix. Tot i així, com sobre l'eix X tenim la primera plataforma del sistema

d'anivellat, no podem utilitzar els arcs, ja que són massa alts, de manera que vam optar per unes petites peces de contraplacat de 4mm que farien de suport (marcades a la imatge):

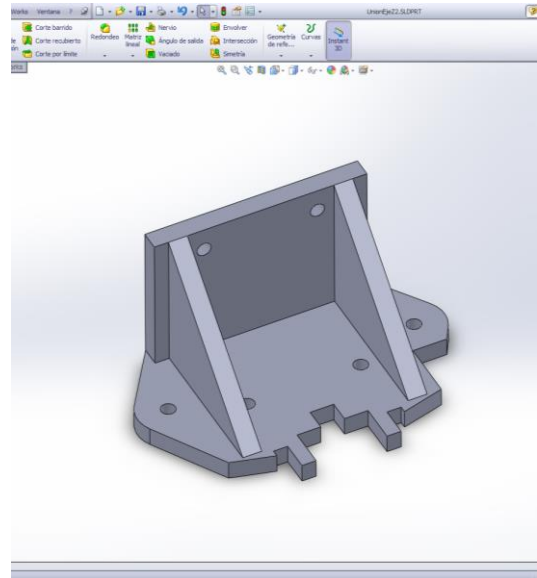
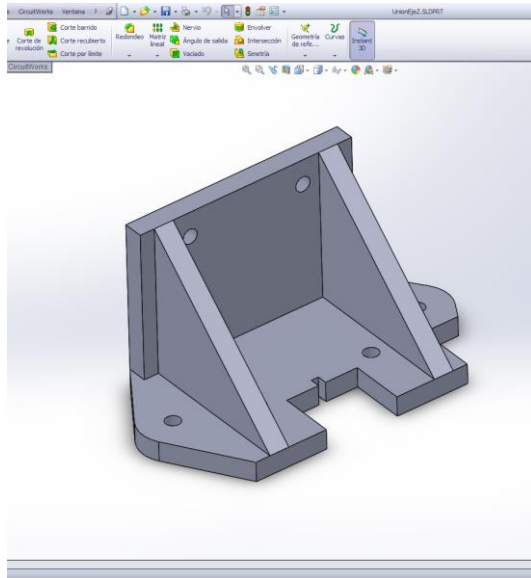


Ja teníem els nous *Drive Train* X i Y enllestits, de manera que vam continuar amb el Z. Vam començar per apropar el centre de gravetat al màxim a la peça lliscant. A les imatges següents es pot veure la diferència entre el nou suport per al *Hot End* (dreta) i l'antic (esquerra):

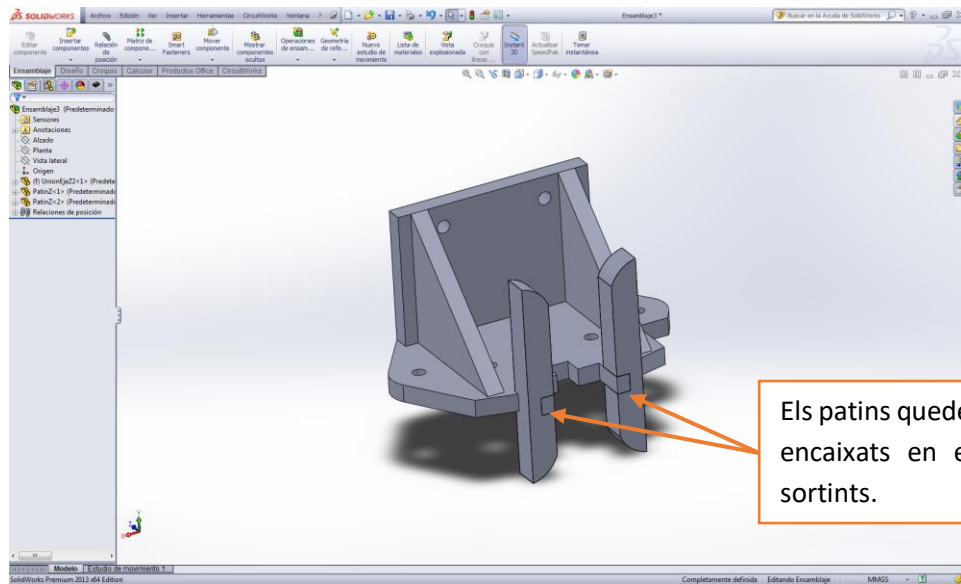


Tot i que no es percep gaire a les imatges, el *Hot End* ara està quatre mil·límetres més a prop de la peça lliscant. Podem veure que les "orelles" per als cargols estan ara situades més endarrere, a l'altura de la peça posterior on es troben els forats per als motors. També hem escurçat les peces triangulars de suport per tal d'estalviar el màxim d'espai i pes.

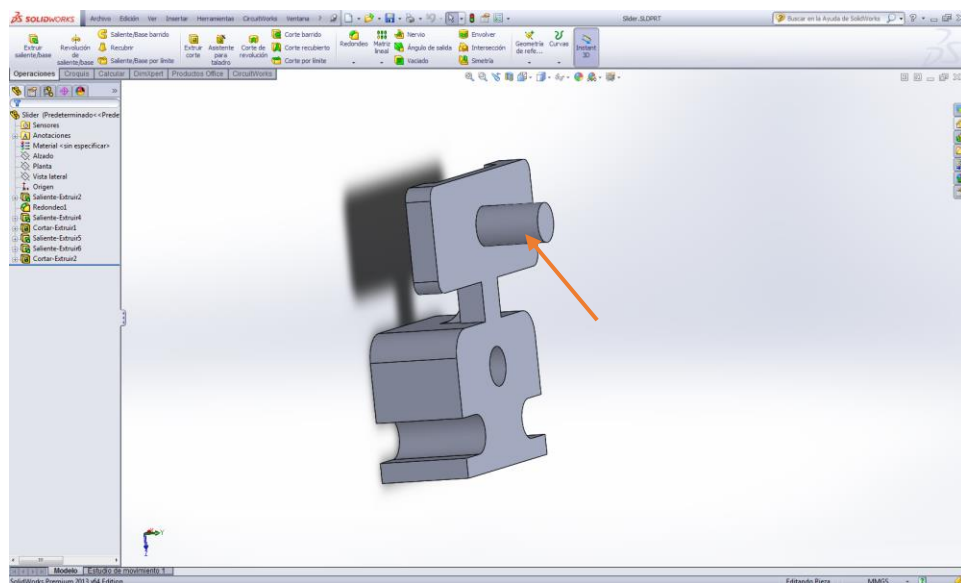
Vam continuar redissenyant tota la zona al voltant de la peça lliscant del motor per encabir-hi els patins. Vam aprofitar per canviar tot el sistema de subjecció de la peça ja que no ens estàvem gaire convençuts del primer. Hem de pensar que aquest cop serà diferent dels altres *Drive Trains*, ja que en el Z la peça lliscant està fixa i es mou tota la resta del motor. Vam utilitzar els mateixos patins que als altres eixos. També vam canviar la forma de la peça del conjunt que es cargola a la carcassa per poder enganxar-hi els patins. A continuació veiem les diferències entre la peça antiga (esquerra) i la nova (dreta).



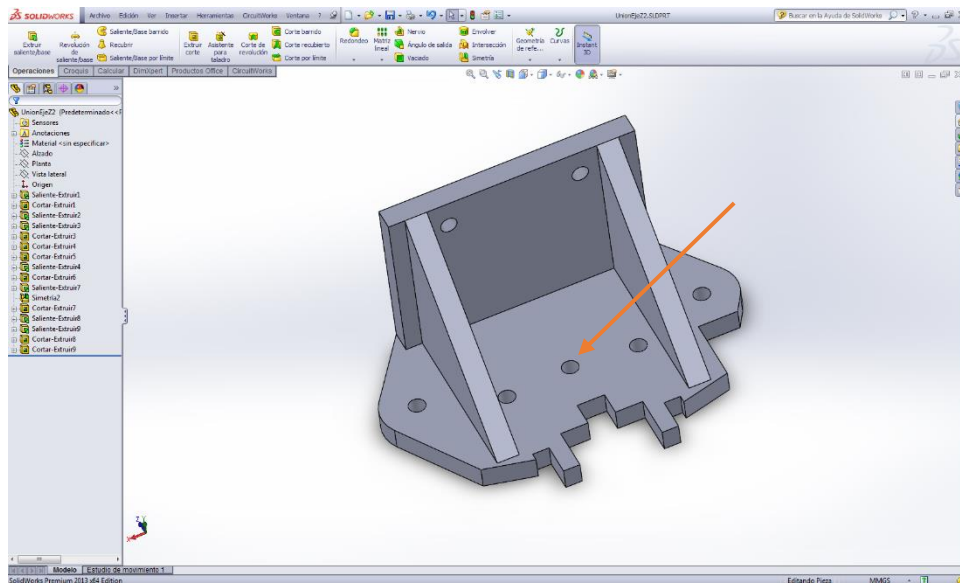
La diferència més visible és que la base de la nova peça és molt més enrevessada. De seguida expliquem el motiu. En primer lloc, els dos sortints assenyalats en taronja són per aguantar millor els patins com veurem a la imatge de la pàgina següent. L'entrant que hi ha entre ells és, per deixar espai a les guies metàl·liques dels motors. Per encaixar els patins a la peça vam haver de modificar una mica els dels *Drive Trains* anteriors.



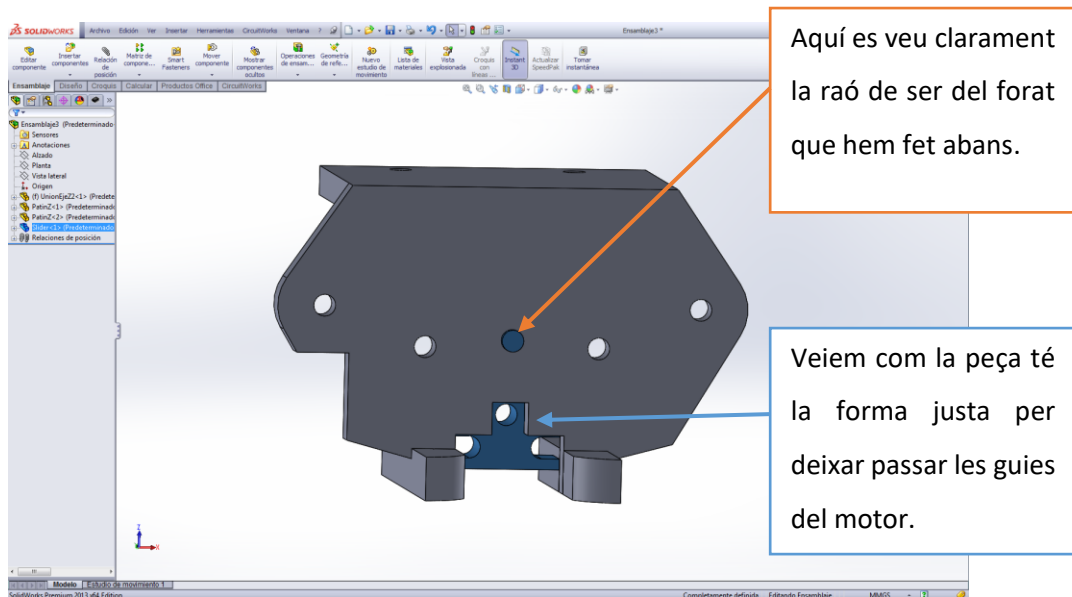
Abans hem comentat que volíem reformar el sistema de subjecció de la peça lliscant. Recordem que fins ara la protuberància de la peça lliscant quedava per sota de la peça de la imatge d'adalt. El nou sistema que vam idear consistia en col·locar la protuberància per sobre d'aquesta peça. També utilitzaríem una peça que es cargolés per aguantar la peça lliscant fortament en la posició correcta, però aquest cop aniria per adalt. Aquesta peça aprofitaria els forats de l'anterior per cargolar-se, de manera que no els vam tocar. Tot i així, recordem que la protuberància del motor té una petita estructura cilíndrica que sobresurt, com veiem a la imatge següent:



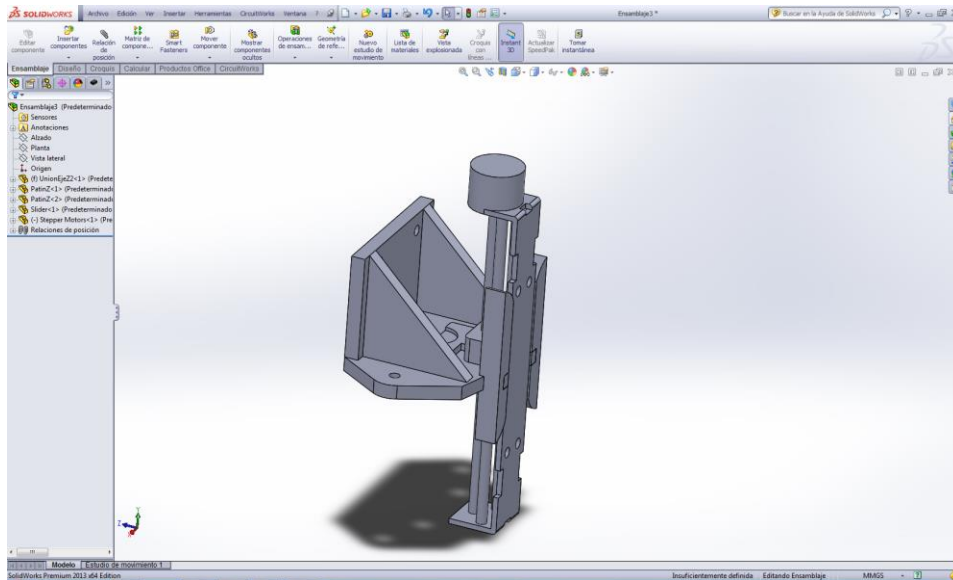
Com aquest cop posaríem la peça lliscant per sobre, vam haver de fer un forat extra a la peça que permet cargolar el conjunt de l'eix Z a la carcassa:



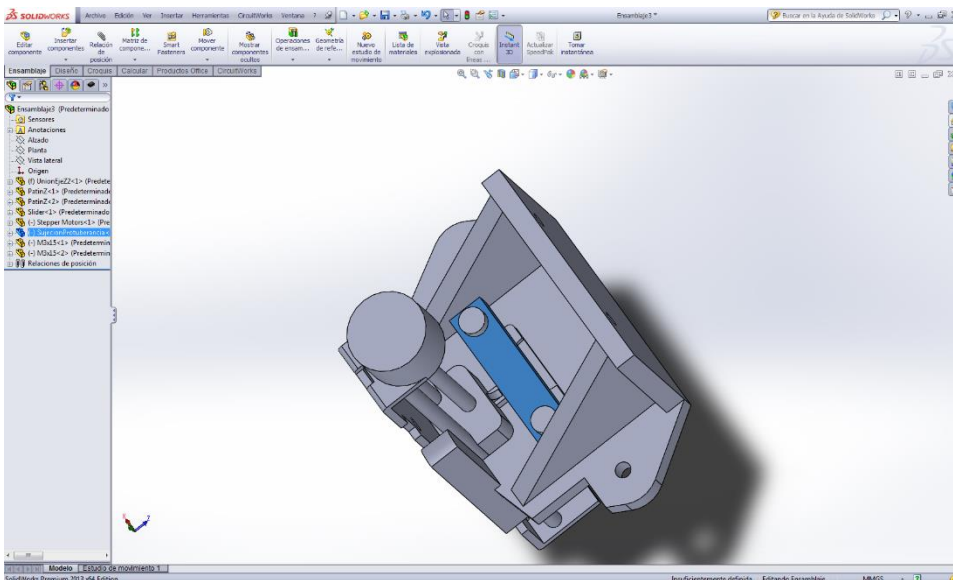
A continuació veiem la peça des de baix amb els patins col·locats. Hem col·locat la peça lliscant (blau) sense el motor per veure millor com queda encaixada. Es pot apreciar com l'entrant del que parlàvem abans deixa l'espai just per les guies dels motors.



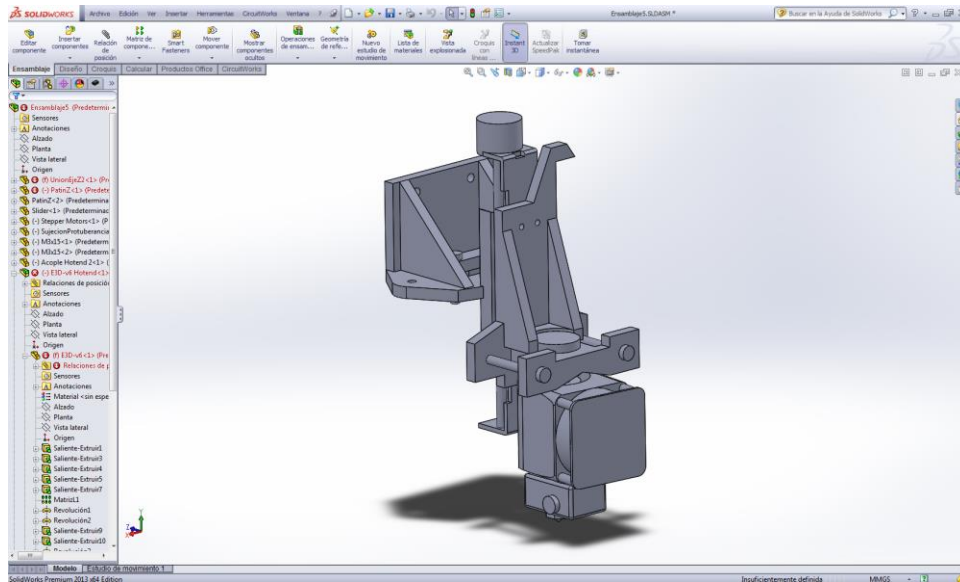
A continuació vam procedir a col·locar el motor, com veiem a la pàgina següent:



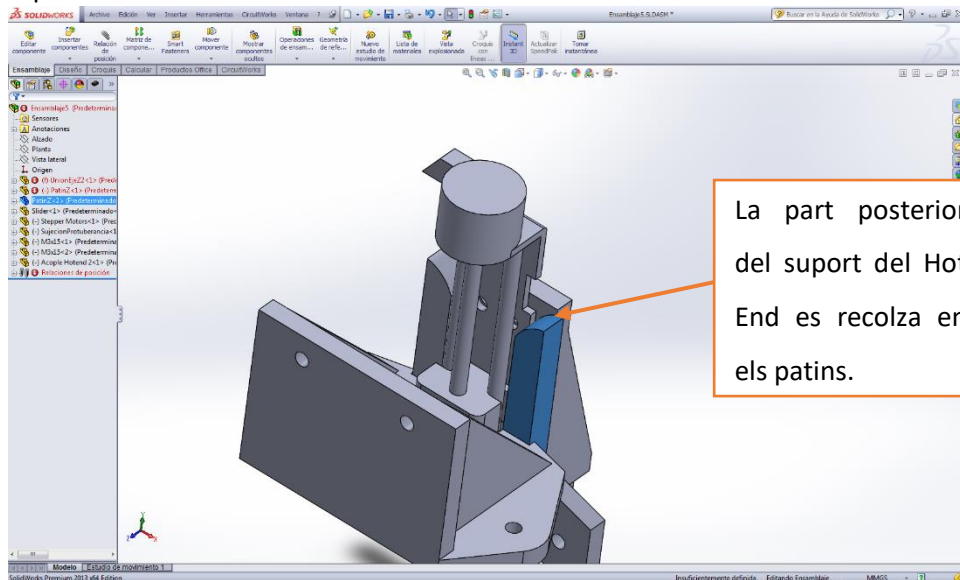
Vam cargolar la peça que subjectava la peça lliscant en posició. En la imatge es veu de color blau:



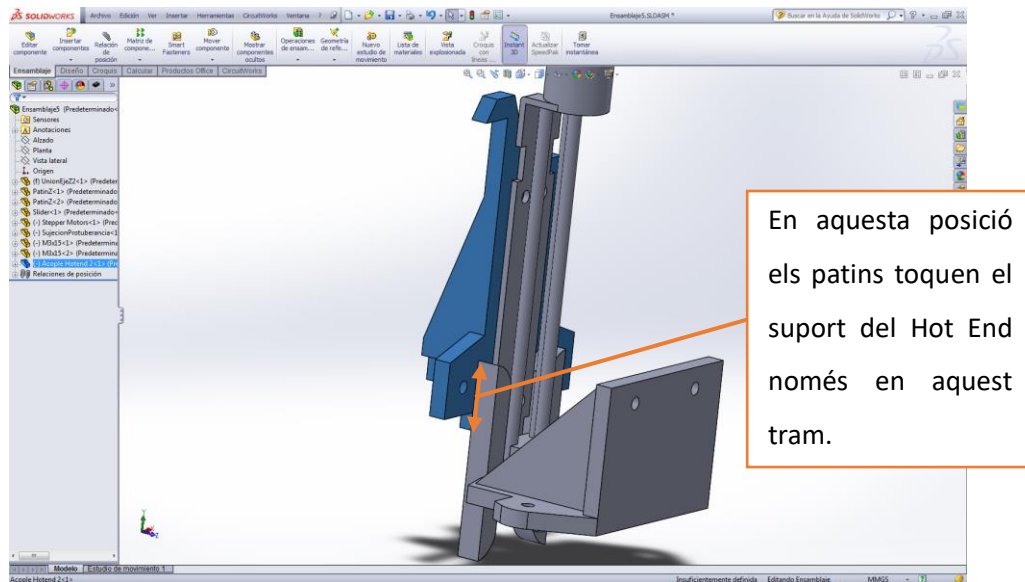
Tot seguit vam col·locar la peça que fa de suport al *Hot End* i vam encaixar el *Hot End* i l'abraçadora extraïble. L'abraçadora extraïble serà la mateixa de sempre, hem vigilat que les mesures del nou suport per al *Hot End* siguin compatibles. D'aquesta manera ja teniem el conjunt complet, tal com veurem a la següent pàgina.



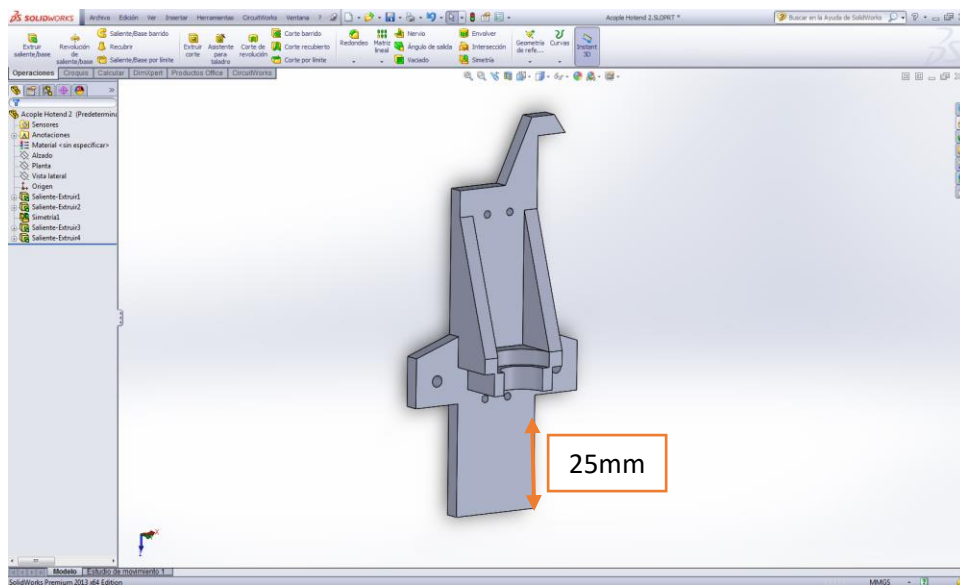
Tot el conjunt del nou *Drive Train Z* estava acabat. Tot i així, al veure-ho tot muntat vam pensar en fer alguna millora més. En primer lloc ens vam fixar que el suport del *Hot End* quedava recolzat als patins:



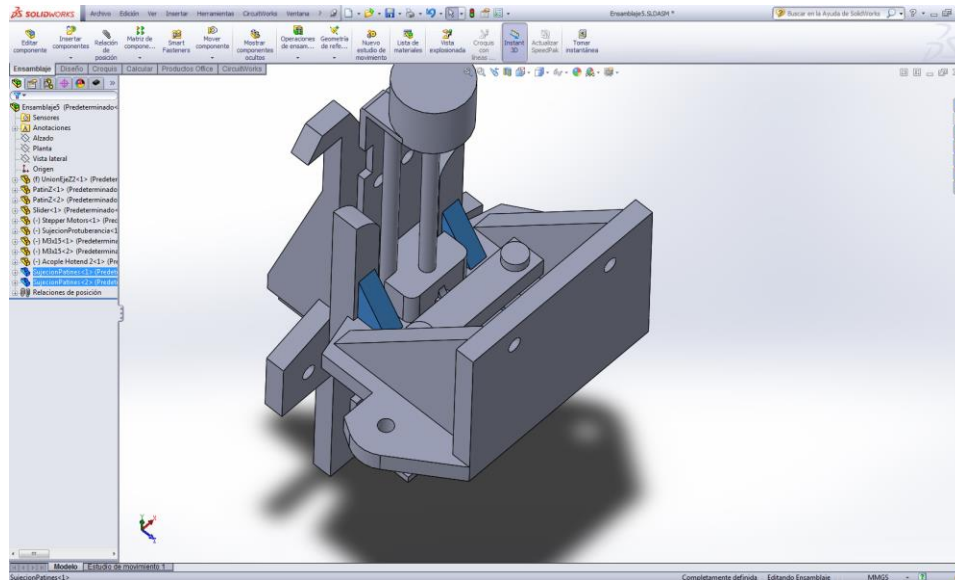
Vam pensar que això contribuiria a que el motor ballés menys, ja que els patins també contribuirien no solament a evitar que el motor ballés d'un costat a l'altre sinó també a evitar que ballés endavant i endarrere, ja que els patins pressionarien contra el suport del *Hot End*. El problema era que quan el *Hot End* (i per tant el motor i el suport del *Hot End*) es trobés en la posició més alta, els patins gairebé no tocaven el suport del *Hot End* com es pot apreciar a la imatge de la següent pàgina:



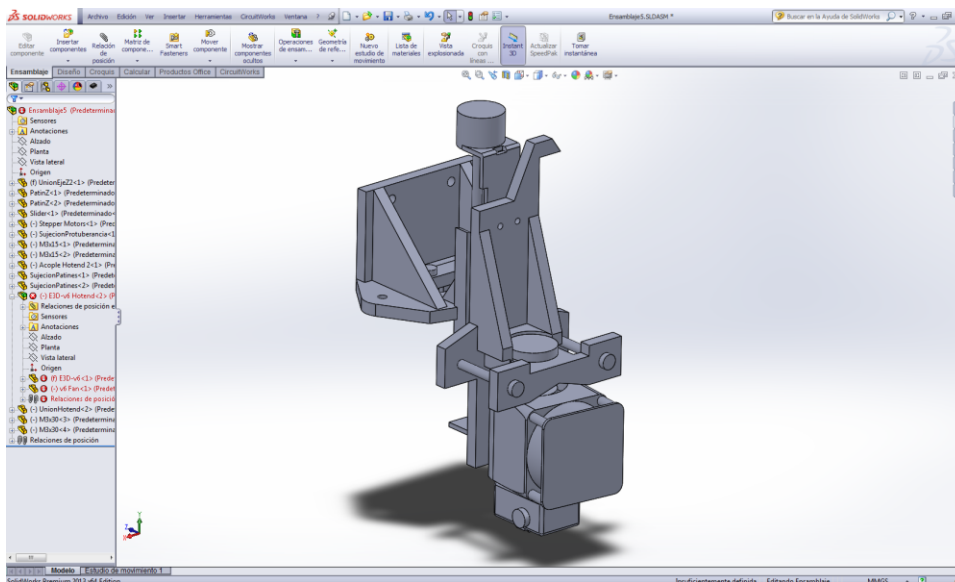
Per tal d'augmentar la zona de contacte entre els patins i el suport del *Hot End* el la posició màxima vam allargar la part inferior del *Hot End* 25mm:



També vam pensar al veure-ho tot muntat que els punts per on quedaven agafats els patins eren molt petits comparats amb la seva longitud, i que potser no serien suficients per aguantar fortament els patins en posició com nosaltres volíem. El que vam fer va ser afegir unes petites peces triangulars que farien de suport als patins, com veiem a la imatge de la pàgina següent (marcades en blau):



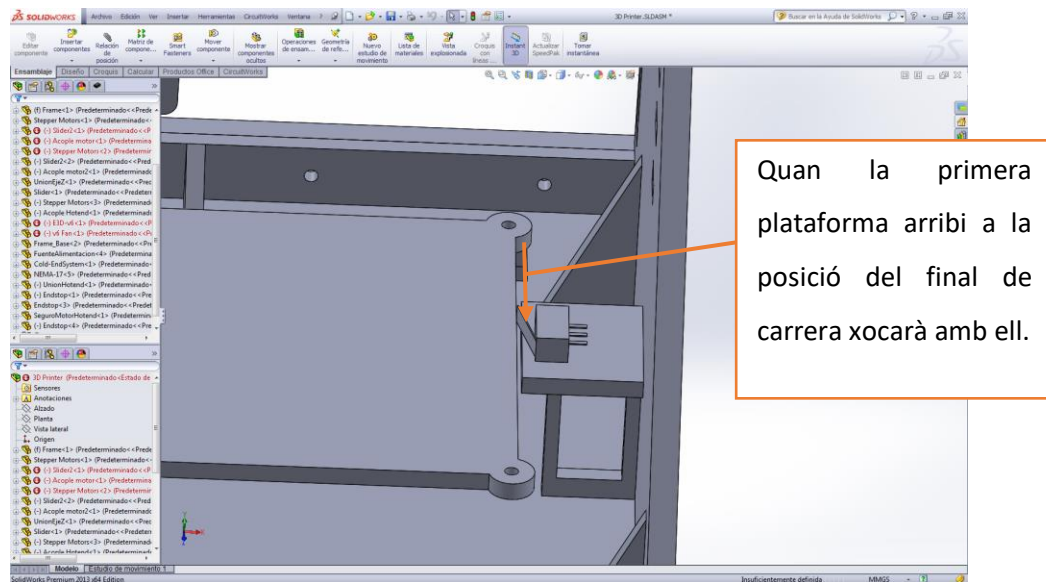
Amb aquesta última millora vam donar per acabat el nou *Drive Train Z*. A continuació podem veure el resultat final:



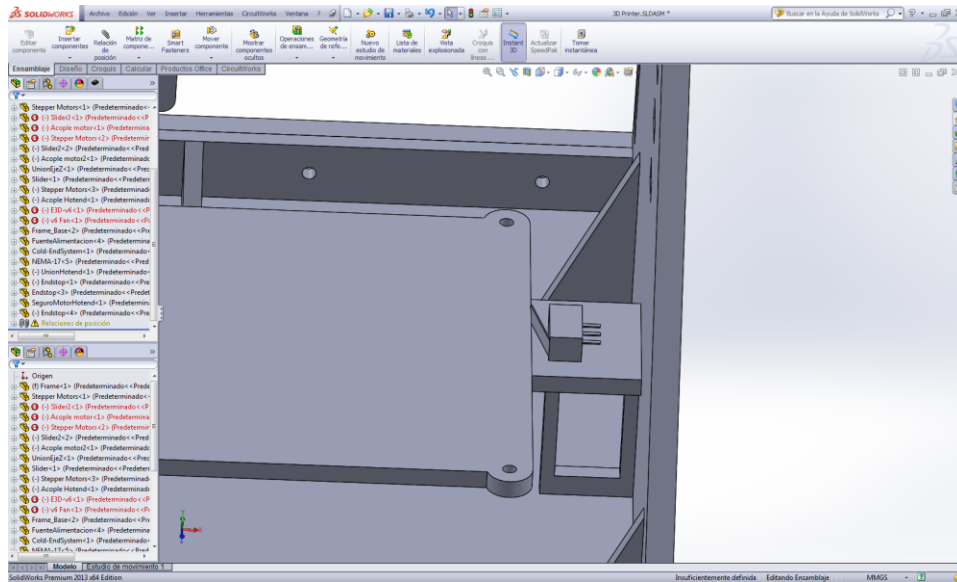
Una possible qüestió en aquest punt és que després de realitzar tots aquests canvis en el Drive Train Z, no caldria refer la carcassa per tal de que el Hot End continués estant centrat i a l'altura justa? Aquesta qüestió no ens ha d'inquietar ja que al realitzar tots els canvis sempre l'hem tingut en compte. El Nozzle del Hot End es troba exactament en la mateixa posició que amb el Drive Train antic. L'única diferència es que està 4mm més adalt, tot i així recordem que vam equipar la nostra impressora amb un sistema d'anivellat. El que hem de fer per corregir aquest desnivell és simplement ajustar el nostre sistema d'anivellat 4mm més adalt. Això no ha de representar cap problema ja que els cargols que utilitzarem de 25mm de longitud són suficients.

Arribats a aquest punt ja havíem acabat de realitzar totes les millores de les que havíem parlat al principi de l'apartat. Tot i així, vam detectar un altre problema mentre revisàvem el model en 3D de la impressora. El problema es trobava en la forma de la primera plataforma del sistema d'anivellat, concretament en el costat dret, que activava el final de carrera de l'eix X.

Vam pensar que si la impressora havia de realitzar moviments en l'eix Y mentre el *Print Bed* es trobava en la posició inicial a l'eix X (tocant el final de carrera), degut a la forma que tenia era possible que en algun moment el final de carrera xoqués amb un dels sortins dels cargols que tenia la primera plataforma del *Print Bed*. A la imatge següent queda representat:



Per evitar aquest problema vam pensar que en lloc de que sobresortissin només els sortins on es cargolaven els cargols, tot el costat de la plataforma quedés al mateix nivell. D'aquesta manera quedaria un costat totalment recte, només caldria retirar el final de carrera una mica cap a la dreta. A la pàgina següent podem veure una imatge on queda representat.

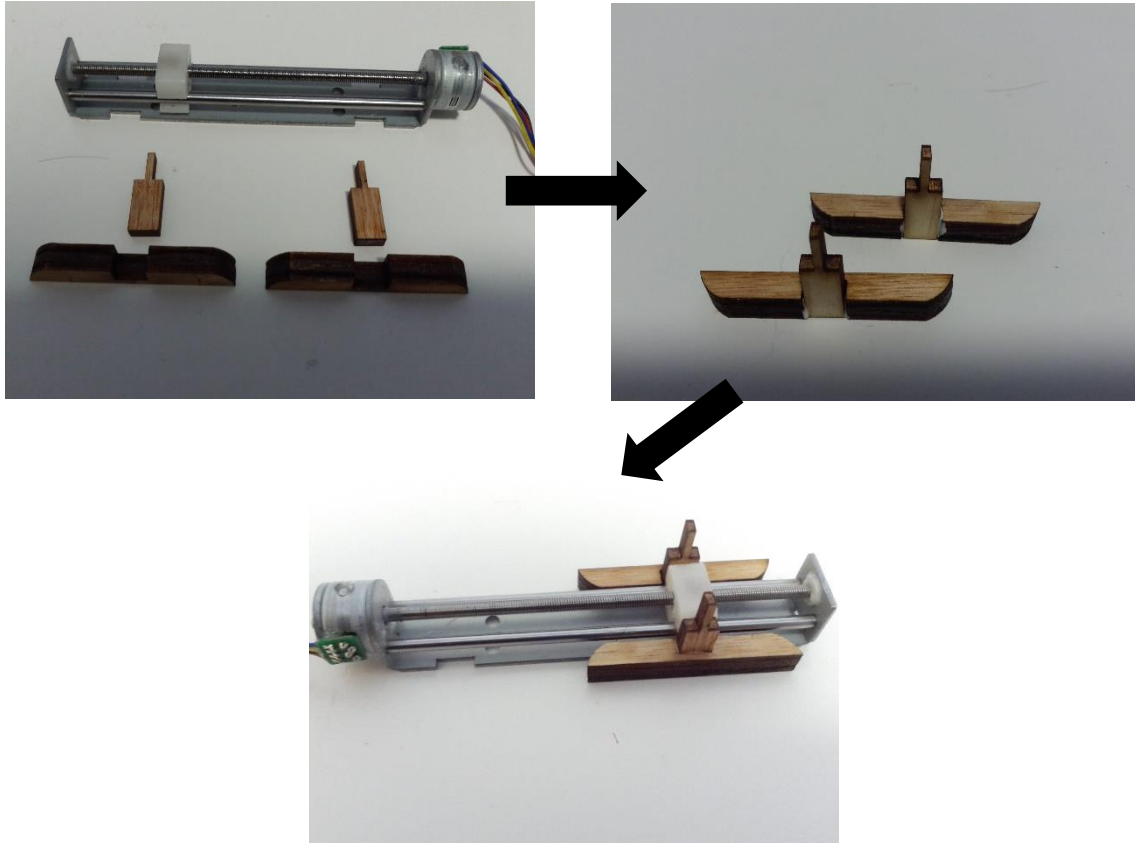


Veiem que hem retirat una mica el final de carrera i que tot el costat de la plataforma és al mateix nivell de manera que no hi ha obstacles amb els que pugui xocar.

En aquest moment vam donar per acabada la fase de redisseny. Vam tallar les noves peces i vam procedir a muntar-les com veurem en el següent apartat, la segona etapa de la construcció.

11 CONSTRUCCIÓ II

Un cop tallades les noves peces vam continuar amb la construcció. Vam muntar el conjunt de l'eix Y (tal com es veu a la seqüència d'imatges següent) que va funcionar sense cap problema.



Vam continuar per l'eix X, però aquest cop vam topar-nos amb un inconvenient. Per algun motiu, quan vam enganxar els patins no van quedar totalment paral·lels al terra i perpendiculars al motor, sinó que formaven un petit angle amb el terra de manera que quedaven inclinats lleugerament cap a dintre del motor per la part superior. Aquest fet representava un problema quan els patins tocaven les parets dels extrems del motor ja que la part superior d'aquests hi xocava i no podien fer el recorregut complet. Per solucionar aquest problema vam haver de llimar el marge superior dels patins per compensar la inclinació. Aquest problema no havia aparegut a l'eix X ja que segurament es tractava d'un error al enganxar les peces, tot i així, el problema va tornar a aparèixer a l'eix Z. Havent solucionat tots els inconvenients vam enganxar la primera peça del *Print Bed* sobre l'eix X. A la imatge de la pàgina següent veiem el conjunt invertit per apreciar que de les quatre peces de suport per a la plataforma, només en vam col·locar una a cada patí. Aquesta decisió la vam prendre ja que vam pensar que d'aquesta manera era suficient i no valia la pena complicar excessivament el muntatge.

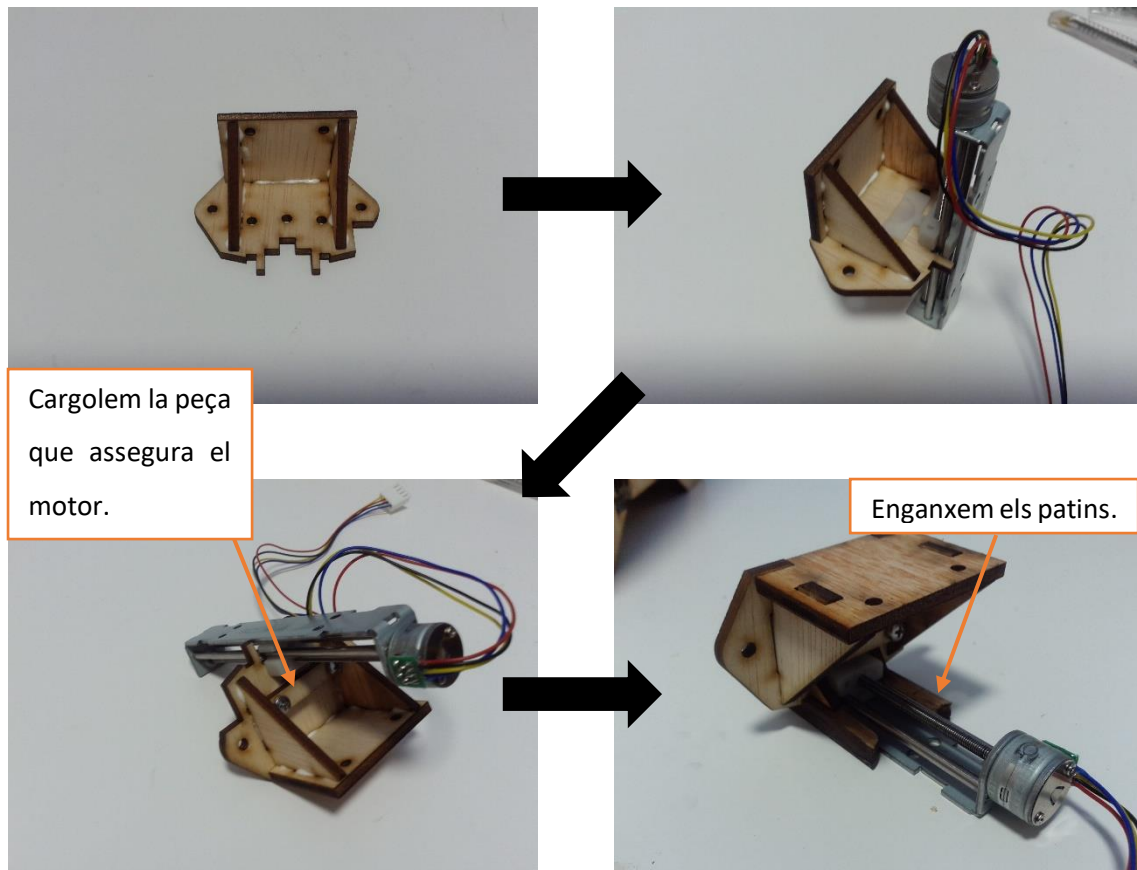


Un cop vam tenir els dos eixos muntats vam carregar el *Drive Train Y* a la base i vam enganxar-hi l'*X* a sobre. Cal destacar que és de gran importància que els *Drive Trains* quedin perfectament perpendiculars o les impressions no sortiran bé. Per assegurar-nos de que la peça inferior del *Print Bed* quedés el més plana possible vam utilitzar una aplicació de mòbil que ens indicava la inclinació del dispositiu. Mentre s'enganxava la peça vam col·locar el mòbil a sobre i vam ajustar la posició d'aquesta fins que quedés totalment plana.

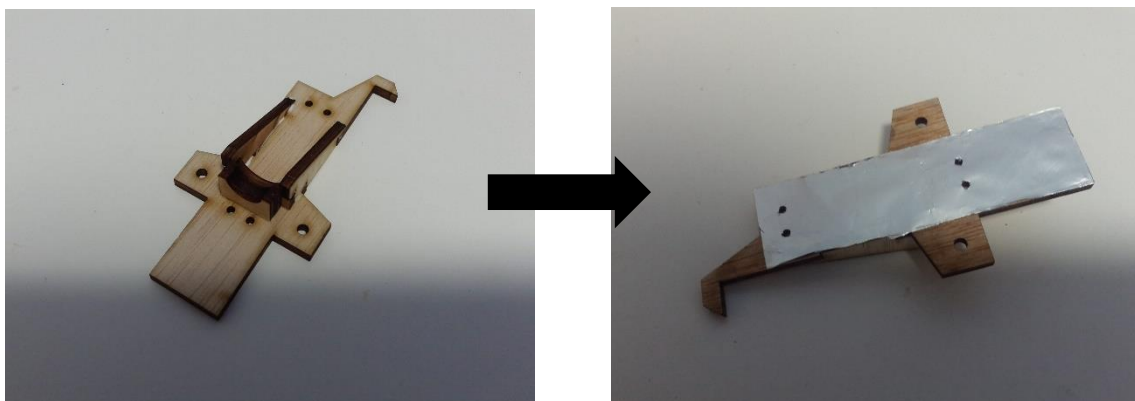


Havent enllestit els dos eixos inferiors vam iniciar la construcció del tercer. Vam muntar la nova peça a la qual es carrega el conjunt de l'eix Z i hi vam enganxar el motor. Vam carregar també la peça destinada a mantenir aquest al seu lloc fermament així com els patins i els seus petits

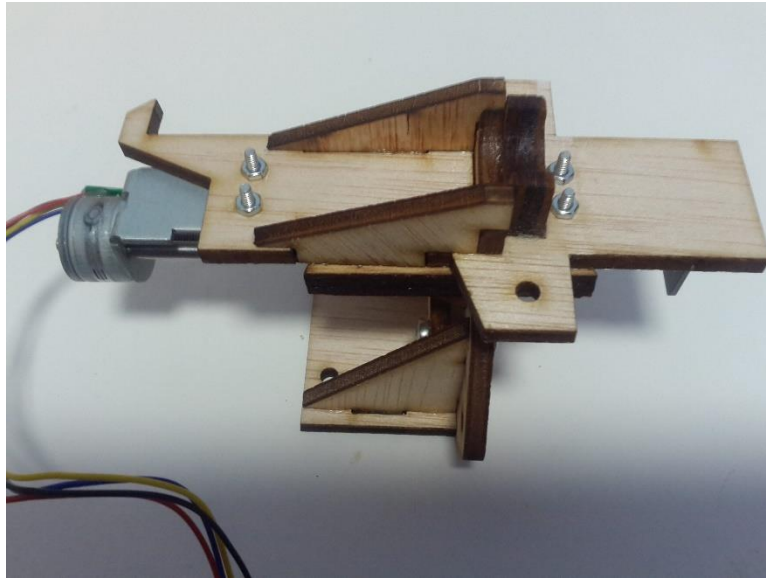
suports (que recordem, també vam haver de llimar). Veiem aquest procés en la seqüència d'imatges següent:



Vam continuar muntant la peça que es cargola al motor. Per tractar de reduir el fregament entre els patins i la peça vam pensar que col·locar paper de plata contribuiria a reduir aquest fregament (tot i que més endavant vam comprovar que completament inefectiu).



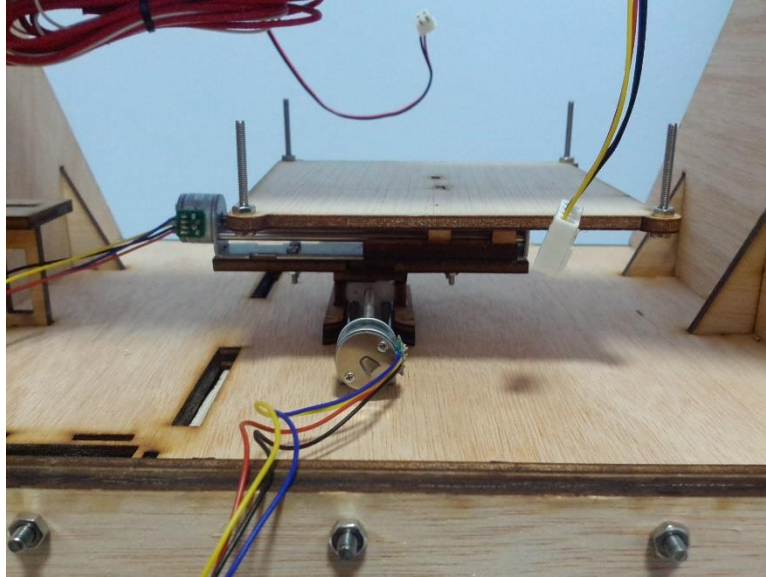
Tot seguit vam cargolar la peça al motor. Vam col·locar el *Hot End* en posició i vam cargolar l'abraçadora que el manté fixat. Per últim vam fixar tot el conjunt a la carcassa. Tot seguit veiem el conjunt del *Drive Train Z* sense el *Hot End*.



També vam muntar els quatre suports de la peça horitzontal superior i el suport lateral esquerre que ens havíem deixat per tallar el primer cop (a la imatge no apareix encara el *Drive Train Z*).



El pròxim pas va ser unir la segona plataforma del *Print Bed* a la que ja estava enganxada. Vam començar cargolant els cargols de 2,5x25mm a la plataforma inferior del *Print Bed*. La plataforma no té rosca, només forats, de manera que per aguantar els cargols en posició els vam introduir de baix cap a dalt i vam cargolar una femella per la part superior per mantenir-lo fixe, tal com veiem a la imatge de la propera pàgina.



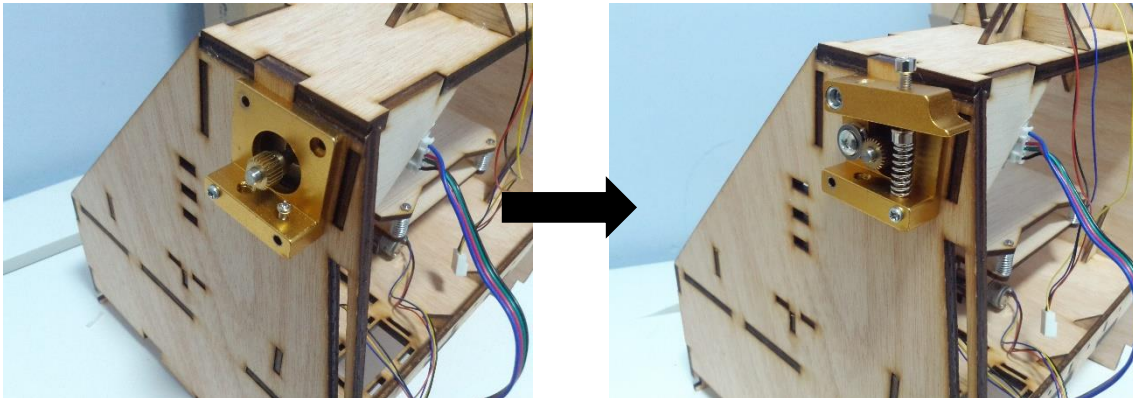
Tot seguit, vam enganxar provisionalment les quatre molles a la plataforma superior del *Print Bed* per encaixar-lo més fàcilment a la inferior. També vam passar uns cargols per la peça superior per ajudar a mantenir les molles al seu lloc provisionalment.



Vam assegurar tot el conjunt d'eixos inferior per tal de que al fer força amb la plataforma superior del *Print Bed* per comprimir les molles no es desenganxés res. Vam encaixar aquesta peça al seu lloc i vam cargolar les femelles que impedié que sortís cap a dalt de nou. Desgraciadament, tot i haver assegurat els eixos, es va desenganxar un patí del *Drive Train* Y i vam tenir que desmuntar-lo. Vam adonar-nos de que hagués estat millor muntar tot el *Print Bed* abans d'enganxar i cargolar els *Drive Trains*. A la imatge següent veiem el sistema d'anivellament muntat.

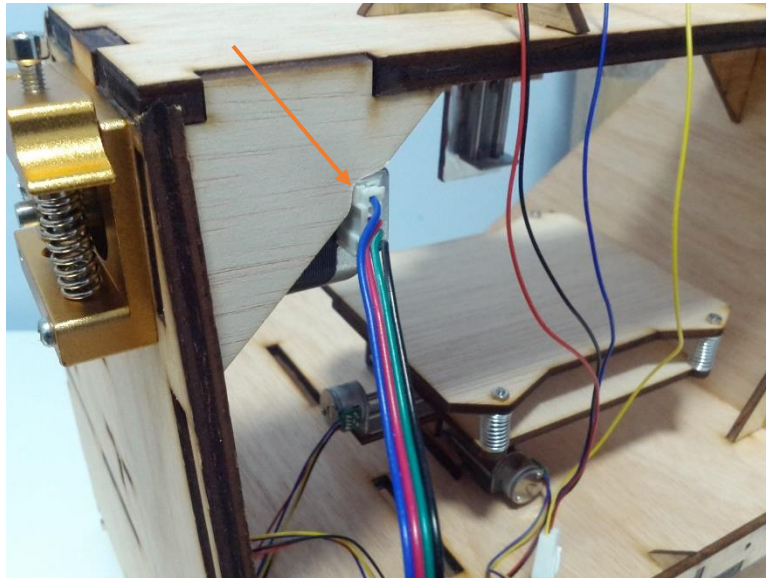


Acabat el sistema d'anivellat vam passar a muntar el *Cold End*. Vam fer-ho tal com havíem decidit a la fase de disseny.

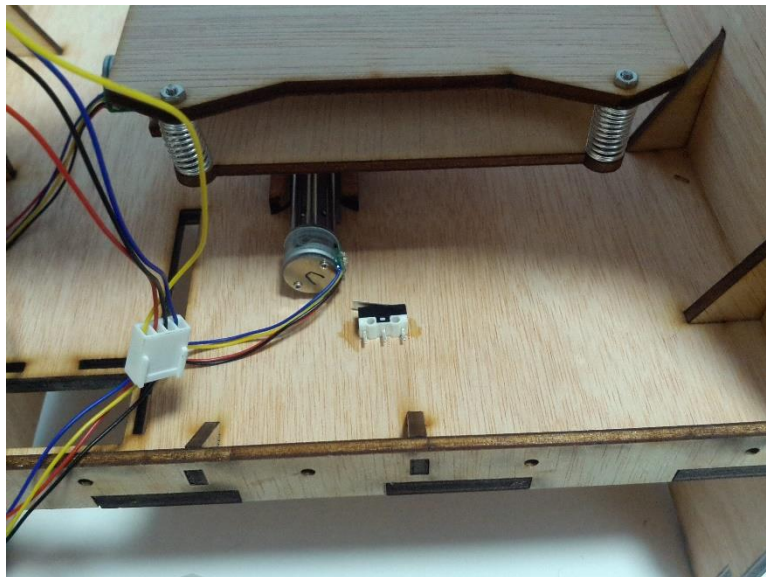


A la imatge de l'esquerra podem veure que hi ha un cargol al costat inferior esquerre del *Cold End* que no apareix en la imatge següent. Això es deu a un error que va ser solucionat quan vam fer la segona fotografia.

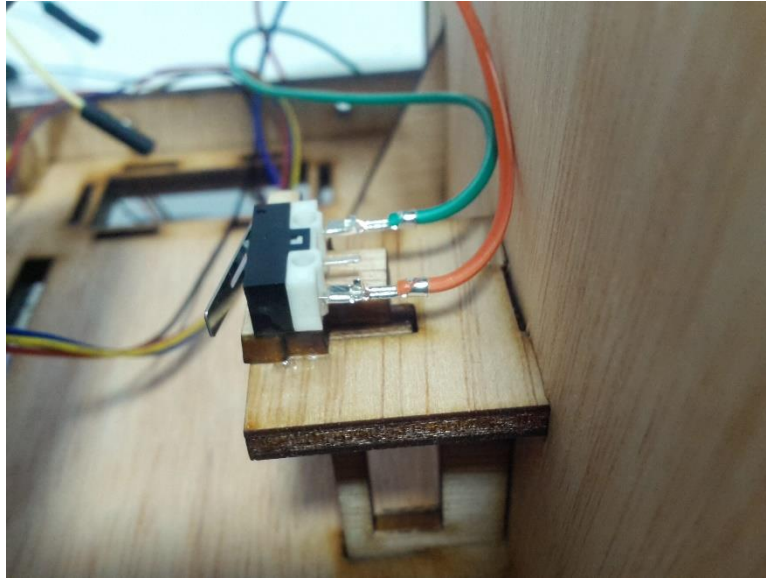
Al muntar el Hot End ens vam trobar amb un inconvenient, i és que vam haver de llimar el suport de la peça horitzontal de la part posterior dreta (el que es veu en les imatges) per tal de que no xoqués amb el connector dels cables del motor NEMA 17. A la imatge de la pàgina següent es pot veure amb més detall.



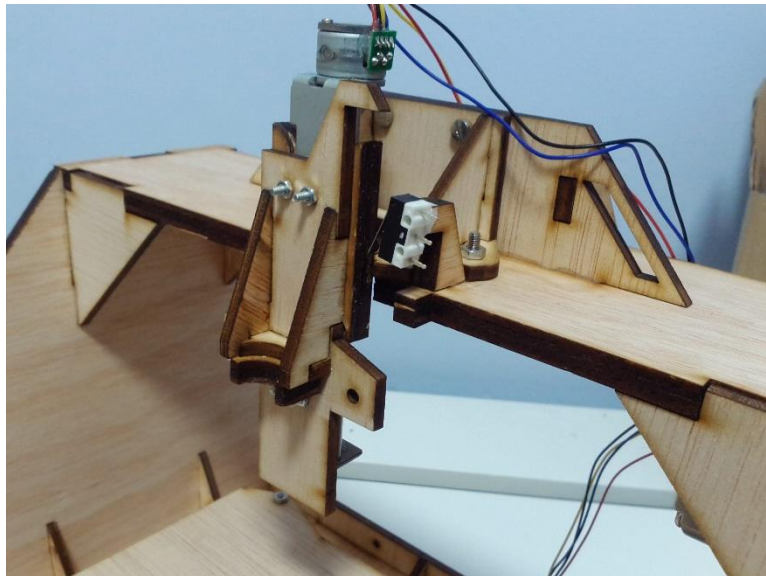
Un cop muntat el *Cold End* vam continuar amb els finals de carrera. Recordem que aquests s'enganxaven a la carcassa i que nosaltres havíem de trobar el lloc on col·locar-los movent els motors manualment. A continuació veiem el de l'eix Y enganxat a la base de la zona d'impressió:



Pel final de carrera de l'eix X, vam trobar-nos a que degut a un error, la plataforma on s'enganxava era més baixa del que hauria de ser i vam haver de col·locar una peça de fusta sobrant del tall làser per aixecar el final de carrera 4mm. Degut a que no vam prendre cap fotografia del final de carrera en aquest estat, la imatge següent mostra la posició del final de carrera però en un punt més avançat de la construcció, en el moment del cablejat.

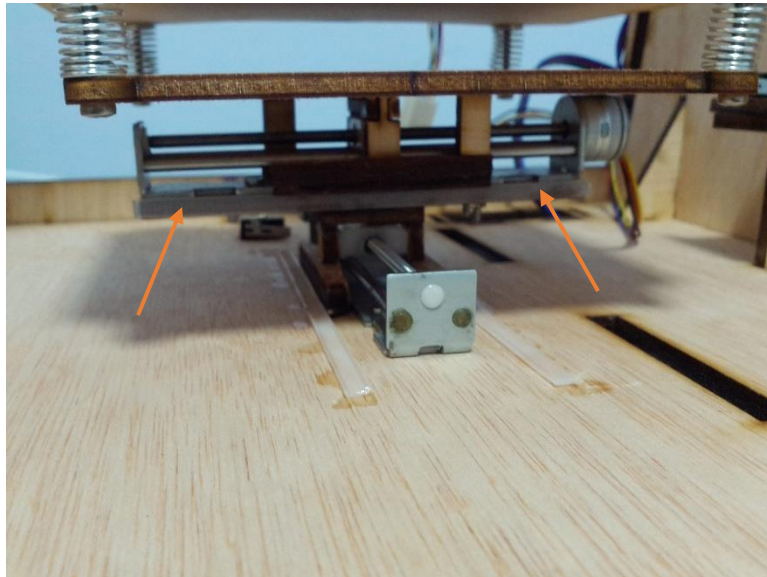


Per últim vam col·locar el final de carrera de l'eix Z. El problema amb que ens vam topiar en aquest final de carrera era que al redissenyar tot el *Drive Train Z* no havíem tingut en compte la posició d'aquest respecte el final de carrera, de manera que si col·locàvem el final de carrera en la posició que havíem pensat en el disseny, aquest quedava 6mm per sota i 4mm més enrere del que hauria d'estar. Per contrarestar aquesta desviació vam enganxar el final de carrera sobre davant del sortint de la peça destinada a aguantar-lo com es veu a la següent imatge:



Mentre realitzàvem totes aquestes operacions vam donar un cop accidentalment al sistema d'anivellat i els patins de l'eix Y es van tornar a desenganxar. En vista de la fragilitat d'aquests i del temps i la dificultat de tornar-los a enganxar, vam decidir enganxar amb cola instantània

unes brides de Nylon a la base de la impressora que farien de guies per als patins i evitarien que es separessin del motor tal com es pot veure en la següent imatge:

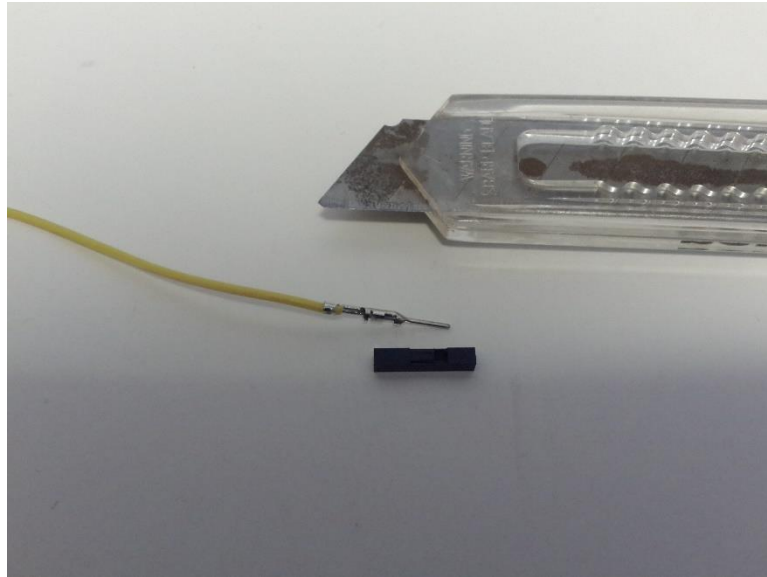


Si ens fixem bé en la imatge apreciarem que també vam col·locar brides als costats de la peça de fusta sobre la qual es cargola el motor de l'eix X (fletxes taronges). Vam prendre aquesta mesura per tractar de que tot el sistema d'anivellat ballés el mínim possible.

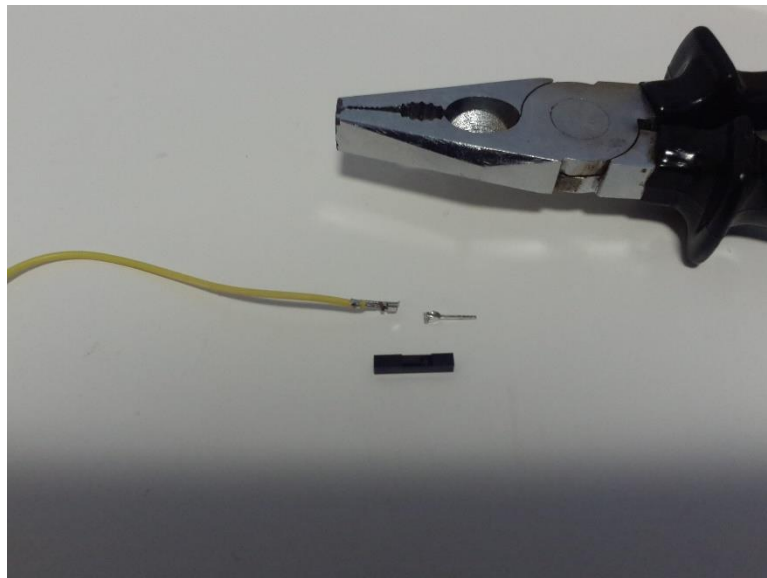
Fins aquí podíem donar per construïda la impressora, tot i així, encara ens faltava realitzar tot el cablejat, ja que en aquest moment tots els cables penjaven fora de la impressora lliurement. Vam començar pel més difícil, els finals de carrera que no tenen cables propis. El procediment més comú a l'hora d'unir un pin d'un final de carrera amb un cable és soldar-los. Tot i així, nosaltres volíem evitar sempre que fos possible haver de soldar, ja que recordem els objectius del nostre treball, volem que sigui una impressora el més fàcil de muntar possible i que requereixi els mínims coneixements previs. D'aquesta manera vam idear un sistema que permetria fer el cablejat dels finals de carrera sense haver de soldar.

Pel nostre sistema vam utilitzar uns *jumpers* mascle-femella que ja teníem pel nostre Arduino UNO. Primerament, abans de descriure el nostre sistema cal pensar que tant el final de carrera com el RAMPS tenen pins mascle, de manera que nosaltres necessitaríem *jumpers* femella-femella. Tot i així, vam comprovar que els pins del final de carrera són massa petits i que el costat femella dels *jumpers* tenia un forat massa gran de manera que ballaven molt i la unió era molt dèbil. D'aquesta manera, el que conseguíem amb el nostre sistema era convertir un *jumper* mascle-femella en un *jumper* femella final de carrera-femella de forma molt simple.

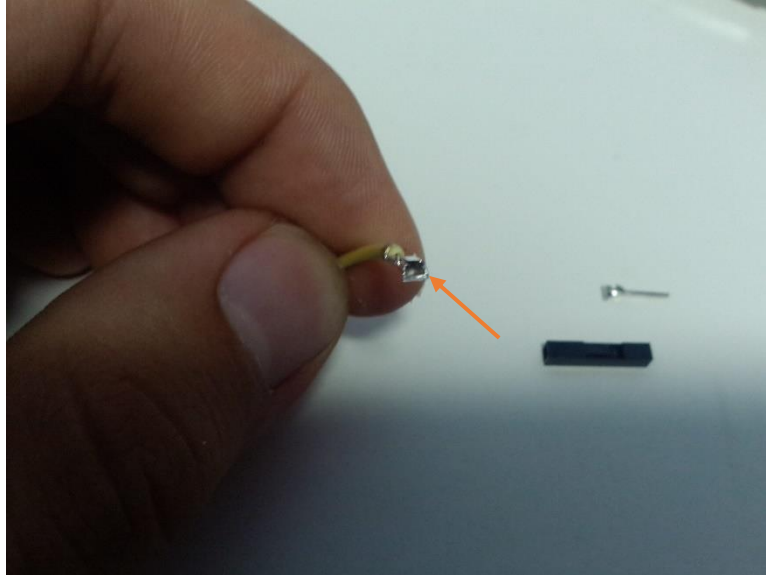
El primer que cal fer es treure la coberta de plàstic del costat mascle del *jumper*. Aquesta operació es realitza aixecant una petita pestanya que té la coberta amb l'ajuda de, per exemple, un cúter:



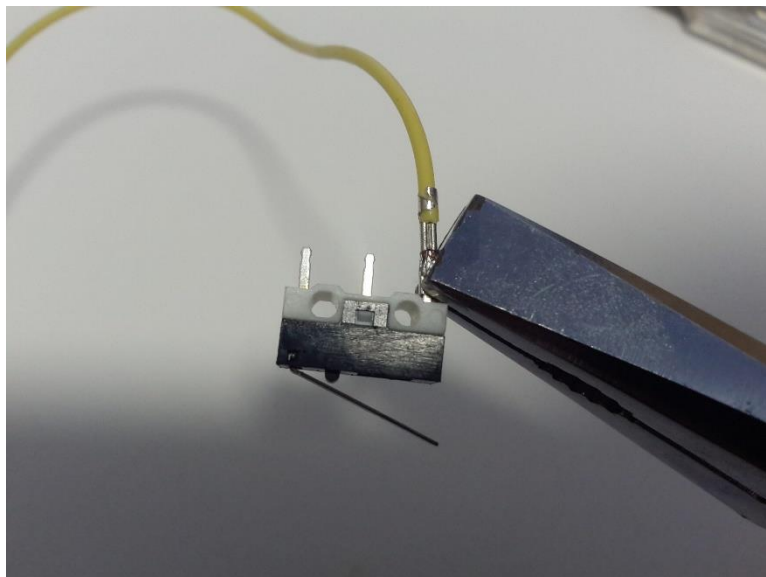
Tot seguit tallem tota la punta del *jumper* mascle amb l'ajut d'uns alicates o unes tenalles.



Veurem que el tros de *jumper* mascle que ens queda té una espècie de forat quadrat just darrere del lloc pel qual hem tallat com veiem a la pàgina següent:



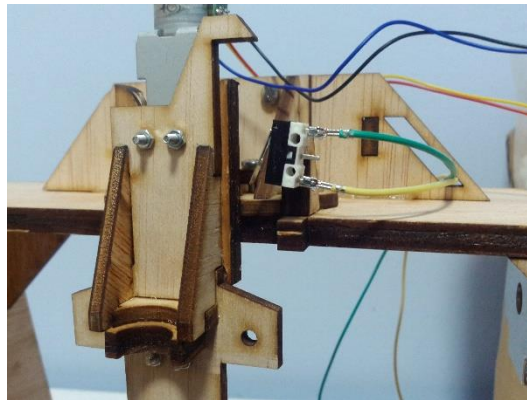
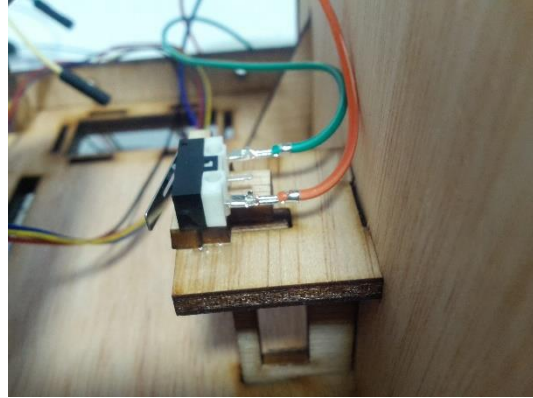
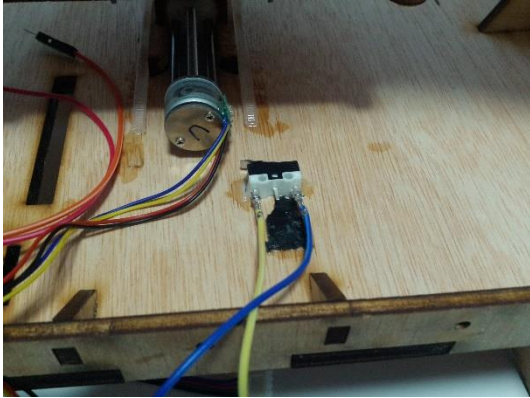
Aquest forat ens serà molt útil a nosaltres i introduïrem per aquí un pin del final de carrera, tot i així, veiem que, com en el cas de l'extrem femella, el pin es massa petit. Per solucionar el problema, mentre el pin del final de carrera es troba dintre del forat, aixafem aquest amb uns alicates de manera que quedi ajustat a la mida del pin del final de carrera. D'aquesta manera queda una unió forta però que podem muntar i desmuntar fàcilment.



Recordem que vam decidir utilitzar els finals de carrera en mode normalment tancat. Per tal de que funcionin d'aquesta manera hem de connectar un cable al pin Comú i un altre al pin NC (Normalment tancat, *Normally closed*) deixant el tercer pin lliure. El pin NC és en el que en la imatge superior estem col·locant el cable. En el propi final de carrera està indicat amb les lletres

NC tot i que no es pot apreciar a la imatge. El pin Comú és el del costat oposat, on està unida la palanca que activa el final de carrera.

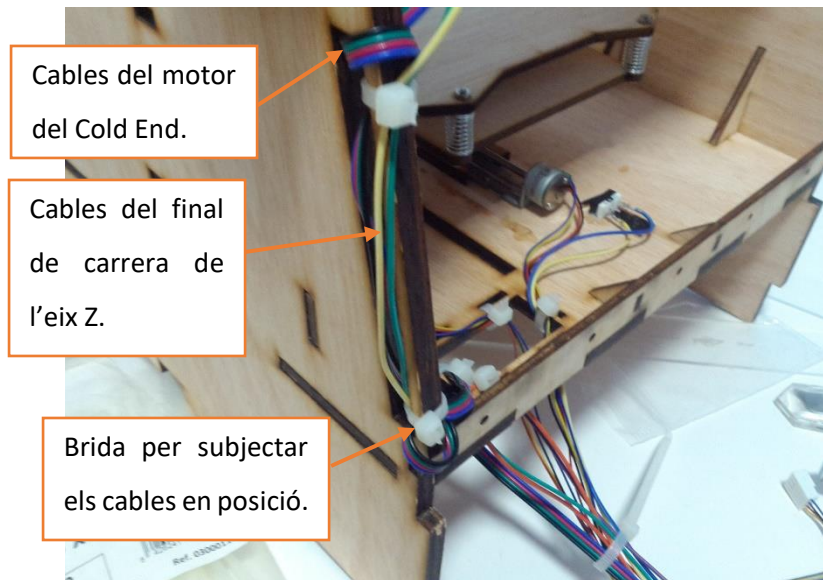
D'aquesta manera vam col·locar cables a tots els finals de carrera:



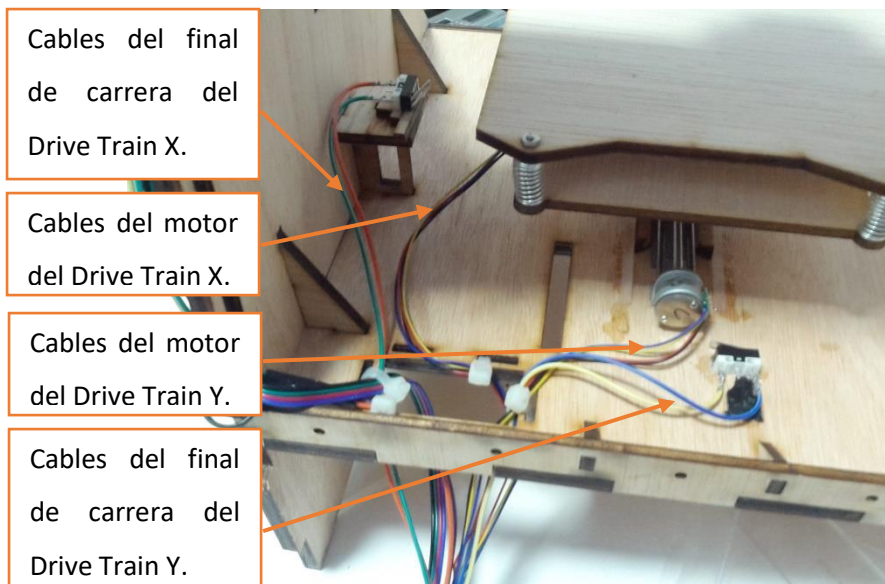
Com podem veure en la imatge superior esquerra (final de carrera del *Drive Train Y*) mentre realitzàvem el cablejat se'ns va quedar enganxat accidentalment amb cola instantània un tros de cinta aïllant negra que va resultar impossible de treure.

En la imatge inferior veiem que hem passat els cables del final de carrera pel forat que havíem fet en la peça vertical per tal d'ordenar-los. A l'eix Z, a causa de trobar-se en una posició elevada, els *jumper*s del final de carrera no arribaven fins al compartiment del controlador de manera que vam haver d'unir a l'extrem femella lliure de cada *jumper* un altre *jumper* mascle-femella per tal de que hi poguessin arribar.

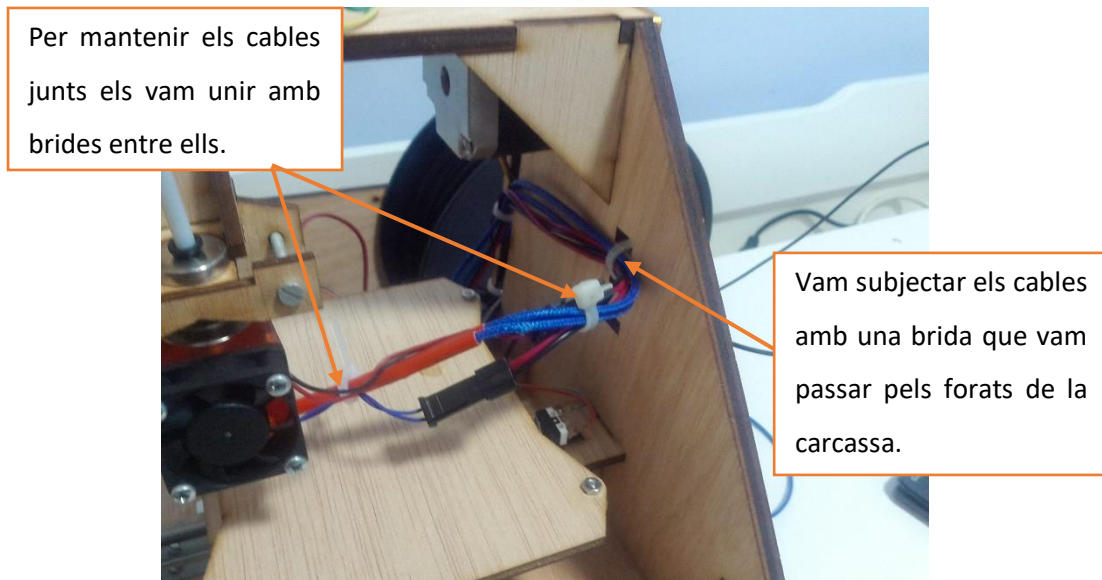
Vam continuar ordenant tots els cables. En la imatge de la propera pàgina veiem com vam passar els cables del motor del *Drive Train Z*, del final de carrera d'aquest i del *Cold End* pel forat que havíem fet a la paret de la carcassa. Veiem també que estan subjectats amb brides per mantenir-los en posició.



També vam fixar tots els cables dels components situats a la base de la zona d'impressió. Ara podem apreciar bé el propòsit dels petits forats que vam fer al voltant del forat pel qual els cables passen al compartiment del controlador. També podem veure que finalment no vam utilitzar el forat que havíem fet en el suport de la plataforma del final de carrera del *Drive Train X* per passar els cables del motor d'aquest.

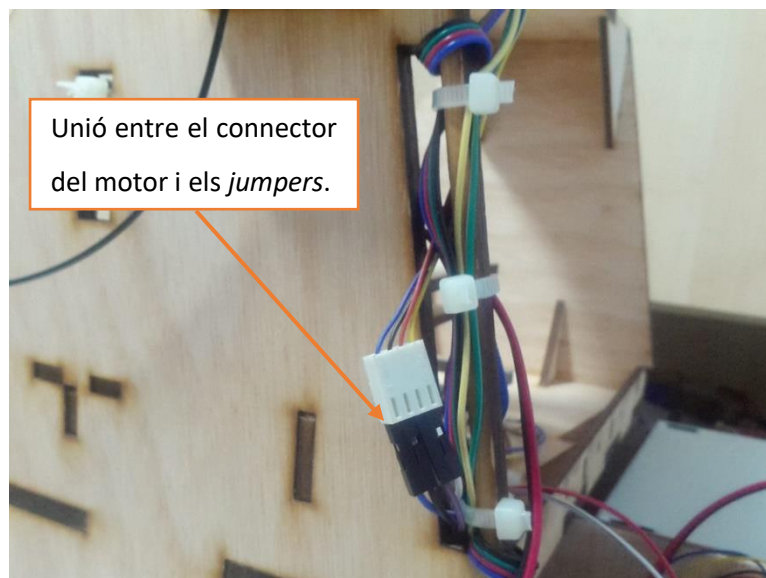


A continuació vam fixar els cables del *Hot End* (Termistor, resistència elèctrica i ventilador) a la paret dreta de la impressora mitjançant una brida, com veiem a la pàgina següent.



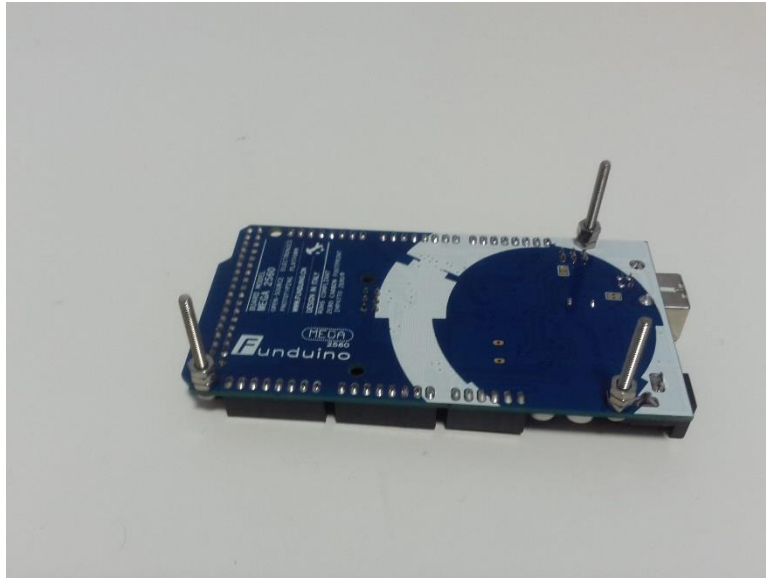
Tot seguit vam passar els cables del *Hot End* pel forat posterior del lateral dret de la carcassa i d'aquí al forat que porta al compartiment del controlador.

Per últim vam fixar el cable del motor del *Drive Train Z*, que ens havíem oblidat de col·locar. Vam fixar-lo primerament al forat de la peça vertical de la part superior de la impressora. Per fer arribar els seus cables fins al compartiment del controlador ens vam trobar amb el mateix problema que amb el final de carrera del mateix *Drive Train*, els cables no arribaven. Per solucionar el problema de nou vam utilitzar quatre dels nostres *jumpers* mascle femella que vam unir al connector del motor. Vam intentar respectar els colors dels cables originals, tot i així, degut a la poca varietat de colors de que disposàvem no va ser sempre possible.

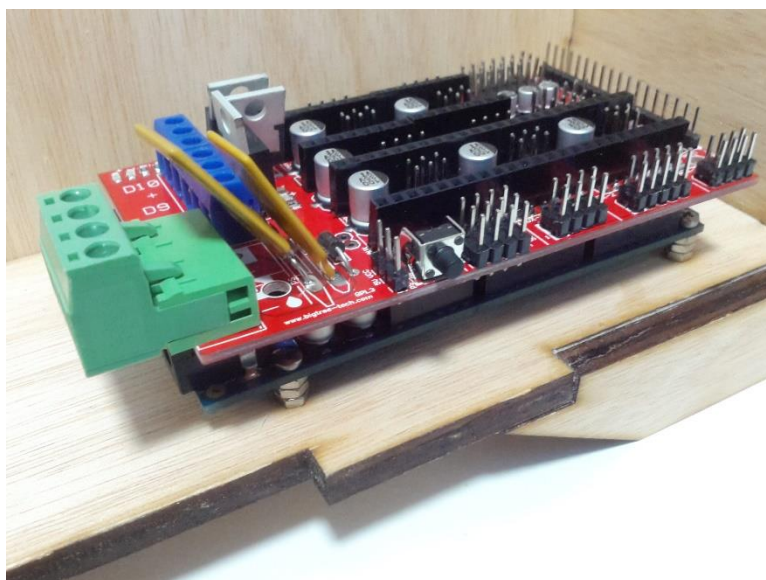


Arribats a aquest punt ja teníem tots els cables preparats per connectar-los al RAMPS. D'aquesta manera vam cargolar tant el conjunt de RAMPS i Arduino Mega com la font d'alimentació a la base de la impressora. Per cargolar la font vam utilitzar finalment uns cargols M3 de 12mm i pel RAMPS uns cargols M2,5 de 25mm tot i que d'aquests últims ens va sobrar un bon tros de rosca.

Primerament vam passar els cargols per l'Arduino Mega i el vam cargolar a la carcassa.



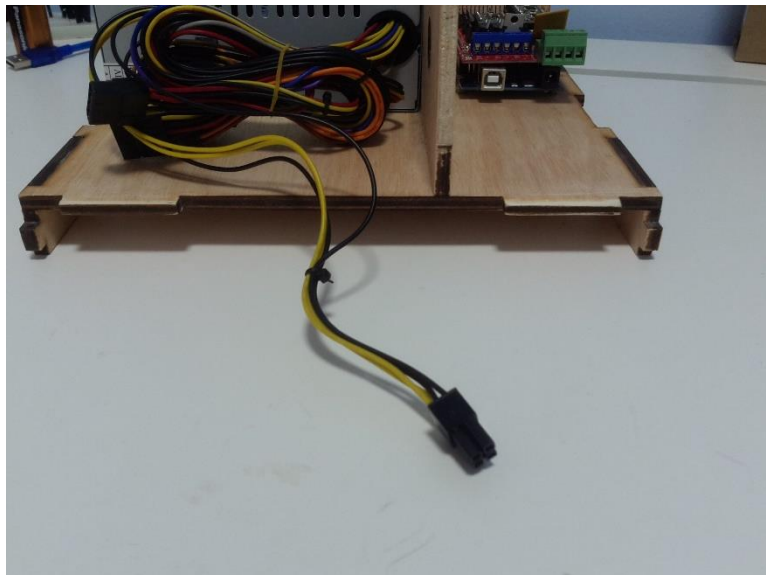
A la imatge es pot veure que vam cargolar diverses femelles en cada cargol. L'objectiu d'aquesta mesura es que l'Arduino quedi aixecat de la base de la zona d'electrònica i no es faci malbé al ajustar els cargols. A continuació vam encaixar el RAMPS a sobre, vigilants bé que tots els pins quedessin al seu lloc i vam cargolar el conjunt a la base.



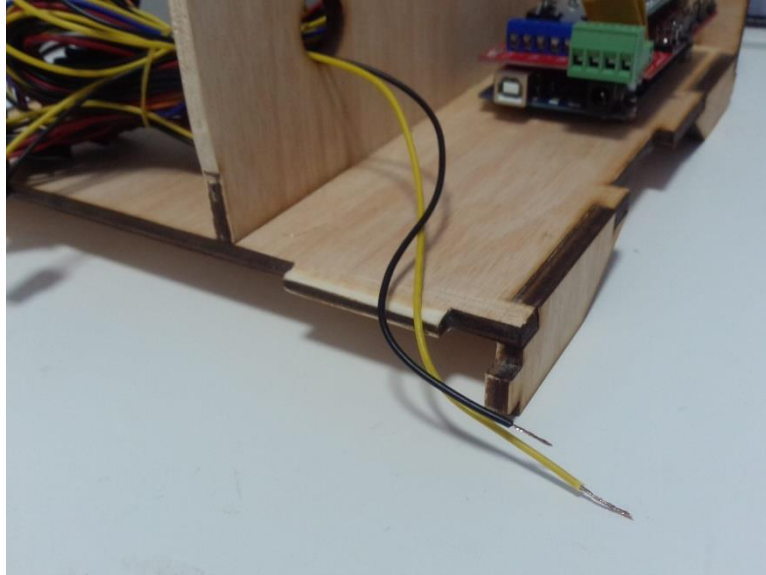
Seguidament vam cargolar la font d'alimentació amb els quatre cargols M3 de 12mm de manera que quedés ben subjectada.



Aleshores vam separar els cables que a nosaltres ens interessaven de tota la resta dels que tenia la font d'alimentació, que vam deixar lligats amb una goma tal com venien de fàbrica. Els nostres cables eren dos cables grocs (12 volts) i dos negres (negatiu o *ground*) que acabaven en un connector quàdruple.

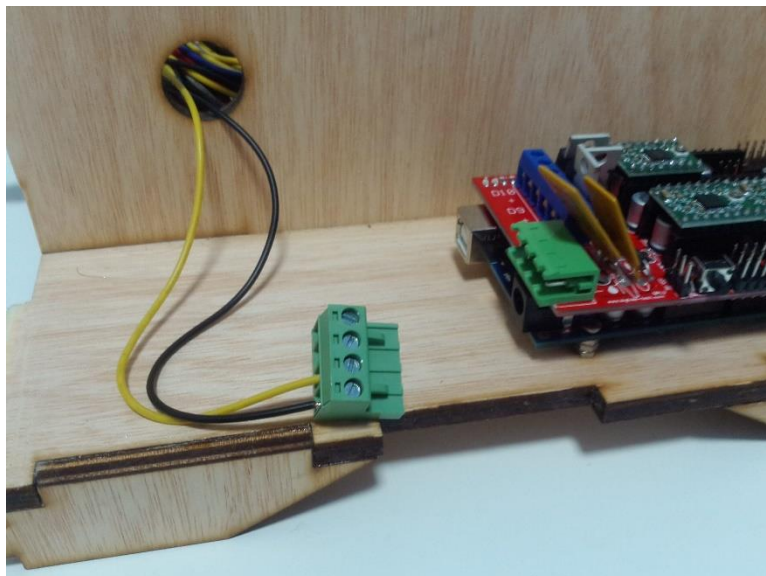


Vam tallar molt a prop del connector un cable groc i un cable negre i els vam pelar amb ajut d'unes tisores i els vam passar pel forat del separador, tal com podem veure a la pàgina següent:



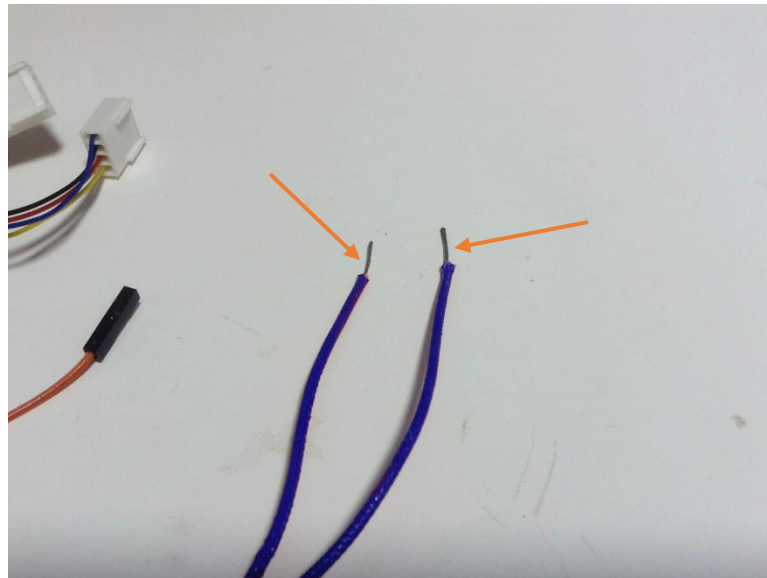
Cal dir que aquesta operació la vam realitzar amb la font desconnectada de la xarxa elèctrica i després de tenir-la dies desconnectada per tal de que es descarregués completament.

Vam extreure el connector d'entrada d'energia del RAMPS i vam fixar els cables als dos ports de l'entrada de 12 volts i 5 ampers del RAMPS d'aquest connector respectant sempre la polaritat correcta. Com es pot veure, també vam col·locar els *drivers* dels motors pas a pas (ajustada la intensitat màxima anteriorment), vigilat també amb l'orientació, el cargol del potenciòmetre cap al costat contrari d'on trobem el connector d'energia.

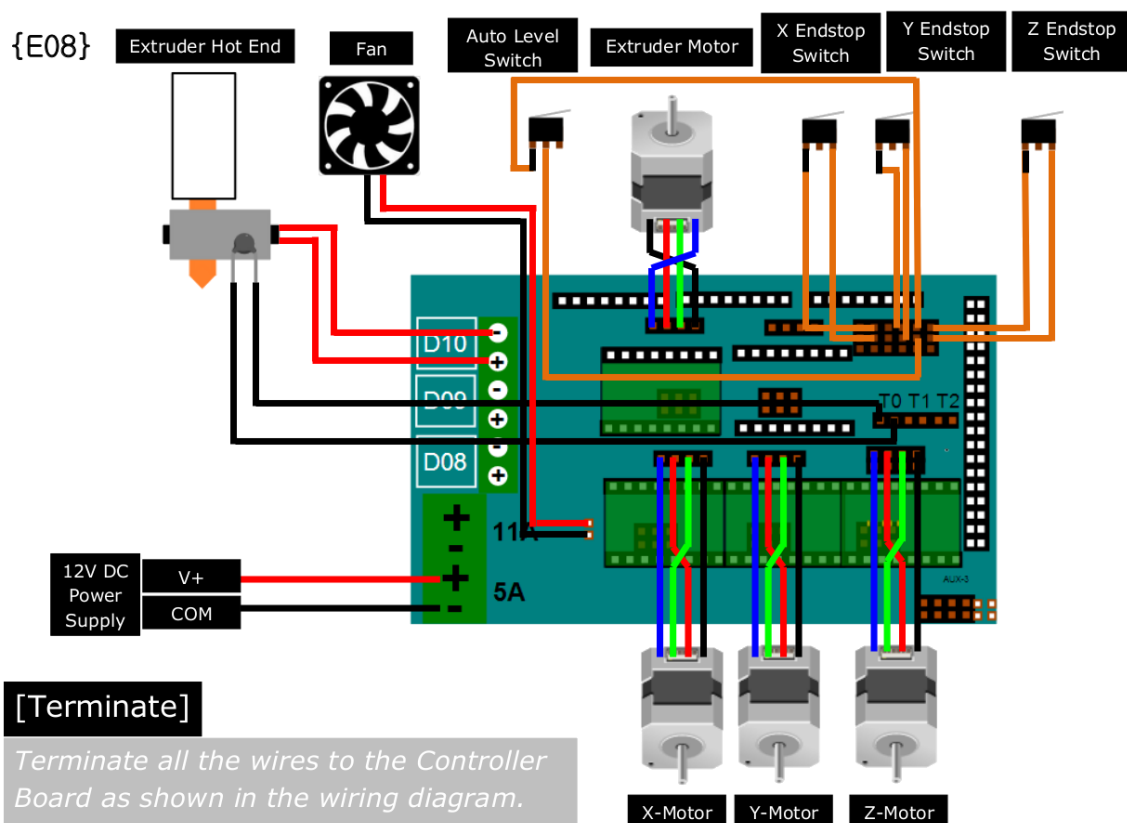


Tot seguit vam procedir a pelar els cables de la resistència elèctrica del *Hot End* per tenir-los preparats per connectar com es pot veure a la imatge de la pàgina següent. El connector al qual

hem fixat els cables de la font el vam deixar desconnectat de moment per eliminar qualsevol risc mentre connectàvem els cables.

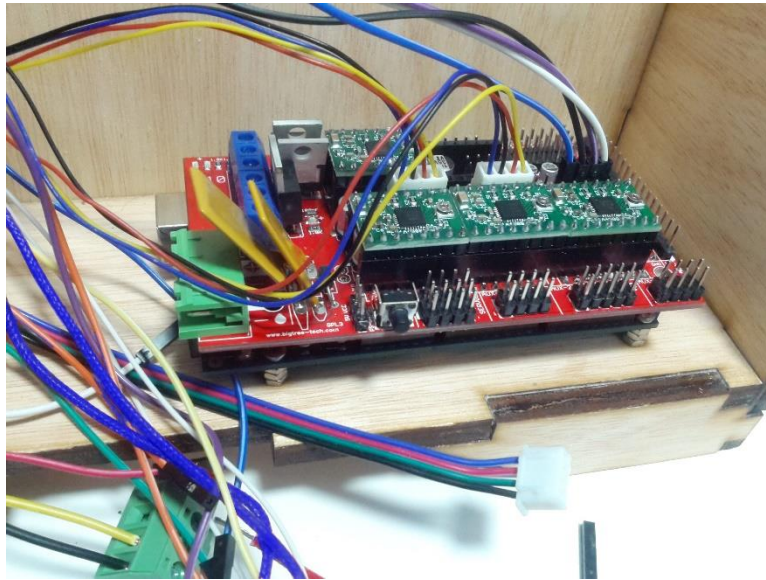


A continuació vam procedir al realitzar totes les connexions. Vam seguir el diagrama següent, extret d'internet:

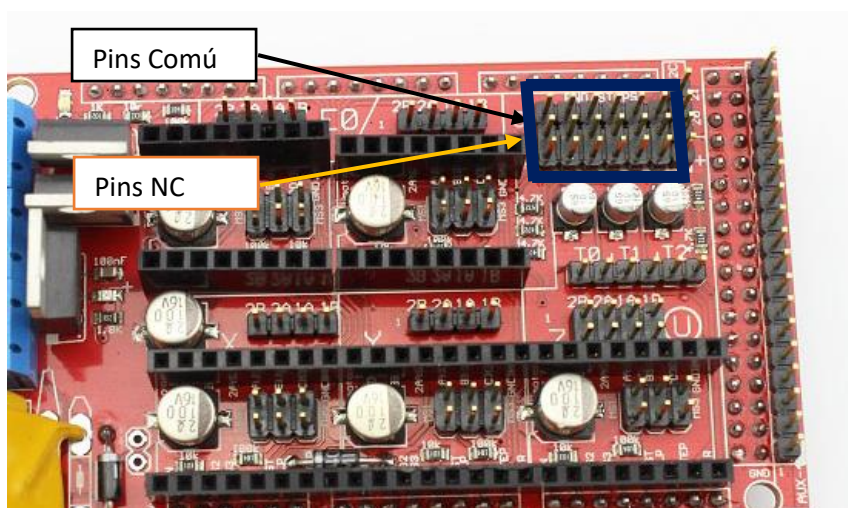


Extret de: <http://www.minuk.net/2014/08/09/kossel-mini-build-part-6/>

D'aquesta manera vam connectar els cables dels motors dels *Drive Trains X, Y i Z* com veiem en la següent imatge:



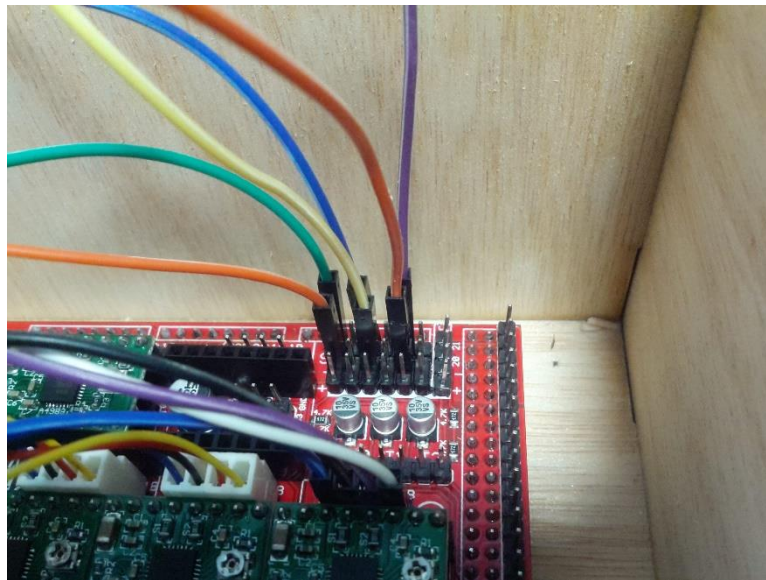
El següent que vam fer va ser connectar els cables dels finals de carrera. En aquest moment és molt important tenir en compte que només utilitzem finals de carrera per la posició mínima i que aquests funcionen en mode normalment tancat. Per comprendre la importància de tenir aquest fet en compte fem una ullada als pins on es connecten els finals de carrera:



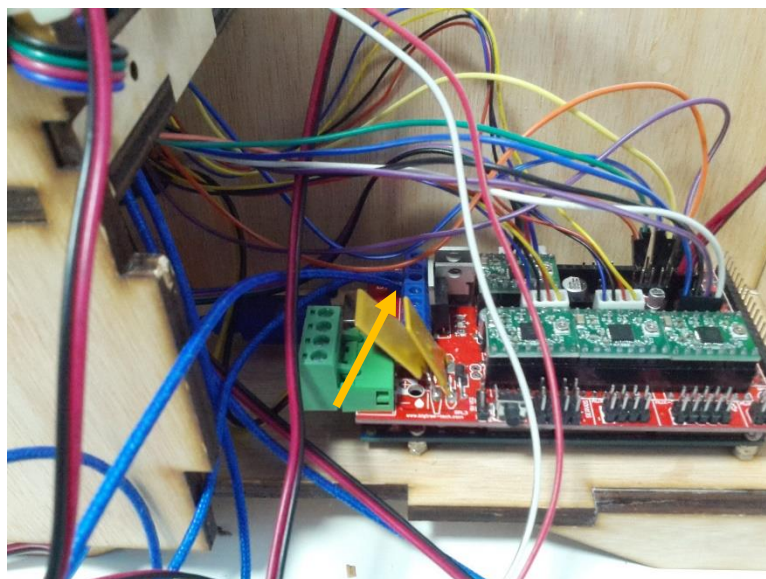
Com podem veure tenim un munt de pins junts, organitzats en tres files, de les quals ens fixarem en les dos primeres i 6 columnes, cadascuna per un dels 6 finals de carrera que podem arribar a tenir com a màxim (Mínim i màxim dels eixos X, Y i Z). Els pins s'organitzen com la taula periòdica, tot i que aquí només hi ha 3 "períodes" (horitzontals) i 6 "grups" (verticals). El grup de més a l'esquerra correspon al final de carrera de la posició mínima de l'eix X, el següent al de

la posició màxima de l'eix X, després posició mínima de l'eix Y, màxima de l'eix Y, mínima del Z i màxima del Z. Els primer "període" correspon als pins Comú i el segon, en el nostre cas, al pin NC. Per tant, el pin NC del final de carrera de la posició mínima de l'eix Y es trobarà en el segon "període" i tercer "grup", per exemple.

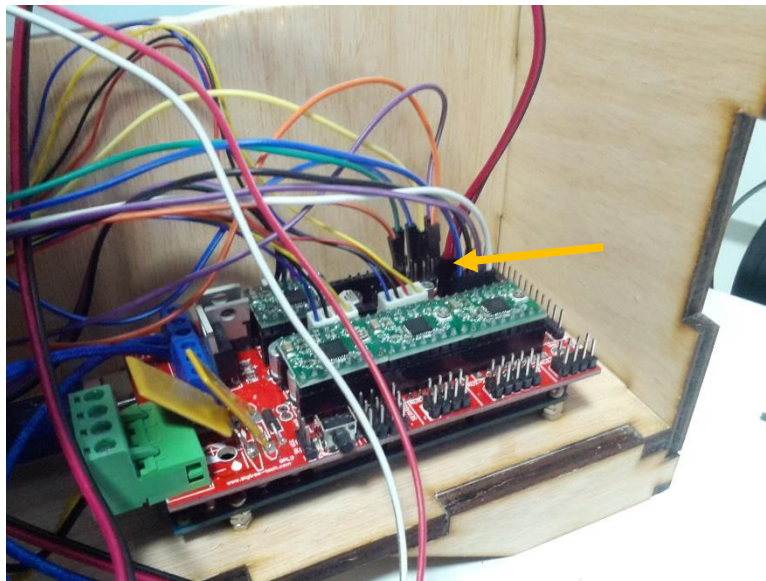
Com ja sabem, a nosaltres només ens interessa connectar els pins Comú i NC dels finals de carrera de la posició mínima de cada eix. A la imatge següent veiem el resultat:



Després d'enllestir els finals de carrera vam connectar els dos cables de la resistència del Hot End als dos forats del port D10 del RAMPS, tal com observem a continuació:



Com podem veure a la imatge anterior, també hem connectat el cable que permetrà a l'Arduino Mega comunicar-se amb el nostre ordinador. Tot seguit vam connectar el termistor del Hot End als pins T0 tal com veiem tot seguit:

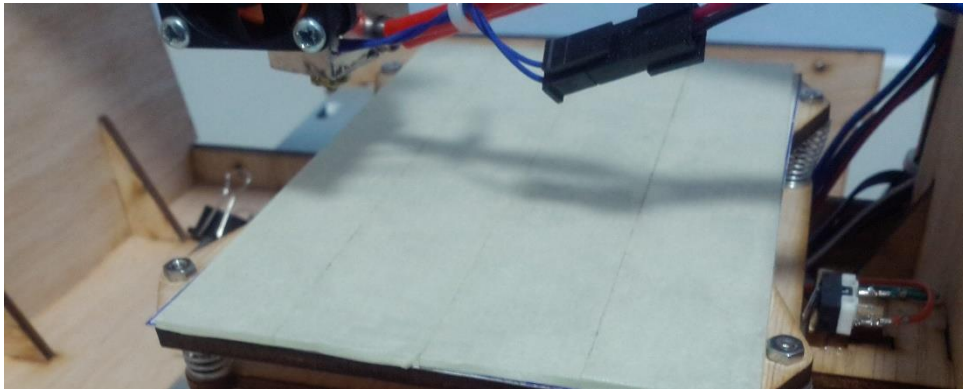


L'última connexió que ens quedava era la del ventilador del *Hot End*. Tot i que el RAMPS té pins per connectar un ventilador nosaltres farem la connexió d'una altra manera. Connectarem el ventilador directament a la font d'alimentació, de manera que aquest s'encendrà quan encenguem la impressora. Fer la connexió d'aquesta manera té diversos avantatges. En primer lloc, el ventilador està sempre encès i funcionant al 100% tal com recomana el fabricant, E3D, i en segon lloc ens estalviarem molt de temps i maldecaps a l'hora de configurar i calibrar el ventilador al firmware. Com no comporta cap dificultat afegida i simplifica el muntatge vam decidir fer-ho així.

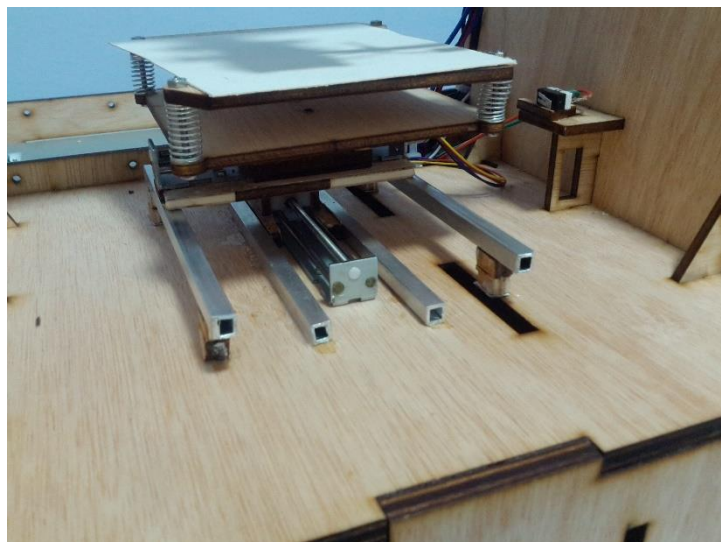
Per realitzar la connexió vam tallar els dos últims cables del mateix connector de la font que havíem utilitzat anteriorment i els vam pelar. Per unir-los amb els cables del ventilador vam utilitzar el mateix sistema que pels pins dels finals de carrera. Tot i així, com no volíem modificar irreversiblement els cables del ventilador, vam utilitzar uns *jumpers* que farien d'intermediaris. És a dir, vam connectar els cables del ventilador a uns *jumpers* i aquests als cables que sortien de la font. Vam recobrir les unions amb cinta aïllant i vam col·locar dues brides a cadascuna per evitar que es moguéssin la cinta aïllant.

Finalment vam tallar el tub de PTFE a 40cm (a les imatges on apareix anteriorment està només com una referència, no està tallat a la mida correcta ni fixat) i cargolar la peça que el subjecta al *Cold End* en posició.

En aquest moment ja només ens quedava ajustar l'altura del *Print Bed* amb el sistema d'anivellat. Vam ajustar els quatre cargols amb l'ajuda de l'aplicació del mòbil. Tot i així, degut probablement a un error en les mesures durant la fase de disseny el *Hot End* quedava massa amunt fins i tot quan col·locàvem el *Print Bed* a la màxima altura que el sistema d'anivellat permetia. Només eren unes dècimes de mil·límetre, però prou com per evitar que la primera capa de filament imprès no quedés ben adherit al *Print Bed*. Per solucionar el problema vam enganxar un tros de cartró sobre la plataforma superior del sistema d'anivellat per elevar el *Print Bed* les dècimes de mil·límetre que li faltaven.



Abans de concloure la construcció vam pensar en provar els tres motors amb el dispositiu que havíem utilitzat per les proves preliminars. Quan vam realitzar aquesta prova vam descobrir dues coses: Els patins del *Drive Train Y*, degut a que se'ns havien desenganxat diverses vegades durant el muntatge i els havíem tornat a enganxar també diverses vegades no quedaven ben ajustats contra el motor i provocaven que el *Drive Train X*. Això provocava que el conjunt de sistema d'anivellat i *Print Bed* situats a sobre ballessin excessivament. D'aquesta manera vam idear un sistema de barres d'alumini de perfil quadrat de 6mm x 6mm que fessin de guies per evitar-ho.



Tot i així, els resultats no ens van deixar del tot satisfets, de manera que més endavant, quan la impressora estava operativa, vam millorar el sistema amb uns suports impresos per la pròpia impressora:

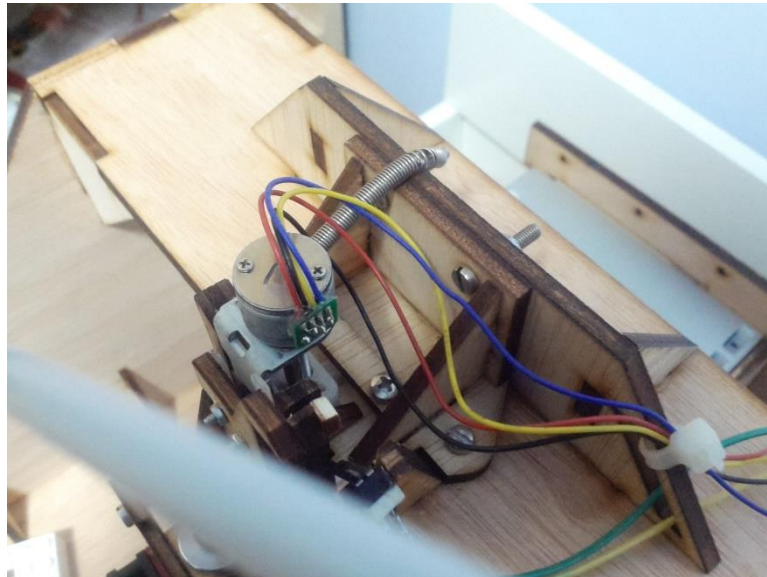


El segon problema era que el motor de l'eix X només pujava uns pocs centímetres i després s'encallava. Vam comprovar que el problema era degut al fregament entre la part mòbil i la fixa, on anteriorment havíem col·locat paper de plata per contrarestar aquest mateix efecte.

La solució que vam trobar va consistir en col·locar unes brides al marge de la part fixa del conjunt per reduir el fregament. També vam afegir unes petites peces d'escuma a la base del motor (la part que es cargolava a la part mòbil del conjunt de l'eix Z) que ens permetrien ajustar com d'ajustada quedava la part mòbil del conjunt a la fixa. D'aquesta manera si cargolàvem els cargols de la base del motor, la part mòbil quedaria més ajustada contra les brides de la fixa i el moviment seria més precís, però al motor li costaria més aixecar el pes. En canvi, si afluijàvem una mica els cargols, el motor aixecava la càrrega més fàcilment però la part mòbil del conjunt ballava una mica. A continuació veiem una imatge explicativa:



Tot i que aquest sistema va comportar una millora considerable, el motor encara s'encallava en les posicions més altes. Vam col·locar una molla que havíem extret d'una impressora d'oficina espatllada per subjectar el motor cap endarrere i evitar que s'encallés. D'aquesta manera el *Drive Train Z* no va donar més problemes.



En aquest punt acabem el nostre procés de construcció. A continuació configurarem tots els programes necessaris per al funcionament de la impressora.

12 CONFIGURACIÓ DEL SOFTWARE

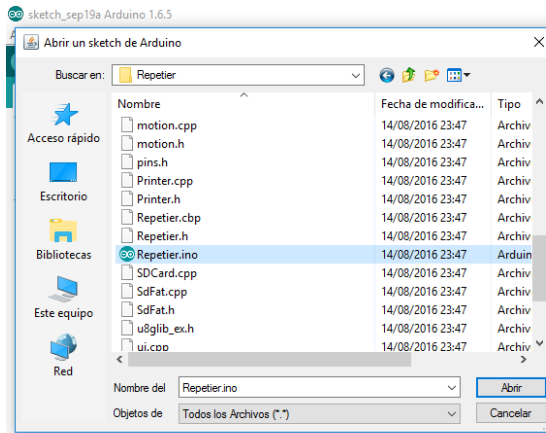
12.1 CONFIGURACIÓ DEL *FIRMWARE*

En aquest apartat veurem com vam configurar el *firmware*, el “sistema operatiu” de la nostra impressora. Configurar correctament una impressora dissenyada i construïda per nosaltres mateixos per tal de treure-li el cent per cent és un procés molt llarg que pot durar fins i tot setmanes i moltes impressions. Nosaltres configurarem els paràmetres mínims per fer funcionar la impressora de forma satisfactòria i deixarem la resta d'opcions tal com es troben en la configuració per defecte, que ja és prou bona per una impressora tan bàsica. Si volguéssim exprimir tot el possible la nostra impressora optimitzant el *firmware* al màxim sí que ens hauríem de parar a cada opció i meditar detingudament la nostra elecció, elevant considerablement el grau de dificultat de tot el treball. Tot i així, no descartem dur a terme tot aquest procés en el futur. Només parlarem de la configuració final de la impressora, tot i que arribar-hi va portar moltes proves i temps ja que si no allargaríem innecessàriament aquest apartat.

Abans de començar, hem de decidir quin *firmware* utilitzarem. Al utilitzar RAMPS tenim moltíssimes alternatives al nostre abast. Totes tenen les seves particularitats, tot i així, degut a que la nostra impressora és molt bàsica i no és el nostre objectiu principal tractar d'extreure el màxim d'ella, realment les diferències entre *firmwares* no són prou significatives com per decantar-nos per un o altre en base a aquestes. D'aquesta manera la nostra elecció va ser Repetier Firmware, una opció gratuïta, popular, amb un desenvolupament actiu i que disposava d'una bona guia en la seva pàgina web.

Ara que ja havíem escollit el nostre *firmware* el primer que vam fer va ser descarregar-lo d'internet de forma gratuïta des de la seva pàgina web. Els arxius del firmware estan comprimits en un arxiu .zip, de manera que els vam descomprimir, obtenint una carpeta amb els arxius. Per poder editar els paràmetres de la configuració necessitem l'Arduino IDE, que recordem, ja havíem instal·lat per comprovar que l'Arduino Mega funcionava.

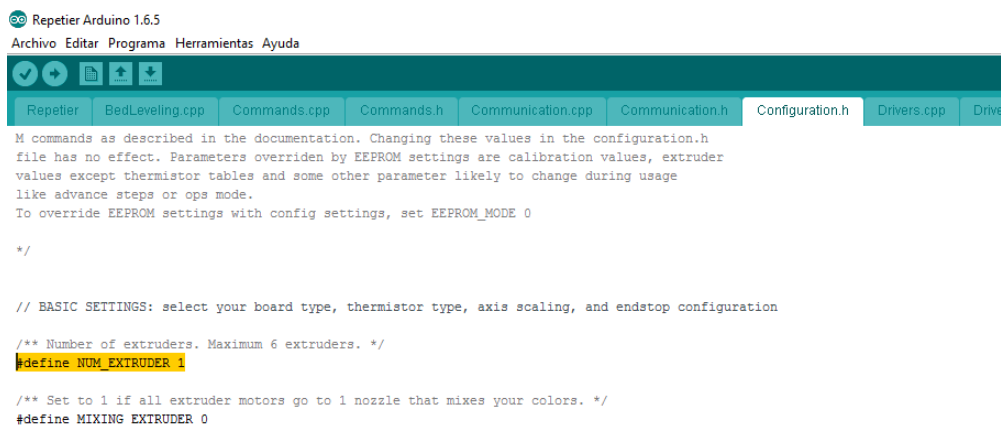
A continuació iniciem l'Arduino IDE i obrim el directori de descàrregues del nostre ordinador, on busquem la carpeta extreta de l'arxiu .zip que ens hem descarregat. Dintre d'aquesta carpeta anem a “src”, “ArduinoAVR” i finalment “Repetier”, la carpeta on es troba l'arxiu Repetier.ino, que procedim a obrir, tal com veiem a la imatge de la pàgina següent:



Quan obrim aquest arxiu veiem que en la part superior de la pantalla hi ha diverses pestanyes, corresponent cadascuna a un de tots els arxius que necessita el Repetier per funcionar. És cert que n'hi ha moltes, però a nosaltres només ens interessa l'arxiu *Configuration.h*, de manera que cliquem a la pestanya amb aquest nom per tal de que es mostri en pantalla.

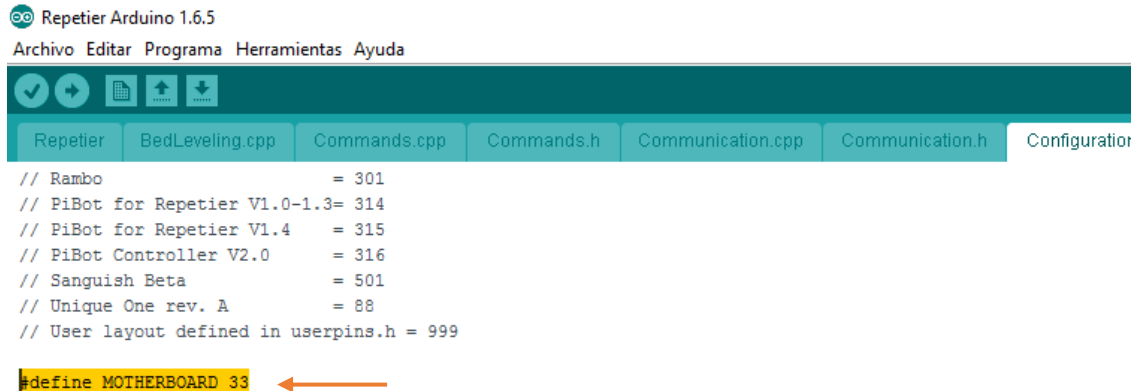


En aquest moments estem llestos per iniciar la configuració, que realitzarem en ordre descendent segons obrim l'arxiu. El primer amb que ens trobem és el nombre d'extrusors, que ens assegurarem de que sigui 1. La opció inferior la deixarem com es troba per defecte ja que només és per impressores amb més d'un extrusor.



A continuació, hem de seleccionar el nostre controlador d'una llista. Al RAMPS 1.4 li correspon el número 33, com també veiem a la imatge. D'aquesta manera escrivim el nombre 33 a continuació d'on hi ha escrit `#DEFINE_MOTHERBOARD` més avall:

El següents paràmetres tal com baixem tenen a veure amb la connexió per *Bluetooth* de la impressora, que a nosaltres no ens interessa i que per tant deixarem tal com estan. Si baixem



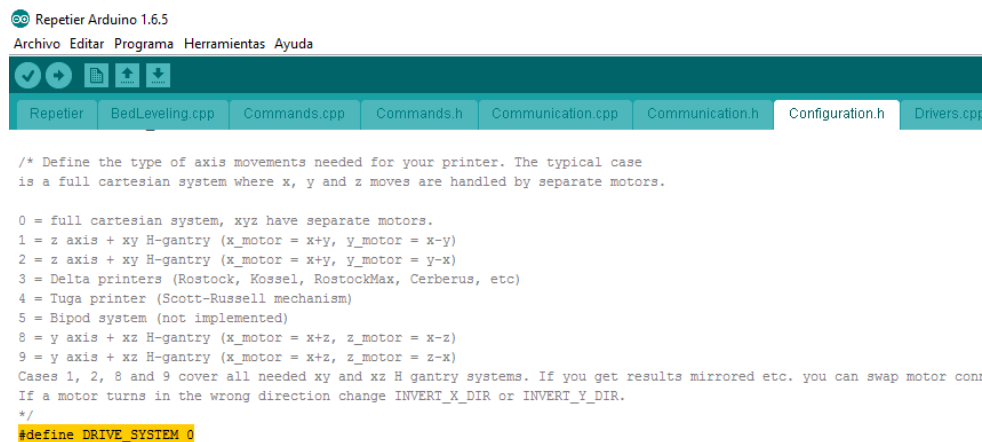
```

Repetier Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Repetier BedLeveling.cpp Commands.cpp Commands.h Communication.cpp Communication.h Configurati
// Rambo = 301
// PiBot for Repetier V1.0-1.3= 314
// PiBot for Repetier V1.4 = 315
// PiBot Controller V2.0 = 316
// Sanguish Beta = 501
// Unique One rev. A = 88
// User layout defined in userpins.h = 999

#define MOTHERBOARD 33

```

més ens trobem amb una opció per introduir el tipus d'impressora FDM (cartesiana, delta, polar...). A cada opció li correspon un número. Nosaltres triarem la opció 0, impressora cartesiana amb un motor per cada *Drive Train*:



```

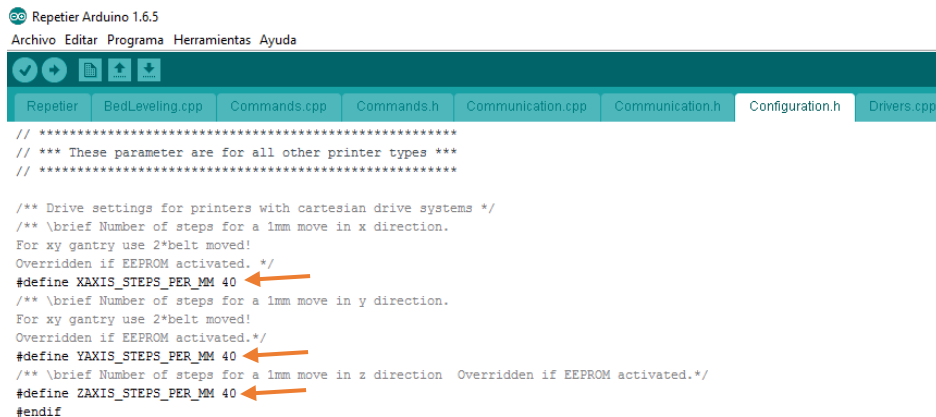
Repetier Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Repetier BedLeveling.cpp Commands.cpp Commands.h Communication.cpp Communication.h Configuration.h Drivers.cpp
/* Define the type of axis movements needed for your printer. The typical case
is a full cartesian system where x, y and z moves are handled by separate motors.

0 = full cartesian system, xyz have separate motors.
1 = z axis + xy H-gantry (x_motor = x+y, y_motor = x-y)
2 = z axis + xy H-gantry (x_motor = x+y, y_motor = y-x)
3 = Delta printers (Rostock, Kossel, RostockMax, Cerberus, etc)
4 = Tuga printer (Scott-Russell mechanism)
5 = Bipod system (not implemented)
8 = y axis + xz H-gantry (x_motor = x+z, z_motor = x-z)
9 = y axis + xz H-gantry (x_motor = x+z, z_motor = z-x)
Cases 1, 2, 8 and 9 cover all needed xy and xz H gantry systems. If you get results mirrored etc. you can swap motor conn
If a motor turns in the wrong direction change INVERT_X_DIR or INVERT_Y_DIR.
*/
#define DRIVE_SYSTEM 0

```

Si baixem unes quantes línies ens trobem l'apartat de calibració. La primera part correspon a impressores tipus delta, per tant continuem baixant fins que trobem un requadre on hi ha escrit "These parameter are for all other printer types", aquests paràmetres són per tots els altres tipus d'impressora. Aquí hem d'introduir el nombre de passos que han de fer els motors de cada *Drive Train* per tal de que la nostra peça lliscant es mogui 1mm. Per cada pas dels nostres motors sabem (extret de la pàgina web d'un dels venedors dels motors) que quan el nostre motor fa un pas, la peça lliscant avança 0,025mm. D'aquesta manera, dividint

sabem que el nostre motor ha de fer 40 passos per moure la peça lliscant 1mm. Com els motors de tots els eixos són iguals, escriurem 40 en les tres opcions:



```

Repetier Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

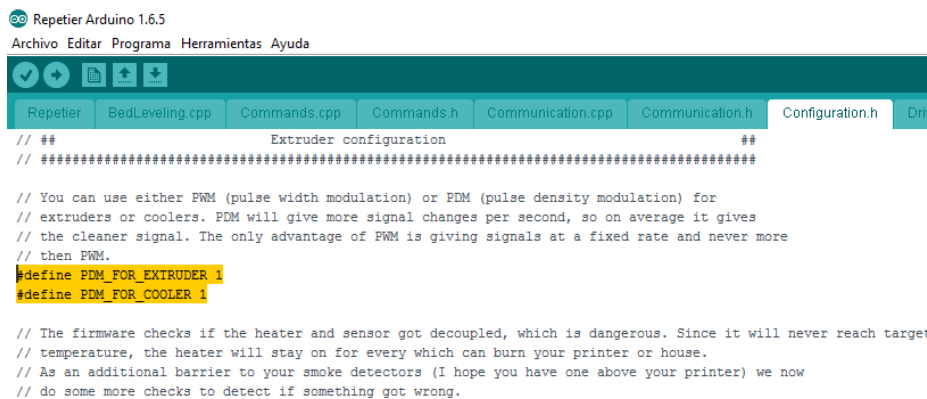
Repetier BedLeveling.cpp Commands.cpp Commands.h Communication.cpp Communication.h Configuration.h Drivers.cpp

// *****
// *** These parameter are for all other printer types ***
// *****

/** Drive settings for printers with cartesian drive systems */
/** \brief Number of steps for a 1mm move in x direction.
For xy gantry use 2*belt moved!
Overriden if EEPROM activated. */
#define XAXIS_STEPS_PER_MM 40
/** \brief Number of steps for a 1mm move in y direction.
For xy gantry use 2*belt moved!
Overriden if EEPROM activated.*/
#define YAXIS_STEPS_PER_MM 40
/** \brief Number of steps for a 1mm move in z direction Overriden if EEPROM activated.*/
#define ZAXIS_STEPS_PER_MM 40
#endif

```

Inmediatament a sota d'aquestes línies que veiem a la imatge superior trobem la configuració de l'extrusor. La primera opció que ens trobem tracta del *mètode* que volem que la nostra impressora utilitzi per llegir la temperatura del *Hot End*. Tenim dues opcions, PWM (0) o PDM (1). No explicarem detalladament en què consisteix cada opció degut a la seva complexitat. Tenint en compte la impressora que estem construint la decisió no marcarà una diferència significativa, per aquest motiu deixarem la opció per defecte, PDM, corresponent al número 1. Més abaix trobem la opció pel sistema de refrigeració, que deixarem com està ja que el nostre ventilador està connectat directament a la font i no es veurà afectat.



```

Repetier Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Repetier BedLeveling.cpp Commands.cpp Commands.h Communication.cpp Communication.h Configuration.h Drivers.cpp

// ## Extruder configuration ##
// *****

// You can use either PWM (pulse width modulation) or PDM (pulse density modulation) for
// extruders or coolers. PDM will give more signal changes per second, so on average it gives
// the cleaner signal. The only advantage of PWM is giving signals at a fixed rate and never more
// then PWM.
#define PDM_FOR_EXTRUDER 1
#define PDM_FOR_COOLER 1

// The firmware checks if the heater and sensor got decoupled, which is dangerous. Since it will never reach target
// temperature, the heater will stay on for every which can burn your printer or house.
// As an additional barrier to your smoke detectors (I hope you have one above your printer) we now
// do some more checks to detect if something got wrong.

```

Inmediatament sota aquestes línies trobem els paràmetres del sistema detector de falles en el termistor que incorpora el firmware i que deixarem com es troben per defecte, ja que la configuració estàndard funciona perfectament. Obviarem a continuació diversos paràmetres relacionats amb funcionalitats extra que la nostra impressora pot dur a terme per centrar-nos en definir els passos que el nostre motor pas a pas del *Cold End* necessita fer per introduir 1mm de filament al tub *Bowden*. No vam poder trobar informació a cap pàgina web, de manera que vam

fer diverses proves que ens van permetre arribar a la conclusió de que calen 7 passos per introduir 1mm de filament. D'aquesta manera vam introduir el valor:



```

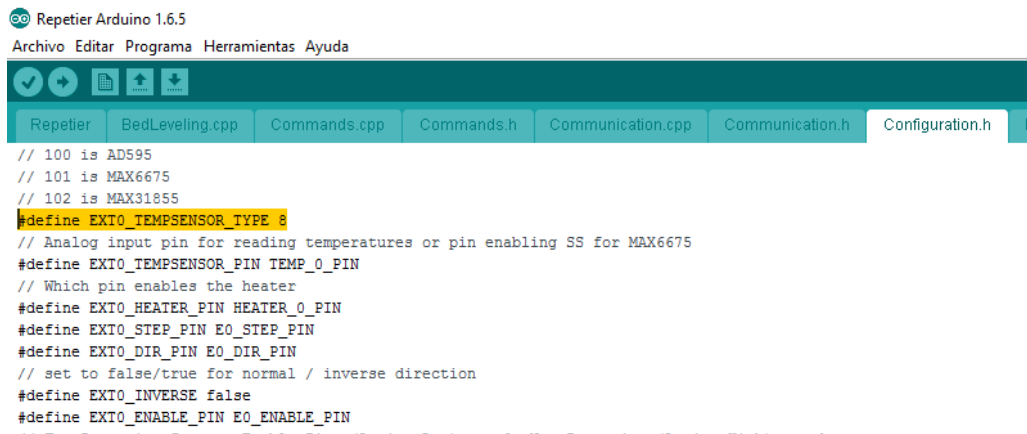
Repetier Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Repetier BedLeveling.cpp Commands.cpp Commands.h Communication.cpp Communication.h Configuration.h

// Extruder offsets in steps not mm!
#define EXT0_X_OFFSET 0
#define EXT0_Y_OFFSET 0
#define EXT0_Z_OFFSET 0
// for skeinforge 40 and later, steps to pull the plastic 1 mm inside the extruder, not out.  Overridden if EEPROM
#define EXT0_STEPS_PER_MM 7 //385
// What type of sensor is used?
// 0 is no thermistor/temperature control
// 1 is 100k thermistor (Epcos B57560G0107F000 - RepRap-Fab.org and many other)
// 2 is 200k thermistor
// 3 is mendel-parts thermistor (EPCOS G550)
// 4 is 10k thermistor
// 5 is ATC Semitec 104GT-2

```

Sota aquest últim paràmetre trobem una llista amb diferents models de termistors. És important que sapiguem amb quin termistor funciona el nostre *Hot End*. D'aquesta manera vam consultar la pàgina web d'E3D i vam comprovar que el Lite6 utilitza un termistor *ATC Semitec 104GT-2*, al qual li correspon el número vuit de la nostra llista, de manera que com hem fet abans amb el controlador, escrivim un vuit darrere de l'opció `#define EXT0_TEMPSENSOR_TYPE 8`.



```

Repetier Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

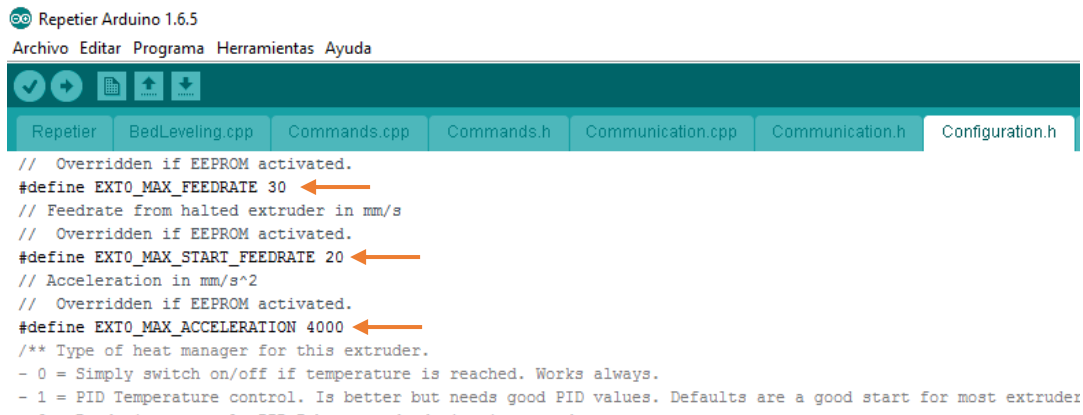
Repetier BedLeveling.cpp Commands.cpp Commands.h Communication.cpp Communication.h Configuration.h

// 100 is AD595
// 101 is MAX6675
// 102 is MAX31855
#define EXT0_TEMPSENSOR_TYPE 8
// Analog input pin for reading temperatures or pin enabling SS for MAX6675
#define EXT0_TEMPSENSOR_PIN TEMP_0_PIN
// Which pin enables the heater
#define EXT0_HEATER_PIN HEATER_0_PIN
#define EXT0_STEP_PIN E0_STEP_PIN
#define EXT0_DIR_PIN E0_DIR_PIN
// set to false/true for normal / inverse direction
#define EXT0_INVERSE false
#define EXT0_ENABLE_PIN E0_ENABLE_PIN

```

A continuació tornarem a omitir diversos paràmetres que ens permeten definir els pins del RAMPS que utilitzarem per connectar els diferents cables del *Hot End* en cas de que no volguem fer-ho de la forma estàndard que hem seguit nosaltres. Ens detindrem per definir la velocitat màxima a la qual el motor NEMA 17 del *Cold End* introduirà filament al tub *Bowden*, que vam fixar en 30mm/s, velocitat a la que mai arribarem. També introduïrem la velocitat màxima a la qual el motor NEMA 17 pot introduir el filament després d'estar parat. Vam fixar aquest valor en 20mm/s, unes xifres molt baixes per una impressora convencional, però suficients per a nosaltres i que ens eviten qualsevol risc. També vam introduir l'acceleració del motor, que vam fixar en 4000mm/s², un canvi de velocitat insantani en la pràctica. Degut a que la nostra

impressora no imprimirà gaire ràpid no cal preocupar-se per situar l'acceleració tan alta. A continuació veiem una imatge amb els tres paràmetres:



```

Repetier Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Repetier BedLeveling.cpp Commands.cpp Commands.h Communication.cpp Communication.h Configuration.h
// Overridden if EEPROM activated.
#define EXT0_MAX_FEEDRATE 30
// Feedrate from halted extruder in mm/s
// Overridden if EEPROM activated.
#define EXT0_MAX_START_FEEDRATE 20
// Acceleration in mm/s^2
// Overridden if EEPROM activated.
#define EXT0_MAX_ACCELERATION 4000
/** Type of heat manager for this extruder.
- 0 = Simply switch on/off if temperature is reached. Works always.
- 1 = PID Temperature control. Is better but needs good PID values. Defaults are a good start for most extruder

```

A continuació d'aquests paràmetres ens trobem que hem de definir el sistema que utilitza la impressora per ajustar la temperatura del *Hot End*. Tenim tres opcions: la primera consisteix en fer funcionar la resistència elèctrica a màxima potència, i quan el termistor llegeixi que s'ha arribat a la temperatura desitjada la resistència es desactiva. Si la temperatura baixa per sota de la desitjada es torna a activar a plena potència. El segon sistema utilitza un algoritme molt utilitzat en la indústria anomenat PID (Proporcional Integral i Derivada) que permet un control precís de la temperatura amb retroalimentació, tot i així, la seva configuració és complexa. L'últim sistema és una variant del PID que ens permet controlar de forma encara més acurada la temperatura tenint en compte l'interval de temps que hi ha entre que la resistència comença a escalfar fins que el *Hot End* es comença a escalfar. Nosaltres vam triar el segon sistema ja que vam comprovar experimentalment que el primer era molt inexacte i que el tercer era massa complex. Tot i així, el PID no era tampoc senzill. Per ajustar de forma òptima els paràmetres per tal de mantenir la temperatura el més estable possible en un punt cal tenir uns coneixements de matemàtiques amb els que desgraciadament no comptem, de manera que la nostra configuració no serà la òptima però funcionarà prou bé, de fet, un cop configurat el sistema PID les variacions de temperatura eren de poques dècimes de graus.

El primer paràmetre que calia ajustar era el sistema que volíem utilitzar, PID en el nostre cas, corresponent al número 1.

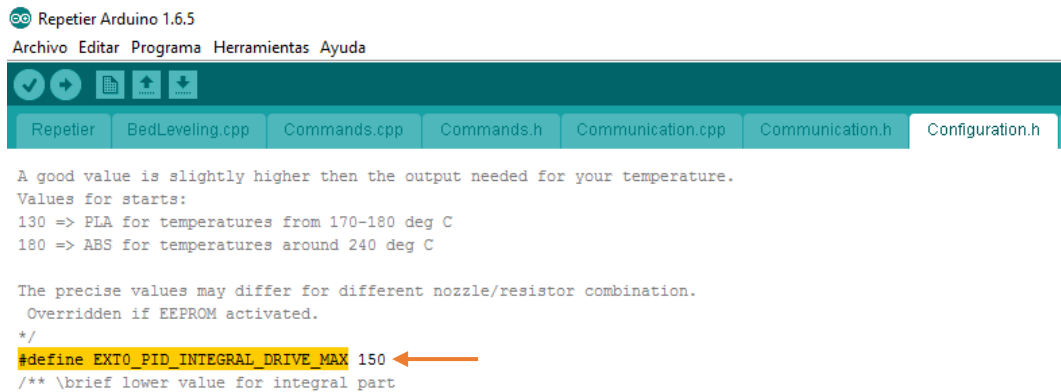


```

Repetier Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Repetier BedLeveling.cpp Commands.cpp Commands.h Communication.cpp Communication.h Configuration.h
#define EXT0_MAX_ACCELERATION 4000
/** Type of heat manager for this extruder.
- 0 = Simply switch on/off if temperature is reached. Works always.
- 1 = PID Temperature control. Is better but needs good PID values. Defaults are a good start for most extruder.
- 3 = Dead-time control. PID_P becomes dead-time in seconds.
Overridden if EEPROM activated.
*/
#define EXT0_HEAT_MANAGER 1

```

Vam continuar per incrementar en deu el valor per defecte de la variable `#define EXTO_PID_INTEGRAL_DRIVE_MAX`, que limita la potència a la qual pot funcionar la resistència elèctrica del Hot End per tal d'evitar increments de temperatura massa bruscos. Al propi firmware es recomana un valor de 130 per imprimir PLA entre 170 i 180 graus. Després de fer diverses proves extrudint filament a diferents temperatures vam concloure que imprimiríem a uns 190 graus, ja que a menors temperatures aquest no era prou líquid i a majors ho era massa. D'aquesta manera vam canviar el valor per defecte de 140 per 150.



```

Repetier Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

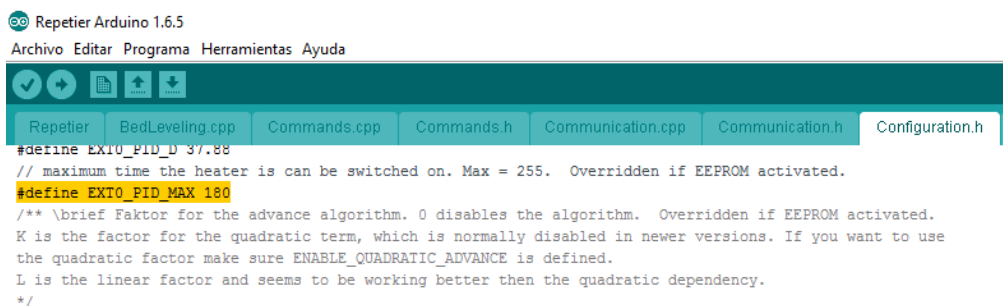
Repetier BedLeveling.cpp Commands.cpp Commands.h Communication.cpp Communication.h Configuration.h

A good value is slightly higher then the output needed for your temperature.
Values for starts:
130 => PLA for temperatures from 170-180 deg C
180 => ABS for temperatures around 240 deg C

The precise values may differ for different nozzle/resistor combination.
Overridden if EEPROM activated.
*/
#define EXTO_PID_INTEGRAL_DRIVE_MAX 150
/** \brief lower value for integral part

```

Els següents paràmetres en que ens fixarem seran `#define EXTO_PID_P`, `#define EXTO_PID_I` i `#define EXTO_PID_D 80`. Aquests tres paràmetres són la clau del sistema PID. Tot i així, per conèixer els valors que els donarem haurem d'esperar a haver carregat el firmware a la impressora, ja que és aquesta la que s'encarrega de donar-nos els valors òptims. D'aquesta manera deixarem provisionalment aquests paràmetres per ajustar el temps màxim que pot estar activada la resistència elèctrica a 180 (sobre una escala de 255).



```

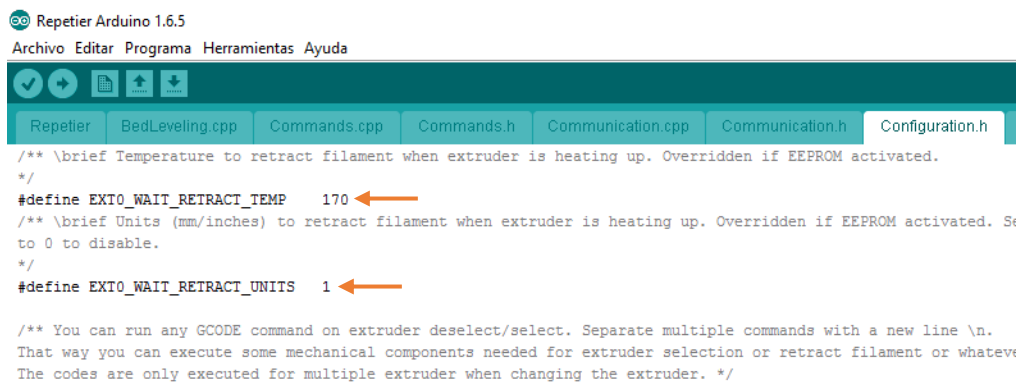
Repetier Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Repetier BedLeveling.cpp Commands.cpp Commands.h Communication.cpp Communication.h Configuration.h

#define EXTO_PID_D 37.88
// maximum time the heater is can be switched on. Max = 255. Overridden if EEPROM activated.
#define EXTO_PID_MAX 180
/** \brief Faktor for the advance algorithm. 0 disables the algorithm. Overridden if EEPROM activated.
K is the factor for the quadratic term, which is normally disabled in newer versions. If you want to use
the quadratic factor make sure ENABLE_QUADRATIC_ADVANCE is defined.
L is the linear factor and seems to be working better then the quadratic dependency.
*/

```

D'aquesta manera baixarem una mica més per fixar la temperatura mínima per poder retreure el filament del *Hot End* en 170 graus i també la quantitat de filament que el *Cold End* ha de retreure del *Hot End* mentre aquest arriba a la temperatura d'extrusió, que situarem en 1mm. D'aquesta manera quan el *Hot End* es trobi a 170 graus, temperatura a la que comença a gotejar plàstic, la impressora retirarà un mil·límetre de filament per tal de que no gotegi fins que el *Hot End* arribi als 195 graus als quals començarà a imprimir.



```

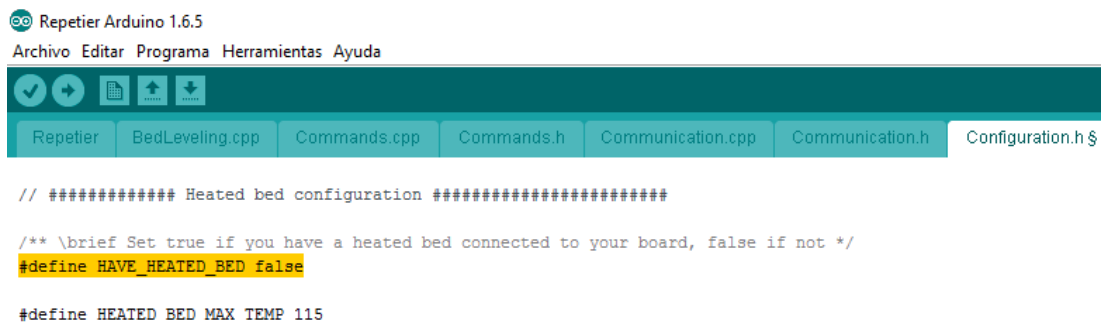
Repetier Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Repetier BedLeveling.cpp Commands.cpp Commands.h Communication.cpp Communication.h Configuration.h
/** \brief Temperature to retract filament when extruder is heating up. Overridden if EEPROM activated.
 */
#define EXTO_WAIT_RETRACT_TEMP 170
/** \brief Units (mm/inches) to retract filament when extruder is heating up. Overridden if EEPROM activated. Set
to 0 to disable.
 */
#define EXTO_WAIT_RETRACT_UNITS 1

/** You can run any GCODE command on extruder deselect/select. Separate multiple commands with a new line \n.
That way you can execute some mechanical components needed for extruder selection or retract filament or whatever.
The codes are only executed for multiple extruder when changing the extruder. */

```

A continuació baixarem un bon tros fins trobar-nos amb la configuració del *Heated Bed*. A la primera opció, `#define HAVE_HEATED_BED`, que ens permet definir si utilitzem *Heated Bed* o no escriurem *false*, ja que no utilitzem *Heated Bed* tal com veiem a la imatge de la pàgina següent.



```

Repetier Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Repetier BedLeveling.cpp Commands.cpp Commands.h Communication.cpp Communication.h Configuration.h §

// ##### Heated bed configuration #####

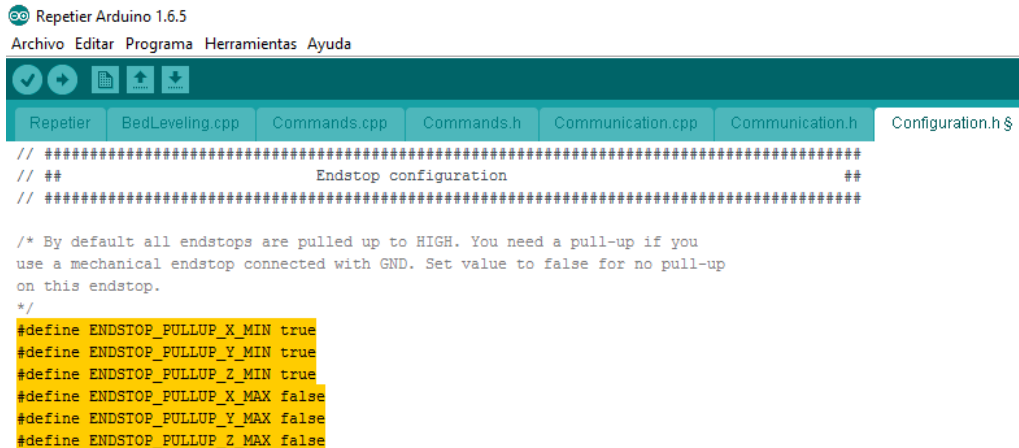
/** \brief Set true if you have a heated bed connected to your board, false if not */
#define HAVE_HEATED_BED false

#define HEATED_BED_MAX_TEMP 115

```

D'aquesta manera obviarem tota la configuració del *Heated Bed*. Baixarem més i també obviarem els apartats de *Laser Configuration* i *CNC Configuration*, ja que el Repetier Firmware pot utilitzar-se també com a firmware per una talladora o gravadora làser o per una màquina CNC (control numèric computeritzat). Tot i així aquestes opcions es troben desactivades per defecte.

Baixarem més fins trobar-nos amb l'apartat dedicat a la configuració dels finals de carrera, amb el nom *Endstop Configuration*. Dins d'aquest apartat ens trobem amb una sèrie de paràmetres que ens permeten activar resistències Pull up per als diferents finals de carrera, nosaltres activarem solament els de la posició mínima de cada *Drive Train* escrivint *true* al costat de cada opció i la resta els deixarem desactivats.



```

Repetier Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

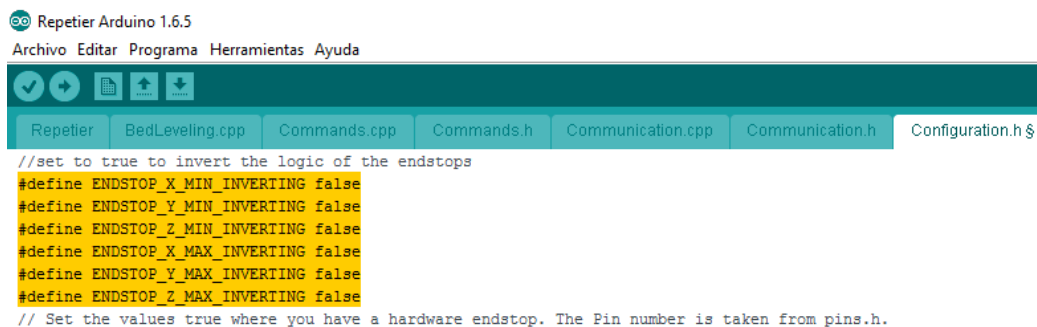
Repetier BedLeveling.cpp Commands.cpp Commands.h Communication.cpp Communication.h Configuration.h $

// ##### Endstop configuration #####
// ##
// #####

/* By default all endstops are pulled up to HIGH. You need a pull-up if you
use a mechanical endstop connected with GND. Set value to false for no pull-up
on this endstop.
*/
#define ENDSTOP_PULLUP_X_MIN true
#define ENDSTOP_PULLUP_Y_MIN true
#define ENDSTOP_PULLUP_Z_MIN true
#define ENDSTOP_PULLUP_X_MAX false
#define ENDSTOP_PULLUP_Y_MAX false
#define ENDSTOP_PULLUP_Z_MAX false

```

A continuació escriurem *false* a tots al següent grup de paràmetres, que serveixen per invertir la lògica amb la que funcionen els finals de carrera, cosa que no necessitem tal com podem veure a la següent imatge:



```


Repetier Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Repetier BedLeveling.cpp Commands.cpp Commands.h Communication.cpp Communication.h Configuration.h $

//set to true to invert the logic of the endstops
#define ENDSTOP_X_MIN_INVERTING false
#define ENDSTOP_Y_MIN_INVERTING false
#define ENDSTOP_Z_MIN_INVERTING false
#define ENDSTOP_X_MAX_INVERTING false
#define ENDSTOP_Y_MAX_INVERTING false
#define ENDSTOP_Z_MAX_INVERTING false
// Set the values true where you have a hardware endstop. The Pin number is taken from pins.h.

```

Tot seguit hem de definir quins finals de carrera utilitzem. En el nostre cas els mínims del *Drive Train* X, Y i Z, de manera que en aquests escriurem *true* i en la resta *false*.



```

Repetier Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda


Repetier BedLeveling.cpp Commands.cpp Commands.h Communication.cpp Communication.h Configuration.h $

#define ENDSTOP_Z_MAX_INVERTING false
// Set the values true where you have a hardware endstop. The Pin number is taken from pins.h.

#define MIN_HARDWARE_ENDSTOP_X true
#define MIN_HARDWARE_ENDSTOP_Y true
#define MIN_HARDWARE_ENDSTOP_Z true
#define MAX_HARDWARE_ENDSTOP_X false
#define MAX_HARDWARE_ENDSTOP_Y false
#define MAX_HARDWARE_ENDSTOP_Z false

```

A continuació obviarem novament uns pocs paràmetres fins arribar als que ens permeten invertir la direcció dels motors, que nosaltres procedirem a activar. Fem això ja que el nostre *Hot End* està estàtic. Si movem el *Print Bed* cap a l'esquerra, el *Hot End*, en relació amb el *Print Bed* s'estarà movent cap a la dreta, ja que està fixe. Per tal d'evitar que totes les impressions quedin del revés invertirem el gir dels motors:




```

Repetier Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Repetier BedLeveling.cpp Commands.cpp Commands.h Communication.cpp Communication.h Configuration.h $
// Inverting motor direction. Only in case of pure cartesian printers, this
// is also the axis you invert!
#define INVERT_X_DIR true
#define INVERT_Y_DIR true
#define INVERT_Z_DIR true

//// ENDSTOP SETTINGS:
// Sets direction of endstops when homing; 1=MAX, -1=MIN

```

Continuarem amb els paràmetres situats immediatament a sota. Per entendre aquests paràmetres primer hem de saber el que significa *homing* en una impressora 3D. Quan encenem la impressora, aquesta desconeix la posició en que es troba cada *Drive Train*. D'aquesta manera, quan encenem la impressora sempre hem de fer un *homing*, situar els motors en la posició mínima per tal d'activar els finals de carrera i d'aquesta manera saber que estem en la posició mínima en cada eix. Tot i així, quan fem el homing els motors han de girar en el sentit correcte per tal d'apropar-se a la posició mínima. Els següents paràmetres ens permeten definir el sentit de gir dels motors per tal de que s'apropin a la posició mínima durant el *homing*. Nosaltres situarem el sentit de gir en negatiu, escrivint un -1 en les tres opcions.



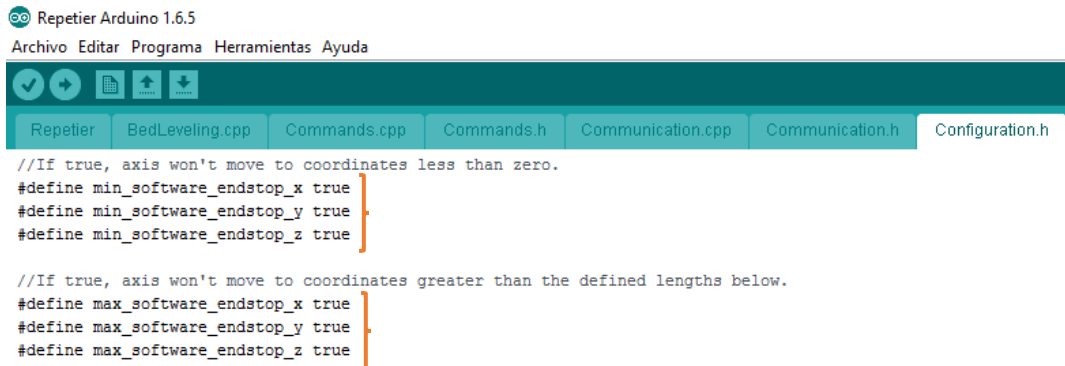
```

Repetier Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Repetier BedLeveling.cpp Commands.cpp Commands.h Communication.cpp Communication.h Configuration.h $
//// ENDSTOP SETTINGS:
// Sets direction of endstops when homing; 1=MAX, -1=MIN
#define X_HOME_DIR -1
#define Y_HOME_DIR -1
#define Z_HOME_DIR -1

// Delta robot radius endstop
#define max_software_endstop_r true

```

Tot seguit saltarem fins als paràmetres on podem permetre que la nostra impressora mogui el *Hot End* fora dels límits del *Print Bed* que més endavant establirem. La forma en que estan construïdes algunes impressores permet aquesta opció, però no és el nostre cas, de manera que escriurem *true* darrere de totes les opcions per tal de que la impressora limiti els moviments a l'àrea del *Print Bed*:



```

Repetier Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Repetier BedLeveling.cpp Commands.cpp Commands.h Communication.cpp Communication.h Configuration.h

//If true, axis won't move to coordinates less than zero.
#define min_software_endstop_x true
#define min_software_endstop_y true
#define min_software_endstop_z true

//If true, axis won't move to coordinates greater than the defined lengths below.
#define max_software_endstop_x true
#define max_software_endstop_y true
#define max_software_endstop_z true

```

Tot seguit vam ajustar diferents paràmetres relacionats amb el *homing*. Quan el motor activa el final de carrera durant aquest procés, tira una mica cap enrere i torna a activar-lo de nou per verificar que no es tracti d'un fals positiu. Vam situar en 5mm la distància que havien de retrocedir els motors per als *Drive Trains* X i Y i en 2mm per al *Drive Train* Z. També vam reduir a la meitat la velocitat a la qual es realitzava a aquesta acció, per tal d'assegurar-nos que els finals de carrera eren activats amb la màxima precisió. Després d'activar per segona vegada els finals de carrera els motors retrocedeixen una certa distància per deixar de prémer els finals de carrera. Vam situar aquesta distància en 1mm per tots els *Drive Trains*. A la pàgina següent podem veure una imatge on apareixen aquests paràmetres.



```

Repetier Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Repetier BedLeveling.cpp Commands.cpp Commands.h Communication.cpp Communication.h Configuration.h

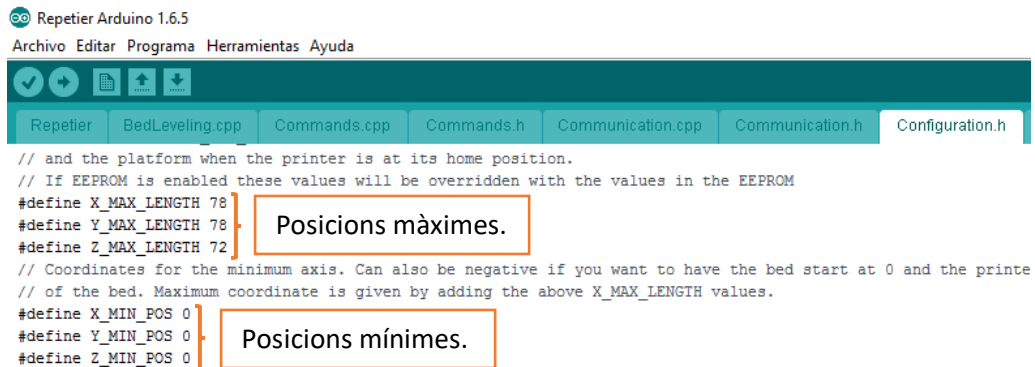
// If during homing the endstop is reached, ho many mm should the printer move back for the second try
#define ENDSTOP_X_BACK_MOVE 5
#define ENDSTOP_Y_BACK_MOVE 5
#define ENDSTOP_Z_BACK_MOVE 2 } Distància que retrocedeix cada Drive Train.

// For higher precision you can reduce the speed for the second test on the endstop
// during homing operation. The homing speed is divided by the value. 1 = same speed, 2 = half speed
#define ENDSTOP_X_RETEST_REDUCTION_FACTOR 2
#define ENDSTOP_Y_RETEST_REDUCTION_FACTOR 2
#define ENDSTOP_Z_RETEST_REDUCTION_FACTOR 2 } Reducció de la velocitat a la meitat.

// When you have several endstops in one circuit you need to disable it after homing by moving a
// small amount back. This is also the case with H-belt systems.
#define ENDSTOP_X_BACK_ON_HOME 1
#define ENDSTOP_Y_BACK_ON_HOME 1
#define ENDSTOP_Z_BACK_ON_HOME 1 } Retrocés final per alliberar els finals de carrera.

```

Tot seguit vam establir els límits del *Print Bed* als quals la impressora, com abans li hem dit, limitarà els moviments. Vam establir 0mm per les posicions mínimes de tots els *Drive Trains*, 78mm per les màximes dels *Drive Trains X* i *Y* i 72mm per la màxima del *Drive Train Z*.



```

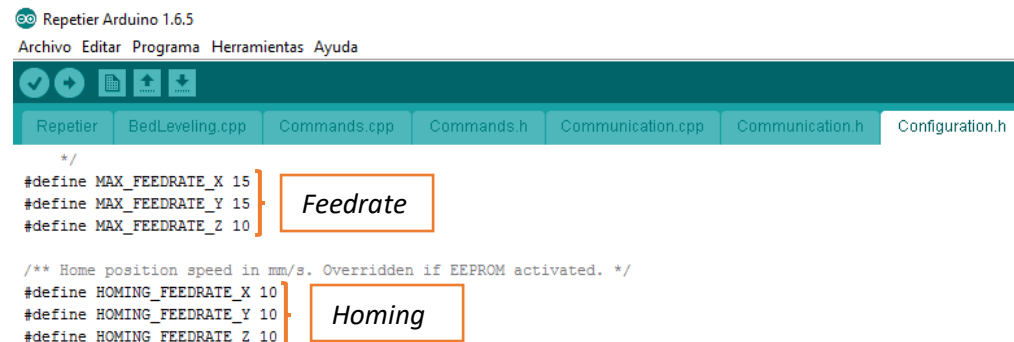
Repetier Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

// and the platform when the printer is at its home position.
// If EEPROM is enabled these values will be overridden with the values in the EEPROM
#define X_MAX_LENGTH 78
#define Y_MAX_LENGTH 78
#define Z_MAX_LENGTH 72
// Coordinates for the minimum axis. Can also be negative if you want to have the bed start at 0 and the printe
// of the bed. Maximum coordinate is given by adding the above X_MAX_LENGTH values.
#define X_MIN_POS 0
#define Y_MIN_POS 0
#define Z_MIN_POS 0
  
```

Posicions màximes.

Posicions mínimes.

Seguidament tornarem a obviar diversos paràmetres fins arribar als del *feedrate* i la velocitat del *homing*. El *Feedrate* és la velocitat màxima a la que es poden moure els motors mentres s'imprimeix. El vam fixar en 15mm/s pels *Drive Trains X* i *Y* i en 10mm/s pel *Drive Train Z*. La velocitat del *homing* la vam situar en 10mm/s per tots els eixos.



```

Repetier Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

*/
#define MAX_FEEDRATE_X 15
#define MAX_FEEDRATE_Y 15
#define MAX_FEEDRATE_Z 10

/** Home position speed in mm/s. Overridden if EEPROM activated. */
#define HOMING_FEEDRATE_X 10
#define HOMING_FEEDRATE_Y 10
#define HOMING_FEEDRATE_Z 10
  
```

Feedrate

Homing

A continuació vam baixar una mica per ajustar l'ordre en el qual els *Drive Trains* farien el *homing*. Vam decidir que primer seria el *Z*, el més delicat, a continuació l'*Y* i finalment l'*X*. D'aquesta manera vam escriure *ZYX* darrere de la opció corresponent:

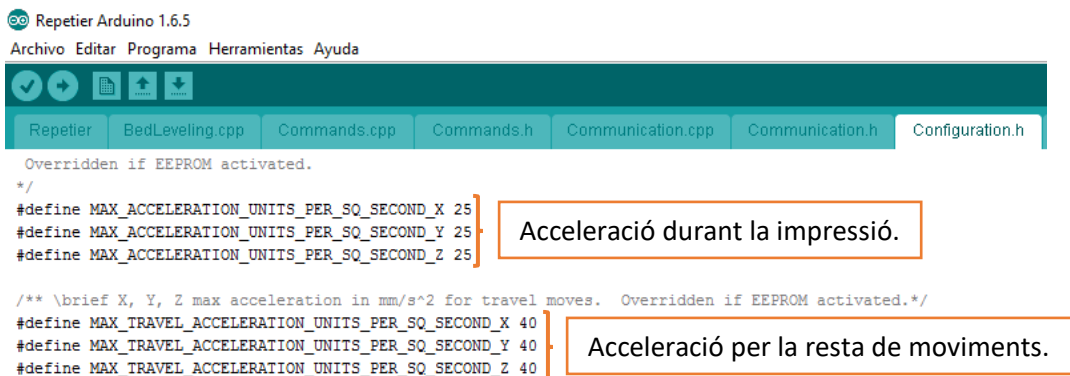


```

Repetier Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

* */
#define HOMING_ORDER HOME_ORDER_ZYX
// Used for homing order HOME_ORDER_ZXYZZ
#define ZHOME_MIN_TEMPERATURE 0
// needs to heat all extruders (1) or only current extruder (0)
  
```

Tot seguit vam omitir diversos paràmetres fins arribar a les opcions d'acceleració. Vam fixar en 25mm/s² com a màxim per moviments durant la impressió per tots els *Drive Trains* i 40mm/s² per la resta de moviments també per tots els *Drive Trains*:



```

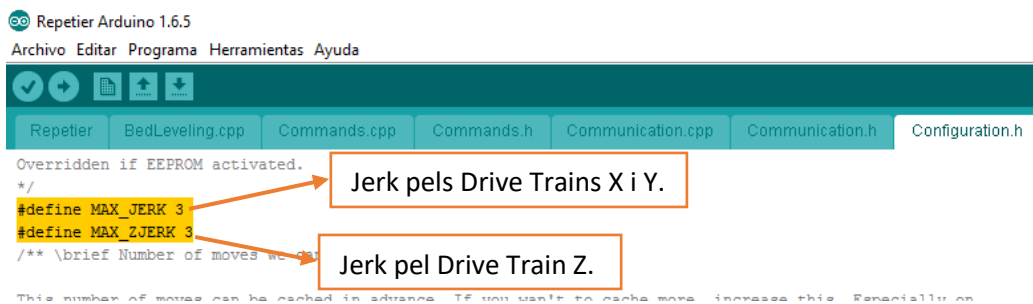
Repetier Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Repetier BedLeveling.cpp Commands.cpp Commands.h Communication.cpp Communication.h Configuration.h

Overridden if EEPROM activated.
*/
#define MAX_ACCELERATION_UNITS_PER_SQ_SECOND_X 25
#define MAX_ACCELERATION_UNITS_PER_SQ_SECOND_Y 25
#define MAX_ACCELERATION_UNITS_PER_SQ_SECOND_Z 25

/** \brief X, Y, Z max acceleration in mm/s^2 for travel moves. Overridden if EEPROM activated.*/
#define MAX_TRAVEL_ACCELERATION_UNITS_PER_SQ_SECOND_X 40
#define MAX_TRAVEL_ACCELERATION_UNITS_PER_SQ_SECOND_Y 40
#define MAX_TRAVEL_ACCELERATION_UNITS_PER_SQ_SECOND_Z 40
    
```

Una mica més avall trobem els paràmetres per ajustar el *jerk*. El *jerk* és el canvi de velocitat màxim en el qual no hi intervé l'acceleració, per exemple, si tenim un *jerk* de 5mm/s, els motors podran passar de 0mm/s a 5mm/s instantàniament i a partir dels 5mm/s el canvi de velocitat es realitzarà amb acceleració. Nosaltres vam ajustar el *jerk* a 3mm/s per tots els *Drive Trains*.



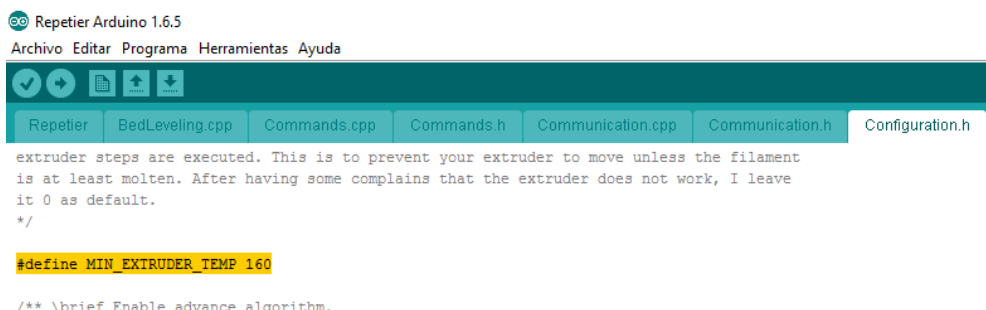
```

Repetier Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Repetier BedLeveling.cpp Commands.cpp Commands.h Communication.cpp Communication.h Configuration.h

Overridden if EEPROM activated.
*/
#define MAX_JERK 3
#define MAX_ZJERK 3
/** \brief Number of moves we can cache in advance. If you want to cache more, increase this. Especially on
This number of moves can be cached in advance. If you want to cache more, increase this. Especially on
    
```

A continuació cal baixar un tros fins arribar a la opció que ens permet ajustar la temperatura mínima del *Hot End* a la qual el motor del *Cold End* es pot moure. Aquesta mesura de seguretat



```

Repetier Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

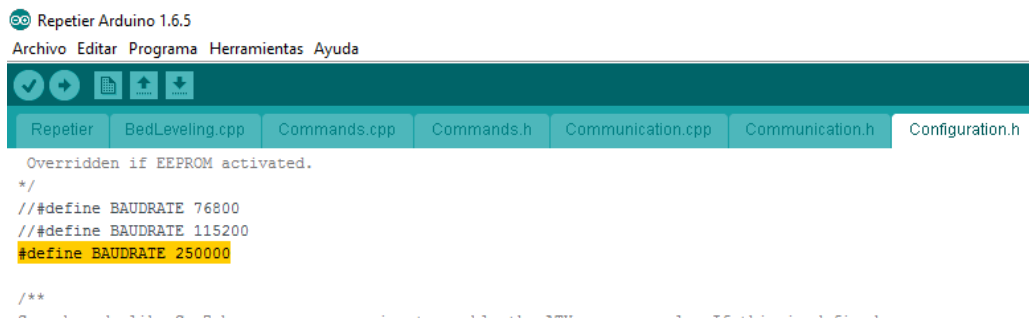
Repetier BedLeveling.cpp Commands.cpp Commands.h Communication.cpp Communication.h Configuration.h

extruder steps are executed. This is to prevent your extruder to move unless the filament
is at least molten. After having some complains that the extruder does not work, I leave
it 0 as default.
*/
#define MIN_EXTRUDER_TEMP 160

/** \brief Enable advance algorithm.
    
```

té com a objectiu prevenir que fem malbé el *Hot End* introduïnt o retirant filament quan aquest està completament sòlid. Vam fixar aquesta temperatura en 160 graus.

Seguidament baixem encara més fins trobar-nos amb la opció que ens permet fixar el *baudrate*, la velocitat amb la que la impressora es comunica amb l'ordinador. Podem deixar el paràmetre per defecte (250000), però cal que el recordem ja que serà important més endavant.



```

Repetier Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Repetier BedLeveling.cpp Commands.cpp Commands.h Communication.cpp Communication.h Configuration.h
Overridden if EEPROM activated.
*/
// #define BAUDRATE 76800
// #define BAUDRATE 115200
#define BAUDRATE 250000
/**

```

Una mica més avall trobem una opció que ens permet activar la memòria EEPROM de l'Arduino. La memòria EEPROM es podria comparar amb un petit calaix que ens permet guardar unes poques variables i que és fàcilment accessible. La memòria EEPROM és molt útil per enmagatzemar paràmetres de la configuració i modificar-los fàcilment sense necessitat de modificar el firmware i tornar-lo a instal·lar a l'Arduino cada cop. Tot i així, com nosaltres ja tenim la configuració ben feta i aquest últim procés no és excessivament pesat, desactivarem l'EEPROM per estalviar-nos el temps que porta introduir tots els paràmetres a la memòria EEPROM per primera vegada.

En aquest moment estem preparats per carregar el firmware a l'Arduino Mega. Aquest procediment és idèntic a quan vam carregar el codi de prova.

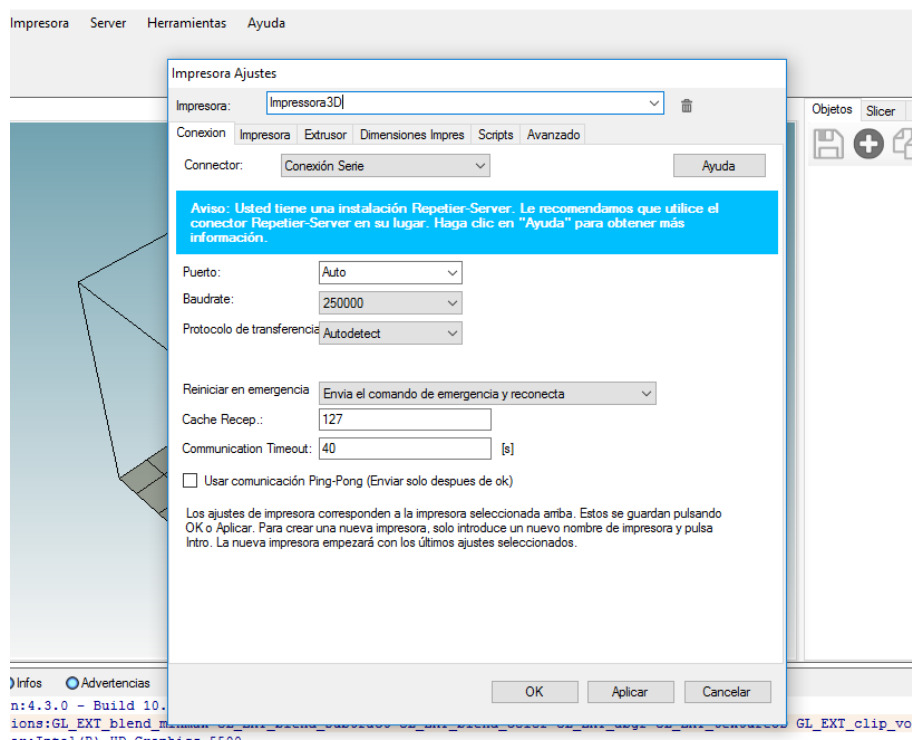
Un cop tenim el *firmware* carregat, procedim a connectar la impressora a l'ordinador. Si recordem el marc teòric sabrem que ens cal un programa que ens permeti dur a terme aquesta funció. D'aquesta manera passem al següent apartat; Configuració de l'emissor de codi-G.

12.2 CONFIGURACIÓ DE L'EMISSOR DE CODI-G

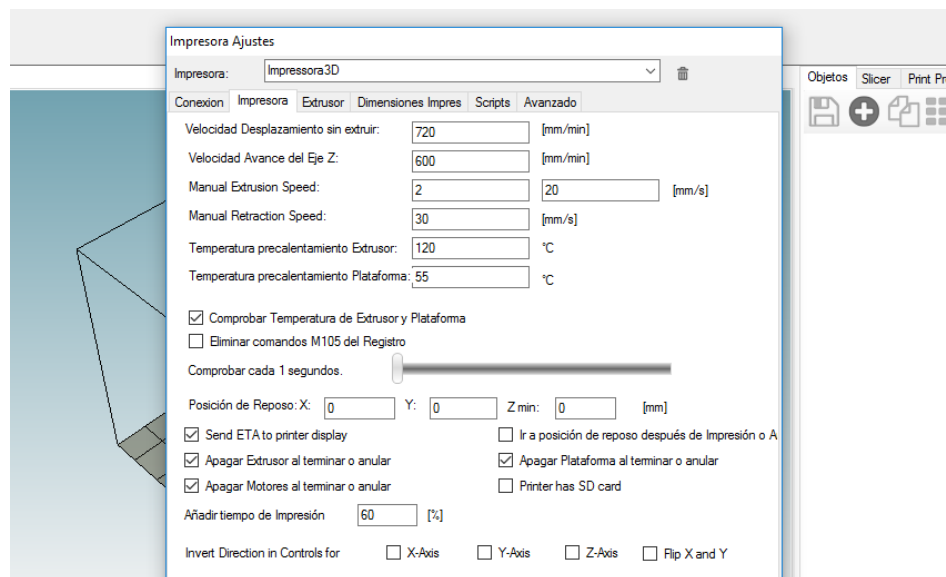
Si recordem el marc teòric, l'emissor de codi-G és el que ens permet connectar la impressora a l'ordinador per tal d'operar-la des d'aquest. Nosaltres vam utilitzar Repetier-Host, creat pels mateixos programadors que Repetier Firmware. D'aquesta manera ens asseguràvem una bona integració entre el firmware i l'emissor de codi-G. Podem descarregar gratuïtament Repetier-Host de la pàgina web de Repetier. La instal·lació és idèntica a qualsevol altre programa. Nosaltres realitzarem la configuració en la versió 1.6.2 de Repetier-Host en castellà.

Un cop instal·lat Repetier-Host procedim a obrir-lo. Com podem veure, al centre de la pantalla tenim representat el *Print Bed* de la impressora amb una peça col·locada que apareix d'aquesta manera el primer cop que obrim el programa. Nosaltres seleccionarem aquesta peça fent clic amb el ratolí i premerem la tecla suprimir. Tot seguit procedirem a configurar la nostra impressora, de manera que anem a la barra superior i busquem la pestanya *Configuración > Configurar Impresora*.

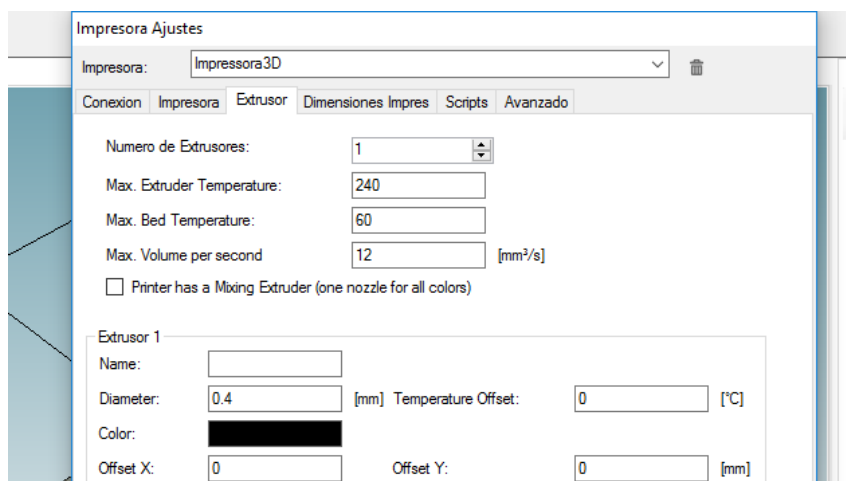
Se'ns obre una finestra. Primer de tot podem escriure on posa *Impresora* a la part superior de la finestra, el nom de la nostra impressora 3D. Més avall trobem el port, que podem deixar en automàtic. També trobem el *baudrate*, i aquí és on necessitarem recordar que havíem deixat l'opció per defecte, 250000, per tant escrivim també el número. La resta de paràmetres podem deixar-los com es troben per defecte.



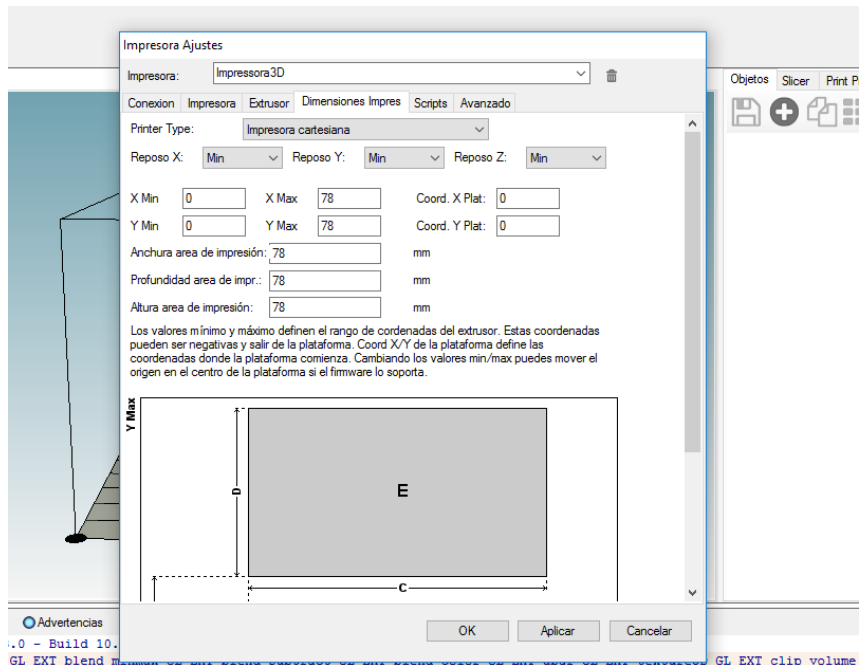
A continuació canviem a la pestanya *Impresora*, situada just sota el quadre que ens permet introduir el nom de la nostra impressora. El primer que ajustarem aquí serà la *Velocidad Desplazamiento sin extruir* a 720mm/min. Ajustem *Velocidad Avance del Eje Z* a 600mm/min. Podem deixar per defecte els dos següents paràmetres, *Manual Extrusion Speed* i *Manual Retraction Speed*. A *temperatura precalentamiento Extrusor* escriurem 120 graus i la següent opció, relativa a l'ús de *Heated Bed* la deixarem per defecte. Tot seguit situarem el botó lliscant de manera que la impressora comprovi la temperatura cada segon. La *Posición de Reposo* serà de 0mm per tots els *Drive Trains*. Deixarem tota la resta d'opcions per defecte a excepció de *Añadir tiempo de Impresión*, que fixarem en un 60%.



Tot seguit passem a la pestanya *Extrusor*, on deixarem el *Número de Extrusores* en 1 i saltarem a la segona opció, *Max. Extruder Temperature*, que fixarem en 240 graus. Deixarem la resta de paràmetres per defecte però canviarem el color de l'extrusor de blau a negre, ja que el nostre filament és de color negre.



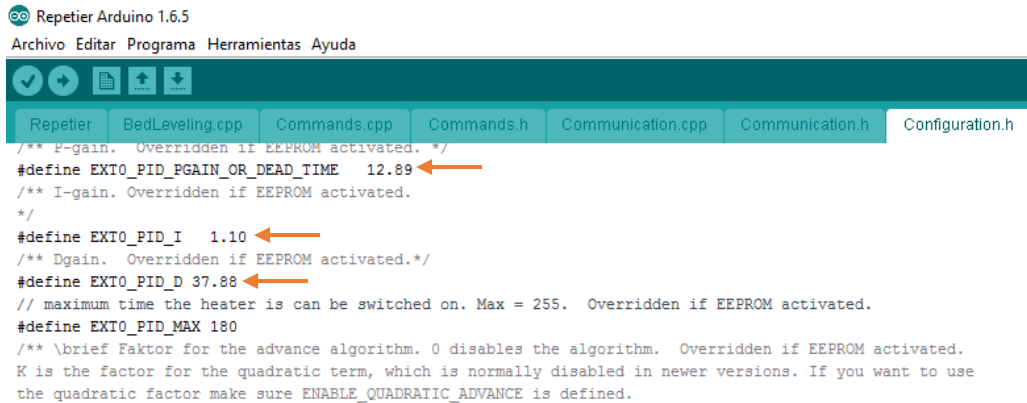
Acabada la pestanya de l'extrusor passem a la de *Dimensiones Impresora*. Deixem per defecte la opció del tipus d'impressora, que ja es troba en cartesiana així com la posició de repòs dels diferents *Drive Trains*. Ajustem això si, fixarem les opcions *X Max* i *Y Max* a 78mm. Fixarem també *Anchura de impresión* a 78mm així com *Profundidad área de impresión* i *Altura área de impresión*. El valor es repeteix ja que algunes impressores poden moure el *Hot End* fora de l'àrea del *Print Bed* per realitzar operacions de manteniment més fàcilment, però no és el nostre cas.



Per últim fem clic a *Aplicar* i seguidament a *OK* i ja podem connectar la impressora al nostre ordinador. Tot i així, si recordem quan configuràvem el firmware vam deixar-nos uns paràmetres del termistor sense configurar. Amb aquest motiu, connectarem el cable USB de la impressora a l'ordinador i clicarem al botó *Conectar* situat de forma ben visible a la part superior esquerra del Repetier-Host. Tot seguit endollarem la impressora i revisarem que l'interruptor de la font d'alimentació estigui activat. Començarem a sentir el soroll del ventilador del *Hot End*. A la part dreta del Repetier Host trobem diverses pestanyes; *Objetos*, *Slicer*, *Print Preview*, etc... Nosaltres anirem a *Control Manual*. Veiem que a la part superior trobem un requadre on podem introduir codi-G manualment. Escrivim *M303 S190 C2*, d'aquesta manera la impressora ens proporcionarà aquells valors indispensables per la configuració del sistema PID. Veurem que la impressora escalfa el *Hot End* i realitza diverses accions. Esperem fins que el procés finalitzi i obtenim tres valors: K_p , K_i i K_d que es mostren en el requadre de la part inferior de la pantalla. Poden variar en cada cas, però els nostres van ser $K_p=12.89$, $K_i=1.10$ i $K_d=37.88$.

Per introduir-los caldrà tornar al *firmware*, de manera que obrim l'Arduino IDE i anem a l'arxiu *Configuration.h*, on baixem fins a situar-nos on es troben els paràmetres del sistema PID. Aquí

introduïm els tres valors de la següent manera: Kp al paràmetre `#define EXT0_PID_PGAIN_OR_DEAD_TIME`, Ki al paràmetre `#define EXT0_PID_I` i Kd al paràmetre `#define EXT0_PID_D` i tornem a carregar el firmware a la impressora. Cal dir que abans de realitzar aquest procés cal desendollar la impressora i desconectar el Repetier-Host, mantenint, això si, el cable USB connectat a l'ordinador.



```
Repetier Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Repetier BedLeveling.cpp Commands.cpp Commands.h Communication.cpp Communication.h Configuration.h
/** P-gain. Overridden if EEPROM activated. */
#define EXT0_PID_PGAIN_OR_DEAD_TIME 12.89
/** I-gain. Overridden if EEPROM activated.
*/
#define EXT0_PID_I 1.10
/** Dgain. Overridden if EEPROM activated.*/
#define EXT0_PID_D 37.88
// maximum time the heater is can be switched on. Max = 255. Overridden if EEPROM activated.
#define EXT0_PID_MAX 180
/** \brief Faktor for the advance algorithm. 0 disables the algorithm. Overridden if EEPROM activated.
K is the factor for the quadratic term, which is normally disabled in newer versions. If you want to use
the quadratic factor make sure ENABLE_QUADRATIC_ADVANCE is defined.
```

D'aquesta manera acabem la configuració del Repetier-Host i dels tres paràmetres que ens faltaven del firmware i ja podem passar al següent apartat, Configuració del creador de codi-G.

12.3 CONFIGURACIÓ DEL CREADOR DE CODI-G

Recordant el marc teòric, el creador de codi-G era aquell programa que ens permetia transformar un model tridimensional elaborat amb un programa informàtic en instruccions per una impressora 3D. En aquest apartat procedirem a configurar aquest programa per tal d'optimitzar-lo tot el que puguem per funcionar amb la nostra impressora 3D.

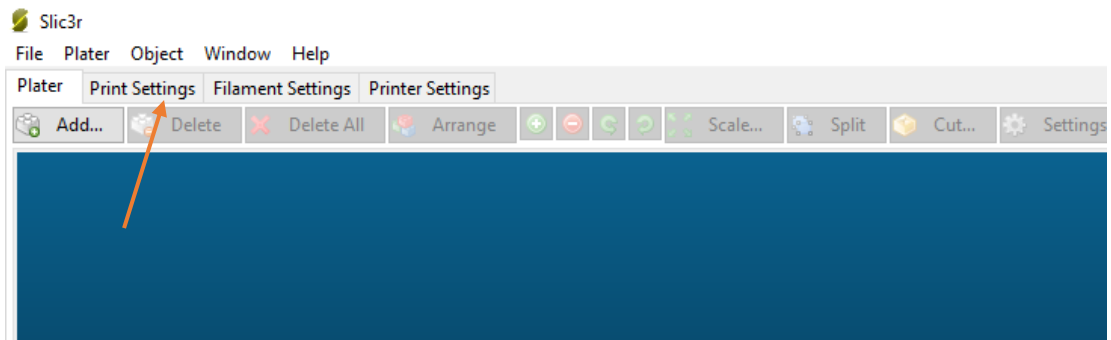
L'elecció del creador de Codi-G va ser molt simple; quan instalem el nostre emissor de codi-G, Repetier-Host, aquest ja descarrega al nostre ordinador dos creadors de codi-G, *Slic3r* i *Cura Engine*, que es troben integrats al Repetier-Host. El Repetier-Host ens permet triar entre els dos. Qualsevol de les dues opcions és vàlida. Nosaltres vam seleccionar *Slic3r*, ja que a diferència de *Cura Engine*, és un programa separat de Repetier-Host (tot i que podem accedir-hi des d'aquest) i això ens permet entendre millor la diferència entre creador de codi-G i emissor de codi-G. Nosaltres tenim la versió 1.2.9 i farem la configuració amb el programa en anglès.

D'aquesta manera per accedir a la configuració d'*Slic3r* obrim el Repetier-Host i buscarem a les pestanyes de la part dreta de la pantalla la que s'anomena *Slicer*. En aquesta pestanya comprovem que tenim *Slic3r* definit com a creador de codi-G i cliquem al botó *Configuration*.

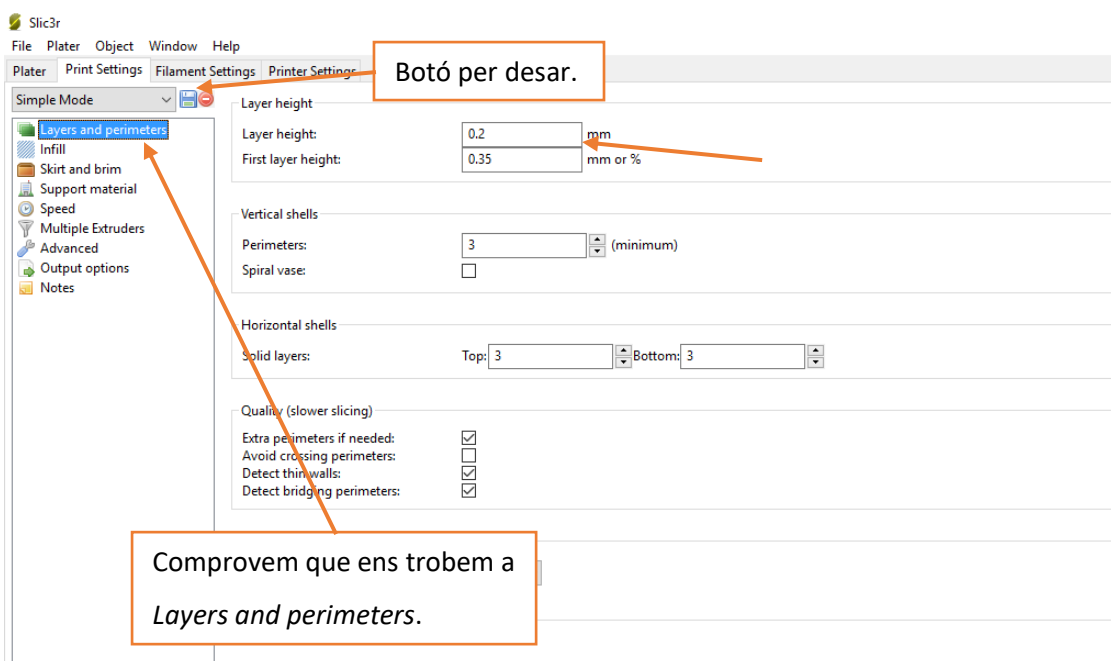


Tot seguit se'ns obrirà el programa *Slic3r*. El primer que farem serà obrir la opció *File>Preferences* i canviarem el paràmetre *Mode* de *Simple* a *Expert*. Degut a que la nostra impressora és molt particular i no s'assembla a cap altre impressora del mercat, necessitem ajustar diversos paràmetres que es troben en el mode *Expert* per garantir una impressió satisfactòria.

Havent realitzat aquesta acció, vam procedir a iniciar la configuració pròpiament dita. A la part superior de Slic3r hi ha diverses pestanyes; *Plater*, *Print settings*, *Filament settings*, etc... Buscarem la pestanya *Print settings* i la seleccionarem.

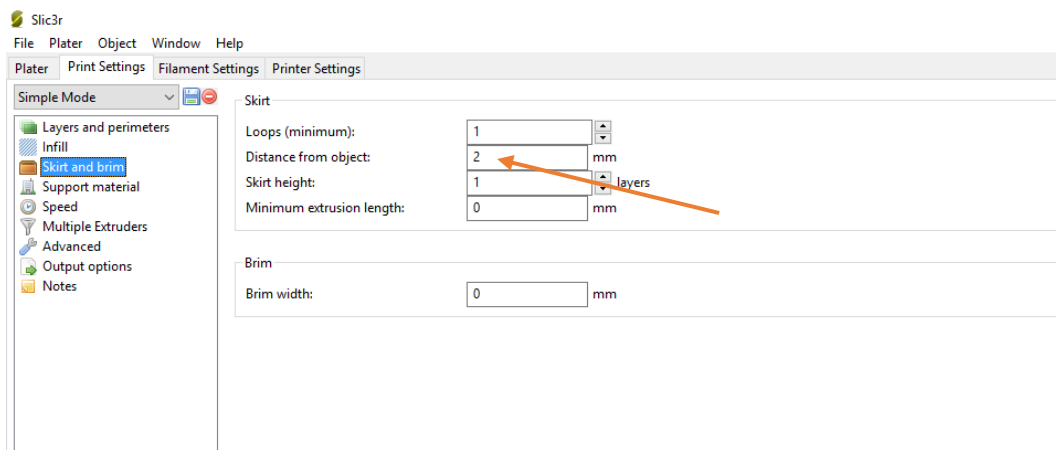


En la nova pantalla observem els paràmetres que podem observar en el centre i al marge esquerre veiem que hi ha diferents grups que podem seleccionar als quals s'ordenen totes les opcions per temes; velocitat, capes i perímetres, material de suport, etc... Hem de comprovar que ens trobem a la primera opció, *Layers and Perimeters*. De totes les opcions que trobem a l'apartat *Layers and Perimeters* només canviarem *Layer Height*, l'altura de les capes que farà la impressora per crear les peces. Vam fixar-la en 0.2mm, ja que vam arribar a la conclusió després de diferents proves que era el millor equilibri entre qualitat i temps d'impressió, ja que quan més fines siguin les capes, més capes haurà de fer la impressora per imprimir un objecte i més trigarà. Tot seguit fem clic al botó per desar que es troba a la part esquerra de la pantalla al costat d'un quadre on hi ha escrit Simple Mode.



A continuació passarem de *Layers and perimeters* a *Skirt and brim*, omitint l'apartat *Infill*, que deixarem amb la configuració per defecte, ja que vam comprovar que era prou bona.

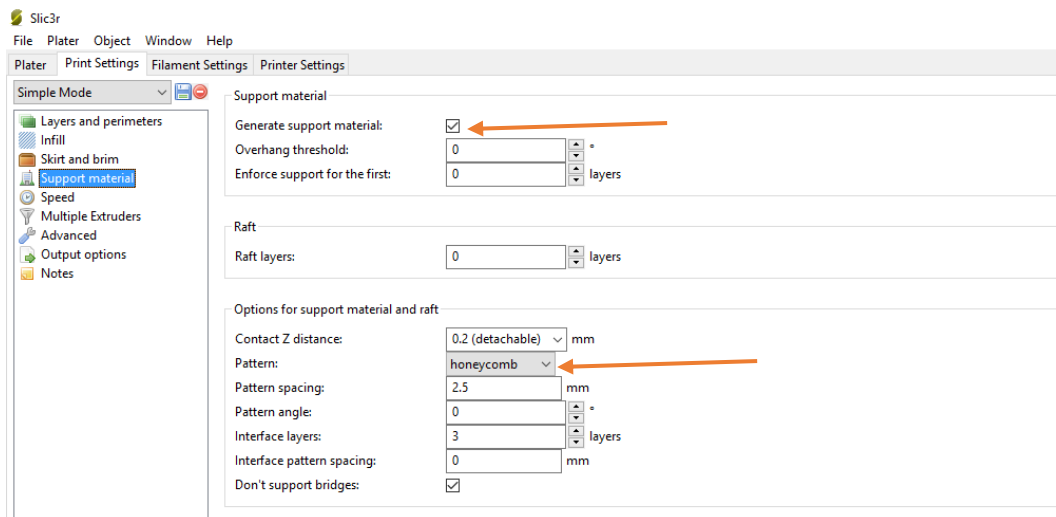
En aquest apartat només ajustarem el paràmetre *Distance from object*, que situarem en 2mm. Molts creadors de codi-G fan que la impressora imprimeixi una línia de filament equidistant uns mil·límetres de la peça que crearà al iniciar la impressió per tal de netejar la punta del *Nozzle* abans de començar a constituir l'objecte que imprimirà. Per defecte aquesta distància es trobava a 6mm, però tenint en compte la mida reduïda de la nostra impressora ens convé aprofitar espai, motiu pel qual vam reajustar-la a 2mm. Un cop introduït el nou valor tornem a clicar el botó de desar.



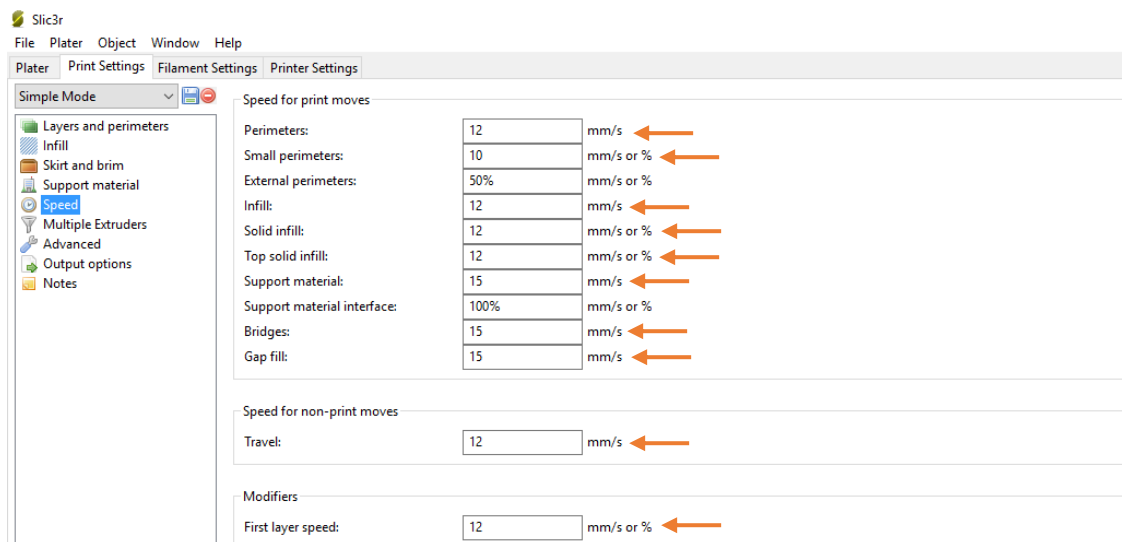
Tot seguit passem a l'apartat *Support material*, on activarem la opció *Generate Support Material*. Per imprimir, la impressora normalment disposa plàstic fos sobre una altra capa de plàstic ja existent o sobre el *Print Bed* directament, però quan ha de crear formes complexes com sortints o cares inclinades cap a fora, el plàstic que la impressora disposa no es pot recolzar enlloc. El material de suport, o les estructures de suport tenen l'objectiu d'ajudar a crear aquestes formes formant punts de recolzament pel plàstic. Un cop acabada la impressió es poden treure fàcilment ja que són especialment generades amb aquest propòsit.

Cambiarem també la opció *Pattern*, on seleccionarem *Honeycomb*. La opció *Pattern* es refereix al patró amb el qual es generaran les estructures de suport. Vam comprovar que el patró *Honeycomb* era més fàcil de retirar que la opció per defecte al acabar la impressió. Un cop introduïts els nous valors cliquem de nou al botó per desar.

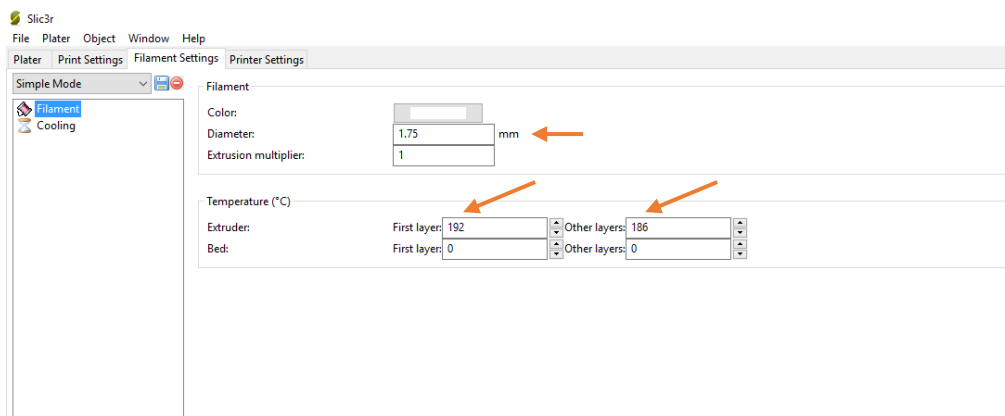
A la següent pàgina veiem una imatge on s'observen aquests canvis.



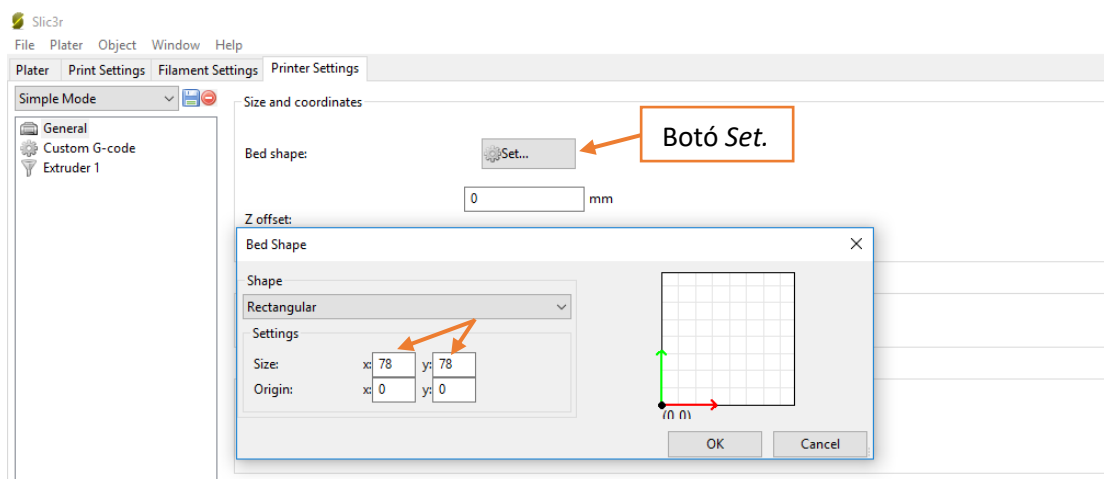
Seguidament vam passar a l'apartat *Speed*. Vam configurar aquest apartat amb unes velocitats que per qualsevol impressora es considerarien molt baixes. Tot i així, després de moltes proves vam comprovar que eren les velocitats màximes amb les quals podíem obtenir una bona qualitat d'impressió sense forçar excessivament els motors. D'aquesta manera vam fixar en 12mm/s els paràmetres *Perimeters*, *Infill*, *Solid infill*, *Top solid infill*, *Travel* i *First layer speed*. Vam fixar en 15mm/s els paràmetres *Bridges* i *Gap fill*. Per últim vam limitar a 10mm/s el paràmetre *Small perimeters*. Vam deixar la resta de paràmetres per defecte. Un cop vam acabar vam clicar de nou al botó per desar.



Aquests últims paràmetres van ser els últims que vam ajustar de la pestanya *Print Settings*, vam deixar la resta per defecte. A continuació vam passar a la pestanya *Filament Settings*, apartat *Filament*. Aquí vam ajustar el paràmetre *Diameter*, que fa referència al diàmetre del nostre filament a 1.75mm. Vam ajustar també *First Layer*, referent a la temperatura a la que s'imprimeix la primera capa, a 192 graus. La primera capa sol imprimir-se a major temperatura ja que d'aquesta manera ens assegurem una major adhesió contra el *Printbed*. El paràmetre *Other Layers*, referent a la temperatura per la resta de capes el vam fixar en 186 graus. Un cop introduïts els nous paràmetres cal clicar al botó per desar.

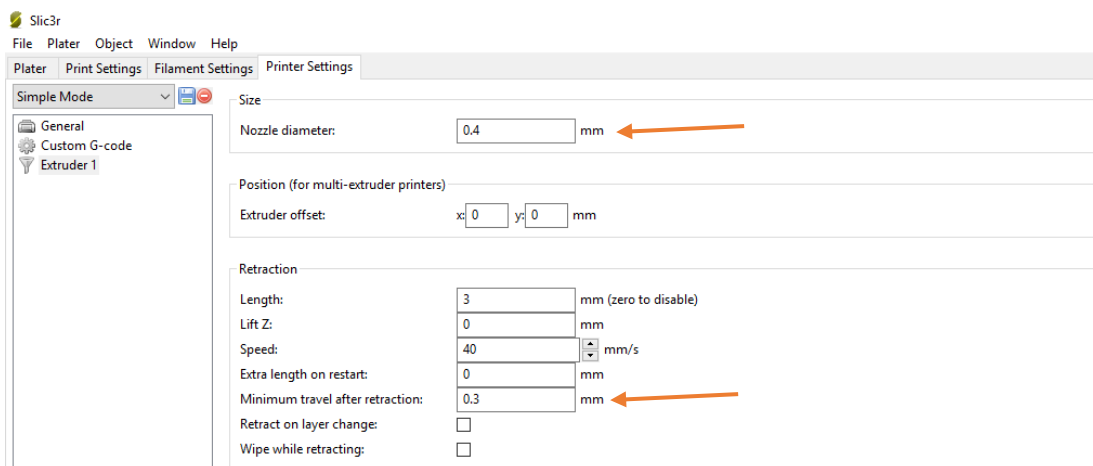


D'aquesta manera acabem amb la configuració de la pestanya *Filament Settings* i passem a la última; *Printer Settings*. Començarem per l'apartat *General*. Només canviarem el paràmetre *Bed Shape*. Amb aquest objectiu fem clic al botó *Set* i a la finestra que se'ns obre fixem en 78mm les opcions *x* i *y* del paràmetre *Size*. Tot seguit cliquem a *OK* i al botó per desar.



Per acabar amb la configuració d'Slic3r l'últim que farem serà passar a l'apartat *Extruder-1*. En aquest apartat ajustarem el paràmetre *Nozzle Diameter*, referent al diàmetre del forat del *Nozzle* pel qual surt el filament. Si consultem la pàgina d'E3D veurem que és de 0.4mm, de

manera que introduïm aquest valor. Tot seguit fixem en 3mm el paràmetre *Length*, referent a la longitud de filament que la impressora retira del *Hot End* quan ha de fer una Retracció. Quan la impressora imprimeix una peça el *Hot End* sovint ha de saltar d'un punt a un altre de la zona d'impressió en una mateixa capa per dipositar plàstic en un altre punt de la peça desconnectat de la resta. El problema és que molt sovint el *Hot End* goteja plàstic mentre realitza aquesta acció, compromentent la qualitat de la peça. Per aquesta raó cada cop que el *Hot End* ha de saltar d'un punt a un altre d'aquesta manera, el *Cold End* retira uns mil·límetres de filament del *Hot End* per evitar el goteig. Nosaltres vam ajustar aquest valor a 3mm, la longitud justa per evitar el goteig, ja que retirar massa plàstic pot causar obstruccions en el *Hot End*. El següent paràmetre que vam canviar va ser *Minimum travel length after retraction*. Aquest paràmetre fa referència a la distància mínima que ha de saltar el *Hot End* per tal d'efectuar una retracció. A vegades si la distància que el *Hot End* ha de saltar és molt curta, no passa res si goteja una mica de plàstic. Tot i així, el nostre *Hot End* gotejava bastant, de manera que ens interessava fer una Retracció sempre que fos possible. D'aquesta manera vam fixar el valor en 0,3mm.

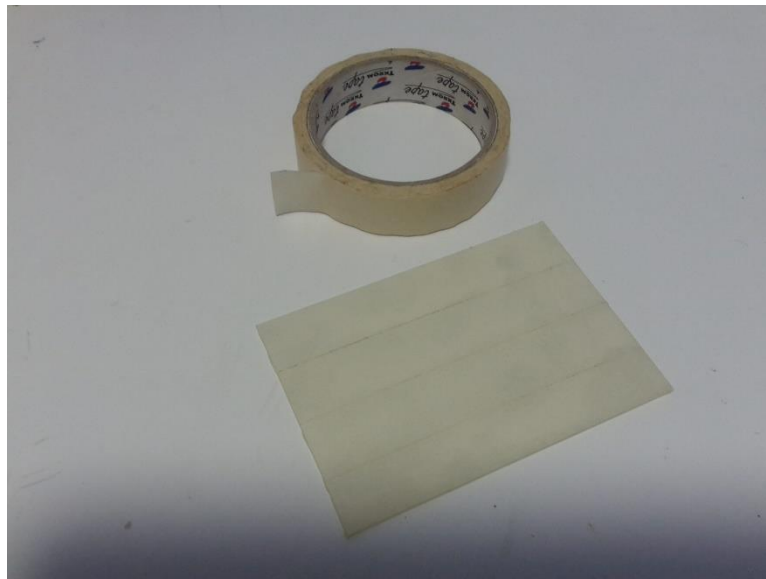


En aquest punt finalitza la configuració i tot el procés de construcció i de disseny de la nostra impressora 3D. Al següent apartat expliquem el procediment que cal seguir per imprimir una peça.

13 PROCEDIMENT D'IMPRESSIÓ

En aquest apartat explicarem tot el procediment que cal dur a terme per poder imprimir una peça. Explicarem el procés com si fos la primera vegada que imprimim, per aquest motiu, explicarem procediments que només cal dur a terme quan imprimim per primera vegada o molt de tant en tant.

El primer que farem es preparar el *Print Bed*. Tenim el nostre vidre, però hem de cobrir-lo amb cinta adhesiva de pintor. D'aquesta manera enganxarem trossos de cinta paral·lelament fins que tot el vidre quedi cobert, com s'observa a la imatge següent. És molt important que no quedin espais entre les diferents tires de cinta, ja que perjudicaran la qualitat d'impressió. Per això, el millor és comptar amb una cinta ampla, de manera que haguem d'enganxar els mínims trossos paral·lels possibles i així reduir les possibilitats de que quedin espais buits. Aquest procediment només cal dur-lo a terme molt de tant en tant, quan després de diverses impressions, la cinta adhesiva s'hagi desgastat massa i deixi el vidre al descobert.

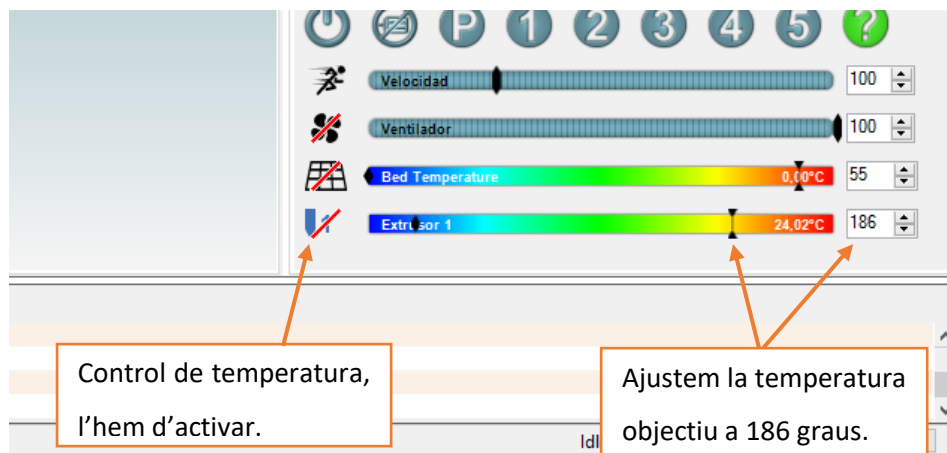


A continuació ja podem connectar la impressora al nostre ordinador pel cable USB. Obrirem el Repetier-Host i farem clic al botó *Conectar*, al marge superior esquerre de la pantalla com es veu a la imatge següent.



Un cop l'ordinador i la impressora s'hagin connectat podem connectar la impressora a la corrent. És important que l'interruptor de la font d'alimentació estigui activat, o la font no s'encendrà. Aleshores començarem a sentir el soroll del ventilador del *Hot End* que ens indicarà que tot va bé.

Ara hem d'introduir el filament pel tub *Bowden* fins al *Hot End*. D'aquesta manera al Repetier-Host, a la pestanya *Control Manual* desplaçarem el marcador de la temperatura fins a 186 graus (tal com s'indica a la imatge) i farem clic al botó de control de temperatura, on apareix dibuixat un *Nozzle* i que està desactivat. A la imatge següent veiem més clarament on es troben els botons dels que parlem.

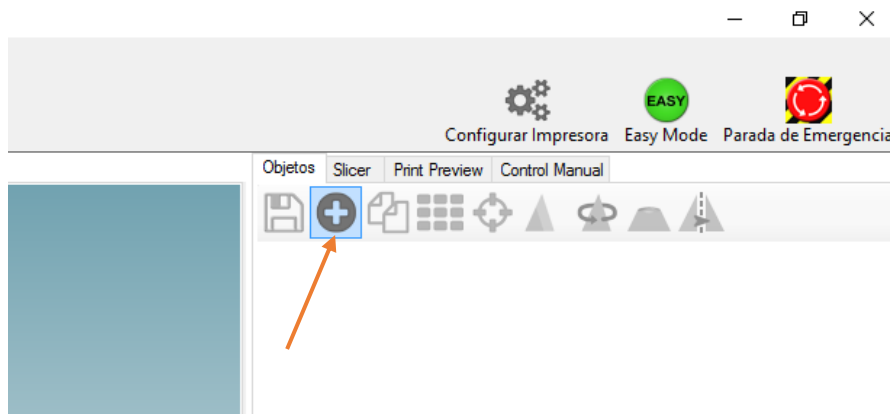


Veurem com el Repetier-Host ens indica que la temperatura va pujant. Quan s'estabilitzi a 186 graus introduïm una mica de filament manualment pel *Cold End* a l'interior del tub *Bowden* i tot seguit escrivim `G1 E20` en el requadre per enviar el codi-G que indica al *Cold-End* que introdueixi 20mm de filament al *Hot End*. Anem enviant el codi fins que el plàstic fos comenci a sortir per la punta del *Nozzle*. En aquest moment desactivem el botó de control de la temperatura del *Hot End* que abans havíem activat de manera que aquest s'anirà refredant de mica en mica. Cal retirar amb l'ajut d'unes pinces o similar tot el filament que vagi sortint pel *Nozzle* a mesura que aquest es refreda, ja que si no ens quedarà un munt de filament sec penjant que ens molestarà molt en futures impressions.

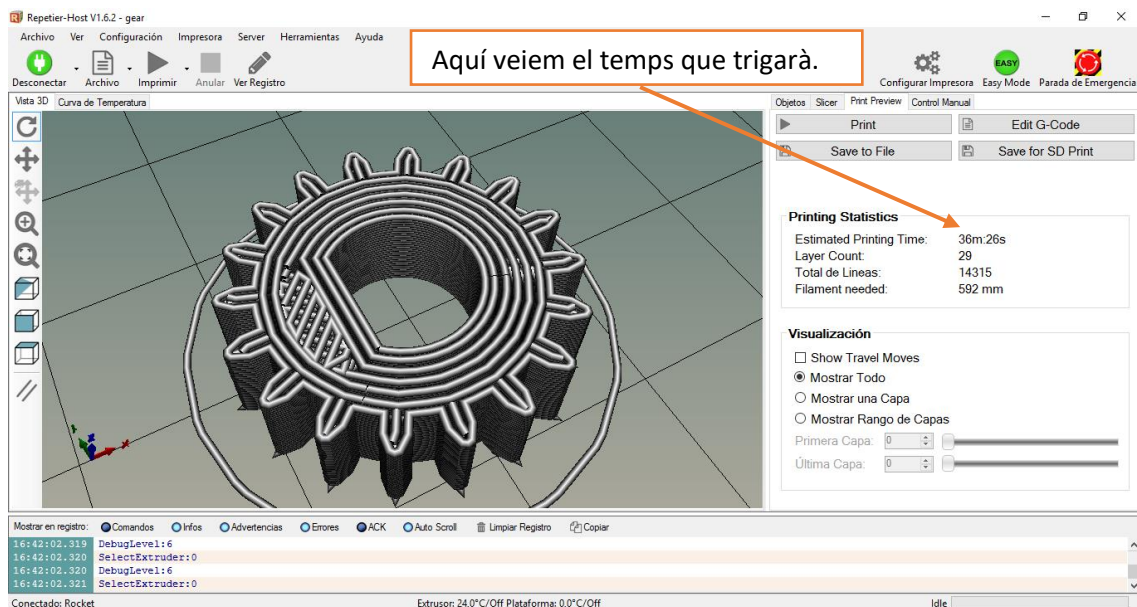
Quan el *Hot End* es refreda del tot, el filament queda sec al seu interior i no es pot extreure. Més endavant explicarem com es duu a terme aquesta acció. Introduir el filament pot semblar un procés complex i pesat, però després de fer-ho unes poques vegades es torna molt simple i ràpid, de manera que en menys de cinc minuts podem tenir-lo enllestit. Tot i així, aquest procediment no necessàriament s'ha de dur sempre a terme quan volem imprimir. Si quan

guardem la impressora deixem el filament introduït, no cal realitzar tot aquest procediment cada cop.

En aquests moments ja estem llestos per imprimir. El primer que hem de fer és tenir la nostra peça en format STL. Nosaltres utilitzarem un petit engranatge com a exemple. A *Repetier-Host* anem a la pestanya *Objetos* i fem clic al botó +, tal com s'indica a la imatge següent. A continuació obrim el nostre arxiu STL, que apareixerà en la representació virtual del *Print Bed* que veiem al centre del *Repetier-Host*.

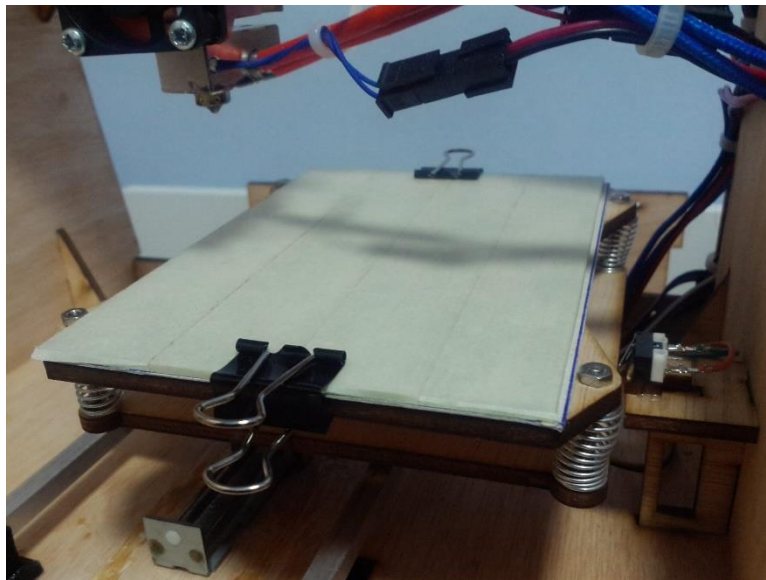


Tot seguit anem a la pestanya *Slicer* de *Repetier-Host* i fem clic a *Slice con Slic3r*. Veurem que *Repetier-Host* ens porta a la pestanya *Print Preview* i ens mostra el recorregut que farà la impressora i la forma com dipositarà el plàstic per elaborar la peça. En aquesta pestanya disposem de diferents opcions per observar cadascuna de les capes que farà, tal com veiem a la següent imatge.

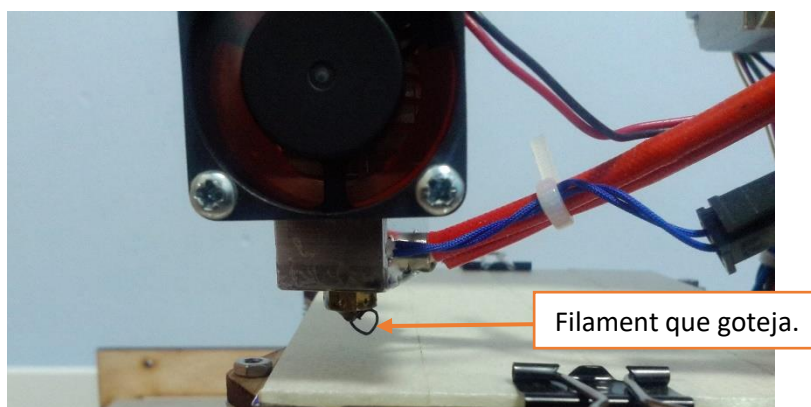


A continuació podem fer clic al botó *Print*. És important que quan ho fem encara no haguem col·locat el vidre del *Print Bed* al seu lloc. Veurem com la impressora ordena primerament un *homing* a tots els motors. A vegades, el motor de l'eix Z no té força per activar el final de carrera i cal ajudar-lo una mica amb la mà.

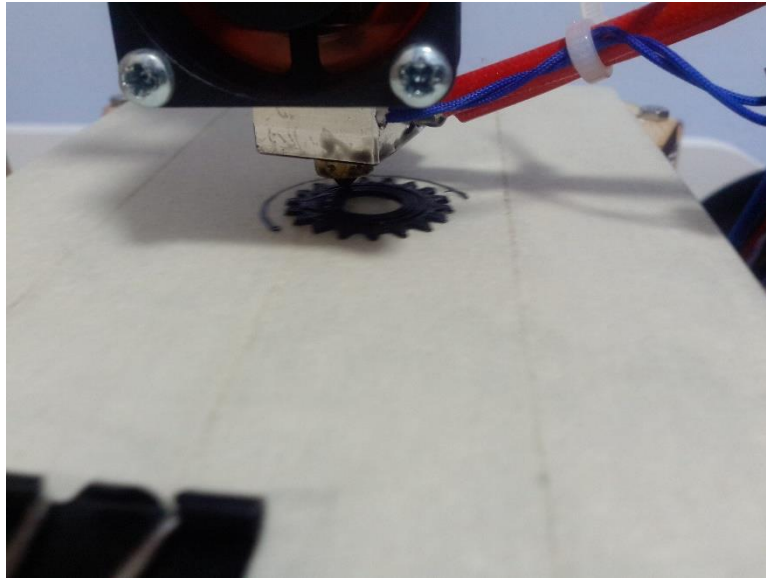
Veurem que un cop realitzat el *homing* general el *Hot-End* s'aixeca uns mil·límetres en l'eix Z i comença a escalfar-se. Ara ja podem col·locar el vidre del *Print Bed* al seu lloc i el subjectem amb dues pinces, una per davant i una per darrere. Hem de recordar que el *Hot End* s'està escalfant així que hem d'anar amb compte. És important que no ens entretinguem massa durant aquesta operació o el *Hot End* arribarà a la temperatura d'impressió i començarà a imprimir sense que el *Print Bed* estigui ben col·locat.



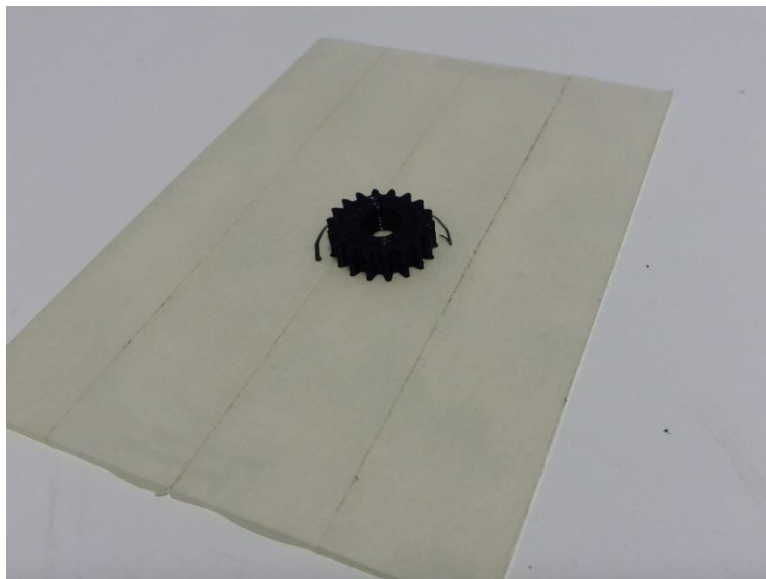
Un cop el *Print Bed* ja estigui fixat ens hem de fixar en la temperatura del *Hot-End*. Tot i que la impressora ordena una retracció quan aquest arriba als 170 graus per evitar que gotegi filament, a vegades segueix caient una mica. Amb ajut d'unes pinces el podem anar retirant.



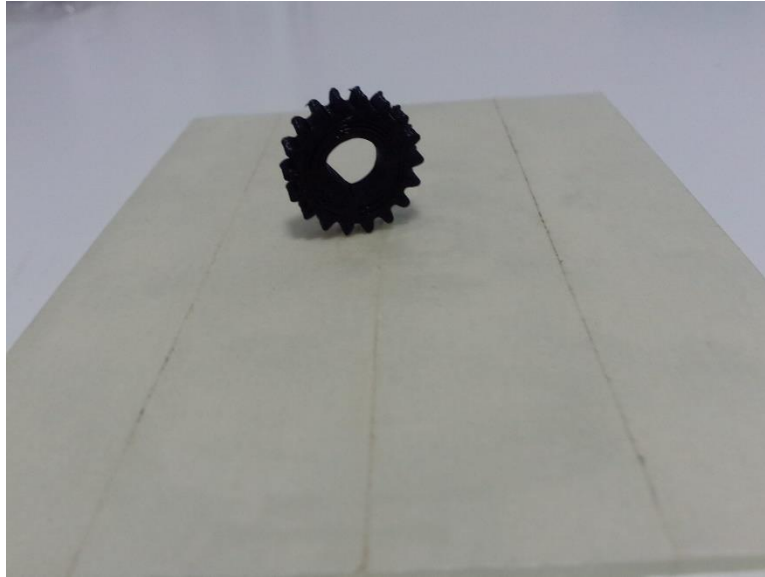
Quan el *Hot End* arriba als 192 graus comença a imprimir. En aquest moment podem deixar la impressora tranquil·la fins que la impressió acabi.



Un cop la impressió finalitza la impressora ordena un *homing* de l'eix X i desactiva la resistència elèctrica del *Hot End* de manera que aquest es va refredant. És important controlar-lo fins que baixi dels 160 graus (cosa que no porta més de mig minut) ja que encara pot gotejar plàstic i cal anar retirant-lo del *Nozzle*. Un cop el *Hot End* ha baixat dels 160 graus ja podem retirar el *Print Bed* amb cura de no tocar el *Hot End*.



Quan retirem el *Print Bed* agafem la peça i fem una mica de força cap als costats per desenganxar-la. Amb l'ajut d'una targeta o similar retirem les restes de filament que hagin quedat al *Print Bed*. D'aquesta manera ja tenim la nostra peça impresa. En el nostre engranatge no va fer falta, però si la impressora ha generat estructures de suport ara cal retirar-les amb l'ajuda d'uns alicates o similar.



Arribats a aquest moment, el *Hot End* ja s'haurà refredat considerablement i podem desendollar la impressora de la corrent. Per últim fem clic al botó *Desconnectar* del *Repetier-Host* i desconnectem el cable USB de l'ordinador.

En el cas de voler guardar la impressora sense el filament introduït al *Hot-End*, en lloc de desconnectar-la, primerament caldria tornar a escalfar el *Hot-End* a 186 graus de la mateixa manera com quan l'hem introduït i estirem manualment del filament per treure'l del *Hot-End* i del tub *Bowden*. Ara ja podem refredar el *Hot-End* de nou i desconnectar la impressora

14 CONCLUSIONS

- Construir una impressora 3D FDM d'ús domèstic és factible i està a l'abast de tothom.
- El procés de construcció és laboriós, però no difícil. Només calen uns alicates i un tornavís i no cal soldar un cop ja s'han tallat les peces.
- El cost de fabricació d'una impressora FDM dissenyant-la nosaltres mateixos o copiant un disseny ja existent és relativament baix (inferior a 200 euros).
- La informació necessària per dur a terme un projecte com aquest és fàcil de trobar a internet i existeixen multitud de fòrums on podem buscar consell d'altres usuaris i dissenyadors d'impressores 3D.
- Els components són fàcils de trobar i adquirir per internet. Tanmateix existeixen diverses botigues físiques a la nostra ciutat dedicades a la impressió 3D.
- Per dissenyar una impressora 3D per nosaltres mateixos es requereixen coneixements mitjans de programes de disseny. Tot i així, per internet podem trobar moltíssims dissenys d'impressores que podem descarregar de forma totalment gratuïta com les impressores del projecte RepRap. Això facilita el procés de construcció a persones sense coneixements de programes CAD.
- Dissenyar una impressora un mateix és la forma més difícil i laboriosa d'aconseguir-la però és la millor forma d'adquirir coneixements en el món de la impressió 3D.
- Una impressora 3D domèstica permet crear de manera fàcil i econòmica objectes per a un ús quotidià com sivelles per motxilles, tiradors, recipients diversos, taps, taps per als endolls, cargols, suports de tot tipus, marcs de fotografies, clauers, etc... de manera personalitzada per a les nostres necessitats.
- Hem apreciat que el món de la impressió 3D FDM en general és molt obert, col·laboratiu i democràtic. A internet es poden trobar multitud d'eines, programes i dissenys de forma gratuïta així com molts fòrums d'ajuda on podem plantejar o respondre qüestions d'altres usuaris.

En quant a la selecció de components i materials les conclusions principals que hem extret de la feina realitzada són:

- La fusta és un bon material per fer la carcassa ja que és econòmic i fàcil de treballar. La decisió d'utilitzar dos gruixos diferents va ser encertada. La fusta de 4mm era lleugera i manejable per les peces més petites i la fusta de 6mm donava rigidesa i robustesa a la carcassa. Tot i així, vam tenir problemes per trobar aquests gruixos i seria més fàcil i

econòmic i possiblement igual d'eficaç utilitzar uns gruixos de 3mm i 5mm, ja que són més habituals a les botigues de bricolatge.

- El tall làser és completament indispensable per construir una impressora 3D amb fusta (i també metacrilat). Sense ell no hagués estat possible elaborar les peces amb la suficient precisió i en tan poc temps. El cost extra que això suposa queda totalment compensat pels avantatges.
- Els motors utilitzats condicionen una velocitat d'impressió baixa, si es vol una impressora amb majors prestacions cal invertir més en uns motors més potents i una altra estructura dels *Drive Trains*. Tot i així, al ser una impressora amb finalitat no comercial la lentitud d'impressió no és un gran inconvenient. El fet de fer funcionar els motors durant molt de temps sense interrupció no comporta problemes, ja que els vam ajustar de manera que no s'escalfessin en excés.
- És fonamental invertir en un *Hot End* legítim i de qualitat ja que és el component clau i el més complex de la impressora, i de fet és el que imprimeix així que no pot fallar. El *Hot End* que vam adquirir nosaltres, l'E3D-lite6 ha resultat molt fàcil d'utilitzar, va funcionar perfectament a la primera i no ha donat cap problema.
- El *Cold-End* MK8, tot i la seva simplicitat i baix preu, que en un primer moment podrien fer-nos pensar que tingués un rendiment dubtós ha resultat funcionar perfectament.
- La combinació de vidre i cinta adhesiva de pintor pel *Print Bed*, tot i la seva extremada simplicitat proporciona una gran adhesió del plàstic i té un preu molt reduït. La decisió de fer que es pogués posar i treure així com la subjecció per mitjà de pinces va ser bona, ja que permetia retirar tot el conjunt amb la peça impresa per tal de desenganxar-la del *Print Bed* molt fàcilment.

En quant a les decisions preses durant la fase del disseny i el redisseny les principals conclusions que extraïem són:

- El sistema de patins que vam utilitzar per compensar el fet de que la peça lliscant dels motors ballés va funcionar molt bé al *Drive Train Z*, tot i així no va resultar la millor opció per l'X i l'Y. Un sistema similar al que vam utilitzar en la millora de l'eix Y amb peces impreses per la pròpia impressora seria una millor alternativa.
- La decisió d'utilitzar un sistema d'anivellat va ser bona, ja que ens va permetre pujar tot el *Print Bed* quan vam redissenyar el *Drive Train Z* (ja que el *Hot End* ens va quedar més amunt) i va permetre regular la inclinació d'aquest fins a situar-lo perfectament horitzontal.

- Els diversos forats que vam fer a la carcassa per passar els cables han resultat ser molt pràctics i han permès ordenar-los de manera que queden molt recollits. Els cables poden semblar secundaris, però és molt important que durant el disseny pensem per on aniran, i això és aplicable a qualsevol altre projecte.
- La organització i distribució dels components en la impressora en general ha permès que aquesta sigui bastant compacta i quedi tot recollit. Tot i així, si es comparen les seves dimensions externes amb el seu volum d'impressió és una impressora que desaprofita molt d'espai en comparació amb dissenys professionals com la *TinyBoy*.
- La decisió de no construir un suport per al filament no ha causat cap inconvenient, ja que hem comprovat que aquest és innecessari per al tipus de peces que imprimeix la nostra impressora.

En quant a les decisions preses durant la fase de construcció i configuració del software les principals conclusions que extraïem són:

- El fet d'haver dissenyat les peces de la carcassa amb dents per poder-les encaixar facilita enormement la construcció de la impressora i en molts punts no ha calgut utilitzar cola per mantenir les peces fixes.
- És fonamental ser molt curosos i procurar que les peces quedin sempre encaixades i muntades amb la màxima precisió possible, la precisió és clau en una impressora 3D.
- La lubricació dels motors i de la peça lliscant és molt important, uns motors poc lubricats fan molt soroll i es desgasten molt. D'aquesta manera és important escoltar el soroll que fa la impressora, ja que ens permet detectar molts problemes.
- La configuració del *firmware* és complexa si, com en el nostre cas, és la primera vegada que ho fem, ja que no hi ha gaire informació detallada sobre els diferents paràmetres. A nosaltres ens va costar descobrir el propòsit de cadascun d'aquests, cosa que vam haver de fer per explicar la configuració en l'apartat corresponent així com per discernir quins cal canviar i quins es poden deixar per defecte. Tot i així, sabent el que hem de fer exactament és un procés molt simple.
- Existeixen multitud de programes i *firmwares* per impressores 3D de forma gratuïta a internet com els que vam utilitzar nosaltres que funcionen molt bé. En el nostre cas, tant Repetier-Host i Slic3r van resultar molt intuïtius per utilitzar-los i configurar-los i quasi no va caldre fer recerca per esbrinar com funcionaven.

En quant al funcionament de la impressora les principals conclusions que extraïem són:

- La impressora és fàcil d'utilitzar i es pot tenir preparada per imprimir en deu minuts.
- Variacions molt petites en la temperatura a la qual s'extrudeix el plàstic poden afectar considerablement la qualitat d'impressió. Cal ajustar-la amb molta cura.
- La impressora té tendència a desviar-se cap a un costat en l'eix X a mesura que imprimeix, de manera que les peces queden lleugerament inclinades. La causa és indubtablement el sistema de patins. El problema es podria millorar amb peces impreses per la pròpia impressora.

En quant a la organització del treball la principal conclusió és que les coses no surten mai com les esperem, cal planificar la feina amb molt de marge ja que quasi sempre tot portarà més temps del que havíem pensat. El mateix passa amb el cost, sempre cal esperar que les coses no ens sortiran bé a la primera i que probablement haurem de gastar-nos més diners per solucionar-les.

En quant a futures millores de la impressora les principals conclusions són:

- La impressora es pot millorar amb peces impreses amb la pròpia impressora, com a l'exemple que vam fer per l'eix Y. Això sumat a una major optimització del firmware pot millorar considerablement la qualitat d'impressió.
- La majoria dels components d'aquesta impressora (tots menys els motors i la carcassa) es poden aprofitar per construir una impressora amb més prestacions, de manera que el cost de la millora seria reduït. A més, podem imprimir peces que ens serviran per la impressora amb més prestacions.

15 BIBLIOGRAFIA

[1]R. Dehue, P. Strikwerda, B. Sinclair, S. Touw, R. Mahony and A. Arora, "What is 3D printing? How does 3D printing work?", 3D Printing, 2016. [Online]. Disponible a:

<http://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>. [Accés: 23- Feb- 2016].

[2]B. Krassenstein, "What is 3D Printing & How Do 3D Printers Work? -- A Guide", 3DPrint.com, 2015. [Online]. Disponible a: <http://3dprint.com/82272/what-3d-printing-works/>. [Accés: 25- Feb- 2016].

[3]"Types of 3D printers or 3D printing technologies overview | 3D Printing from scratch", 3D Printing from scratch, 2015. [Online]. Disponible a: <http://3dprintingfromscratch.com/common/types-of-3d-printers-or-3d-printing-technologies-overview/>. [Accés: 02- Mar- 2016].

[4]"The Free Beginner's Guide - Processes", 3D Printing Industry, 2016. [Online]. Disponible a: <http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/processes/>. [Accés: 05- Mar- 2016].

[5]2016. [Online]. Disponible a: <http://www.sculpteo.com/es/impresion-3d/3d-printing-technologies-es/>. [Accés: 05- Mar- 2016].

[6]"\$2,499 MoonRay UV DLP 3D Printer Launches on Kickstarter", 3ders.org, 2015. [Online]. Disponible a: <http://www.3ders.org/articles/20150428-moonray-uv-dlp-3d-printer-launches-on-kickstarter.html>. [Accés: 06- Mar- 2016].

[7]"PolyJet Technology | Stratasys", Stratasys.com, 2016. [Online]. Disponible a: <http://www.stratasys.com/3d-printers/technologies/polyjet-technology>. [Accés: 06- Mar- 2016].

[8]S. Bild, "SLA vs. PolyJet [Technology Review]", Blog.trimech.com, 2015. [Online]. Disponible a: <http://blog.trimech.com/sla-vs-polyjet-technology-review>. [Accés: 08- Mar- 2016].

[9]"What is MJP (MultiJet Printing)?", 3D Systems, 2013. [Online]. Disponible a: <http://es.3dsystems.com/resources/information-guides/multi-jet-printing/mjp>. [Accés: 08- Mar- 2016].

[10]"PolyJet Technology | Stratasys", Stratasys.com, 2016. [Online]. Disponible a: <http://www.stratasys.com/3d-printers/technologies/polyjet-technology>. [Accés: 08- Mar- 2016].

[11]"Digital Light Processing rapid prototyping DLP 3D Print Services", 3dprinterpro.com, 2016. [Online]. Disponible a: <http://www.3dprinterpro.com/digital-light-processing/>. [Accés: 09- Mar- 2016].

[12]"Selective laser sintering", Wikipedia, 2016. [Online]. Disponible a: https://en.wikipedia.org/wiki/Selective_laser_sintering. [Accés: 09- Mar- 2016].

[13]"What is Selective Laser Sintering?", Live Science, 2013. [Online]. Disponible a: <http://www.livescience.com/38862-selective-laser-sintering.html>. [Accés: 09- Mar- 2016].

[14]"Selective Laser Sintering (SLS)", 3D Systems, 2013. [Online]. Disponible a: <http://www.3dsystems.com/quickparts/prototyping-pre-production/selective-laser-sintering-sls>. [Accés: 10- Mar- 2016].

[15]"Electron Beam Melting - EBM Process, Additive Manufacturing | Arcam AB", Arcam AB, 2016. [Online]. Disponible a: <http://www.arcam.com/technology/electron-beam-melting/>. [Accés: 10- Mar- 2016].

[16]"Manufactura de Objetos Laminados – Principio de Funcionamiento | Laboratorio de Materialización", Tallerdesoluciones.blogs.inti.gob.ar, 2009. [Online]. Disponible a: <http://tallerdesoluciones.blogs.inti.gob.ar/2009/10/01/manufactura-de-objetos-laminados-principio-de-funcionamiento/>. [Accés: 11- Mar- 2016].

[17]"The Free Beginner's Guide - History", 3D Printing Industry, 2016. [Online]. Disponible a: <http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/history/>. [Accés: 15- Mar- 2016].

[18]D. Goldberg, "History of 3D Printing: It's Older Than You Think", Redshift, 2014. [Online]. Disponible a: <http://lineshapespace.com/history-of-3d-printing/>. [Accés: 16- Mar- 2016].

[19]"3D Printing History", AV Plastics Injection Moulding | Get Stuff Made, 2013. [Online]. Disponible a: <http://www.avplastics.co.uk/3d-printing-history>. [Accés: 16- Mar- 2016].

[20]"Main Components", I Want A 3D Printer, 2010. [Online]. Disponible a: <https://iwanta3dprinter.wordpress.com/3d-printers/components-overview/>. [Accés: 19- Mar- 2016].

[21]"3ders.org - 3D Printing Basics | Beginner's guide | 3D printers", 3ders.org, 2012. [Online]. Disponible a: <http://www.3ders.org/3d-printing-basics.html>. [Accés: 19- Mar- 2016].

[22]"RepRap Options - RepRapWiki", Reprap.org, 2016. [Online]. Disponible a: http://reprap.org/wiki/RepRap_Options. [Accés: 19- Mar- 2016].

[23]"3D Printing Technology Explained | 3D Printing for Beginners", 3D Printing for Beginners, 2014. [Online]. Disponible a: <http://3dprintingforbeginners.com/3d-printing-technology/>. [Accés: 19- Mar- 2016].

[24]"CAM Toolchains - RepRapWiki", Reprap.org, 2016. [Online]. Disponible a:
http://reprap.org/wiki/CAM_Toolchains#RepRap_Drivers. [Accés: 21- Mar- 2016].

[25]"Computer-aided manufacturing", Wikipedia, 2016. [Online]. Disponible a:
https://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_manufacturing. [Accés: 22- Mar- 2016].

[26]"Slicers and user interfaces for 3D printers - EduTech Wiki", Edutechwiki.unige.ch, 2016.
[Online]. Disponible a:
http://edutechwiki.unige.ch/en/Slicers_and_user_interfaces_for_3D_printers. [Accés: 21-
Mar- 2016].

[27]"Computer-aided design", Wikipedia, 2016. [Online]. Disponible a:
https://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_design. [Accés: 21- Mar- 2016].

[28]"The StL Format | fabbers.com", Fabbers.com, 2016. [Online]. Disponible a:
http://www.fabbers.com/tech/STL_Format. [Accés: 22- Mar- 2016].

[29]"What Is An STL File?", 3D Systems, 2013. [Online]. Disponible a:
<http://www.3dsystems.com/quickparts/learning-center/what-is-stl-file>. [Accés: 22- Mar-
2016].

[30]"Slic3r - About", Slic3r.org, 2016. [Online]. Disponible a: <http://slic3r.org/about>. [Accés: 22-
Mar- 2016].

[31]"Unidad central de procesamiento", Es.wikipedia.org, 2016. [Online]. Disponible a:
https://es.wikipedia.org/wiki/Unidad_central_de_procesamiento. [Accés: 23- Mar- 2016].

[32]"La Diferencia Entre CPU Y Microprocesador | Diferencia Entre", Diferenciaentre.net, 2011. [Online]. Disponible a: <http://www.diferenciaentre.net/la-diferencia-entre-cpu-y-microprocesador/>. [Accés: 23- Mar- 2016].

[33]"Raspberry Pi", Es.wikipedia.org, 2016. [Online]. Disponible a: https://es.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi. [Accés: 23- Mar- 2016].

[34]"Microcontrolador", Es.wikipedia.org, 2016. [Online]. Disponible a: <https://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador>. [Accés: 24- Mar- 2016].

[35]"Diferencia entre un Microprocesador y un Microcontrolador", Arquiuct.blogspot.com.es, 2012. [Online]. Disponible a: <http://arquiuct.blogspot.com.es/2012/12/diferencia-entre-un-micro-procesador-y.html>. [Accés: 24- Mar- 2016].

[36]"AVR", Es.wikipedia.org, 2016. [Online]. Disponible a: <https://es.wikipedia.org/wiki/AVR>. [Accés: 24- Mar- 2016].

[37]"Firmware", definicion.de, 2016. [Online]. Disponible a: <http://definicion.de/firmware/>. [Accés: 28- Mar- 2016].

[38]"RepRap Firmware - RepRapWiki", Reprap.org, 2016. [Online]. Disponible a: http://reprap.org/wiki/RepRap_Firmware. [Accés: 28- Mar- 2016].

[39]"List of Firmware - RepRapWiki", Reprap.org, 2016. [Online]. Disponible a: http://reprap.org/wiki/List_of_Firmware. [Accés: 28- Mar- 2016].

[40] Definista, "¿Qué es Extrusión? - Su Definición, Concepto y Significado", Conceptodefinicion.de, 2014. [Online]. Disponible a: <http://conceptodefinicion.de/extrusion/>. [Accés: 28- Mar- 2016].

[41]"Extrusión de polímero", Es.wikipedia.org, 2016. [Online]. Disponible a: https://es.wikipedia.org/wiki/Extrusi%C3%B3n_de_pol%C3%ADmero. [Accés: 28- Mar- 2016].

[42]"Anatomy of a 3D Printer: How Does a 3D Printer Work?", Matterhackers.com, 2016. [Online]. Disponible a: <https://www.matterhackers.com/articles/anatomy-of-a-3d-printer>. [Accés: 28- Mar- 2016].

[43]"Category:Extruders - RepRapWiki", Reprap.org, 2015. [Online]. Disponible a: <http://reprap.org/wiki/Category:Extruders>. [Accés: 30- Mar- 2016].

[44]"Fused filament fabrication", Wikipedia, 2016. [Online]. Disponible a: https://en.wikipedia.org/wiki/Fused_filament_fabrication#Extrusion. [Accés: 30- Mar- 2016].

[45]J. Francois, "Thoughts and hints around hot ends", Tridimake.com, 2014. [Online]. Disponible a: <http://www.tridimake.com/2014/03/thoughts-and-hints-around-hot-ends.html>. [Accés: 30- Mar- 2016].

[46]B. Krassenstein, "E3D Unveils Most Affordable 3D Printer Hotend Yet, The E3D Lite6 -- Priced Under \$32", 3DPrint.com, 2015. [Online]. Disponible a: <http://3dprint.com/55647/e3d-lite6-hotend/>. [Accés: 30- Mar- 2016].

[47]"Best 3D Printer Extruder in 2016 - 3DPrinterPrices.net", 3DPrinterPrices.net, 2015. [Online]. Disponible a: <http://www.3dprinterprices.net/best-3d-printer-extruder/>. [Accés: 02- Apr- 2016].

[48]"Así funciona la extrusión en las impresoras 3D | Artículos", Mibqyyo.com, 2014. [Online]. Disponible a: http://www.mibqyyo.com/articulos/2014/09/22/asi-funciona-la-extrusion-en-las-impresoras-3d/#/vanilla/discussion/embed/?vanilla_discussion_id=0. [Accés: 02- Apr- 2016].

[49]"All Metal Hotends - Out with the Old, In with the New", Matterhackers.com, 2015. [Online]. Disponible a: <https://www.matterhackers.com/articles/top-reasons-to-upgrade-to-an-all-metal-hotend>. [Accés: 03- Apr- 2016].

[50]"Termistor", Ca.wikipedia.org, 2016. [Online]. Disponible a: <https://ca.wikipedia.org/wiki/Termistor>. [Accés: 03- Apr- 2016].

[51]"What are the parts that make up a hotend, and what do they do?", 3dprinting.stackexchange.com, 2016. [Online]. Disponible a: <http://3dprinting.stackexchange.com/questions/1519/what-are-the-parts-that-make-up-a-hotend-and-what-do-they-do/1522>. [Accés: 03- Apr- 2016].

[52]"Build plate adhesion | Ultimaker", Ultimaker.com, 2016. [Online]. Disponible a: <https://ultimaker.com/en/tips-tricks/257-bed-adhesion>. [Accés: 09- Apr- 2016].

[53]"Heated Bed - RepRapWiki", Reprap.org, 2016. [Online]. Disponible a: http://reprap.org/wiki/Heated_Bed. [Accés: 09- Apr- 2016].

[54]"BuildTak - The Ideal 3D Printing Surface? | 3D Printing for Beginners", 3D Printing for Beginners, 2014. [Online]. Disponible a: <http://3dprintingforbeginners.com/buildtak-review/>. [Accés: 09- Apr- 2016].

[55]"How To Succeed When Printing In PLA", Matterhackers.com, 2016. [Online]. Disponible a: <http://www.matterhackers.com/articles/how-to-succeed-when-printing-in-pla>. [Accés: 09-Apr- 2016].

[56]"Cinta Kapton 8mmx33m | BCN Dynamics by Boloberry", Bcndynamics.com, 2016. [Online]. Disponible a: <http://bcndynamics.com/ca/product/cinta-kapton-8mmx33m>. [Accés: 09-Apr- 2016].

[57]"3D Printer Bed Adhesion - Testing Aqua Net Hair Spray and Other Tips", ProtoParadigm, 2013. [Online]. Disponible a: <http://www.protoparadigm.com/news-updates/3d-printer-bed-adhesion-testing-aqua-net-hair-spray-and-other-tips/>. [Accés: 09-Apr- 2016].

[58]"Kapton tape vs. Blue painter's tape", 3DPrinterPrices.net, 2014. [Online]. Disponible a: <http://www.3dprinterprices.net/kapton-tape-vs-blue-painters-tape/>. [Accés: 09-Apr- 2016].

[59]"Motor paso a paso", Es.wikipedia.org, 2016. [Online]. Disponible a: https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_paso_a_paso. [Accés: 16-Apr- 2016].

[60]"What is a Stepper Motor? | All About Stepper Motors | Adafruit Learning System", Learn.adafruit.com, 2016. [Online]. Disponible a: <https://learn.adafruit.com/all-about-stepper-motors/what-is-a-stepper-motor>. [Accés: 16-Apr- 2016].

[615]"Motor de corriente continua", Es.wikipedia.org, 2016. [Online]. Disponible a: https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_corriente_continua. [Accés: 16-Apr- 2016].

[62]"DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA", Platea.pntic.mec.es, 2016. [Online]. Disponible a: <http://platea.pntic.mec.es/~lmarti2/motor1.htm>. [Accés: 16-Apr- 2016].

[63]"Steppers with Encoders: When Open-loop Control Isn't Enough", Phidgets, 2014. [Online]. Disponible a: <https://phidgets.wordpress.com/2014/05/13/steppers-with-encoders-when-open-loop-control-isnt-enough/>. [Accés: 20- Apr- 2016].

[64]"Open-loop controller", Es.wikipedia.org, 2016. [Online]. Disponible a: https://es.wikipedia.org/wiki/Open-loop_controller. [Accés: 20- Apr- 2016].

[65]"Stepper motor driver - RepRapWiki", Reprap.org, 2016. [Online]. Disponible a: http://reprap.org/wiki/Stepper_motor_driver. [Accés: 20- Apr- 2016].

[66]"Microstepping: Myths and Realities | MICROMO", Micromo.com, 2016. [Online]. Disponible a: <http://www.micromo.com/microstepping-myths-and-realities>. [Accés: 20- Apr- 2016].

[67]"Mecanismos de transformación del movimiento", Aprendemos tecnología, 2008. [Online]. Disponible a: <https://aprendemostecnologia.org/maquinas-y-mecanismos/mecanismos-de-transformacion-del-movimiento/>. [Accés: 24- Apr- 2016].

[6812]"Category:DriveTrains - RepRapWiki", Reprap.org, 2016. [Online]. Disponible a: <http://reprap.org/wiki/Category:DriveTrains>. [Accés: 23- Apr- 2016].

[69]"Sensor final de carrera", Es.wikipedia.org, 2016. [Online]. Disponible a: https://es.wikipedia.org/wiki/Sensor_final_de_carrera. [Accés: 01- May- 2016].

[70]"Endstop - RepRapWiki", Reprap.org, 2016. [Online]. Disponible a: <http://reprap.org/wiki/Endstop>. [Accés: 01- May- 2016].

[71]"¿Qué son los interruptores finales de carrera? | QuimiNet.com", Quiminet.com, 2006. [Online]. Disponible a: <http://www.quiminet.com/articulos/que-son-los-interruptores-finales-de-carrera-7838.htm>. [Accés: 01- May- 2016].

[72]"Endstops - Smoothie Project", Smoothieware.org, 2016. [Online]. Disponible a: <http://smoothieware.org/endstops>. [Accés: 01- May- 2016].

[73]"Power Supply - RepRapWiki", Reprap.org, 2016. [Online]. Disponible a: http://reprap.org/wiki/Power_Supply. [Accés: 03- May- 2016].

[74]"Choosing a Power Supply for your RepRap - RepRapWiki", Reprap.org, 2016. [Online]. Disponible a: http://reprap.org/wiki/Choosing_a_Power_Supply_for_your_RepRap#Using_24V_power. [Accés: 03- May- 2016].

[75]"Fuente de alimentación", Es.wikipedia.org, 2016. [Online]. Disponible a: https://es.wikipedia.org/wiki/Fuente_de_alimentaci%C3%B3n. [Accés: 03- May- 2016].

[76]B. Benchoff, "3D Printereng: Electronics Boards", Hackaday, 2013. [Online]. Disponible a: <http://hackaday.com/2013/09/06/3d-printereng-electronics-boards/>. [Accés: 08- May- 2016].

[77]"List of electronics - RepRapWiki", Reprap.org, 2016. [Online]. Disponible a: http://reprap.org/wiki/List_of_electronics#4pi. [Accés: 08- May- 2016].

[78]"RAMPS 1.4 - RepRapWiki", Reprap.org, 2016. [Online]. Disponible a: http://reprap.org/wiki/RAMPS_1.4. [Accés: 08- May- 2016].

[79]"Robotseed Shop - RobotSeed", Robotseed.com, 2016. [Online]. Disponible a:
http://robotseed.com/index.php?id_lang=2. [Accés: 11- May- 2016].

[80]"Arquitectura ARM", Es.wikipedia.org, 2016. [Online]. Disponible a:
https://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura_ARM#Dise.C3.B1o. [Accés: 08- May- 2016].

[81]"Sanguinololu - RepRapWiki", Reprap.org, 2016. [Online]. Disponible a:
<http://reprap.org/wiki/Sanguinololu>. [Accés: 11- May- 2016].

[82]"Arduino - ArduinoShields", Arduino.cc, 2016. [Online]. Disponible a:
<https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoShields>. [Accés: 08- May- 2016].

[83]"DC 4-9V Drive Stepper Motor Screw With Nut Slider 2 Phase 4 Wire",
www.banggood.com, 2016. [Online]. Disponible a: <http://www.banggood.com/DC-4-9V-Drive-Stepper-Motor-Screw-With-Nut-Slider-2-Phase-4-Wire-p-964613.html>. [Accés: 15- May- 2016].

[84]"DC 4-6V Drive Stepper Motor Screw With Nut Slider 2 Phase 4 Wire",
www.banggood.com, 2016. [Online]. Disponible a: <http://www.banggood.com/Drive-Stepper-Motor-Screw-With-Nut-Slider-Small-Stage-2-Phase-4-Wire-p-956344.html>. [Accés: 15- May- 2016].

[85]2016. [Online]. Disponible a: http://www.banggood.com/es/JKM-NEMA14-1_835-Hybrid-Stepper-Motor-26mm-Two-Phase-Stepper-Motor-p-980603.html?currency=EUR&utm_source=criteo&utm_medium=cpc&utm_content=all&utm_campaign=electronics-ES&utm_design=1. [Accés: 15- May- 2016].

[86]"JKM NEMA17 Hybrid Stepper Motor 2 Phase 1.8° For CNC Router", www.banggood.com, 2016. [Online]. Disponible a: http://www.banggood.com/JKM-NEMA17-Hybrid-Stepper-Motor-2-Phase-1_8-For-CNC-Router-p-936557.html. [Accés: 15- May- 2016].

[87]D. motor, "Dc 4 9 v 500mA Unidad de Motor Paso A Paso de 2 Fases 4 Hilos tornillo con Tuerca Deslizante Ángulo de Paso 18 grados Micro Paso A Paso motor en Motores Paso a Paso de Mejoras para el hogar en AliExpress.com | Alibaba Group", aliexpress.com, 2016. [Online]. Disponible a: <http://es.aliexpress.com/item/Dc-4-9v-500mA-2-Phase-4-Wire-Drive-Stepper-Motor-Screw-with-Nut-Slider-Step/32502769756.html>. [Accés: 19- May- 2016].

[88]"Stepper motor Nema17 shaft for 5mm pulley RepRap CNC Prusa Rostock 3D printer", eBay, 2016. [Online]. Disponible a: <http://www.ebay.com/itm/Stepper-motor-Nema17-shaft-for-5mm-pulley-RepRap-CNC-Prusa-Rostock-3D-printer-/142032687669?hash=item2111ced235:g:aLAAOSwc1FXadod>. [Accés: 19- May- 2016].

[89]"New 90mm 2-phase 4-wire 15 stepper motor with screw slide screw Miniature slide", eBay, 2016. [Online]. Disponible a: <http://www.ebay.com/itm/New-90mm-2-phase-4-wire-15-stepper-motor-with-screw-slide-screw-Miniature-slide-/141837189465?hash=item210627c159:g:e-EAAOSwys5WVX09>. [Accés: 22- May- 2016].

[90]"LM8UU Rodamiento lineal | BCN Dynamics by Boloberry", Bcndynamics.com, 2016. [Online]. Disponible a: <http://bcndynamics.com/es/product/lm8uu-rodamiento-lineal>. [Accés: 22- May- 2016].

[91]"Acoplador de motor 5mm-5mm | BCN Dynamics by Boloberry", Bcndynamics.com, 2016. [Online]. Disponible a: <http://bcndynamics.com/es/product/acoplador-de-motor-5mm-5mm>. [Accés: 22- May- 2016].

[92]"Kit transmisión GT2 | BCN Dynamics by Boloberry", Bcndynamics.com, 2016. [Online]. Disponible a: <http://bcndynamics.com/es/product/kit-transmisi%C3%B3n-gt2>. [Accés: 22- May- 2016].

[93]"Lite6", E3d-online.com, 2016. [Online]. Disponible a: <http://e3d-online.com/Lite6>. [Accés: 28- May- 2016].

[94]"E3D-Lite6 Assembly - E3D-Online", Wiki.e3d-online.com, 2016. [Online]. Disponible a: http://wiki.e3d-online.com/wiki/E3D-Lite6_Assembly. [Accés: 28- May- 2016].

[95]"E3D Lite6 (A \$35 hotend!) Discussion (Page 1) — The Latest in 3D Printing — SoliForum - 3D Printing Community", Soliforum.com, 2015. [Online]. Disponible a: <http://www.soliforum.com/topic/10649/e3d-lite6-a-35-hotend-discussion/>. [Accés: 28- May- 2016].

[96]"What hot end should I get for my makerfarm prusa i3? • /r/3Dprinting", reddit, 2014. [Online]. Disponible a: https://www.reddit.com/r/3Dprinting/comments/1xyiw2/what_hot_end_should_i_get_for_my_makerfarm_prusa/. [Accés: 29- May- 2016].

[97]"Choosing between E3D v6 and lite6", Forums.reprap.org, 2015. [Online]. Disponible a: <http://forums.reprap.org/read.php?4,583063>. [Accés: 29- May- 2016].

[98]"1.75mm Ubis Ceramic Style Hot End | Printrbot", Printrbot.com, 2016. [Online]. Disponible a: <https://printrbot.com/shop/1-75mm-ubis-hot-end/>. [Accés: 29- May- 2016].

[99]"HotEnds", Hotends.com, 2016. [Online]. Disponible a: <https://www.hotends.com/index.php?route=common/home>. [Accés: 29- May- 2016].

[100]T. Sanladerer, "Build your own 3D Printer: Which hotend to pick!", YouTube, 2016. [Online]. Disponible a: <https://www.youtube.com/watch?v=Kf907duwAAE>. [Accés: 29- May- 2016].

[101]"E3D-v6", E3d-online.com, 2016. [Online]. Disponible a: <http://e3d-online.com/E3D-v6>. [Accés: 29- May- 2016].

[102]"E3D-Lite6 - A Low Cost HotEnd for Everyone", YouTube, 2016. [Online]. Disponible a: <https://www.youtube.com/watch?v=iBV5NGrLvPo>. [Accés: 29- May- 2016].

[103]"MK8 Aluminum Extruder Kit With NEMA 17 Stepper Motor 1.75MM For 3D Printer RepRap Prusa i3", www.banggood.com, 2016. [Online]. Disponible a: <http://www.banggood.com/MK8-Aluminum-Extruder-Kit-With-NEMA-17-Stepper-Motor-1-75MM-For-3D-Printer-RepRap-Prusa-i3-p-1017150.html>. [Accés: 05- Jun- 2016].

[104]"Cold End - Aluminium Extruder | BCN Dynamics by Boloberry", Bcndynamics.com, 2016. [Online]. Disponible a: <http://bcndynamics.com/es/product/cold-end-aluminium-extruder>. [Accés: 05- Jun- 2016].

[105]"Simple metal bowden cold end | BCN Dynamics by Boloberry", Bcndynamics.com, 2016. [Online]. Disponible a: <http://bcndynamics.com/es/product/simple-metal-bowden-cold-end>. [Accés: 05- Jun- 2016].

[106]"Extrusor Greg's Cold End | BCN Dynamics by Boloberry", Bcndynamics.com, 2016. [Online]. Disponible a: <http://bcndynamics.com/es/product/extrusor-gregs-cold-end>. [Accés: 05- Jun- 2016].

[107]T. Sanladerer, "Pwn flexible filaments with the Flexion extruder! (Review)", YouTube, 2016. [Online]. Disponible a: <https://www.youtube.com/watch?v=I0kFA9OIJL0>. [Accés: 05- Jun- 2016].

[108]"Heated Bed - RepRapWiki", Reprap.org, 2016. [Online]. Disponible a: http://reprap.org/wiki/Heated_Bed. [Accés: 11- Jun- 2016].

[109]"PCB Heatbed - RepRapWiki", Reprap.org, 2016. [Online]. Disponible a:
http://reprap.org/wiki/PCB_Heatbed. [Accés: 11- Jun- 2016].

[110]2016. [Online]. Disponible a: <https://bootsindustries.com/heat-bed-3d-printing/>. [Accés:
11- Jun- 2016].

[111]"100mm X 100mm 70W 12V with 3M Backing 1PC Silicone Pad Heater New Free Shipping", eBay, 2016. [Online]. Disponible a: <http://www.ebay.com/itm/100mm-X-100mm-70W-12V-with-3M-Backing-1PC-Silicone-Pad-Heater-New-Free-Shipping-/131096613550>.
[Accés: 11- Jun- 2016].

[112]"100x100 Heated Bed", Forums.reprap.org, 2014. [Online]. Disponible a:
<http://forums.reprap.org/read.php?95,351980>. [Accés: 11- Jun- 2016].

[113]"100x100 Heated Bed", Forums.reprap.org, 2014. [Online]. Disponible a:
<http://forums.reprap.org/read.php?95,351980>. [Accés: 11- Jun- 2016].

[114]"Bed material - RepRapWiki", Reprap.org, 2016. [Online]. Disponible a:
http://reprap.org/wiki/Bed_material. [Accés: 10- Jul- 2016].

[115]R. Horne, "Stick with it... 3D Printing - Print Bed Coating Materials. Part 1",
Richrap.blogspot.com.es, 2015. [Online]. Disponible a:
<http://richrap.blogspot.com.es/2015/01/stick-with-it-3d-printing-print-bed.html>. [Accés: 10-
Jul- 2016].

[116]"Using acrylic as a print bed (and other questions) (Page 1) — Solidoodle Discussion —
SoliForum - 3D Printing Community", Soliforum.com, 2013. [Online]. Disponible a:

<http://www.soliforum.com/topic/2770/using-acrylic-as-a-print-bed-and-other-questions/>.

[Accés: 11- Jul- 2016].

[117]"Ideal print bed: Glass or Aluminium?", 3dprinting.stackexchange.com, 2016. [Online].

Disponible a: <http://3dprinting.stackexchange.com/questions/505/ideal-print-bed-glass-or-aluminium>. [Accés: 11- Jul- 2016].

[118]"Spring Bed Leveling System (Kossel Clear, OpenBeam Printers) by joecarpita",

Thingiverse.com, 2015. [Online]. Disponible a: <http://www.thingiverse.com/thing:1056185>.

[Accés: 13- Jul- 2016].

[119]"Leveling the Print Bed - RepRapWiki", Reprap.org, 2016. [Online]. Disponible a:

http://reprap.org/wiki/Leveling_the_Print_Bed. [Accés: 13- Jul- 2016].

[120]"3 mm vs 1.75 • /r/3Dprinting", reddit, 2015. [Online]. Disponible a:

https://www.reddit.com/r/3Dprinting/comments/31gdvt/3_mm_vs_175/. [Accés: 15- Jul- 2016].

[121]"when to use 1.75mm vs 3mm filament", 3dprinting.stackexchange.com, 2016. [Online].

Disponible a: <http://3dprinting.stackexchange.com/questions/264/when-to-use-1-75mm-vs-3mm-filament>. [Accés: 15- Jul- 2016].

[122]"Disadvantages of acrylic frames", Forums.reprap.org, 2015. [Online]. Disponible a:

<http://forums.reprap.org/read.php?406,490336>. [Accés: 18- Jul- 2016].

[123]"Is the weather a problem for MDF frames?", 3dprinting.stackexchange.com, 2016.

[Online]. Disponible a: <http://3dprinting.stackexchange.com/questions/22/is-the-weather-a-problem-for-mdf-frames>. [Accés: 18- Jul- 2016].

[124]"Disadvantages of acrylic frames", reppap.org, 2015. [Online]. Disponible a:
<http://forums.reppap.org/read.php?406,490336>. [Accés: 18- Jul- 2016].

[125]I. Rojas, "Regular Vref A4988", YouTube, 2014. [Online]. Disponible a:
<https://www.youtube.com/watch?v=1yaM68W2x1w>. [Accés: 21- Jul- 2016].

[126]I. Rojas, "Conectar A4988 a motor paso a paso", YouTube, 2014. [Online]. Disponible a:
<https://www.youtube.com/watch?v=0jKYbounpyM&spfreload=1>. [Accés: 21- Jul- 2016].

[127]M. carrera, "Microrruptor o final de carrera",
Elblogdelprofesordetecnologia.blogspot.com.es, 2016. [Online]. Disponible a:
<http://elblogdelprofesordetecnologia.blogspot.com.es/2016/02/microrruptor-o-final-de-carrera.html>. [Accés: 10- Aug- 2016].

[128]M. Orzechowsky"Normally Open and Closed Switches", YouTube, 2016. [Online].
Disponible a: https://www.youtube.com/watch?v=YN_kv2h-a04. [Accés: 10- Aug- 2016].

[129]"Question about normally open vs normally closed endstops.", Forums.reppap.org, 2014.
[Online]. Disponible a: <http://forums.reppap.org/read.php?1,427826>. [Accés: 10- Aug- 2016].

[130]"Sensor final de carrera", Es.wikipedia.org, 2016. [Online]. Disponible a:
https://es.wikipedia.org/wiki/Sensor_final_de_carrera. [Accés: 12- Aug- 2016].

[131]"How to Hookup an ATX Power Supply to a 3D Printer", YouTube, 2014. [Online].
Disponible a: <https://www.youtube.com/watch?v=53Lfy5oh7ho>. [Accés: 15- Aug- 2016].

[132]D. Hansen, "RepRap 3D Printer - Prusa i3 - Build Log: Part 4", Danielhansen.net, 2016. [Online]. Disponible a: <http://www.danielhansen.net/2014/05/reprap-3d-printer-prusa-i3-build-log.html>. [Accés: 15- Aug- 2016].

[133]"Step 6: Wiring and Connecting Electronics - aSensor", Asensar.com, 2014. [Online]. Disponible a: https://asensar.com/docs/woodmax/0001-6_woodmax_electronics/. [Accés: 15- Aug- 2016].

[134]"Pololu - A4988 Stepper Motor Driver Carrier", Pololu.com, 2016. [Online]. Disponible a: <https://www.pololu.com/product/1182/pictures>. [Accés: 16- Aug- 2016].

[135]"ramps 1.4 board led blinking", Forums.reprap.org, 2012. [Online]. Disponible a: <http://forums.reprap.org/read.php?1,171626>. [Accés: 16- Aug- 2016].

[136]"Installing endstops", t00tie's reprap meanderings, 2013. [Online]. Disponible a: <https://t00tiereprap.wordpress.com/2013/09/26/installing-endstops/>. [Accés: 16- Aug- 2016].

[137]Forums.reprap.org, 2016. [Online]. Disponible a: http://forums.reprap.org/addon.php?178,module=embed_images,url=http%3A%2F%2Fg02.s.alicdn.com%2Fkf%2FHT19eoOFFXdXXagOFbXm%2F220165845%2FHT19eoOFFXdXXagOFbXm.jpg. [Accés: 16- Aug- 2016].

[138]"Ramps 1.4 correct wiring - Page 3", Fabric8r.com, 2015. [Online]. Disponible a: <http://www.fabric8r.com/forums/showthread.php?2832-Ramps-1-4-correct-wiring/page3>. [Accés: 16- Aug- 2016].

[139]1. Semitec, "100k Ohm NTC Thermistor - Semitec", E3d-online.com, 2016. [Online]. Disponible a: <http://e3d-online.com/100k-Ohm-NTC-Thermistor-Semitec>. [Accés: 16- Aug- 2016].

[140]"PID Tuning - RepRapWiki", Reprap.org, 2016. [Online]. Disponible a: http://reprap.org/wiki/PID_Tuning. [Accés: 17- Aug- 2016].

[141]"MarlinFirmware/Marlin", GitHub, 2016. [Online]. Disponible a: <https://github.com/MarlinFirmware/Marlin/wiki/Marlin-Configuration>. [Accés: 17- Aug- 2016].

[142]"Prusa i3 Build Tutorial : Part 9 - Basics of Marlin Firmware", YouTube, 2014. [Online]. Disponible a: <https://www.youtube.com/watch?v=PunmzTbY594>. [Accés: 17- Aug- 2016].

[143]"Marlin firmware user guide for beginners | Solid Utopia", Solid Utopia, 2014. [Online]. Disponible a: <http://solidutopia.com/marlin-firmware-user-guide-basic/>. [Accés: 17- Aug- 2016].

[144]"Installation of Repetier-Firmware for Arduino 3d printer boards", Repetier Software, 2016. [Online]. Disponible a: <https://www.repetier.com/documentation/repetier-firmware/rf-installation/>. [Accés: 17- Aug- 2016].

[145]"How to choose a 3D Printer firmware", 3D PRINTER CHAT - a Community, 2016. [Online]. Disponible a: <https://3dprinterchat.com/2016/04/how-to-choose-a-3d-printer-firmware/>. [Accés: 17- Aug- 2016].

[146]"2.3 Fundamentals of Repetier-Host: Slicer For Beginners", Google Docs, 2016. [Online]. Disponible a: https://docs.google.com/presentation/d/1Na2c8G3BDCBg8ihgZXChdcinJiJeMDiSgpl1CvpQbYY/edit?pref=2&pli=1#slide=id.g2a2c72009_022. [Accés: 17- Aug- 2016].

[147]"Heat Bed Sensor - Welcome to the SeeMeCNC Forum", Forum.seemecnc.com, 2014. [Online]. Disponible a: <http://forum.seemecnc.com/viewtopic.php?t=5590>. [Accés: 18- Aug- 2016].

[148]"Thermistor - RepRapWiki", Reprap.org, 2016. [Online]. Disponible a: http://reprap.org/wiki/Thermistor#ATC_Semitec_104GT-2. [Accés: 18- Aug- 2016].

[149]"Jam detection", Forums.reprap.org, 2015. [Online]. Disponible a: <http://forums.reprap.org/read.php?267,484141>. [Accés: 18- Aug- 2016].

[150]"Calibration - RepRapWiki", Reprap.org, 2016. [Online]. Disponible a: <http://reprap.org/wiki/Calibration>. [Accés: 18- Aug- 2016].

[151]"Stop ok 0 output - General Discussions on Repetier-Forum", Repetier-Forum, 2016. [Online]. Disponible a: <https://forum.repetier.com/discussion/1775/stop-ok-0-output>. [Accés: 18- Aug- 2016].

[152]"Jerk and Acceleration in Marlin", Forums.reprap.org, 2012. [Online]. Disponible a: <http://forums.reprap.org/read.php?1,169335,172632>. [Accés: 18- Aug- 2016].

[153]"PID Tuning - RepRapWiki", Reprap.org, 2016. [Online]. Disponible a: http://reprap.org/wiki/PID_Tuning. [Accés: 18- Aug- 2016].

[154]"G-code - RepRapWiki", Reprap.org, 2016. [Online]. Disponible a: <http://reprap.org/wiki/G-code>. [Accés: 18- Aug- 2016].

[155]"Google Groups", Groups.google.com, 2015. [Online]. Disponible a: <https://groups.google.com/forum/#!topic/asrob-uc3m-impresoras-3d/IBiwsMLUFGQ>. [Accés: 18- Aug- 2016].

[156]"1.75mm Ubis Ceramic Style Hot End | Printrbot", Printrbot.com, 2016. [Online]. Disponible a: <https://printrbot.com/shop/1-75mm-ubis-hot-end/>. [Accés: 28- Aug- 2016].

[157]"Hot Ends", Hotends.com, 2016. [Online]. Disponible a: <https://www.hotends.com/index.php?route=product/category&path=68>. [Accés: 31- Aug- 2016].

[158]"Stepper motor driver - RepRapWiki", Reprap.org, 2016. [Online]. Disponible a: http://reprap.org/wiki/Stepper_motor_driver. [Accés: 31- Aug- 2016].

[159]"Smoothieboard - RepRapWiki", Reprap.org, 2016. [Online]. Disponible a: <http://reprap.org/wiki/Smoothieboard>. [Accés: 03- Sep- 2016].

[160]"4pi - RepRapWiki", Reprap.org, 2016. [Online]. Disponible a: <http://reprap.org/wiki/4pi>. [Accés: 04- Sep- 2016].

[161]"RUMBA - RepRapWiki", Reprap.org, 2016. [Online]. Disponible a: <http://reprap.org/wiki/RUMBA>. [Accés: 04- Sep- 2016].

[162]"Rambo - RepRapWiki", Reprap.org, 2015. [Online]. Disponible a: <http://reprap.org/wiki/Rambo>. [Accés: 04- Sep- 2016].

[163]K. Yanev, "Shop", Oxfb.com, 2016. [Online]. Disponible a: <https://Oxfb.com/shop.html>. [Accés: 05- Sep- 2016].

- [164]"Pololu - DRV8825 Stepper Motor Driver Carrier, High Current", Pololu.com, 2016. [Online]. Disponible a: <https://www.pololu.com/product/2133>. [Accés: 05- Sep- 2016].
- [165]"Installation of Repetier-Firmware for Arduino 3d printer boards", Repetier Software, 2016. [Online]. Disponible a: <https://www.repetier.com/documentation/repetier-firmware/rep-installation/>. [Accés: 06- Sep- 2016].
- [166]"repetier/Repetier-Firmware", GitHub, 2016. [Online]. Disponible a: <https://github.com/repetier/Repetier-Firmware>. [Accés: 06- Sep- 2016].
- [167]"The Third Industrial Revolution: How the Internet, Green Electricity, and 3-D Printing are Ushering in a Sustainable Era of Distributed Capitalism | The World Financial Review", Web.archive.org, 2014. [Online]. Disponible a: <http://web.archive.org/web/20140406155157/>. [Accés: 20- Sep- 2016].
- [168]A. Vance, "3-D Printing Is Spurring a Manufacturing Revolution", Nytimes.com, 2010. [Online]. Disponible a: http://www.nytimes.com/2010/09/14/technology/14print.html?_r=1. [Accés: 20- Sep- 2016].
- [169]N. Swengley, "New dimension: 3D printing machines", Telegraph.co.uk, 2011. [Online]. Disponible a: <http://www.telegraph.co.uk/lifestyle/interiors/8747789/New-dimension-3D-printing-machines.html>. [Accés: 20- Sep- 2016].
- [170]R. Lafuente, "La Fabricación Aditiva conduce a una nueva revolución industrial", Tendencias 21. Ciencia, tecnología, sociedad y cultura, 2011. [Online]. Disponible a: http://www.tendencias21.net/La-Fabricacion-Aditiva-conduce-a-una-nueva-revolucion-industrial_a8558.html. [Accés: 20- Sep- 2016].

16 ANNEXOS

COST DEL TREBALL

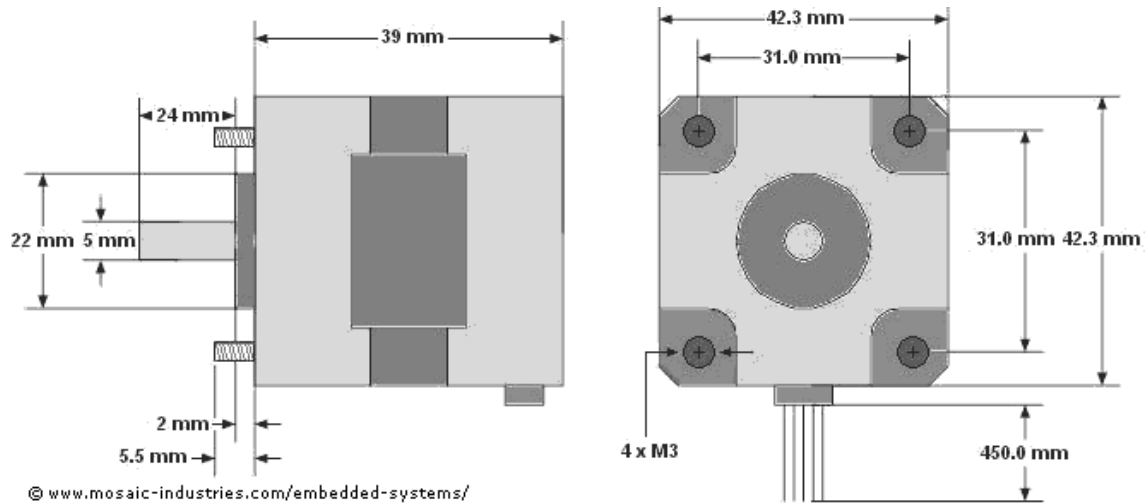
En la següent taula podem veure tota la llista de components, venedor, quantitat, preu unitari, (amb despeses d'enviament incloses) i preu total.

Component	Venedor	Unitats	Preu/Unitat	Total
RAMPS 1.4.	BCN Dynamics	1	15,23€/U	15,23€
Funduino Mega 2560	Banggood.com	1	8,36€/U	8,36€
Motors pas a pas amb barra roscada de 90mm	Banggood.com	3	10,27€/U	30,81€
A4988	BCN Dynamics	4	3,99€/U	15,96€
E3D-lite6	E3D.com	1	36,86€/U	36,86€
Cold End MK8 amb motor NEMA-17	Banggood.com	1	15,47€/U	15,47€
Marc de fotografies	Basar xinès	1	0,75€/U	0,75€
Molles 35mm	Basar xinès	1	0,30€/U	0,30€
Pinces	Papereria Numància	2	0,20€/U	0,40€
Bobina PLA negre 1Kg	Boloberry electronics	1	18,75€/U	18,75€
Font d'alimentació Modular T500	Tecnología Modular	1	15€/U	15,00€
Contraplacat 4mm	Servei Estació	1	3,40€/U	3,40€
Contraplacat 6mm	Servei Estació	0,425m ²	22,80€/m ²	10,26€
Tall làser	FabCafè	15 minuts de tall	5€/5min de tall	15,00€
Rosca del tub de PTFE	Safetyprice electronics.com	1	3,73€/U	3,73€
Cargols i femelles	-	-	-	3,00€
			TOTAL:	193,28€

PLÀNOLS

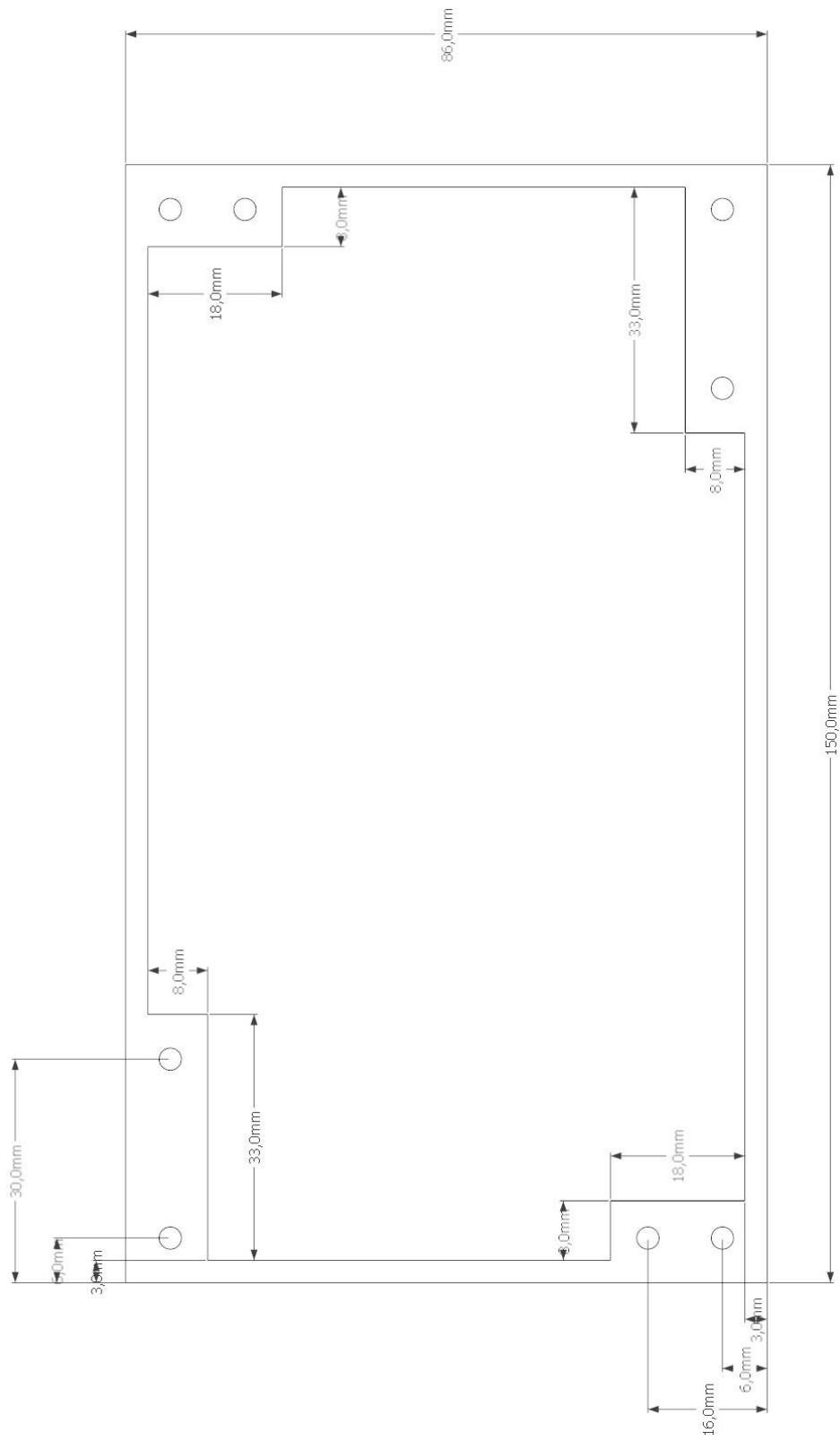
En aquest apartat s'inclouen els plànols de tots els components que hem hagut de mesurar per tal de fer les representacions en Solidworks, les peces que hem tallat amb làser així com els dissenys en 2D d'AutoCAD tal com els vam portar al servei de tall.

Motor NEMA-17



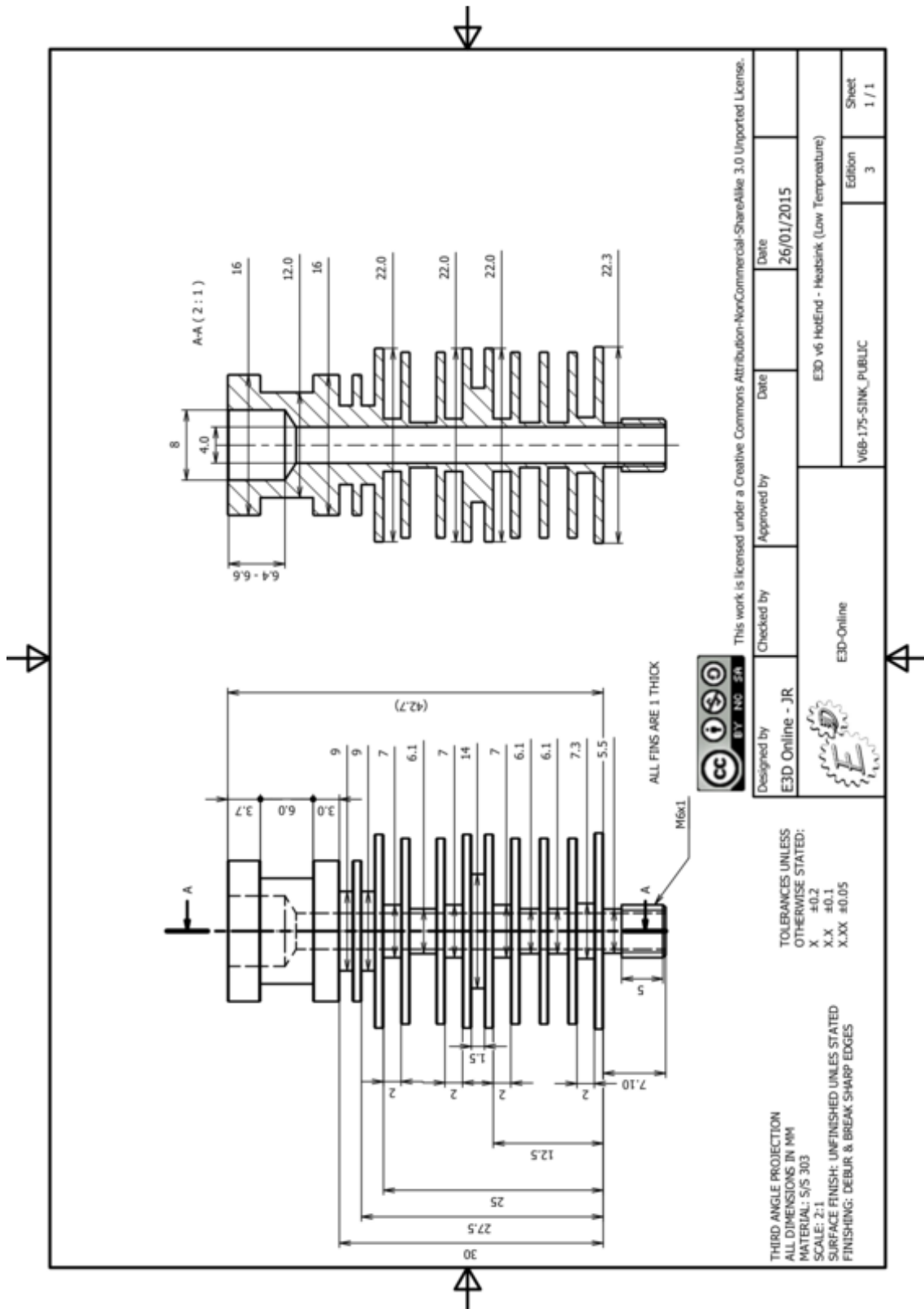
Extret de: <http://www.mosaic-industries.com/embedded-systems/microcontroller-projects/stepper-motors/specifications>

Font d'alimentació

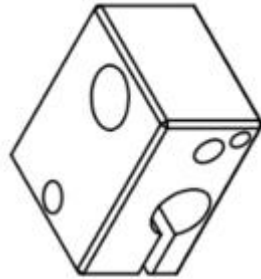
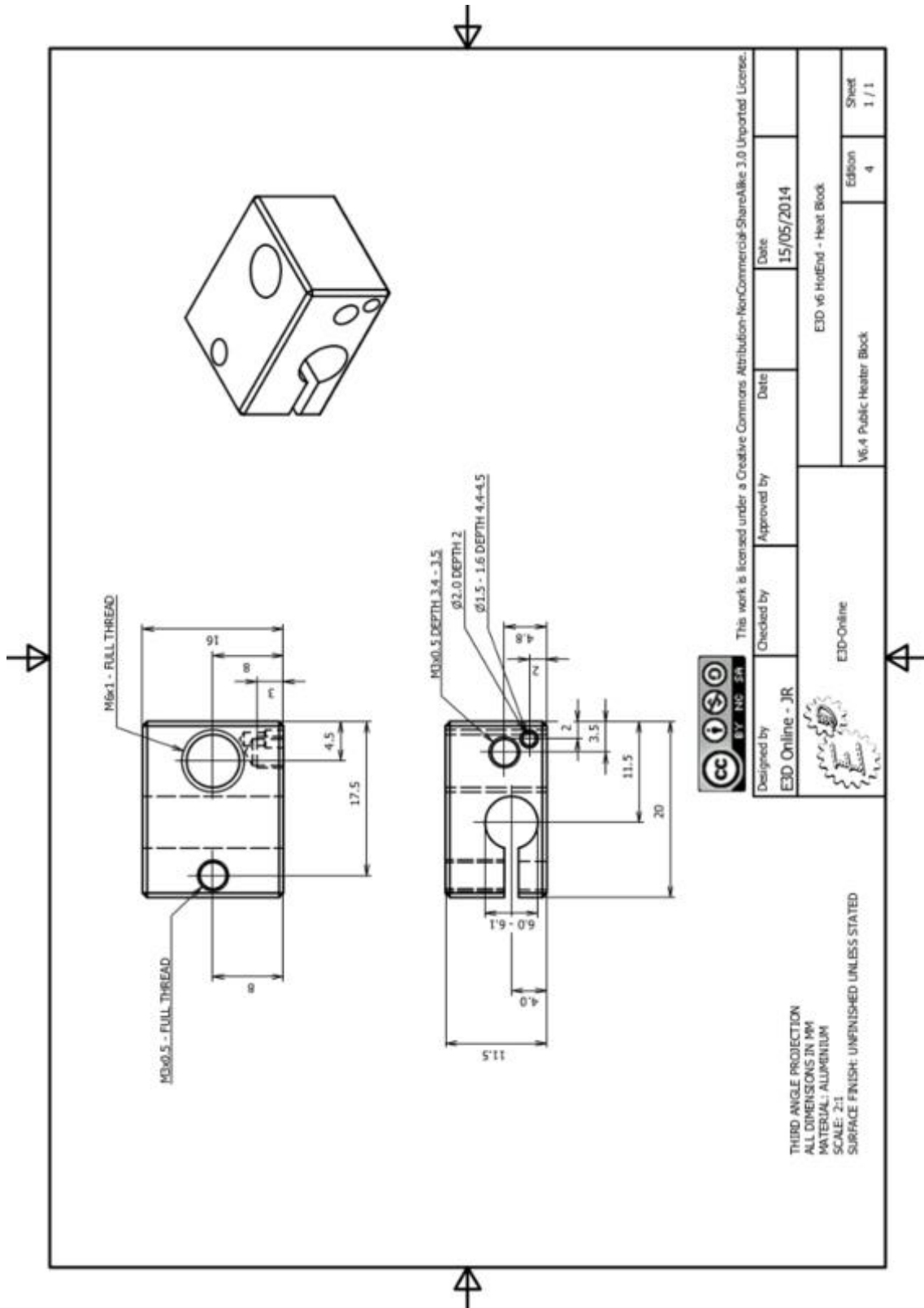


Extret de: <http://forums.bit-tech.net/showthread.php?p=3287931>

E3D lite6




Extret de: http://wiki.e3d-online.com/wiki/E3D-Lite6_Documentation

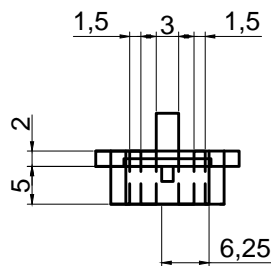
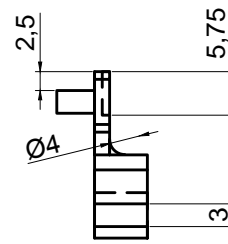
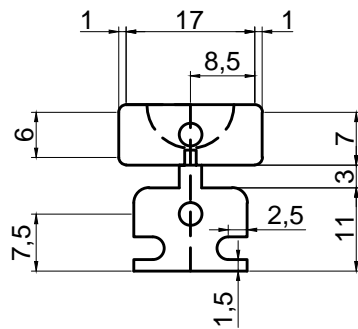
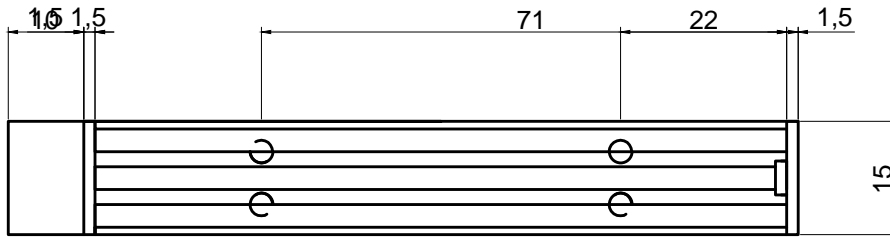
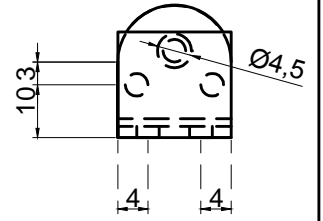
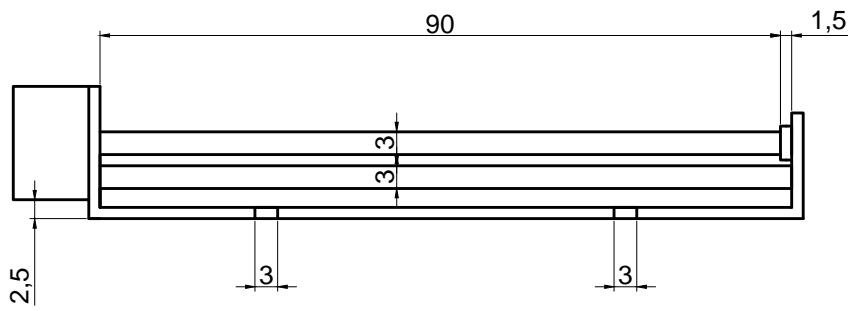


THIRD ANGLE PROJECTION
 ALL DIMENSIONS IN MM
 MATERIAL: ALUMINIUM
 SCALE: 2:1
 SURFACE FINISH: UNFINISHED UNLESS STATED



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported License.

Designed by E3D Online - JR	Checked by E3D-Online	Approved by E3D-Online	Date 15/05/2014
			E3D v6 HotEnd - Heat Block V6.4 Public Heater Block
			Sheet Edison 4 1 / 1



PROJECTE: DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UNA IMPRESSORA 3D

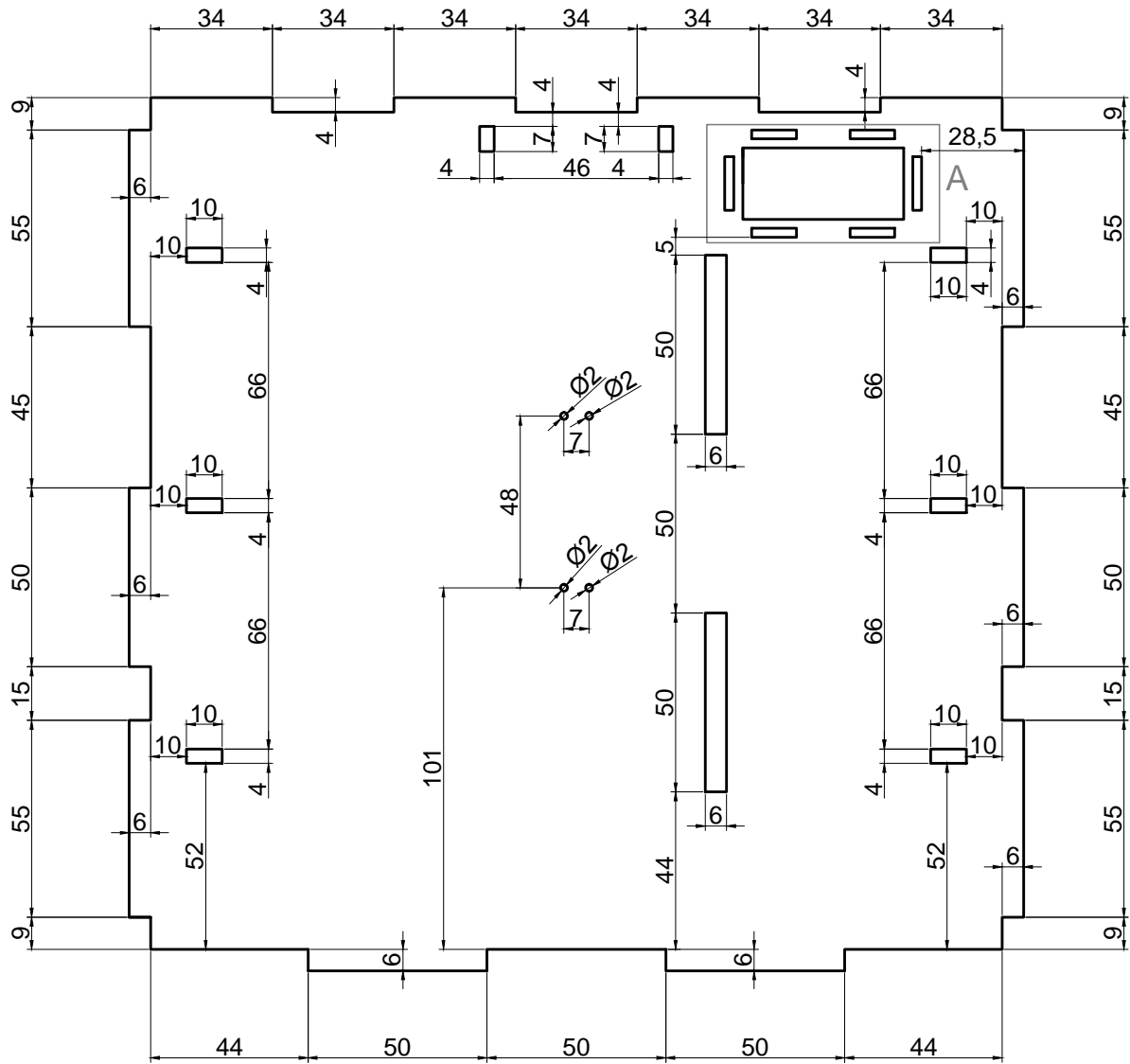
PLANOLS: MOTOR PAS A PAS I PEÇA LLISCANT

AUTOR: ASIER ALCORTA MADRONA

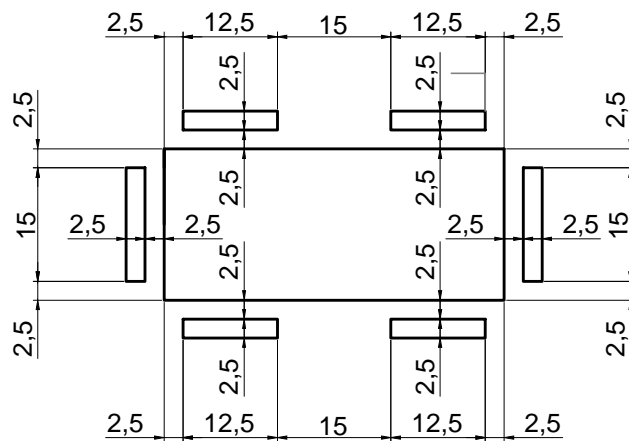
ESCALA: 1:1

DATA: 7/10/2016

JESUITES EL
CLOT



Detall A
Escala 1:1



PROJECTE: DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UNA IMPRESSORA 3D

PLANOLS: TALL LÀSER 1 (FUSTA 6MM)

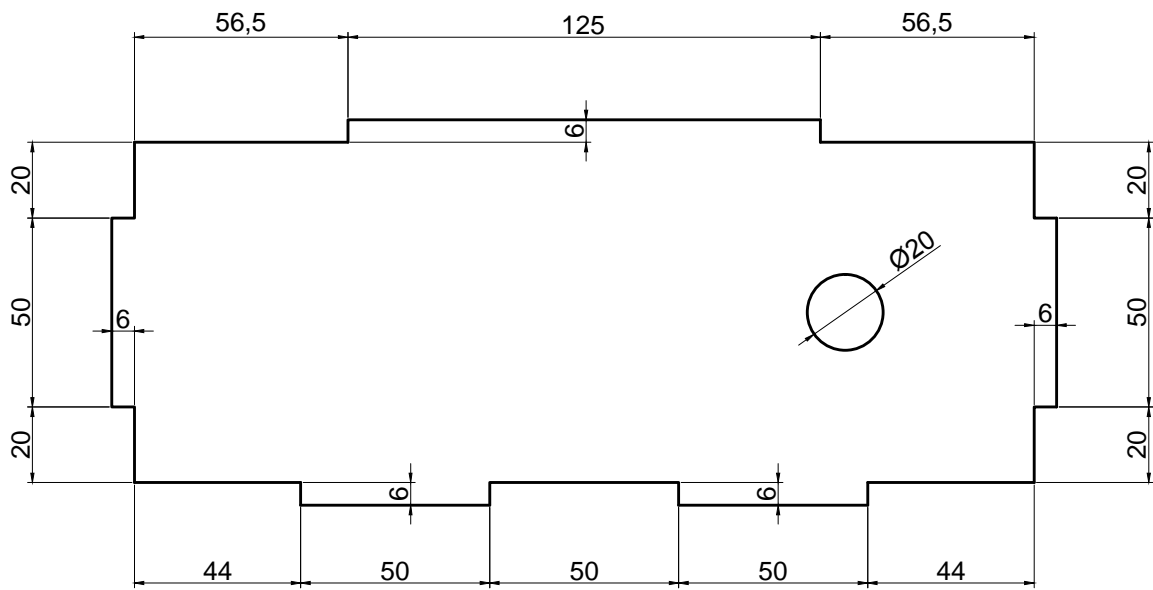
AUTOR: ASIER ALCORTA MADRONA

ESCALA: 1:2

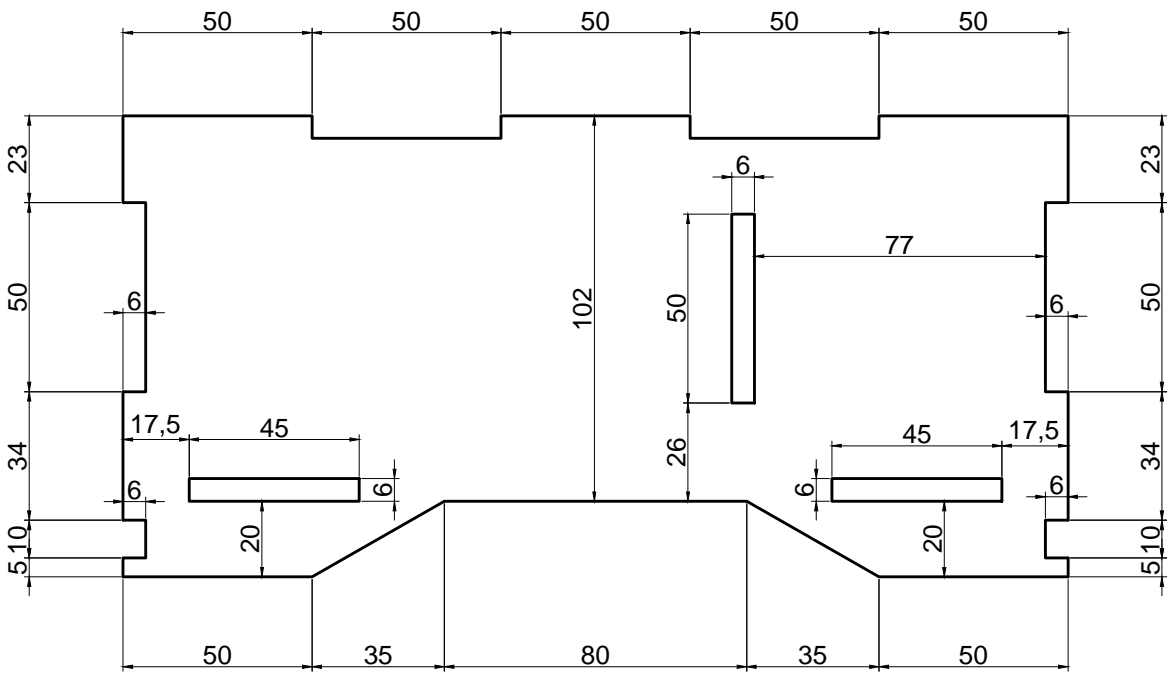
DATA: 7/10/2016

JESUITES EL CLOT

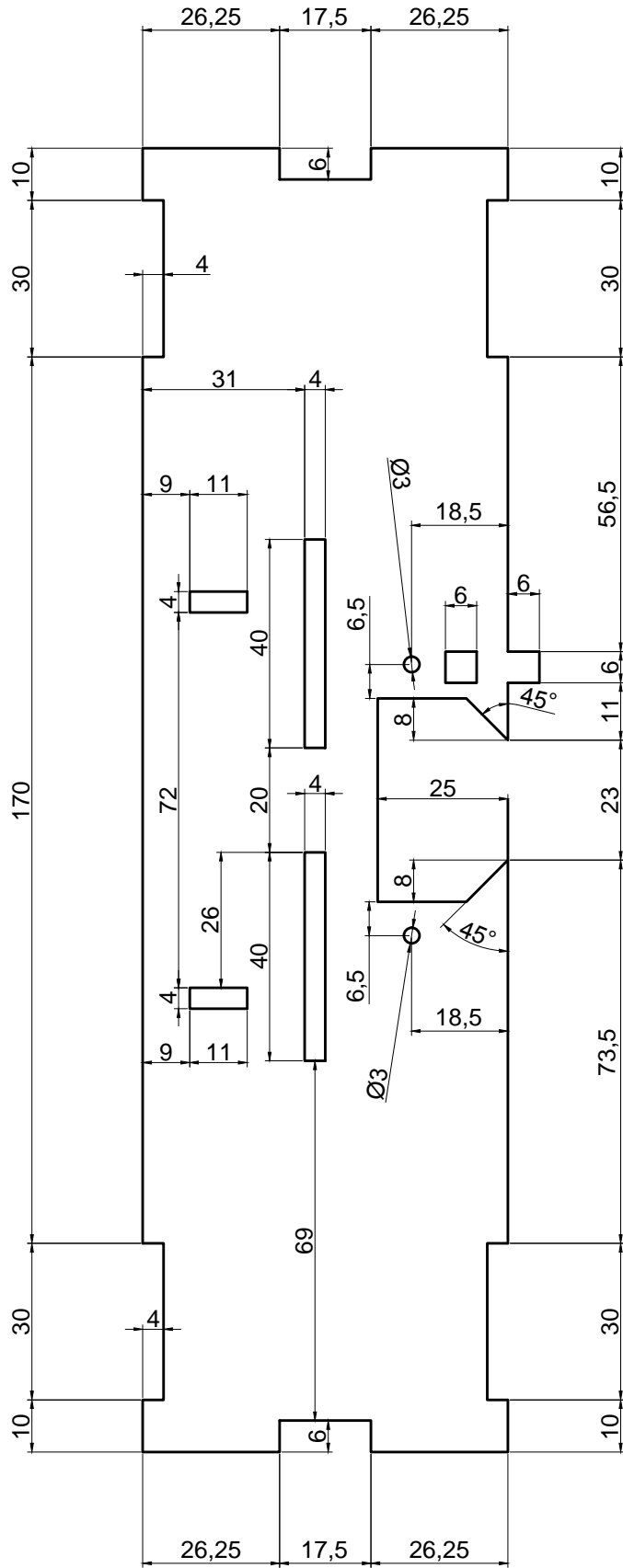
TL16M4



TL16M5



PROJECTE:	DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UNA IMPRESSORA 3D					
PLANOLS:	3.- TALL LÀSER 1 (FUSTA 6MM)					
AUTOR:	ASIER ALCORTA MADRONA	ESCALA:	1:2	DATA:	7/10/2016	JESUITES EL CLOT



PROJECTE: DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UNA IMPRESSORA 3D

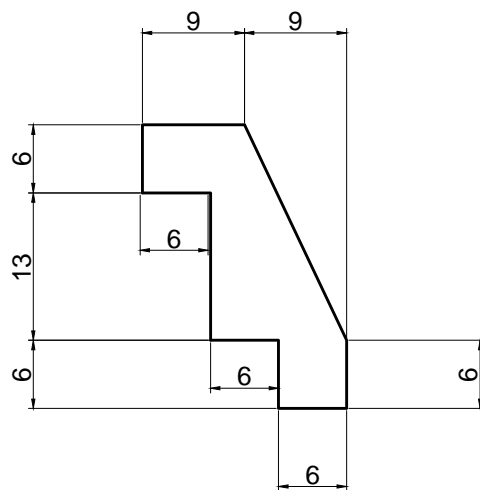
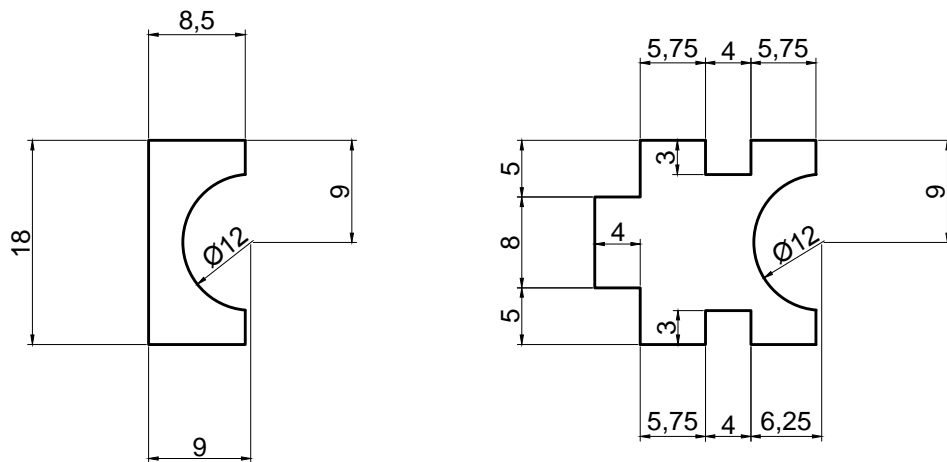
PLANOLS: TALL LÀSER 1 (FUSTA 6MM)

AUTOR: ASIER ALCORTA MADRONA

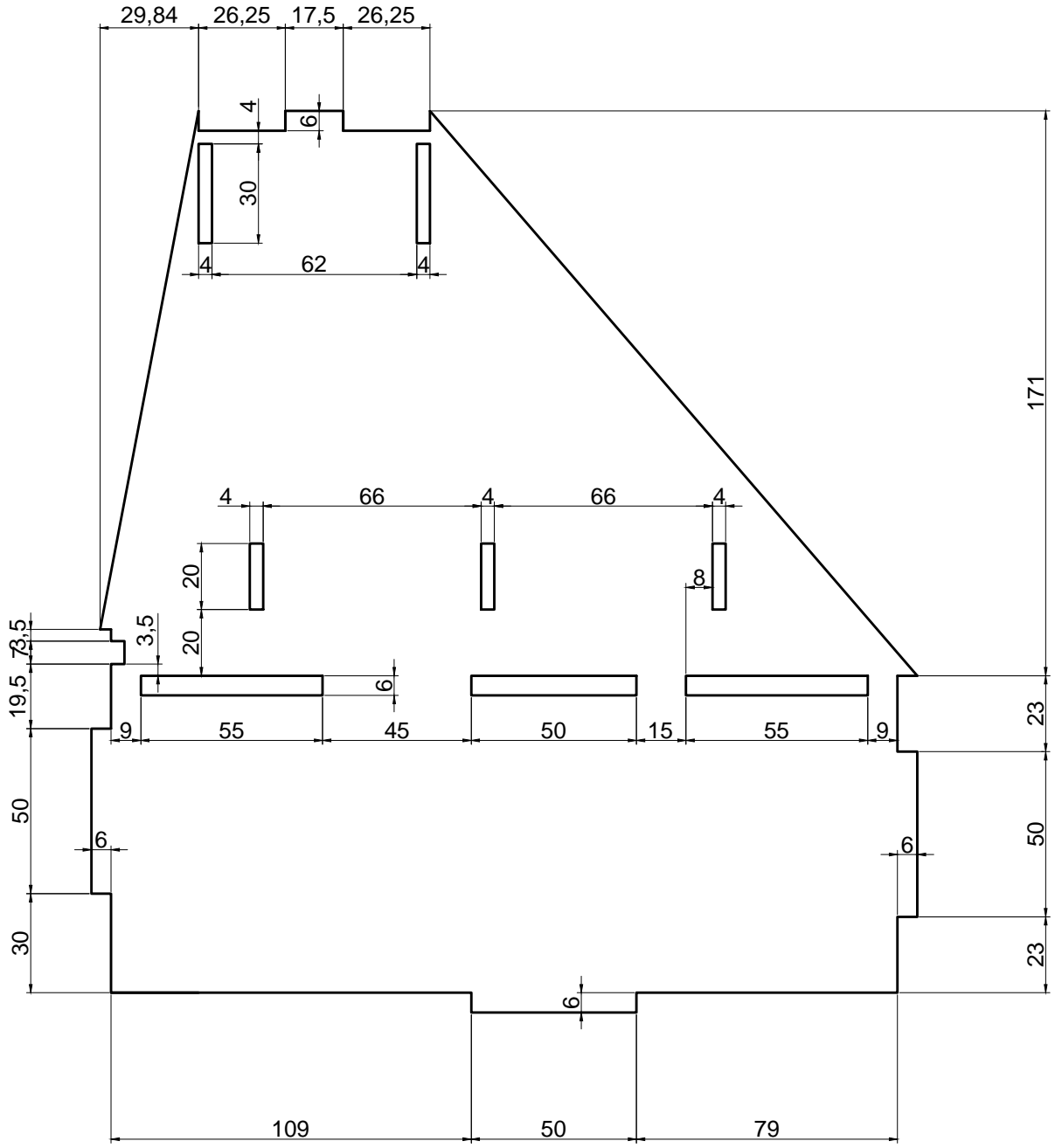
ESCALA: 1:1,5

DATA: 7/10/2016

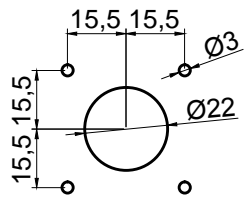
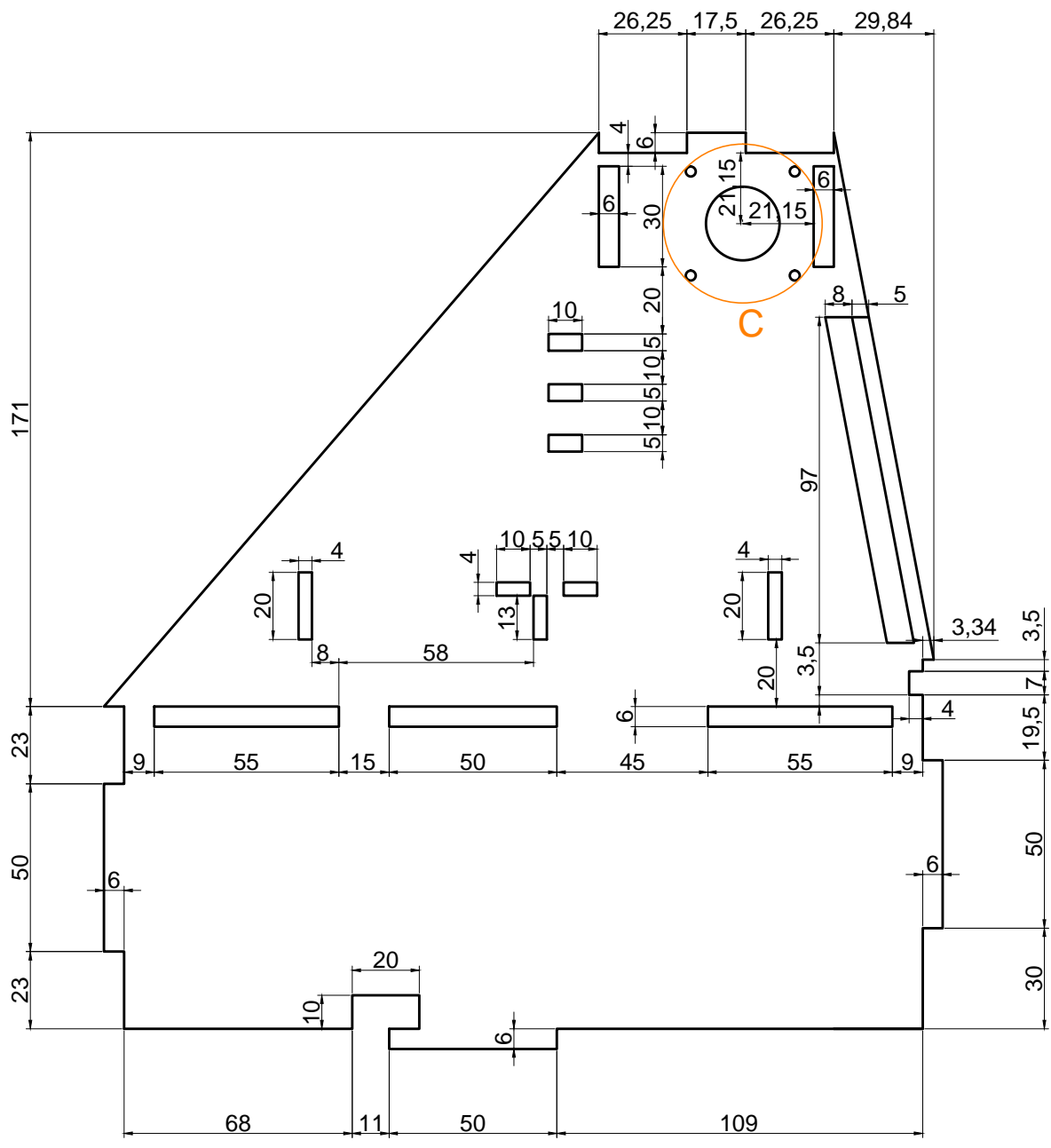
JESUITES EL CLOT



PROJECTE:	DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UNA IMPRESSORA 3D		
PLANOLS:	TALL LÀSER 1 (FUSTA 6MM)		
AUTOR:	ASIER ALCORTA MADRONA	ESCALA:	1,5:1
		DATA:	7/10/2016
			JESUITES EL CLOT

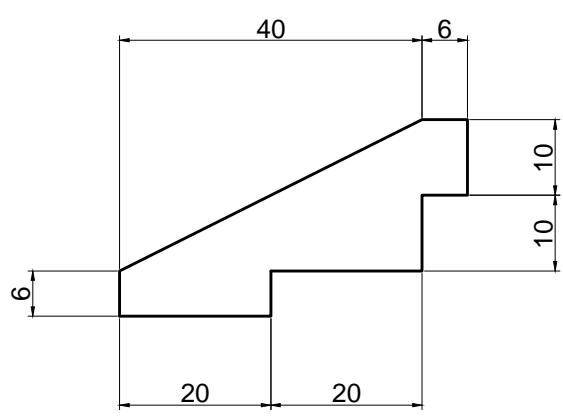
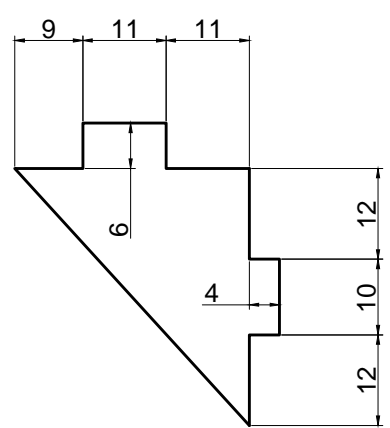
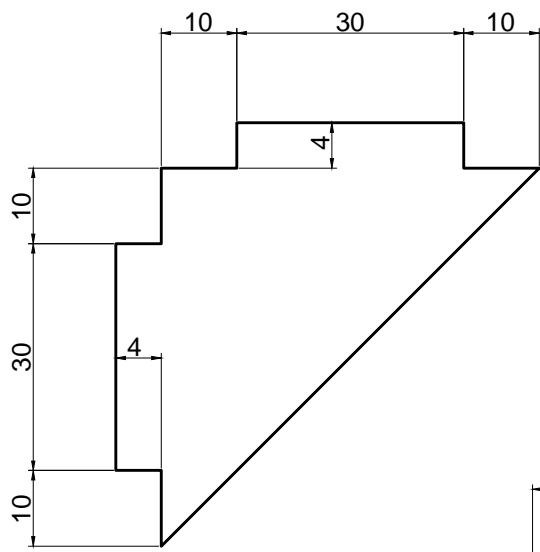


PROJECTE:	DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UNA IMPRESSORA 3D		
PLANOLS:	TALL LÀSER 1 (FUSTA 6MM)		
AUTOR:	ASIER ALCORTA MADRONA	ESCALA:	1:2
		DATA:	7/10/2016
			JESUITES EL CLOT

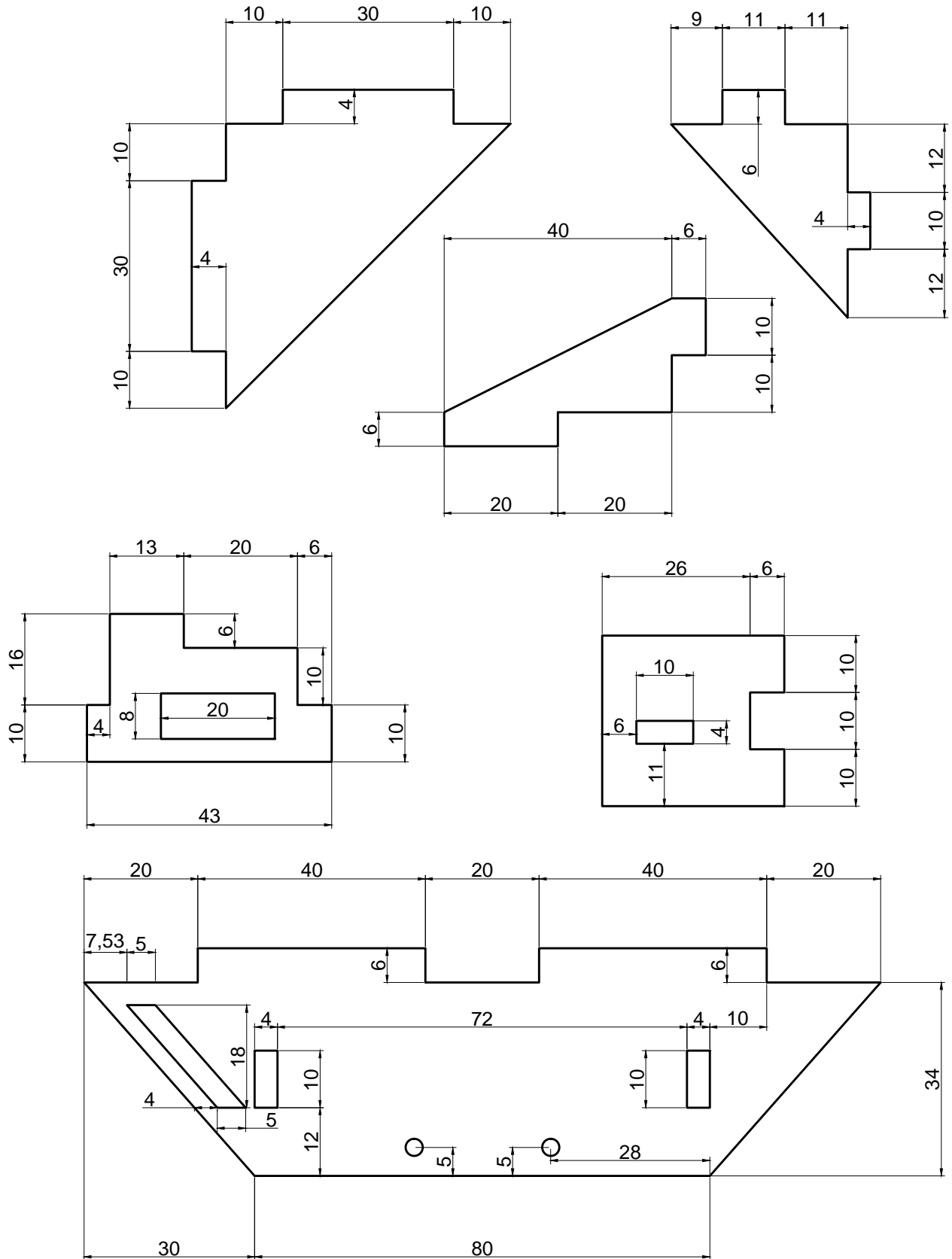


Detall C, Escala 1:2

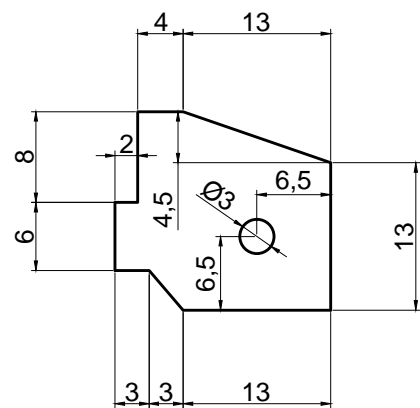
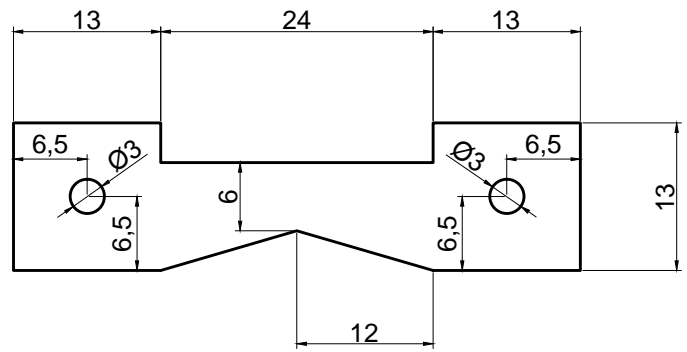
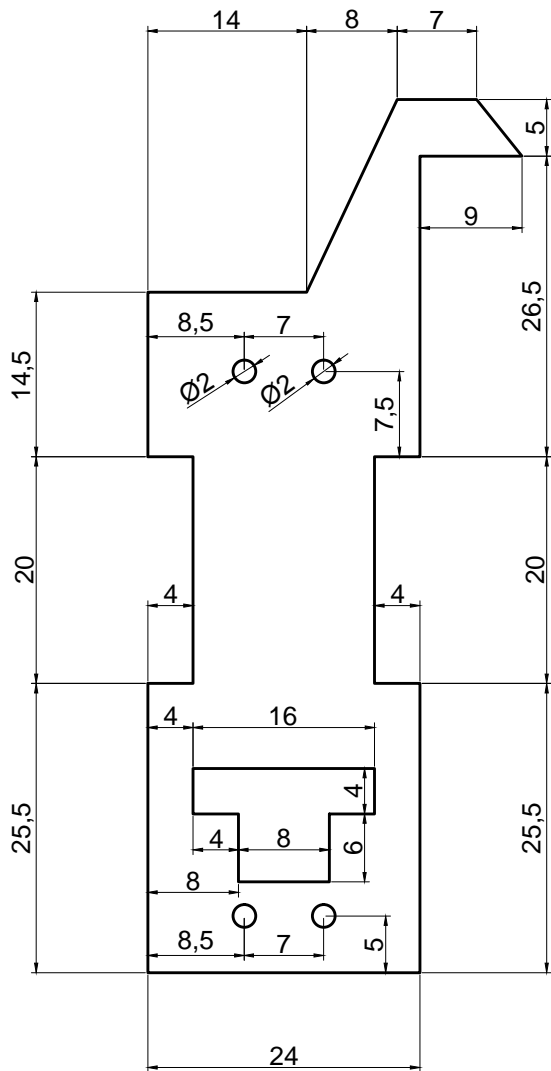
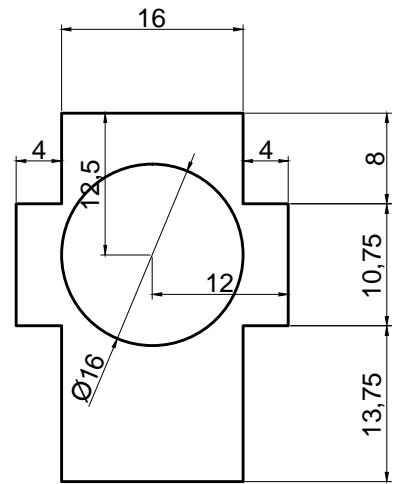
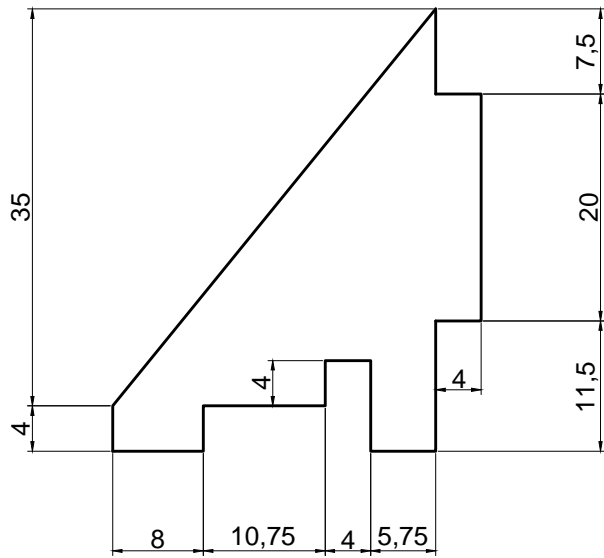
PROJECTE:	DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UNA IMPRESSORA 3D		
PLANOLS:	TALL LÀSER 1 (FUSTA 6MM)		
AUTOR:	ASIER ALCORTA MADRONA	ESCALA:	1:2
		DATA:	7/10/2016
			JESUITES EL CLOT



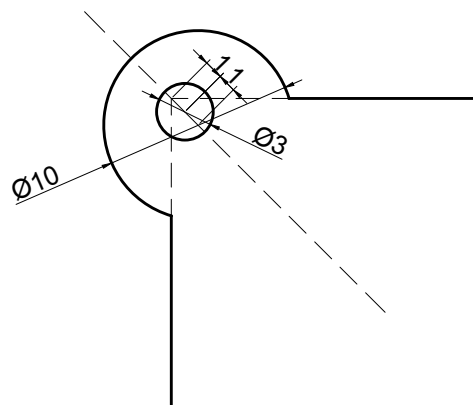
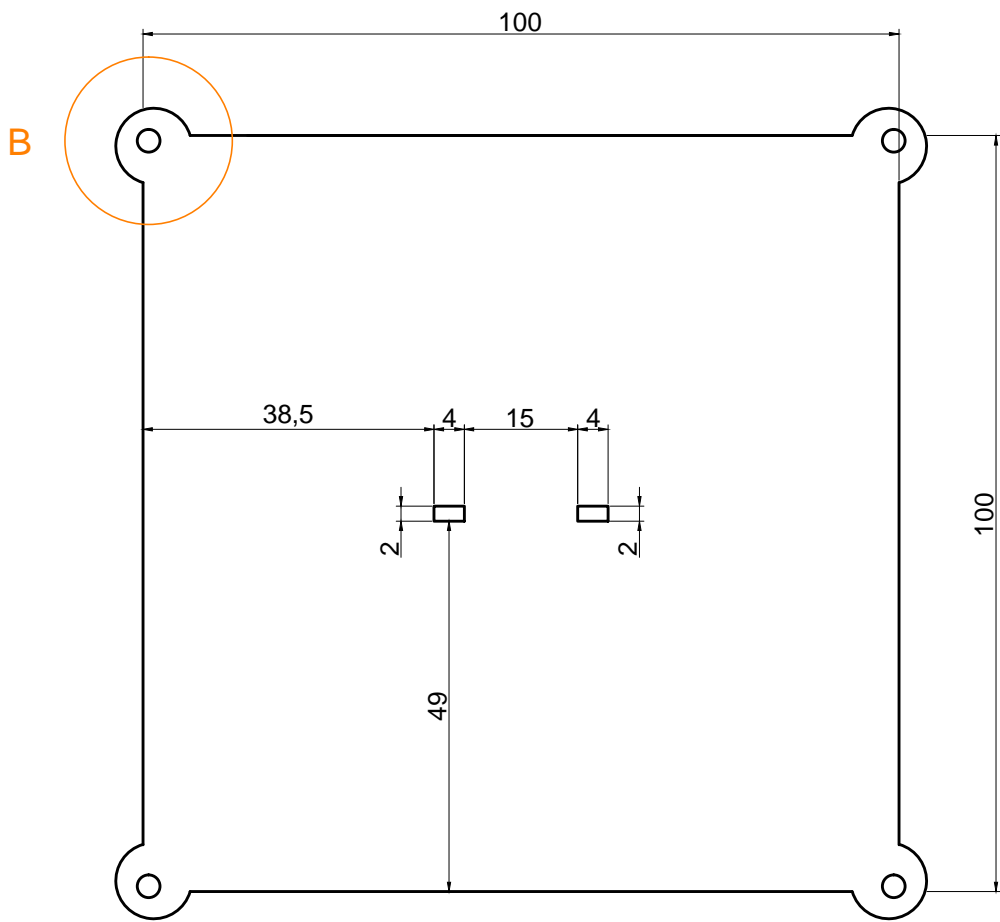
PROJECTE:	DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UNA IMPRESSORA 3D		
PLANOLS:	TALL LÀSER 1 (FUSTA 4MM)		
AUTOR:	ASIER ALCORTA MADRONA	ESCALA:	1:1
		DATA:	7/10/2016
			JESUITES EL CLOT



PROJECTE:	DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UNA IMPRESSORA 3D		
PLANOLS:	TALL LÀSER 1 (FUSTA 4MM)		
AUTOR:	ASIER ALCORTA MADRONA	ESCALA:	1:1
		DATA:	7/10/2016
			JESUITES EL CLOT

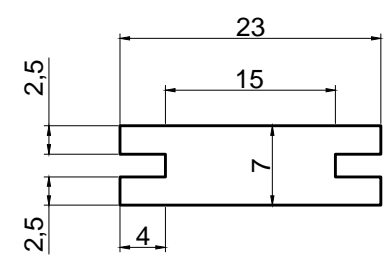
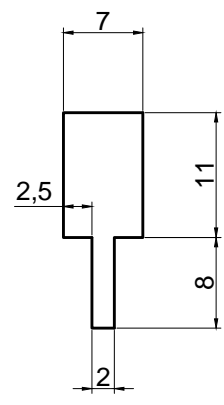
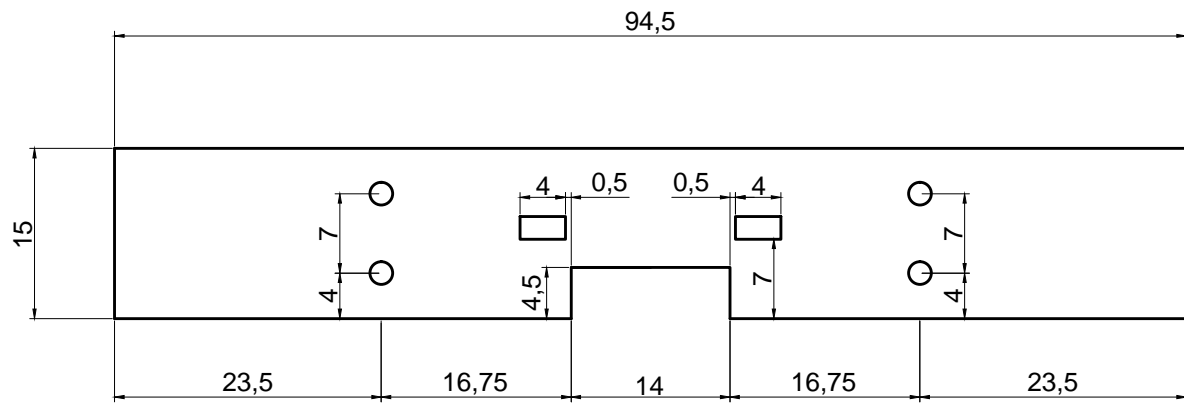


PROJECTE:	DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UNA IMPRESSORA 3D		
PLANOLS:	TALL LÀSER 1 (FUSTA 4MM)		
AUTOR:	ASIER ALCORTA MADRONA	ESCALA:	1,5:1
		DATA:	7/10/2016
			JESUITES EL CLOT

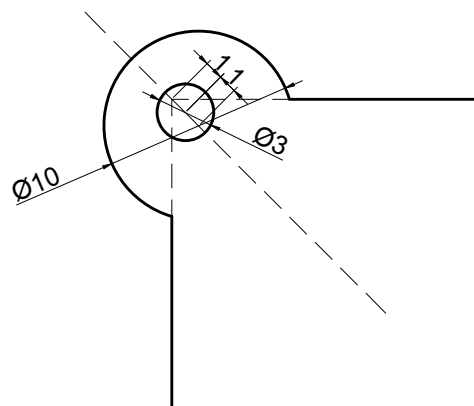
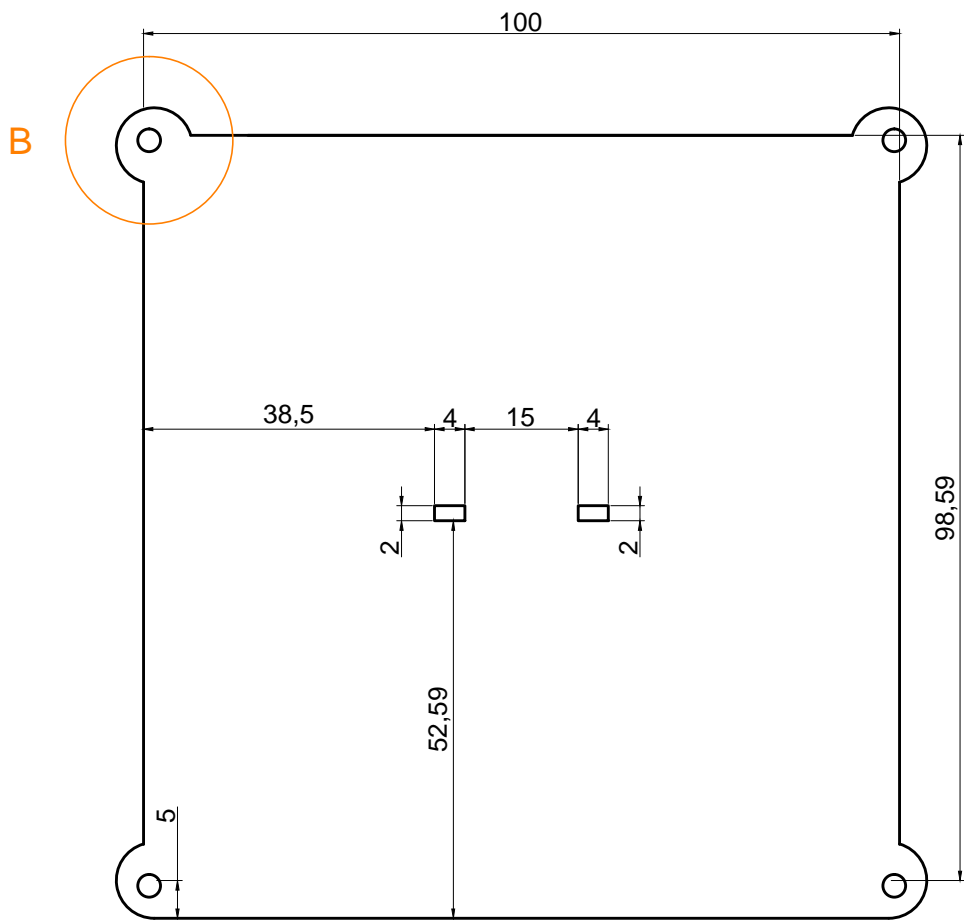


Detall B
Escala 5:1

PROJECTE:	DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UNA IMPRESSORA 3D		
PLANOLS:	TALL LÀSER 1 (FUSTA 4MM)		
AUTOR:	ESCALA:	DATA:	JESUITES EL CLOT
ASIER ALCORTA MADRONA	1:1	7/10/2016	

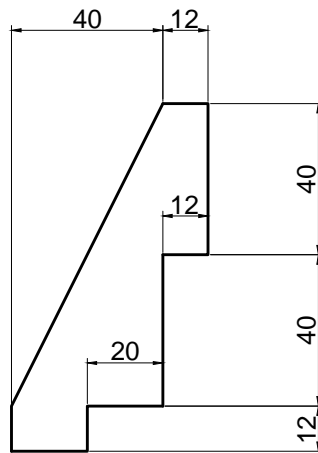
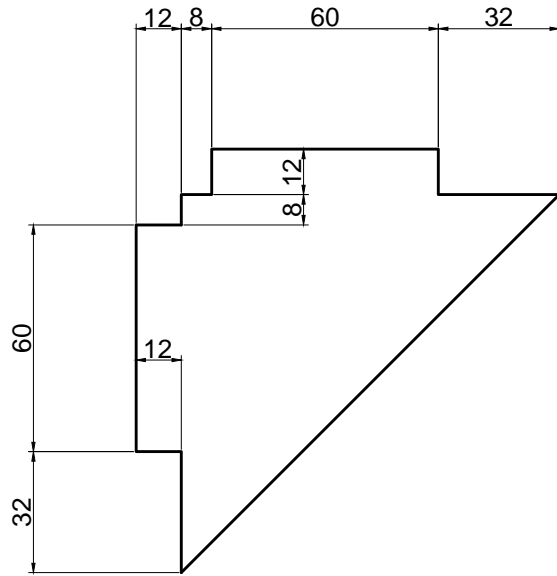


PROJECTE:	DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UNA IMPRESSORA 3D		
PLANOLS:	TALL LÀSER 2 (FUSTA 6MM)		
AUTOR:	ASIER ALCORTA MADRONA	ESCALA:	1,5:1
		DATA:	7/10/2016
			JESUITES EL CLOT

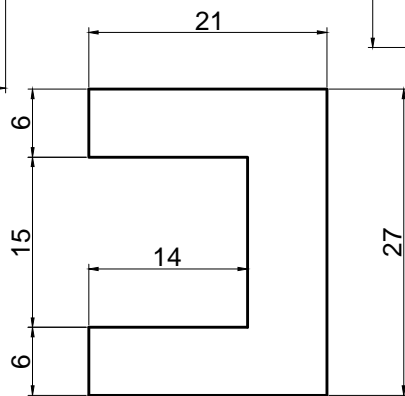
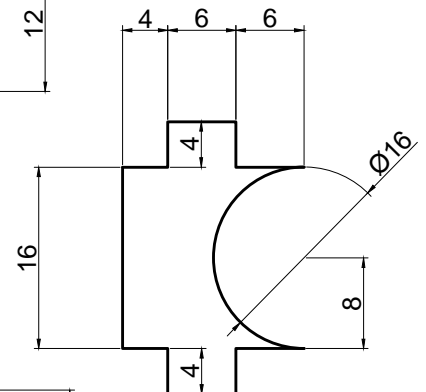
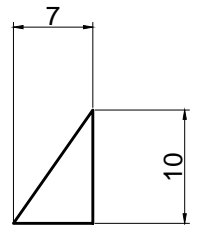
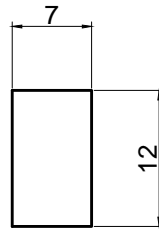
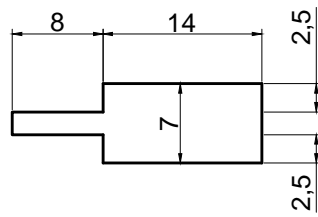
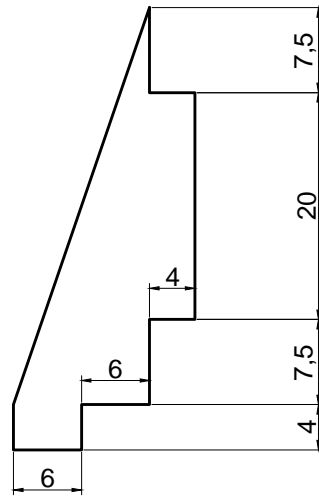
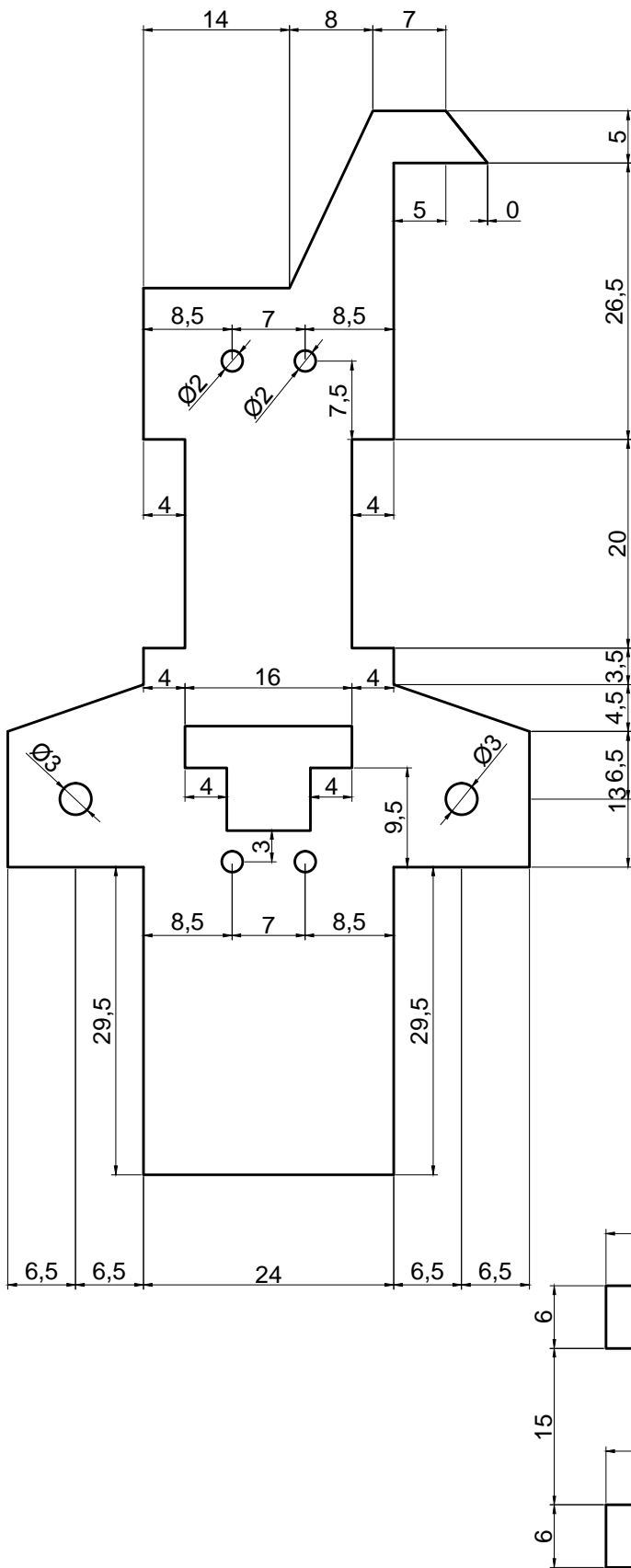


Detall B
Escala 5:1

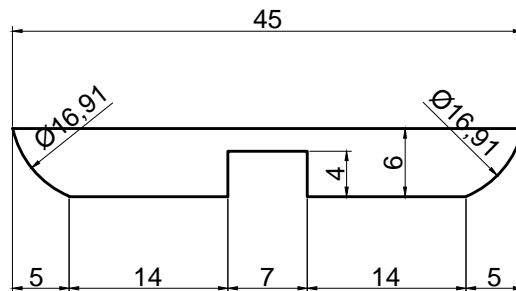
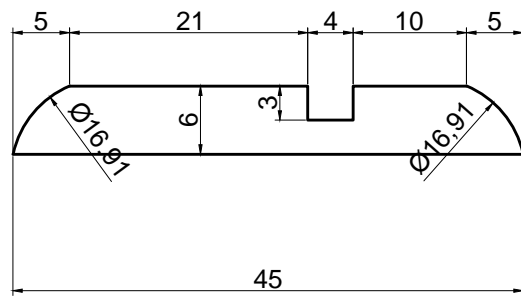
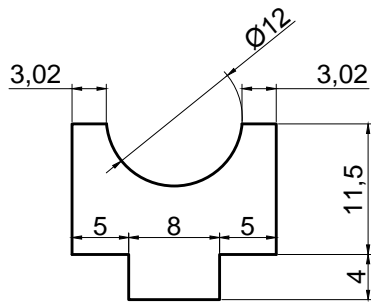
PROJECTE:	DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UNA IMPRESSORA 3D		
PLANOLS:	TALL LÀSER 2 (FUSTA 4MM)		
AUTOR:	ESCALA:	DATA:	JESUITES EL CLOT
ASIER ALCORTA MADRONA	1:1	7/10/2016	



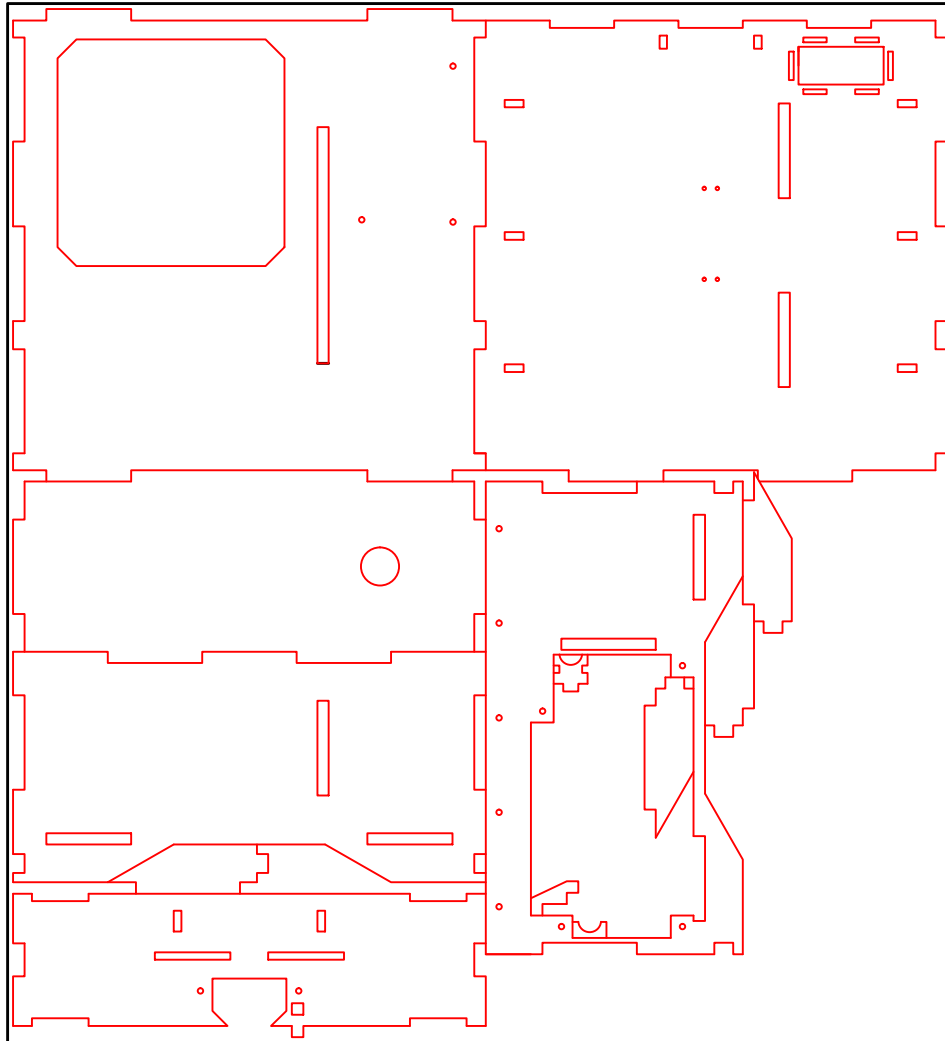
PROJECTE:	DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UNA IMPRESSORA 3D		
PLANOLS:	TALL LÀSER 2 (FUSTA 4MM)		
AUTOR:	ASIER ALCORTA MADRONA	ESCALA:	1:1
		DATA:	7/10/2016
			JESUITES EL CLOT



PROJECTE:	DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UNA IMPRESSORA 3D		
PLANOLS:	TALL LÀSER 2 (FUSTA 4MM)		
AUTOR:	ASIER ALCORTA MADRONA	ESCALA:	1,5:1
		DATA:	7/10/2016
			JESUITES EL CLOT



PROJECTE:	DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UNA IMPRESSORA 3D		
PLANOLS:	TALL LÀSER 2 (FUSTA 6MM)		
AUTOR:	ASIER ALCORTA MADRONA	ESCALA: 1,5:1	DATA: 7/10/2016
			JESUITES EL CLOT



PROJECTE: **DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UNA IMPRESSORA 3D**

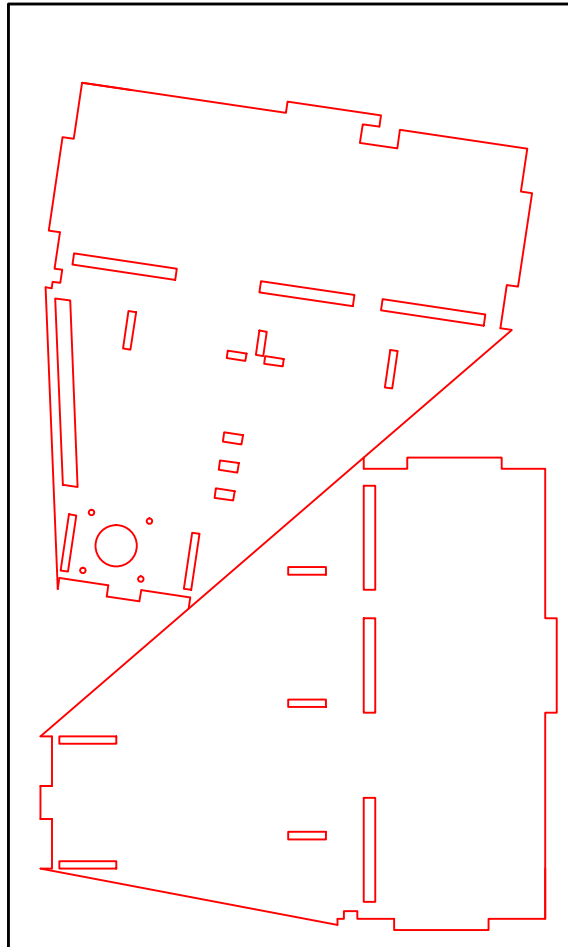
PLANOLS: **PECES COMPLETES TALL 1-6mm**

AUTOR: **ASIER ALCORTA MADRONA**

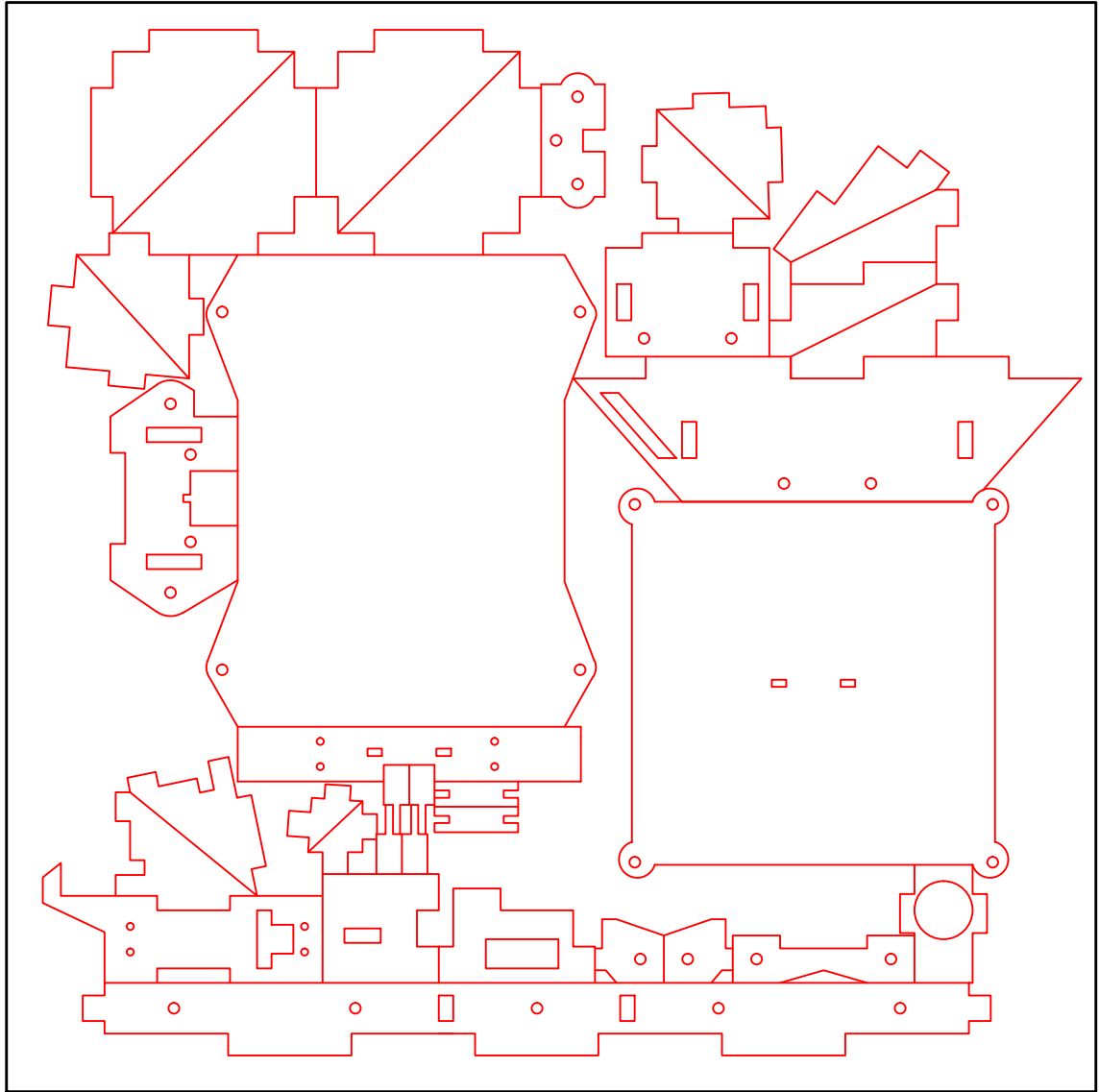
ESCALA: **3,6:1**

DATA: **7/10/2016**

JESUITES EL
CLOT



PROJECTE:	DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UNA IMPRESSORA 3D		
PLANOLS:	PECES COMPLETES TALL 1-6mm		
AUTOR:	ESCALA:	DATA:	JESUITES EL CLOT
ASIER ALCORTA MADRONA	4:1	7/10/2016	



PROJECTE: **DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UNA IMPRESSORA 3D**

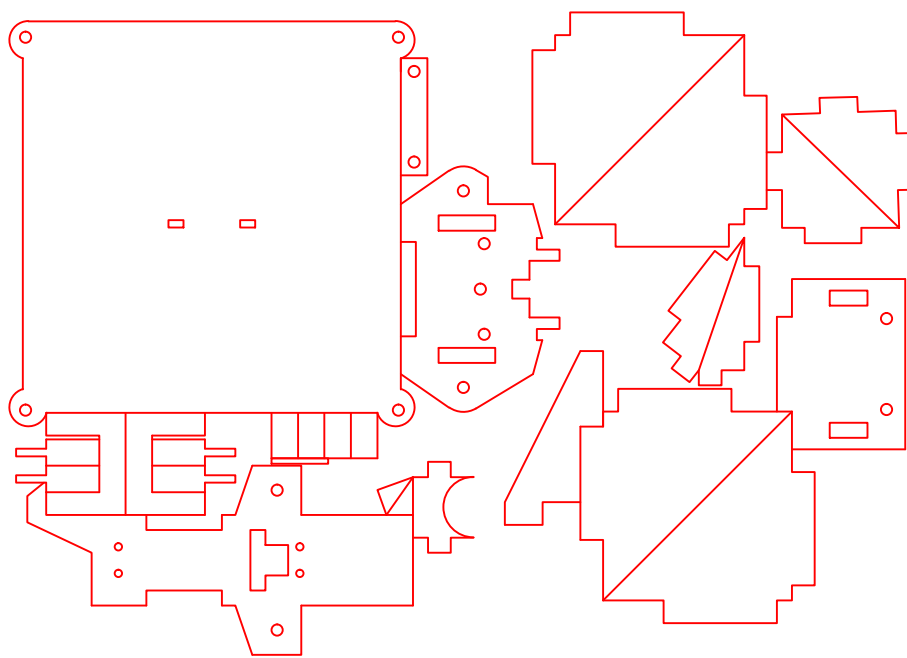
PLANOLS: **PECES COMPLETES TALL 1-4mm**

AUTOR: **ASIER ALCORTA MADRONA**

ESCALA: **2:1**

DATA: **7/10/2016**

JESUITES EL
CLOT



PROJECTE: **DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UNA IMPRESSORA 3D**

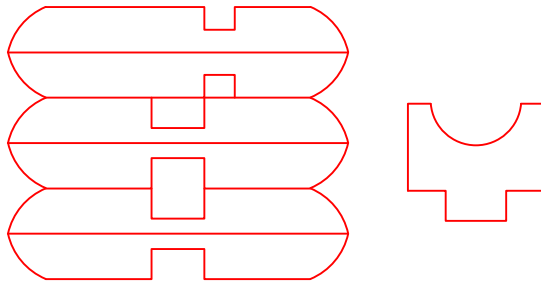
PLANOLS: **PECES COMPLETES TALL 2-4mm**

AUTOR: **ASIER ALCORTA MADRONA**

ESCALA: **2:1**

DATA: **7/10/2016**

JESUITES EL
CLOT



PROJECTE:	DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UNA IMPRESSORA 3D		
PLANOLS:	PECES COMPLETES TALL 2-6mm		
AUTOR:	ESCALA:	DATA:	JESUITES EL CLOT
ASIER ALCORTA MADRONA	1:1	7/10/2016	