

Resum

El present projecte consisteix en el disseny i construcció del prototip d'una impressora 3D de grans dimensions, partint dels coneixements assolits per la Fundació CIM amb les seves impressores, tenint en compte que no podrà ser una adaptació directa atès el gran augment de dimensions. Per tal d'assolir l'objectiu principal el treball esta dividit en tres blocs.

El primer bloc es centra en la cerca dels orígens de la tecnologia FDM (*Fused Deposition Modeling*) les evolucions que ha anat sofrint, a més de començar a analitzar el funcionament d'aquestes impressores .

El segon bloc és el de desenvolupament teòric del projecte. En primer lloc, es presenta una definició prèvia dels requeriments de la nova impressora, els quals seran el punt de partida per començar a treballar. Seguidament, el desgranament complet del funcionament de la impressora de partida i les adaptacions que cal aplicar per poder aconseguir unes mides útils superiors.

El tercer bloc és el desenvolupament pràctic, amb el disseny preliminar, el disseny definitiu i la construcció d'un prototip. Aquí es posen a la llum les solucions trobades al bloc anterior, veure el seu funcionament, si són útils o si requereixen de més millores o adaptacions per poder aconseguir que la impressora sigui totalment operativa i tingui la precisió requerida.

Per últim, es presenta la realització del pressupost del prototip i del desenvolupament del projecte juntament amb l'estudi de l'impacte ambiental del projecte, tant de la part del disseny com de la construcció del prototip.

Sumari

RESUM	1
SUMARI	3
1. GLOSSARI	7
2. PREFACI	9
2.1. Origen del projecte	9
2.2. Motivació	9
3. INTRODUCCIÓ	11
3.1. Objectius del projecte	11
3.2. Abast del projecte	11
4. INTRODUCCIÓ AL FDM	13
4.1. Tecnologia	13
4.2. Història del FDM	14
4.3. Els materials	17
4.3.1. ABS	18
4.3.2. PLA	18
4.3.3. Altres plàstics	19
4.4. Estudi de la competència	19
5. DEFINICIÓ DE PROJECTE	23
5.1. Anàlisi de la màquina de referència: BCN3D+	23
5.2. Requeriments de la màquina	27
5.2.1. Components principals	27
5.2.2. Dimensions	27
5.2.3. Disseny exterior, estàndard de disseny	27
5.2.4. Moviments	28
5.2.5. Temps de cicle	28
5.2.6. Senyals i control, interfície	28
5.2.7. Energia	28
5.2.8. Pressupost	29
6. DISSENY PRELIMINAR	31
7. DISSENY EN DETALL	41
7.1. Subxaxis	41

7.2. Eix Y.....	41
7.3. Pòrtic, Eix Z i X.....	44
7.4. Carro extrusor.....	47
7.5. Suport.....	51
7.6. Cambra calenta.....	52
7.7. Tancaments.....	54
7.8. Elecció del Control.....	56
7.8.1. <i>Electrònica</i>	56
7.8.2. <i>Cablejat</i>	59
7.8.3. <i>Proteccions</i>	60
7.9. Programació de la màquina.....	60
7.9.1. <i>Introducció</i>	60
7.9.2. <i>Histèresi</i>	61
7.9.3. <i>Detecció final de material</i>	61
7.10. Seguretat.....	64
8. CONSTRUCCIÓ DEL PROTOTIP	67
8.1. Pòrtic, Eix Z i X.....	67
8.2. Eix Y.....	68
8.3. Proves de validació.....	69
9. PROPOSTES DE FUTUR	71
9.1. Estructura.....	71
9.2. Electrònica.....	72
9.3. Acabats.....	72
10. ESTUDI ECONÒMIC	73
10.1. Pressupost del projecte.....	73
10.2. Pressupost del prototip.....	74
10.3. Pressupost de la sèrie.....	75
11. IMPACTE AMBIENTAL	77
11.1. Emissions.....	78
11.2. Residus.....	78
11.3. Abocaments.....	79
11.4. Conclusions.....	79
CONCLUSIONS	81
AGRAÏMENTS	83

BIBLIOGRAFIA	85
Referències bibliogràfiques.....	85
Bibliografia complementària.....	86

1. Glossari

ABS (Acrlonitril Butadiè Estirè): Termoplàstic tècnic d'estructura amorfa amb alta resistència a impactes, molt usat en el sector de l'automoció.

Arduino: Plataforma de *hardware* lliure, basada en una placa amb un microcontrolador i en un entorn de desenvolupament.

Backlash: Pèrdua de moviment en un mecanisme causada per espais entre parts.

Corretja GT2: Corretja dissenyada per donar moviment lineal.

Drivers: Placa controladora encarregada de interpretar i transmetre ordres a una unitat externa.

Endstop: Sensor de final de recorregut.

FDM (*Fused Deposition Modeling*): Tecnologia de fabricació additiva basada en la creació d'objectes per deposició de material fos, patentada per Stratasys, Inc.

Firmware: Bloc d'instruccions de màquina per a propòsits específics. Estableix la lògica de més baix nivell que controla els circuits elèctrics del *hardware*.

Flow rate: Paràmetre que determina la quantitat de material a extruir per unitat de temps, en percentatge respecte el valor referència.

Gcode: Llenguatge de programació per a màquines de Control Numèric Computeritzat (CNC).

Hot end: Part de l'extrusor d'una impressora 3D que es pot escalfar suficient com per fondre plàstic.

Hot end full metal: Part de l'extrusor d'una impressora 3D que està fabricat íntegrament per elements metàl·lics.

Marlin: *Firmware Open Source* dissenyat per al control d'impressores 3D.

Microstepping: Mètode per augmentar la resolució dels motors pas a pas, basat en augmentar el nombre de passos per volta, mitjançant el control de la intensitat enviada al motor.

Nema 17: La denominació Nema és una estandardització de motors pas a pas on el nombre que el precedeix representa les polsades de la cara del motor. En el cas del 17, vol dir un motor de 1,7 x 1,7 polzades o 43,2 x 43,2 mm.

Nema 23: Motor pas a pas de 2,3 x 2,3 polzades, 58,4 x 58,4 mm.

PLA (Poli Àcid Làctic): Termoplàstic tècnic del tipus Polièster, resistent a productes químics, a la calor i a les radiacions ultraviolades.

Placa PCB (*Printed Circuit Board*): Superfície constituïda per camins, pistes o busos de material conductor laminats sobre una base no conductora.

Pololu: Controlador desenvolupat per a la impressió 3D.

RAMPS (RepRap Arduino Mega Pololu Shield): Electrònica *Open Source* desenvolupada per a impressores 3D.

Raspberry Pi: Ordinador de placa reduïda de baix cost.

RepRap: Projecte *open source* que té com a objectiu general el desenvolupament de màquines de producció autoreplicables.

Termofusió: Tècnica de fabricació per mitja de la fusió del material a treballar aportant calor.

Warping: Anomenat al fenomen de des adhesió de les peces de la placa d'impressió, problema derivat per la diferència de temperatures entre diferents parts de la peça.

Workshop: Enfocat en el camp de les impressores 3D, taller on es donen els materials i les eines per a la construcció d'una impressora i on s'ensenyen els primers passos per a la utilització d'aquesta nova màquina.

2. Prefaci

2.1. Origen del projecte

El present projecte té el seu origen en la detecció d'un buit de mercat en el sector de les impressores 3D, independentment del tipus de tecnologia que s'hi apliqui. D'ençà a uns anys s'ha sentit molt a parlar d'impressores en obert o *open source*. Malgrat la proliferació de màquines de baix cost de mida de sobretaula i d'altres d'àmbit més professional, en el moment de començar aquest projecte no es coneixien impressores capaces d'imprimir objectes més grans de 800x800x800 mm. És aquí on realment sorgeix aquest projecte, per veure si és possible o no construir una impressora d'aquestes dimensions i si és aprofitable, sempre dins del marc del FDM, *fused deposition modeling* o emmotllament per deposició fosa.

2.2. Motivació

La principal motivació ha estat la voluntat d'aplicar els coneixements adquirits durant els estudis d'Enginyeria Industrial a la pràctica, i ,per tant, aquest projecte a part de ser la culminació d'una carrera universitària, que ja en sí és un motiu de prou pes, també s'hi ha sumat les ganes de embrutar-se i barallar-se amb algun problema des de la part pràctica.

Tampoc cal menystenir la curiositat que desperta una tecnologia que encara té molt recorregut per endavant i que actualment està plantejant un canvi de pensament en certs àmbits de la nostra vida, pel simple fet de passar d'un disseny en 3D a un objecte de forma extremadament ràpida i al mateix temps d'una forma bastant senzilla.

3. Introducció

3.1. Objectius del projecte

El present projecte persegueix un objectiu principal, assolir el disseny i la construcció d'un prototip de màquina d'impressió 3D de grans dimensions (1200 x 800 x 500 mm), basant-se en la tecnologia Rep Rap, per poder ajustar els costos de la màquina i així poder acostar-la a més persones. Per tal d'assolir-lo, l'objectiu principal s'ha desglossat en els següents objectius secundaris:

Primerament analitzar les impressores Rep Rap actuals, el mode de funcionament, la seva estructura, la seva programació. Seguidament, dissenyar la nova impressora, abordant tant tasques mecàniques i elèctriques com electròniques. A continuació, executar el projecte i construir el prototip de la màquina. Com a últim objectiu, fer una anàlisi dels passos fets i cercar d'un full de ruta per a posteriors desenvolupaments, per tal d'adaptar la impressora a noves tasques, sense oblidar els costos del projecte i l'estudi d'impacte ambiental.

3.2. Abast del projecte

El present projecte té dues parts molt diferenciades. Primerament, la part teòrica del projecte, que dona cabuda a un ampli rang d'aspectes, Introducció teòrica a la tecnologia FDM, entrant en els aspectes de funcionament i un breu repàs a la seva història. Un cop superada aquesta fase, s'entra a l'anàlisi de la màquina de referència i seguidament es procedeix al disseny de la nova màquina.

En l'apartat de disseny s'ha realitzat el disseny d'una nova estructura i de les peces necessàries per adaptar altres elements. En canvi, tant l'electrònica com el guiatge complet de la màquina, queden fora de l'abast del projecte. El primer queda fora pel fet que s'adaptaran elements ja existents en el mercat. Pel que fa al guiatge de la màquina, aquesta secció no es realitzarà ja que serà subministrada i calculada per una empresa externa.

La segona part contempla la construcció d'un prototip de la màquina i la resolució dels problemes que han sorgit durant la construcció, per arribar a assolir una impressora 3D de grans dimensions funcional. Més concretament, s'ha muntat la màquina per complet i se l'hi ha instal·lat els elements de seguretat requerits per les normatives. Pel que fa a l'electrònica de la màquina, simplement s'ha adaptat la programació a la nova màquina i se li ha implantat una funció extra. L'optimització de l'electrònica completa, tant *firmware* com cablejat, col·locació de la placa, etc queden fora del abast del projecte. També queda fora el disseny i la fabricació de la presèrie i sèrie productiva.

4. Introducció al FDM

4.1. Tecnologia

Dins del sector de les impressores 3D hi ha múltiples tecnologies, però, contextualitzant en el present treball, cal donar unes pinzellades de la tecnologia *fused depositon modeling*, FDM, ja que és la tècnica adoptada per les nostres màquines de referència.

Independentment del tipus de màquina, el que sempre es té davant és un extrusor, la gran majoria de vegades un extrusor de fil, la punta del qual és capaç d'anar per qualsevol punt del volum imprimible. El que varia són les configuracions per fer que aquest punt es desplaci per tot el volum. Des d'un pòrtic que es mou per tots els eixos, X, Y, Z, a una base que es mou en l'eix vertical Z, i altres. El que sí que comparteixen totes les màquines són els arxius que llegeixen, en tots els casos llegeixen codi màquina (.gcode). Aquest arxius contenen la informació per indicar-li a la màquina a quina coordenada s'ha de desplaçar per aconseguir la peça desitjada. Per tant, pel que correspon al posicionament, no hi ha diferències remarcables entre una impressora 3D i una fresadora per control numèric.

Ara, un cop es sap com es mou una impressora, s'entra en més en detall a l'extrusor. El funcionament consisteix en treure plàstic en estat viscos, entre les temperatures de transició vítria i de fusió, per una obertura del diàmetre pertinent per depositar el material a la zona requerida, d'aquí el seu nom emmotllament per deposició fosa. Això s'aconsegueix fent passar el filament per un canal, a l'extrem del qual hi ha un bloc calent que és l'encarregat de aportar la calor necessària per deixar el material en el estat que es desitja. A la Fig. 4.1 S'observa un esquema de la tecnologia FDM.

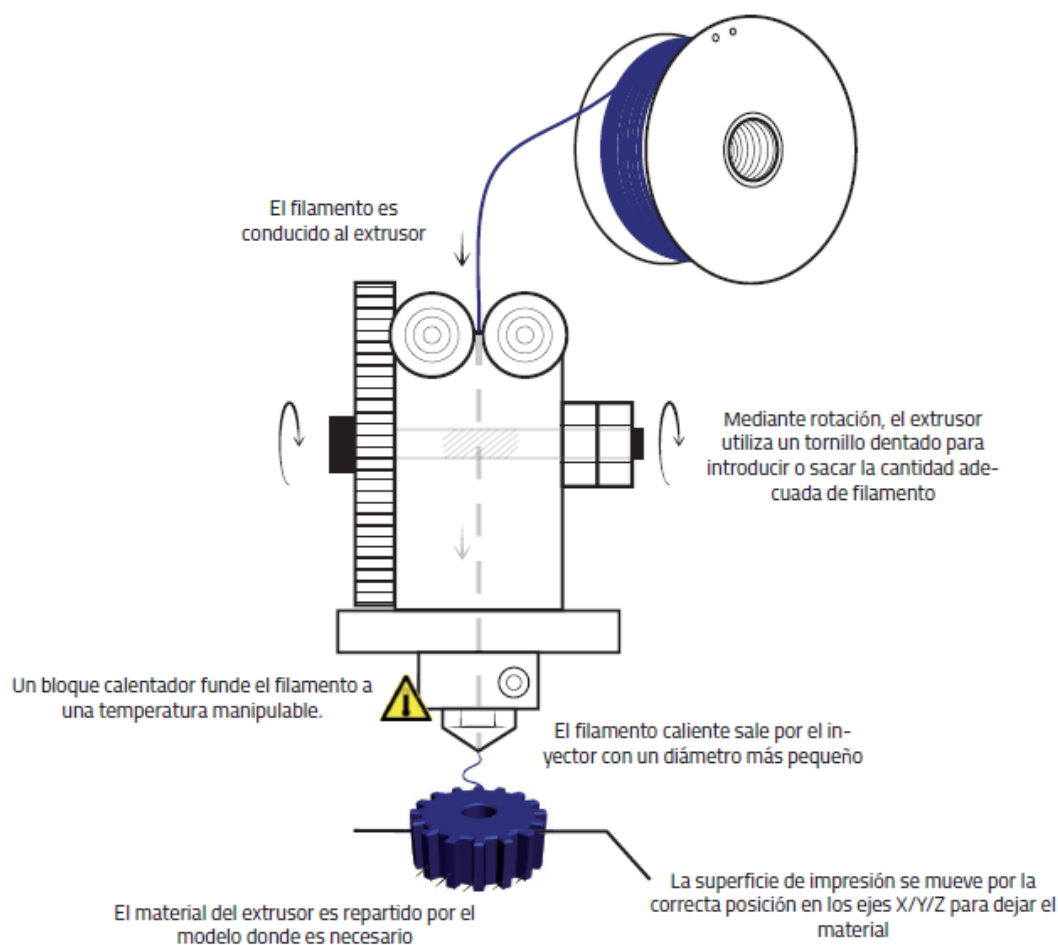


Fig. 4.1 Esquema funcionament tecnologia FDM [1]

4.2. Història del FDM

FDM és una tecnologia creada als Estats Units entre els anys 1988 i 1989, que és la data oficial de la patent, per S. Scott Crump. La idea va sorgir perquè Crump volia fer un regal a la seva filla, una granota d'una mescla de cera i polietilè mitjançant un pistola de termofusió, creant-la per capes. Aquest desenvolupament li va costar un any i 10.000 \$. Un cop aconseguit l'objectiu, amb el suport de la seva dona, van fer el pas de explotar la idea. Per tant, durant el mateix 1989 es va patentar el procés de fabricació i juntament amb ella, van crear Stratasys. Aquesta empresa continua estant present al mercat i, sent una referència en el sector. Però el camí per arribar a la situació actual no va ser fàcil. A continuació es presenta una breu cronologia de la seva trajectòria amb els aspectes més destacats.[2]

1989: Creació de l'empresa Stratasys

1992: Stratasys ven la primera impressora

1994: Stratasys surt al mercat públic en busca d'inversors

1995: Stratasys compra propietat intel·lectual provinent d' IBM, de la impressora 3D que estava desenvolupant IBM.

2002: Stratasys substitueix la tecnologia d'IBM, i introdueix l'extrusora de fil continu.

2004: Stratasys es posiciona com a líder del mercat, el mateix any que expira la patent original a Europa.

Aquests són alguns dels punts cronològics més importants en la història de Stratasys. Ara bé, Stratasys, a part de aconseguir fama per la seva tecnologia, també ha anat adquirint altres empreses d'impressió 3D d'altres sectors tecnològics per tal de fer més gran la seva importància al mercat i no centrar-se en una de sola.

Un cop mencionat el creador de la tecnologia FDM i l'empresa que va crear cal veure altres episodis que marquen el present d'aquesta tecnologia.

Un cop la tecnologia FDM va quedar alliberada, el Dr. Adrian Bowyer, professor titular d'Enginyeria Mecànica a la Universitat de Bath, al Regne Unit, va fundar el 2005 la denominació RepRap. La filosofia d'aquest moviment recau en dotar al consumidor particular d'eines per replicar la màquina i altres objectes de la seva vida quotidiana. D'aquesta manera, es pretén revolucionar el mercat. Tal i com ha passat amb la música, cada vegada tenen menys sentit dels drets d'autor, la qual cosa ha propiciat que el món de la música hagi experimentat una gran transformació, i actualment estigui presenciant una gran explosió de creació a partir de mitjans alternatius. L'objectiu final d'aquest moviment és aconseguir el mateix dins del món de desenvolupament d'objectes, és a dir, tirar les barreres de les patents i fer que, entre tots, es pugui assolir un nivell de desenvolupament major per mitjà de la col·laboració amb la resta de persones, i no limitar el desenvolupament per mitjà de patents.

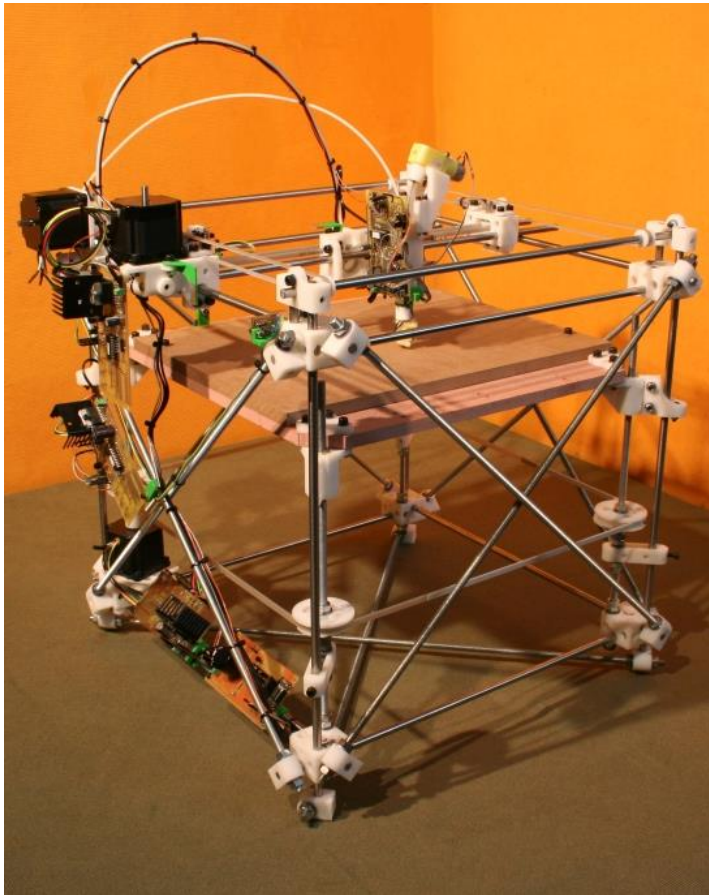


Fig. 4.2 RepRap versió 1.0 (Darwin)[3]

Tal i com s'ha fet amb la breu història d'Stratasys ara s'entra anomenar els moments claus del moviment RepRap.

2005, Març : Arrenca el blog RepRap.

2006, Setembre: el prototip RepRap 0.2 imprimeix la primera peça d'ella mateixa, i aquesta peça és utilitzada per substituir la seva homòloga provinent d'una impressora 3D.

2008, Febrer: La RepRap 1.0 "Darwin" Imprimeix satisfactòriament més de la meitat de les seves pròpies peces. (Fig. 4.2).

2008, Maig: La impressora filla de la Darwin 1.0 imprimeix peces per a la seva mare.

2008, Setembre: Es reporta que unes 100 còpies de la Darwin 1.0 han estat produïdes en diferents països, però es desconeix el nombre de RepRaps reals en circulació.

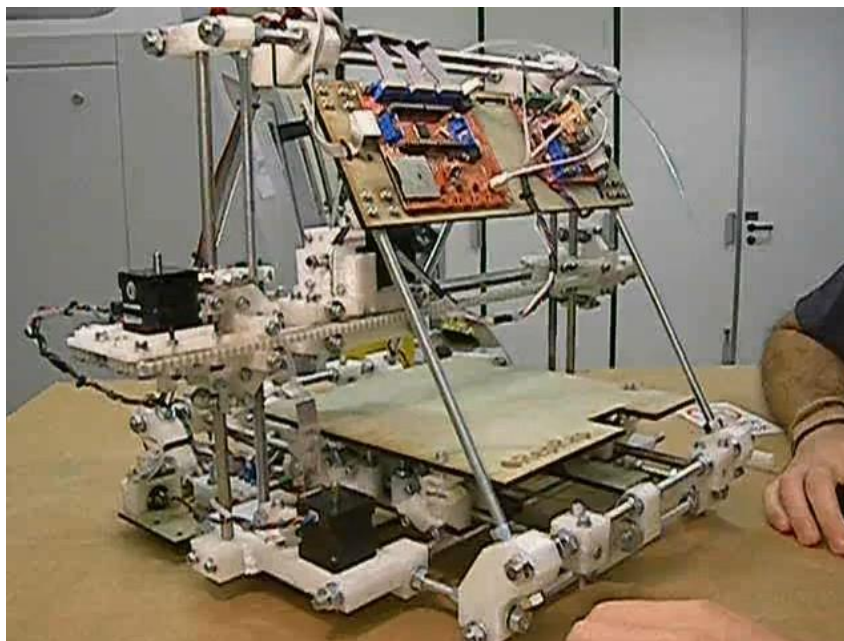


Fig. 4.3 RepRap versió 2.0 (Mendel)[3]

2009, Octubre: La segona generació, anomenada Mendel, imprimeix la seva primera peça.

2009, Octubre: La RepRap 2.0 "Mendel" es completa. (Fig. 4.3)

Primera meitat del 2012: Les RepRap passen a ser un element amb una especial atenció i es comença a parlar d'elles en els mitjans de comunicació.

Finals del 2012: Arrenca definitivament el moviment RepRap i comencen a aparèixer *startups*, empreses dedicades aquesta tecnologia i webs de distribució de màquines i recanvis, com la diviso RepRap de la Fundació CIM ara anomenada BCN3D Technologies. [4]

4.3. Els materials

Tal com s'ha explicat a l'apartat 4.1, la tecnologia FDM, per poder escalfar el material i treure'l en estat de transició, té un bloc calent situat a la punta. Aquest bloc es pot escalfar fins a 280/300 °C. Aquesta limitació no ve donada pel material sinó per tots els elements que hi ha darrera seu. Per tant, a més de 300 °C, tot el conjunt de l'extrusor presenta greus problemes de refrigeració i, per tal que no es faci malbé, els materials extrusionables es limita al món dels plàstics. Tanmateix, dintre d'aquest món, com se sap, hi ha una gran varietat de materials. Per aquest motiu, es farà un breu repàs al materials més comuns utilitzats en aquesta tecnologia.

Cal recalcar que el que es vol aconseguir es la realització d'un objecte, per tant tot, i tractar-se de plàstics, el mètode de construcció limita a utilitzar termoplàstics.

4.3.1. ABS

L'ABS, Acronitril Butadiè Estirè, amb una densitat de $1,05 \text{ g/cm}^3$, és un dels plàstics amb més usos en el mercat i és una de les millors opcions a l'hora de fabricar peces per FDM. L'ABS presenta, a més de les qualitats que se li atorguen en els altres camps, com el bon comportament amb la humitat, una tenacitat molt bona amb una densitat baixa, però també hi ha altres qualitats que el fan una molt bona solució a l'hora de fabricar peces per FDM, com un coeficient de fricció baix i una temperatura de transició vítria de 105° . La suma de tots aquest aspectes fan possible que, a l'hora d'imprimir, el material surti amb fluïdesa i no ocasioni obstruccions al sistema extrusor. A més, un cop acabada la peça, aquesta presenta un bon acabat i unes qualitats mecàniques aptes per a usos més enllà de la simple exposició de la peça.

D'altra banda, també presenta certs inconvenients. Pel que fa a la seva impressió, aquest material presenta *warping*, problemes d'adhesió als extrems d'una peça, amb peces grans. Aquest fet es degut a la diferencia de temperatures entre la base, l'exterior i la punta d'impressió. També presenta problemes amb els fums del material. Tot i que, en general, no afecta a les persones, aquelles que tinguin sensibilitat química poden tenir problemes. És per això que es recomana imprimir aquest material en espais ventilats.

4.3.2. PLA

El PLA, polí àcid làctic, és un plàstic d'origen vegetal amb una densitat de $1,24 \text{ g/cm}^3$, més alta que la de l'ABS. És un plàstic molt utilitzat en la indústria alimentària, que ha adquirit una rellevància important amb el creixement del mercat de les impressores 3D. Aquest fet és degut a que presenta menys problemes a l'hora d'imprimir. Per tant, es fa més fàcil per l'usuari normal. La seva adhesió a les bases de les impressores és millor i, per tant, presenta menys problemes de *warping*. Tot i així, en peces de gran format pot fer acte de presència el mateix efecte.

Pel que fa a les seves característiques, en l'apartat mecànic presenta més rigidesa que l'ABS, per això les peces són menys flexibles i mecànicament aguanten menys. Pel que fa a l'acabat, en igualtat de condicions d'impressió es poden treure les mateixes qualitats d'impressió. És per això que és un dur competidor contra l'ABS, amb el mateix acabat i més senzillesa a l'hora d'imprimir, cosa molt valorada pels usuaris comuns.

4.3.3. Altres plàstics

En aquest subapartat només s'anomenarà algun dels possibles materials tècnics que hi ha i que són d'ús més escàs, com per exemple el Nylon, laywood, laybrick, HIPS o *High Impact Polystyrene*, PVA o Polyvinyl Alcohol i materials compostos, com ABS amb policarbonat o PLA amb fibra de carboni. Les fulles de característiques són a l'annex G.

4.4. Estudi de la competència

Tot i que s'ha dit a l'apartat 4.2 que hi havia un buit de mercat, al llarg del temps de realització d'aquest projecte han anat apareixent màquines d'impressió 3D amb les mesures semblants a les que aquest projecte pretén desenvolupar. És per això que es comenten breument, per veure com se solucionen els diferents aspectes.

La primera en fer aparició al mercat va ser la Big Rep, procedent d'Alemanya, a mitjans del 2014, i amb una àrea imprimible de 1100 x 1067 mm i una alçada de 1097 mm, fent un volum d'impressió de 1,3 m³. A part de les dimensions, presenta una estructura insòlita, tal i com es pot veure a la Fig. 4.4, extreta del seu catàleg de presentació. Per altra banda, tot i l'augment de dimensions, segons la seva fulla d'especificacions manté la precisió que tindria una impressora equivalent d'unes mides d'estudi, sense oblidar que ja de sèrie va equipada amb doble capçal d'extrusió. La fulla completa d'especificacions es presenta a l'annex H.1.

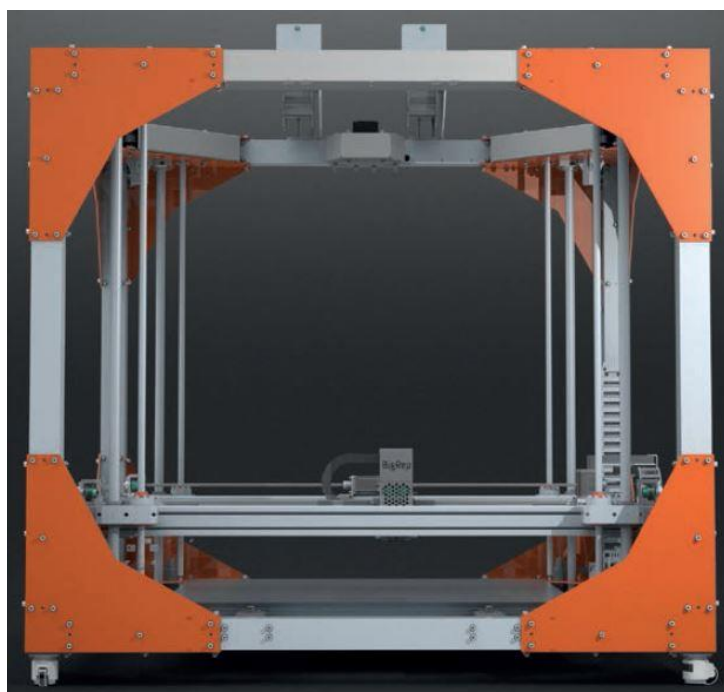


Fig. 4.4 Màquina d'impressió 3D Big Rep.[5]

La següent màquina d'impressió en sortir al mercat va ser la 3DP1000, procedent dels Estats Units, a finals del 2014. Com l'anterior, presenta la base fixa. Les mides d'impressió d'aquesta són 1000 x 1000 x 500 mm i, com es pot observar a la Fig. 4.5, l'estructura d'aquesta impressora presenta una configuració més reduïda pel que fa a la volumetria general. És un pòrtic que s'eleva i aquest és el que fa el moviment longitudinal. També, com el cas anterior, presenta una precisió de moviments com una impressora de mides de despatx. La fulla de presentació es presenta a l'annex H.2.

Pràcticament al mateix temps que els americans, German Rep Rap presentaven la seva impressora 3D de gran format, la X1000, orientada, com les altres dues, al món professional i amb característiques semblants a les dues esmentades. En aquest cas, l'àrea d'impressió es de 1000 x 800 amb un increment en Z de 600 mm. Com a fet destacable, aquesta impressora sí que presenta el llit mòbil. Aquest llit va baixant a mesura que va avançant la impressió. És pot veure la impressora a la Fig. 4.6



Fig. 4.5 Imatge de la 3DP1000.[6]



Fig. 4.6 German Rep Rap X1000.(Elaboració pròpia a la última edició del Euromold)

Per últim, a l'última edició de la fira Euromold es va tenir oportunitat de veure una altra impressora de gran format que encara està en fase de prototip. En aquest cas, sí que és una configuració especial, ja que, a més d'adoptar el moviments clàssics, aquesta ha estat dissenyada en format delta. Els moviments de la impressora s'aconsegueixen mitjançant tres braços, com els robots de *pick&place*, mitjançant la combinació del moviment d'aquest tres braços es pot aconseguir moure el capçal per a tot el volum imprimible, com es pot observar a la Fig. 4.7. Per tant l'àrea d'impressió és una circumferència de radi 1200 mm i presenta una alçada d'impressió de més d'un metre. Pel que fa a les característiques, encara no es disposa d'informació oficial (Fig. 4.8).

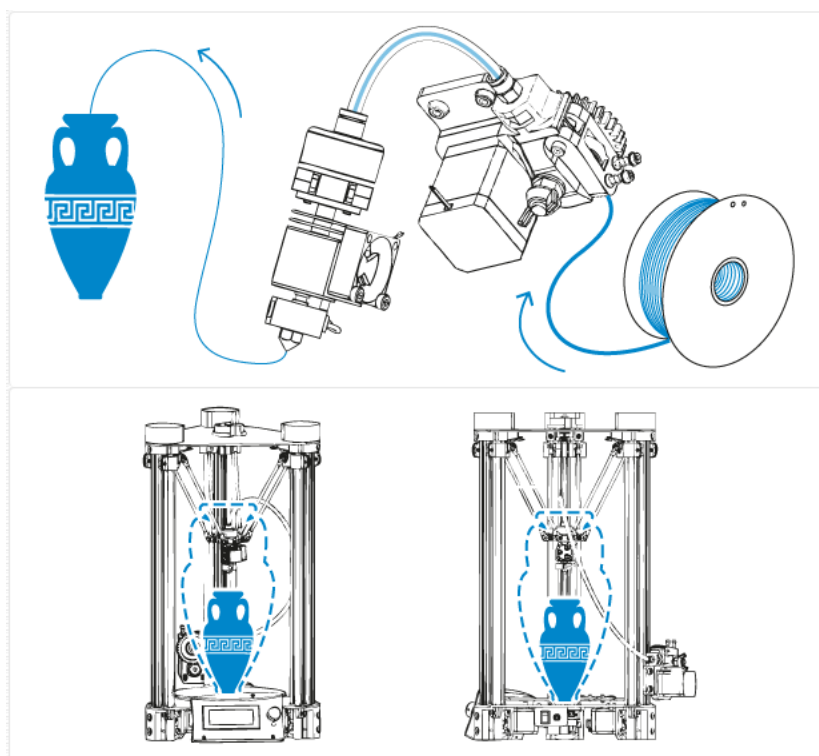


Fig. 4.7 Esquema de la BCN3DR.[4]

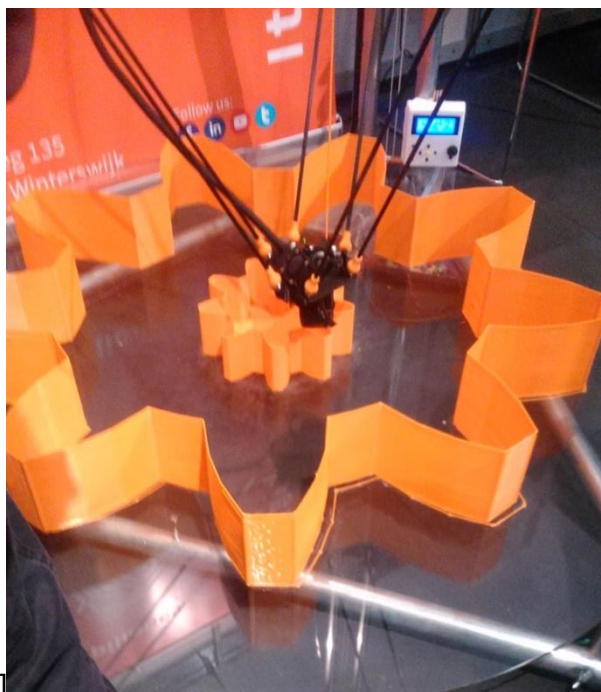


Fig. 4.8 Opiliones XL.(Elaboració pròpia a la última edició del Euromold)

5. Definició de projecte

5.1. Anàlisi de la màquina de referència: BCN3D+

Per a la realització d'un prototip d'una màquina d'impressió 3D de grans dimensions, cal entrar en profunditat en el sector, i, en aquest cas, la connexió per iniciar-se ha estat la impressora BCN3D+. Amb ella s'ha adquirit una experiència molt valuosa, que ha permès conèixer en profunditat el món de la impressió 3D, més concretament el de la impressió per FDM.

En primer lloc, l'elecció de la BCN 3D+ rau principalment en el haver pogut accedir a ella, gràcies a la Fundació CIM i a l'ETSEIB. Un altre aspecte que no s'ha de menystenir és la pertinença al moviment RepRap per part de la BCN3D+, tal i com s'ha esmentat anteriorment al apartat d'història. Això ens apropa al món de les impressores *low cost* o per kits, i aquest fet es considera summament important, per després poder dissenyar la nova impressora amb el menor cost possible.

L'estudi s'ha realitzat a partir de l'experiència apresada en l'aula RepRap de l'ETSEIB i en la realització d'un *workshop*. En una primera fase de l'anàlisi, es tenen en compte els aspectes apresos al *workshop*: muntatge, posada en marxa i calibratge.

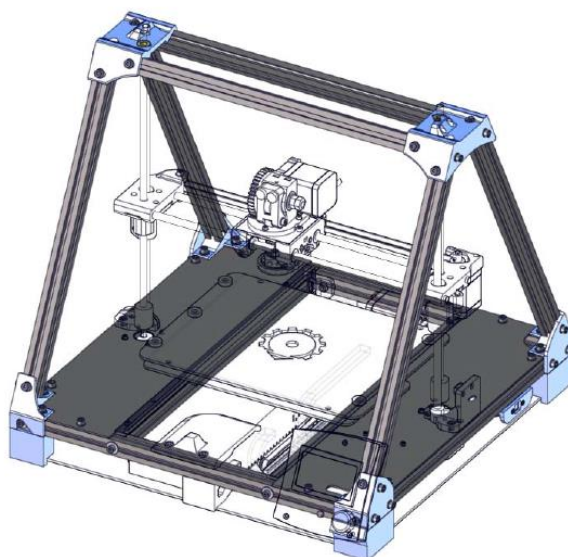


Fig. 5.1 BCN3D+.[7]

La primera fase del muntatge de la BCN3D+ és la construcció de l'estructura, que es mostra a la Fig. 5.1. En aquest apartat, convé remarcar que, un cop es té muntada en la seva

totalitat, aquesta és molt sòlida i la flexió que presenta és despreciable. Ara bé, el procés de muntatge és lent i pesat, no està preparada per ser muntada de forma fàcil. Durant el transcurs d'aquesta fase, ha calgut realitzar molts canvis de posició de les parts ja muntades i posar cargols i volanderes, complicades de posar per una sola persona.

La màquina està concebuda per ser muntada manualment per cada usuari i una sola vegada, fet que dificulta molt la realització d'una producció en sèrie. El problema no és el nombre de peces sinó el temps que es perd donant la volta del dret i del revés per inserir els cargols i peces en zones de difícil accés. Per tant, en aquest aspecte caldria un gran esforç de redisseny de la màquina. Per tant, es conclou que la BCN3D+ presenta una estructura molt sòlida i adient per a l'enfocament per al qual ha estat dissenyada

A continuació es comenta el muntatge dels eixos de la màquina. Malgrat que aquesta fase és fàcil, també resulta lenta, perquè són tres eixos els que s'han de muntar i els tres s'han de muntar amb cura ja que són els que donaran la precisió final de la màquina. Per tant, cal procedir amb calma per tal de no deixar-se res. Hi ha altres temes referents als eixos que es tractaran posteriorment perquè fan referència al funcionament de la màquina.

Ara s'explica l'electrònica, un altre apartat en què cal anar amb cura per no fallar en la col·locació del cables, ja que un error en el muntatge implica en el pitjor dels casos, cremar l'electrònica. Però aquest fet és bastant fàcil de que passi, per tant és d'especial importància evitar-ho. La realització dels kits s'ha pensat per tal de reduir el màxim els errors, és a dir, tots els cables que corresponen a una unitat de la màquina van amb la seva bossa, amb indicacions del que conté, i amb la llargada correcta, ni més ni menys. No obstant això, els cables venen desfundats, cosa que obliga a posar-los un macarró per agrupar-los. En aquesta operació és en la que es perd més temps, cablejant tots els conjunts. Un cop es tenen els cables preparats només queda connectar-los, fet que, amb l'ajuda del manual de muntatge que es subministra, no presenta cap complicació, està tot perfectament indicat per evitar connexions errònies.

Un cop es té muntada la màquina, ja només queda posar el vidre que fa de base i calibrar la màquina. És un procés lent per a una persona que no ha muntat mai cap màquina, però no presenta masses dificultats. Amb una mica de paciència i l'ajuda dels útils de centratge es deixen els eixos ben calibrats, uns més ràpid que d'altres.

La calibració de totes les parts que no tenen corretges dentades es fa de forma còmoda, i un cop calibrades no cal tornar a repassar-ho en molt temps. Ara bé, els dos eixos que porten corretja presenten certs problemes. Principalment, és l'ajust de la tensió de les corretges a una tensió correcta. Si es queda curta, això es veu quan s'imprimeix, ja que la peça presenta desviacions del material en l'eix que ha quedat fluix, ja que la inèrcia venç la força de la corretja i durant un període curt de temps el motor no domina sobre el carro pertinent. En el

cas contrari, tensar massa la corretja donarà dos problemes. El primer d'ells és veurà a la peça. En aquest cas, es veu que els canvis de direcció de la peça l'eix que estigui massa tensat s'endarrerirà respecte el moviment del altre eix, fent que, en el cas més crític, que és la realització de circumferències, s'obtingui una el·lipse. L'altre dels problemes serà el sobreescalfament del motor degut a que haurà de realitzar més força. En ser motors pas a pas, això perjudica la seva vida útil i el seu parell.

Un cop resumits els aspectes trobats durant el *workshop*, ara es continua amb l'anàlisi basat en l'experiència obtinguda durant els posteriors mesos a l'aula RepRap. Primerament es comença amb altres problemes destacats i després es destaquen els aspectes bons.

Començant pels aspectes a millorar, es tenen tres tipus de problemes principals: problemes d'electrònica, alguna descalibració dels eixos, i l'extrusor. L'electrònica presenta un repte important cada dia de funcionament de la màquina. El problema principal és la RAMPS, la placa que permet passar la senyal llegida pel processadors(l'arduino) als motors pertinents. Al treballar a 12 V la maquina està al límit pel que fa a la intensitat que passa pels seus canals, més concretament, la part dedicada a calefactar la base. Aquesta intensitat en mode de pre-escalfament son 10 A cosa que fa que la placa pateixi molt i al final acaba espatllada, principalment per la fallada del mosfet dedicat a aquesta part. L'altre problema d'aquesta placa és falta de proteccions, tant com d'entrada com de sortida, fent-la més sensible a agents externs.

Un altre aspecte important de l'electrònica són els *drivers* de potencia utilitzats: Pololus. Aquests presenten bastants problemes, per raó de que es cremen sovint. El principal motiu d'aquest fet és la dificultat de calibrar la potencia dels mateixos, mitjançant el cargol de què disposa. Aquest cargol esta en una situació difícil i és extremadament fàcil fer un curtcircuit al *driver*. Un cop calibrat, la seva durabilitat és correcta. Però també cal afegir en aquest element l'alta sensibilitat del cargol de control de potencia: un gir de 5 min presenta un canvi de tensió crític, i es pot passar de tenir el motor no funcionant per falta de potència a no funcionant per massa potència. Això dificulta molt la posada a punt de la màquina.

Canviant de zona, ara s'explica l'extrusor. Aquest presenta problemes importants, que es presenten un cop ja ha treballat un bon grapat d'hores. El principal problema és l'obstrucció del canal de sortida. Independentment del tipus d'extrusor, aquest és un fet que sempre pot aparèixer, ja sigui per una mala praxis, per material defectuós o altres problemes. El principal problema és com solucionar l' obstrucció. Aquest fet es degut al tipus de *hot end* utilitzat, la part del extrusor que augmenta la seva temperatura per deixar el material a l'estat desitjat. La BCN3D+ presenta un *hot end full metal*. Com el seu nom indica, tot és metall. En ser tot de metall, concretament d'alumini, permet treballar amb un rang de temperatures molt gran, cosa que fa possible treballar amb bastants tipus de materials. Però amb un dels materials que es treballa més, el PLA, presenta bastants problemes. El que succeeix és que

a mesura que s'escalfa, més es queda enganxat el plàstic a les parets del *hot end* i la punta d'extrusió, provocant una obturació. Parts d'un *hot end* a la Fig. 5.2 *Hot end* Budas nozzle (elaboració pròpia)

I, per últim, el descalibratge és un problema menor, ja que es pot solucionar ràpidament en la majoria dels casos i no comporta la substitució de cap peça sinó el simple fet de repassar cargols i tornar a ajustar els eixos.

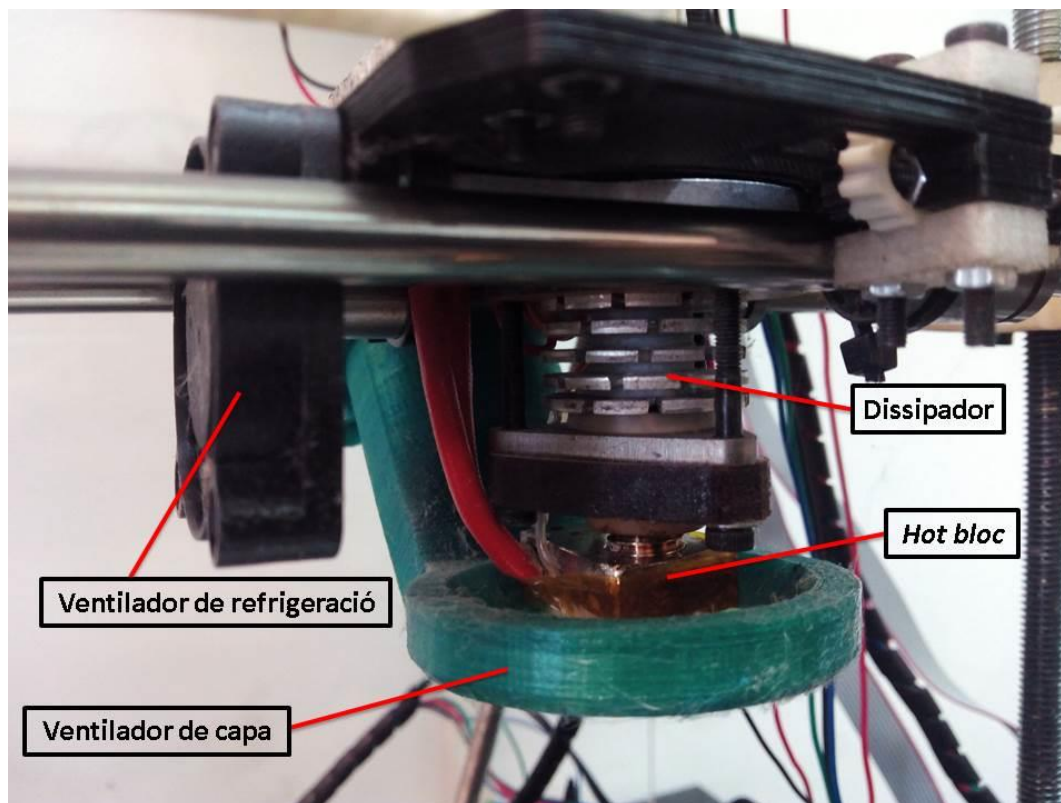


Fig. 5.2 *Hot end* Budas nozzle (elaboració pròpia)

Ara s'entra en las parts bones de la màquina, primerament la interfície i el menú de treball. No es tracte de menús molt complexes i està tot preparat per resoldre les comandes més habituals: escalfar la màquina, moure eixos, veure paràmetres de funcionament, etc. Una de les millors funcions és la incorporació del potenciòmetre, que ens permet executar el programa a plena potència o reduir la velocitat establerta en cas que sigui necessari. Un altre punt a favor, és l'estabilitat del procés a possibles moviments de la màquina durant l'execució d'un programa. Un altre aspecte molt important i positiu és la possibilitat d'imprimir una gran varietat de materials. Aquest fet es possible gràcies a l'extrusor *full meta* que du la BCN3D+, que permet treballar a molta temperatura, la qual cosa possibilita la utilització de materials que amb les impressores precedents era gairebé impossibles d'assolir, materials com els esmentats en el anterior apartat 4.3.3

5.2. Requeriments de la màquina

Abans de començar a dissenyar i un cop ja vist el funcionament de la màquina de referencia, convé fixar els límits del disseny. Per això, s'estableixen un requeriments previs que podran ser modificats durant el desenvolupament de la màquina, però sempre seran la primera referencia amb la qual s'ha començat a treballar. Per això s'ha realitzat un document de definició de projecte, que es detalla a l'annex A, que incorpora els requeriments de la màquina. Tot i així, seguidament es presenten els aspectes més destacats del citat document.

5.2.1. Components principals

La màquina com a tal està formada per diferents seccions o elements principals, que tots junts configuren la màquina, i aquesta no estarà completa si falta algun d'ells. Començant per l'estructura, la part més important, que és l'esquelet de la màquina, seguint pel capçal d'impressió i el seu pertinent dipòsit de material o alimentador, sense oblidar una base de treball on dipositar el material. Per descomptat, tota màquina necessita un control o electrònica de control per governar-la, i, en el cas concret de les impressores 3D, és necessari un sistema de calefacció per a la base d'impressió i/o el volum d'impressió. Ja per últim, els acabats de la màquina poden arribar a ser prescindibles, però la imatge que projecta depèn d'aquesta secció.

5.2.2. Dimensions

- Dimensions d'us:
 - 1200 x 800 x 500 (mm)
- Dimensions exteriors:
 - 1500 x 1000 x 1000 (mm)

No hi ha restriccions de pes, donat que la màquina ha de ser pensada per a un entorn industrial i no ha de ser, obligatòriament, fàcilment transportable.

5.2.3. Disseny exterior, estàndard de disseny

En aquest cas el ser una maquina d'àmbit industrial no es requereix aconseguir un gran acabat dels diferents components. És desitjable i es realitzarà en la mesura del possible sempre i quan el reduït pressupost permeti destinar una part a obtenir una aparença adient. Un cop dit això, l'esquelet de la màquina serà construït a partir de perfils extrusionats i units mitjançant platines xapes plegades i totes les instal·lacions s'integraran a l'interior del conjunt màquina.

5.2.4. Moviments

La màquina constarà de tres eixos. Cada un d'ells es desplaçarà en una direcció cartesiana, de tal manera que els capçals extrusors podran accedir a qualsevol part del volum de treball, L'eix Z treballarà de la cota 0 mm a la cota 500 mm. Els altres dos, X i Y, treballaran de forma conjunta per accedir a tots els punts del pla (1200 x 800mm) on hagin d'estar situats els carro extrusors. Per tant, el funcionament serà el següent: X i Y faran les trajectòries en el pla on estiguin situades i, un cop acabada l'operació, l'eix Z s'encarregarà de elevar la cota per tal de procedir amb el següent conjunt de trajectòries.

5.2.5. Temps de cicle

No és precís establir un temps de cicle per a la fabricació d'una peça, atès que la variació de la mateixa pot ser tan gran que el temps que s'especifiqués no seria representatiu.

Pel que correspon a la fase d'arrencada de la màquina sí que es poden establir algun temps de cicle, més concretament dels cicles d'arrencada de la mateixa i l'arrencada del sistema de calor per mantenir la cambra calenta.

Per al procés d'arrencada s'estableix un temps de 5 min.

Per al cicle de escalfament previ del volum, el temps es fixarà en 30 minuts per assolir una temperatura estable dintre del mateix.

5.2.6. Senyals i control, interfície

El control de la màquina tindrà la mateixa filosofia que les màquines del moviment RepRap, salvant les distàncies que suposa l'augment de dimensions. Per aquest motiu, tots els controladors de potència seran independents i fora de la placa principal. D'altra banda, també s'implementarà un sistema de gestió remota.

5.2.7. Energia

La maquina estarà dotada d'una connexió a la xarxa a 230V AC, però tots els elements del conjunt treballen a tensions inferiors. Per tant, s'haurà de transformar aquesta entrada a 24V DC per tal d'alimentar el sistema de control i els motors. Per a les tasques de condicionament calorífic, no serà necessari transformar aquesta entrada per tal reduir el consum d'energia.

5.2.8. Pressupost

Pel que fa al cost de la màquina, s'estableix un pressupost màxim de 5000 euros. En aquest pressupost només es comptaran les matèries primeres i la seva manipulació en el cas que aquesta la faci un tercer. No estarà inclòs les hores de desenvolupament ni de muntatge.

6. Disseny preliminar

Aquest apartat es centra en el disseny preliminar de l'estructura amb els corresponents simulacions i/o càlculs necessaris per discernir quina és la millor alternativa de les que a continuació es presentaran.

Una consideració que no queda resolta en els requeriments de la màquina, apartat 5.2, és com s'efectuen els moviments descrits del capçal. Concretament, quins són els elements que han d'efectuar el moviment citat, convé esmentar que, en qualsevol dels supòsits que es realitzin, la base on es diposita el material serà fixa. Aquest límit ve determinat per l'elevat cost que suposaria moure una base de les dimensions citades, i per intentar reduir al mínim possible la volumetria final de la màquina.

A conseqüència de fixar la base d'impressió es determina quina serà la configuració global de la màquina. Aquesta, com ja s'ha dit, tindrà una base fixa i, per conseqüent, l'encarregat de dur els extrusors a tots els llocs del volum imprimible haurà de ser un pòrtic. Aquest es mourà per tot l'espai disponible. Un cop decidit quina estructura es realitzarà, es procedirà a l'optimització i disseny en detall dels moviments de la màquina així com a la determinació de motors i resta d'elements.

Per tant, per al disseny de la nova estructura s'ha de contemplar els següents punts:

- Dimensions d'impressió: 1200 x 800 x 500mm
- Dimensions exteriors: 1500 x 1000 x 1000mm (aproximades)
- Estructura de perfil·eria d'alumini.
- Base de treball fixa. Pòrtic mòbil.

A continuació es presenten 3 alternatives per a l'estructura de la màquina.

Alternativa 1:

Amb aquestes premisses es presenta el primer dels dissenys realitzats, que és fruit de la pròpia inventiva i de la imatge mental que s'ha tingut de la màquina. Aquest disseny s'ha concebut de forma que amb una sola estructura es pugui obtenir la solidesa necessària per garantir la precisió que requereix la mateixa, i, al mateix temps, proporcionar l'encapsulament per a la posterior homologació. Per tant, aquesta estructura fa al mateix temps de caixa i d'estructura. Aquesta configuració aporta una solidesa estructural molt bona sense haver de recórrer a un perfil·eria de secció molt gran, i, en conseqüència, s'obté una relació pes-rigidesa molt bona.(Fig. 6.1)

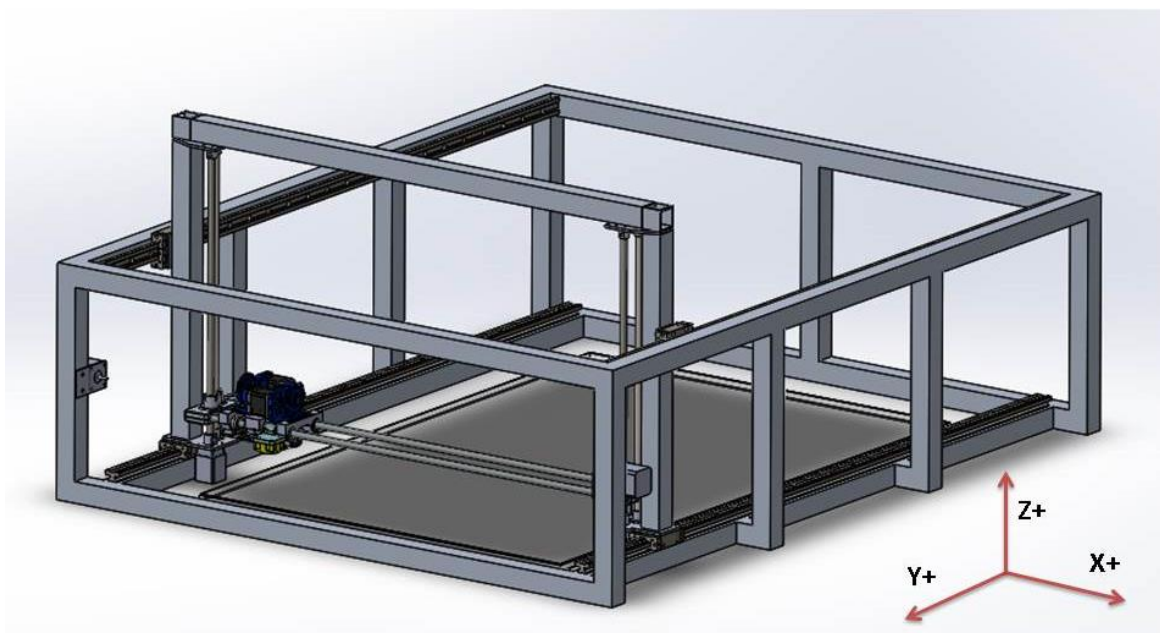


Fig. 6.1 Disseny Alternativa 1. (Elaboració pròpia)

Com a inconvenients d'aquesta alternativa, cal remarcar uns grans entrebancs a l'hora de moure el pòrtic per l'estructura. Com es pot observar, es requereix de 4 guies amb els seus corresponents patins. Aquest fet aporta una doble implicació. En la vessant econòmica, l'augment de 2 a 4 guies en aquest eix, per tant una de les part més importants, duplica el cost. L'altre problema que planteja és dotar de moviment el pòrtic. En tenir dues guies per banda provoca que a l'hora de moure el pòrtic, aquest es quedi blocat momentàniament. Aquest fet ve donat pel fet que, en les arrancades del eix o canvis de direcció, el pòrtic presentarà un lleu balanceig, fent així que, per un moment, es retardi el moviment de l'eix en qüestió, provocant la seva desincronització, respecte els altres eixos.

Un altre problema detectat és la dificultat de muntatge. Aquest disseny complica les unions entre trams i afegeix més operacions auxiliars, tals com més talls en serra, més perfils a rosca, etc.

Ja per finalitzar l'anàlisi d'aquest disseny, en tancar tota l'àrea de treball es dificulta l'extracció de la peça, cosa que, en el cas que es tracta, és un problema rellevant, donat que les peces que està previst imprimir seran grans i difícils de manipular. Aquest fet, i la rigidesa de l'estructura per poder incorporar elements mòbils sense deteriorar la solidesa estructural, fan aquesta solució poc atractiva.

Alternativa 2:

En aquesta versió s'ha abandonat la idea d'utilitzar l'estructura com a caixa exterior per una configuració més clàssica i provinent del món de les fresadores de fusta i materials tous que permeten mecanitzar grans dimensions. La gran majoria d'aquestes presenten una base fixa, amb un pòrtic que és desplaça al llarg de l'eix Y. Sobre el pòrtic s'incorporen els altres dos eixos que falten per completar. La màquina presenta aquesta configuració citada, però al mateix temps ha adoptat la forma en que es dota de moviment l'eix X i Z de la BCN3D+. Per tant, s'aconsegueixen les dimensions que es requereixen, una bona accessibilitat a tota l'àrea d'impressió, i per últim, la reducció dels costos de fabricació. (Fig. 6.2)

Aquesta reducció dels costos de fabricació ve donada pel sistema de construcció de l'eix X. Aquest eix només ha de suportar el pes del carro i les seves inèrcies. En canvi, en una fresadora, a part de les inèrcies i el pes, se li ha de sumar les forces generades durant el treball de l'eina. Per tant, s'ha considerat oportú adaptar el sistema de la BCN3D+ a la nova impressora.

Aquesta alternativa presenta dos inconvenients. El primer es la necessitat de fer un pòrtic molt més robust atès que només s'unirà per la part inferior, no com en el cas de l'alternativa 1, que té 4 subjeccions. L'altra punt dèbil és a l'hora de procedir al tancament de la zona de treball, ja que l'estructura no fa al mateix temps de carcassa com l'alternativa 1, per tant es necessita més perfil·leria per fer els tancaments de la màquina.

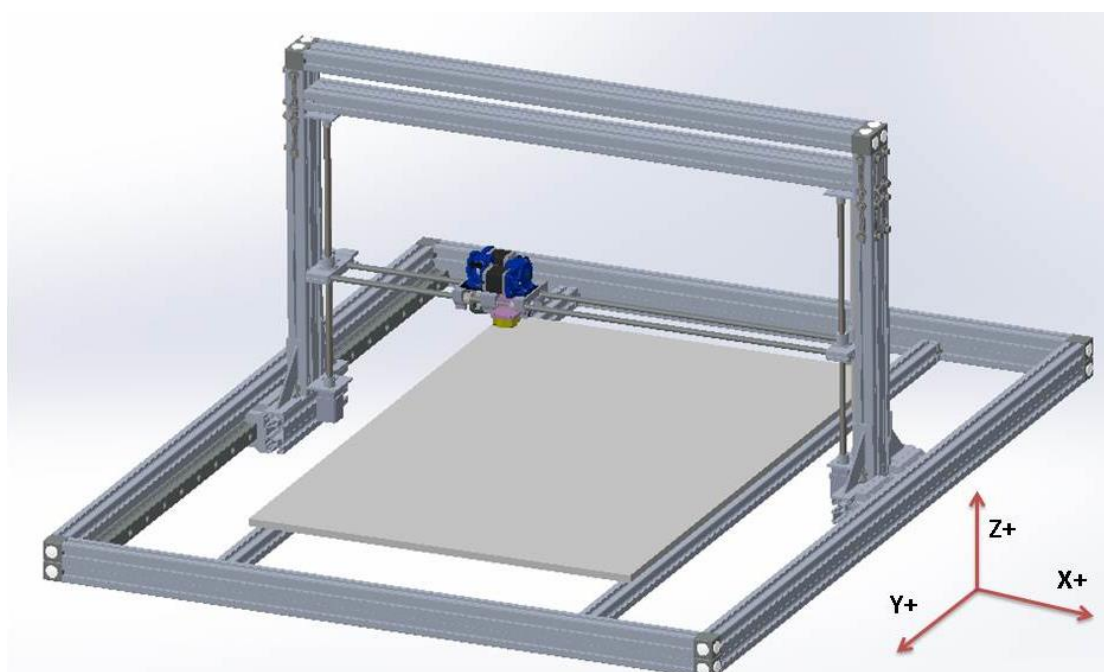


Fig. 6.2 Disseny Alternativa 2. (Elaboració pròpia)

Alternativa 3:

Aquesta opció, simplement consisteix, en la construcció de un sistema semblant a qualsevol fresadora de gran format com les esmentades a l'opció anterior, amb l'única diferència de la construcció del pòrtic, que passaria a ser un pòrtic amb perfil·leria estàndard per intentar reduir el cost de fabricació.(Fig. 6.3). Aquesta opció, a priori, presenta els mateixos avantatges i inconvenients que la versió o alternativa 2.

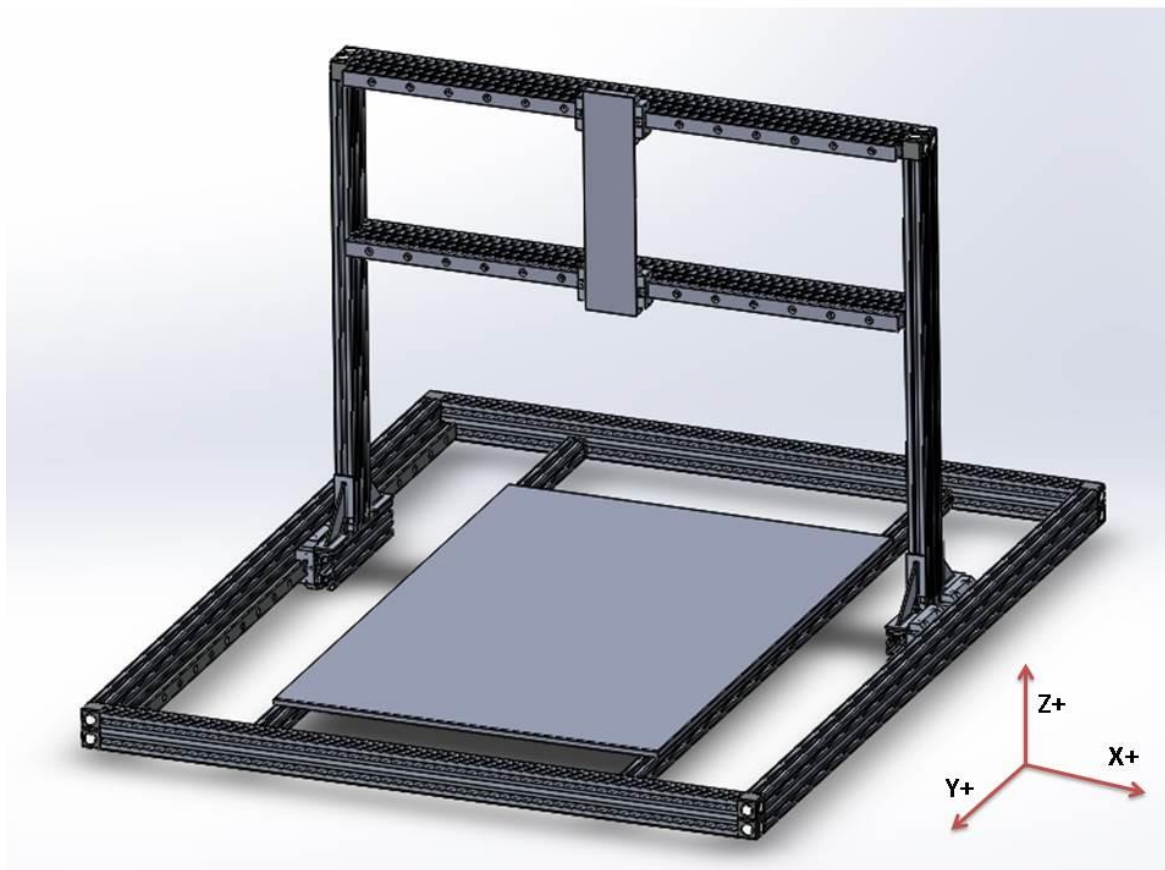


Fig. 6.3 Disseny Alternativa 3. (Elaboració pròpia)

Un cop presentats els tres dissenys preliminars de les diferents opcions d'estructura, es procedeix a avaluar-les per tal de poder escollir la més adient per les especificacions.

Primerament avaluem l'alternativa 1. Aquesta versió queda descartada pels següents aspectes:

- El primer, la gran quantitat de metres en perfil·leria que hi ha per realitzar la construcció i conseqüentment la quantitat proporcional d'elements d'unió estàndard per fer la realització.

- Segon i més importat, el gran nombre d'operacions a realitzar per construir-la: moltes peces, moltes més operacions de fresatge, i unions complicades amb elements més cars. Per tant, es complica més el muntatge, cosa que, com s'ha remarcat en l'anàlisi de la impressora referència, s'intentaria millorar. Es per això que, un cop descartat per motius econòmics i de construcció, no s'entra a avaluar l'estructura per elements finits.

Ara es continua amb les altres dues versions restants. Aquestes dues versions que resten seran avaluades segons els 3 aspectes següents: viabilitat de construcció, viabilitat econòmica, i una anàlisi per elements finits amb el programari ANSYS. Pel que respecta als metres de perfil·leria i construcció les dues versions són pràcticament iguals. La versió dos presenta una guia menys, però un cargol més. En la versió tres aquesta situació es reverteix. Per tant amb un anàlisi de costos preliminar les dos opcions tenen la mateixa càrrega econòmica. Per tant, per decidir quina de les dues opcions s'escullen, serà necessari veure el comportament al vincament del pòrtic respecte un moviment de l'eix X. Aquest és l'eix estudiat, ja que, tal com es pot veure en les figures Fig. 6.2 i Fig. 6.3 la perfil·leria està orientada de forma que la màxima inèrcia que suporta es quan es mou en la direcció Y.

Per tal de portar a terme les simulacions, es van introduir una sèrie de simplificacions i les condicions de simulació.

Condicions:

- Pes carro complet doble extrusor : 100 N (≈ 10 kg)
- Condicions de funcionament: Mateixes velocitats i acceleracions que la BCN3D+
 - Acceleració: 1500 mm/s
 - Velocitat eix X: 1000
 - Velocitat eix Y: 1000
- Aplicació de la força en la posició més desfavorable (les cotes més altes en Z)

Simplificacions estructurals:

- Només se simula el pòrtic.
- La unió entre el patí i la guia es simplifica a un encastament perfecte.
- Es realitza una Simulació 2D amb l'element Beam 3

El motiu de simular la unió del pòrtic amb la subestructura mitjançant un encastament perfecte ha estat per la desconexió del comportament d'aquesta unió. El fabricant ha especificat uns moments màxims que pot suportar el patí, però no dona cap informació del comportament fins arribar a aquests moments màxims. Per tant, s'ha decidit no simular aquesta unió mitjançant altres elements disponibles en el programari.

A la Fig. 6.4 es pot observar la modelització introduïda al programari amb els dos encastaments perfectes i la força aplicada en la situació més crítica tal i com s'ha comentat en les condicions de simulació. A les figures 6.5 i 6.6 es pot observar els desplaçaments generats per la força en cada una de les dues alternatives. A més a més, seguidament de cada solució de desplaçaments nodals es llista els moments generats en l'encastament.



Fig. 6.4 Captura dels elements introduïts al programari Ansys. (Elaboració pròpia)

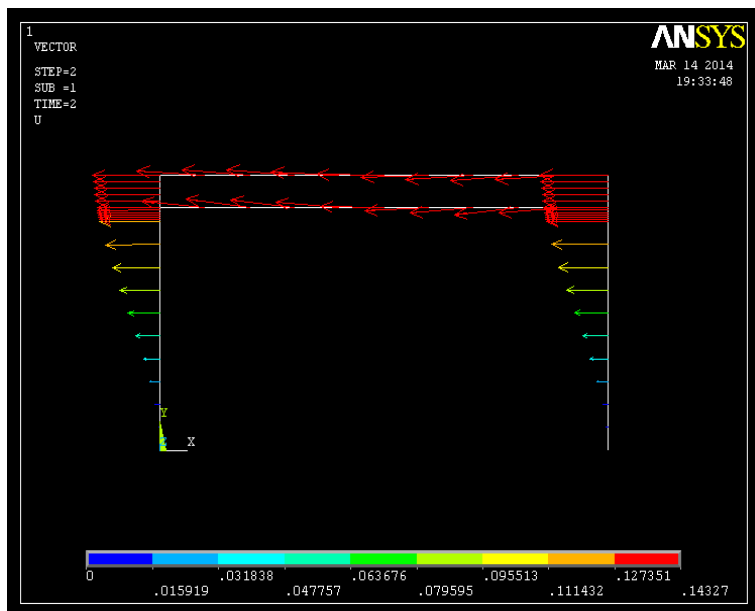


Fig. 6.5 Captura dels desplaçaments nodals a l'alternativa 2. (Elaboració pròpia)

A continuació es presenten els moments generats en els encastaments de l'alternativa 2. En el programari Ansys es té el pòrtic modelat com una successió d'elements, i en aquest cas, hi ha dos element d'especial importància, aquells que són la modelització del encastament. Més concretament s'ha de fixar l'atenció en el node 1 del element 1 i el node 53 del element 62 que són el punt concret del encastament. El punt 1 presenta un moment de 20,265 Nm i el node 53 presenta un moment de 21,297 Nm.

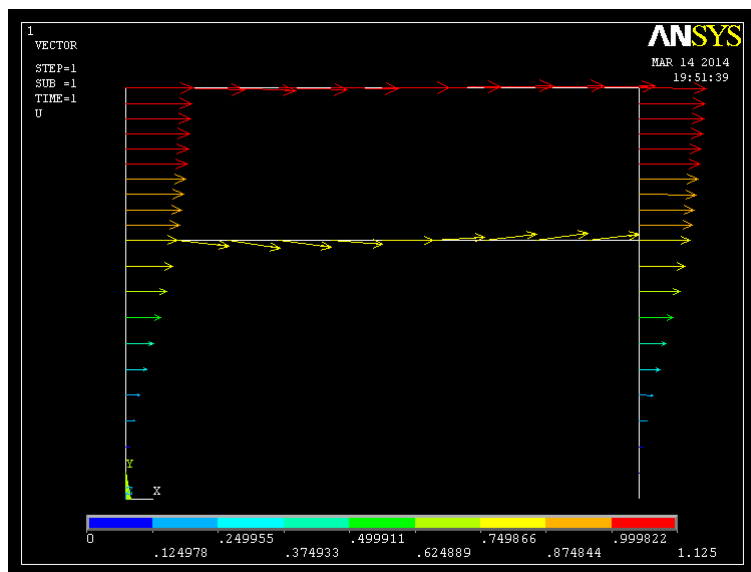


Fig. 6.6 Captura dels desplaçaments nodals a l'alternativa 3. (Elaboració pròpia)

Ara es presenta els moments dels encastaments de l'alternativa 3. En aquest cas, s'ha de fixar l'atenció en el node 1, que pertany al element 1, i al node 60 que pertany al element 60. Per tant, al element 1 es té un moment de 126,87 Nm i al element 60 es té un moment de 106,43 Nm.

Un cop vist el comportament del pòrtic, cal veure què succeeix en els moments generats en X en cas de una arrencada o frenada de tota l'estructura. En aquest, cal posar principal atenció en els moments generats en el eix X per tal de comprovar que el patí de lliscament que es pretén instal·lar no presenti un falcament en el seu funcionament.

Primerament, s'ha de comentar que l'acceleració o la desacceleració de la màquina és un valor fixat, i en el cas de fer els càlculs s'ha agafat un valor de 0.5 m/s^2 , superior al que realment es programarà. Aquesta acceleració és l'encarregada d'aplicar un moment extra al patí i mentre aquest moment estigui dintre dels límits que estableix el fabricant, no s'hauria d'observar cap fenomen d'enclavament. Ara bé, aquest moment farà aparèixer una fricció extra.

En l'annex A e pot veure el càlcul realitzat. El valor del moment que rebrà un pati de l'opció 2 és 2.75 Nm, un valor senzillament inferior al seu límit, que és de 410 Nm. Per tant, es pot afirmar que no apareixerà el fenomen d'enclavament per causa de les forces dinàmiques. Tot i això, no es pot afirmar que aquest fenomen no acabi succeint, ja que el sistema pot patir descalibracions que podrien propiciar aquest fet.

Realitzant el mateix càlcul de l'opció dos per a la opció 3, i modificant el centre de gravetat, que en aquest cas s'estima que estar per sobre dels 400 mm, ens apareix un moment d'inèrcia generat de 5 Nm. Per tant aquesta opció també seria totalment vàlida en aquest aspecte.

Conclusions:

Un cop vistos els resultats de les dues simulacions, s'ha comprovat que estiguin dintre de les especificacions del fabricant pel que es refereix al moment màxim i la càrrega màxima admissible. A la Taula 6.1 Comparativa entre els valors admissible i els simulats. (Elaboració pròpia) es mostra la comparació entre els valors obtinguts i els valors admissibles segons les especificacions del fabricant. Es pot veure clarament que la versió 2 compleix sense cap problema, en canvi, la versió 3 presenta major moment que l'admissible. Per tant, l'elecció és clara, la versió o alternativa 2 és l'única que compleix els requisits imposats pel fabricant.

	Límit del fabricant	Alternativa 2	alternativa 3
Moment màxim (Nm)	96	21,3	127,7
Càrrega màxima (N)	2400	150	180

Taula 6.1 Comparativa entre els valors admissible i els simulats. (Elaboració pròpia)

També cal recalcar que la fletxa de desplaçaments, en ambdós casos, és vora una dècima i mitja de mil·límetre, en el supòsit que el carro està treballant en la pitjor situació, és a dir, a la posició més alta. Donat el fet que és improbable que s'utilitzi l'altura màxima de la màquina, i en cas d'haver de fer-ho, com n'és de lleu la desviació, s'ha considerat correctes els valors donats pel programari, sempre tenint en compte que en la realitat presentarà uns desplaçaments diferents, degut a les simplificacions realitzades i la dificultat de predir exactament les cotes que es podran assolir.

Un altre aspecte important és la validesa o no de la simplificació realitzada per simular l'estructura. En aquest cas, un marge de seguretat de 4,5 en els moments dona prou confiança per poder validar la hipòtesi de treball. A aquest fet també cal sumar-hi el comentat de la lleu fletxa de desplaçaments presentada. Per això, no es creu convenient

intentar simular la unió de forma més realista, cosa que sí que s'hauria fet en cas de obtenir valors propers als especificats pel fabricant.

Per últim, s'esmenta que els moments d'inèrcia generats degut al moviment de la màquina, no presenten un problema per al correcte funcionament de la màquina, sempre i quan la màquina estigui calibrada i/o no es descalibri durant el seu funcionament.

7. Disseny en detall

En aquest apartat es veu el desenvolupament detallat de els diferents seccions de la màquina: subxasis, eix Y, pòrtic o eix X i Z, carro extrusor, suport o taula, cambra calenta, control i programació de la màquina. També cal remarcar que les càlculs realitzats per validar l'elecció dels motors per l'eix Y i X es presenten a l'annex B.

7.1. Subxasis

En aquest subapartat es comenta en detall la construcció final de l'estructura que prèviament s'ha dissenyat i calculat. En aquest cas les variacions que ha sofert l'estructura dissenyada han estat mínimes. Només ha estat necessari modificar la llargada total de la subestructura, i s'han retirat les barres de 40 x 40 que hi ha situades enmig del subxasis.

La primera modificació ha estat ocasionada per un error de comunicació entre l'empresa subministrant de les guies i l'autor del present treball. El problema rau en el punt de referència per determinar el recorregut útil de la màquina. Aquest no es va especificar bé a l'hora de comunicar-ho a l'empresa i, per tant, es van subministrar unes guies 200 mm més llargues del compte. En ser més grans del previst, es va decidir allargar la màquina i conseqüentment allargar la cota imprimible de 1200 mm a uns 1400 mm teòrics.

L'altra modificació esmentada ha estat un canvi d'estratègia per a la unió de la màquina a un suport. En un primer moment, no estava definit a on es col·locaria la màquina i, per tant, per reforçar la rigidesa es va considerar necessari la col·locació de dos perfils de 40 x 40, que al mateix moment feien de subjecció de la base d'impressió. Un cop definida la superfície de suport, s'han tret, ja que el mateix suport proporciona el que es pretenia amb els dos perfils.

7.2. Eix Y

Primerament, es veu el disseny en detall de la unió de la subestructura amb el pòrtic per mitjà d'un rail doble amb la seva platina de lliscament a on el pòrtic s'unirà a aquesta per mitjà de 4 cargols.(Fig. 7.1 i Fig. 7.2 Guiatge eix Y). Pel que fa al moviment de l'eix Y es farà mitjançant un cargol helicoidal de pas 1:50 connectat a un motor pas a pas Nema 23 amb un parell motor de 170 N·cm a tensió d'alimentació de 24 VDC i una resolució de 1.8° per pas, 200 passos per volta. La unió del cargol amb el motor és una configuració especial realitzada per l'empresa subministradora de les guies i eixos, Igus (Fig. 7.3), per poder situar els motors fora de l'àrea de treball sense haver d'incrementar la llargada de la màquina en excés. Ha estat possible treballar amb un cargol de pas ràpid, ja que la màquina treballarà amb un *microstepping* de 1/16. Amb la resolució del motor i el *microstepping* es treu els

passos per realitzar una volta de motor. En aquest cas, en treballar amb un motor de resolució estandar, $1,8^\circ$ per pas i un *microstepping* de 1/16, s'obté un valor de 3200 passos per volta i, dividint el pas del cargol pel valor obtingut, s'extreu la resolució mecànica del eix: 0,0156 mm/pas.

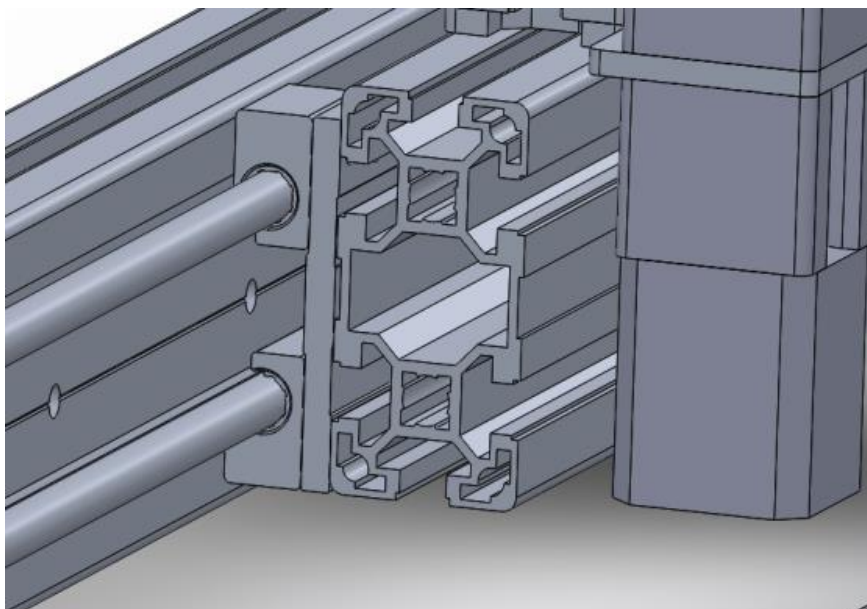


Fig. 7.1 Disseny de la unió del pòrtic amb el eix Y. (Elaboració pròpia)



Fig. 7.2 Guiatge eix Y. (Elaboració pròpia)

S'ha previst que el conjunt Eix Y, subministrat per l'empresa Iigus, vagi unit a la subestructura (Fig. 7.1) per mitja de cargols, els forats dels quals es realitzaran fresant-los a la perfil·leria. Es va prescindir de la utilització d'un utillatge per tal de poder assegurar una correcte alineació entre la guia i la subestructura, en tot la longitud de la guia. El principal problema era el muntatge, ja que, en tenir els forats repartits per el perfil, i la col·locació d'un cargol impossibilitava el muntatge directe.

Una altra consideració dissenyada ha estat la col·locació del conjunt de guia i pati del eix Y, enrasat a la part superior de la perfil·leria exterior, això s'ha fet per poder encabir la configuració dissenyada expressament per adaptar els motors del eix Z situats al pòrtic que es veuran en pròxims apartats.

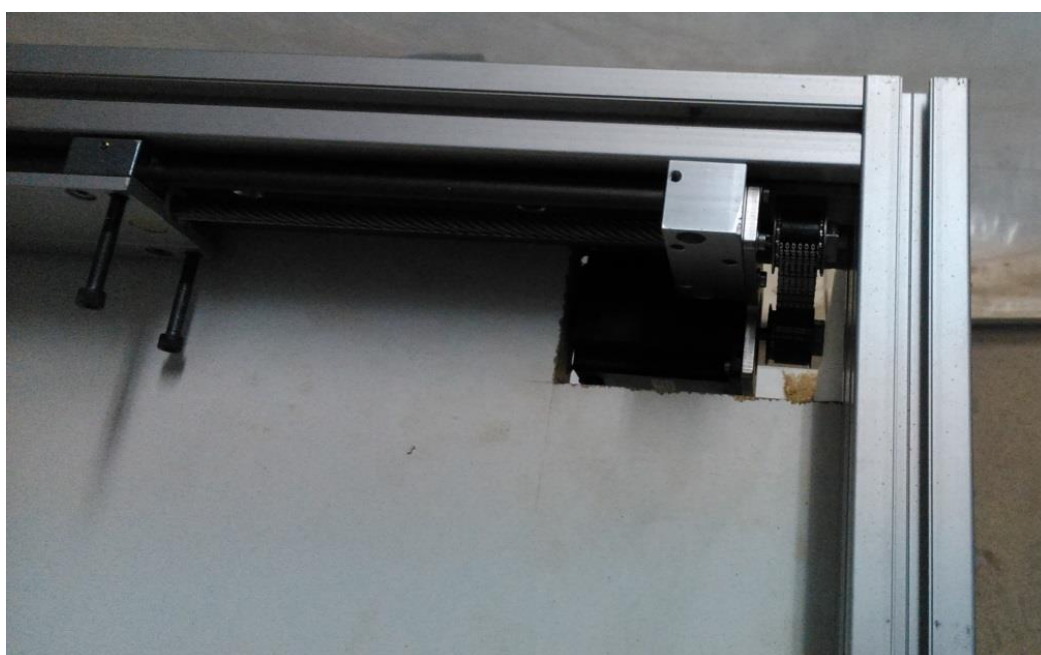


Fig. 7.3 Situació dels motors del eix Y. (Elaboració pròpia)

7.3. Pòrtic, Eix Z i X

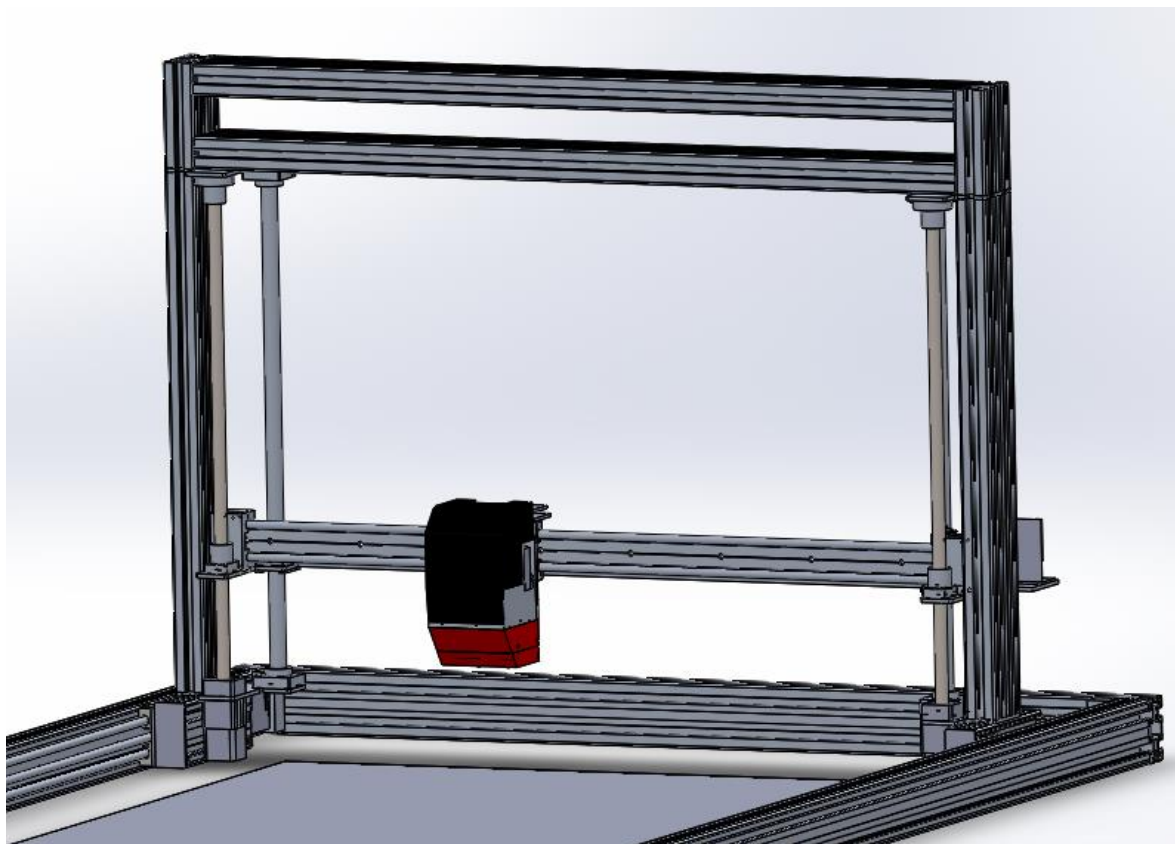


Fig. 7.4 Pòrtic. (Elaboració pròpia)

A continuació es procedeix amb el disseny en detall del pòrtic. (Fig. 7.4) En aquest element hi ha situats els eixos i cargols per dotar de moviment l'eix Z, un per cada banda. La solució adoptada ha estat un eix d'alumini de 20 mm de diàmetre, que es el que realitza les funcions de guia, i per altre costat els dos cargols d'acer inoxidable de diàmetre 16 mm i pas de 4 mm per volta. Fent el mateix càlcul que s'ha realitzat per a la determinació de la precisió del eix Y substituint el 1/16 per 1/2 s'obté que, per cada pas del motor, es té 0.01 mm d'avanç. En aquest cas, els encarregats de generar el moviment són dos motors pas a pas nema 17, situats a la part inferior, com s'observa també a la Fig. 7.5 . Una consideració important ha estat la col·locació d'un rodament de boles axial a cada costat per transmetre el pes del cargols i el pes que li correspon de carro extrusor, a la platina inferior, descarregant el motor de qualsevol pes que pogués minvar la seva vida útil i el seu correcte funcionament. Amb aquesta acció es pretén no malmetre els rodaments del motor ni provocar una fallada del sistema.

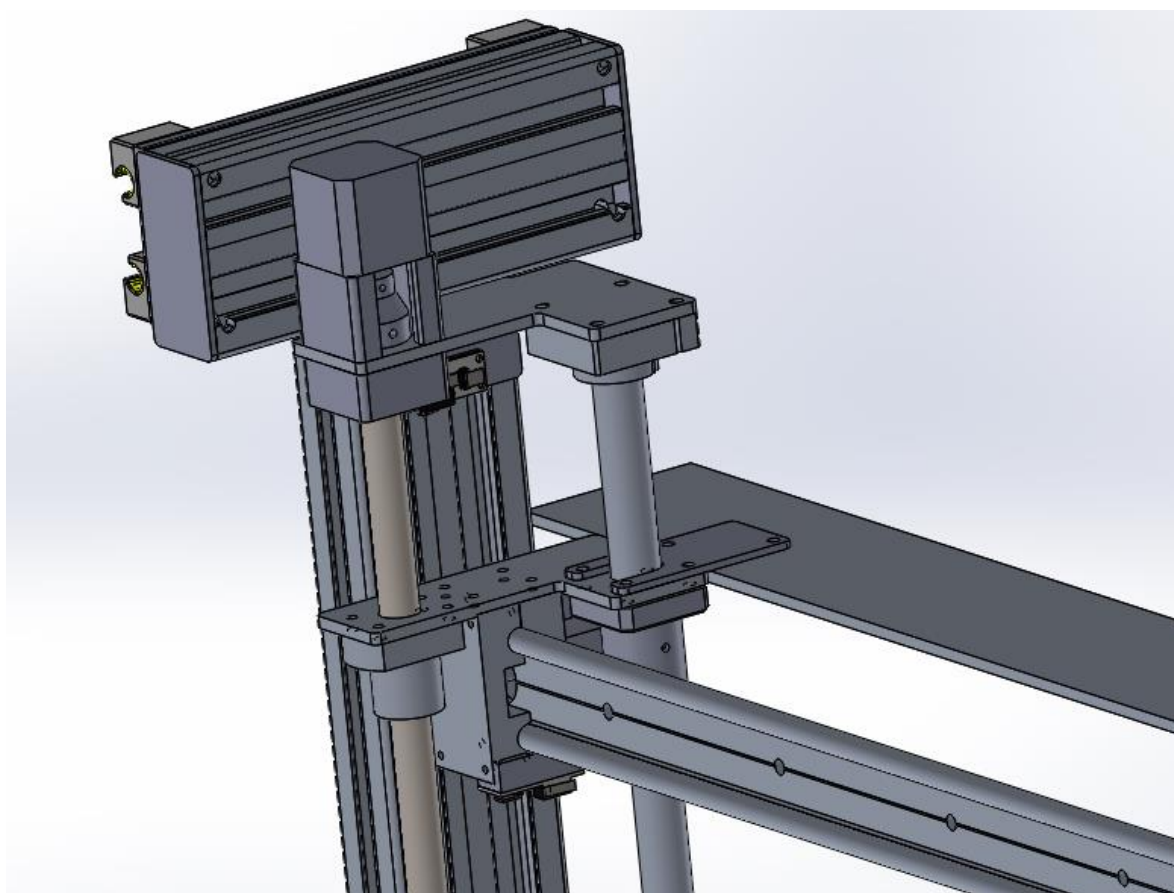


Fig. 7.5 Detall inferior pòrtic. (Elaboració pròpia)

Un altre aspecte és la reducció al màxim de les dimensions de la màquina sense afectar a l'amplada útil d'impressió. Aquesta limitació d'amplada ha estat donada per la taula on se situarà la màquina. Els taulells més estàndards són els que presenten les mides de 1220 x 2440 mm, i és per això que s'ha fixat l'amplada màxima en l'amplada del taulell. És per aquest fet, esmentat prèviament, i per la necessitat de col·locar el motor que dotarà de moviment l'eix X, que s'ha dissenyat les platines en forma de "L", per poder donar la màxima amplada útil amb el menor espai.

Pel que correspon a les subjeccions del eixos i els cargols s'ha comprat els elements presents en el catàleg del fabricant de les guies, IGUS, corresponents a les dimensions requerides. L'única part que s'ha adaptat és la subjecció al motor nema 17. En aquest apartat, s'ha realitzat el disseny de tres peces: l'acoblador entre l'eix del motor (5 mm) i el cargol (16 mm), el separador per situar el motor a l'alçada que li pertoca i per últim la guia per al rodament axial, visible a la Fig. 7.5.

A continuació es presegueix amb el disseny de l'eix X. Aquest eix presenta una configuració semblant al eix Y. Es va avaluar la possibilitat d'adoptar la solució de la BCN3D+, que consisteix en unir els dos extrems del portic amb dues barres rodones i col·locar un carro sobre d'elles amb 4 rodaments de boles per permetre el moviment. Però aquesta configuració presentava problemes de vinclament excessiu, tot i canviant les barres originals per unes de diàmetre superior. És en aquest punt que es va decidir recórrer al mateix conjunt usat a l'eix Y: una guia doble en situació vertical amb un patí lliscant, com es pot observar a la Fig. 7.4.

El fet d'utilitzar aquest perfil permetia tenir un vinclament gairebé nul, amb una reducció de pes substancial. En col·locar el perfil en forma vertical es pot aprofitar al màxim la inèrcia. Per donar-li moviment si que s'ha adaptat la solució que presenta la BCN3D+. El patí es mourà per mitja d'una corretja GT2 i un nema 17 col·locat en un extrem. Per completar a l'altre extrem, s'ha col·locat un rodament de diàmetre 16 mm, per permetre el correcte funcionament.

Un cop es té com es mourà l'eix, s'ha hagut de dotar d'una solució per poder tensar la corretja, ja que, com s'ha comentat en apartats previs, aquest fet és primordial per assegurar un correcte funcionament. La solució adoptada ha estat dissenyar una peça per fer amb impressió 3D, Fig. 7.6, que ens permet tensar manualment la corretja. Aquesta peça es situa entre el patí i la guia i permet el pas de la corretge pel seu interior i extreure cap a l'exterior les puntes de la corretja per al posterior tensat.

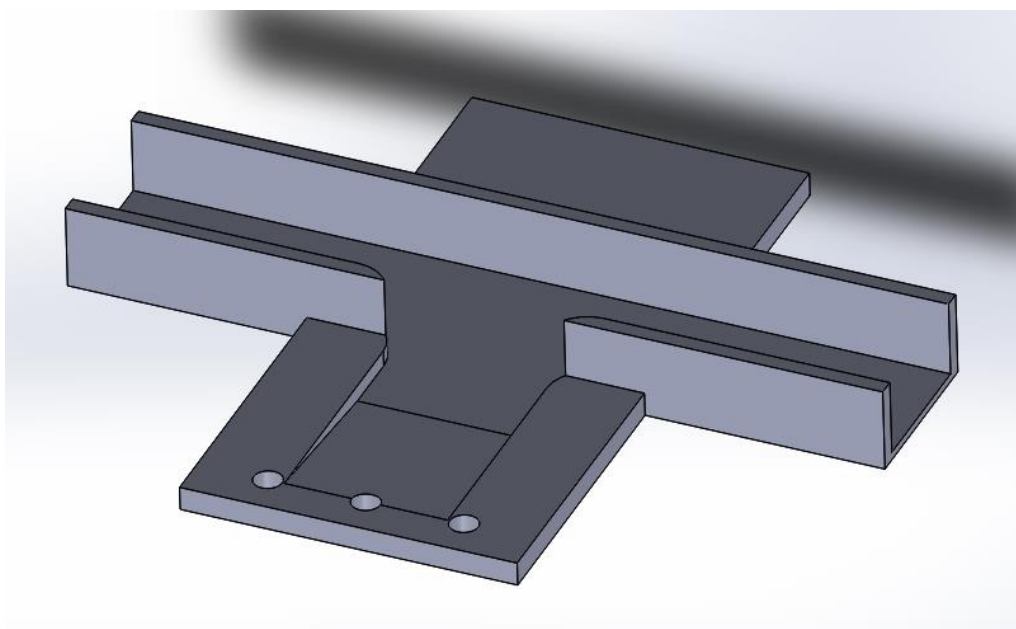


Fig. 7.6 Tensor corretja eix X. (Elaboració pròpia)

7.4. Carro extrusor

En cop vist la gran majoria del disseny de la màquina queda per detallar el carro que du els dos extrusors. El conjunt alberga dos extrusors amb els seus pertinents motors, dos *hot ends*, la ventilació d'aquests *hot ends* i la preparació per poder collar la cadena porta cables a tot el conjunt sense descuidar-se d'una protecció per evitar cremades per part dels usuaris. En la Fig. 7.7 es pot observar la visió general d'aquest conjunt amb la seva tapa pertinent.

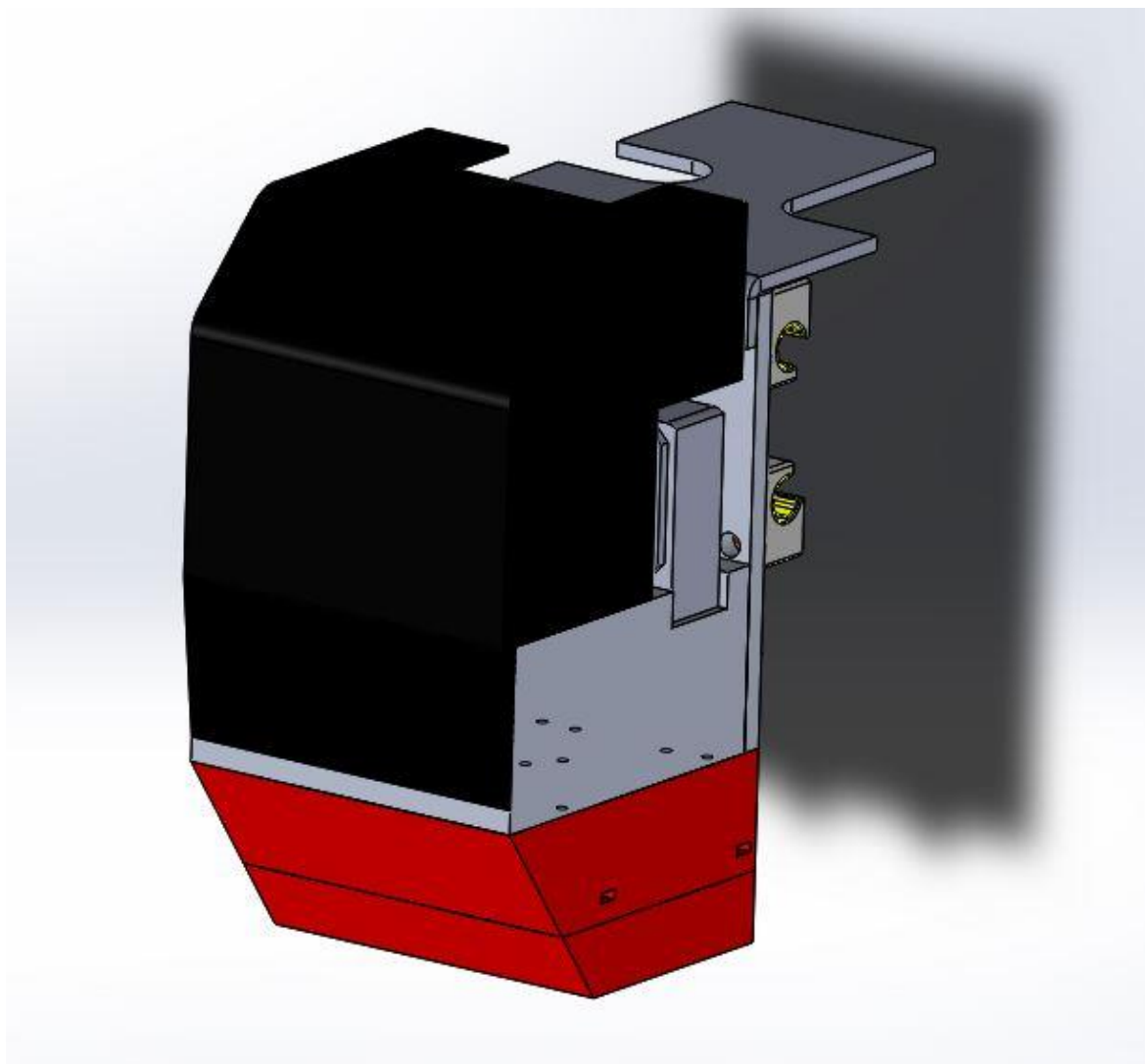


Fig. 7.7 Visio general carro extrusor. (Elaboració pròpia)

Primer de tot, cal esmentar la configuració adoptada com a definitiva. Els *hot ends* són dos Budas nozzel 2.0 amb puntes que poden anar de 0.35 a 1 mm de diàmetre de sortida,

extruïts directes amb un conjunt motor reductor de tren epicicloïdal de reducció 5,18:1 juntament amb un *cold end*, en aquest cas el *cold end* és un Goliat de Tytan3D. La col·locació dels *hot ends* es pot veure a la Fig. 7.8 juntament amb la peça encarregada de direccionar l'aire dels ventiladors cap a la zona corresponent.

Dintre del gran ventall de possibilitats que ofereix el mercat pel que correspon als *hot ends* s'ha avaluat tres opcions, Budas nozzel 2.0, E3D V6 i J-head. Són els 3 més robustos del mercat i amb els 3 es poden assegurar bons resultats a l'hora d'imprimir. L'alternativa del *J-head* queda descartada perquè va sense platina de subjecció i fer la connexió que requereix en el bloc que sustenta tot el conjunt queda fora de les possibilitats de les quals es té accés. Pel que correspon a l'alternativa del E3D-V6, en aquest cas torna a passar el mateix que en el *J-head*, a més a més, aquest *hot end* és *full metal*, cosa que, en no dur el tub de tefló dins, pot arribar a generar algun problema d'obstrucció abans que en el cas del Budas. Tot i que el Budas és el més car dels 3, totes les crítiques entre fòrums especialitzats en la matèria recalquen que aquest *hot end* és totalment fiable i que mai presenta obstruccions ni problemes de reflux, és per això que s'ha triat aquesta solució.

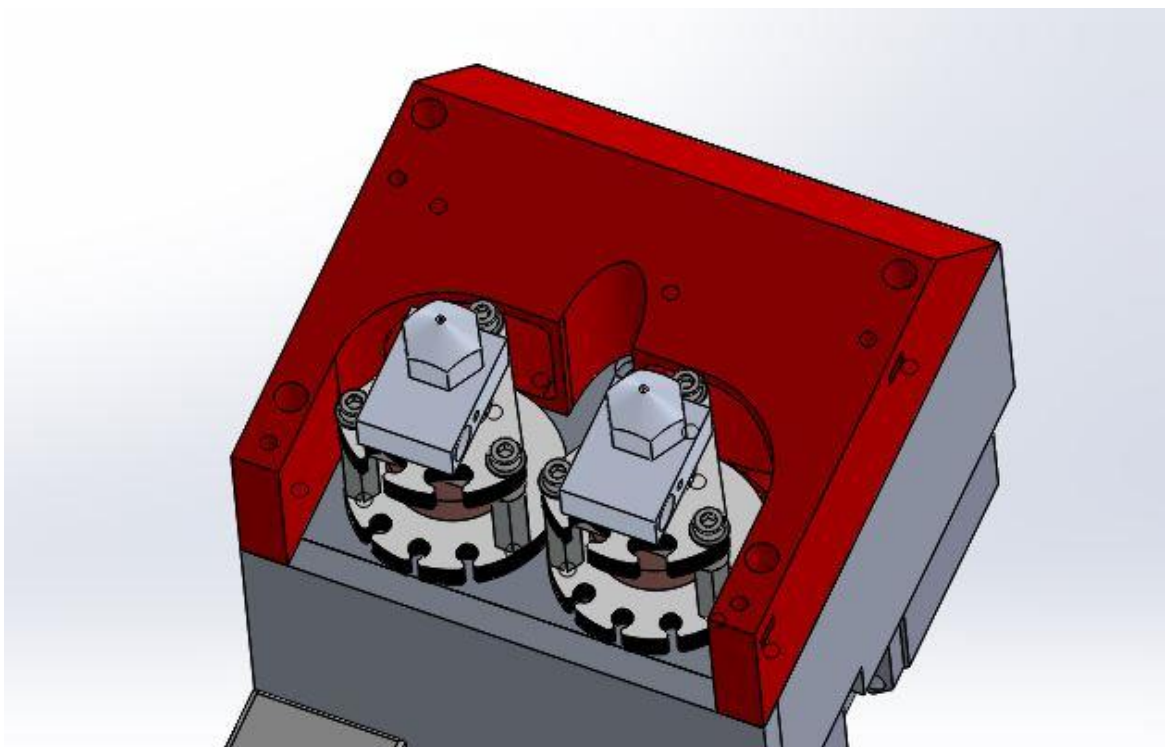


Fig. 7.8 Vista detallada de la col·locació dels *hotends*. (Elaboració pròpia)

Seguint l'ordre d'importància, ara es procedeix a avaluar l'altre part extremadament important de aquest conjunt, el *cold end*. L'elecció ha estat el Goliat de Tytan 3D,

principalment per que fins al moment de la realització del projecte era l'únic *cold end* de fil de 3 mm que era de mides reduïdes i venia sense el seu motor. Una alternativa que es va descartar va ser la utilització del Bulldog XL ja que aquest venia tot el conjunt, motor amb al seva reducció i el *cold end* pertinent, i es feia bastant complicat inserir-ho en el conjunt del carro. D'altra banda també es va descartar la utilització d'extrusors com els que duen la majoria de RepRaps amb la BCN3D+, inclosa, per la seva elevada volumetria.

Un cop vist les parts més importants de la impressora, el *hot end* i el *cold end*, ara s'entra a veure el disseny realitzat per al bloc que sustenta aquesta part, (Fig. 7.9) i el que serà l'element central de tot el carro. S'ha dissenyat tot perquè els capçals siguin *Plug & Play*, permetent així la fàcil manipulació en cas d'haver de realitzar una substitució d'algun element. També cal destacar que s'ha muntat en el prototip només dos extrusors, però en el disseny ja s'ha contemplat la opció de treballar amb 3. Per tant, les modificacions hauran de ser mínimes en cas de passar de 2 a 3. La part més important d'aquest bloc es el guiatge del fil des del *cold end* al *hot end*. S'ha tingut especial cura per tal de no tenir problemes d'alineació i problemes de excés de fricció que podrien fer que no s'extruís bé el material. També cal tenir en consideració que, el fet que el bloc central sigui d'alumini, ajuda a tenir refrigerat tot el conjunt. Per últim, s'ha optat per col·locar els ventiladors de refrigeració dels *hot ends* dintre del bloc per poder reduir el màxim el volum del conjunt, deixant així un conjunt, a part de funcional, compacte i correcte estèticament, sense postissos ni elements externs que en un moment donat puguin fer aparèixer algun problema.

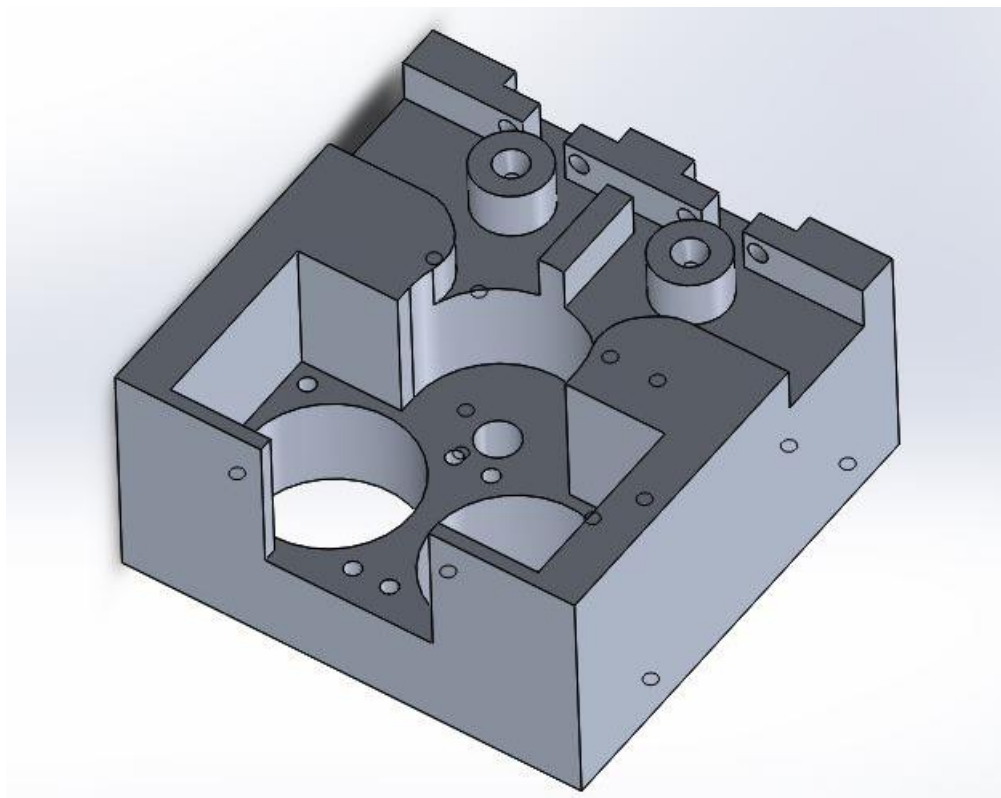


Fig. 7.9 Bloc principal extrusor. (Elaboració pròpia)

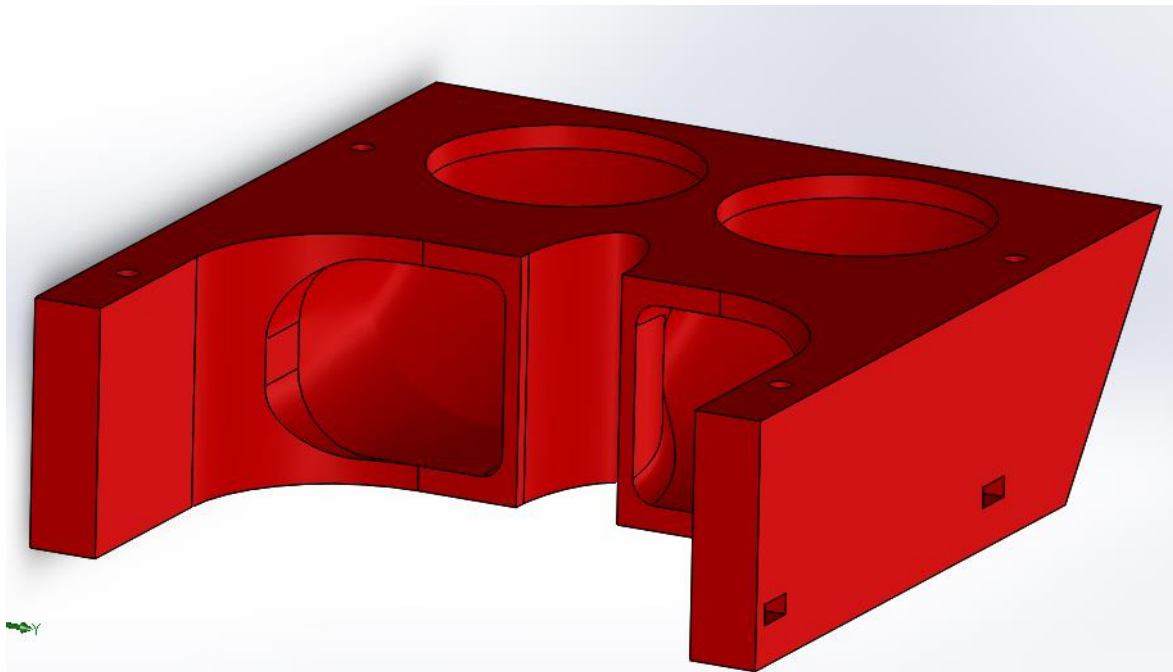


Fig. 7.10 Ventilació *hotend*. (Elaboració pròpia)

Per últim, s'explica el disseny de la peça encarregada de enfocar l'aire a la zona pertinent del *hot end*, a la Fig. 7.10. Aquesta peça s'ha dissenyat per poder-se fabricar mitjançant impressió 3D, i que aquesta mateixa impressió sigui vàlida per introduir al carro. Això és possible gràcies al gran bloc d'alumini que fa que estigui sempre a una temperatura baixa i, per tant, aquesta peça no pateixi problema per la calor procedent dels *hot ends*. Els ventiladors estan situats al bloc en posició vertical. Per això, la peça realitza el canvi de direcció per passar l'aire de posició vertical a posició horitzontal i atacar directament als dissipadors. Com es pot veure a la Fig. 7.10, aquesta peça també presenta unes petites ranures per poder inserir unes femelles i, en el centre, s'ha deixat l'espai suficient per poder passar els cables pertinents. Les femelles són per collar la protecció final que evita que es pugui tocar la part calenta del *hot end*. D'aquesta manera, queda una construcció neta i simple i, en cas de haver de realitzar una operació, només s'han de tenir en compte els cargols.

7.5. Suport

Un cop es té la definició general de la màquina, cal posar-la en un suport apte per a les seves funcions. En aquest cas, s'ha considerat oportú dissenyar un taula especial, per tal de poder donar solució a tots els elements que contempla la màquina a part de la seva estructura.

Primer de tot, cal comentar que la taula està formada per tres taulells de melamina de dimensions 2000 x 1220 x 30 mm amb les vores recobertes. La unió entre els taulells s'ha realitzat amb la perfil·leria d'alumini de diàmetre 50 mm, 12 barres de 300 mm per pis, de l'empresa Zestan. Al taulell inferior s'hi ha incorporat rodes per tal de poder moure la màquina en cas de necessitat, on les rodes corresponents a les 4 cantonades són rodes amb fre per poder fixar la màquina. Per tant, la taula queda de la següent forma, tal i com es mostra a la Fig. 7.11.

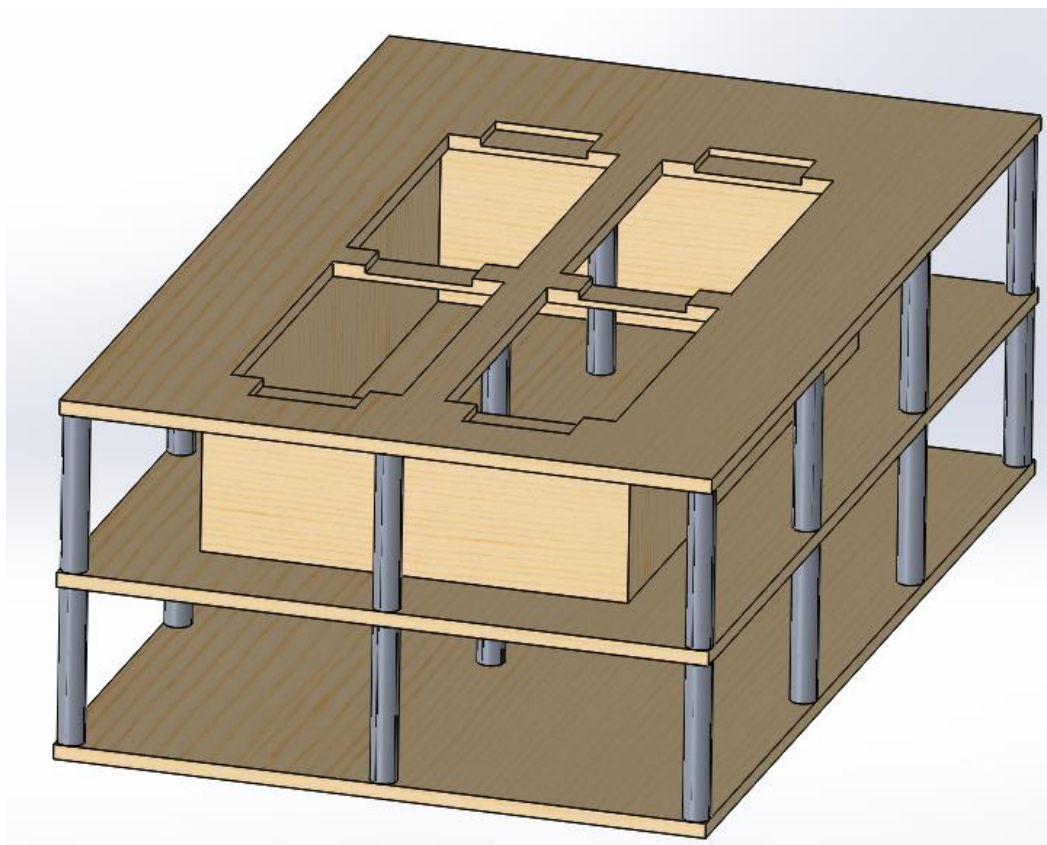


Fig. 7.11 Taula de la màquina. (Elaboració pròpia)

Un cop vist la base, ara s'entra en certs detalls remarcables, principalment, per poder instal·lar la cambra calenta, element que es comentarà a la següent secció. Aquesta cambra és genera mitjançant un calefactor. Per tant, en dissenyar la taula s'ha deixat prou espai

perquè aquests elements entrin dins d'un prestatge. A més, i tal com es veu a la Fig. 7.12, s'ha realitzat una caixa que conté aquest aire calent que sortirà cap amunt tocant la superfície del vidre.

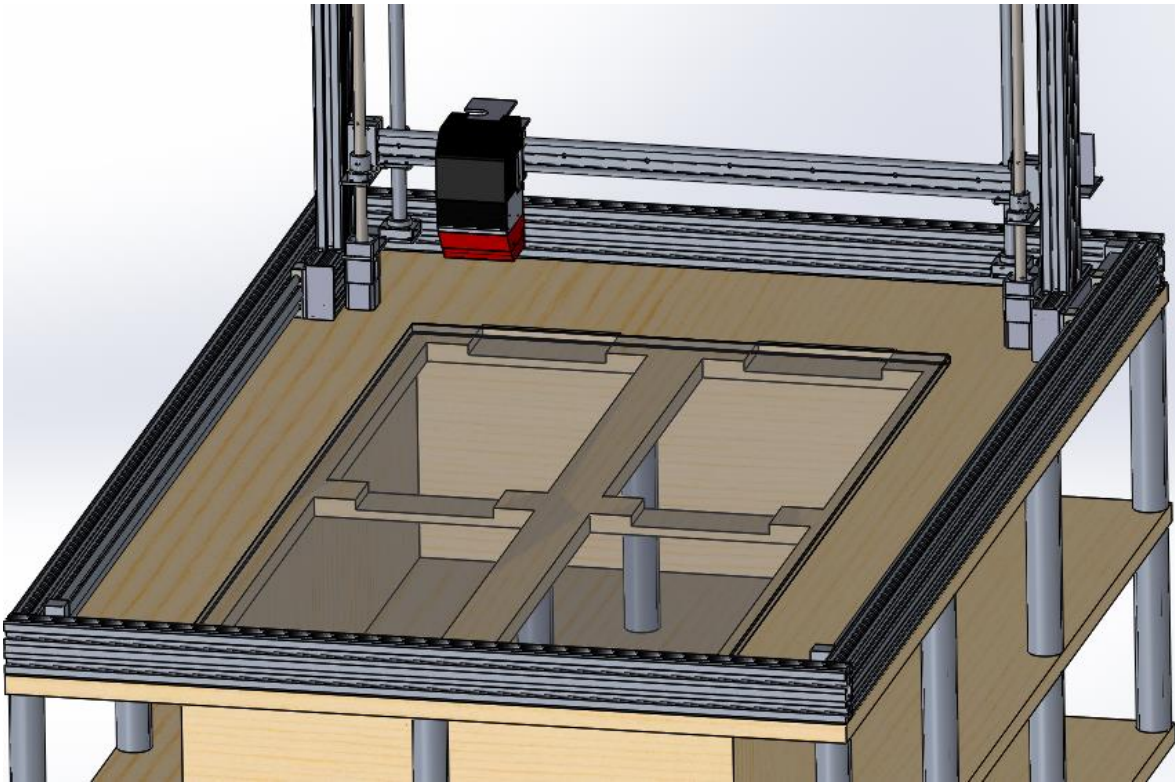


Fig. 7.12 Caixa de vents de la cambra calenta. (Elaboració pròpia)

7.6. Cambra calenta

Tal i com s'ha esmentat, la impressora de referència presenta un llit calent, per tal de millorar l'adhesió de les peces durant el procés d'impressió, i evitant o reduint problemes de refredament irregular. Aquest refredament irregular fa que aparegui un fenomen anomenat *warping*, que és la contracció i deformació d'alguna zona de la peça fent que es corbi i es desenganxi del llit. Aquest fenomen és molt habitual quan es treballa amb ABS i també pot fer la seva aparició quan es treballa amb peces grans de PLA.

Sabent l'existència d'aquest fenomen, només hi ha una solució possible, ja existent en alguna màquina del mercat, i és una idea original d'*stratasys, Inc*: la cambra calenta. Aquesta solució consisteix en un llit calent, però al mateix temps tenir tot el volum de la màquina a una temperatura controlada. Per fer això, cal tancar la màquina per poder crear

aquesta cambra calenta. I, d'aquesta manera, es té tot el volum de control a una temperatura el més elevada possible, per reduir el gradient de temperatures, fet que redueix pràcticament a la seva totalitat els fenòmens de *warping*.

La BCN3D+ presenta un llit calefactat a partir d'una placa PCB (*Printed Circuit Board*) alimentada a 12V. Aquesta solució per a les noves dimensions no és aplicable, pel fet que no es fabriquen aquestes plaques a les dimensions requerides. Per tant, tenint en compte que la base serà de vidre, la selecció de la base o llit calent està al annex C, l'única forma de poder calefactar-la és mitjançant una manta calefactora de silicona, àmpliament utilitzada en el món industrial per calefactar múltiples geometries. Aquesta solució és molt cara i està fora de l'abast econòmic del projecte. És per aquest motiu que s'ha decidit calefactar la base a partir del mateix aire calent que s'utilitzarà per fer la cambra calenta. La forma d'aconseguir això es posant el calefactor sota el vidre o llit i fent passar tot l'aire pel vidre abans que surti cap al volum de la cambra, com es pot observar a la Fig. 7.12. D'aquesta manera, només amb un calefactor es pot tenir la cambra calenta i el llit calent de forma relativament ràpida. Els càlculs són a l'annex D.

Per altra banda, aquesta construcció presenta alguna consideració extra. La primera és el temps de pre-escalfament, que es veurà augmentat considerablement respecte al temps que presentaria amb una manta calefactora. Amb una manta calefactora, el vidre estaria llest per començar a imprimir en 15 min amb una potencia de 1250W, com es pot veure a la Taula 7.1. En canvi, la Taula 7.2 es veu com el vidre tardarà 31 min en escalfar-se. L'altra consideració correspon a la temperatura màxima que podrà adquirir la cambra calenta. Aquest temperatura ve limitada per la temperatura màxima exterior que permeten els motors utilitzats, tot i que els motors poden treballar fins a 80 graus, en el nostre cas no es podrà superar els 55 graus, atès que també cal permetre que es puguin refrigerar tant els motors com els *drivers* que hi ha al seu costat.

Temps d'escalfament			
Potencia (W)	1000	1250	1500
Temps (min)	18,59	14,87	12,39

Taula 7.1 Temps d'escalfament amb manta calefactora. (Elaboració pròpia)

Temps d'escalfament amb aire calent		
Vidre	eficiència	30%
Temps (min)	30,99	
Potència (W)	2000	
Cambrà calenta	eficiència	20%
Temps (min)	7,34	
Potència (W)	2000	

Taula 7.2 Temps d'escalfament amb aire calent. (Elaboració pròpia)

7.7. Tancaments

Un cop vist com amb quin mètode s'aconseguirà aquesta cambra calenta i el temps aproximat de pre-escalfament, només resta veure els tancaments finals per completar aquest capítol. Aquests tancaments o coberta de la màquina han de donar solució a la obertura de la màquina per poder accedir a dins, quan sigui possible fer-ho, i ha de servir al mateix temps d'element per poder posar el material que s'alimenta mentre es du a terme una impressió.

Per aquestes dues especificacions s'ha contemplat fer una coberta en 3 cossos com es veu a la Fig. 7.13: un cos central fixe, on la seva part superior incorpora els suports de material i dues portes que s'obriran cap a dalt com es pot observar a la Fig. 7.14. La realització dels tres elements es farà amb perfil·leria de 40 x 40 procedent del mateix fabricant que la prèviament utilitzada en altres parts.

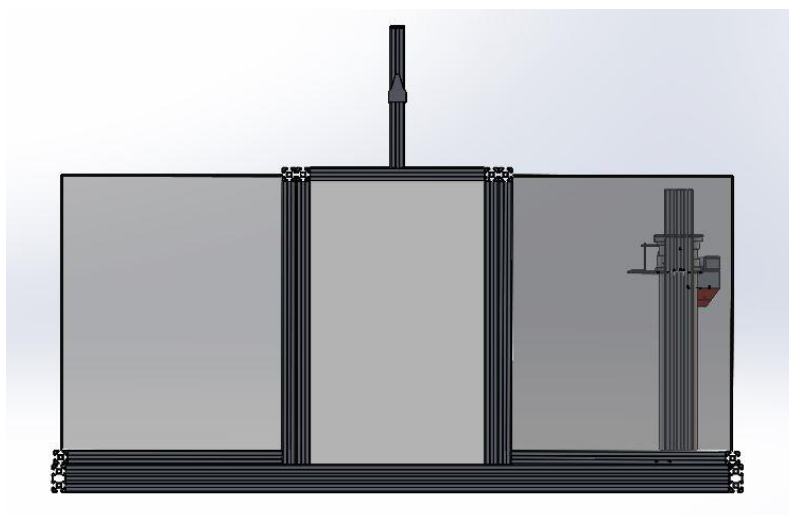


Fig. 7.13 Captura de la coberta tancada. (Elaboració pròpia)



Fig. 7.14 Captura sistema obertura de portes. (Elaboració pròpia)

Entrant en més detall al cos central, s'ha optat en cobrir els espais entre l'estructura en fusta. La raó principal d'aquesta elecció ha estat la mala combinació per situar totes les peces de la coberta en un taulell de PMMA, és a dir, dintre de les mesures a les quals es serveix el material. Sempre hi havia la necessitat de demanar un taulell més per causa de dues peces a realitzar, per això s'ha reduït els metres quadrats necessaris de PMMA, i les peces del cos central s'han substituït per unes de fusta, melamina blanca de 10 mm de gruix.

Pel que fa a les portes, ambdues són iguals i consten d'un marc de la perfil·leria esmentada. La part transparent, com s'ha dit, és de PMMA, de 4 mm de gruix. Les unions entre plaques seran encolades i la unió de les plaques al marc es farà mitjançant uns juntes, subministrades per la mateixa empresa que a subministrat la perfil·leria de la màquina, Alustock. El moviment de rotació sé li dóna per mitjà de tres frontisses, situades a la part superior. Per últim, per tal d'aguantar les portes en una posició elevada s'ha previst un petit sistema de seguretat amb cordes per evitar una caiguda de la porta als usuaris.

7.8. Elecció del Control

7.8.1. Electrònica

Un cop dissenyada la part mecànica, s'ha procedit a definir la part electrònica. En aquest apartat, s'ha adaptat l'electrònica de les impressores existents a les noves mides, i s'han realitzat algunes accions per reduir la possibilitat de fallades.

Prèviament, abans de decidir quina placa base s'escollirà per a la màquina, s'ha fet una prospecció del mercat respecte a quines solucions electròniques presenten les altres màquines. De les impressores que s'han vist es pot distingir dos grups. El primer és el grup que presenten només una sola placa, per tant es té la part de control i la part de potència en una mateixa placa. Per altre banda, hi ha les impressores que presenten dues plaques, un Arduino Mega 2560, com la BCN3D+, o similars, i després una placa de potència acoblada a aquest mateix Arduino. En aquest cas, no es busca cap configuració especial en aquest sentit, simplement la solució que compleixi les condicions de funcionament imposades, tensió de treball 24V, possibilitat de 3 extrusors, i la possibilitat d'instal·lar *drivers* o controladors externs de control dels motors.

Amb les condicions fixades, l'elecció ha estat simple, ja que en el mercat fins al moment de la realització del projecte només hi havia una placa que permetés els tres punts just comentats en el paràgraf superior. Aquesta placa és una placa integrada, és a dir, incorpora la part de potència i la de control en un mateix espai físic. Aquesta placa està dissenyada a Holanda per una empresa dedicada especialment al sector de recanvis i peces per fabricar i reparar màquines RepRap, RepRapWorld [8]. I ja que no s'ha pogut escollir la placa dintre de un ventall de possibilitats, el fet que sigui una de les plaques més utilitzades en aquest món, on la majoria de la gent no té aquestes condicions tan restrictives, fa pensar que serà una bona elecció. En cas d'haver eliminat les restriccions el ventall de possibilitats s'hagués obert per complet i hagués estat possible escollir entre bastantes opcions, on les més utilitzades són la mateixa configuració que du la BCN3D+.

Per acabar de corroborar l'elecció, durant la visita a la fira EUROMOLD, les màquines d'impressió 3D en FDM de gran format que es podia veure l'electrònica anaven amb la mateixa elecció a la qual s'ha arribat. Tota la informació detallada corresponent a la placa queda detallada al annex F.1.

Un cop ha quedat clara placa de control, cal veure amb quins controladors es mouran els motors (*drivers*). Tal i com s'ha esmentat en el capítol de disseny de l'estructura, hi ha dos nema 23 per els moviments del eix Y i sis nema 17 per els extrusors i els altres dos eixos restants. Per tant, es diferenciarà els controladors per als dos nema 23 i els controladors per els 6 nema 17, aquesta diferenciació es deguda a l'alt amperatge que utilitzen els nema 23,

4,2 A de consum nominal. No s'han pogut buscar d'altres característiques, atès que són els motors que ha proporcionat el fabricant de les guies. En canvi, els controladors dels nema 17 s'han pogut buscar amb les millor característiques possibles, un parell de 55 N·cm amb un consum de 1.5 A, és una relació parell consum de les millors del mercat. A part de tenir en consideració el consum dels motors, també s'ha hagut mirar els *microstepping*, donat que és un factor molt rellevant per poder aconseguir la precisió necessària a la màquina. En ambdós casos, tant els nema 23 com els 17 poden treballar amb un *microstepping* de 1/16, tal com treballen la gran majoria d'impressores del mercat fins al moment. Les característiques complertes dels motors estan al annex F.4.

Els controladors seleccionats són, per els divers del nema 23, uns divers de CNC que suporten fins a 7.5A de pic i permet sobradament el *microstepping* requerit. S'ha recorregut a aquesta solució per falta de controladors que aguantessin els 4,2 A tinguessin un *microstepping* de 1/16 com els dels nema 17. Per als nema 17 si que s'ha trobat controladors de les característiques requerides, sense haver de passar a una gamma superior. Les característiques exactes dels controladors s'adjunten en l'annex F.3

Un cop es té la placa base, els controladors i els motors, toca veure com s'alimenta el sistema. Tal i com es pot observar al esquema, Fig. 7.15, s'ha dividit l'alimentació en dues fonts: una primera de 500W a 24V i una segona de 150W a 24V. El motiu de la divisió ha estat la dificultat de trobar a un preu raonable una font d'alimentació que pugues suportar la demanda d'electricitat de tots els sistemes de la màquina. Per tant s'ha dividit l'alimentació en dos, i s'ha fet la següent distinció: tota l'alimentació de motors a la primera font esmentada i l'alimentació de la placa a la segona font. Com es pot observar a l'esquema de la Fig. 7.15, la segona font d'alimentació només alimenta la placa base. El motiu d'això és que la resta d'elements s'alimenten a traves d'ella i, per tant, nomé es requereix l'alimentació directa a la placa. Les fulles de característiques de les fonts d'alimentació són a l'annex F.2.

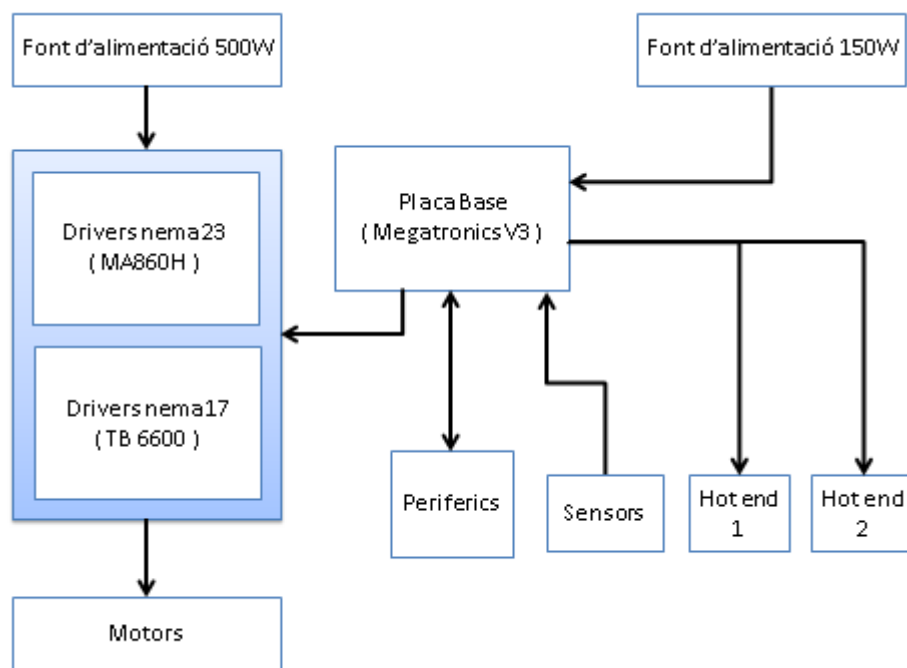


Fig. 7.15 Esquema electrònic. (Elaboració pròpia)

Per continuar ara es comenten els perifèrics que s'han instal·lat, els quals es poden dividir en dos grups: el primer grup consta d'una pantalla LCD i un *keypad* per poder visualitzar i modificar l'estat de la impressió in situ; el segon grup només consta d'una Raspberry Pi B+ per monitoritzar l'estat de la impressora a distància a través de cable de xarxa o WIFI.

Primerament, es comença comentant els perifèrics in situ. El motiu de la seva instal·lació és simplement perquè, amb la utilització de les impressores de l'aula RepRap, es fa totalment indispensable tenir aquest element, a més que permet tenir una impressora sense haver de connectar-la a un ordinador. Aquest dos elements s'alimenten a través de la placa base i mostren l'estat de la impressora, temperatures actuals, estat de la impressió i també mostren si hi ha algun error de connexió entre elements de la màquina.

Per concloure la part dels perifèrics, ara es comenta el perifèric de visió remota. Com s'ha dit és una Raspberry Pi B+, a on se li ha incorporat la Pi càmera i se li ha instal·lat un programa capaç de gestionar la impressora (Octoprint). Aquest dispositiu s'alimenta a 5V a través de una font d'alimentació de mòbil o similar i es connecta a la impressora a través del port USB que incorpora la placa base. El que permet la instal·lació d'aquest element és fer la impressora totalment autònoma durant la impressió permetent controlar a distància els paràmetres principals i veient en tot moment el que està succeint a través de la càmera instal·lada. Com a funció addicional permet fer un *time lapse* que consisteix en fer una

fotografia cada cert temps perquè un cop finalitzada la impressió es pugui muntar per fer un vídeo de com s'ha construït la impressora a càmera ràpida.

7.8.2. Cablejat

Un cop cuidats els aspectes mecànics i electrònics, s'ha de veure com es connecten aquest últims. Abans de entrar-hi en profunditat, cal comentar un parell d'aspectes, el primer dels quals és la compatibilitat electromagnètica. S'ha establert amb l'empresa que no es sotmetrà la màquina a un estudi de compatibilitat electromagnètica ja que, en ser una màquina industrial, no es veu en l'obligació de fer-ho. Però sí que s'ha decidit fer una sèrie d'actuacions per tal de reduir les emissions de la màquina i fer que aquesta mateixa sigui el més resistent possible a possibles sorolls electromagnètics que es poden trobar en el seu lloc de treball. L'altre aspecte que s'ha acordat és la necessitat d'introduir elements de seguretat respecte al subministrament elèctric.

Primerament, es comença pel cablejat. S'ha adoptat la solució d'utilitzar només cables amb pantalla, on totes les pantalles i masses seran connectades a una massa general i aquesta serà connectada a terra. La secció ideal ve determinada per l'Eq. 7.1. i a la Taula 7.3 hi ha el valor ideal per a les diferents zones de la màquina. Aquests valors s'han agafat com a referència, però sense oblidar les seccions estandarditzades del mercat. No s'ha fet distinció entre cables d'alimentació o cables de senyal, simplement perquè la diferència de preu entre una bobina de cable amb o sense pantalla no era significativa en relació al cost d'altres components de la màquina, i, per tant, es va acordar posar tots els cables amb pantalla, fet que permetia aïllar els cables de possibles interferències, i fer que les possibles interferències generades no sortissin al exterior, o si més no, s'esmoreís l'emissió del soroll.

$$Secció = 2 * L * \frac{I}{56} * V * \%Perdues \quad (Eq. 7.1)$$

	Secció cables		Formula	2 x L x I/56 x 0,72	
	L (m)	I (A)	Tensió (V)	Pèrdues	Secció (cm2)
nema 23	5	5	24	3%	0,643
nema 17	6,5	1,5	24	3%	0,251
Catridge	6,5	1,7	24	3%	0,284
Control	6,5	1	5	1%	0,012

Taula 7.3 Secció ideal dels cables. (Elaboració pròpia)

7.8.3. Proteccions

A continuació s'explica la seguretat davant el subministrament elèctric. En aquesta part s'ha tingut en compte la protecció dels elements i de les persones. Per tant, s'ha hagut d'instal·lar tres elements: una protecció per sobretensió, per tal de protegir tots els elements de la màquina en cas de una eventual sobretensió de la xarxa, un ICP (interruptor de control de potència) com a control de la potència consumida per la màquina (en cas de més consum es desconnecta automàticament) i, per últim, un interruptor diferencial per tal de protegir els usuaris. La col·locació dels elements i la definició queda establerta en el REBT [9]. En aquest cas, i seguint el REBT, s'ha instal·lat una protecció per sobretensió tipus c de 25 A amb poder de tall de 6KA, un ICP de 16A amb poder de tall de 4.5KA i un interruptor diferencials de 40A amb una sensibilitat de 30 mA. L'ordre d'instal·lació és el mateix en que s'han esmentat.

Cal recalcar que REBT no especifica les proteccions per a una màquina. Ara bé, en aquest cas s'ha decidit considerar la màquina com una vivenda o similar i la xarxa de l'empresa com la xarxa que arriba a la casa. D'aquesta manera, ha estat possible utilitzar les pautes del REBT per establir les proteccions i els seus rangs.

7.9. Programació de la màquina

7.9.1. Introducció

En aquest apartat es veuen les adaptacions i modificacions realitzades al *firmware* de referència per tal d'adaptar-lo a les noves dimensions i a algunes funcions extres. És per això que, primer, es dedica un espai a donar unes pinzellades bàsiques per poder seguir el procediment dut a terme.

La placa base de la màquina, com s'ha dit anteriorment, és una Megatronics V3. Aquesta placa està comandada per un *firmware* anomenat Marlin. Aquest *firmware* és totalment lliure i obert, per tant cada fabricant i/o cada usuari hi fa la seva adaptació, tant de funcions principals com de funcions extres entre d'altres. En aquest cas primer s'ha instal·lat el *firmware* que subministra el fabricant de la placa, ja que per veure si la màquina funciona bé o no, no cal modificar res més que les dimensions de la màquina i la posició dels detectors de final de carrera, la resta tot és perfectament vàlid.

Els primers passos a realitzar són de calibratge de la màquina, passos que es duren a terme en la fase de construcció. Per dur a terme el calibratge s'ha de procedir de la següent forma: introduir els valors teòrics al *firmware*, dimensions de la màquina, passos per mil·límetre, numero d'extrusors, entre d'altres. Un cop introduït els valors i carregat el *firmware* a la màquina s'ha de procedir a l'ajust dels passos per mil·límetre. De forma iterativa es va

comprovant que la distància que se li demana que es mogui a la màquina es compleixi i, en cas que no, mitjançant una regla de tres es van ajustant els valors. Un cop comprovat que tots els altres valors estan ben introduïts ja es pot procedir en el funcionament normal de la màquina.

7.9.2. Histèresi

El primer aspecte modificat ha estat la necessitat d'introduir uns paràmetres extres que no du el *firmware* instal·lat, i, en canvi, sí que du la BCN3D+. S'ha parlat de la introducció de la histèresi en el comandament dels motors. El propòsit d'aquest paràmetres és introduir un retard als motors que és necessari per tal de sincronitzar a la perfecció els moviments i així aconseguir que la impressora faci bé les circumferències i ompli com és degut les peces. En aquest cas, és necessari, ja que es té dos tipus de motors diferents. Per tant, la seves inèrcies són diferents i, conseqüentment, la seva acceleració i la seva desacceleració també són diferents. En aquest punt és on entra aquest paràmetre, que ajuda a poder sincronitzar la coordinació entre els moviments dels dos eixos pertinents, X i Y.

Per tal d'introduir la histèresi, s'han portat a terme dues actuacions, la primera, que no ha estat satisfactòria, s'ha fet amb el *firmware* de la Megatronics V3. S'ha introduït les carpetes necessàries per implementar el paràmetre, provinents del *firmware* de la BCN3D+, i, en les carpetes ja existents, s'ha afegit la crida al nou subprograma. Duent a terme proves amb aquest *firmware* s'ha observat que el paràmetre no actua, tot i compilar i no donar cap error de tipus sintàctic. Per tant, hi ha un error que no s'ha aconseguit detectar.

Un cop vist que la prova no funcionava s'ha canviat d'estratègia. Aquesta vegada s'ha agafat el *firmware* de la BCN3D+ i s'ha modificat perquè pugui funcionar a la placa en qüestió. La modificació en aquest cas ha estat més senzilla, ja que només ha calgut modificar la carpeta pins.h. Aquesta carpeta té la definició de pins de múltiples plaques compatibles amb el *firmware* però la Megatronics V3 no hi està introduïda. Com a conseqüència, s'ha introduït la configuració de pins i ja es té el *firmware* de la BCN3D+ preparat per poder utilitzar sobre la Megatronics V3. Fent les proves pertinents s'ha vist que aquest *firmware* funciona correctament i el paràmetre de la histèresi no presenta cap problema.

7.9.3. Detecció final de material

Un cop es té el *firmware* operatiu i funcionant es pot començar a afegir funcions que no estan incorporades. En aquest cas, cal dotar la màquina de control del material, per no malmetre les impressions de llarga durada. Per afrontar aquest repte hi ha varies vies possibles, i, més concretament en, el present projecte se n'han valorat dues. La primera era la compra i adaptació d'un element de control de filament que permet saber si el material

s'ha obturat i si hi ha o no material. Aquesta primera opció s'ha descartat pel fet que suposava una inversió en un altre element, a més de que implicava una adaptació del codi.



Fig. 7.16 Suport bobines. (Elaboració pròpia)

La segona manera d'incorporar la detecció de material consisteix en realitzar aquest sensor amb dos finals de carrera, un per a cada bobina de material. És a dir, tal i com es pot veure a la Fig. 7.16, per mitjà d'unes molles que a mesura que es descarreguin de pes van pujant, i es situa l'*endstop* a una altura que prèviament s'ha calibrat amb una bobina en buit. El gran avantatge d'aquest sistema és la seva senzilles i, sobretot, que aquest *endstop* ja extreu una senyal digital. Aquest fet i que la placa té 4 entrades digitals sense determinar facilita la feina a l'hora d'activar o no el canvi de material.

Ara només cal veure què implica això a l'hora de programar. Prèviament, cal comentar que la funció de canvi de material ja ve implementada al *firmware*. És per aquest fet que només cal la introducció d'unes poques línies de codi per aconseguir l'objectiu, només cal assignar una definició de pins per declarar que els pins pertinents són senyal digital d'entrada, i dintre d'un bucle escriure les línies de codi que fan la comprovació de si hi ha fil o no i, en cas negatiu, activen la funció M600. La introducció del codi perquè realitzi la funció consta de dues parts. La primera és la definició dels pins d'entrada de senyal, dintre de la secció void setup () situat a la carpeta marlin_main.cpp. Són les dos línies de codi destacades la Fig. 7.17.

```
// loads data from EEPROM if available else uses defaults (and resets step acceleration rate
Config_RetrieveSettings();

tp_init(); // Initialize temperature loop
plan_init(); // Initialize planner;
watchdog_init();
st_init(); // Initialize stepper, this enables interrupts!
setup_photpin();
servo_init();
pinMode(49, INPUT);
pinMode(48, INPUT);

lcd_init();
_delay_ms(1000); // wait 1sec to display the splash screen

#if defined(CONTROLLERFAN_PIN) && CONTROLLERFAN_PIN > -1
  SET_OUTPUT(CONTROLLERFAN_PIN); //Set pin used for driver cooling fan
#endif
}
```

Fig. 7.17 Definició del pins d'entrada per a la detecció de material. (Elaboració pròpia)

La segona, un cop es tenen definits els pins d'entrada, consisteix a introduir la funció que farà que comprovi si hi ha material, periòdicament. Per fer això, dins la mateixa carpeta, marlin_main.cpp, però canviant a la secció void loop (), s'introdueix un condicional que en cas de lectura positiva d'un dels dos pins definits d'entrada, executa la funció de canvi de material, M600. El codi introduït es veu a la Fig. 7.18

```
//check heater every n milliseconds
manage_heater();
manage_inactivity();
checkHitEndstops();
lcd_update();

int final_bobina_1 = digitalRead(49);
int final_bobina_2 = digitalRead(48);
if (final_bobina_1 == 1)
{
  enqueuecommand(PSTR("M600 X0 Y0 Z2 E5 L30"));
  enqueuecommand(PSTR("M117 Canvia material extrussor 1"));
}
if (final_bobina_2 == 1)
{
  enqueuecommand(PSTR("M600"));
  enqueuecommand(PSTR("M117 Canvia material extrussor 2"));
}
}
```

Fig. 7.18 Definició del condicional de comprovació de material. (Elaboració pròpia)

Un cop amb aquestes línies de codi introduïdes, el *firmware* ja està preparat per tenir operatiu el canvi de material en funció del pes que queda a la bobina. No cal realitzar cap acció més a part de connectar els dos finals de carrera en el conjunt d'entrades auxiliars de la placa.

7.10. Seguretat

En tractar-se d'una màquina per a ús industrial, no es pot deixar de banda el compliment de la Directiva 2006/42/CE de seguretat de les màquines [10]. Aquest document para especial atenció a la seguretat de la màquina, en qualsevol de les seves fases: muntatge, transport, mantenició, etc.

D'altra banda, la gran majoria d'aquests aspectes els hauria de tenir en compte l'empresa que construeix la màquina, proveint-se d'útils i elements de seguretat que els permetés construir i transportar, entre d'altres, amb seguretat. Ara bé, un cop la màquina la té l'usuari final, aquest ha de tenir les eines per utilitzar la màquina de forma correcta i per evitar possibles situacions de perill. És en aquest punt on la directiva classifica les següents mesures segons la seva prioritat.

Primera prioritat – Mesures de disseny inherent segur

Segona prioritat – Mesures tècniques de protecció

Tercera prioritat – Informació als usuaris

Referent a la primera prioritat, s'ha dissenyat tot els elements que han estat possibles perquè ja no presentin cap perill. Totes les platines i elements fabricats s'han dissenyat per complir la seva funció, al mateix temps que s'han adaptat per tal d'evitar talls i qualsevol altre perill a l'usuari, sense oblidar tots els elements elèctrics que estan situats i protegits per a que ningú usuari pugui patir cap tipus de perill. Ara bé, en tractar-se d'una màquina, aquesta es mou i té zones de temperatura elevada. Per tant, hi ha certs riscos que no es poden evitar amb aquesta prioritat i s'ha de passar a la segona.

La segona prioritat consisteix en dotar de mitjans tècnics per reduir el màxim que es pugui l'exposició als perills, tenint com a objectiu el risc 0. Amb aquesta consideració, s'ha dotat d'un tancament a la màquina, per evitar que ningú pugui patir un accident mentre la màquina està funcionant i/o hi hagi una situació excepcional de perill.

Per la reducció del risc en cas de situació excepcional, s'ha dotat la màquina amb un botó de parada d'emergència, perfectament visible i a l'abast del usuari, com estableix la directiva. En canvi, en una situació de funcionament normal el tancament és el l'element que

proporciona la seguretat. Ara bé, aquest ha de ser mòbil per poder accedir a l'àrea d'impressió per extreure les peces. Per tant, s'ha d'assegurar que, en cas d'obertura d'alguna de les portes, la màquina no suposa un risc per l'usuari. Aquest fet es pot assegurar incorporant sensors de porta, i la forma més desitjable per afrontar la parada de la màquina en cas d'obertura de portes és que, en cas d'una obertura, la màquina es pari, vagi a zona segura i es quedi en repòs. Ara bé, tot i que això és possible de programar, no és del tot efectiu atès el fet que, quan la màquina està operant, si se li dóna l'ordre de parar, para un cop ha acabat el conjunt de línies de codi que està executant, es a dir, la parada no és instantània ni quasi instantània.

És per això que, tant sigui una parada d'emergència com una obertura de portes, les dues casuístiques es tractaran com una parada d'emergència. La instal·lació dels dos sensors de porta i del boto d'emergència seran tres extensions del botó que ja du la placa, i que la mateixa placa ja té la opció de connectar una extensió a aquest element.

Per últim, cal tractar els elements de prioritat tercera. Aquí, principalment, es tractar d'avisar al usuari de les zones amb perill i en que, mitjançant les altres dues prioritats, no ha estat possible reduir a 0 el risc. Es tracta, en aquest cas, de les zones calentes de la màquina. En situació de funcionament no hi ha cap risc; en canvi, en pre escalfament o períodes de posada en marxa i canvi de material, aquests zones estan calentes i l'abast de l'usuari. És per això que cal advertir-lo mitjançant pictogrames i/o símbols.

8. Construcció del prototip

En aquest apartat, es passa a comentar el problemes trobats durant la construcció i posada en marxa de la màquina. Tots els problemes sorgits han sortit un cop tota la màquina s'ha posat en marxa. Per tant, el muntatge no ha donat cap problema, ja que prèviament s'han utilitzat els muntatges virtuals del programari Solidworks per comprovar qualsevol tipus d'error o interferència derivats d'un mal disseny de forma. La imatge de la màquina és la Fig. 8.1. També cal fer esment que durant la fase de construcció es va batejar la màquina com a Epic Printer.

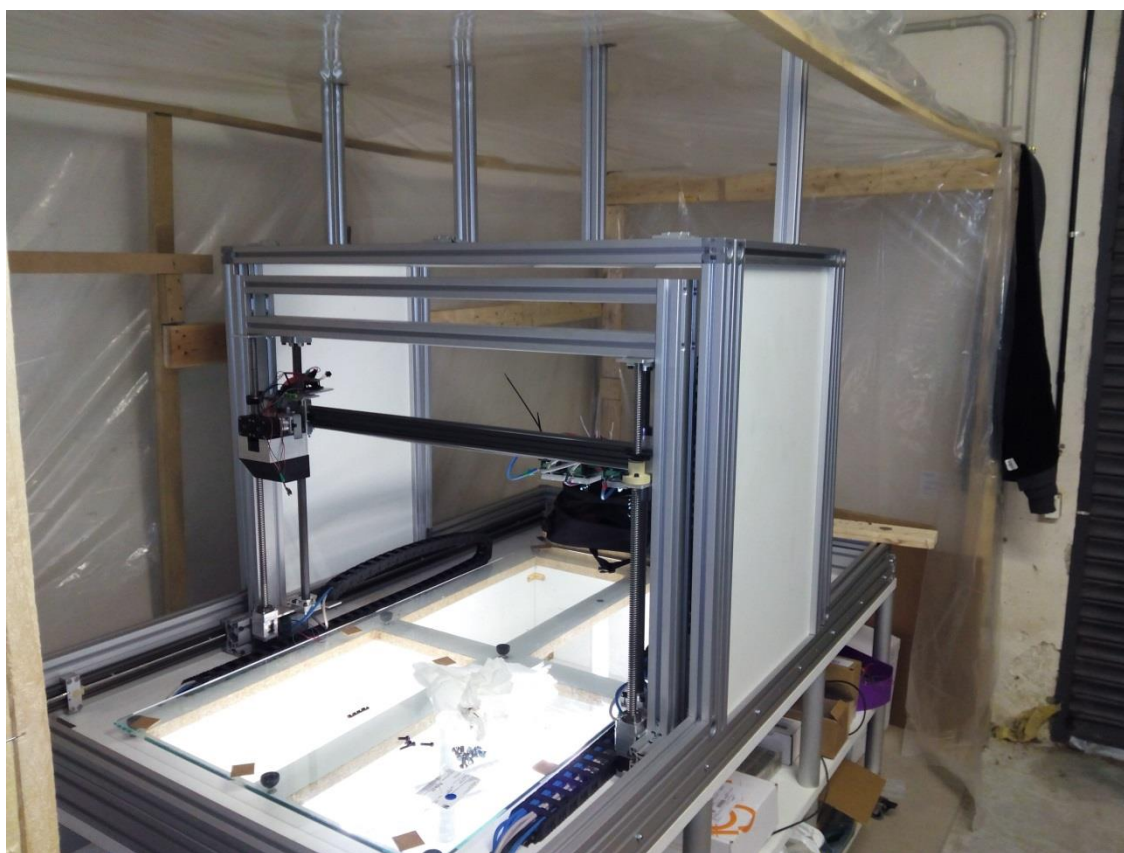


Fig. 8.1 Màquina muntada. (Elaboració pròpia)

8.1. Pòrtic, Eix Z i X

En primer lloc, s'explica l'eix Z. En aquest eix ha sorgit un problema greu a causa de la gran quantitat de cables que du la corretja porta cables instal·lada, fent així moment a les platines, de tal manera que el coixinet de fricció encarregat del guiatge es travava i no permet elevar l'eix. La solució adoptada ha estat canviar els coixinets de fricció per uns el

doble de llargs. A més a més, s'ha decidit substituir el guiatge d'acer per un d'alumini per optimitzar la fricció entre el coixinet i la guia. En canvi, l'eix X no ha presentat cap problema hi ha funcionat correctament des de el primer moment.

8.2. Eix Y

A continuació es comenta l'eix Y, una de les parts més crítiques de la màquina. Abans d'esmentar els problemes detectats, convé parlar de la precisió del muntatge, perquè durant el procediment de col·locació del pòrtic al subxaxis les mides van coincidir a la perfecció, i l'accionament manual era òptim. Per tant, els possibles problemes de enclavament per errors de construcció es van reduir. Tot i així, el guiatge va presentar problemes, concretament n'ha presentat dos. El primer és la diferència de parell entre els dos motors, fent així que, tot i reduir les possibilitats de travar la màquina, aquest aspecte hagi aparegut; l'altre problema observat és el lliscament de les politges que transmeten el moviment dels cargols de pas ràpid. Aquest fet impossibilita poder moure la màquina a velocitats de funcionament adients i, sumat amb el primer problema comentat, representen un greu inconvenient. Per últim, s'ha observat un vinclament excessiu per part del cargol de pas ràpid.

La causa del problema de les politges és l'ús de politges còniques, es dir, la unió de la politja amb l'eix es té mitjançant un cargol cònic que va fent pressió a mesura que es cargola. I, a la vista dels resultats, aquesta pressió és insuficient per suportar el parell aplicat. La causa del clavament, a part de la diferència de parell entre els dos motors nema 23, també és un excés de fricció en un dels dos costats, el motiu del qual no s'ha pogut determinar, tot i que tot indica que és per problemes dels coixinets de fricció de les platines que uneixen el pòrtic amb el guiatge. I, referent al problema dels problemes de vinclament detectats, la causa n'és el pes propi del cargol. Aquest presenta una longitud molt gran i, per tant, en haver-hi tanta distància entre els dos punts de suport, el cargol presenta un excés de vinclament.

Amb els problemes detectats, així com el seu origen, s'ha concretat una reunió amb el fabricant per esmenar-los. Fruit de la reunió es va acordar que es farien les següents actuacions.

1. Substitució de les unions per cargols cònics per unions per interferència mecànica, per tal d'evitar el lliscament de les politges,
2. Comprovació dels motors i substitució del motor defectuós.
3. Correcció dels problemes de vinclament pel pes propi del cargol de pas ràpid, mitjançant uns carros mòbils que l'obligaran a estar en la posició òptima.

Un cop substituït el motor defectuós i arreglades les unions de les politges, l'eix Y continua presentant problemes. El primer és un *backlash* conseqüència de tres elements. El més important, és el joc que fa la corretja a l'hora de canviar de direcció, es a dir, a l'hora de canviar la tensió a l'altre costat. Tot i així no, és l'únic origen de aquest *backlash*, també hi entra aquí el joc entre el cargol i la femella i el vinclament del cargol. El segon problema és un problema de parell motor, que sorgeix a mesura que s'escalfa el sistema i l'eix Y perd passos. La causa d'aquest problema és la utilització d'un motor de potència insuficient. El nema subministrat per l'empresa Icus entrega un parell de 1,7 Nm a 24V a *fullstep*. El problema rau en que la màquina treballa a un *microstepping* de 1/16 i ,per tant, el parell real que proporciona el motor no se sap quin és, però sí que es sap que, a major *microstepping*, més resolució, més suau va el motor, però menor parell dóna. Les accions realitzades per intentar resoldre aquests problemes es detallen a continuació.

1. Substitució dels nema 23 per els nema 23 XL que donen 3 Nm en condicions nominals.
2. Substitució de la corretja per una de reforçada per reduir al mínim la flexió que presenta en els canvis de direcció.
3. Utilització d'un post processador per tal de modificar els g.code i d'aquesta manera reduir a 0 el efecte *backlash* tant del eix Y, que és el que presenta problemes, com el de l'eix X en cas que els presentés.

8.3. Proves de validació

Un cop realitzats els canvis, s'ha procedit a la realització d'altres proves per veure l'evolució de la màquina, i s'ha vist que ja no presenta descoordinació entre els eixos X i Y, i que els nous motors poden moure perfectament el pòrtic. Per tant, aquestes noves mesures adoptades han resolt el que era esperat. Tot i haver-hi certs problemes a resoldre, es va realitzar una prova d'impressió per veure si la màquina era capaç d'imprimir. A més a més, aquesta mateixa prova va ser la primera impressió de més d'un dia, cosa que permetia provar la fiabilitat de la màquina en peces grans. La Fig. 8.2 mostra la prova d'impressió realitzada. La peça provada combinava una dimensió respectable (780 x 200 x 40 mm) i múltiples formes per veure el comportament de la màquina. Tal i com s'observa, la prova no va ser del tot satisfactòria per un problema de calibració. Tot i així, es va considerar que la impressora ja era operativa. La màquina era capaç d'imprimir peces grans i havia la passat la primera prova de resistència temporal.

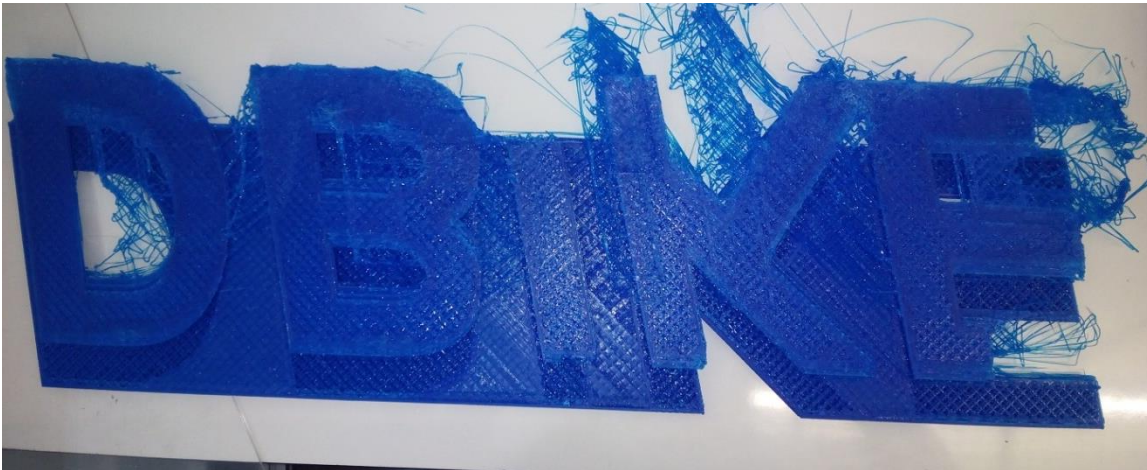


Fig. 8.2 Primera prova d'impressió de llarga durada. (Elaboració pròpia)

Tot i haver imprès, a la màquina encara li queden problemes a solucionar, especialment les vibracions a baixa velocitat. La màquina presenta un perfecte funcionament a alta velocitat, però en les primeres capes, quan se li demana reduir la velocitat per obtenir una adhesió perfecta, apareix el fenomen de la vibració. S'ha detectat que aquesta vibració prové del eix Y i té repercussió a tot el pòrtic, fent vibrar el capçal d'impressió. Aquest fet fa que, a l'hora de dipositar el material, quedi reflectida aquesta vibració i, en conseqüència la impressió no quedi tant bé com caldria esperar. Per resoldre aquest problema cal redissenyar les platines del pòrtic i modificar els patins del eix Y. En tractar-se d'unes modificacions majors queden fora del present projecte i es passa a tractar-les en el següent punt, propostes de futur. D'altra banda, cal remarcar que, tot i les vibracions la màquina, aquesta ha imprès i, per tant, l'objectiu de tenir una màquina operativa està aconseguit.

9. Propostes de futur

En aquest apartat es presenta el full de ruta per a properes modificacions i/o prototipus, per tal de millorar la primera versió presentada en aquest projecte. En aquest apartat es tracten els problemes per seccions, tal i com s'ha fet per dissenyar-la.

9.1. Estructura

Veient el comportament del primer prototipus, es pot arribar a la conclusió que el sistema de pòrtic adoptat és una solució molt vàlida, ara bé, en aquest cas s'ha de tenir especial cura en el guiatge, el principal error del prototip ha estat la elecció d'un guiatge per coixinets de fricció. Aquest tipus de guiatge seria totalment vàlid per a una impressora de menor dimensions, i conseqüentment de menors esforços, però en les dimensions que s'han tractat en el present projecte és un sistema que resta precisió i suavitat a l'hora de funcionar.

Entrant en l'eix Z, aquest eix és el que necessita un major redisseny. Tal i com s'ha comentat en el apartat de problemes, el gran nombre de cables que van al pòrtic genera un moment extra fent que la platina sigui fàcilment blocable si no s'acciona l'eix Z en total sincronització i calibració. Per tant, per evitar aquest problema la solució passa per posar un doble guiatge i, al mig de les dues guies, posar el cargol trapezoïdal encarregat de moure l'eix, d'aquesta manera, el cargol queda alliberat de qualsevol força extra i presentaria un moviment més fi al mateix temps que és menys sensible a vibracions. Un cop comentades les modificacions del sistema de l'eix Z també convé esmentar la recomanació en substituir el nema 17 encarregat de moure el eix per un nema 23, canviant la seva situació respecte el prototip.

Respecte a l'eix X, un cop vist el prototip en funcionament s'ha vist que la situació del centre de masses del carro no està en una posició desitjable, no és un problema greu, però sí que és un aspecte més a millorar, en noves versions aquest centre de gravetat hauria d'estar centrat, per evitar l'aparició de moments en direccions no desitjades. També esmentar que la substitució del nema 17 per un nema 23 seria altament desitjable. Aquest canvi es més enfocat per tal de compensar el problema d'inèrcies entre l'eix X i Y degut a la diferència entre motors. Posant els mateixos motors és podria augmentar la velocitat de la màquina i milloraria la sincronització dels dos eixos.

En l'últim dels eixos a tractar, en ser l'eix que ha sofert més canvis i proves, ja han quedat resoltos la gran majoria de problemes. Ara bé, sense modificar el guiatge d'aquest eix, que seria el més recomanable, el principal aspecte a millorar són les dimensions del carro o platina. Actualment, té un carro de 200 mm de llarg i, tal i com s'ha comentat, seria

recomanable substituir-lo per un de dimensions majors, per reduir en la mesura del possible les vibracions que es generen.

9.2. Electrònica

Primerament, cal fer una especial menció al correcte funcionament de l'electrònica instal·lada. És totalment vàlida i no ha presentat cap problema, però en aquestes dimensions de màquina es té un producte que està entre mig d'una màquina industrial i una impressora de sobretaula, té elements de les dues parts. Per tant, el full de ruta a seguir seria professionalitzar la màquina i convertir-la totalment en una màquina industrial, controlada per mitjà d'un PLC, fet que facilitaria la introducció de més elements de seguretat i li donaria robustesa.

9.3. Acabats

Per últim, tot i que són aspectes que no afecten en el funcionament de la màquina, els acabats donen la imatge final i projecten o no confiança a l'usuari. Per tant, una imatge cuidada i en línia respecte el productes que es presenta és essencial per transmetre confiança l'usuari de el que té present davant seu és una bona opció. Dit això, el prototip presentat s'ha intentat cuidar la imatge dintre les possibilitats que s'han disposat. És per aquest fet que es considerarà necessari continuar treballant en aquest camp per millorar l'aspecte de la màquina.

10. Estudi econòmic

10.1. Pressupost del projecte

Els costos del present projecte es divideixen en tres tipus: cost del software, cost de personal i cost energètic total. Per tant a continuació es comenten cadascun d'aquests costos. I es comença pel cost de personal. La distribució de les setmanes de desenvolupament del projecte és a la Taula 10.1.

Taula 10.1 Distribució setmanes de desenvolupament. (Elaboració pròpia)

Desenvolupament	Setmanes
Formació	4
Disseny preliminar	4
Disseny i càlcul	4
Electrònica	4
Desenvolupaments pressupostos	8
Escriure memòria	4
Redisseny i solucions	8
Altres	4
Total setmanes	44

Per tant, el cost de personal es detalla a la Taula 10.2

Taula 10.2 Cost de personal.(A) (Elaboració pròpia)

Setmanes	Hores setmanals (h)	Preu (€/h)	Total (€)
44	35	20	30800

Per la part corresponent al software, els costos es detallen a la Taula 10.3.

Taula 10.3 Costos associats al software (B). (Elaboració pròpia)

	Valor (€)	Vida útil(h)	Hores	Total (€)
Paquet Office	120	1800	900	60,00
Soldiworks	10000	1800	900	5000,00
Ansys	0	1800	30	0,00
Total				5060,00

Per la part corresponent al consum elèctric, els costos es detallen a la Taula 10.4.

Taula 10.4 Costos associats al consum elèctric (C). (Elaboració pròpia)

	Potencia (kW)	Hores de funcionament (h)	Energia (kWh)	Preu energia (€/kWh)	Total (€)
Impressora 3d	0,5	600	300	0,15	45
Ordinador	0,35	900	315	0,15	47,25
Pantalla	0,1	900	90	0,15	13,5
Total					105,75

Un cop vist per capítols els costos associats al projecte només roman la presentació del costs total del projecte, el qual es presenta a la Taula 10.5.

Taula 10.5 Cost total del projecte. (Elaboració pròpia)

Concepte		Total (€)
cost total (D)	(A)+(B)+(C)	35965,75
Imprevistos (E)	15% de (D)	5394,86
Total AI (F)	(D)+(E)	41360,61
IVA (G)	21% de (F)	8685,73
Total DI	(F)+(G)	50046,34

10.2. Pressupost del prototip

Pel que fa al cost de muntatge del prototip es consideren dues parts: el cost de la mà d'obra i el cost del material. El material queda desglossat a la Taula 10.6. La part del guiatge s'ha adquirit amb descompte per a projecte universitari.

Taula 10.6 Cost del material del prototip. (Elaboració pròpia)

Cost del material (€)	
Estructura	1478,02
Guiatge	1096,17
Electrònica	1342,64
Altres	623,07
total	4539,88

Per el que fa a la distribució de dies de muntatge, es pot observar com estan distribuïts en la Taula 10.7.

Taula 10.7 Distribució dels dies de muntatge. (Elaboració pròpia)

Muntatge màquina	dies
Taula + vidre	1
Estructura	2
Porta cables i cables	1
Conexionat	2
Calibrat	2
Coberta + acabats	2
Total muntatge	10

Per tant, el cost de personal associat al muntatge es presenta a la Taula 10.8

Taula 10.8 Cost de personal. (Elaboració pròpia)

dies	hores diàries (h/dia)	Preu (€/h)	Total (€)
10	8	20	1600

Per tant el cost total del prototip és el presentat a la Taula 10.9.

Taula 10.9 Cost total prototip. (Elaboració pròpia)

Epic Printer (prototip)		
Cost material	4539,88	€
Cost mà d'obra	1600,00	€
IVA	1289,38	€
Total	7429,26	€

10.3.Pressupost de la sèrie

Tot i que el prototip sol tenir un cost major que la sèrie, en aquest cas no és així, donat els descomptes especials que hi ha hagut en el guiatge de la màquina. Per tant, en la Taula 10.10 es pot veure el cost real del material de la màquina. També cal remarcar que la construcció d'aquesta no és apta per a qualsevol operari, ha de ser un operari qualificat (38 €/h).

Taula 10.10 Cost del material. (Elaboració pròpia)

Cost del material (€)	
Estructura	1478,02
Guiatge	1534,63
Electrònica	1342,64
Altres	623,07
Total	4978,35

A continuació es presenta el cost en mà d'obra associat al muntatge d'una màquina.(Taula 10.11)

Taula 10.11 Cost de personal. (Elaboració pròpia)

Dies	Hores diàries (h)	Preu (€/h)	Total (€)
10	8	38	3040

Per tant, per concloure el cost de fabricació d'una impressora queda reflectit a la Taula 10.12.

Taula 10.12 Cost total en cas de produir en sèrie. (Elaboració pròpia)

Epic printer (serie)		
Cost material	4978,35	€
Cost mà d'obra	3040,00	€
IVA	1683,85	€
Total	9702,20	€

11. Impacte ambiental

Tota activitat té associats elements que interactuen amb el medi ambient, tant sigui de forma beneficiosa o adversa, i aquests elements s'anomenen aspectes mediambientals. La directiva 85/377/CE del 27 de juny de 1985, [11], d'Avaluació d'Impacte Ambiental, és l'encarregada de donar les directrius per valorar tots aquest aspectes.

Previ al anàlisi dels aspectes ambientals es pot observar la relació entre els diferents aspectes, el seu possible impacte i el medi ambient a la Taula 11.1.

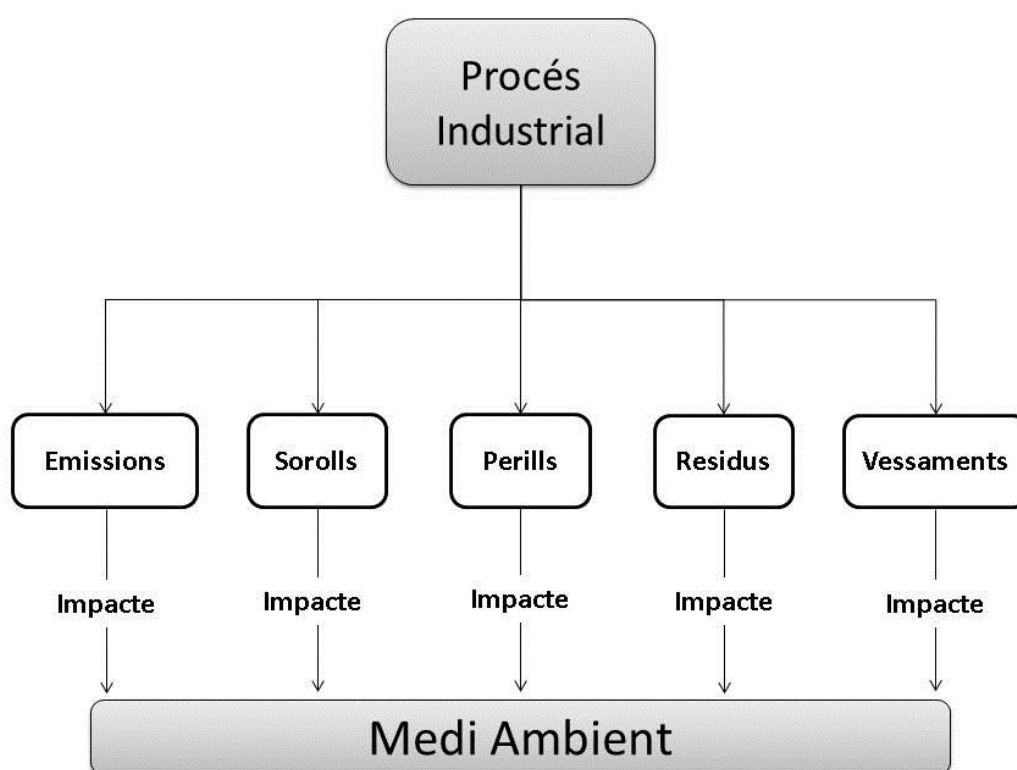


Fig. 11.1 Relació entre els actors d'un procés industrial que interactuen amb el medi ambient.

(Elaboració pròpia)

A continuació s'expliquen les principals emissions, residus sòlids, abocaments i soroll provocats pel present projecte. En tot els casos, s'ha considerat, d'una banda, la realització del propi i, de l'altre, la fabricació de la màquina.

11.1. Emissions

Començant per la part pertinent al projecte, per al càlcul d'emissions s'ha tingut en compte el consum és de 705 kWh (veure pressupost) i el mix energètic del 2014 [12], 114 gCO₂/kWh. Per tant s'obté 80,37 kg en emissions de diòxid de carboni.

Corresponent al funcionament de la màquina, es té instal·lada una potencia de 2500W entre tot els elements, però per avaluar correctament el consum de la màquina no és pot fer amb la potencia total instal·lada, ja que la totalitat de la potencia només és requerida en poques situacions. S'ha estimat que en un us normal el consum de la màquina esta entre el 50 i el 60 per cent de la potencia total.

D'altra banda, s'estima que la màquina estarà activa el 70% de les setmanes hàbils, tenint en compte que treballarà els caps de setmana, es pot extreure que el nombre d'hores anuals treballades serà de 5292 hores. Amb el consum extret de 1500W i les hores que s'estima que treballarà, es te un consum d'energia de 7938 kWh. s'obté un valor de 904,93 kg en emissions de CO₂.

11.2. Residus

Començant pels residus generats en la realització del projecte, a part del material d'oficina utilitzat i degudament separat i reciclat, es pot entendre com a part d'aquesta fase les peces de prova impreses en 3D, de PLA. Aquestes han estat degudament classificades i reciclades i, en ser de PLA, l'impacte pertinent de l'obtenció del material és clarament inferior a altres materials imprimibles, donada la seva procedència biològica.

Per el que correspon a la utilització de la màquina, tal i com s'ha comentat, el material que és capaç d'imprimir és PLA. Per tant, el seu impacte és menor al d'altres plàstics, per el seu origen biològic. Pel que fa al apartat de manteniment, la màquina no requereix lubricació ni altres elements que puguin tenir un perill potencial per el medi.

Per últim, s'ha de considerar els residus generats durant la producció d'energia utilitzada, provinent de l'ús de combustibles de naturalesa radioactiva. 0,263 mg/kWh de residus d'alta activitat (Comissió Nacional del Mercat i la Competència), tant en la realització del projecte com en la utilització de la màquina. Aquests càlculs també s'han realitzat a partir del mix energètic. A la es presenten els valors.

Residus d'alta activitat			
Projecte	705 kWh	185,42 mg	
Funcionament Maquina	7938 kWh	2087,69 mg	

Taula 11.1 Residus d'alta activitat provocats per la generació d'energia. (Elaboració pròpia)

11.3. Abocaments

Tant en la fase del projecte com en la utilització de la màquina, els vessaments són els que provoquen les aigües domèstiques que genera el treballador en la seva estada i aquest són d'un impacte no significatiu donada la seva naturalesa, tot i que sempre es recomana l'ús racional d'aquest recursos.

11.4. Conclusions

Tant del present projecte com la utilització de la màquina el major impacte es el consum d'energia.

Per la part del projecte, l'impacte és equiparable a al gran majoria de projectes i no suposa un fre per a la continuació del desenvolupament.

Per la part de la màquina, com que està pensada per a un ús industrial, l'impacte que genera és petit respecte a la gran majoria de maquinària, sobretot dintre del sector del plàstic, on el consum energètic per part de la maquinària és clarament superior al consum declarat en aquesta màquina.

Per tant, es conclou que l'impacte generat en el present projecte i en la utilització de la màquina no han de suposar un fre per a la continuació al desenvolupament d'aquesta tecnologia.

Conclusions

Les principals conclusions del projecte es detallen a continuació:

S'ha assolit l'objectiu principal de construir una nova impressora de gran format, 1200 x 800 x 500 mm, en concret una impressora de dimensions útils de 1400 x 780 x 450 mm, completament funcional. Tot i que no té exactament les mesures establertes en el objectius, si que en ambdós casos el volum imprimible es pràcticament igual.

Conseqüentment, en aconseguir l'objectiu principal, els objectius secundaris en els quals s'havia dividit, també es poden considerar que s'han complert. Però si que tractant-los per separat podem discernir diferents graus de compliment respecte el que hagués estat desitjable. Aquells quan han estat superats de forma satisfactòria però que presenten un major marge de millora, han estat els temes elèctrics i tota la part d'acabats o apartat visual.

Per la part elèctrica hagués esta més desitjable una dedicació més intensiva per acabar de polir detalls com la correcta col·locació espacial de les coses, millorar les masses de la màquina i algun altre detall que s'han resolt de forma senzilla, es a dir, que s'hagués desenvolupat la màquina en format totalment industrial, amb el seu PLC de control i la resta d'elements. Per la part dels acabats, aquest ha estat el apartat, que per qüestions de temps i pressupost, s'ha cuidat menys. Tot i així, la màquina presenta un aspecte correcte.

Per últim, cal comentar que el present projecte és el prototip o la primera versió del que s'espera que, en un futur, pugui ser una màquina més al mercat. Per tant, ha estat un projecte per aprendre i introduir-se en el mon de la impressió 3D, i en cas que en un futur pròxim es vulgui continuar la feina feta, encara hi ha un gran marge de millora partint de la mateixa base.

Agraïments

En primer lloc, vull agrair a la meva tutora, la Irene Buj, l'ajuda donada durant tot el projecte tant en aspectes d'orientació del projecte, com en els moments que s'ha requerit la utilització de maquinària per a la preparació de peces per al prototip, sense oblidar la confiança que ha dipositat en mi en acceptar un projecte de tal envergadura.

En segon lloc, agrair a l'empresa Igus, el tracte rebut durant tot el projecte, tant en les fase de desenvolupament com a l'hora de donar suport en els moments que han aparegut problemes, sempre han estat allà i han estat una gran ajuda. I més concretament agrair al Sr. Shadi Lara, la seva paciència durant tot aquest temps.

També agrair a la Fundació CIM i mes concretament a RepRap BCN ara actualment anomenada BCN3D Technologies, la disposició de tot el equip a donar un cop de mà en qualsevol moment.

Agrair també a totes aquelles persones amb qui he esta en contacte durant el projecte i que m'han donat un cop de mà i han estat criticant i opinant per tal que sortís endavant aquest projecte. Donant idees i possibles soluciona als problemes que s'han anat afrontant.

Finalment agrair als meus pares el recolzament donat durant la realització del projecte, sobretot el recolzament econòmic per produir la impressora i que el projecte no fos només un conjunt de fulles que un cop entregades es quedessin guardades.

Ja per acabar, agrair a totes les persones que, anomenades o no, s'han vist involucrades en el projecte i en la meva formació, i per tant, en més o menys mesura formen part del recorregut que m'ha dut fins aquí.

Moltes gràcies.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] MANUAL D'USUARI BCN3D+. *RepRapBCN 2014*.
[https://drive.google.com/folderview?id=0BwkYimEKAtM_OHNnNFFnUGdDUUU&usp=drive_web&tid=0BxiytU6zOcrjSjBQRIFTcEhOYzQ, Gener 2015]
- [2] HISTORIA D'STRATASYS, INC. *Funding universe*.
[<http://www.fundinguniverse.com/company-histories/stratasys-inc-history/>, Setembre 2014].
- [3] PAGINA WEB DEL MOVIMENT REPRAP. *RepRap 2009*. [<http://reprap.org/>, Març 2015].
- [4] BCN3D TECHNOLOGIES. *Fundació Privada Centre CIM 2015*. [<http://www.bcn3dtechnologies.com/ca/home>, Abril 2015].
- [5] BIGREP. *BigRep 2015*. [<http://bigrep.com/#>, Abril 2015].
- [6] 3DP1000. *3DP Unlimited 2014*. [<http://3dpunlimited.com/>, Abril 2015]
- [7] MANUAL DE MUNTATGE DE LA ESTRUCTURA DE LA BCN3D+. *RepRapBCN 2014*.
[https://drive.google.com/folderview?id=0BwkYimEKAtM_VVMxdXA0emVaZDg&usp=drive_web&tid=0BxiytU6zOcrjSjBQRIFTcEhOYzQ, Gener 2015]
- [8] REPRAPWORLD. *RepRapWorld 2015*. [<http://reprapworld.com/>, Abril 2015].
- [9] REGALMENTO ELECTROTÉCNICO DE BAJA TENSIÓN. *Gobierno de España 2015*. [http://www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial/rebt_guia.aspx, Abril 2015].
- [10] DIRECTIVA 2006/42/CE DE SEGURETAT DE LES MAQUINES. *Diario oficial de la Unión Europea, de 17 de mayo de 2006*. [<http://www.boe.es/doue/2006/157/L00024-00086.pdf>, setembre 2014]
- [11] BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. *BOE Núm. 296: 12913 Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental*. Jefatura del Estado, 2013, p.1.
- [12] MIX ENERGETIC ESTAT ESPANYOL 2014. *WWF Espanya 2014*. [http://awsassets.wwf.es/downloads/oe_ene_2014.pdf, Maig 2015]

Bibliografia complementària

Llibres i enllaços consultats i d'interès per a la realització del projecte:

- Carles RIBA i ROMEVA, *Disseny de màquines V. Metodologia*. Barcelona: Edicions UPC, 2002.
- Carles RIBA i ROMEVA, *Disseny de màquines II. Estructura constructiva*. Barcelona: Edicions UPC, 1994.
- Marta GATIUS, Alfons VALVERDE, Josefina LÓPEZ, etc, *Programació practica en C++*. Barcelona: Edicions UPC, 2010.