



**EPS**

Escola Politècnica

**UdG** Superior

## Treball final de grau

**Estudi:** Grau en Enginyeria Mecànica

**Títol:** Disseny d'una màquina de Fused Deposition Modeling (FDM) de grans dimensions

**Document:** 1.Memòria i annexes

**Alumne:** Ernest Isern Aligué

**Director/Tutor:** Joaquim de Ciurana Gay

**Departament:** Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial

**Àrea:** Enginyeria dels Processos de Fabricació

**Convocatòria:** Juny de 2014

**ÍNDIX**

1	INTRODUCCIÓ.....	5
1.1	ANTECEDENTS.....	5
1.2	OBJECTE.....	5
1.3	ESPECIFICACIONS I ABAST.....	5
1.3.1	FUNCIÓ.....	6
1.3.2	DIMENSIONS.....	7
1.3.3	MOVIMENTS.....	7
1.3.4	FORCES.....	7
1.3.5	ENERGIA.....	7
1.3.6	MATERIALS.....	7
1.3.7	SENYALS I CONTROL.....	8
1.3.8	VIDA ÚTIL I MANTENIMENT.....	9
1.3.9	COSTOS I TERMINIS.....	9
1.3.10	SEGURETAT.....	9
2	ANÀLISI FUNCIONAL.....	10
3	ANÀLISIS DE SOLUCIONS.....	11
3.1	ESTRUCTURA.....	11
3.1.1	DIMENSIONS.....	11
3.2	MOVIMENT LINEAL.....	12
3.2.1	EIX X I Y.....	12
3.2.2	EIX Z.....	13
3.3	MOTORS.....	13
3.4	SISTEMA EXTRUSOR.....	14
3.4.1	HOTEND (ELEMENT FUSOR).....	15
3.4.2	EXTRUSOR (ELEMENT MECÀNIC).....	16
3.4.3	SISTEMES D'ALIMENTACIÓ.....	16
3.4.4	SOLUCIÓ FINAL DEL SISTEMA EXTRUSOR.....	17

3.5	LLIT CALENT (HEAT BED) .....	17
3.5.1	ELEMENT CALEFACTABLE .....	17
3.5.2	DISPOSICIONS .....	18
3.6	PECES IMPRESES ESPECÍFIQUES.....	18
3.7	ELECTRÒNICA.....	18
4	SOLUCIÓ CONSTRUCTIVA .....	20
4.1	ESTRUCTURA .....	20
4.2	TANCAMENT DE L'ÀREA DE TREBALL .....	22
4.3	MOVIMENT LINEAL .....	24
4.3.1	EIX XY .....	24
4.3.2	EIX Z.....	27
4.4	MOTORS.....	28
4.5	SISTEMA EXTRUSOR .....	30
4.6	LLIT CALENT .....	33
4.7	ELECTRÒNICA.....	33
4.7.1	ELEMENTS I SUBJECCIÓ .....	34
4.7.2	FINALS DE CURSA .....	35
5	CONFIGURACIÓ DE LA IMPRESORA.....	38
5.1	PROGRAMACIÓ DE L'ARDUINO .....	38
5.2	CALIBRATGE.....	39
5.2.1	ELECTRÒNICA.....	39
5.2.2	MECÀNICA.....	40
5.3	CONFIGURACIÓ DEL SOFTWARE .....	40
5.3.1	PROGRAMARI A UTILITZAR.....	41
6	RESUM DEL PRESSUPOST .....	44
7	CONCLUSIONS.....	44
8	RELACIÓ DE DOCUMENTS.....	44

ANNEX A. ANÀLISI DE SOLUCIONS.....	45
A.1 INTRODUCCIÓ .....	46
A.2 ESTRUCTURA .....	46
A.3 MOVIMENT LINEAL .....	47
A.3.1 EIXOS X I Y.....	47
A.3.2 EIX Z.....	52
A.4 SISTÈMA EXTRUSOR .....	56
A.4.1 HOTEND (ELEMENT FUSOR) .....	56
A.4.2 EXTRUSOR (ELEMENT MECÀNIC).....	57
A.4.3 SISTEMES D'ALIMENTACIÓ .....	59
A.5 LLIT CALENT (HEATED BED) .....	61
A.6 ELECTRÒNICA .....	63
ANNEX B. CÀLCULS JUSTIFICATIUS .....	70
B.1 INTRODUCCIÓ .....	71
B.2 PRECISSIÓ DE L'EIX Z.....	71
B.3 FLEXIÓ DE LES BARRES CALIBRADES LLISES .....	72
B.4 ACCELERACIÓ DEL CARRO MÒBIL I POTÈNCIA DELS MOTORS.....	74
B.5 VIBRACIONS .....	75
ANNEX C. DOCUMENTACIÓ TÈCNICA .....	77
C.1 CARGOL DE POTÈNCIA .....	78
C.2 MOTOR PAS A PAS.....	79
C.3 RODAMENTS ANGULARS DE BOLES.....	80
C.4 RAMPS 1.4.....	82
C.5 STEPPER/DRIVER/POLOLU .....	83
C.6 MICRO SERVO 90G .....	84

## 1 INTRODUCCIÓ

### 1.1 ANTECEDENTS

Una impressora 3D és una màquina que serveix per produir objectes 3D físics d'un model virtual creat per un ordinador. Sorgeixen amb la idea de convertir arxius de disseny assistit per computador de tipus CAD en prototips reals.

Les impressores 3D *opensource* o de software obert es basen en un injector que va extrudint un fil de material polimèric (ABS, PLA, PET...) i així formant capa a capa l'objecte a desitjar. El cervell encarregat de governar la impressora es tracta d'un *Arduino* (un *hardware* o "ordinador" lliure que no precisa de softwares comercials per funcionar) que programat degudament fa funcionar la màquina, que a grans trets és una màquina de control numèric computacional (CNC) que al revés que les tradicionals màquines que és dediquen a eliminar material d'un bloc, afegeix material.

La tecnologia de *Fused Deposition Modeling* (FDM) és actualment també reconeguda com a impressió 3D. Les impressores 3D que ja es poden comprar en kits per muntar o muntades o es poden trobar plànols de lliure distribució per internet, tenen sobretot les limitacions de la mida de l'objecte a realitzar, la gran majoria disposen d'una àrea de treball de 200x200x200mm, algun model considerat més gros han ampliat l'eix Y, és a dir el vertical fins a 300mm.

### 1.2 OBJECTE

L'objecte del projecte a realitzar és el disseny d'una impressora 3D, intentant prendre els millors aspectes de cadascun dels models ja existents, però modificant la mida d'aquesta per poder obtenir una àrea de treball de 500x500x500mm.

La impressora 3D a dissenyar serà una màquina de prestacions similars, en quant a dimensions de treball, a les que disposa actualment la Universitat de Girona i que en la actualitat el grup de recerca GREP realitzava un projecte relacionat amb models elaborats amb *Fused Deposition Modeling* (FDM) però per problemes de mida no s'ha pogut realitzar el model a estudiar d'una sola vegada, obligant a realitzar el model a parts o a escala.

### 1.3 ESPECIFICACIONS I ABAST

Els requeriments generals de la impressora a dissenyar es mostren a la Taula 1. Taula de requeriments.

En els següents subapartats s'especifica més concretament cadascun d'aquests requeriments que precisen de més informació.

Conceptes	Determinacions
<b>Funció</b>	La màquina ha de ser capaç de realitzar impressions 3D mitjançant la tècnica de FDM ( <i>Fused Deposition Modeling</i> )
<b>Dimensions</b>	Ha de ser de grans dimensions (500x500x500 mm)
<b>Moviments</b>	Es mourà en els 3 eixos de coordenades (X, Y, Z)

<b>Forces</b>	La força a realitzar pels motors és solament la del pes total de l'extrusor i que s'intentarà reduir al mínim possible. Per altre banda la força suportada per la bancada serà la del pes total de tots els components i ha de ser suficientment rígida per no flexar i absorbir bé les vibracions.
<b>Energia</b>	La màquina s'alimenta amb energia elèctrica subministrada per dues fonts d'alimentació a 12 i 24v
<b>Materials</b>	<p>Cal diferenciar entre materials de construcció i materials que és capaç d'utilitzar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Per la construcció s'utilitzaran materials diferents depenent de cada part: <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Estructura: Perfilaria d'alumini</li> <li>➤ Peces específiques: Plàstic imprès amb tecnologia FDM (<i>Fused Deposition Modeling</i>)</li> </ul> </li> <li>• La impressora serà capaç d'extrudir materials plàstics que: <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Requereixen llit calent: Precisen de base calenta per adherir-se.</li> <li>➤ No requereixen llit calent: És suficient amb una superfície plana.</li> </ul> </li> </ul>
<b>Senyals i control</b>	<p>La màquina serà governada per un hardware lliure (Open hardware); S'utilitzarà un arduino <i>Mega 2560</i> juntament amb una placa controladora <i>RAMPS 1.4</i></p> <p>Tot plegat serà controlat per un software lliure (<i>OpenSource</i>); s'escollirà segons la necessitat en cada moment quin software s'utilitza.</p>
<b>Fabricació i muntatge</b>	Cal que la màquina es pugui fabricar amb els recursos propis.
<b>Vida útil i manteniment</b>	<p>La vida útil de la màquina és llarga, probablement abans de finalitzar la seva vida útil es realitzi alguna modificació o millora, ja que es tracta d'una tecnologia molt nova i en constant desenvolupament.</p> <p>Com tota màquina, necessita un cert manteniment no gaire laboriós tal com netejar els eixos i lubricar-los o el calibratge</p>
<b>Costos i terminis</b>	Aproximadament la totalitat de la màquina costarà uns 2.000€
<b>Seguretat</b>	Les parts mòbils de la màquina estaran tancats sense fàcil accés de manera que resulti complicat el contacte accidental. Les parts calentes que puguin causar cremades estaran indicades degudament a més d'estar protegits d'igual manera que les parts mòbils

Taula 1. Taula de requeriments

### 1.3.1 FUNCIO

La principal funció de la màquina és moure un extrusor al llarg dels eixos de coordenades per tan de aconseguir la impressió d'un model en material plàstic o qualsevol altre material extrudible.

### 1.3.2 DIMENSIONS

La impressora a dissenyar, a diferència de la gran majoria de màquines comercials o conegudes que disposen d'una àrea útil de treball entorn als 200x200x200mm o les més grans com la *Makerbot® Z18* que disposa de 305x305x457 mm de treball (i un preu de 6500\$); tindrà una àrea de treball útil de 500x500x500mm.

### 1.3.3 MOVIMENTS

Per poder realitzar la impressió de models en 3D, ha de ser capaç de desplaçar-se en els 3 eixos de l'espai (X, Y, Z) en el recorregut de les dimensions requerides i amb certa velocitat i altíssima precisió.

### 1.3.4 FORCES

Es podria distingir entre les forces estàtiques que ha de suportar la bancada i les forces dinàmiques que es generen.

Per una banda, la bancada ha de suportar les forces estàtiques, com són el pes propi de tota la màquina, i ha de flexar el mínim possible en el suport de l'extrusor ja que és el que ens definirà el model.

A més existeixen forces dinàmiques tals com les inèrcies degudes a l'acceleració de la massa de l'extrusor, degut a que la inèrcia és funció de l'acceleració i la massa, i com que d'acceleració se'n requereix el màxim possible per tal de millorar la precisió del conjunt i la velocitat màxima, s'intentarà reduir al mínim el pes d'aquest.

### 1.3.5 ENERGIA

La màquina s'alimenta d'energia elèctrica subministrada per la font d'alimentació en forma de corrent continu. En les impressores comercials o més "tradicionals" s'utilitza una sola font d'alimentació d'uns 30A suficients per alimentar el sistema, però en el model a dissenyar, al ser de grans dimensions i per poder extrudir amb materials que requereixin de base calefactada, cal una segona alimentació única i exclusivament per la base calenta o heated bed i a 24V per reduir el temps de escalfament d'aquesta. A més que la base calenta disposarà d'un circuit propi i no el mateix provinent de l'electrònica.

### 1.3.6 MATERIALS

Cal separar entre materials amb els que es realitzarà la impressora i materials amb els que serà capaç de treballar.

#### • MATERIALS DE CONSTRUCCIÓ

Cada part de la impressora 3D necessita unes propietats diferents i podem trobar multitud de materials. Així doncs:

- Perfilaria: Alumini extruït

- Peces d'unió, cargols, femelles, volanderes: Acer
- Peces específiques de subjecció: Impreses amb una altra impressora 3D de FDM, ja que la filosofia de les impressores 3D de *opensource* es basa en que els "pares" (altres impressores) realitzin peces pels "fills" noves impressores; així doncs totes les impressores provindrien d'una sola que seria el pare de tots, la primera impressora anomenada Darwin (de la teoria de la evolució, estretament lligat al desenvolupament d'aquestes màquines)
- Plaques calefactables (heated bed) i extrusors: Alumini
- Corretges, topalls, *silentblocks*: Elastòmer

## • MATERIALS DE TREBALL

Per altra banda podríem trobar els materials per extrudir on hi ha multitud de materials i cada dia n'apareixen de nous ja que, es tracta d'una tecnologia molt nova i s'innova dia a dia.

Així doncs trobem dins els més comuns:

- ABS (Acrilonitril Butadiè Estirè)
- PLA (*Polylactic acid*)
- HIPS (*High Impact Polystyrene*)
- PC (Policarbonat)
- Nylon
- PVA (*Polyvinyl alcohol*) molt interessant perquè es dissol amb aigua (útil per utilitzar com a material de suport i ser fàcilment retirat)

A més, en un principi estarà concebuda amb dos extrusors de material polimèric fos, però fàcilment pot ser canviat per un altre disseny capaç d'extrudir materials fluids no necessàriament polimèrics (plastilina, xocolata, *clay*...)

### 1.3.7 SENYALS I CONTROL

En aquest camp podem diferenciar entre què controla, com controla i amb què controla:

- Què controla?: El control de la màquina es basa en hardware lliure (open hardware) tals com un Arduino *mega 2560* juntament amb una placa controladora també de hardware lliure anomenada RAMPS 1.4; tot hi que això és el més comú, hi ha altres plataformes tals com la *Megatronics*, la *minitrionics*, la *rambo*... totes basades en Arduino, però en una mateixa placa juntament amb el controlador de motors.
- Com controla?: Bàsicament els motors són pas a pas, així la placa controladora mitjançant uns *steppers* (controladors de motors pas a pas) i utilitzant senyal de tipus PWM envia polsos als motors i aquests es mouen els graus necessaris per la seva correcta col·locació. Per altra banda el control



dels extrusors i llit calent pot ser senyal PWM o normal, regulada per un PID i en el cas de la base calenta serà a través d'un relé per poder obtenir una corrent més alta que la capaç de passar a través de l'electrònica.

- Amb què controla?: És a dir quin software governa l'electrònica. Igual que anteriorment es basa en software lliure (*opensource*), el qual és de lliure distribució, és a dir, que no s'ha de pagar pel seu ús, existeixen diferents programes necessaris pel correcte funcionament de la màquina.

Existeixen dos grans grups de software:

- Programa de l'Arduino: És tot el codi que governa l'Arduino, amb les diverses configuracions de entrades i sortides, què fa cada connector, com ha de actuar en cada cas, etc. Hi ha moltes configuracions disponibles tot hi que la més polivalent, emprada i fàcil és el *Marlin*.
- Programes externs de govern: Són tot el conjunt de programes per poder imprimir, és a dir, per passar d'un model 3D en CAD a un conjunt d'ordes que puguin ser enviades a l'Arduino. Hi ha molts programes cadascun per diferents usos.

### 1.3.8 VIDA ÚTIL I MANTENIMENT

Com ja s'ha esmentat la impressió 3D és una tecnologia molt nova i en constant desenvolupament, una màquina ben calibrada i ben cuidada pot tenir una vida molt llarga amb un manteniment relativament baix. Tot hi això, molt probablement la màquina és faci vella o se l'hi hagin de realitzar algunes modificacions per millorar el seu funcionament amb components nous i més evolucionats que els actuals, que no pas s'esgoti la seva vida útil.

### 1.3.9 COSTOS I TERMINIS

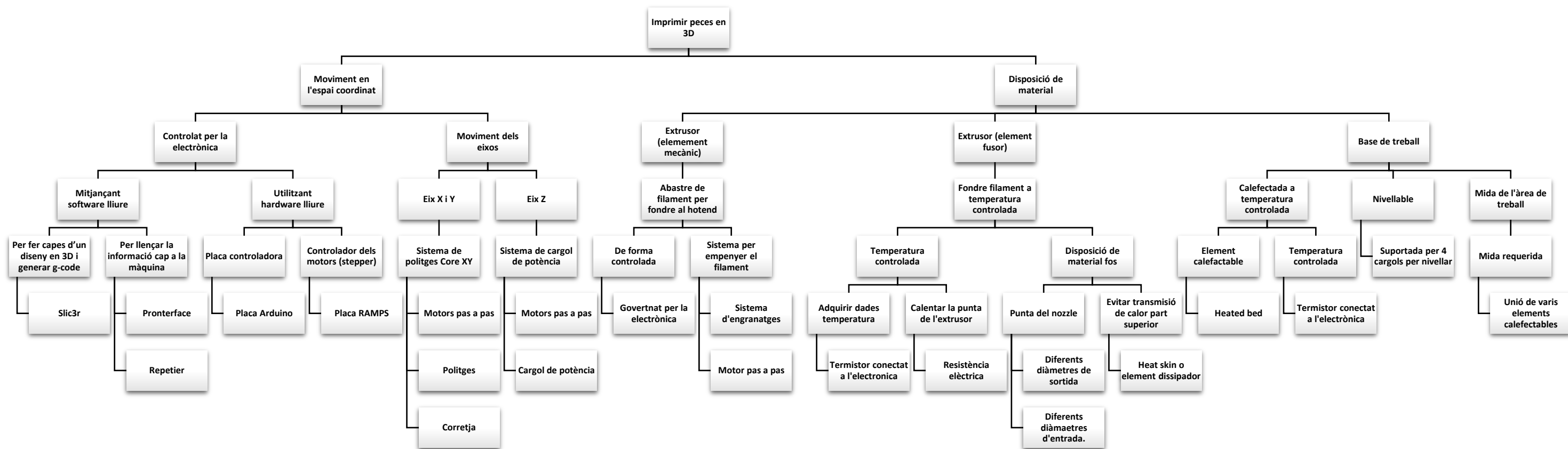
Al ser una impressora "*hand-made*" el cost resulta relativament baix en comparació amb models comercials de grans dimensions tals com la Z18 de *Makerbot*®, el cost total rondarà els 2000€ amb totes les millores i extres basics.

### 1.3.10 SEGURETAT

La seguretat com amb tota màquina és important i en aquesta, tot hi no ser una màquina mont perillosa, la seguretat serà a dos nivells:

- Protecció contra contactes involuntaris: Les parts mòbils de la impressora juntament amb l'àrea d'impressió van tancats dins l'estructura protegit amb portes de plàstic, per una banda, per evitar el contacte accidental i d'altre per mantenir una temperatura constant a l'àrea d'impressió i afavorir a la qualitat final de la impressió.
- Senyalització: Les parts calentes estaran degudament senyalitzades.

2 ANÀLISI FUNCIONAL



### 3 ANÀLISIS DE SOLUCIONS

A continuació es citarà per a cada part de la màquina quina solució o opció s'ha escollit en quan a components. En aquest document només consta la part de la solució per fer una lectura més fluida, a l'Annex A (anàlisi d'alternatives) es detallen totes solucions possibles, cadascuna amb els seus avantatges i inconvenients.

#### 3.1 ESTRUCTURA

L'estructura és l'element resistent que ha de suportar tots els esforços i pesos del conjunt. Ha de ser resistent, rígid i funcional.

És per tot això que es determina que el material seleccionat sigui un material metàl·lic amb unes característiques adequades a les necessitats exigides.

- **SOLUCIÓ ESCOLLIDA**

Escollirem la perfilaria d'alumini de la marca ITEM, concretament el perfil de la sèrie 8 de 40x40 en color negre . Es tracta d'un perfil suficientment rígid i lleuger alhora, que en facilitarà molt el muntatge la màquina ja que, existeixen uns connectors ràpids o *fasteners* que actuen com a femella sobre aquest tipus de perfil i és de fàcil col·locació. A més la mida de 40x40 donarà un aspecte de robustesa que no s'aconseguiria amb el perfil de 20x20 com el que utilitza la impressora BCN3D+.

S'ha descartat la opció d'utilitzar barres roscades ja que no és una solució del tot professional, lenta i amb propietats mecàniques inferiors.

Deixant de banda el tema estètic el perfil escollit compleix degudament amb els requeriments mecànics i estructurals.

##### 3.1.1 DIMENSIONS

L'estructura ha d'allotjar l'àrea de treball, és a dir, ha de ser com a mínim de 500x500x500mm, però a més, l'extrusor, les guies lineals i la pròpia perfilaria requereixen d'espai.

Prendrem com a referència models ja existents tals com BCN3D+ de *ReprapBCN* (fundació CIM) (Figura. 1) , altres com la *Prusa i3* (Figura. 2), i les *Makerbot* (Figura. 3 *Makerbot Replicator 2x* i intentarem agafar els millors aspectes de cadascuna.

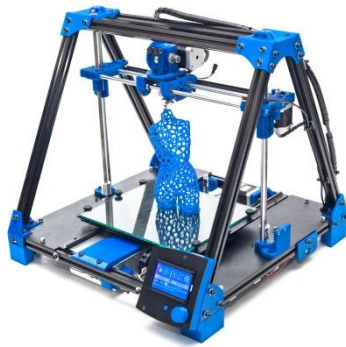


Figura. 1 BCN3D+

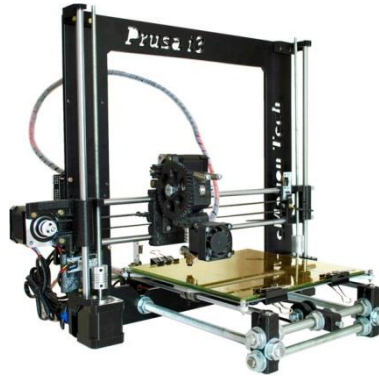


Figura. 2 Prusa i3 Rework

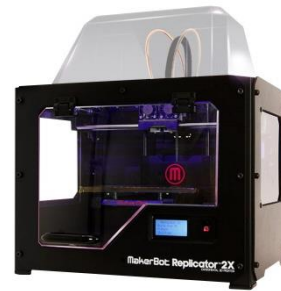


Figura. 3 MakerBot Replicator 2x

### 3.2 MOVIMENT LINEAL

Cal transformar el moviment de rotació dels motors en desplaçament lineal, per poder moure així cada eix linealment segons convingui. Per això diferenciem entre els eixos X i Y, i l'eix Z per separat.

#### 3.2.1 EIX X i Y

El moviment dels eixos X i Y és molt important, ha de ser ben coordinat i requereix de més tecnologia, ja que aquest ens definirà la totalitat del nostre model, ja que l'eix Z només s'encarrega de augmentar en una mida determinada (amb molta precisió) cada cap. Els eixos X i Y han d'esser capaços de passar capa rere capa per el mateix punt amb precisió de 0,125mm. A més es buscarà obtenir el mínim de pesos a moure ja que, com més pes cal accelerar mes gran és la inèrcia, i dificultarà obtenir grans velocitats i moviments precisos, cosa que afectarà a la definició del model.

Es pot arribar a la conclusió que ha de ser un sistema de guiatge lineal molt precís, amb el mínim de joc a poder ser, amb unes bones corretges de sincronització i amb molt poc fregament. Afegint-hi que tingui el mínim de pes a moure innecessàriament resulta una part força complexa de la impressora.

#### • SOLUCIÓ ESCOLLIDA

S'ha escollit la solució 4 (coreXY) com a més òptima. Ja que presenta multitud d'avantatges i inconvenients no molt significatius. A més de la precisió i de la poca inèrcia aplicada sobre el capçal mòbil, es podria arribar a fer plegable sense massa complicacions o fins hi tot adaptar-la per poder realitzar altres funcions.

S'han descartat les altres opcions degut a:

- Solució 1: Tecnologia fàcilment superada per altres opcions a més de tenir molta inèrcia a moure i ocupar més espai en va respecte les opcions 3 i 4
- Solució 2: Molt bona tecnologia, fàcil d'implementar, molt utilitzada (es troba molta informació i solucions a possibles problemes). El fet de ocupar el

doble d'espai i quan es tracta d'una impressora de grans dimensions és el que fa que aquesta disposició no sigui la més viable.

➤ Solució 3: Resulta una bona disposició ja que redueix inèrcies, és compacte, no precisa més espai del necessari per allotjar l'extrusor fins a cadascun dels extrems de l'àrea de treball, però genera moment torçor que pot afectar a la impressió, aspectes que es veuen solucionats en el model escollit.

### 3.2.2 EIX Z

L'eix Z que treballa de forma vertical, realitza la tasca d'augmentar la seva distància en increments molt petits (alçada de la capa), cal dir que quan aquest es mou, els altres dos eixos no acostumen a moure's. Per tant ha de tenir una molt alta precisió i s'intenta buscar una rigidesa alta, de manera que, al moure's no es desplaci o es desequilibri.

En aquest cas seleccionarem els components utilitzats i la seva disposició:

- **COMPONENTS ESCOLLITS**

Seleccionem el component de la solució 1 (cargol de potència) perquè és ràpid i precís. S'han descartat les varilles roscades degut a que, tot hi ser més barates, són molt més lentes (tenen un pas més petit), ofereixen més imprecisió i fregament.

- **DISPOSICIÓ ESCOLLIDA**

Finalment s'ha optat per disposar quatre cargols de potència a cada cantonada (solució 3), així s'aconsegueix mantenir una precisió uniforme al llarg de la taula i s'evita una possible deformació d'aquesta o de les barres calibrades llises de guiatge de la solució 2, ja que aquestes no asseguren que no aparegui un moment degut a una possible descompensació de la taula.

- **SISTEMA D'ACCIONAMENT**

Seleccionarem la solució 2 (sistema moto-reductor-distribuïdor) perquè és una opció que ens assegura el moviment igual per a cada cargol de potència i per tant, un igual increment de la distància de la taula vers l'extrusor i evitar possibles descompensacions degut a la possible pèrdua de passos, com podria passar a la solució 1 (connexió directe motor amb cargol de potència). Per tant s'haurà de dissenyar un sistema de repartiment i reducció de moviment.

### 3.3 MOTORS

La selecció del motor no és molt complicada. Només cal triar la mida i potència d'aquest, es classifiquen segons l'estàndard NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*, de Estats Units), aquest estàndard només fa referència a les mides de la

subjecció (un NEMA 17 té 1.7 polzades entre forats de subjecció) tot hi que va estretament lligat a la seva potència, consum, mida i pes.

Així doncs, la primera impressora 3D creada estava accionada per 5 motors NEMA 23, tot hi que en la actualitat s'utilitzen motors NEMA 14 o 17, a la Figura. 4 es pot observar diferents mides, que ja tenen força suficient per moure el conjunt i són més ràpids ja que han de moure menys inèrcia del propi eix, tenen una resposta més ràpida i menys consum.

Per tant optarem per escollir els motors NEMA 17 ja que:

- Resulten fàcils de comprar i molt econòmics.
- Tenen potència suficient.
- Consum energètic equilibrat (els NEMA 23 tenen un consum molt alt i carrega als *steppers* en excés)
- Pes i mida ideal.

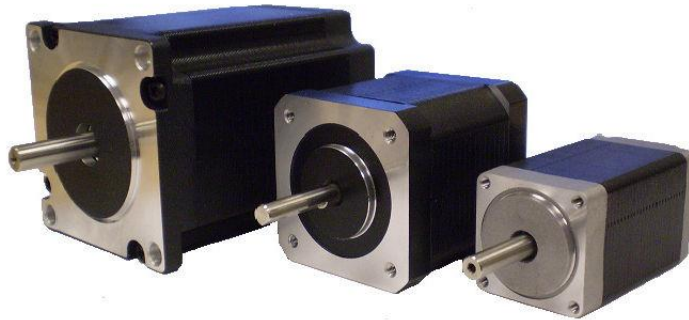


Figura. 4 Motors pas a pas

### 3.4 SISTEMA EXTRUSOR

L'extrusor en conjunt és l'element que ens "dibuixa" o crea la peça capa rere capa. Així doncs, és important una bona selecció d'aquest.

L'extrusor és un conjunt de elements i amb diferents disposicions possibles, a la Figura. 5 es poden veure les diferents parts i a continuació es realitzarà una selecció de cadascuna de les solucions.

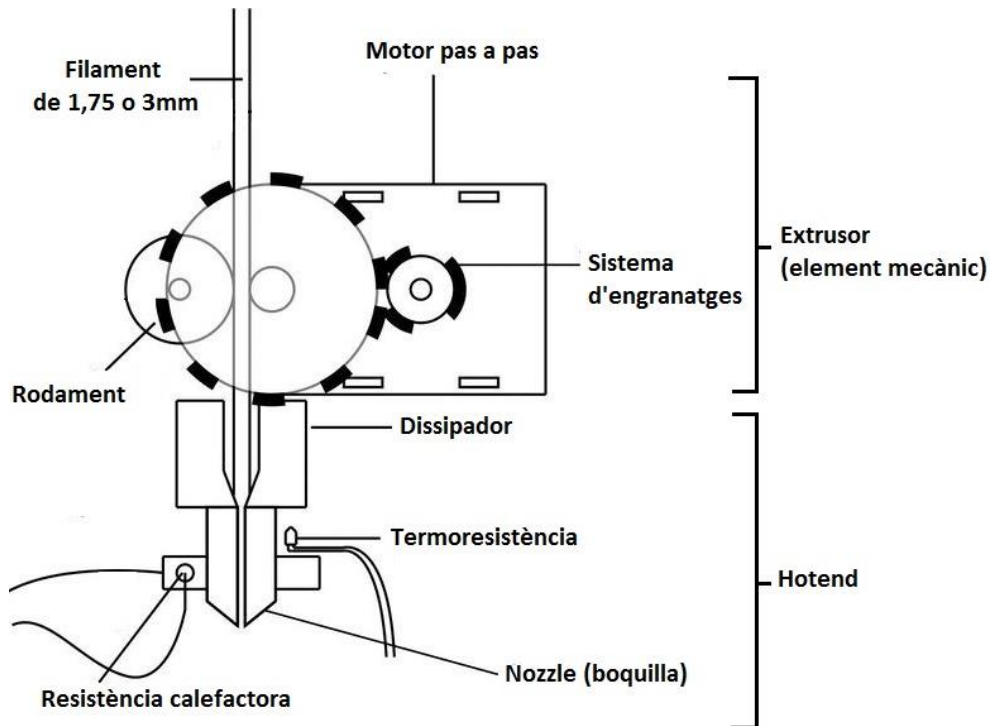


Figura. 5 Parts de l'extrusor

### 3.4.1 HOTEND (ELEMENT FUSOR)

La part de la impressora encarregada de escalfar el material fins al “*melting point*” on el plàstic presenta un estat de viscositat per poder així, passar-lo a través de la “boquilla” (*nozzle*).

Les parts d'un hotend es poden observar a la Figura. 6 :

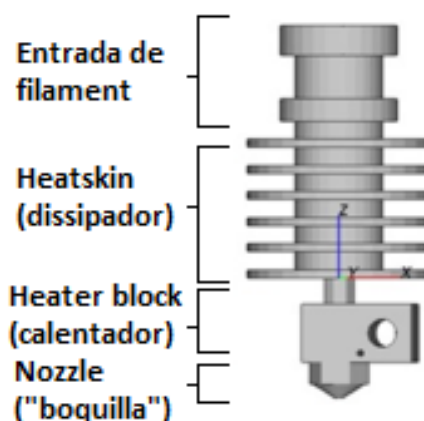


Figura. 6 Parts hotend

La gran majoria de hotends que trobem al mercat ja són kits amb totes les parts acoblades (amb possibilitat d'escollir si extrudirem filament de 3mm o 1.75mm i la mida

de la "boquilla" (*nozzle*) entre 0.2 fins a 0.6mm), per tan no haurem de fer la selecció de cada part sinó del conjunt, ja que n' existeixen de diferents estils.

- **HOTEND ESCOLLIT**

Seleccionarem la solució 2 ja que, al tractar-se d'un hotend all-metall té més possibilitats de materials per treballar degut a les altes temperatures que pot suportar, són senzills i fins i tot, si no es volgués comprar, es podria fer fàcilment amb un centre de mecanitzat i un torn.

En el cas que s'encallés és soluciona fàcilment, ja que si s'augmenta considerablement la temperatura, aquest embús desapareix, en canvi si és fa el mateix en un altre hotend aquest es crema sencer i és pitjor.

Si no es fabrica un hotend propi s'escollirà comprar el de *reprapBCN* que utilitza la impressora BCN3D+, resulta econòmic i dóna uns molt bons resultats.

### 3.4.2 EXTRUSOR (ELEMENT MECÀNIC)

L'extrusor, tot hi que el conjunt rebi el mateix nom, és la part mecànica que s'encarrega d'empènyer el fil de plàstic a fondre cap al hotend. Aquest ha de ser precís ja que és el que defineix quant de plàstic surt i ens determina com queda cada capa a nivell de quantitat de material per passada; si falla per poca quantitat, no s'adheriran bé les capes entre sí i quedaran forats, a més de poca resistència en el model i poca definició; en canvi si surt massa quantitat quedarà un model segurament inacabat, es faran boles de plàstic, embussos i el propi hotend arrencarà el model de la base calenta.

Hi ha moltíssims sistemes d'extrusió, però es poden diferenciar en dos grans grups i després triar un model vàlid ja que gairebé, qualsevol dels que podem trobar per internet és vàlid.

- **SOLUCIÓ ESCOLLIDA**

Escollim la solució 1 (extrusió amb engranatges), ja que com que les dues solucions són igual de vàlides i efectives, es busca carregar el mínim el motor per tal d'allargar la seva vida útil, el problema d'espai no és inconvenient i resultarà útil tenir un engranatge gros per poder moure manualment si cal, en canvi amb la solució 2 (extrusor directe) per poder moure el filament només es pot fer electrònicament o amb més dificultat.

### 3.4.3 SISTEMES D'ALIMENTACIÓ

Els sistemes d'alimentació del sistema extrusor són els mètodes els quals porten del filament des de l'extrusor (com a element mecànic) fins al hotend.

Semblaria que ha d'anar unit una peça amb l'altra però existeix una segona disposició.

- **SOLUCIÓ ESCOLLIDA**



Escollim la solució 2 (sistema *Bowden*) com a més òptima, ja que tots els altres elements de la impressora (com el moviment en X i Y) van destinats a reduir inèrcies, per tant si hem procurat no haver de moure el pes d'un motor anteriorment en el sistema de moviment dels eixos X i Y, en aquest punt que s'està decidint si moure el pes de dos motors més dos sistemes mecànics d'extrusió resulta encara més important posar-los fora del carro mòbil.

A més amb una bon calibratge del sistema es poden aconseguir prestacions iguals referint-nos a l'extrusió de material, en qualsevol de les dues solucions.

#### 3.4.4 SOLUCIÓ FINAL DEL SISTEMA EXTRUSOR

En resum, el sistema extrusor en la seva totalitat, estarà format per:

- Fusors: Dos hotends all-metal
- Element extrusor: Extrusor per engranatge
- Sistema d'alimentació: Sistema bowden

#### 3.5 LLIT CALENT (HEAT BED)

El llit calent és la base calefactable sobre la que s'imprimeixen les peces, és la taula de treball. Hi ha materials com el PLA que no precisen de base calenta, és a dir, només a temperatura ambient, com a molt amb cinta *kapton* a la base o laca sobre la base per adherir-se millor és suficient. Altres materials com podrien ser el PVC o el PC necessiten de base calefactada per evitar el "*warping*", aquest fenomen té lloc quan la peça que s'està fabricant es desenganxa de la taula o es dobla per un dels seus extrems, és degut sobretot a la contracció del material al refredar-se (per això és important mantenir la base a temperatura elevada durant tot el procés) i a la falta d'adherència amb la base.

Per tant, el llit calent o heated bed és una peça important de la impressora i cal estudiar bé com i quina base utilitzar, per això ho dividirem en diferents parts:

##### 3.5.1 ELEMENT CALEFACTABLE

Per poder escalfar la base de treball cal un element que s'escalfi i escalfi aquesta. Al mercat es troben elements específics i altres solucions més "artesans". Però tots busquen aconseguir una temperatura uniforme i constant de fins a 120°C sobre la base de treball. Seria un avantatge afegit escurçar et tems d'espera fins assolir la temperatura de treball.

##### • SOLUCIÓ ESCOLLIDA

Escollirem la placa "*pcb mk3 alu*", ja que presenta avantatges tals com, la ràpida velocitat d'escalfament i és rígida i plana, per tant es pot imprimir directament sobre aquesta. No resulta complicada de trobar encara que sí una mica més cara que la placa *mk2*.

S'han descartat les altres opcions perquè la *mk2* és una versió inferior menys evolucionada i actualment els preus s'han igualat molt (fa un temps la placa *mk3* era molt cara). La opció de silicona no és rígida i resulta complicada de localitzar a més d'un preu superior a la *mk3*.

### 3.5.2 DISPOSICIONS

Al tractar-se d'una impressora de grans dimensions no hi ha cap llit calent comercial de 500x500mm, així doncs caldrà fer adaptacions.

- **SOLUCIÓ ESCOLLIDA**

Escollirem la solució 1 (unió de diferents plaques comercials) ja que és la que millors resultats ens donarà, resulta fàcil de reparar i trobar recanvis. Per l'alimentació caldrà posar una segona font d'alimentació dedicada únicament a subministrar suficient potència al conjunt de plaques, per controlar-ho s'utilitzarà la pròpia placa controladora RAMPS unida a un relé d'estat sòlid per evitar sobrecarregar l'electrònica.

### 3.6 PECES IMPRESES ESPECÍFIQUES

Les peces necessàries i que no siguin de compra, les imprimirem amb una altre impressora 3D, filosofia molt lligada al món del *opensource*, ja que teòricament, des d'un "pare" haurien sortit peces per totes les impressores del món.

Les peces s'imprimiran amb ABS negre amb un *infill* de 0.4 i amb un patró de panell de abella o rectilini perquè siguin resistents, l'aspecte final serà similar a les de la Figura. 7.



Figura. 7 Peces impreses

### 3.7 ELECTRÒNICA

Ens referim a l'electrònica com al cervell que manarà tota la maquinària, en tots els casos es tracta de hardware lliure i que ningú en cobra patents o llicències per utilitzar-lo. És la peça encarregada de rebre la informació, ja sigui el codi G des d'un ordinador o element extern o ja siguin dades de la pròpia màquina, com temperatures, i decidir

que cal fer, és a dir, quin motor cal moure, amb quina velocitat, si cal escalfar o deixar d'escalfar algun element de la màquina, si cal extrudir o no material...

Existeixen molts models d'electrònica, a la Figura. 8 es poden veure diferents exemples i a l'annex A es poden trobar les diferents prestacions de les diferents electròniques, s'ha escollit dels més principals degut a que és un món molt extens.

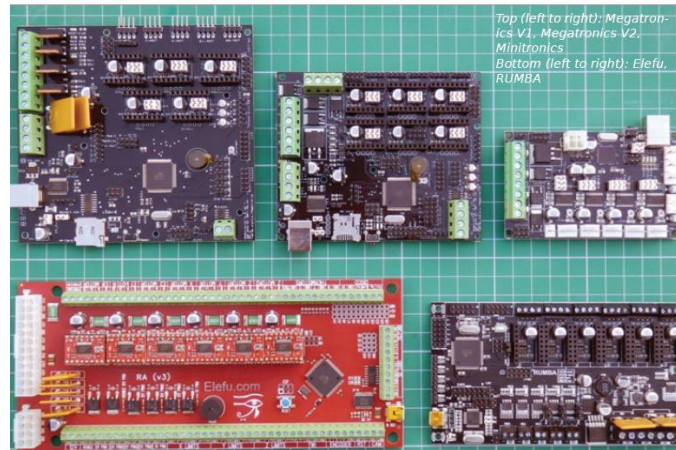


Figura. 8 Diferents electròniques

- **SOLUCIÓ ESCOLLIDA**

Escollirem l'electrònica *RAMPS* unida a un *Arduino Mega 2586* (solució 1) com es mostra a la Figura. 9 , ja que és la solució més equilibrada (preu-qualitat-prestacions), pot portar pantalla LCD i és la opció més utilitzada en el món de les impressores 3D *opensource*, per tant es troba molta informació al respecte.

Es descarten les altres opcions ja que no compleixen tant bé o igual les necessitats, algunes resulten més cares o incorporen prestacions extra que en un principi no són necessàries (3 extrusors o més).

Cal dir que en aquest apartat totes les solucions eren igual d'incertades i totes, excepte les que només podien incorporar un extrusor, eren vàlides. Totes les plaques realitzarien la funció de forma correcta, s'ha valorat el preu, facilitat de compra i informació al respecte.



Figura. 9 Arduino + RAMPS 1.4

## 4 SOLUCIÓ CONSTRUCTIVA

### 4.1 ESTRUCTURA

- **MIDES**

Al necessitar una àrea de treball de 500x500x500mm i tenint en compte que cal espai per allotjar motors, sistemes de guiatge, la pròpia estructura i considerant que la punta de qualsevol dels dos extrusors ha de poder arribar a qualsevol punt de l'àrea de treball s'ha realitzat una estructura de 780x780x850mm de mides generals (Figura. 10) , per poder albergar dins l'àrea de treball. Tot hi que pugui semblar molt grossa, el disseny realitzat optimitza molt l'espai i resulta molt compacte si es compara amb impressores actuals del mercat com les *Makerbot®*, que tot hi tenir una àrea de treball de 280x155x155mm la màquina fa 490x420x380mm, és a dir que en proporció és molt més compacte.

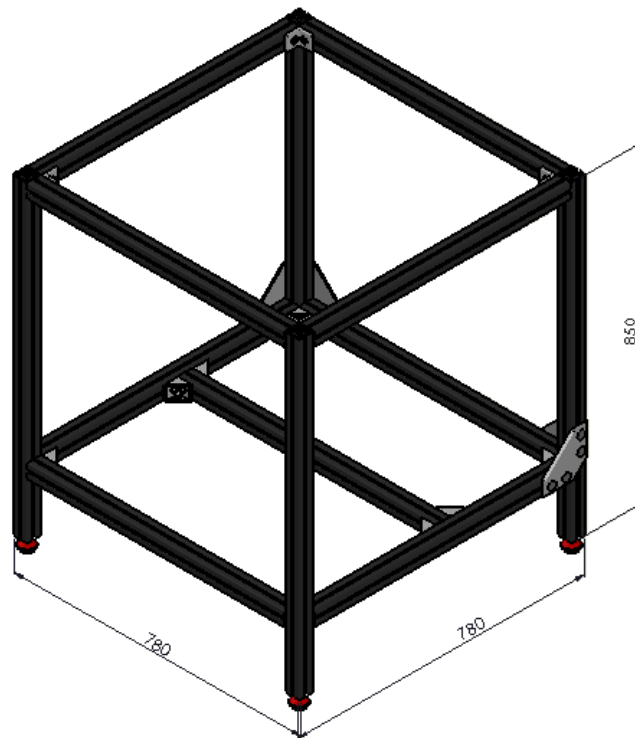


Figura. 10 Mides generals

- **PERFILS**

S'ha realitzat amb el perfil escollit anteriorment d'Item sèrie 8 de 40x40mm "L" en anoditzat negre.

Aquest té suficient resitència a la flexió i visualment dóna un aspecte de qualitat i robustesa. S'ha realitzat en perfil negre ja que la marca l'ofereix, tot hi que amb perfilaria de color d'alumini natural també quedaria bé.

- **UNIONS**

Per poder unir tots els perfils i formar l'estructura i que les unions no fessin nosa per el desplaçament dels eixos, col·locació de portes i altres elements; a més de aconseguir una bona unió i evitar parts dèbils, s'han utilitzat tres models diferents d'unions subministrades per ITEM.

En la part superior de l'estructura s'ha utilitzat la unió d'escaire sense reforç de ITEM. Com que en aquesta part hi ha els eixos per on es desplaça el capçal que es mou en X i Y s'ha buscat la màxima reducció de mides. Aquesta opció queda totalment amagada i llisa, així no calen grans modificacions o adaptacions del suport dels eixos .



Figura. 11 Escaire sense reforç

En la part inferior s'ha utilitzat la unió d'escaire reforçat de la casa ITEM ja que, a diferència de la part superior, l'espai no és tant important. Aquesta opció és més rígida i es pot comprar un accessori de tapa per amagar els cargols.



Figura. 12 Escaires amb reforç

Per la part posterior (unió de la part inferior amb els pilars) s'ha utilitzat la placa d'unió de 120x120mm de ITEM, aquesta és molt resistent i fàcil de col·locar.

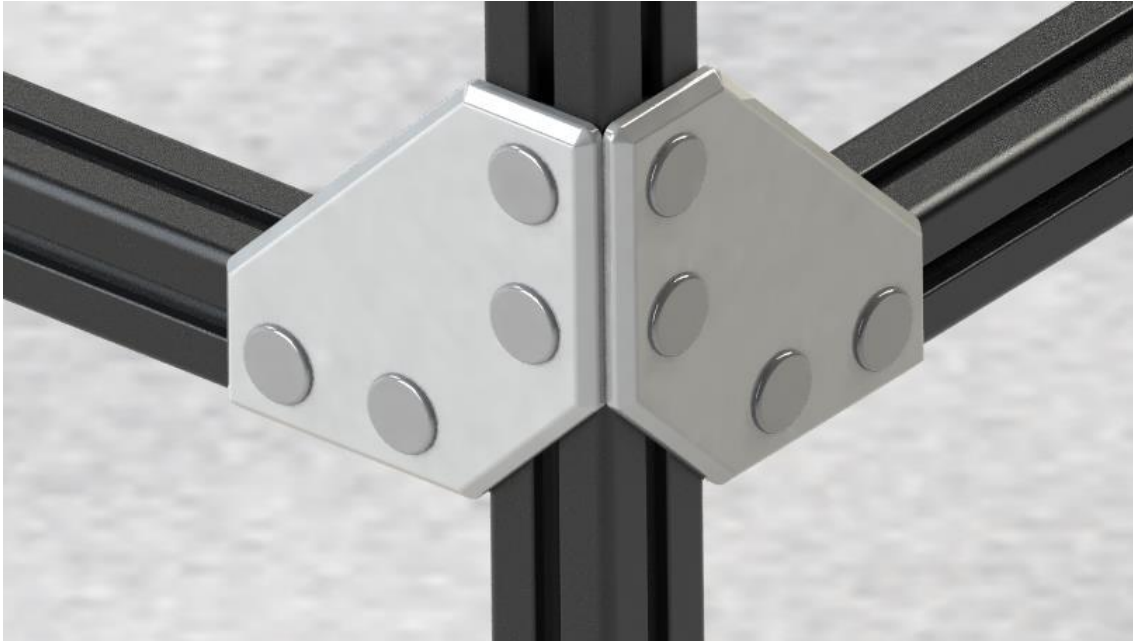


Figura. 13 Platines automàtiques 120x120

Per unir la part superior amb els pilars s'ha preparat les peces d'unió de les cantonades superiors amb un forat i un rebaix per amagar la cabota d'un cargol DIN912 de M8, que colla amb la part central del perfil, que ja està prevista de forat de Ø8mm.

Moltes de les unions de peces a l'estructura s'ha utilitzat un "fastener" o unió ràpida de M6 de la casa ITEM, es tracta d'una "femella" amb una forma adequada per poder col·locar dins la ranura del perfil i collar-hi un cargol amb rosca mètrica sense necessitat de mecanitzar el perfil.

#### 4.2 TANCAMENT DE L'ÀREA DE TREBALL

Per tenir una millor qualitat d'impressió cal controlar la temperatura d'extrusió del plàstic i la temperatura del heated bed. Per poder controlar millor aquests resulta convenient aïllar l'àrea de treball de l'exterior, per fer-ho s'ha optat per utilitzar unes parets, tapes i porta (com s'observa a la Figura. 14) de policarbonat (molt més resistent als cops i rallades que el metacrilat). Així doncs, s'aconsegueix aïllar l'interior de l'exterior però presenta una sèrie de dificultats afegides al disseny de la màquina, al posterior muntatge i possibles futures reparacions/modificacions.

S'ha optat per aïllar l'àrea de treball purament, ja que ni a l'electrònica ni als motors els hi és convenient estar a temperatura elevada com la de dins la cambra o àrea de treball, l'electrònica i els motors es busca refrigerar el màxim de bé possible.

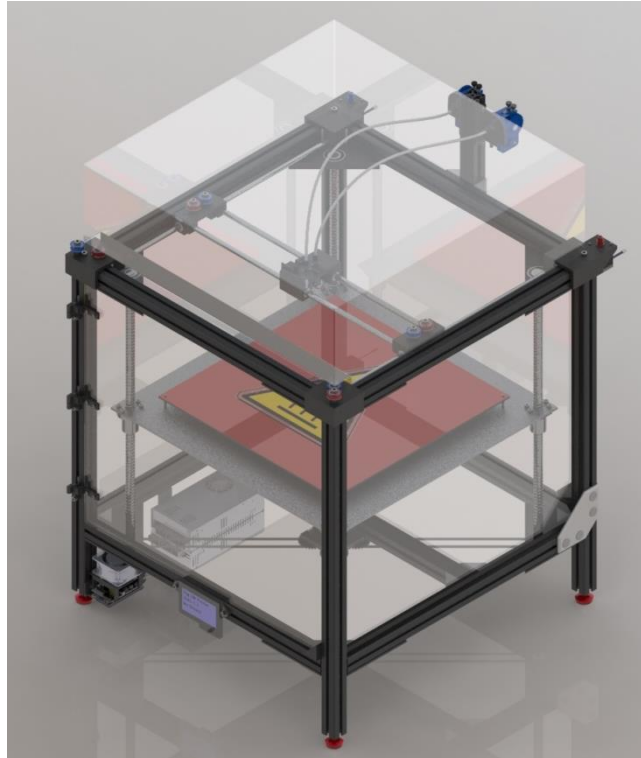


Figura. 14 Tancament de l'àrea de treball

- **TAPA INFERIOR**

Aquesta part presenta una sèrie de forats per tal que passin els cargols de potència de l'eix Z.

Va recolzada sobre els escaires amb reforç que uneixen la part inferior de l'estructura.

- **TAPES LATERALS**

Trobem tres tapes laterals, aquestes són totes de la mateixa mida però dues d'elles presenten uns encaixos extra per poder allotjar els suports de les barres calibrades i cargols de potència.

Van col·locades dins la ranura del perfil. Per millorar la subjecció, aïllament i aspecte es col·locarà una guia de goma subministrada per ITEM entre el perfil i el metacrilat per la part externa.

- **PORTA**

La porta tapa la part frontal de la impressora i s'ha de poder obrir fàcilment i poder ser retirada si és necessari.

S'han creat unes frontisses a mida impreses per poder moure la tapa fins a 270° (fins a quedar plana contra la pròpia màquina) i no molestar ni ocupar espai innecessari quan la porta estigui oberta. Les frontisses van unides al perfil amb un "fastener" o unió ràpida de M6 subministrat per ITEM i aquestes s'uneixen a la porta amb cargols DIN912 M4 i femelles ISO4036 M4.

Per facilitar la seva obertura s'ha incorporat una petita nansa a la part inferior dreta per no obstaculitzar la vista. Aquesta nansa va collada a pressió sense cap unió roscada mitjançant un clip.

- **TAPA SUPERIOR**

La part superior també ha d'estar tancada ja que l'aire calent puja, és una part important i complicada alhora de realitzar, ja que és a la part superior on es creuen les corretges, on hi ha els carros en moviment de l'eix X i Y, on els extrusors han de portar el filament de plàstic fins al hotend, etc.

La solució final a la que s'ha arribat presenta una tapa senzilla de fabricar (una altra possibilitat era fer una tapa convexa similar a les utilitzades a les *Makerbot®*). Es troben a més forats necessaris per poder deixar pas a les corretges, entrades de filament i un encaix per tenir l'encreuament de les corretges del sistema coreXY fora de la tapa i evitar tenir masses forats per on s'escapi la temperatura assolida.

La tapa va recolzada sobre l'estructura dins les ranures del perfil, per tant, només desconnectant el cable *Bowden* dels extrusors, la tapa pot ser retirada fàcilment per facilitar tasques de reparació, manteniment o calibratge, o bé per si el plàstic que s'està extrudint no requereix de temperatura elevada o precisa d'una ràpida refrigeració com per exemple el PLA.

### 4.3 MOVIMENT LINEAL

#### 4.3.1 EIX XY

S'ha escollit el sistema *coreXY* (Figura. 15) per reduir al màxim possibles inèrcies, per fer la implementació d'aquest presenta alguna dificultat, com l'encreuament de les corretges i les diferents alçades de les politges.

La solució final és satisfactòria ja que compleix perfectament amb la seva funció, resulta senzilla, simplificada i lleugera.

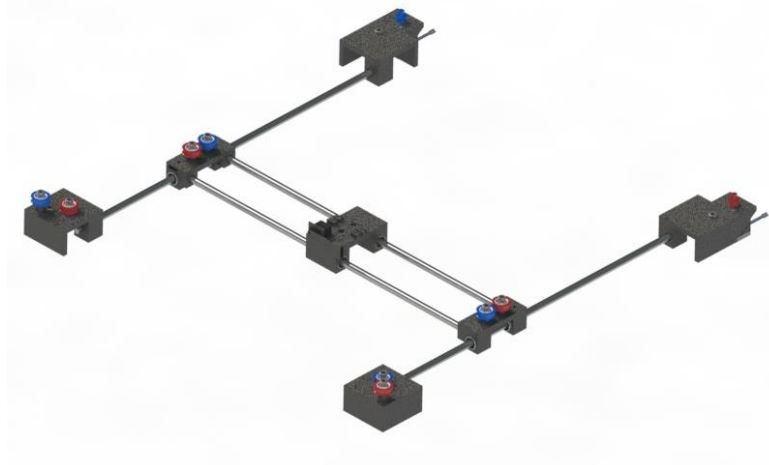


Figura. 15 Conjunt CoreXY



- **CAPÇAL MÒBIL (SUPORT HOTENDS)**

El capçal mòbil (Figura. 16) és la part que es mou i “dibuixa” la peça, subjecta els *hotends* es mou guiat al llarg de dues barres calibrades llises i és mogut per les corretges.

Presenta espai suficient per allotjar dos hotends, és d'espai reduït ja que com més gros, més espai requereix l'estructura perquè qualsevol punt d'aquest pugui recórrer tota l'àrea de treball.

A la part inferior hi ha espai per allotjar 4 rodaments lineals LM12UU, per poder lliscar amb el mínim fregament sobre les barres llises calibrades, aquests van col·locats a la part interior amb un ajustament amb serratge, per tal que no surtin del seu allotjament.

A la part central superior, com es pot observar a la Figura. 16, hi ha 4 unions per la corretja, es tracta d'un arc amb la mida justa perquè la corretja entri amb serratge i així es mantingui collada al capçal, a més resulta còmode per poder tensar la corretja quan sigui necessari.

També a la part superior es troba el sistema d'auto-anivellació de l'eix Z, inclou el suport del servo, el servo i el braç d'aquest que allotjarà un fi de cursa.

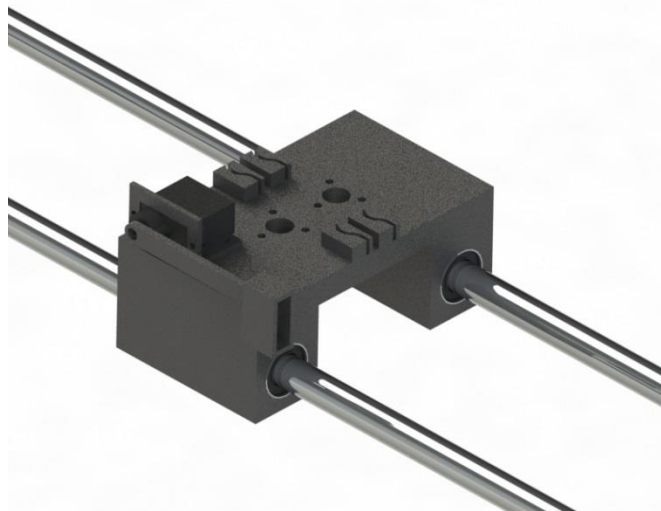


Figura. 16 Carro mòbil / Suport hotends

- **CONNECTORS**

S'han anomenat connectors a les peces mòbils (Figura. 17) que uneixen els eixos X amb els eixos Y. La funció d'aquesta peça és subjectar un dels eixos (eix X) i permetre a aquest moure's al llarg de l'altre eix (eix Y).

A la part superior hi ha el suport de les politges que rebran la tensió de la corretja i mouran o el connector o el capçal, segons convingui.

A la part inferior, de igual manera que al capçal, hi ha els allotjaments dels rodaments lineals, dues unitats en aquest cas. I lleugerament amagat l'allotjament per una femella M6 ISO 4036 (femella hexagonal prima) per poder collar el cargol que uneix la politja amb el connector.

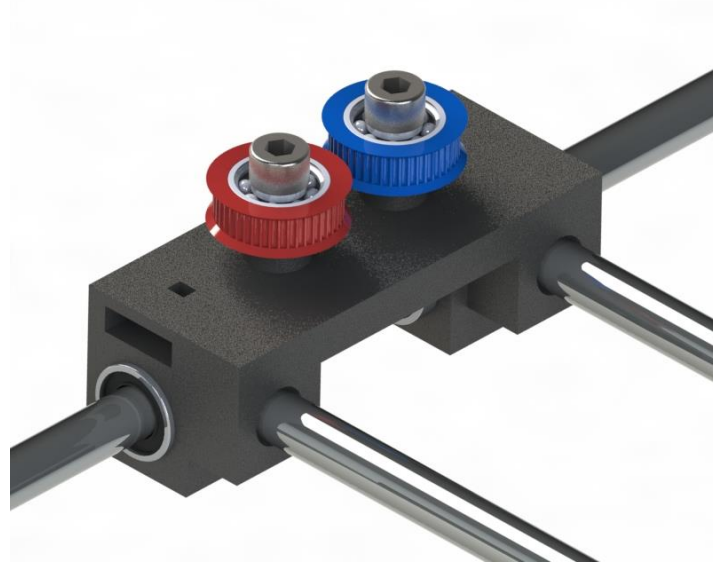


Figura. 17 Placa connectora

- **POLITGES**

Aquestes són les encarregades de deixar córrer la corretja lliurement i de rebre la tensió d'aquesta que permetrà moure el carro mòbil.

Es basa en un nucli constituït per un rodament 608zz i un anell exterior imprès amb una impressora 3D, amb el dentat per una corretja GT2, la utilitzada en aquest muntatge. El disseny d'aquest anell és de contingut lliure i està accessible al públic per poder-lo imprimir amb les seves pròpies impressores 3D.

- **CORRETJA**

S'utilitza una corretja sincronitzada de dent trapezoïdal GT2 de 6mm d'amplada, es tracta d'un model molt utilitzat en impressores 3D i que té una excel·lent efectivitat en quant a precisió obtinguda, més que la T2,5 també molt utilitzada.

- **CANTONADES**

Les cantonades són uns elements indispensables ja que realitzen múltiples tasques, trobem 2 tipus diferents de cantonades, les que tenen subjecció del motor i les que no.

Totes les cantonades realitzen la funció d'unir el sistema a l'estructura, subjecten les barres llises calibrades de l'eix Y i són un punt d'unió o varis punts de contacte de la corretja amb la politja. La diferència radica en que el suport que té motor disposa d'un allotjament per albergar aquest i a la cantonada que no té motor hi ha dues politges a diferents nivells (Figura. 18), tal com requereix el sistema coreXY.

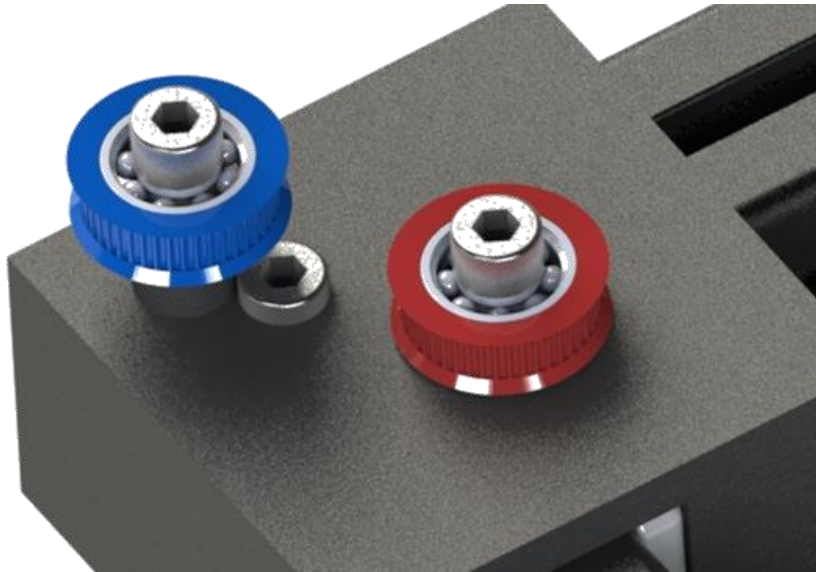


Figura. 18 Cantonada sense motor

### 4.3.2 EIX Z

L'eix Z es mou molt poc a diferència del altres dos, però ha de fer-ho amb molta precisió (0,01mm) i igual magnitud per cadascun dels motors per evitar desnivellacions de la taula de treball.

- **BASE**

La base és la part que es desplaça al llarg de l'eix Z i que subjecta el heated bed (Figura. 19). S'uneix a la part mòbil del cargol de potència, per permetre el seu desplaçament lineal fent girar el cargol. Està realitzada d'una xapa d'alumini de 5mm tallada a làser i roscada on sigui necessari.

Aquesta presenta, com ja s'ha dit, la subjecció amb la part mòbil del cargol de potència unida amb cargols M6 DIN912 i per poder collar el heated bed sobre uns cargols amb molles per poder així calibrar la taula.



Figura. 19 Base

- **CARGOL DE POTÈNCIA**

Es tracta d'un element de compra que permet un desplaçament lineal, ràpid i precís. Està subjectat per la part inferior amb una placa específica amb rodament per minimitzar el fregament i per la part superior per evitar moviments de vinclament o vibracions innecessàries, que afectarien a la degradació de la qualitat d'impressió.

Aquest element resulta molt car si es compra de bona qualitat i amb la normativa europea, però si es busca d'importació, resulta molt més econòmic.

- **SISTEMA MOTOR-REDUCTOR-REPARTIDOR**

Per tal d'aconseguir un moviment uniforme als quatre eixos, hauria resultat complicat col·locant un motor a cada eix, primerament perquè algun dels 4 pot perdre algun pas, i perquè l'electrònica no està preparada per alimentar amb un sol *stepper* quatre motors. Així doncs, s'ha creat un petit sistema de reductor, per aconseguir que un sol motor pugui moure els quatre cargols de potència, i s'ha aprofitat per crear en un sol element, un sistema de repartició de potència. De manera que d'un sol eix del motor surten quatre eixos (Figura. 20) amb una reducció de 1:0,65 i a més repartir a 4 eixos diferents, així es podran moure els quatre cargols de potència sense diferencia d'uns vers els altres.

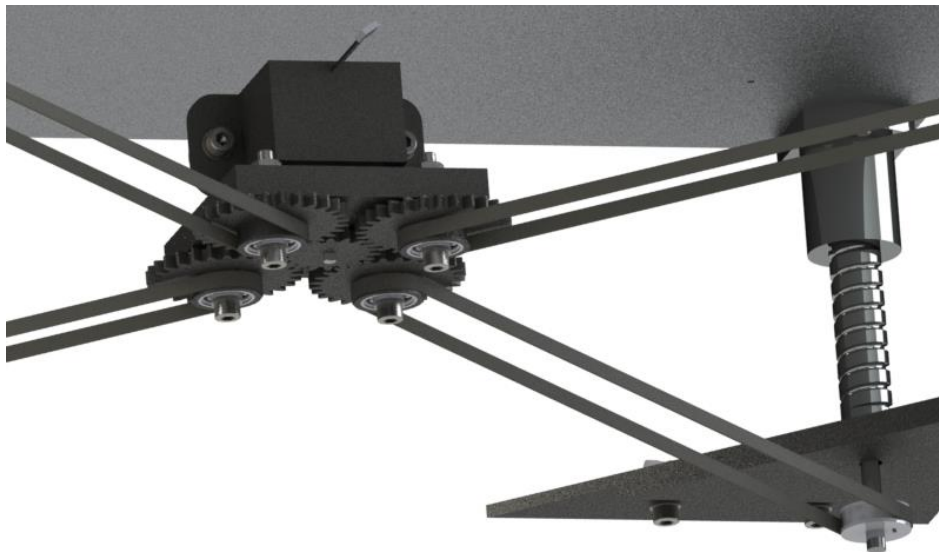


Figura. 20 Conjunt motor-reductor-repartidor

Aquest sistema es fabricarà amb una altra impressora 3D tan el suport com els engranatges (s'adjunta a l'annex de càlculs el càlcul de la precisió obtinguda).

#### 4.4 MOTORS

S'utilitzaran motors NEMA17 model SHD0404-22, que tenen la mida correcta i suficient parell i velocitat per moure els eixos (s'adjunta a l'annex C el catàleg). Es tracta d'un total de 5 motors pels usos següents:

- 1 unitat pel moviment de l'eix Z
- 2 unitats pels extrusors, governat cadascun per individual
- 2 unitats pels eixos X i Y governat cadascun per individual.

## • SUBJECCIONS

Tots el motors necessiten estar ben subjectats per no transmetre vibracions extres a la màquina, perquè no es destensi cap corretja o es descalibri cap eix. A la part superior de cada motor hi ha quatre forats mètrics per unir cada motor al seu suport.

## • UNIONS

L'apartat d'unions fa referència a com s'uneix l'eix del propi motor a l'element a moure. Els motors es poden diferenciar en tres grups:

- Eix Z: Aquest motor disposa d'un element reductor-repartidor de potència ja que, un sòl motor farà girar per igual els quatre cargols de potència que definiran el moviment en Z. Es troba subjectat contra una cinquena barra a l'estructura inferior (Figura. 21) i unit a la seva sortida, es troba un element reductor i repartidor amb engranatges rectes i rodes dentades GT2, que uniran els cargols de potència al gir de cada sortida del moto-reductor.

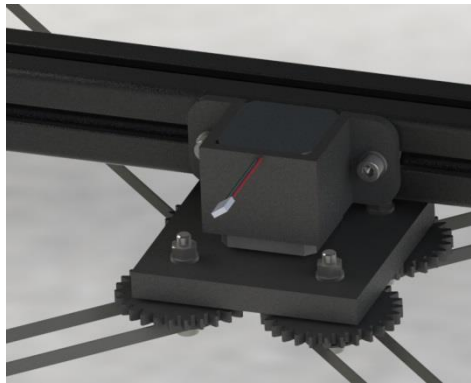


Figura. 21 Motor eix Z

- Eix X i Y: Aquests motors només necessiten la unió amb una roda dentada (Figura. 22) per poder accionar la corretja. Aquesta roda dentada s'uneix amb el motor amb un petit cargol sense cabota o presoner, que s'estampeix contra una part plana de l'eix de sortida del motor per no perdre precisió, ja que no pot patinar contra una cara plana però sí si fos cilíndric.

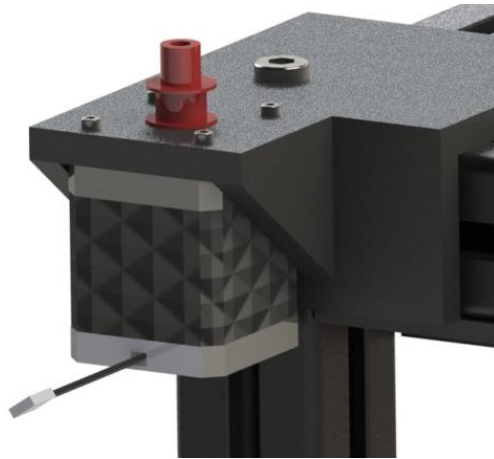


Figura. 22 Motor CoreXY

- Extrusor: Els motors de l'extrusor van units a un engranatge imprès (engranatge petit de la Figura. 23) amb una impressora 3D, tot hi que també n'existeixen de mecanitzats en alumini. Aquesta peça s'uneix de forma igual a la dels eixos X i Y però canviant la forma externa. Si es tracta d'una peça impresa amb una impressora 3D, al no tenir una rosca resistent es crea un allotjament per una femella.

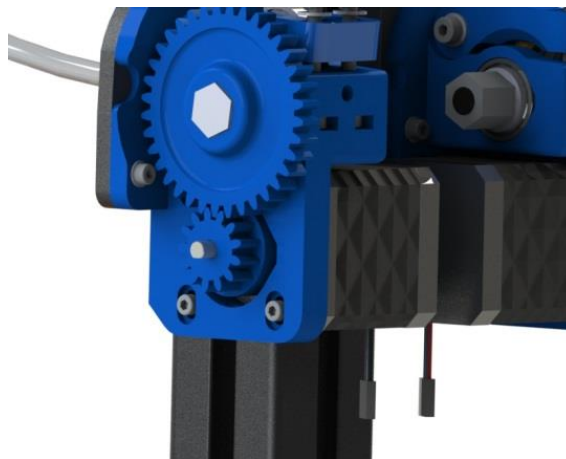


Figura. 23 Motor extrusor

#### 4.5 SISTEMA EXTRUSOR

El sistema extrusor (Figura. 24) s'encarregarà de portar el material i fondre'l de manera controlada, s'ha situat a la part superior per facilitar l'entrada de material als hotends, que sempre es troben a la mateixa alçada.

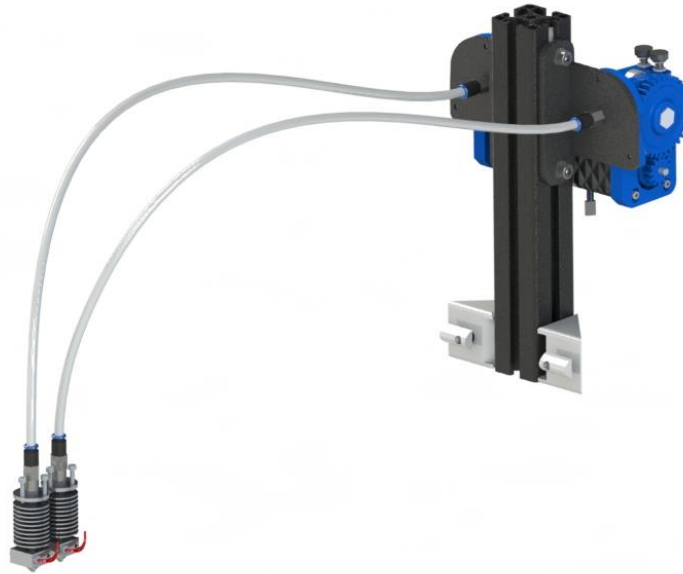


Figura. 24 Conjunt sistema extrusor

- **SISTEMA BOWDEN**

Per tal d'alleugerir al màxim la plataforma mòbil dels hotends (que vindria a ser els capçals injectors en una impressora tradicional) s'ha col·locat la part mecànica de l'extrusor fora d'aquesta, per transmetre al filament la força necessària s'utilitzaran ràcords i tubs d'aire comprimit per evitar que el filament a compressió es deformi i perdi la força contra el *hotend*.

- **POSICIÓ I SUBJECCIÓ DE L'EXTRUSOR MECÀNIC**

Com ja s'ha dit anteriorment, la part mecànica de l'extrusor, l'encarregada de transmetre força axial al filament a extrudir, està situada fora del carro i en aquest cas a més fora de l'encapsulament de l'àrea de treball, ja que aquesta està a temperatura elevada i no resulta favorable als motors.

Troben dos extrusors mecànics del model utilitzat en la BCN3+ de la fundació CIM, situats a la part posterior de la màquina i alçats per sobre del capçal mòbil (veure Figura. 25), per tal de facilitar l'entrada de material, escurçar distància del sistema *Bowden* i així obtenir millors resultats d'impressió. Els dos es troben collats mitjançant una placa-suport a un afegit de l'estructura, collats per dos *fasteners*. A més, per poder entrar el material junt amb els tub del sistema *Bowden* la tapa superior disposa de dos forats del diàmetre necessari.

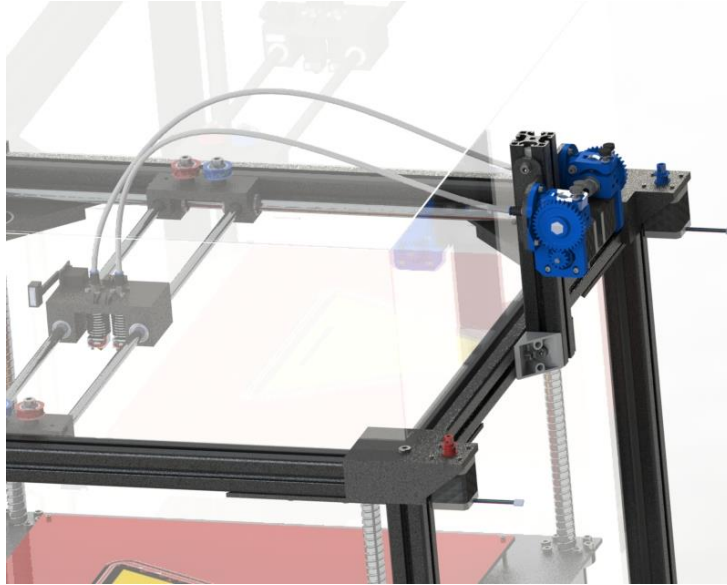


Figura. 25 Posició i subjecció de l'extrusor mecànic

- **POSICIÓ I SUBJECCIÓ DE L'EXTRUSOR (HOTEND)**

Els *hotends* o extrusors els trobem situats a la part inferior del carro mòbil i són aquests els que definiran el model, són els encarregats de fondre el material i dipositar-lo sobre la base o capa anterior segons convingui.

Com es pot observar a la Figura. 26 es troben dos *hotends* separats una distància coneguda (ja que caldrà configura-la a l'electrònica i definir un punt zero per cada extrusor). Els trobem subjectats per 3 cargols mètrics per la part superior, cal que quedi subjectat fermament per no transmetre vibracions innecessàries al model a imprimir o descalibrar alguna distància.. A més a la part superior també trobem el ràcord del sistema *Bowden*.

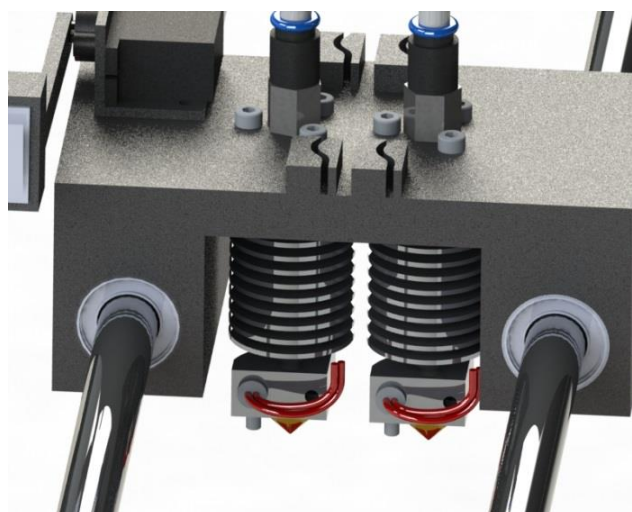


Figura. 26 Posició hotends sobre el carro mòbil



#### 4.6 LLIT CALENT

Degut a que no existeixen llits calents o *heated beds* de la mida requerida s'haurà de fer una composició de varis llits més petits, per facilitat de compra i de disposició, finalment a la solució constructiva s'ha decidit posar 4 llits de 200x200mm i separar-los lleugerament els uns dels altres, a sobre d'aquests llits es col·locarà una vidre per uniformitzar el calor i tenir una àrea de treball ben plana i llisa.

- **SUBJECCIÓ**

Si es tractés d'un sol llit aniria collat directament sobre la base amb uns cargols i unes molles per facilitar la seva anivellació (Figura. 27), però en aquest cas cal tenir més d'una placa. Primerament es subjectarà amb els cargols de anivellació una planxa de material aïllant (per exemple fusta), i sobre aquesta s'hi collarà els llits calents.

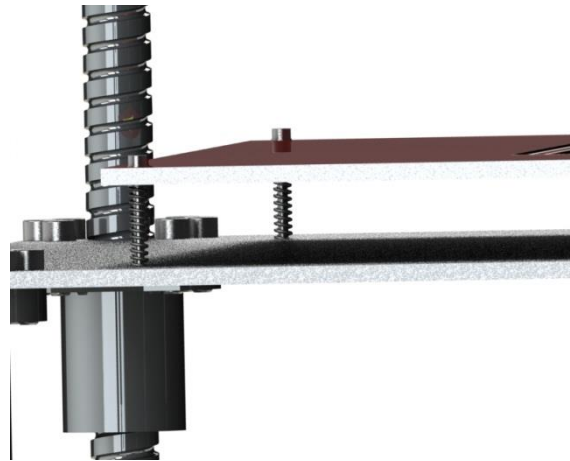


Figura. 27 Cargols per subjectar i anivellar el heated bed

#### 4.7 ELECTRÒNICA

L'electrònica precisa de refrigeració ja que els components d'aquesta s'escalfen degut al pas de corrent, degut a això no es pot trobar tancada dins les portes ja que la temperatura és més elevada que la de l'exterior. Per aquest motiu l'electrònica s'ha situat a la part inferior de la màquina per sota de l'àrea de treball (Figura. 28), aquesta es troba subjectada per l'estructura amb uns suports, és a dir, sense que cap element que es trobi recolzat sobre la taula així s'aconsegueix una sola màquina sense peces a part unides per cables, per facilitar el seu transport i evitar cables que puguin resultar danyats sobre la taula.

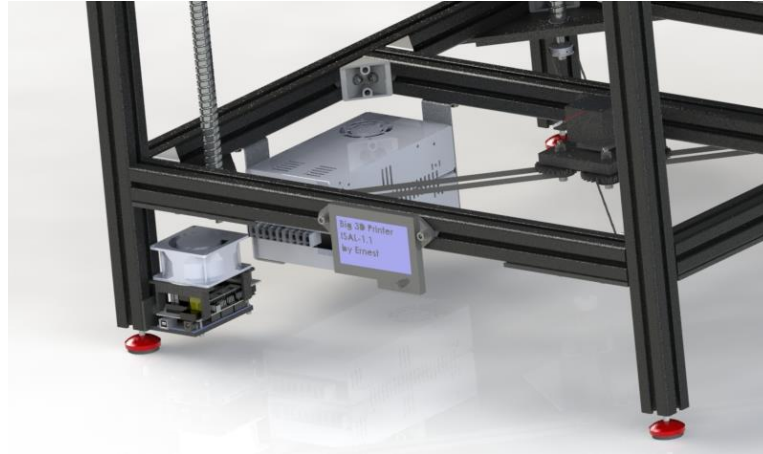


Figura. 28 Posició de l'electrònica per sota de l'àrea de treball

#### 4.7.1 ELEMENTS I SUBJECCIÓ

- **ARDUINO + RAMPS**

Com s'observa a la Figura. 29 aquestes es troben a la part inferior, l'un sobre l'altre, ja que aquest és el seu muntatge, i el conjunt és subjectat per una placa que va collada a l'estructura mitjançant dos *fasteners*.

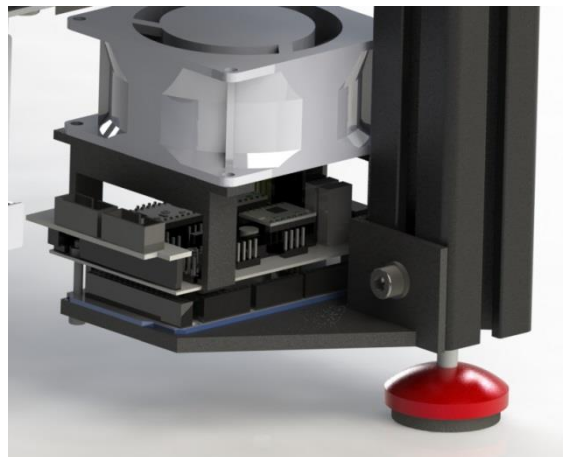


Figura. 29 Conjunt Arduino + RAMPS sobre el suport

- **VENTILADOR**

Per tal de millorar la refrigeració s'ha col·locat un ventilador de 40x40mm sobre la RAMPS, aquest va suportat per dues peces de suport descarregades de la web *Thingiverse.com*, una web de dissenys útils i lliures per imprimir amb impressores 3D, aquest va unit mitjançant cinta de doble capa tova per reduir sorolls i facilitar el seu desmuntatge en cas de reparació o calibratge.

- **PANTALLA LCD**

La pantalla LCD converteix la impressora en una màquina autònoma a més de facilitar la lectura de paràmetres tals com temperatura dels extrusors, percentatge completat...

La pantalla no pot trobar-se a més de 20cm de l'Arduino degut a la allargada del cable de connexió, per tant va situada propera a aquest a la cantonada superior i és subjectada per el seu propi cos a l'estructura mitjançant, com anteriorment, amb dos *fasteners*.

- **FONTS D'ALIMENTACIÓ**

S'han incorporat dues fonts ja que els llits calents tenen un consum força alt. S'han muntat l'una sobre l'altra i subjectades per dues platines doblades (Figura. 30), addicionalment es podrà incorporar o moure els suports per poder collar amb un dels forats disponibles a multitud de fonts del mercat, per tal d'assegurar la instal·lació. Les platines van collades a l'estructura amb dos *fasteners* cadascuna.



Figura. 30 Ubicació i subjecció de les fonts d'alimentació

- **RELÉ**

L'electrònica RAMPS està pensada per utilitzar un sol llit calent de fins a 20A, al tenir 4 llits cal utilitzar una segona font i a més com que l'electrònica no suportaria l'amperatge i es cremaria es realitza, un segon circuit governat per l'electrònica però a una intensitat molt més alta. És a dir l'electrònica mana a un relé que connecta un circuit secundari que treballa a intensitats diferents.

El relé utilitzat és d'estat sòlid que no té peces mòbils i té una vida molt llarga, a diferència d'un relé tradicional. Com a inconvenient és que és lleugerament més car i s'escalfa, per tant necessitarà de dissipació o bona refrigeració.

#### 4.7.2 FINALS DE CURSA

Els finals de cursa els tractem com un element a part ja que no tenen subjecció sinó que tenen allotjament, aquests han de tenir contacte amb una altra peça al moure els eixos al punt inicial, ja que al accionar-se defineixen el punt 0 de cada eix de coordenades.

- **EIX X**

Per allotjar l'endstop o fi de cursa de l'eix X (assenyalat amb vermell a la Figura. 31) s'ha incorporat un forat de la mida adequada al carro que subjecta els hotend, al carro mòbil, a més s'ha realitzat un forat a la part superior per poder treure els cables del fi de cursa, per tant serà necessari primer passar el cable, soldar el component degudament als cables i col·locar-lo al seu allotjament.

Aquest fi de cursa s'acciona a l'inici de l'eix X, al seu punt 0, quan entra en contacte amb la placa d'unió de l'eix X amb l'eix Y.



Figura. 31 Posició del fi de cursa de l'eix X

- **EIX Y**

Per allotjar el fi de cursa de l'eix Y (assenyalat amb vermell a la Figura. 32) s'ha realitzat un allotjament en la peça connectora de l'eix X i l'eix Y. Igual que en el cas anterior, un forat superior permet la sortida dels cables.

El fi de cursa de l'eix Y s'acciona quan la peça connectora entra en contacte amb la cantonada inferior.



Figura. 32 Posició del fi de cursa de l'eix Y

- **EIX Z**

El fi de cursa de l'eix Z (assenyalat amb vermell a la Figura. 31) és el que determina a quina alçada està la taula i per tant recau en aquesta distància que la primera capa s'imprimeixi bé. Si la primera capa no surt bé degut a la alçada, ja sigui per massa o per poca, la resta de la peça quedarà malament i es pot desenganxar amb més facilitat del heatedbed.

Per obtenir més precisió s'ha incorporat un sistema d'autocalibratge, es basa en unir el fi de cursa a un braç mòbil que està unit al capçal de impressió. A l'iniciar la impressió es desplega el braç i el fi de cursa toca amb varis punts de la taula i així sap on es troba la base en cada punt i si està desnivellada la pot corregir.

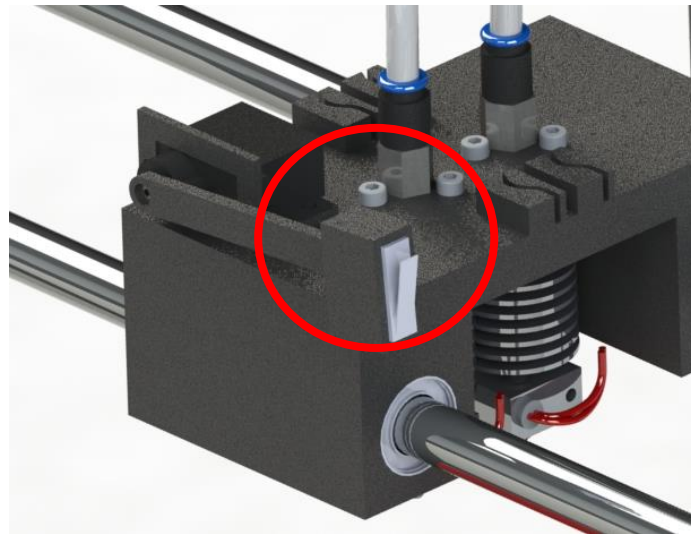


Figura. 33 Fi de cursa en Z amb el sistema d'auto nivellació

## 5 CONFIGURACIÓ DE LA IMPRESORA

Fins a aquest punt s'ha parlat de parts físiques de la impressora 3D i s'ha comentat multitud de vegades l'electrònica que és qui governa la màquina. Com ja s'ha seleccionat anteriorment s'utilitzarà un *Arduino Mega* juntament amb una RAMPS 1.4. Però aquesta per sí sola és una electrònica inútil, necessita de programació, un codi que sàpiga interpretar el *g-code* que rebí d'un ordinador, i fer funcionar els motors com toca, a més de poder utilitzar una pantalla LCD, un lector de tarja SD...

En els següents punts es donarà unes nocions ( ja que és un tema que donaria per fer un treball sencer) de la programació de l'Arduino, i la utilització dels programes necessaris per poder imprimir un model.

### 5.1 PROGRAMACIÓ DE L'ARDUINO

#### • BASES

La base o *firmware* és el codi genèric que utilitzarà la màquina. Es tracta d'un conjunt d'arxius de codi que expliquen a l'Arduino què i com ha de fer les coses en cada moment, li explica com ha de fer les comunicacions i a través de quins pins per tal de comunicar-se i governar la placa RAMPS i aquesta als motors i l'adquisició de dades (temperatures, finals de cursa).

Existeixen diferents *firmwares* o bases des de les que partir (*marlin*, *sprinter*, *repetier*, *teacup*...) en aquest cas s'utilitzarà el *marlin* ja que es tracta dels més complets, actualitzats i que aconseguen un bon funcionament, a més de trobar-se molta informació a la xarxa.

Aquesta base cal modificar-la, ja que és genèrica, i així adaptar-ho a cada element dels que es compon la impressora i aconseguir així un bon funcionament.

#### • MODIFICACIONS

Cal modificar alguns paràmetres del codi de la base de la que partim per tal que s'adapti als paràmetres desitjats i requerits per la maquinària utilitzada. A continuació es definiran els més genèrics que cal canviar per tal que la màquina funcioni, tot hi que al tractar-se software i hardware lliure absolutament tot es pot modificar si el coneixement és suficient.

Per una configuració bàsica només cal modificar l'arxiu *configuration.h*, per fer-ho cal tenir el programa Arduino IDE instal·lat (es tracte d'un editor de codi + una comunicació amb l'Arduino per carregar-hi el codi escrit), que es pot descarregar des de la seva web. El propi codi té comentaris on va explicant que cal posar en cada cas, les parts més importants són:

- Definir el tipus de placa utilitzada: RAMPS 1.4 amb dos extrusors nº 34 (cal posar el 34 on posa "#define MOTHERBOARD 34")
- Definir número d'extrusors.

- Definir el termistor. Anirà en funció del model comprat, cal col·locar el número que es correspongui a un termistor de la llista per ajustar la corba de calibratge.
- On defineix el PID (controlador proporcional, integrador i derivador) per regular la temperatura del hotend i del heated bed cal posar 256, que defineix que passi la corrent al màxim sense utilitzar el PID, ja que al tenir un relé extern és necessari, sinó anirà desconectant en cada moment el relé i esgotarà la seva vida útil. Cal fer el mateix on diu "define max bed power".
- Cal definir finalment el calibratge electrònic, és a dir, a l'electrònica quan es mou per cada pas que faci el motor.
- Cal des-comentar el text de cap al final on parla de pantalles segons la que convingui (dependrà del model comprat).

Tot el codi orienta molt de com s'ha de emplenar per això només s'ha explicat a grans trets què és indispensable de modificar.

Existeixen moltíssims paràmetres i infinitat de opcions. Es pot trobar a internet manuals de configuració i molta informació en fòrums i llistes de correu. (un bon manual de configuració és: <http://airtripper.com/1145/marlin-firmware-v1-basic-configuration-set-up-guide/> i un manual per configurar l'auto-anivellador de l'eix Z és: [https://groups.google.com/forum/#!msg/asrob-uc3m-impresoras-3d/KCaffYNZ1o0/REJk\\_cShPCsJ](https://groups.google.com/forum/#!msg/asrob-uc3m-impresoras-3d/KCaffYNZ1o0/REJk_cShPCsJ)). No cal transcriure aquí els manuals de configuració si es troben en lliure distribució per internet.

Un cop modificat ja es pot carregar a l'Arduino amb el botó de càrrega que es troba a la part superior esquerra i l'electrònica ja sap que ha de fer amb les pròximes dades d'un model a imprimir que li enviem.

## 5.2 CALIBRATGE

Cal calibrar l'impressora, algun calibratge és permanent, algun és bastant permanent (només cal calibrar cada X impressions o quan sigui necessari) i altres cal efectuar-los abans de cada impressió. A continuació s'expliquen les anteriors i en què consisteixen.

### 5.2.1 ELECTRÒNICA

El calibratge de l'electrònica només cal fer-ho una vegada o com a molt realitzar alguna lleugera modificació si convingués, tot i que amb uns bons paràmetres no cal re-calibrar més que un sol cop.

El calibratge electrònic consisteix en introduir els paràmetres de relació de transmissió a l'Arduino en el codi com s'ha explicat anteriorment. A més de donar una paràmetres força estàndards d'acceleracions màximes i mínimes, i un límit de vibracions determinades (per sota del que es pararia o frenaria la màquina). Existeix una calculadora on-line (<http://calculator.josefprusa.cz/>) per efectuar aquests càlculs més fàcilment, amb la que introduint unes dades inicials s'obté les relacions de transmissió i acceleracions òptimes per escriure directament al codi.

### 5.2.2 MECÀNICA

Es poden trobar dos tipus de calibratge mecànic.

El primer és el propi calibratge de l'àrea de treball o base o heatedbed la qual necessita estar perfectament paral·lela vers el capçal mòbil al llarg dels seus dos eixos, és a dir que en qualsevol punt de la base existeixi la mateixa distància fins la punta del hotend.

Existeix un segon calibratge que l'efectua la pròpia impressora si el codi li requereix (normalment a cada inici d'impressió). Es tracta de situar els punts zero dels eixos des dels que la impressora prendrà referència i serà capaç de imprimir on es desitgi. El calibratge d'aquests és donat pels fi de cursa o *endstops*, al activar-se el fi de cursa de cada eix la màquina recorda aquell punt com a inicial o zero d'aquell eix, és per això que es troben 3 finals de cursa, un per cada eix. Podrien existir també 6 finals de cursa per determinar el punt inicial i el punt final de l'eix, però si es té en compte que la màquina està ben calibrada electrònicament (l'avanç programat vers el real són exactes) i saben la distància dels eixos (500mm en aquest cas) no cal el fi de cursa final.

És molt important tenir ben calibrat l'eix Z ja que la distància d'aquest fins la punta del hotend, sumat a la relació de paral·lelisme amb la taula per mantenir aquesta distància inicial constant, ens definirà la primera capa que és la que subjecta el model sencer contra la taula. La primera capa sempre es un 30-50% més aixafada que les següents per enganxar més bé contra el heatedbed, tenint en compte que les capes són entorn a 0.2-0.4mm, el 30% (o un 0.7 del total) resulta una distància molt petita en la que és fàcil cometre errors. Per millorar el calibratge i corregir possibles errors derivats d'una mala posició de la taula, l'eix Z disposa d'un sistema de calibratge lleugerament diferent dels altres dos. En comptes d'efectuar un sòl contacte de dos punts, s'ha incorporat un braç desplegable al capçal mòbil amb el fi de cursa incorporat al seu extrem, al realitzar el "home" de l'eix Z aquest braç baixa, aquest fi de cursa toca a 4 punts diferents de la base de treball i així l'electrònica sap si està ben calibrada (realitzant-se una imatge virtual de com està la taula) i en el cas de no estar-ho ho corregeix automàticament fent pujar i baixar la base segons convingui, es tracta d'un autocalibratge (*bed auto-leveling*)

### 5.3 CONFIGURACIÓ DEL SOFTWARE

En els següents apartats es donaran unes nocions sobre els programes a utilitzar per poder imprimir amb una impressora 3D de software lliure. El procés des de que tenim un model en 3 dimensions a la pantalla de l'ordinador fins que tenim el model imprès no és molt complicat d'entendre a grans trets però si s'aprofundeix inclou molts detalls i paràmetres els quals no s'entrarà massa.



### 5.3.1 PROGRAMARI A UTILITZAR

Si tenim un model en 3 dimensions en un ordinador amb qualsevol programa de modelatge i el volem imprimir no és com imprimir un paper, el típic “archivo>imprimir”, sinó que cal passar el model per un seguit de programes perquè la impressora sàpiga què cal fer.

Bàsicament es tracta d'un primer programa que ens fa llesques del model que tenim, ja que és la forma que té la impressora de formar un sòlid, dipositant capa rere capa. I un segon programa que serà l'encarregat d'enviar la informació cap a la màquina i monitoritzar aquesta, com si es tractés d'un quadre de comandaments.

Cal dir que al ser una nova tecnologia apareixen cada dia programes nous i els descrits a continuació són només alguns dels més útils i que fa més temps que existeixen. Encara que apareguin nous programes tots es basen en el mateix principi, fer capes i enviar-ho a la màquina.

#### 5.3.1.1 SLIC3R

El programa *SLIC3R*, és el que ens permetrà prendre un model en 3 dimensions en format *.STL (stereolithography)* i descompondre'l en capes. Al mateix temps que genera un codi G (*g-code*, per a control numèric) per cada capa, és aquest codi el que s'enviarà a la impressora i manarà què ha de fer en cada moment.

Aquest programa ens permet definir moltíssims paràmetres que modifiquen el codi final a enviar, es poden separar en tres blocs (paràmetres d'impressió, de material i de l'impressora). A continuació és definiran els més generals tot hi que existeixen moltíssim paràmetres i apareixen noves opcions en cada versió nova del programa. (Si es vol saber més sobre aquest, existeixen llargs manuals en anglès a internet).

- **PARÀMETRES D'IMPRESSIÓ**

- Capes i perímetres

Permet modificar paràmetres tals com, alçada de la capa i de la primera capa, el número de perímetres sòlids a realitzar, tant laterals com inferiors i superiors i certs paràmetres més avançats.

- Emplenament (*Infill*)

Permet modificar els paràmetres sobre com es vol l'interior (ja que per estalviar material no s'imprimeix un model totalment sòlid sinó que les parts sòlides s'omplen seguint patró determinat), permet definir l'estil del patró (rectilini, lineal, concèntric, panell d'abella...) i la densitat d'aquest ( en tant per 1). A més permet més paràmetres més avançats.

- Velocitats

En aquesta pestanya permet configurar velocitats i acceleracions pels diferents moments que es pot trobar en una impressió (perfils, omplir (*infill*), perímetres, material de suport...) i moviments lliures. Resulta pràctic deixar els paràmetres per defecte i segons avança la impressió anar modificant el multiplicador (es veurà a continuació).

➤ Faldilla i vora (*Skirt and brim*)

Són dos paràmetres útils per iniciar l'impressió i realitzar la primera capa, la faldilla és una preparació per l'extrusor i per observar com anirà la primera capa, ja que realitza un fil a una distància "x" d'on es farà el model, així comença a sortir el plàstic fos i es pot observar si la taula està ben calibrada.

Per altra banda, la vora són un conjunt de fils o passades unides que amplien la base del model per millorar l'adherència d'aquest amb la base calenta.

En aquesta pestanya ens permet configurar aquests dos paràmetres amb opcions com el nombre de passades i capes o la mida d'aquests.

➤ Material de suport

Un dels problemes de les màquines de FDM és que necessiten material de suport per fer voladius o determinats angles. En aquesta pestanya permet configurar quan es precisa material de suport (en angle màxim) i com es vol (patró i mides).

A més, permet configurar el *Raft* (o canoa), es tracta d'unes capes que alcen el model de la base calenta així en el cas de patir deformacions (molt comunes) les pateix la canoa i no el model. Permet triar quantes capes volem de canoa abans de començar amb el model.

➤ Múltiples extrusors

Permet configurar quin extrusor (en el cas de tenir-ne més d'un) realitza cada part, així es pot definir que un extrusor realitzi el suport o el material de emplenament, ja que existeixen materials que es dissolen amb aigua o acetona i facilita molt el post-procés de retirar materials de suport.

Com s'ha comentat al principi existeixen moltes opcions més però no resulten importants per una impressió bàsica i dels que s'ha prescindit de la seva explicació.

• **PARÀMETRES DE MATERIAL**

La segona pestanya tracta del paràmetres dels material o de filament. És més senzilla que la anterior ja que només permet configurar el diàmetre d'entrada del fil i la temperatura a la que s'extrudirà, a més de la temperatura del llit calent diferenciant entre la primera capa i la resta.

Es troba un segon paràmetre que és el refredament, en aquest punt permet definir si es vol o no refrigeració del material amb un ventilador extern a més de les velocitats d'aquest.

• **PARÀMETRES DE LA IMPRESSORA**

En aquesta última pestanya permet configurar els propis paràmetres de la màquina. Mentre que per cada impressió pot ser que s'hagin de canviar paràmetres dels altres dos apartats, les propietats d'aquest gairebé només cal modificar-ho una primera vegada.

➤ General

Permet definir la mida de l'àrea de treball, el tipus de codi base que utilitza, nombre d'extrusors i un límit de freqüència, que si les vibracions es trobessin per sota d'aquest es pararia per evitar defectes en el model.

➤ Modificació del codi G

Permet modificar el codi G per si es vol afegir alguna propietat predeterminada a l'inici o fi del codi. També permet modificar algun paràmetre més avançat.

➤ Extrusor

Permet definir cada extrusor dels que té. Determinar la mida de la punta o broc o *nozzle*, posició respecte el 0 ( per tenir el zero de cada extrusor) i la retracció (tira el material cap endins o inverteix la extrusió, quan ha de passar per sobre el model ja fet per tal que no degoti) i altres paràmetres més avançats que estan bé per defecte.

### 5.3.1.2 PRONTERFACE

El programa *pronterface* és un quadre de control, aquest s'encarrega de connectar amb la impressora mitjançant el cable USB i anar enviat el codi G generat per SLIC3R segons convingui. Al tractar-se d'un quadre de control permet modificar certs paràmetres durant la impressió com si d'una màquina de control numèric tradicional es tractés. Permet la modificació de la velocitat en percentatge, així segons convingui, es pot fer funcionar la màquina a un 60% o a un 200%.

També permet un control manual per iniciar impressions, calibrar o provar la màquina.

### 5.3.1.3 REPETIER-HOST

Aquest programa resulta molt útil ja que és una unió dels dos anteriors en un de sòl així no s'ha d'anar traspasant i obrint arxius d'un programa a l'altre. Pren l'SLIC3R com a programa per realitzar les capes i el codi, i ho uneix amb un propi quadre de control igual d'útil que el *pronterface*. A més ofereix una visió en 3D del model a la taula de treball, permet escalar i moure el model sobre la taula (abans de començar la impressió) i permet veure una versió digital del codi G (un model en 3D de tot el recorregut que farà), aquesta opció resulta molt útil per saber si s'ha realitzat el *raft* correcte o si l'*infill* és suficient per exemple.

## 6 RESUM DEL PRESSUPOST

El preu total de la màquina de Fused Deposition Modeling (FDM) o impressora 3D de grans dimensions amb iva inclòs a dia 12 de Juny de 2014 és de:

Dos mil vint euros amb noranta-tres cèntims.....**2020,93€**

## 7 CONCLUSIONS

S'ha complert satisfactòriament amb tots el requeriments inicials, a més s'ha aconseguit un bon disseny mecànic, compacte i de baix cost si es compara amb màquines comercials (encara que siguin models més petits), s'ha intentat prendre els millors aspectes d'alguns models d'impressores comercials i adaptar-los al disseny.

## 8 RELACIÓ DE DOCUMENTS

- Document 1: Memòria i annexes
  - Memòria
  - Annex A: Anàlisi de solucions
  - Annex B: Càlculs justificatius
  - Annex C: Documentació tècnica.
- Document 2: Plànols
- Document 3: Plec de condicions
- Document 4: Estat d'amidaments
- Document 5: Pressupost

## **ANNEX A. ANÀLISI DE SOLUCIONS**

## A.1 INTRODUCCIÓ

En el següent apartat es definiran les diferents solucions o alternatives a cada part de la màquina, anomenant els punts forts i els inconvenients d'utilitzar una o altra solució. En la memòria només es troba la solució final o opció escollida anomenant el perquè s'escull aquella.

## A.2 ESTRUCTURA

### •SOLUCIÓ 1

Igual que les *Prusa* tant la i3 com la i2 i la original estan formades en gran part per un marc d'alumini (en la i3) i subjectat tot per una estructura amb barres roscades o espàrrecs d'acer (Figura. 34).



Figura. 34 Barres roscades o espàrrecs

Resulta una solució molt econòmica, fàcil de corregir errors (és suficient amb descollar i collar on sigui necessari). També és fàcil de localitzar els materials ja que en qualsevol ferreteria podem trobar varilla roscada i femelles del mateix mètric.

Com a inconvenients, primerament l'aspecte que no és del tot net ni professional, sembla una màquina molt artesanal o a mig fer, com si hi faltés alguna caixa per amagar l'interior. Tampoc és una estructura molt rígida ni resident tot hi que es pot agafar un mètric més gros la relació de pes resistència del conjunt no és la més idònia. Igualment si s'ha de realitzar a gran escala al tractar-se d'un material que fàcilment flexa, si hem de realitzar una estructura amb una llum de 700mm aquesta es doblegarà molt.

També com a inconvenient, requereix multitud de peces d'unió, les quals han de ser impreses amb una altre impressora o mecanitzades, tema que empitjora la resistència del conjunt, eleva el seu cost i temps, tant de disseny com de muntatge. Val a dir que roscar una femella en una varilla de 700mm o fins hi tot de molt menys amb un pas d'un 0,8mm és una tasca llarga i en el muntatge d'una impressora cal roscar-ne moltes, degut a això el temps de muntatge o de posteriors reparacions serà llarg.

## •SOLUCIÓ 2

La segona opció es tracta d'utilitzar perfil·laria d'alumini, pensada per muntatges industrials ràpids, modulars, de prototipatge etc. Similars a les utilitzades en la *BCN3D+* o la *MendelMax*.



Figura. 35 Perfil·laria d'alumini

A diferència de l'anterior no es tant fàcil de localitzar aquests perfils (cal anar a un subministrador de material industrial) tot hi que tampoc resulta complicat. Econòmicament resulta més car, però el resultat final és molt millor.

Els avantatges, que són multitud, trobem que el conjunt un cop muntat dona un aspecte de robust, ben acabat, resistent i professional. A més la disminució de pes és important i la resistència d'aquest és alta, sobretot la relació pes resistència, per tant en el nostre cas, que necessitem una llum de 700mm no flexarà tant, obtindrem una estructura més rígida i molt menys pesada.

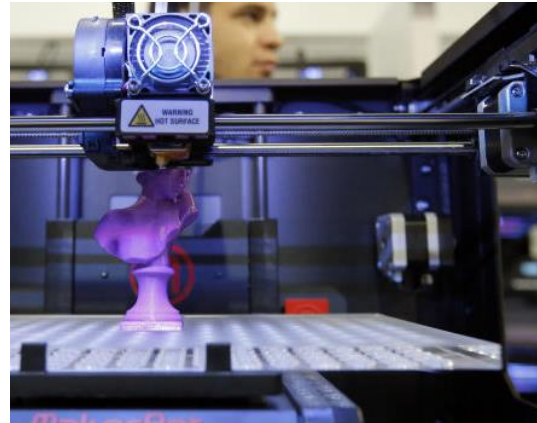
Igualment de cara al muntatge, les empreses que subministren aquests perfils ofereixen solucions molt bones de muntatge, cosa que facilita molt l'assemblatge del conjunt, possibles reparacions, millora la resistència (vers peces de plàstic imprès) i ofereix solucions pràctiques com potes de goma, a més dins les ranures del perfil s'hi poden passar els cables per obtenir un aspecte més net i endreçat (fins hi tot existeixen tapes per amagar aquests dins les ranures).

## A.3 MOVIMENT LINEAL

### A.3.1 EIXOS X I Y

#### •SOLUCIÓ 1

Es tracta del sistema més bàsic en el que es mourà a través d'un dels dos eixos, una plataforma amb un segon eix juntament amb el seu motor. Aquest sistema l'utilitzen impressores 3D tals com les *Makerbot®* (Figures 36 i 37).

Figura. 36 Eixos de la *Makerbot*Figura. 37 Eixos de la *Makerbot*

Com a avantatge val a dir que es tracta d'un sistema molt senzill i fàcil de configurar, reparar i que si s'utilitza a velocitats baixes dóna bons resultats.

Presenta algun problema tal com que ocupa més espai que d'altres sistemes i que arrossega bastant pes al moure el segon eix integra amb el seu motor com s'observa a la Figura 37.

### •SOLUCIÓ 2

Es tracta d'un sistema que separa els eixos, és a dir, separa l'eix X per una banda i l'eix Y per l'altra, habitualment la taula (ja sigui amb o sense llit calent) és l'eix Y i va guiat per unes guies lineals que donen molt bona precisió. I l'eix X va unit a l'eix Z que generalment no té moviment mentre es mouen els eixos X o Y un clar exemple és la BCN3D+ (Figura. 38) o la Prusa i3 (Figura. 39) .

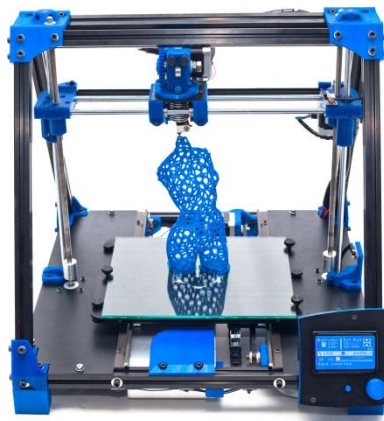


Figura. 38 Eixos de la BCN3D+

Coordinant el moviment de la taula amb el de l'extrusor s'aconsegueix la impressió.



Aquest sistema resulta molt robust, fàcil de programar, de detectar i reparar problemes ja que els eixos estan separats i les inèrcies es troben repartides i no s'arrossegueu pesos dels motors, ja que els motors dels dos eixos estan sempre en repòs (tret de quan es mou l'eix Z, que ja s'ha dit que aleshores no es mouen els altres eixos).

Com a inconvenients trobem que es tracta d'un sistema més tancat, és a dir, la coordinació dels eixos sempre ha de ser la mateixa mentre que un altre sistema on van units X i Y es podria extreure la part on hi va l'extrusor i seguiria funcionant, per exemple, per convertir-ho en una altre màquina guiada per coordenades (tall amb làser, impressora manual, marcadora, fins hi tot fresadora, etc.) o fins hi tot fer-la plegable.

A més com a gran inconvenient, i en el cas d'una impressora de grans dimensions es veu encara més magnificat, resulta que per poder obtenir l'àrea de treball desitjada la taula en aquest cas ha de poder-se desplaçar íntegra perquè l'extrusor pugui treballar a tots els punts, el que ens dóna com a resultat que requereix del doble d'espai vers un altre sistema (com s'observa a la Figura. 39).

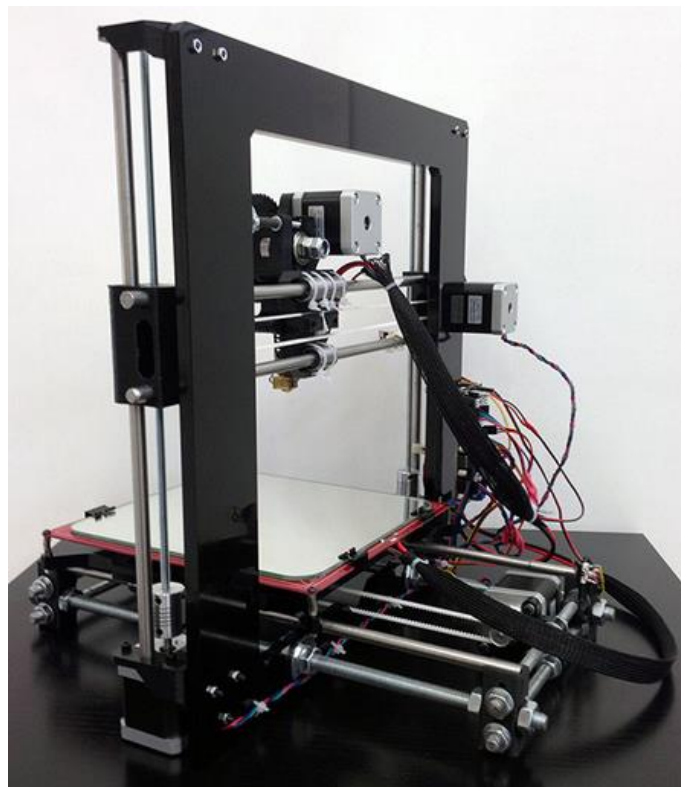


Figura. 39 Eixos de la *prusa i3* s'observa com l'eix Y ocupa el doble

### • SOLUCIÓ 3

El següent sistema és una variant de solució plantejada com a 1. Es tracta d'un sistema on els eixos X i Y van coordinats en un sol pla, tot hi que s'ha desenvolupat un

sistema de politges i corretges (Figura. 40) amb el que s'aconsegueix que els dos motors estiguin fixes.

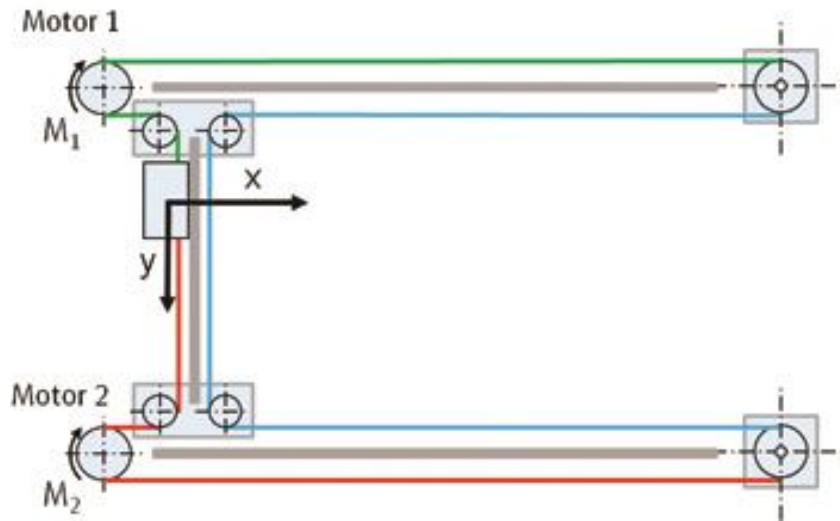


Figura. 40 Sistema H-Bot

Com a avantatges trobem que al no tenir cap motor en moviment hi ha una important reducció de inèrcia vers la solució 1. A més que es tracta d'un sistema molt compacte amb el que s'aprofita molt bé l'espai.

Com a inconvenients trobem que al realitzar el moviment amb una sola correteja, aquesta presenta més deformacions ja que la deformació unitària és la mateixa que en un altre sistema, però la totalitat de la correteja és molt més llarga, cosa que al final ens pot donar errors i imprecisions en la impressió. Si observem, la Figura. 41 observarem que un dels problemes que ens ocasiona tenir una sola correteja per moure la plataforma de l'extrusor és que es creen forces tangencials a banda i banda de l'eix que suporta l'extrusor, com que entre aquestes forces existeix un diferencial de distància es generarà un moment que ens pot, a part de doblegar els eixos, generar imprecisions a la impressió i afegir càrrega als rodaments cosa que ens reduirà la seva vida útil i alhora afegirà fregaments als eixos que també repercutirà a la vida útil de la impressora (pensant en els motors) i a la qualitat de les impressions.

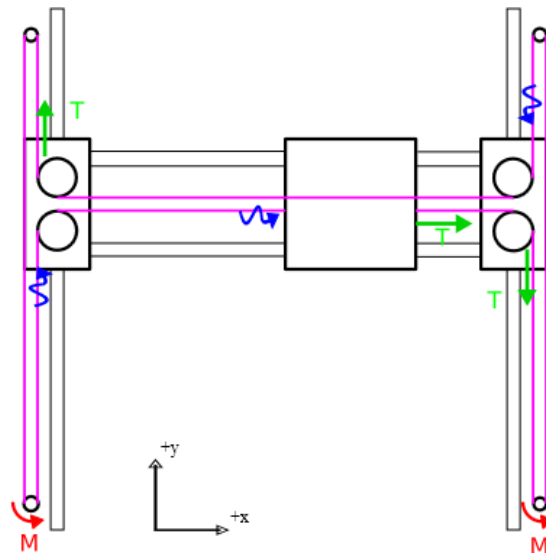


Figura. 41 Problema H-Bot

#### • SOLUCIÓ 4

La següent i última solució es tracta d'una modificació de l'anterior, que es basa en la mateixa disposició dels motors però es canvia el sistema de pols i cables (Figura. 42) per corregir alguns dels errors possibles. Doncs aquesta disposició té dues corretges que s'entrecreuen entre elles i es troben a dos nivells diferents.

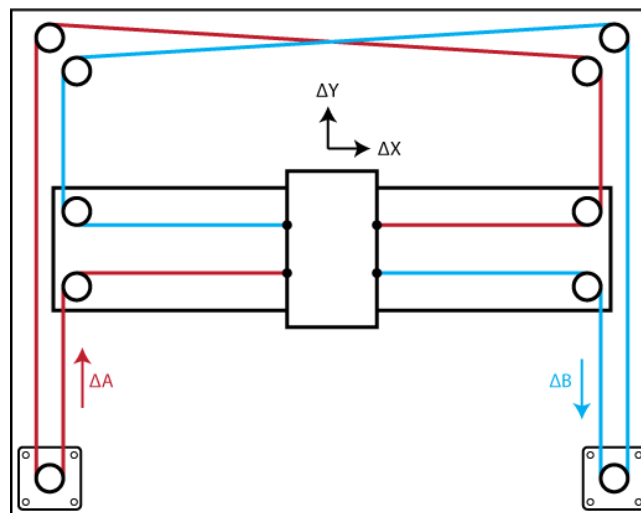


Figura. 42 CoreXY

Com a avantatges, trobem que pren tots els avantatges de la solució anterior (poca inèrcia i espai reduït) i a diferència de l'anterior, que la mida de la corretja és acceptable, ni tant curta com a la solució 1 o 2 ni tan llarga com a la 3. D'igual manera i com es pot observar a Figura. 42 al disposar de dues corretges les forces es troben compensades així no es crea cap descompensació en la plataforma que suporta l'extrusor com s'observa a la Figura. 43.

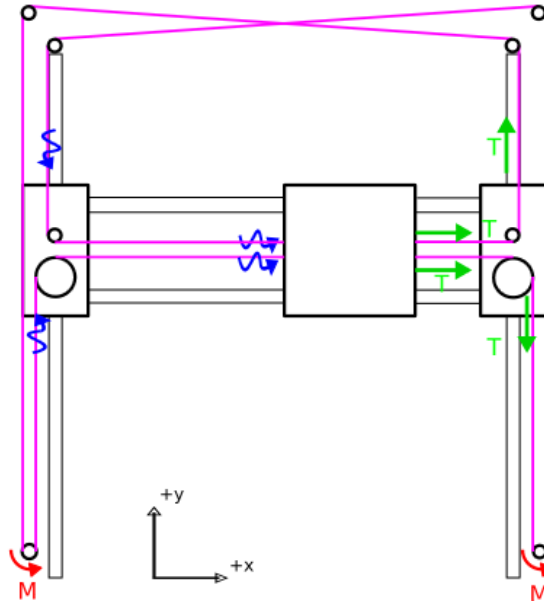


Figura. 43 Avantatge CoreXY

No tot és perfecte en aquest sistema ja que com a inconvenients trobem que la seva programació resulta més complicada (tot hi que l'últim *software Marlin* sembla ser que facilita la tasca). També resulta que al treballar amb dues corretges per desplaçar un mateix espai ha de recórrer el doble de revolucions cada motor.

### A.3.2 EIX Z

#### • COMPONENTS

##### ➤ SOLUCIÓ 1

Es tracta d'utilitzar una barra roscada (espàrrec) i una femella del mètric adequat com s'observa a la Figura. 44 , de manera que cada volta de la barra roscada generi un desplaçament en l'eix a tractar.



Figura. 44 Sistema espàrrec-femella

Com a avantatge trobem que és un sistema molt econòmic, senzill i amb una bona precisió; molt utilitzat des de ja les primeres impressores 3D.

Com a inconvenients trobem que és un sistema força rudimentari, amb bastant fregament i que en algun moment això pot derivar en que el motor perdi algun pas, que es traduiria a pèrdua d'alçada i descompensació. A més, al tenir un pas molt petit, que per una banda és un avantatge, resulta lent de desplaçament sobretot si, com al principi de les impressions, s'ha de recórrer tota la llargada de l'eix fins al fi de cursa, cosa que es magnifica al tractar-se d'una impressora de grans dimensions.

### ➤ SOLUCIÓ 2

Es tracta de millorar l'anterior cas utilitzant components més específics que potser no són tan fàcils de trobar en qualsevol ferreteria però que fàcilment es poden localitzar en distribuïdors més especialitzats.

Es tracta d'utilitzar cargols de potència amb rodaments de boles (*linear ball screw*) (Figura. 45).



Figura. 45 Exemple de cargol de potència

Com a avantatges trobem un millor i més fi (amb menys fregament) desplaçament, una molt alta precisió i un pas molt més gran que el d'un mètric, per tant aconseguirem desplaçaments ràpids més veloços.

El preu seria l'únic inconvenient, ja que resulten molt més cars vers altres opcions, tot hi que si no es busquen marques principals no massa resulten cars.

### • DISPOSICIÓ

#### ➤ DISPOSICIÓ 1

Prenent com a referència les impressores 3D de la marca *Makerbot®*, utilitzen una subjecció i disposició dels components a la part posterior de la taula (Figura. 46).



Figura. 46 Disposició del cargol de potència a les *makerbot*

Com a avantatge podríem destacar que és una disposició dels components molt neta, i estètica, a més de que, si es vol és suficient amb un sol espàrec o cargol de potència guiat per unes barres llises .

Com a inconvenients trobem que la taula ha de ser molt rígida per poder suportar bé el pes subjectat només per la part posterior, sense fletxar a la part davantera, ja que ens perjudicaria a la qualitat de la impressió, inconvenient que es magnifica al tractar-se d'una impressora de grans dimensions. A més que amb un sol cargol de potència, encara que guiat, no es pot assegurar que la base vagi sempre perpendicular a aquest, ja que pot agafar desviacions degut al joc entre cargol i femella de boles.

### ➤ **DISPOSICIÓ 2**

La següent disposició està basada en la utilitzada per impressores comercials com és la BCN3D+ de ReprapBCN o altres models de lliure distribució coneguts com pot ser la Prusa i3.

Es tracta de col·locar els components a banda i banda de la taula, cadascun connectat a un motor i entre ells connectats en paral·lel al mateix controlador, així quan avança l'un l'altre també. A més es pot posar a banda i banda de l'espàrec o cargol de potència, de igual manera que en la solució anterior, s'incorpora una barra llisa guiada per rodaments lineals (Figura. 47).

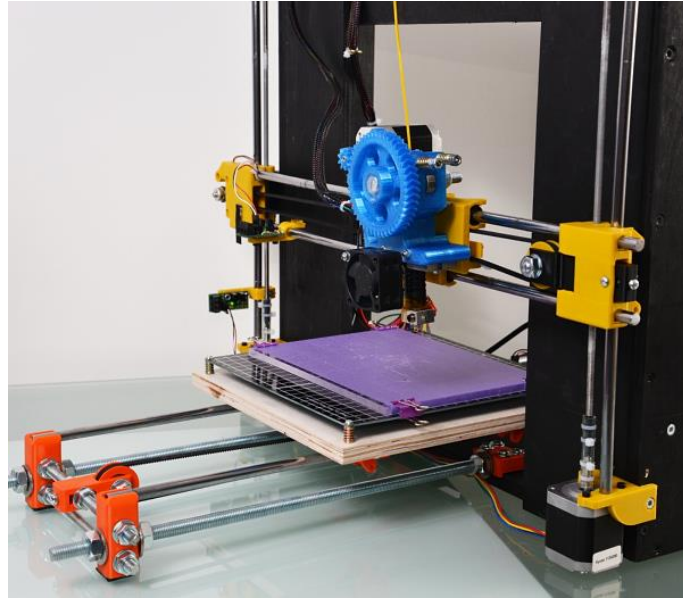


Figura. 47 Eix Z de la prusa i3

Com a avantatges trobem que es tracta d'un sistema fàcil i que reparteix molt bé les càrregues de manera que la taula va sempre paral·lela a l'extrusor, si poguéssim assegurar que el motor no perd mai cap pas. La distància amb la que pot flexar es redueix a la meitat ja que es suporta el pes pels dos laterals.

Com a inconvenients trobem que no és tant estètica com la descrita anteriorment i que és necessari com a mínim dos motors, igual que anteriorment no es pot assegurar que la taula sempre estarà perfectament perpendicular als cargols ja que si un motor perd algun pas es torçarà.

### ➤ DISPOSICIÓ 3

Es tracta d'unir la idea de l'anterior solució però substituint les dues barres roscades per quatre cargols de potència (un a cada cantonada) i fer desaparèixer les barres llises, ja que el moviment ja no caldrà ser guiat. Per accionar el sistema es disposa d'un sistema de motor-reductor-repartidor per tal que només amb un sol motor es pugui moure els quatre cargols de potència alhora.

Com a avantatges trobem que és un sistema molt robust, que no té punt dèbil, ja que es tracta d'una plataforma subjectada per pilars (cargols de potència), és resistent en tots els eixos. A més, el moviment sempre serà el mateix en cada lateral, ja que és un sol motor que ho governa i ni els engranatges ni les corretges dentades perden passos, així sempre s'assegurarà una perfecte perpendicularitat de la plataforma o base amb els cargols de potència.

Com a inconvenients trobem que es tracta d'un sistema més complex, que el motor anirà amb més càrrega i resulta lleugerament més car degut a que posem quatre cargols de potència, però també estalviem les barres llises i els rodaments lineals.

## A.4 SISTÈMA EXTRUSOR

### A.4.1 HOTEND (ELEMENT FUSOR)

#### •SOLUCIÓ 1

Els fusors "tradicionals" són els que tenen parts de material no conductor i parts metàl·liques per evitar dilatacions indegudes i traspessos de calor no desitjats. En aquest punt podríem posar 50 diferents hotends ja que n' existeixen molts, però tots molt similars.

Com es pot observar a la Figura. 48 es basen amb una punta calefactada per tal de fondre i poder extrudir el material, perquè aquesta calor no afecti a la part que no desitgem del material hi ha material plàstic com tefló (molt resistent al calor) que evita el traspàs, a més aquesta part plàstica gairebé no es dilata amb la temperatura per tant al no haver-hi variacions de mida en el conducte d'entrada o d'alimentació normalment no s'encallen.

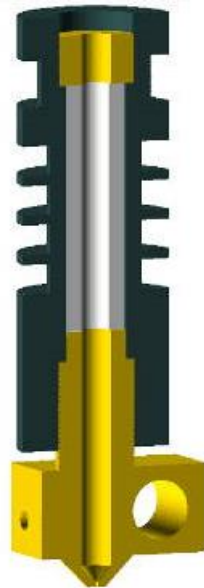


Figura. 48 Fusor tradicional amb aïllament de material polimèric

Com a avantatges, trobem que són peces molt provades i amb multitud de millores des dels primers fins als actuals, i que tenen un consum baix energètic, ja que l'element a escalfar és petit i no hi ha pràcticament pèrdua de temperatura per contacte amb altres parts.

Com a inconvenients trobem que resulten complicats de disseny i per tant de possibles reparacions al tenir parts de diferents materials, a més estan limitats en quan a temperatura màxima, ja que si ens passem de temperatura les parts no metàl·liques poden fondre's, patir deformacions i destrossar, literalment, el hotend. A més, els més bons resulten molt cars per la seva complexitat.



## • SOLUCIÓ 2

Es tracta d'utilitzar fusors anomenats “*all-metal*” que com el seu nom indica en anglès, són hotends amb totes les parts metàl·liques. Per evitar que la calor necessària per fondre el plàstic a l'extrem inferior passi a zones on volem temperatures més fredes, s'utilitzen dissipadors, igual que en informàtica o similar a la automoció (fins hi tot hi ha hotends amb refrigeració líquida).

Els principals avantatges són, que tenen un disseny molt més senzill, tot hi que molt ben calculat per dissipar suficientment bé el calor, resulten molt fàcils de reparar. Com que no tenen parts de plàstic (Figura. 49) poden arribar a temperatures molt més altes, al qual ens obre un ventall de plàstics per extrudir que fonen a altes temperatures (PC, policarbonat). Cal esmentar que són a més extrusors molt robustos, molt rígids i lleugers.

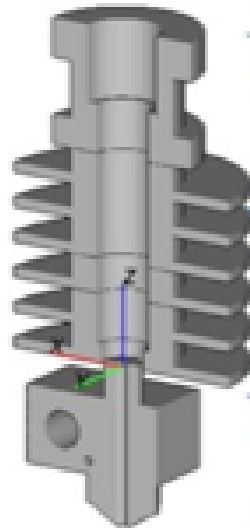


Figura. 49 Fusor *all-metal*

Com a inconvenients, podríem comentar que tenen un consum més elevat ja que la temperatura generada a l'extrem inferior es condueix pel dissipador i allà es perd tota, cosa que obliga a estar constantment escalfant i evacuant aquesta calor aconseguida, a més requereix de ventilador sobre el dissipador. També és més propens a encallar-se, ja que pateix més dilatacions tèrmiques (es pot solucionar augmentant molt més la temperatura per sobre del “*melting point*” per desembussar).

### A.4.2 EXTRUSOR (ELEMENT MECÀNIC)

## • SOLUCIÓ 1

Es tracta d'utilitzar un extrusor amb engranatges (Figura. 50) per tal que actuï com a reductor, i així no carregar tant el motor encarregat d'extrudir. L'element que empeny

el fil és un “*hobbed bolt*” o cargol marcat/moletejat (Figura. 50) unit a un sistema de reducció; el fil a empènyer passa entre aquest i un rodament suficientment proper per tal de subjectar el fil de plàstic contra el *hobbed bolt*, així i mitjançant el sistema de reducció s'empeny el fil en direcció tangencial al cargol.

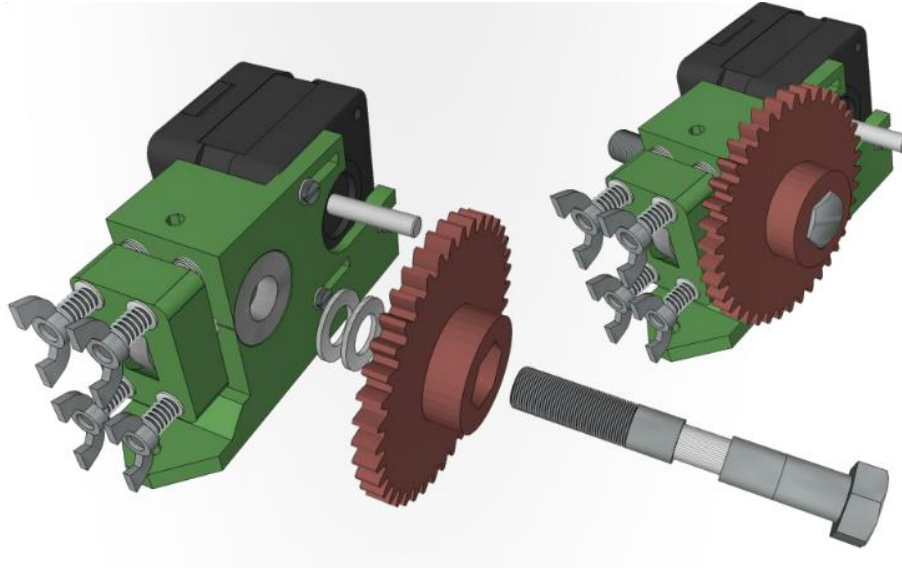


Figura. 50 Extrusor amb engranatges i hobbed bolt

Com a avantatges d'aquest sistema trobem que carrega poc el motor, ja que hi ha un sistema de reductor, és fiable i té facilitat d'us, a més de poder girar l'engranatge gros amb la mà per poder iniciar l'extrusió manualment i posar i treure filament fàcilment

Com a inconvenients trobem que al tenir un sistema de reducció ocupa més espai i pot resultar més imprecís, ja que l'extrusió o la retracció (acció de tornar el filament enrere per tal que no degoti plàstic fos sobre punt on no es desitja) pot patir un cert retard degut al joc dels engranatges.

## • SOLUCIÓ 2

Es tracta d'utilitzar un extrusor directe (Figura. 51). Les similituds són moltes vers la solució 1 ja que es basa en el mateix principi, el fet de fer passar per un espai petit, entre una peça marcada i un rodament, el filament de plàstic. Però en aquest cas no s'utilitza un *hobbed bolt* sinó una *hobbed pulley* (una politja moletejada o marcada) i aquesta va unida directament al motor. El motor té suficient potència com per no necessitar de reducció per poder empènyer el filament.

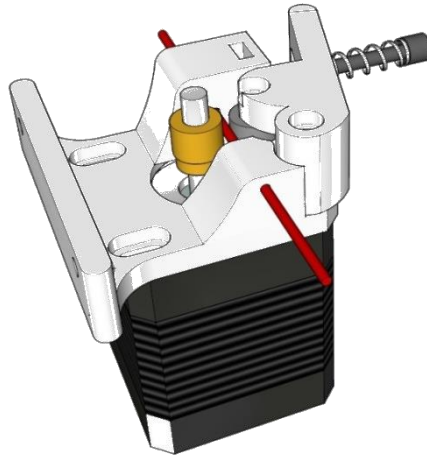


Figura. 51 Sistema d'extrusor directe

Com a avantatges trobem que es tracta d'un sistema molt més compacte i sense retard entre el moviment del motor i la conversió a moviment lineal del filament degut a possibles jocs entre engranatges del reductor.

Com a inconvenient trobem que és un sistema que exigeix més al motor, funciona sempre amb més càrrega i només es pot fer moure el fil mitjançant el propi motor, cosa que dificulta les tasques de manteniment i canvi de filament.

#### A.4.3 SISTEMES D'ALIMENTACIÓ

##### •SOLUCIÓ 1

Es tracta de disposar l'element mecànic amb l'element fusor l'un a continuació de l'altre com s'observa a la Figura. 52, ho podríem denominar com a directe. És la forma més tradicional, lògica i que genera menys problemes.

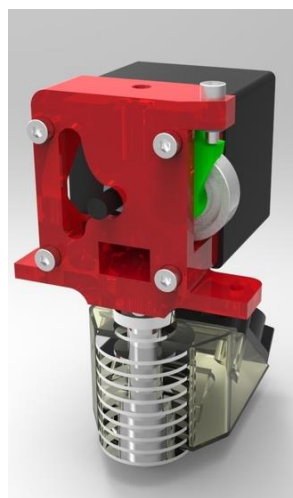


Figura. 52 Sistema directe, hotend a continuació de l'extrusor

Com a avantatges trobem que no s'encalla degut a que no hi ha distància possible i que al ser directe no hi ha gens de retard entre que el motor fa avançar el filament fins que aquest s'extrudeix.

Com a inconvenients trobem que cada fusor ha d'anar unit a l'extrusor i al seu motor, degut a això i que la impressora ha de portar dos extrusors diferents augmentem molt la inèrcia del carro en moviment.

## • SOLUCIÓ 2

Es tracta d'utilitzar un sistema anomenat *Bowden* (Figura. 53), aquest es basa en disposar fora del carro tot el sistema extrusor excepte el *hotend*, de manera que el motor juntament amb l'extrusor no afecten a la inèrcia a moure. Per fer-ho i poder transmetre la força del filament fins al hotend, s'utilitza un cable/tub emprat en sistemes d'aire comprimit del diàmetre intern lleugerament superior al diàmetre del filament a extrudir, així doncs la força es transmet linealment fins al hotend sense perdre força degut a que el tub no el permet doblegar i obliga a la força a seguir el sentit axial.



Figura. 53 Sistema bowden

Com a avantatges trobem una reducció molt gran de la inèrcia a moure, cosa que ens afecta positivament en la qualitat i velocitat màxima de impressió. A més aquest avantatge es veu duplicat al haver d'incorporar dos sistemes extrusors.

Com a inconvenients podem trobar que en alguna ocasió si el filament pel motiu que sigui (des de defecte de fabricació fins a posteriors deformacions), té un diàmetre superior a l'esperat i superior al diàmetre intern del tub es podria arribar a encallar. També hi ha pèrdua de força degut al fregament al llarg del tub, tot hi que amb un bon calibratge es pot aconseguir una bona extrusió.

## A.5 LLIT CALENT (HEATED BED)

### • DISPOSICIONS

#### ➤ SOLUCIÓ 1

Es tracta de disposar diverses plaques comercials de manera que formem una placa de 500x500mm. Com que al mercat hi ha plaques de 200x200mm i de 300x300mm no resultarà complicat.

Com a avantatges podem trobar que la temperatura serà molt uniforme a tots els punts de la superfície. A més l'ús de les plaques PCB calefactades és el més emprat i fàcil d'utilitzar, calibrar i solucionar possibles problemes.

Com a inconvenients trobem que tot material comercial, si es tractés d'una impressora "normal" no hi hauria problema, ja que amb una sola placa és suficient, però en la impressora 3d de grans dimensions són necessàries 4 plaques, el que incrementa el preu del conjunt. A més, una sola placa es pot connectar directe a la RAMPS, però en el sistema de 4 plaques, degut al consum energètic, la placa controladora RAMPS no té suficient potència.

#### ➤ SOLUCIÓ 2

Es tracta de disposar un o varis elements calefactors sota una planxa de alumini de 5mm, per tal de dispersar la calor per totes les àrees (Figura. 54).

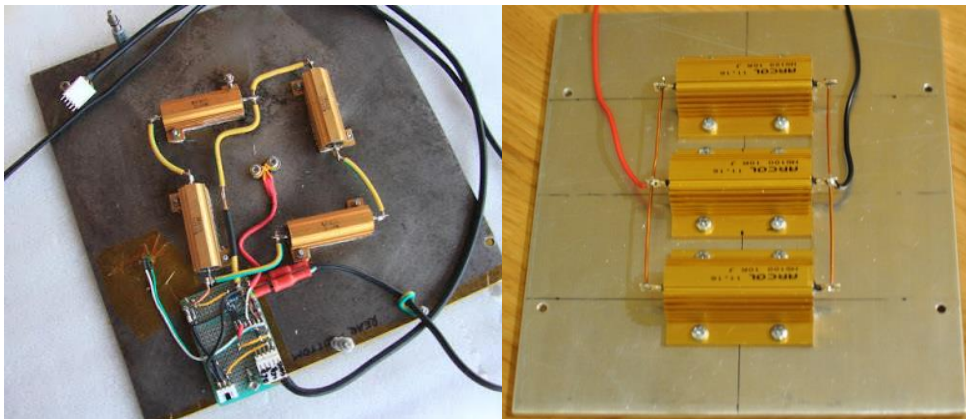


Figura. 54 Disposició d'elements calefactors sota una planxa metàlica

Com a avantatges trobem que és una solució barata i DIY (*Do It Yourself*) que va molt unit a la filosofia de les impressores 3D.

Com a inconvenient trobem que la calor serà molt desigual a diferents punts de la placa i que el sistema d'alimentació tampoc podria ser directe a la placa controladora.

## • ELEMENTS CALEFACTABLES

### ➤ PLACA PCB MK2

Es tracta d'una placa evolucionada de la original dissenyada per Josef Prusa i és una placa amb un circuit imprès per tota la superfície, amb una resistència de 3-3,4Ω, pensada per treballar a 12v i en passar corrent a través de ella s'escalfa.



Figura. 55 Placa PCB MK2 200x200mm

Com avantatges trobem que és molt fàcil de aconseguir i econòmica.

Com a inconvenients trobem que és molt lenta d'arribar a la temperatura desitjada, per treballar amb ABS cal 110°C, amb una placa MK2, depenent de les condicions externes, són necessaris de 15 a 20 minuts.

### ➤ PLACA PCB MK3

Es tracta d'una evolucionada de la MK2, té les mateixes prestacions, però té un doble circuit amb dues resistències diferents, una per ser utilitzada a 12v i una altra a 24v. A més el model de 200x200mm podem trobar la MK3ALU ( que és una placa d'alumini amb el circuit imprès) (Figura. 56).



Figura. 56 Placa PCB MK3 Alu 200x200mm dual voltage

Com a avantatges trobem que es tracta d'una placa més rígida (sobretot el model ALU) i que si utilitzem el circuit de 12v amb una tensió de 24v aquesta arriba a 110°C en 2 minuts, i això és molt ràpid.

Com a inconvenients trobem que és més cara i difícil de aconseguir, a més no existeix el model de 300x300mm.

#### ➤ HEATED BED DE SILICONA

Actualment estan apareixent un nou tipus de llits calents de silicona (Figura. 57), aquests són flexibles i s'escalfen molt ràpid (gairebé com la MK3 connectada a 24v).



Figura. 57 Heated bed de silicona amb termistor 200x200mm

Com a avantatges trobem que s'escalfen molt ràpidament i que al ser flexibles permeten una mica de joc sobretot alhora de col·locar-los en el nostre cas.

Com a inconvenients trobem que són una mica més cars que els estàndards, resulten una mica més complicats de trobar, ja que és un element molt nou, però cada vegada resulta més fàcil. Igualment al no ser rígides resulta més complicat posar-les bé l'una al costat de l'altre sense que hi hagi desviacions o plecs que afectin a la base.

## A.6 ELECTRÒNICA

### • SOLUCIÓ 1

Es tracta de utilitzar la placa controladora RAMPS (*RepRap Arduino Mega Pololu Shield*), en la seva última versió, la 1.4, unida a un *arduino Mega 2586*. Es tracta d'una de les plaques més utilitzades en el món de les impressores 3D.

Té les següents característiques:

<b>Placa</b>	<b>RAMPS 1.4</b>
<b>Mida</b>	100x60mm
<b>Corrent</b>	12-24v
<b>Processador</b>	Atmega2560 / Atmega1280
<b>Memoria</b>	128KB / 256KB
<b>Sortides mosfet</b>	3
<b>Extrusors màxims</b>	2
<b>Finals de cursa</b>	6
<b>Entrades de termistor</b>	2
<b>Possibilitat de LCD</b>	Si
<b>Lector SD</b>	Si
<b>Preu (aprox)</b>	100 €

Taula 2 Característiques tècniques RAMPS 1.4

Com a avantatges trobem que és una placa molt comuna i es troba molta informació d'aquesta i possibles modificacions. A més, aquesta placa és un afegit a un arduino, el fet que no estigui unit pot facilitar o abaratir els costos de reparació o modificació en un futur, ja que si només fallés la RAMPS o l'Arduino es poden canviar per individuals, i els 100€ del cost a la taula són el conjunt l'Arduino més RAMPS 1.4

Com a inconvenients trobem que no permet més de dos extrusors.

- **SOLUCIÓ 2**

Es tracta d'utilitzar una placa creada al moment en que les impressores 3D es van començar a posar de moda i se'n va començar a parlar, és una placa "low cost" i bàsicament és un Arduino + RAMPS 1.2 unit en una mateixa placa però amb certes limitacions o amb menys prestacions.



Placa	Sanguinololu
Mida	100x50mm
Corrent	12v
Processador	Atmega1284
Memoria	128KB
Sortides mosfet	2
Extrusors màxims	1
Finals de cursa	3
Entrades de termistor	2
Possibilitat de LCD	No
Lector SD	No
Preu (aprox)	80 €

Taula 3 Característiques tècniques *sanguinololu*

Com a avantatges trobem que es tracta d'una placa força testejada i econòmica.

Com a inconvenients trobem que és molt limitada, tant amb voltatge com amb possibilitats, ja que només és capaç de funcionar amb un extrusor i no pot incorporar pantalla i per tant ser una impressora autònoma (funcionar sense necessitat de ordinador).

- **SOLUCIÓ 3**

Es tracta d'utilitzar una placa creada ja quan les impressores 3D han anat evolucionant i pensant només en ser utilitzada per impressores d'aquest estil. Es tracta d'una placa millorada de l'opció anterior. És una placa que en un sol mòdul ajunta la part intel·ligent (arduino) i la placa controladora (RAMPS).

És un tipus de placa força utilitzada, que es troba bastanta informació i resulta fàcil de utilitzar i programar igual que un Arduino. Però amb millores respecte el conjunt Arduino Mega + RAMPS.

Placa	Megatronics V2
Mida	110x95mm
Corrent	12v
Processador	Atmega2560
Memoria	256KB
Sortides mosfet	5
Extrusors màxims	3
Finals de cursa	6
Entrades de termistor	3+2
Possibilitat de LCD	Si
Lector SD	Si
Preu (aprox)	165 €

Taula 4 Característiques tècniques Megatronics V2

A favor d'aquesta placa podríem dir que al tractar-se d'una placa millorada de la bàsica Arduino + RAMPS té millores, més potència per calentar el *heatbed* o la possibilitat de utilitzar fins a 3 extrusors. A més també pot incorporar una pantalla LCD i convertir-la en una impressora autònoma.

Com a inconvenients es podria dir que només admet tensió a 12v i que és una placa força més cara si alguna de les dues parts que la formen s'espallés, al no ser modular no es pot substituir la part intel·ligent (Arduino) o la part controladora (RAMPS) per separat.

- **SOLUCIÓ 4**

Es tracta d'utilitzar la placa minitronics, aquesta és la versió reduïda de l'anterior. Igual que l'anterior és una placa on la part controladora i la part intel·ligent estan unides.

Placa	Minitronics V1
Mida	95x55mm
Corrent	12v
Processador	Atmega1281
Memoria	128KB
Sortides mosfet	4
Extrusors màxims	1
Finals de cursa	3
Entrades de termistor	2
Possibilitat de LCD	No
Lector SD	No
Preu (aprox)	105 €

Taula 5 Característiques tècniques Minitronics V1

Com a avantatges es podria dir que es tracta d'una placa senzilla i econòmica (fins i tot es pot trobar per uns 70€).

Com a inconvenients, només té possibilitat d'utilitzar un extrusor, només a 12v i no té opció a pantalla LCD. A més, com la opció anterior, al ser una sola placa unida pot portar problemes alhora de realitzar reparacions.

- **SOLUCIÓ 5**

La següent opció es tracta d'utilitzar una placa que ha aparegut recentment i és la Rumba, igual que les anteriors és una sola placa amb la part controladora i la part

intel·ligent unides. Però aquesta està pensada per oferir opcions addicionals a les anteriorment esmentades, tals com poder funcionar fins a 35v, poder utilitzar fins a 3 extrusors i amb pantalla LCD.

Placa	Rumba
Mida	135x75mm
Corrent	12-35v
Processador	Atmega2560
Memoria	256KB
Sortides mosfet	5
Extrusors màxims	3
Finals de cursa	6
Entrades de termistor	3
Possibilitat de LCD	Si
Lector SD	Si
Preu (aprox)	165 €

Taula 6 Característiques tècniques Rumba

Els avantatges són molts, des de que pot operar fins a 35v, que pot suportar fins a 3 extrusors, possibilitat de LCD, etc.

Com a inconvenients trobem que al ser força nova i poc utilitzada no hi ha molta informació al respecte ni esta molt testejada a més del preu que és elevat. Com les anteriors que són una sola placa pot portar problemes alhora de realitzar reparacions.

- **ALTRES SOLUCIONS**

Existeixen moltes altres solucions de cara a l'electrònica tot hi que al ser poc utilitzades no seran explicades amb deteniment i ja seran descartades com a solució final. Tot i que a la llarga si convingués es pot canviar l'electrònica ja que, totes són

compatibles amb els motors que s'utilitzaran i amb els finals de cursa, caldria només una programació lleugerament diferents i un calibratge previ al seu ús.

Algunes de les solucions podrien ser des de utilitzar una placa creada per la comunitat *RepRap* (econòmica i bastant completa) , o bé la *DUET* (que pot suportar fins a 5 extrusors) o la *Marlin Electronics* (molt bona placa, però encara en desenvolupament, incorporarà processador de 32bits i fins a 3 extrusors) d'entre altres.

D'experiments en aquest món n'existeixen moltíssims, des d'adaptacions de controladores de màquines CNC fins a adaptacions del *microPC RaspberryPi* per poder controlar impressores 3D, però és un tema que generaria molta pèrdua de temps de programació i problemes, per pocs avantatges.

## **ANNEX B. CÀLCULS JUSTIFICATIUS**

## B.1 INTRODUCCIÓ

A continuació es realitzarà la justificació de quatre punts interessants de la màquina i que precisen de càlculs per saber si el disseny realitzat és encertat. Es comprovarà que els diàmetres o seleccions de motors són correctes i evitar així futurs problemes o un mal funcionament de la màquina o com a mínim assegurar el funcionament òptim de la màquina.

## B.2 PRECISSIÓ DE L'EIX Z

Com que s'ha aplicat el sistema reductor en l'eix Z, i com que la idea és que els engranatges d'aquest sistema siguin fabricats amb una impressora 3D, es comprovarà que la precisió d'aquests no afecti a la precisió desitjada en aquest eix.

La precisió desitjada serà de 0,05mm, per tant s'ha de procurar no obtenir més que aquest valor d'error a l'obtenir el possible joc entre engranatges.

El pitjor dels casos seria tenir un error X a la dent de l'engranatge (es considerarà d'un 10%, tot hi que és molt alt) i que tingués aquest error els dos engranatges i degut a un canvi del senti de gir, els dos errors es sumessin, és a dir, que es perdés pel joc positiu i pel joc negatiu.

- Relació de transmissió cargol potència:  $i_1 = 5 \frac{mm}{volta}$
- Relació de transmissió engranatges:  $i_2 = \frac{18}{28} = 0.6428$
- Motor:  $200 \frac{passos}{volta} = 1,8 \frac{º}{pas}$  es considerarà un error d'un 10% =  $\pm 0,18 \frac{º}{pas}$

Si es calcula per cada pas quina és l'avança de la taula s'obté la distància mínima que pot moure-s la taula, per tant la resolució d'aquesta.

$$Resolució Z = \frac{Pas\ minim \cdot i_1 \cdot i_2}{360} = 0,01597mm$$

Per tant la taula de l'eix Z es pot desplaçar un mínim de 0,01597mm

Si es calcula l'error del 10% i es realitza l'anterior càlcul s'obté l'error degut al motor:

$$Error\ del\ motor\ (10\%) = \pm 0,001607mm$$

A continuació es comprovarà amb la suposició d'un error d'un 10% en els engranatges quin seria l'error en mil·límetres a l'eix Z.

Primerament cal calcular el pas de cada dent, que serà el mateix pels dos ja que tenen el mateix mòdul. Sabem:

$$D_{P1} = Z_1 \cdot m = 18mm \quad D_{P2} = Z_2 \cdot m = 28mm$$

$$P_{p1} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{D_{P1}}{2} = 56mm \quad P_{p2} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{D_{P2}}{2} = 87mm$$

$$Pas = \frac{P_{p1}}{Z_1} = 3,11mm \text{ (es igual pels dos ja que } m \text{ és igual)}$$

Així doncs, entre dent i dent hi ha 3,11mm, si es considera un 10% d'error en aquest pas seria 0,311mm d'error, que si ho passem a graus:

$$0,311mm \times \frac{360^\circ}{56mm} = 1,99^\circ \sim 1pas \text{ del motor}$$

S'aproxima a un pas del motor i es multiplica per dos, per considerar el pitjor dels casos ja explicat anteriorment.

$$1pas \text{ motor} = 0,015597mm$$

$$0,015597mm \cdot 2 \text{ (considerar el pitjor dels casos)} = 0,0312mm$$

Finalment si es suma l'error màxim obtingut en els engranatges i l'error degut al motor s'obté un error màxim de 0,032mm que és inferior a 0,05mm desitjats.

Per concloure es podria dir que tot hi realitzar els càlculs amb un error estimat molt alt, la precisió de la taula encara és superior a la desitjada, per tan el disseny és correcte.

### B.3 FLEXIÓ DE LES BARRES CALIBRADES LLISES

Les barres que suporten el capçal mòbil degut al propi pes i al pes del capçal es troben a flexió, per tal d'assegurar que la flexió màxima d'aquestes no supera els 0,05mm de precisió requerida a l'eix Z es realitzarà el càlcul de les barres.

Per realitzar el següent càlcul s'ha utilitzat el programa *solidworks*, per simular la barra calibrada llisa amb una força primerament de 20N per poder simular uns 2kg de força per les barres laterals i posteriorment amb 10N per simular les barres interiors del coreXY. Com que tenim el pes repartir en dues barres, una a cada costat com es pot observar a la Figura. 58, la flexió quedarà repartida entre dues i per tant serà la meitat que la obtinguda per una sola barra amb tota la càrrega.



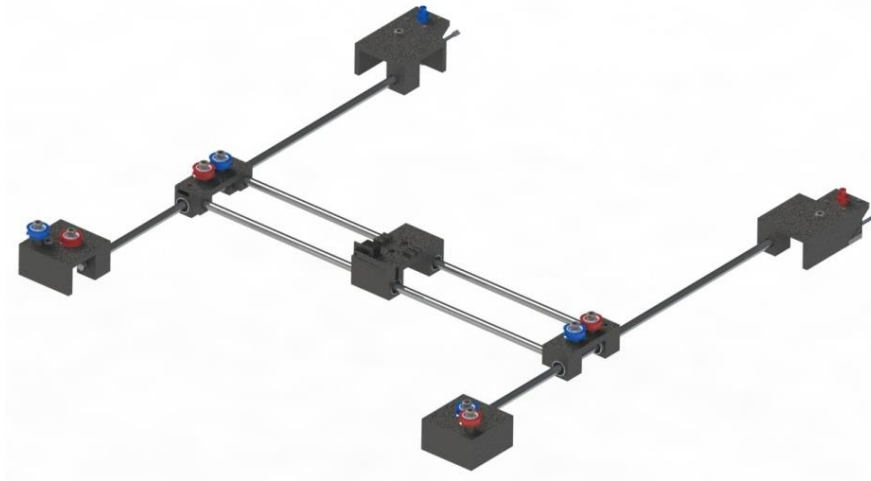


Figura. 58 Posició de les calibrades llises del CoreXY

- **BARRES LATERALS O EXTERIORS.**

Amb la càrrega aplicada de 20N (tractant una sola barra, caldrà dividir el desplaçament per dos), utilitzant la barra de  $\varnothing 12\text{mm}$  i mòdul de Young 210000MPa.

A la Figura. 59 es pot observar una deformació màxima de 0,02647mm en el punt central, si es considera que cal dividir per dos s'obté 0,013235mm.

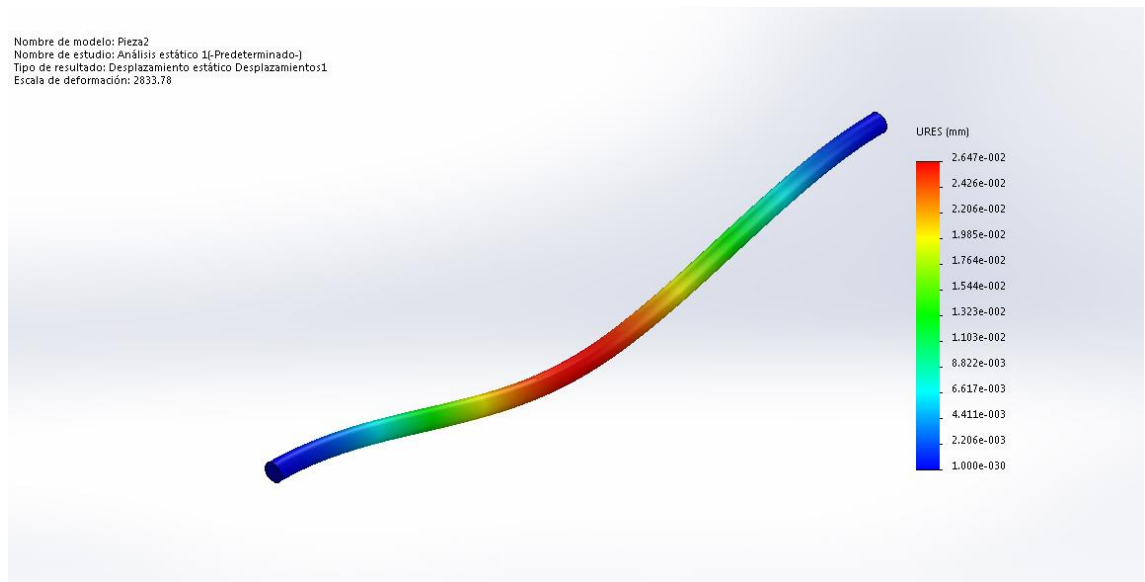


Figura. 59 Flexió barra amb 20N

- **BARRES INTERIORS**

Com que aquestes barres han de suportar menys pes, a diferència de les externes que han de suportar el pes de les barres internes més el capçal mòbil, s'ha realitzat el càlcul amb 10N.

A la Figura. 60 es pot observar una deformació màxima de 0,01323mm en el punt central, si es considera que cal dividir per dos s'obté 0,0066175mm.

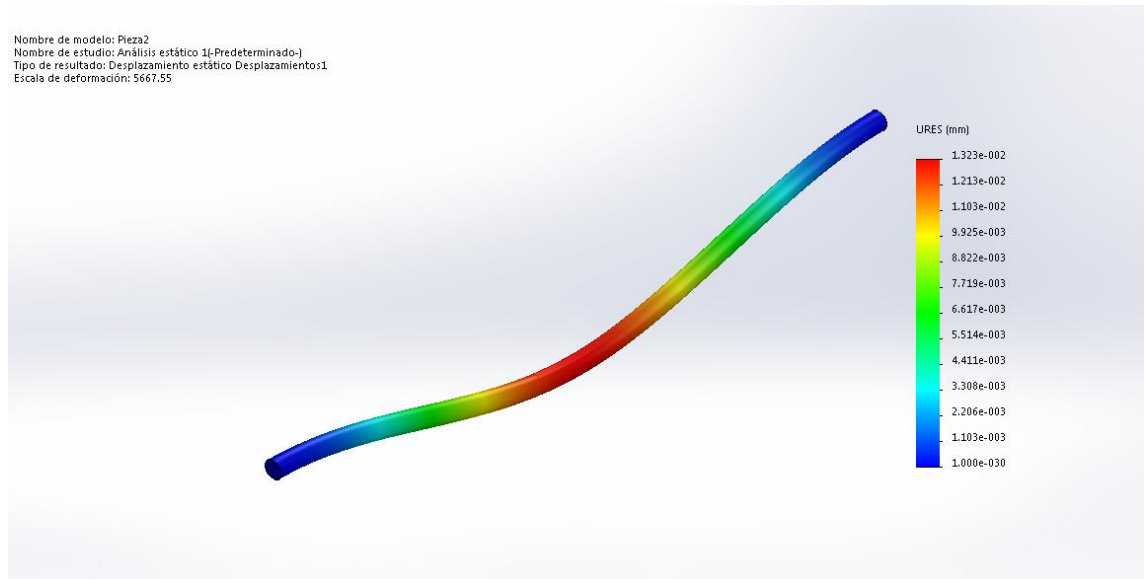


Figura. 60 Flexió de la barra amb 10N

- **RESULTATS FINALS**

En el pitjor dels casos es podria tenir una fletxa de 0,019mm

Per tan es podria concloure que els resultats obtinguts són satisfactoris ja que són menys que l'error màxim permès a l'alçada de l'eix Z (0,05mm), a més si es suma l'error màxim degut a la flexió i l'error màxim degut al motor i engranatges, s'obté un error de 0,05mm aproximat que és el màxim permès.

#### B.4 ACCELERACIÓ DEL CARRO MÒBIL I POTÈNCIA DELS MOTORS

A continuació es comprovarà que la potència dels motor resulta suficient per poder moure el carro mòbil.

Com és conegut:

$$F = m \cdot a$$

Sabent la massa a moure i l'acceleració que es desitja es pot trobar la força que cal per accelerar aquella massa. Es sap l'acceleració desitjada ( $3000\text{mm/s}^2$ ) i la massa a moure s'estima uns 2kg.

$$F = 2\text{kg} \cdot \frac{3\text{m}}{\text{s}^2} = 6\text{N}$$

Per tan linealment es trobaran 6N de força a l'accelerar, en el suposat del pitjor dels casos que hi hagués una acceleració màxima en sentit positiu i es canvia de direcció amb una acceleració màxima en sentit negatiu la força es duplicarà, per tant la força màxima linealment sobre el motor és de 12N.

Amb el radi de la politja connectada al motor (7mm) podem saber el moment que afecta sobre l'eix del motor quan els anteriors 12N hi són aplicats.

$$M = F \cdot d = 0,084\text{Nm} = 8,4\text{mN} \cdot \text{m}$$

Observant la fulla de prestacions del motor a l'Annex C, es troba que té un moment a l'eix màxim de 37mN·m.

$$8,4\text{mN} \cdot \text{m} \leq 37\text{mN} \cdot \text{m}$$

Per tan el motor pot accelerar degudament el carro mòbil.

## B.5 VIBRACIONS

Per assegurar que la màquina no pateix vibracions que puguin afectar a la qualitat d'impressió es comprovarà que les vibracions dels eixos superiors, els mateixos que l'anterior càlcul, no vibren per sota de 10Hz, que seria una vibració molt lenta i amb força amplitud, cosa que afectaria molt la qualitat de la peça impresa.

Per fer-ho cal buscar la freqüència natural de vibració. Si suposem que tenim un sistema massa ressort on la massa és l'element a moure (es suposen 2Kg) i el ressort equivalent es buscarà aplicant una força de 1N sobre la barra, buscant la fletxa d'aquesta i aplicant la fórmula:

$$k_{eq} = \frac{1\text{N}}{Y \text{ (fletxa en mm)}}$$

Com que tenim quatre barres per simplificar el càlcul s'aplicarà a una 0,25N per obtenir la k equivalent de totes plegades, tot hi que a la fórmula s'aplicarà igualment 1N.

Es busca la fletxa màxima (Figura. 61):

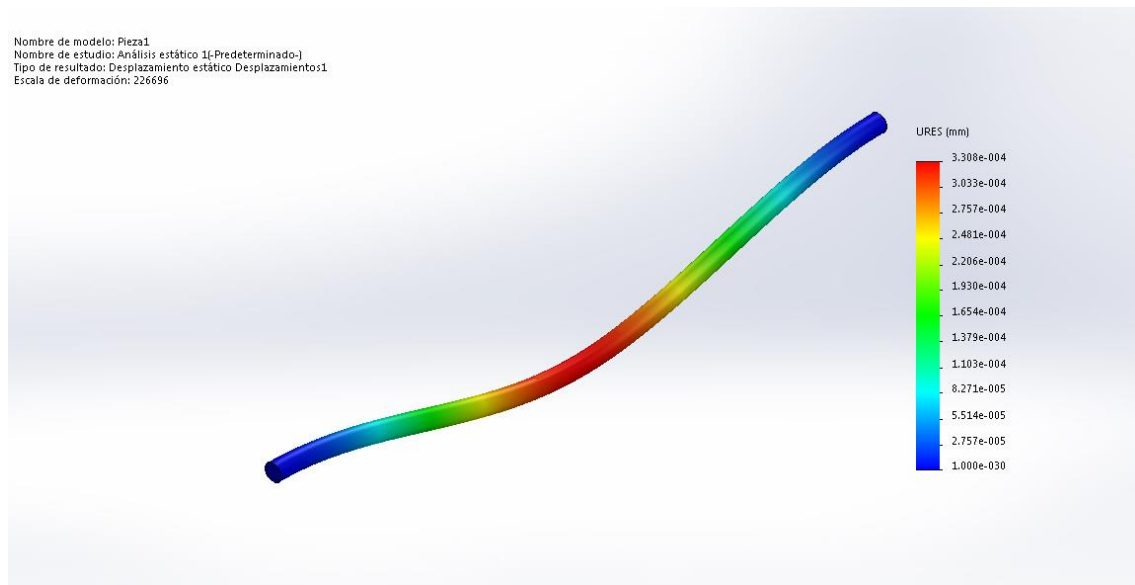


Figura. 61 Barra a flexió amb força de 0,25N

Fletxa màxima= 0,0003308mm en el punt central

$$k_{eq} = \frac{4 \cdot 0,25N}{0,0003308mm} = 3022,97 \text{ N/mm}$$

S'obindrà la freqüència de ressonància amb la següent fórmula.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_{eq}}{m}} = \sqrt{\frac{3022,97 \frac{N}{mm} \cdot \frac{1000mm}{1m}}{2kg}} = 1229,42 \text{ Hz} \geq 10\text{Hz}$$

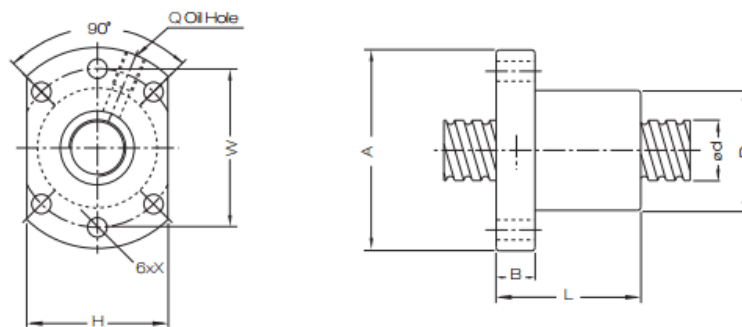
Com s'ha comprovat la màquina vibra a una freqüència molt elevada fet que no afectarà a la definició del model ja que la vibració és molt ràpida i per tant d'amplitud curta, a més que al ser tant ràpida el model casi no ho percebrà.

## **ANNEX C. DOCUMENTACIÓ TÈCNICA**

## C.1 CARGOL DE POTÈNCIA

### BALL SCREWS

**Type: SFU** - Single nut with flange - din nut.



**l:** Lead      **Da:** Ball Dia.      **n:** Number of Circuits      **K:** Stiffness (N/μm)  
**Ca:** Basic Dynamic Load Rating (N)      **Coa:** Basic Static Load Rating (N)

All other dimensions in mm.

Model no.	d	l	Da	D	A	B	L	W	X	H	Q	n	Ca	Coa	K
SFU 1605	16	5	3.175	28	48	10	50	38	5.5	40	M6	4	7800	17900	200
SFU 1610*	16	10	3.175	28	48	10	57	38	5.5	40	M6	3	7210	12490	150
SFU 2005*	20	5	3.175	36	58	10	51	47	6.6	44	M6	4	11300	23800	250
SFU 2505*	25	5	3.175	40	62	10	51	51	6.6	48	M6	4	12800	31100	350
SFU 2510	25	10	4.762	40	62	12	85	51	6.6	48	M6	4	19440	38770	330
SFU 3205*	32	5	3.175	50	80	12	52	65	9	62	M6	4	14500	41500	400
SFU 3210	32	10	6.350	50	80	12	90	65	9	62	M6	4	33900	71700	400
SFU 4005*	40	5	3.175	63	93	14	55	78	9	70	M8	4	16100	53300	490
SFU 4010	40	10	6.350	63	93	14	93	78	9	70	M8	4	39190	95200	500
SFU 5010	50	10	6.350	75	110	16	93	93	11	85	M8	4	44500	125000	650
SFU 6310*	63	10	6.350	90	125	18	98	108	11	95	M8	4	50700	166000	800
SFU 8010*	80	10	6.350	105	145	20	98	125	14	110	M8	4	56200	213000	900

**Note:** with sign \* can be produced with left helix

Figura. 62 Característiques del cargol de potència

C.2 MOTOR PAS A PAS

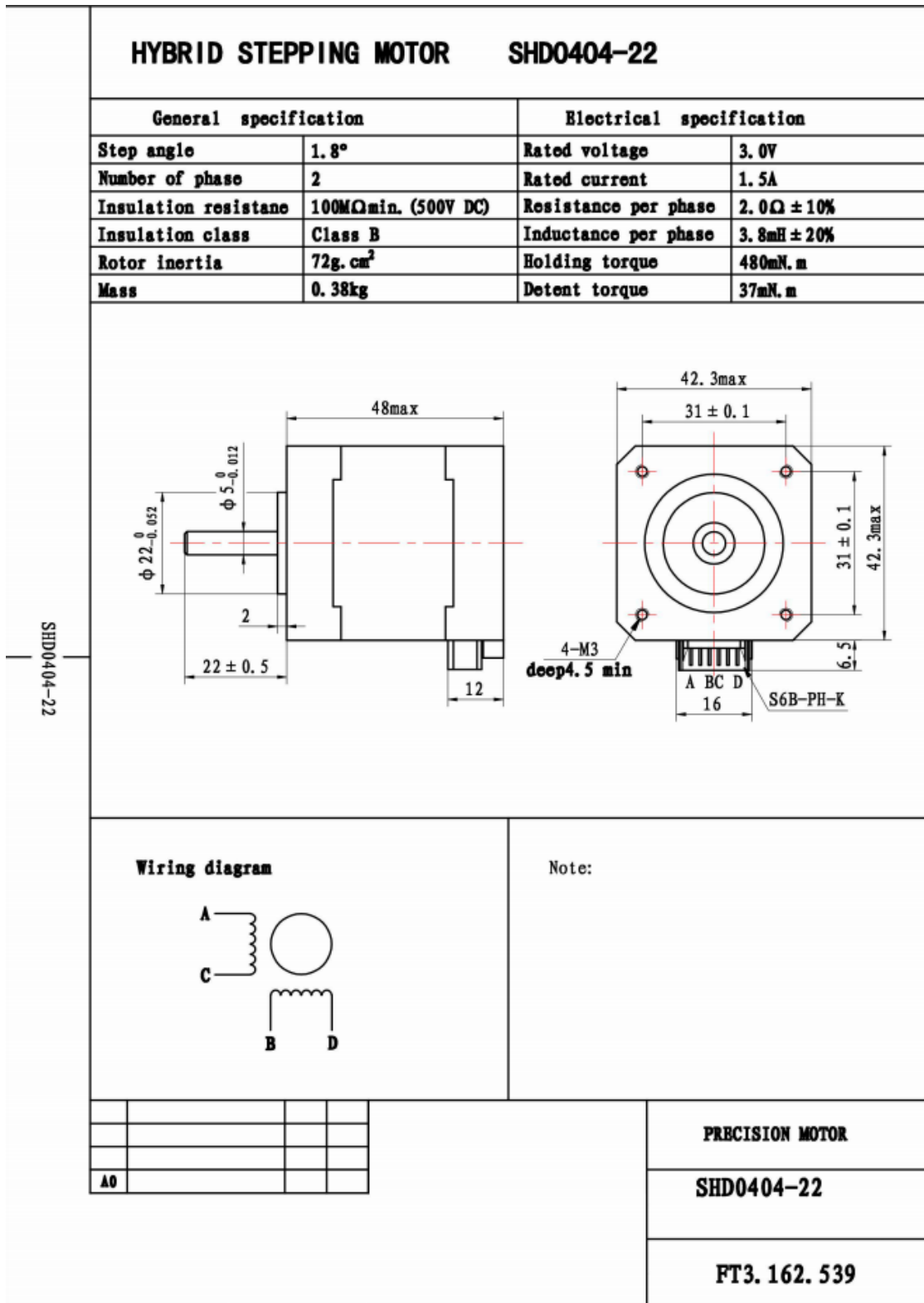


Figura. 63 Data sheet del motor pas a pas

### C.3 RODAMENTS ANGULARS DE BOLES

- RODAMENT 608ZZ



BEARING DATA SHEET					
Micro Ball Bearings					
NTN Part Number	608ZZ				
Weight	N/A (lbs) / N/A (kg)				
DIMENSIONS			FEATURES/OPTIONS		
DIMENSION	IMPERIAL	METRIC	OPTION	CODE	DESCRIPTION
Bore d	0.3150 (in)	8.000 (mm)	Cage		Pressed steel cage
O.D.D.	0.8661 (in)	22.000 (mm)	Seal/Shield	ZZ	Steel Shields both sides
Width B or W	0.2756 (in)	7.000 (mm)	Internal Clr.		Normal clearance
B1	0.2756 (in)	7.000 (mm)	Tolerance		ISO class 0
C3	0.9843 (in)	25.000 (mm)			
C4	0.9843 (in)	25.000 (mm)			
D1	0.0591 (in)	1.500 (mm)			
D2	0.0591 (in)	1.500 (mm)			
C1	0.0118 (in)	0.300 (mm)			
C2	0.3937 (in)	10.000 (mm)			
rs min	0.7874 (in)	20.000 (mm)			
da min	0.0118 (in)	0.300 (mm)			
BASIC LOAD RATINGS			LIMITING SPEEDS		
Static	315 (LBF)	1,400 (N)		Oil	37,000.00 (RPM)
Dynamic	750 (LBF)	3,350 (N)		Seals	N/A
				Grease	32,000.00 (RPM)

Figura. 64 Característiques tècniques del rodament 608zz



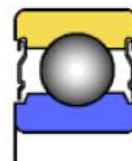
- RODAMENT 6204ZZ



## Standard & needle roller bearings

### 6204 ZZ

Radial-Contact Single-Row Ball Bearing with 2 Shields



Main characteristics	Bore diam. (d)	20 mm (+0, -10) $\mu$
	Outside diam. (D)	47 mm (+0, -11) $\mu$
	IR width (B)	14 mm (+0, -120) $\mu$
	OR width (C)	(+0, -120) $\mu$
	Total width (T)	
	Weight	0.1 kg
	Recommended minimum temperature	-20 ° C
	Recommended maximum temperature	110 ° C
	Grease speed limit	14000 tr/min
	Oil speed limit	
	Sealing	<b>Metallic shield</b>
	Cage	<b>Steel</b>
	Vibration frequencies (Hz) based on the inner ring rotating at 60 tr/min RPM	Cage Frequency
Rolling Element Frequency		3.983
OR Frequency :		3.052
IR Frequency :		4.947
		<b>For rotating outer ring, please contact NTN-SNR.</b>

Figura. 65 Característiques tècniques del rodament 6204zz

### C.4 RAMPS 1.4

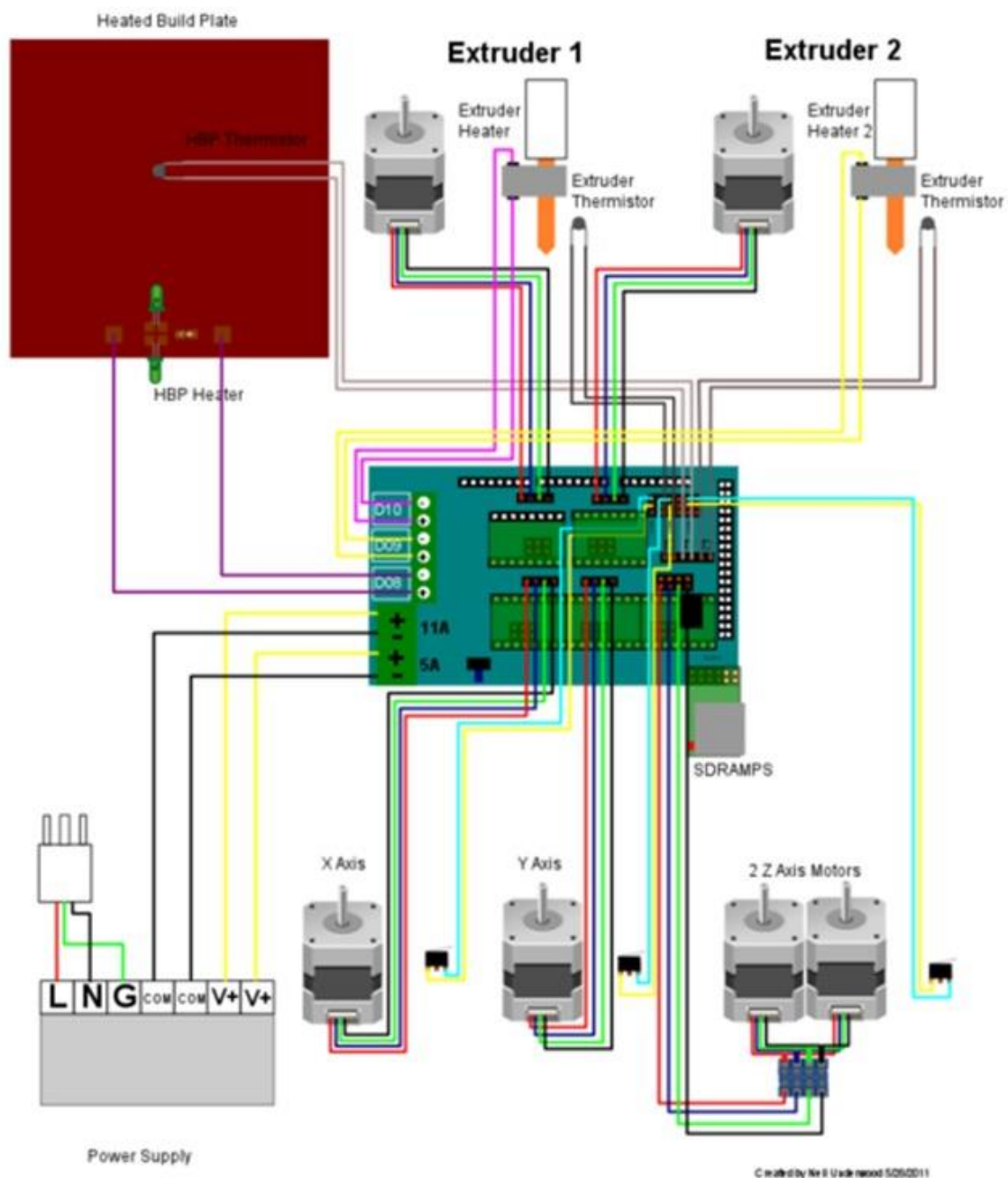


Figura. 66 Esquema de connexió estàndard de la RAMPS 1.4 amb dos extrusors

### C.5 STEPPER/DRIVER/POLOLU

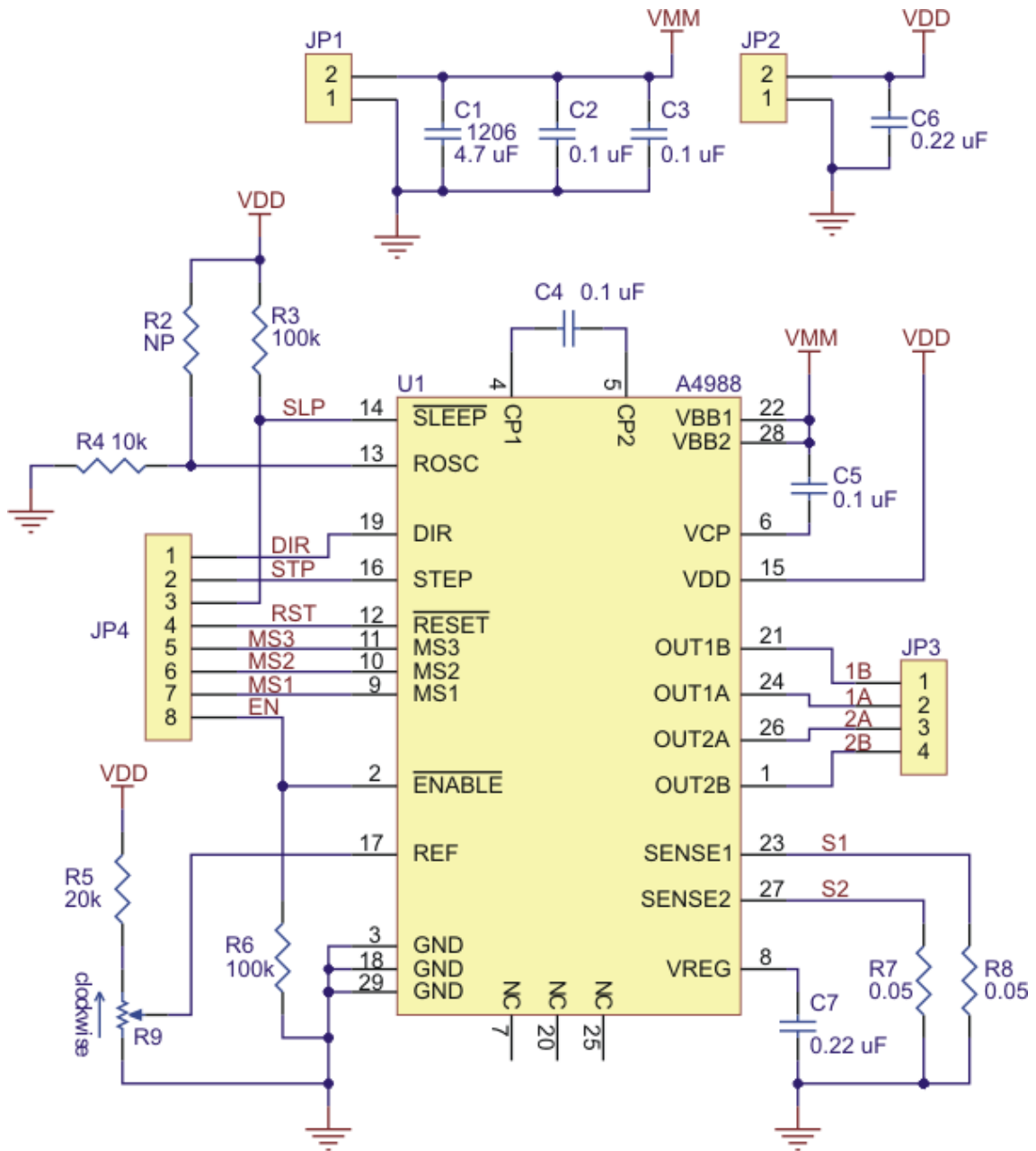
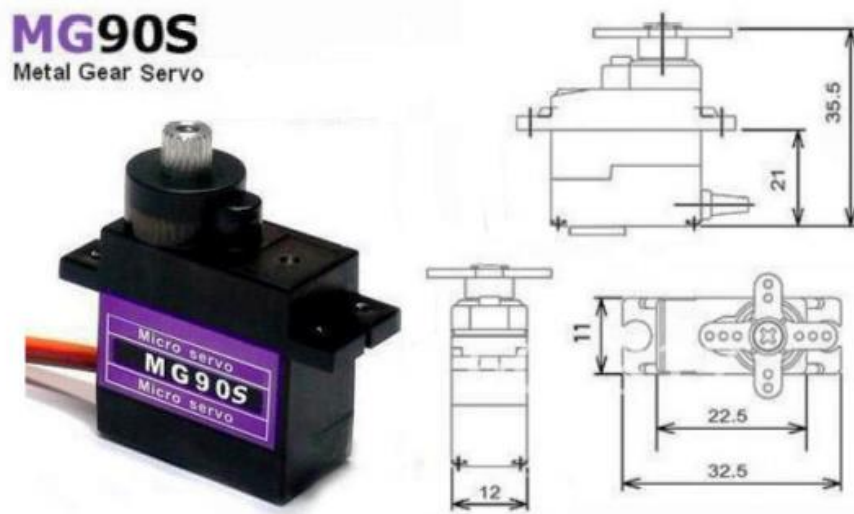


Figura. 67 Data sheet del pololu A4988

## C.6 MICRO SERVO 90G



### MG90S servo, Metal gear with one bearing

Tiny and lightweight with high output power, this tiny servo is perfect for RC Airplane, Helicopter, Quadcopter or Robot. This servo has *metal gears* for added strength and durability.

Servo can rotate approximately 180 degrees (90 in each direction), and works just like the standard kinds but *smaller*. You can use any servo code, hardware or library to control these servos. Good for beginners who want to make stuff move without building a motor controller with feedback & gear box, especially since it will fit in small places. It comes with a 3 horns (arms) and hardware.

### Specifications

- Weight: 13.4 g
- Dimension: 22.5 x 12 x 35.5 mm approx.
- Stall torque: 1.8 kgf·cm (4.8V), 2.2 kgf·cm (6 V)
- Operating speed: 0.1 s/60 degree (4.8 V), 0.08 s/60 degree (6 V)
- Operating voltage: 4.8 V - 6.0 V
- Dead band width: 5  $\mu$ s

Figura. 68 Data sheet del micro servo MG90S