



Treball de Recerca de Batxillerat

IMPRESSIÓ

D'AVIONS

3D

Sergi Bech i Marc Serra

Dirigit per Joan Carol

2n de Batxillerat A

INS Pere Alsius i Torrent

Banyoles, 5 d'octubre de 2015



Agraïments

Volem agrair a les següents persones l'ajuda que ens han proporcionat, sense la qual aquest treball de recerca no s'hauria pogut dur a terme.

Als membres del Club Aeromodelisme Girona Provincial pels seus consells sobre els avions d'aeromodelisme.

A l'INS Pere Alsius per deixar-nos utilitzar la impressora 3D del centre.

A Dani Fèlez i a l'empresa Impressió D3D per permetre'ns la visita a les seves instal·lacions i per les explicacions sobre impressores 3D.

A Joan Pellicer pel servei tècnic de la impressora 3D.

Al professor Eduard Casadevall per l'ajuda amb la impressora 3D.

Al professor Narcís Bartis per l'explicació física sobre el vol dels avions.

A Pere Palmada, conserge de l'institut, pel seu temps ajudant-nos a desembussar l'extrusor de la impressora.

Al professor Joan Carol, tutor d'aquest treball de recerca, per guiar-nos durant tot el procés.

ÍNDEX

1	Introducció	6
1.1	Elecció de tema	6
1.2	Objectius	7
1.3	Metodologia.....	8
2	Passos Previs	9
2.1	Visita al Club d'Aeromodelisme de Girona	9
3	Presentació de la impressió en 3D	10
3.1	Què és i com funciona una impressora 3D?	10
3.2	Aplicacions de la impressió 3D	10
3.3	Materials d'impressió	12
3.3.1	Termoplàstics.....	12
3.3.2	Altres materials.....	12
3.4	Tecnologies d'impressió 3D	13
3.4.1	Impressió 3D per Estereolitografia o Fabricació Òptica (SLS)	13
3.4.2	Impressores 3D per Sinterització Selectiva per Làser (SLA)	13
3.4.3	Impressió per Deposició de Material Fos	14
4	Presentació de la impressora	15
4.1	La Rep Rap BCN 3D+	15
4.2	Parts de la Impressora	16
4.2.1	Eixos X, Y i Z	16
4.2.2	Extrusor.....	16
4.2.3	Llit calent	18
4.2.4	Pantalla de control.....	19
4.2.5	Carcassa de la impressora	19

5	Dissenys previs	20
5.1	Programes de disseny	20
5.1.1	Sketch Up.....	20
5.1.2	Autodesk 123D	21
5.2	Primers dissenys	21
6	Preparació de la impressió.....	22
6.1	Reparació d'errors: el Netfabb	22
6.2	Planificació de la Impressió: el Cura	23
7	Problemes inesperats	24
7.1	Recerca de solucions.....	24
7.2	Visita a l'empresa Impressió D3D	25
7.3	Resolució final dels problemes	31
8	Disseny dels avions.....	32
8.1	Ales primàries	32
8.2	Cos primari.....	33
8.3	Reedició de les ales.....	34
8.4	Ales rígides	35
8.5	Ales primes.....	35
8.6	Cos primari lleuger.....	36
8.7	Ales aerodinàmiques	37
8.8	El cos innovador.....	38
8.9	Ales dobles petites.....	39
8.10	Ales dobles.....	40
9	Avions dissenyats: els diferents prototips	41
9.1	Avió 1: <i>Veler Merlin</i>	41

9.1.2	Procés de construcció.....	42
9.1.3	Errors	44
9.2	Avió 2	44
9.2.1	Fitxa tècnica	44
9.2.2	Procés de construcció.....	45
9.2.3	Errors	45
9.3	Avió 3	46
9.3.1	Fitxa tècnica	46
9.3.2	Procés de construcció.....	46
9.3.3	Errors	47
9.4	Avió 4	47
9.4.1	Fitxa tècnica	48
9.4.2	Procés de construcció.....	48
9.4.3	Errors	49
9.5	Avió 5	49
9.5.1	Fitxa tècnica	49
9.5.2	Procés de construcció.....	49
9.5.3	Errors	50
9.6	Avió 6	50
9.6.1	Fitxa tècnica	50
9.6.2	Procés de construcció.....	51
9.6.3	Errors	51
9.7	Avió 7	52
9.7.1	Fitxa tècnica	52
9.7.2	Procés de construcció.....	52

9.8	Avió 8	54
9.8.1	Fitxa tècnica	54
9.8.2	Procés de construcció.....	54
9.8.3	Errors	55
9.9	Avió 9	55
9.9.1	Fitxa tècnica	56
9.9.2	Procés de construcció.....	56
9.9.3	Errors	56
9.10	Avió 10	57
9.10.1	Fitxa tècnica	57
9.10.2	Procés de construcció.....	57
9.10.3	Errors	58
9.11	Avió 11	59
9.11.1	Fitxa tècnica	59
9.11.2	Procés de construcció.....	59
9.11.3	Errors	60
10	Estudi del vol dels avions	61
10.1	Llançaments	61
10.2	Resultats.....	62
10.3	Anàlisi dels resultats	63
10.4	Conclusions de l'estudi de vol.....	65
11	Manuais i webs elaborats	70
11.1	Manual Bàsic d'Impressió 3D.....	70
11.2	Manual Avançat d'Impressió 3D.....	71
11.3	Web "Impressió 3D"	72

12	Conclusions finals	75
13	Bibliografia	78
14	Índex d'imatges	79
15	Annexos	83

1 INTRODUCCIÓ

El treball de recerca és una de les millors oportunitats per aprofundir en un tema que suscita interès, una oportunitat d'adquirir nous coneixements, coses que, a vegades, no es tracten a l'escola, però que poden tenir una gran importància i servir de gran ajuda en un futur. És, també, una bona forma de saber què és el que realment t'apassiona i aprendre quins mètodes de treball cal seguir per arribar a assolir un objectiu proposat.

1.1 ELECCIÓ DE TEMA

Cal reconèixer que al principi no és fàcil, gens. Havia de ser un treball diferent, innovador en algun aspecte, ja fos en el tema escollit, en la manera de desenvolupar-lo o en els recursos utilitzats. Havia de despertar l'interès en nosaltres i en qualsevol que en sentís parlar.

Escollir el tema va ser realment complicat. Als dos ens apassionen la física i les matemàtiques, però no havia de ser un treball purament teòric. Finalment vam decidir que volíem tocar algun tema relacionat amb l'aeronàutica: el fet que aquests monstres de gran tonatge tinguin la capacitat de volar i que, a més, ho facin d'una forma tan estètica, sempre ens ha interessat.

La primera idea fou construir un aviò d'aeromodelisme seguint els mètodes tradicionals, fet amb fusta de balsa, a partir d'un disseny elaborat per nosaltres mateixos.

Semblava una bona idea, però el nostre tutor, el professor de Tecnologia Industrial Joan Carol, ens va fer obrir els ulls: si buscàvem un treball que destaqués per ser diferent no podia ser allò. No hi havia res innovador en uns càlculs seguits d'un disseny per acabar amb una construcció. De difícil ho era, i molt, però no era gaire sorprenent ni atractiu.

Arribats a aquest punt ens va presentar la nova adquisició de l'institut, una impressora 3D, i ens va proposar un repte molt engrescador: imprimir el nostre avió en 3D, començant de zero en l'apartat d'aeronàutica i en l'apartat del 3D, i convertir-nos en experts de la impressió 3D tan ràpid com fos possible per acabar materialitzant el nostre avió.

Aquesta nova proposta provocà en nosaltres dues reaccions molt diferents: la primera era de ganes i entusiasme; la segona de respecte i dubtes. Respecte pel fet d'entrar en un tema tan allunyat del que ens és habitual i dubtes pel temor a no aconseguir dominar prou el tema i quedar encallats.

Malgrat el respecte i els dubtes, com a bons emprenedors, vam valorar els riscos que tenia endinsar-se en aquest món i les ganes i el temps que estàvem disposats a dedicar-hi si feia falta. Un cop valorats els riscos i les ganes, i elaborat un esborrany de "Pla B" per si calia fer-se enrere, vam acceptar la proposta.

1.2 OBJECTIUS

Amb el tema decidit, calia escollir els objectius del treball: enumerar clarament quins eren els punts clau pels quals havia de passar el nostre procés i quin seria l'objectiu final de tota la recerca.

L'objectiu final era arribar a construir un avió utilitzant les peces dissenyades i impreses per nosaltres mateixos en 3D. L'avió estaria propulsat per dos motors elèctrics, guiat per diferents alerons situats a les ales i als estabilitzadors horitzontals i verticals, i controlat per un comandament a distància.

Com que els dos temes que plantejava aquest treball eren completament nous per nosaltres, calia establir uns objectius secundaris previs que ens permetrien anar assolint el nivell necessari per arribar a l'objectiu final.

En l'apartat d'impressió en 3D aquests eren: conèixer els diferents tipus d'impressores i aplicacions, aprendre el funcionament de la impressora 3D del centre, distingir les seves principals parts, conèixer les seves limitacions i ser capaços de resoldre la majoria d'imprevistos que poguessin anar apareixent durant el projecte.

En l'apartat dels avions, l'objectiu previ era descobrir quines són les formes d'ala i cos que permeten assolir un bon vol. Aquest aprenentatge s'aniria duent a terme a base d'anar dissenyant i imprimint avions per realitzar un estudi del vol de les diferents formes per tal d'escollir la millor per al prototip final.

1.3 METODOLOGIA

El fet d'escollir un tema tan extens va provocar que comencéssim una mica perduts, sense saber gaire per on agafar-lo ni com començar a treballar. Per això vam decidir demanar consell a gent entesa en aeromodelisme (concretament del Club d'Aeromodelisme Girona Provincial, CAGIP) per veure si ens podien indicar una mica quin havia de ser el camí a seguir. A partir de les seves indicacions, podíem iniciar el procés de disseny dels nostres prototips.

En el tema de la impressió 3D vam haver de seguir un procediment de treball ben diferent, ja que no disposàvem de ningú expert en el tema que ens pogués anar guiant i ajudant a resoldre els problemes. En aquest cas vam seguir el mètode assaig-error: cada vegada que alguna cosa no havia funcionat ens servia per treure conclusions sobre què no havíem fet bé per així no repetir-ho.

El treball s'estructura en dues grans parts: la primera, més teòrica, sobre la impressió en 3D, els tipus d'impressores, la descripció de la que es va utilitzar i els programes necessaris per fer-ho; i la segona, més pràctica, sobre els diferents dissenys d'avions que s'han fet, els avions acabats i l'estudi de vol amb les seves conclusions.

Les dificultats que vam trobar a l'hora de fer servir la impressora 3D van fer endarrerir la recerca prevista en el projecte. Però tot el temps dedicat a conèixer el funcionament de la impressora 3D també ha donat els seus fruits i ens ha portat a elaborar dos manuals sobre la impressió 3D, un de bàsic i un altre d'avançat, i una pàgina web de suport amb tots aquests manuals i un formulari de contacte per demanar ajuda.

Finalment, per a emmagatzemar tota la informació obtinguda amb la recerca d'aquest treball, s'ha elaborat una altra pàgina web on es pot consultar en format digital tota la informació que es recull en aquesta memòria escrita. L'enllaç del web és: TDR2K15.WIX.COM/AVIONS3D.

2 PASSOS PREVIS

2.1 VISITA AL CLUB D'AEROMODELISME DE GIRONA

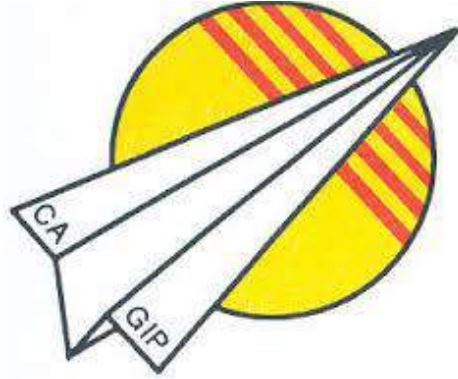


Figura 2.1: Logotip CAGIP

La primera pedra d'aquest treball de recerca va ser visitar el Club d'Aeromodelisme de Girona, situat al Pla de Martís (Esponellà). Allà vam tenir l'oportunitat de conversar amb gent experimentada en la construcció de maquetes d'avions i aconseguir, així, una mena de guia de treball.

De la visita se'n va extreure que el primer pas que s'havia de fer era adquirir un *kit* de muntatge d'un avió de fusta de balsa per tal d'aprendre quin és el procés de construcció d'un avió d'aeromodelisme i conèixer quins són els seus punts clau.

Seguint al peu de la lletra aquest consell es va adquirir un *kit* de muntatge d'un avió del tipus veler gràcies al qual es van poder extreure conclusions sobre les principals característiques que hauria de tenir el nostre avió final.

Bàsicament les claus que permeten que un avió d'aeromodelisme voli correctament són tres:



Figura 2.2: Aviò Veler

1. El centre de gravetat de l'avió ha d'estar situat al primer terç de l'ala.
2. L'avió no pot caure de morro, de cua, ni lateralment, quan és subjectat des del centre de gravetat.
3. La seva forma ha de tenir un component aerodinàmic: ales i cos han de ser llargs i arrodonits i s'han d'evitar les formes rectilínies.

Un cop introduïts en l'apartat aeronàutic, es va passar a la part d'Impressió 3D: una introducció teòrica sobre el funcionament i les característiques d'aquestes màquines.

3 PRESENTACIÓ DE LA IMPRESSIÓ EN 3D

Abans de tenir el primer contacte amb la impressora 3D i començar a treballar en els dissenys de l'avió calia conèixer uns quants aspectes importants relacionats amb aquestes màquines tan recents.

3.1 QUÈ ÉS I COM FUNCIONA UNA IMPRESSORA 3D?

Una impressora 3D és una màquina que serveix per crear representacions volumètriques físiques de models creats prèviament per ordinador. El seu funcionament es basa en un injector i un capçal que es pot moure en les tres dimensions (eixos X, Y i Z). Un cop la impressora té un model 3D seleccionat, comença a imprimir-lo per capes que solen tenir una altura d'entre 0,1 i 0,3 mm. El fet que les capes siguin tan primes possibilita que aquestes màquines tinguin una gran precisió. Un cop acabada una capa el capçal augmenta un nivell en l'eix Z i es comença a fer la següent. Aquest procés, però, fa que la durada de les impressions sigui bastant llarga.

3.2 APLICACIONS DE LA IMPRESSIÓ 3D

Aquestes impressores es van desenvolupar davant la necessitat de crear models, prototips o maquetes d'una manera més ràpida, eficaç i econòmica a partir de dissenys creats per ordinador.

En un primer moment aquesta tecnologia només s'utilitzava en alguns sectors com l'arquitectura i el disseny industrial, però gràcies a les millores aconseguides tant en la reducció dels costos com en l'increment dels materials disponibles, la impressió 3D ha pogut fer-se un lloc en la majoria d'àmbits incloent-hi també el domèstic i el formatiu.

L'expansió d'aquestes màquines pels diferents sectors ha permès que actualment ofereixin un ventall gairebé il·limitat de possibilitats i aplicacions, el qual segueix creixent amb el pas del temps gràcies a la invenció i creativitat de la gent. Es pot arribar a imprimir des de peces de recanvi per avions fins a menjar, passant per joguines, escultures, objectes d'ús comú, roba, mobles, cotxes i sobretot pròtesis i altres elements relacionats amb la medicina.

Exemples d'aplicacions:

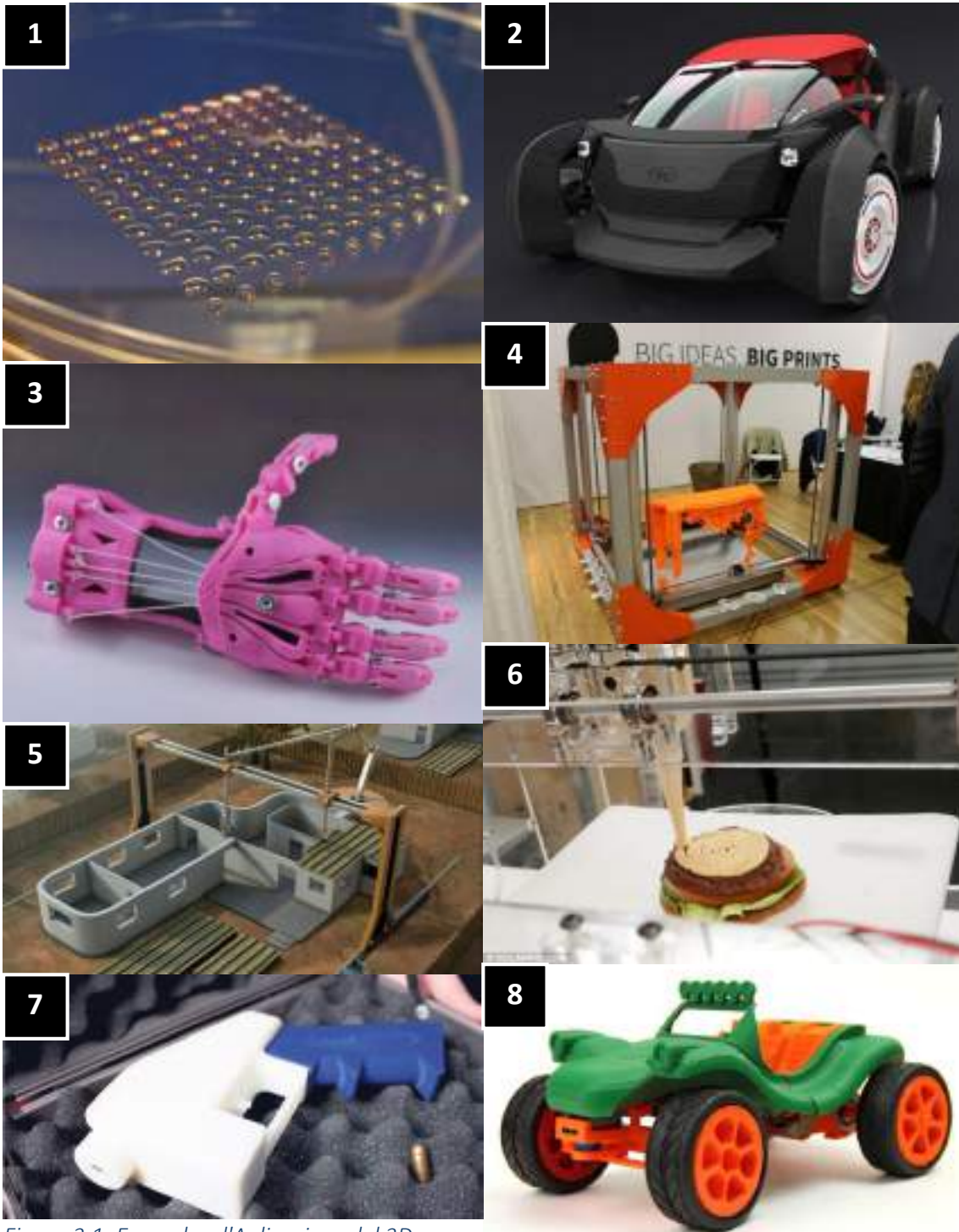


Figura 3.1: Exemples d'Aplicacions del 3D



1. Cèl·lules Mare impreses en 3D
2. *Stratti*, primer cotxe imprès en 3D
3. Pròtesi de mà impresa en 3D
4. Moble imprès en 3D
5. Maqueta d'edifici impresa en 3D
6. Hamburguesa comestible impresa en 3D
7. Pistola impresa en 3D
8. Joguina impresa en 3D

3.3 MATERIALS D'IMPRESSIÓ

3.3.1 Termoplàstics

Els termoplàstics són una classe de plàstics que es fonen a temperatures relativament altes i es tornen deformables o flexibles i que, un cop refredats, s'endureixen. El PLA i l'ABS formen part d'aquest grup de plàstics, per aquesta raó són dels materials més utilitzats en l'àmbit de la impressió 3D. També podem trobar altres termoplàstics com el PC, el PVA i el niló.

Principals diferències entre PLA i ABS:

PLA <i>Àcid polilàctic</i>	ABS <i>Acrilonitril butadiè estirè</i>
<ul style="list-style-type: none">- Plàstic de material biodegradable- Menys dur i resistent- Mecanització i manipulació més limitada- Impressió més ràpida- Sense emissions nocives- Ús domèstic- Temperatura d'extrusió: 180-220 °C- Temperatura llit calent: 40 °C (és possible imprimir amb la base completament freda)	<ul style="list-style-type: none">- Plàstic sintètic derivat del petroli- Més dur i resistent- Fàcil de mecanitzar i manipular un cop imprès- Impressió més lenta- Requereix menys força per ser extruït (menor coeficient de fricció)- Ideal per a peces molt petites- Emissió de gasos nocius en concentracions altes- Ús industrial i domèstic- Temperatura d'extrusió: 230-240 °C- Temperatura llit calent: 80 °C
	
<i>Figura 3.2: Bovina de PLA</i>	<i>Figura 3.3: Bovina d'ABS</i>

3.3.2 Altres materials

Com s'ha pogut veure en l'apartat d'aplicacions, és possible imprimir amb materials diferents del plàstic, però les impressores necessàries per a fer-ho es troben a l'abast de molt poques empreses degut al seu elevat preu i a què la tecnologia que utilitzen requereix persones altament qualificades.

3.4 TECNOLOGIES D'IMPRESSIÓ 3D

Al llarg del temps s'han anat creant diverses tecnologies d'impressió 3D.

3.4.1 Impressió 3D per Estereolitografia o Fabricació Òptica (SLS)

Va ser la primera tècnica en utilitzar-se i consisteix en l'aplicació d'un feix de llum ultraviolada o làser sobre una resina líquida fotosensible de manera que aquesta es va solidificant capa per capa. La resina està continguda en un cub i la base que aguanta l'estructura es mou cap avall perquè la llum del làser pugui anar exercint la seva acció sobre nova resina una capa més amunt. Un cop acabada la peça s'ha de sotmetre a uns banys amb productes químics per netejar-la.

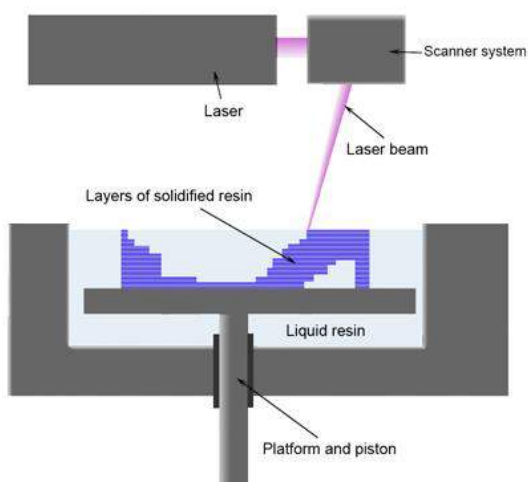


Figura 3.5: Impressió per Estereolitografia

Amb aquest mètode s'aconsegueixen peces d'una qualitat molt alta, però es perd una gran quantitat de material.



Figura 3.4: Peces impreses amb aquesta tècnica

3.4.2 Impressores 3D per Sinterització Selectiva per Làser (SLA)

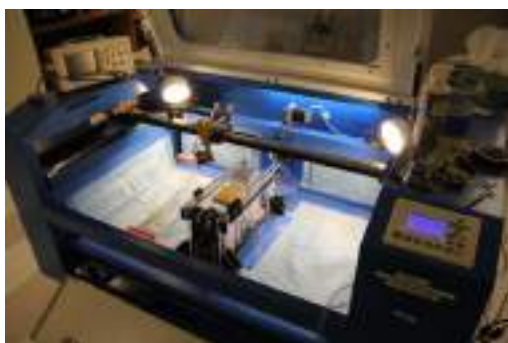


Figura 3.6: Impressió per Sinterització Selectiva per Làser

Aquestes impressores utilitzen la mateixa tècnica que la descrita anteriorment amb la diferència que utilitzen un làser de gran potència el qual permet sinteritzar pols de plàstic. Com en el sistema anterior, es diposita pols de plàstic en una estructura, la qual va baixant a mesura que, per acció del làser, es va formant l'objecte capa per capa.

3.4.3 Impressió per Deposició de Material Fos

Consisteix en dipositar plàstic fos capa a capa sobre una base plana. El material, que inicialment es troba en estat sòlid guardat en bobines, es fon i s'expulsa per una embocadura en fils petitíssims que es van solidificant a mesura que surten.

És la tècnica més comuna pel que fa a impressores 3D d'escriptori i d'ús domèstic. Tot i que la qualitat dels resultats aconseguits no es pot comparar amb les altres, aquesta tecnologia ha permès posar la impressió 3D a l'abast de molta gent.

Aquestes impressores poden utilitzar tota mena de termoplàstics, els més coneguts i utilitzats dels quals són el PLA i l'ABS.

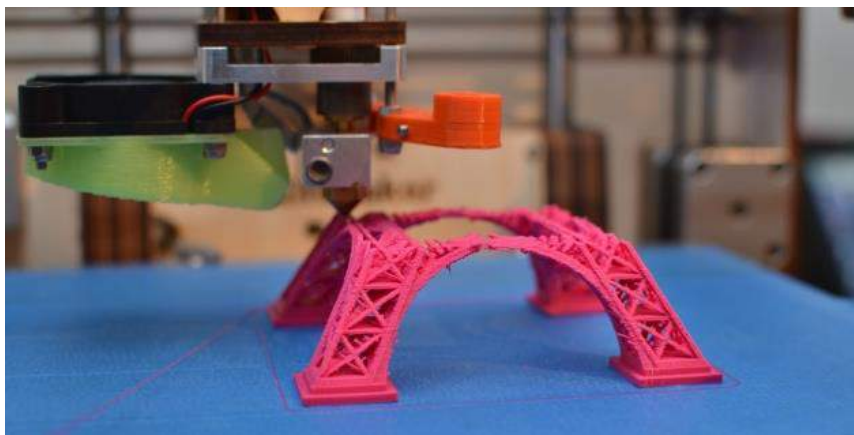


Figura 3.7: Impressió per Deposició de Material Fos

4 PRESENTACIÓ DE LA IMPRESSORA

La primera part del treball està enfocada a aprendre a fer funcionar i utilitzar correctament el model d'impressora que s'utilitzarà, així com, a conèixer les seves limitacions i aprendre a resoldre tots els problemes que poden anar sorgint.

Després de la introducció sobre la impressió 3D per tal d'endinsar-se una mica en el tema, és el moment d'aprofundir en la màquina amb la qual s'haurà de treballar.

4.1 LA REP RAP BCN 3D+

El model d'impressora que va comprar l'institut és el Rep Rap BCN 3D+. És un model d'impressora bastant bàsic i econòmic però ideal per començar a endinsar-se en totes les possibilitats que aporta el món del 3D. Ha estat dissenyada per BCN3D Technologies, un projecte de la fundació CIM-UPC (*Computer Integrated Management – Universitat Politècnica de Catalunya*) dedicat exclusivament a la recerca i innovació en aquest camp.

Per abaratir els costos s'ofereix la possibilitat de comprar-la a peces en forma de kit de muntatge i muntar-se-la un mateix. L'institut va aprofitar aquesta oferta i el professor de Tecnologia i tutor d'aquest treball de recerca, Joan Carol, es va encarregar de les tasques de muntatge.

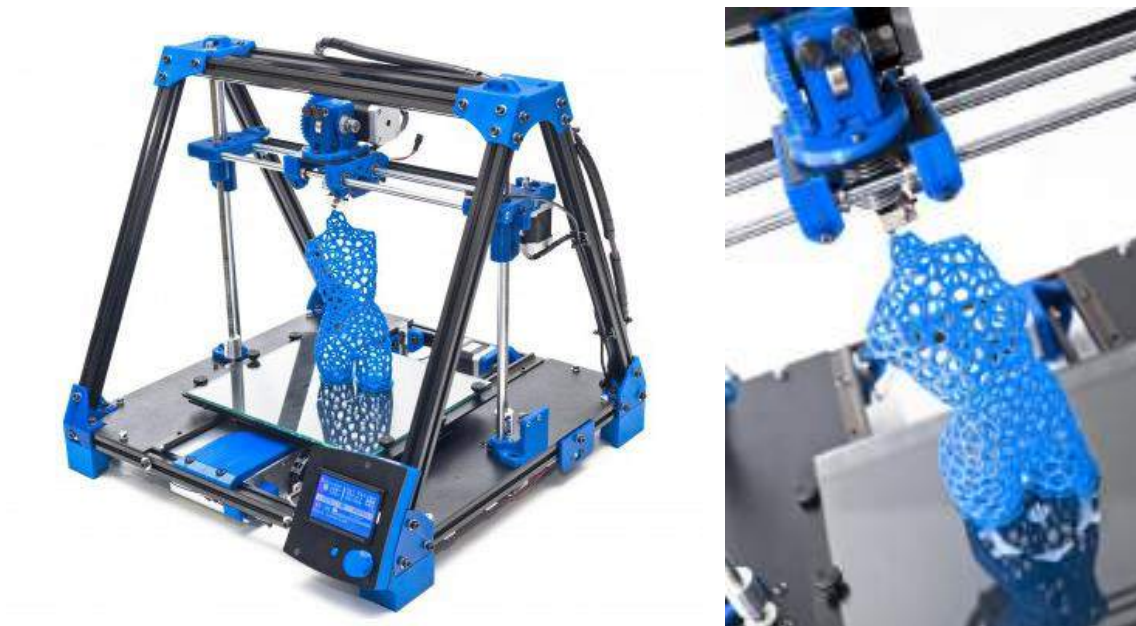


Figura 4.1: Impressora Rep Rap BCN 3D+

4.2 PARTS DE LA IMPRESSORA

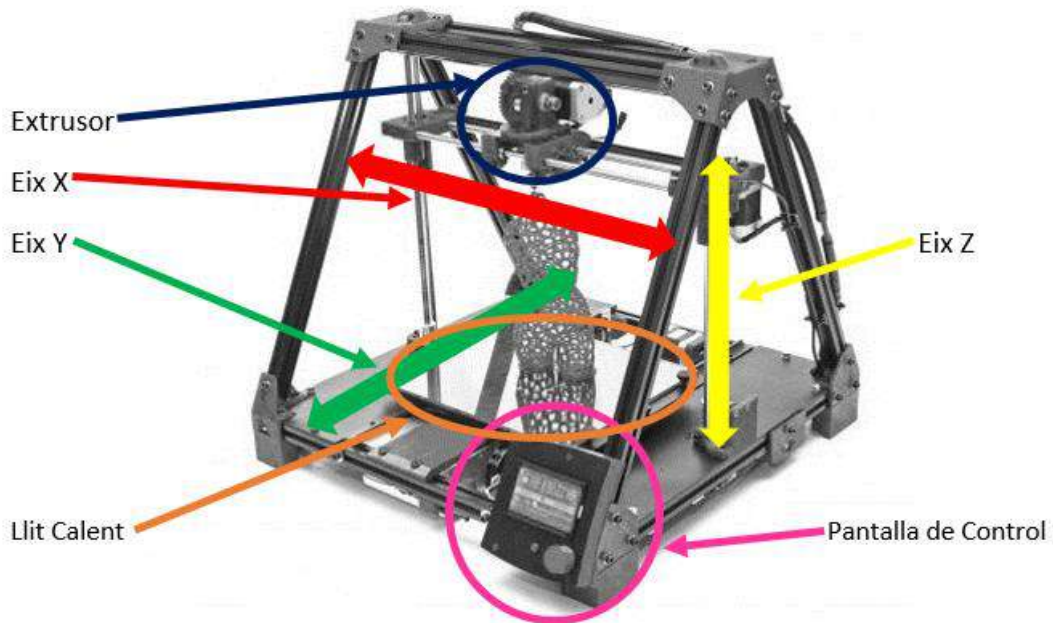


Figura 4.2: Parts principals de la impressora

4.2.1 Eixos X, Y i Z

La impressora té diferents barres de metall que permeten el seu moviment en els tres eixos, totalment imprescindible per imprimir objectes en volum. A la foto anterior es pot veure clarament on estan situats.

4.2.2 Extrusor

És una de les parts més importants i la principal encarregada de dur a terme el procés d'impressió. Està compost per diferents parts.



Figura 4.4: Motor de l'extrusor

A la seva part superior es troba el motor que fa girar un eix amb una cara llimada.

Es tracta d'un motor parell



Figura 4.3: Extrusor

potent que fa un esforç de torsió superior al dels estàndards a causa de la utilització de potents imants. Cada pas permet moure 1,8 graus i el seu esforç de torsió és de 4,4kg/cm.

Al final d'aquest eix amb la cara llimada hi ha situat un petit engranatge encarregat de posar en contacte el motor amb l'engranatge gran.

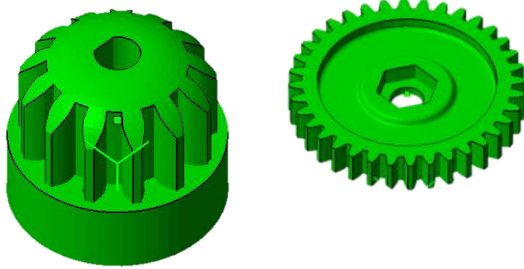


Figura 4.5: D'esquerra a dreta, engranatge petit i engranatge gran

L'engranatge gran d'extrusió té la important tasca de fer avançar el fil lentament, però sense pausa, cap a l'embocadura.

Al costat d'aquest engranatge gran es troba el tensor de l'extrusor. Aquesta peça és l'encarregada de fer pressió a la zona on passa el fil per assegurar que no rellisca de l'engranatge. Es pot modificar la pressió exercida descargolant o cargolant dos cargols amb unes molles situats a la part frontal d'aquest.

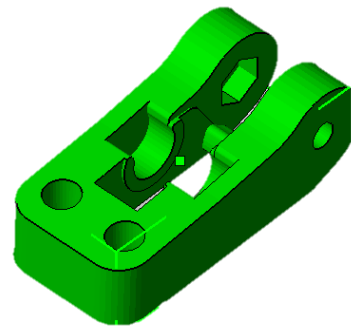


Figura 4.6: Tensor de l'extrusor

A la part final hi trobem el final calent ("hot end") que, a diferència de les altres parts, està fet únicament amb metall perquè ha de suportar temperatures molt altes. Està compost per un primer tub metàl·lic que funciona com a dispersor del calor, un suport amb la resistència ceràmica i l'embocadura.

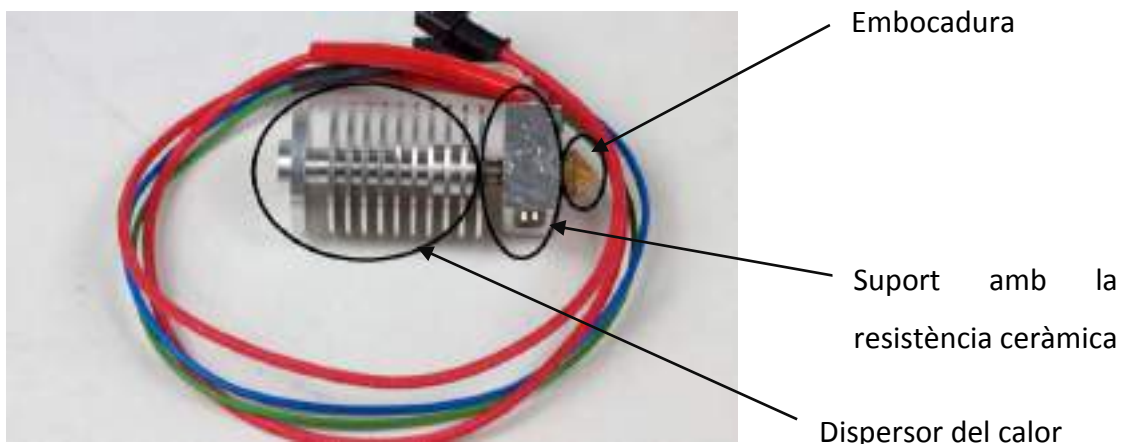


Figura 4.7: Parts del 'final calent'

El diàmetre del forat de l'embocadura pot ser de 0,4 mm o 0,6 mm.



Figura 4.9: Embocadura

Figura 4.8: Extrusor unit a l'eix

L'extrusor s'uneix a l'eix X per mitjà de dues barres d'alumini paral·leles que passen, cadascuna, per un costat de l'embocadura.



Figura 4.10: D'esquerra a dreta, ventilador i difusor

També hi ha un petit ventilador col·locat al final de l'extrusor que, ajudat d'un difusor, permet al plàstic refredar-se més ràpid.

4.2.3 Llit calent

Situat a la base de la impressora, delimita l'àrea màxima d'impressió. S'hi col·loca un vidre sobre el que s'imprimeixen les peces. Disposa d'un sistema que li permet escalfar-se per poder imprimir correctament i evitar que les peces es desenganxin de la base.



Figura 4.11: Llit calent

4.2.4 Pantalla de control

És l'element que permet donar tota les ordres a la impressora i on s'hi pot trobar la informació sobre la temperatura de l'extrusor, del llit calent i la barra de progrés de l'element que s'imprimeix.

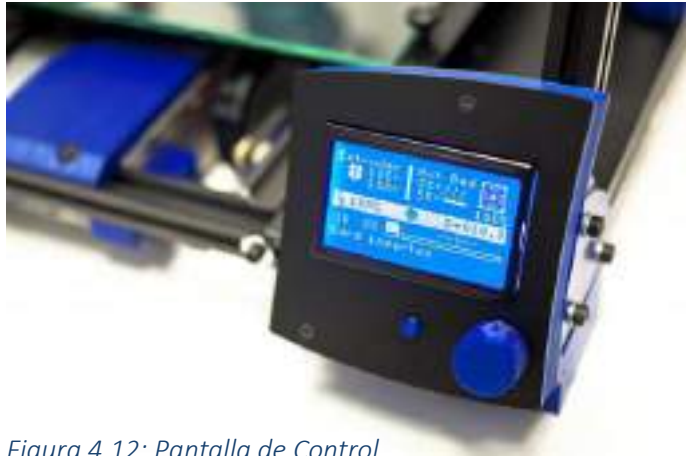


Figura 4.12: Pantalla de Control

4.2.5 Carcassa de la impressora



Figura 4.13: Carcassa de la impressora

La carcassa està formada per una gran base quadrada de la qual en surten quatre barres diagonals que connecten amb les dues superiors. Els elements d'unió entre les barres estan impresos en 3D i són molt importants per mantenir la impressora completament recta i impedir qualsevol moviment que pugui provocar una pèrdua de precisió.

5 DISSENY PREVIS

Un cop coneguda la impressora i les seves parts, es va passar a fer els primers dissenys per imprimir-los i així aconseguir més informació sobre la qualitat d'impressió, la velocitat, les limitacions, etc. També va servir per conèixer tots els passos que cal seguir i els punts conflictius en què cal parar més atenció durant tots els processos de disseny.

5.1 PROGRAMES DE DISSENY

Abans de començar a imprimir sempre es necessita un disseny creat per ordinador. Per fer-ho hi ha una gran varietat de programes, tant de pagament com gratuïts, que es poden escollir segons els nostres gustos i preferències. Els dos programes amb els quals s'ha fet aquest treball són el Sketch Up i l'Autodesk. Són dos programes de llicència gratuïta els quals permeten treballar amb un munt d'eines diferents.

5.1.1 Sketch Up



Figura 5.1: Logotip del programa

Sketch Up és el programa de dibuix en 3D de Google; té una interfície bastant intuïtiva, fet que facilita un ràpid aprenentatge del seu funcionament, i un munt d'opcions i eines que permeten crear coses realment sorprenents. És ideal a l'hora de dissenyar objectes no gaire complexos, amb superfícies planes i sense massa corbes. L'únic inconvenient que té és que si es volen dissenyar formes més complicades s'han de descarregar molts complements que no vénen de sèrie.



Figura 5.2: Disseny realitzat amb Skecth Up

Es pot descarregar la versió normal del programa de forma gratuïta des del seu web (WWW.SKETCHUP.COM/ES) mentre que la versió Pro és de pagament.

5.1.2 Autodesk 123D



AUTODESK® 123D® DESIGN

Figura 5.3: Logotip del programa

L'Autodesk 123D Design és la versió simplificada del programa Autocad. Al principi és un programa més complex d'utilitzar ja que la interfície no és tant intuïtiva i requereix bastant de temps dominar tot el seu funcionament. A diferència de l'Sketch Up, és un



Figura 5.4: Exemple d'un disseny elaborat amb Autodesk 123D

programa que funciona bé tant en formes rectes com arrodonides i no és necessari descarregar complements per a figures més complexes.

Es pot descarregar gratuïtament des del seu web:

WWW.123DAPP.COM/DESIGN.

5.2 PRIMERS DISSENYS

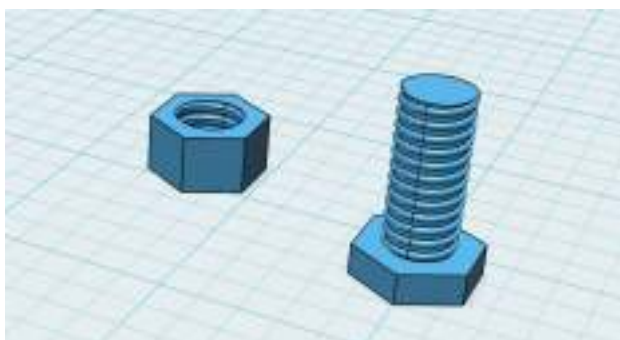


Figura 5.5: Cargol amb la seva femella corresponent

El primer disseny va consistir en un cargol amb la seva corresponent femella per comprovar la precisió amb què imprimia la impressora, saber quin és el marge que s'ha de deixar quan es volen imprimir encaixos i el temps que podia requerir una impressió.

6 PREPARACIÓ DE LA IMPRESSIÓ

Un cop els primers dissenys van estar elaborats, calia deixar-los llestos per a la seva impressió. És una part molt important ja que és la que permet assegurar-se que la impressora podrà i sabrà materialitzar els dissenys correctament. El procés consta de dues parts: la reparació dels possibles errors en el disseny i la planificació i configuració de la impressió.

6.1 REPARACIÓ D'ERRORS: EL NETFABB



Figura 6.1: Logotip del programa

El Netfabb és un programa dedicat exclusivament a la impressió en 3D que analitza els objectes i repara qualsevol error que hi pugui haver entre les capes, deixant l'objecte a punt per ser imprès sense errors. Té una versió gratuïta i una altra més completa de pagament, però la gratuïta és més que suficient.

Ambdues versions es poden aconseguir des del seu web: [HTTP://WWW.NETFABB.COM/](http://www.netfabb.com/).

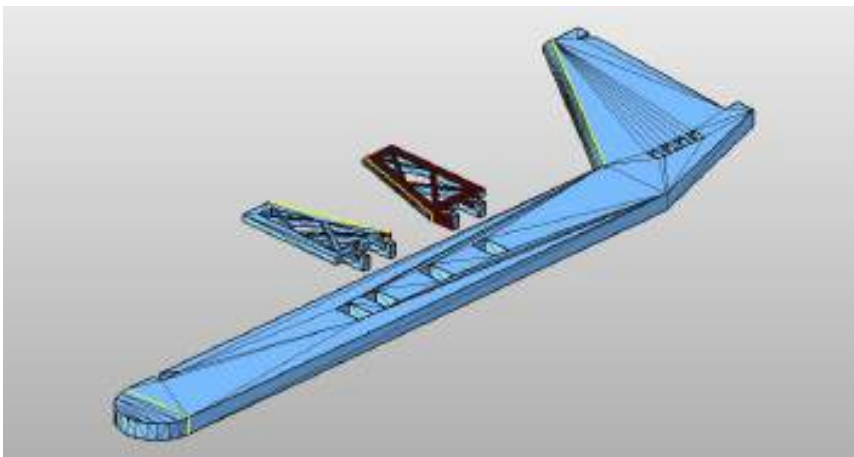


Figura 6.2: Procés de reparació d'un disseny on es poden observar les parts amb errors en vermell

6.2 PLANIFICACIÓ DE LA IMPRESSIÓ: EL CURA



Figura 6.3: Logotip del programa

El Cura és un programa de la casa Ultimaker, empresa dedicada exclusivament al 3D que ha creat aquest programa per les seves impressores però que permet que es pugui fer servir per a qualsevol impressora.

El programa és de llicència gratuïta i es pot descarregar des del web d'Ultimaker:

[HTTPS://ULTIMAKER.COM/EN/PRODUCTS/CURA-SOFTWARE.](https://ultimaker.com/en/products/cura-software)

És un programa necessari en aquets procés d'impressió. Permet guardar el disseny en un format que la impressora pot llegir, el *gcode*, per poder acabar imprimint allò que s'ha dissenyat. Permet canviar totes les configuracions de la màquina: la velocitat, les mides, la qualitat, etc.

El funcionament d'aquests quatre programes, així com els passos a seguir per a imprimir els fitxers i les especificacions tècniques de la impressora, estan explicats detalladament al *Manual Avançat d'Impressió en 3D*, elaborat durant el treball com a resultat de l'experiència i les dificultats que van anar sorgint en l'aprenentatge del procés d'impressió i que es troba en l'annex d'aquest treball en format de llibret, per la qual cosa s'ha optat per no repetir aquesta informació en aquest apartat.

7 PROBLEMES INESPERATS

Un cop dominat tot el procés d'impressió es van començar a dissenyar i imprimir diferents models d'avions per intentar descobrir quins tipus d'ales i cossos eren els més adients.

Durant els primers compassos d'aquest procés, no va haver-hi cap mena de problema; però tot es va capgirar quan, un dia, el PLA es va trencar a mitja impressió. Això no va ser més que un avís de tot el que encara havia de passar.

A partir d'aquí, un llarga llista de problemes amb la màquina, com taponaments de l'embocadura, sobreescalfament dels motors, trencaments de les peces i pèrdues de precisió, van provocar una gran pèrdua de temps i l'incompliment de la planificació del treball que s'havia pogut seguir fins al moment.

7.1 RECERCA DE SOLUCIONS

Respecte al problema de la ruptura del material a mig procés d'impressió, es va arribar a la conclusió que amb el temps el plàstic havia anat agafant humitat de l'ambient, fet que va provocar que es tornés més fràgil i trencadís. La solució a aquest problema fou emmagatzemar aquest plàstic dins una caixa tancada i embolicada amb dues bosses de plàstic amb un deshumidificador dins.

Per als taponaments de l'embocadura, al principi es van seguir els consells que es recullen en les instruccions de la màquina: deixar l'embocadura dins un recipient amb acetona durant unes vint-i-quatre hores. Lamentablement, aquest mètode no va funcionar i es va haver de passar a mètodes mecànics. Amb l'ajuda del conserge de l'institut, Pere Palmada, es va escalfar la peça amb un bec *bunsen* i, just després, es procedia a retirar curosament el plàstic fos amb una agulla molt fina.

Aquest mètode va funcionar algunes vegades, però, a causa de les restes que no es podien acabar d'eliminar, el plàstic es va acabar carbonitzant i l'única solució possible fou adquirir embocadures noves a través d'Internet.

Després de consultar-ho amb el servei tècnic, es va saber el motiu d'aquests embussos constants: es posava a preescalfar la màquina amb el PLA posat, fet que provocava que aquest estès molta estona a una alta temperatura i s'acabés carbonitzant. A partir d'aquí, es va decidir no repetir més aquest error i inserir el PLA a l'extrusor just abans de la impressió i retirar-lo just després d'acabar el procés.

Tot i això, l'aparició d'altres problemes que s'enumeren a continuació va provocar que la impressora seguís sense imprimir correctament i no fos possible seguir amb el procés d'impressió dels dissenys dels avions des del període planificat.

- EL FILAMENT: TRENCAMENTS CONSTANTS
- PECES TRENCADES
- ALTURA DE L'EXTRUSOR: DESAJUST DE L'ALTURA CORRECTA D'IMPRESSIÓ
- EMBOCADURA TAPONADA
- PECES MAL COLLADES
- BOLETES A L'HORA D'IMPRIMIR: PÈRDUA DE PRECISIÓ

7.2 VISITA A L'EMPRESA IMPRESSIÓ D3D

A causa d'aquests problemes, i veient que no s'acabaven de trobar solucions, es va optar per intentar contactar amb alguna empresa del sector que pogués ajudar a imprimir els models si no era possible arreglar la màquina a temps.

A més a més, es volia aprofitar per preguntar sobre el funcionament i l'èxit d'un negoci en aquest àmbit. Preguntes com ara per què van decidir entrar-hi, com el van conèixer, quin cost econòmic i quina rendibilitat tenia, eren temes que es volien tractar en una conversa amb alguna persona directament vinculada a la impressió 3D.

La recerca d'empreses va començar per la zona de Girona, per si calia fer-hi una visita. Sorprenentment, es van obtenir bastants resultats, però pocs complien amb el que es buscava. Es volia trobar una empresa que materialitzés dissenys de tercers utilitzant la seva impressora.

Es va acabar amb tres resultats prou satisfactoris que complien els criteris de cerca fixats: **Impressió D3D**, **Essaigé** i **3DPRINTCAT**.

Es van enviar correus electrònics a totes elles demanant ajuda i es va rebre resposta afirmativa de totes elles excepte d'Essaigé, que tenia la impressora avariada en aquell moment.

S'acabà optant per visitar Impressió D3D bàsicament per un motiu de més proximitat respecte a 3DPRINTCAT, ja que ambdues resultaven molt atractives.



Figura 7.1: Logotip de l'empresa Impressió D3D

Quan arribem ens rep Dani Fèlez, un dels dos socis de l'estudi d'arquitectura situat al segon pis del número 20 del polígon industrial La Banyeta Nova de Palol de Revardit. Ens dóna la benvinguda i ens presenta les instal·lacions de l'empresa Tecnopol. Nosaltres, sorpresos, li preguntem quina relació hi ha entre Tecnopol i Impressió D3D. Somriu i ens ho aclareix. Les tres persones que hi ha en aquell estudi són arquitectes i arquitectes tècnics, per tant la seva principal dedicació és el disseny d'edificis, el 3D és un servei afegit que ofereixen.



Figura 7.2: Logotip de l'empresa Tecnopol

Tecnopol és l'empresa a la qual dediquen la majoria del seu temps, un estudi d'arquitectura format pels arquitectes Dani Fèlez Xutglà i Enric Xutglà Ruiz i l'arquitecta tècnica Ester Serra Sala. És l'estudi responsable del

disseny d'edificis com el Tanatori de Banyoles, el Centre Cívic de Porqueres i la seu de l'empresa BUCHPLAST S.A., per posar uns exemples.

Quan els professionals d'aquest sector passaven pel seu pitjor moment a causa de la greu crisi econòmica, ells van decidir oferir nous serveis per intentar atraure més clients. Així, van adquirir una impressora 3D i van començar a realitzar les maquetes dels edificis impreses en 3D enlloc de fetes amb fusta. Tot i que al principi els va comportar una forta inversió econòmica, al final acabà suposant un estalvi tant de temps com de diners.

Una impressora 3D no és precisament barata, i menys la seva que és realment espectacular, per tant tenien la necessitat d'amortitzar-la en el menor temps possible. Per això van crear un negoci en què intervingués la màquina sense que la despesa inicial fos gaire gran i és aquí on neix l'empresa Impressió D3D. Simplement van crear una pàgina web atractiva on s'expliqués clarament com funciona el negoci i que permetés a la gent enviar els seus dissenys.

Deixem a part el tema de l'estudi d'arquitectura i ens centrem en el del 3D. Les preguntes que ens vénen al cap són moltes i sabem que la majoria les podrà respondre.

El primer que volíem saber és si el negoci té èxit, si té gaires comandes i si és gaire conegut. La seva resposta és contundent: si l'empresa es dediqués exclusivament al tema del 3D, ja no existiria. No és que no tinguin comandes, en tenen algunes, però no les suficients com per mantenir un negoci que necessita una inversió inicial tan forta. Comenta que de tant en tant hi ha algú que els envia un disseny perquè l'imprimeixin, però són peticions que encara escassegen molt. Destaca que la majoria de comandes són d'altres arquitectes que volen oferir el mateix servei que ells, però, com que no disposen d'impressora 3D, ho fan a través de la seva empresa. El negoci és poc conegut però no només el seu sinó tots els que es dediquen a aquest tema; el 3D encara està per explotar comercialment. És veritat que cada vegada hi ha més gent que els coneix, però tots deguts a la publicitat que en fan els clients, que, per a ells, són el millor mitjà publicitari.

A continuació passem a preguntes més específiques sobre la màquina i el material amb què imprimeixen, ja que, fins aquell moment, de coses fetes en 3D no n'havíem vist ni una. Ens explica que el material que utilitzen és l'ABS i que, per qüestions de política d'empresa, només en color blanc. Obre un armari i ens ensenya diferents peces que han imprès i de les quals en conserven una còpia. Hi ha des de petits engranatges a estructures completes de ponts, passant per edificis, recipients, diverses eines i coixinets per a bicis. Totes les peces estan impreses amb una perfecta precisió i amb el màxim detall possible.

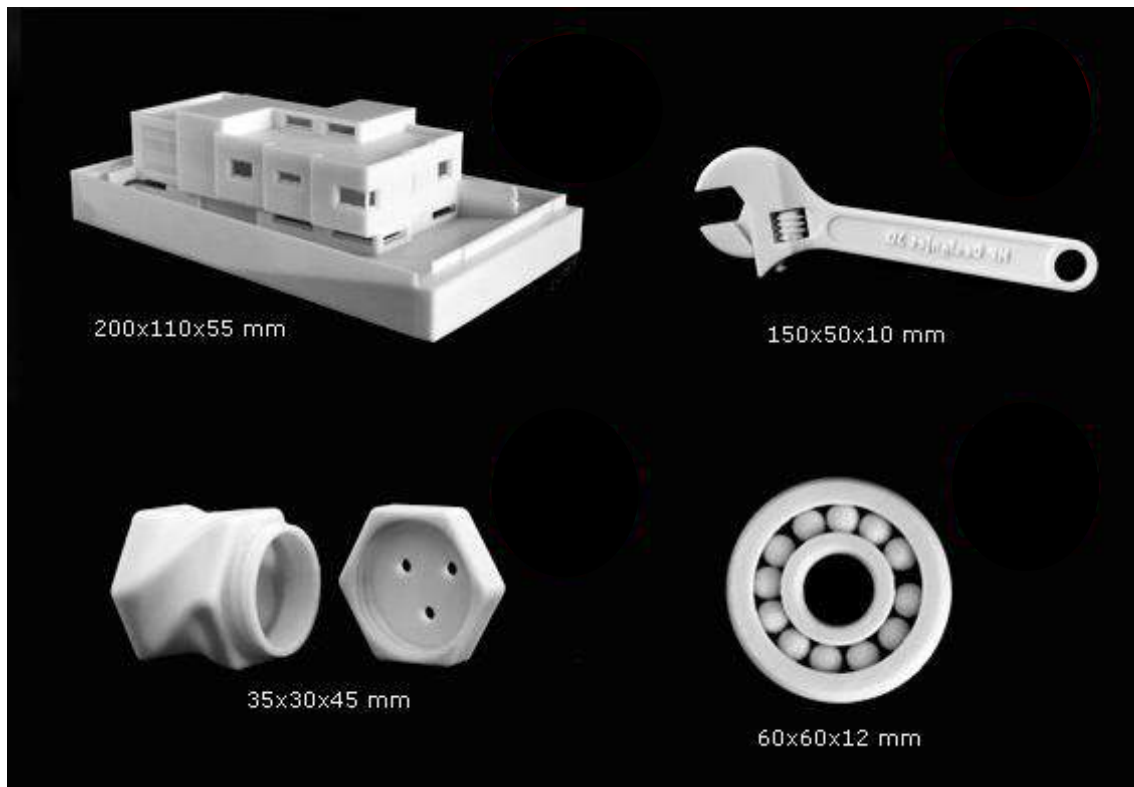


Figura 7.3: Diferents peces impreses a l'empresa



Figura 7.4: Impressora 3D de l'empresa

Al veure aquelles peces tan impressionants tenim claríssim que estem davant d'una màquina amb unes prestacions superiors a la nostra i demanem si ens la pot ensenyar. Entrem en un magatzem, es nota que allà no hi ha aire condicionat perquè la temperatura és molt diferent a la de la resta de l'edifici. Quan veiem la impressora quedem realment sorpresos: esperàvem una màquina professional, però no tant. No sabríem ben bé com descriure-la, un armari hermètic de color

blanc, amb una porta de vidre a través de la qual podem veure una gran quantitat d'engrenatges, corretges i mecanismes. És de la casa Hewlett Packard i la veritat és que no ens atrevim a preguntar-ne el preu perquè devia ser bastant elevat. Ens comenta que comença a ser una mica vella però el seu funcionament no té res a envejar a altres impressores més noves d'alta gamma.



Figura 7.5: Kit de retirada del plàstic de suport

Ens revela un dels secrets de l'extrema qualitat de les impressions d'aquesta màquina: imprimeix amb dos tipus de plàstics, un per fer la peça en sí i l'altre per fer els suports que n'aguanten les parts delicades durant la impressió. El plàstic de suport es retira mitjançant un *kit* de retirada del plàstic de suport, un complement per a la impressora que ofereix la casa HP. L'aparell té una aparença molt semblant a la d'una fregidora i el seu funcionament és molt simple.

Només s'ha de posar la peça de la qual volem eliminar els suports i deixar-li un temps determinat segons el volum; la màquina s'encarrega de dissoldre el plàstic que volem treure.

No obstant, la impressora també té algun inconvenient que no els acaba d'agradar, i el més important és l'elevat cost que els suposa cada impressió. Es deu, per una banda, a què la impressora no té un llit calent fet amb un vidre com el de la nostra sinó que cada vegada han de posar-hi una safata de plàstic d'un sol ús que té un cost de 3,5 €. Per l'altra banda, el material que utilitzen per imprimir té un preu molt elevat i això encareix el procés. La impressora només accepta bobines d'ABS de la casa HP perquè porten un xip que les distingeix; fet que provoca que hagin d'imprimir



Figura 7.6: Impressora 3D HP

amb bobines d'ABS de 180 € enlloc de poder-ho fer amb les de 30 € que es poden adquirir a qualsevol lloc on es distribueixi aquest tipus de material.

L'altra limitació que els molesta és que només poden treballar amb els programes de disseny HP i, per exemple, no poden fer els dibuixos amb Sketch Up perquè la impressora no els accepta els fitxers als quals permet exportar aquest programa de Google. En això els proposem una solució: el Netfabb, el programa que fem servir per reparar els fitxers i exportar-los a STL. No sabem si funcionarà, però per provar-ho no hi perden res.

Arriba el torn de presentar-li el projecte. En un resum ràpid, el nostre treball de recerca consisteix en dues grans parts: aprendre a imprimir en 3D des de zero amb la impressora del centre i dissenyar diferents avions i imprimir-los amb aquest mètode per fer un petit estudi de quines són les formes i tipus d'ala i cos que millor funcionen i extreure'n una conclusió final per comprovar si concorda amb la realitat del món de l'aviació.

Dani Fèlez és arquitecte, no enginyer aeronàutic, per tant en el tema dels avions no ens podrà ajudar molt; tot i que algunes idees sí que ens aporta. Li ensenyem els que tenim impresos fins al moment i ens fa veure un error que estàvem cometent sense adonar-nos-en: a l'interior de les ales hi dibuixem un entramat en creu, que el que fa és donar-los molta resistència en posició vertical, però molta flexibilitat en horitzontal, cosa que no ens interessa. També ens aporta una idea per als pròxims dissenys: les ales dobles. Realment no sap si funcionarà, però si hi ha avions que en tenen i volen, no té perquè anar malament.

Abans d'acomiar-nos, ens proposa que si no aconseguim poder imprimir amb la impressora del centre ens deixarà fer-ho amb la seva, però que ens haurà de cobrar el preu del material perquè és extremadament car i no vol sortir-hi perdent.

Després d'aquesta interessant trobada ens acomiadem i ens recorda que per qualsevol cosa que necessitem podem contactar amb ell per correu electrònic.

Definitivament, tots coincidim en què a Tecnopoli i Impressió D3D hi ha gent emprenedora, que no té por en llançar-se a explorar nous mercats i amb moltes ganes d'oferir un bon servei. Sens dubte un molt bon exemple d'empresa que lluita per tirar endavant!

7.3 RESOLUCIÓ FINAL DELS PROBLEMES

A finals de juliol, es va comptar amb l'ajuda d'un tècnic especialitzat en el model d'impressora que s'utilitzava a l'institut i així es van poder resoldre tots els problemes que havien anat apareixent durant aquesta fase.

Lamentablement, es va comptar amb l'ajuda del tècnic massa tard; fet que va comprometre greument la planificació i execució del treball. De fet, es va haver d'abandonar l'objectiu final d'imprimir un avió en 3D amb motors, controlat amb una emissora radio-control perquè ja no hi havia prou temps per fer-ho.

En aquest moment va ser quan es va optar per la creació de diferents manuals d'ús de la impressora 3D (bàsic, avançat, de resolució de problemes...) així com un web on es recollís tota la informació que s'havia anat acumulant sobre aquest àmbit. Aquesta decisió es va prendre gràcies a què s'havia acumulat una gran quantitat d'informació i coneixement sobre aquest àmbit i es volia recollir amb l'objectiu d'evitar que el problema de falta d'informació i mètodes fos recurrent per la resta de gent que utilitzés la impressora.

Els problemes que s'han enumerat anteriorment s'han recollit, explicat detalladament i resolt a l'apartat de resolució de problemes del *Manual Avançat d'Impressió en 3D* (que figura a l'annex del treball), per aquest motiu no s'ha considerat necessari repetir-ho en aquest apartat.

8 DISSENY DELS AVIONS

En aquest apartat del treball es detalla i desenvolupa tot el que s'ha pensat, après i corregit sobre els diferents dissenys de les parts dels avions.

Tal com es pot observar, la majoria dels dissenys no són d'avions sencers sinó només ales o cossos per separat. Pel que fa a les ales es van desenvolupar fins a set models diferents, però en l'apartat de cossos van ser-ne dos, un d'ells amb una variant més lleugera.

A continuació s'exposen, detalladament, tots els dissenys que es van desenvolupar durant la fase de creació de models:

8.1 ALES PRIMÀRIES

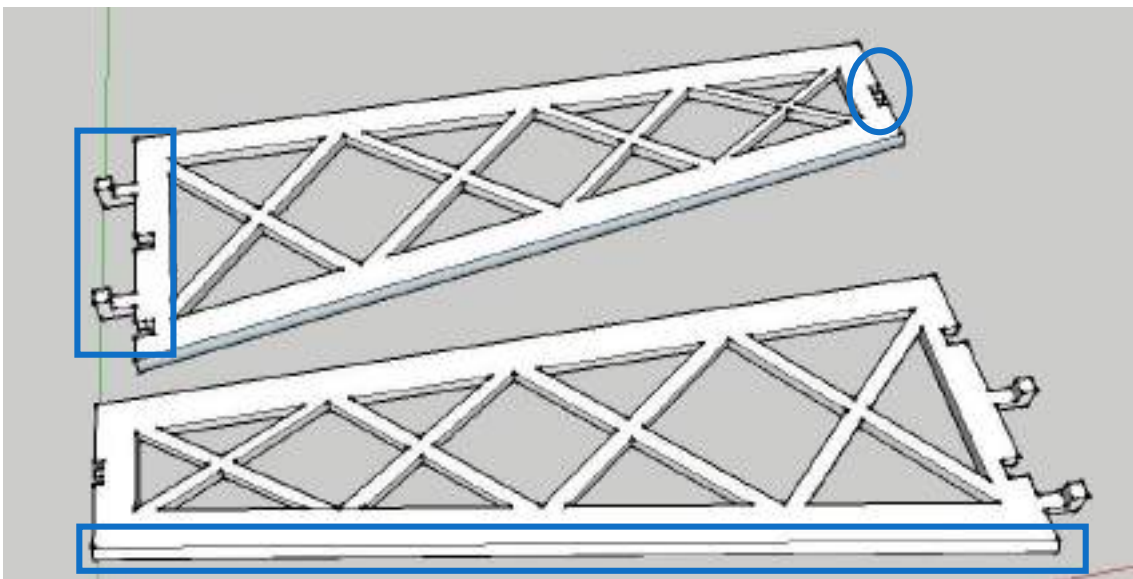


Figura 8.1: Ales primàries amb els punts clau ressaltats

Aquestes són les primeres ales que es van dissenyar. Tenen una forma molt simple, la d'un trapezi rectangle amb la part central buida perquè es va considerar que, si es feien completament plenes el seu pes seria excessiu. La part central es va reforçar utilitzant l'entramat en creu que es pot observar a la imatge.

El segon detall és el contorn arrodonit del front d'atac de l'ala per intentar reduir la fricció amb l'aire durant el vol. Lamentablement, el front no va quedar del tot ben imprès quan es va materialitzar.

Els dos forats petits que es poden observar a la vora curta de cadascuna de les ales estan pensats per si cal enganxar-hi un fil o una goma per tensar les ales en cas de necessitat.

L'última part destacable d'aquest disseny són els encaixos amb el cos i entre les ales. Les ales estan pensades per encaixar en un cos amb 4 forats a la zona central; però, com que en sobresortiria una part, l'ala de l'altre costat també ha de tenir un encaix per a aquesta peça.

Els principals problemes d'aquestes ales són l'elevat pes degut a l'excés de gruix i la forma poc aerodinàmica que tenen.

8.2 COS PRIMARI

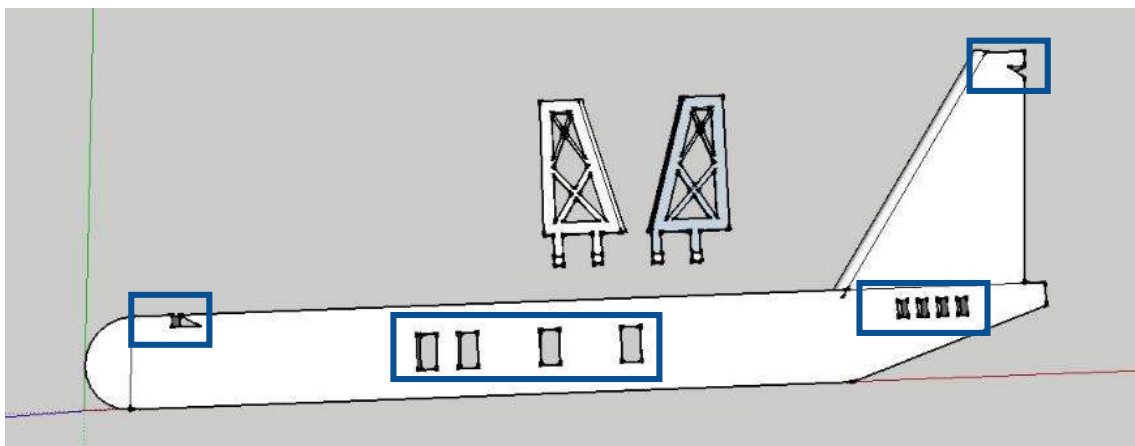


Figura 8.2: Cos primari amb les parts rellevants destacades

Aquest és el primer cos que es va dissenyar. La seva forma es pot dividir en quatre parts senzilles: un semicercle, un rectangle i dos trapezis rectangles. El semicercle representa la part frontal de l'avió i intenta buscar una forma més aerodinàmica per no provocar tant fregament; el rectangle, el cos de l'avió, i el primer trapezi, la cua. El trapezi més gran, situat sobre l'altre, representa el timó de cua i estabilitzador vertical.

Els quatre forats grans situats al mig del cos funcionen com a encaixos per a les ales i els altres quatre més petits, a la dreta, per a les ales petites que funcionen com a alerons de cua i estabilitzadors horitzontals.

Els dos petits forats que es poden observar a la part de davant de l'avió i a la part de dalt de la cua serveixen per enganxar-hi una goma o una corda per tensar l'avió si és necessari.

El principal problema d'aquest disseny és l'elevat gruix que, alhora, provoca un pes excessiu.

8.3 REEDICIÓ DE LES ALES

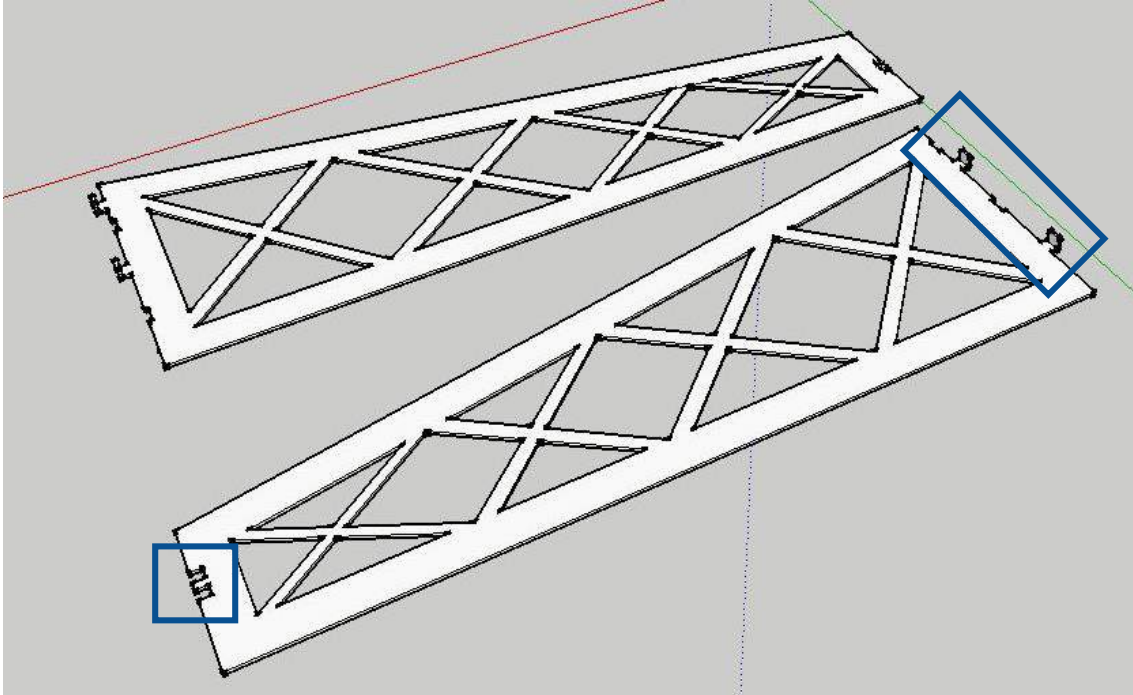


Figura 8.3: Reedició de les ales, amb els punts clau ressaltats

Aquest és el segon disseny d'ales que es va crear. Són exactament igual que les primàries però molt més primes i amb uns encaixos pensats per a un cos d'avió també més prim. Els seus punts clau són els mateixos que els de les anteriors: els encaixos.

El seu principal error és que, al fer-les tan primes, l'entramat interior deixa de funcionar, les ales perden rigidesa i es tornen extremadament flexibles.

8.4 ALES RÍGIDES

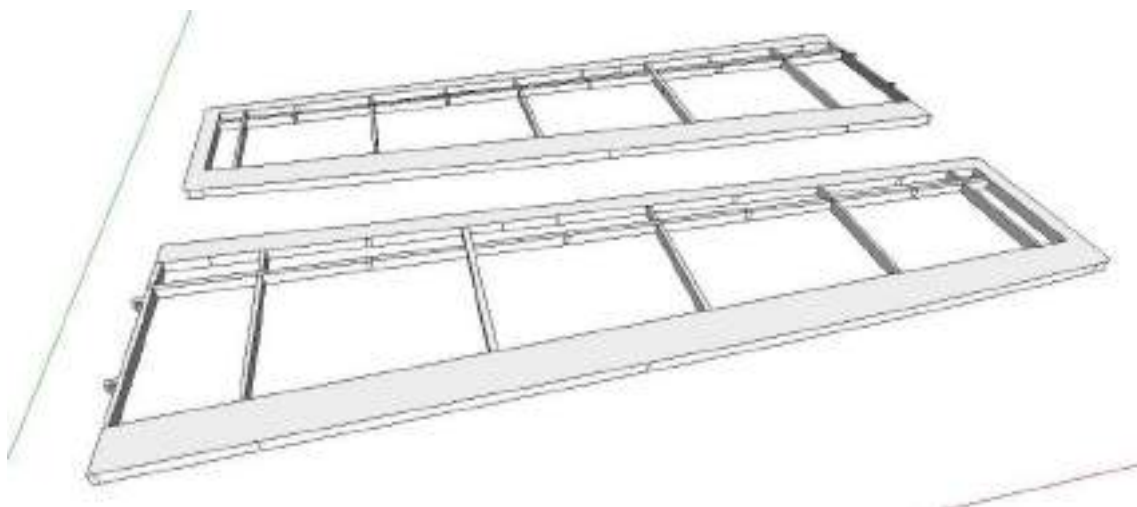


Figura 8.4: Ales rígides

Un cop observat que l'entramat interior no era correcte, se'n va haver de pensar un de nou amb poc gruix que donés la resistència necessària a les ales. Aquest nou entramat estava format per cinc barres verticals reforçades per una de horitzontal.

Tot i que van permetre trobar un bon equilibri entre rigidesa i pes, van haver de ser descartades perquè la forma no era prou aerodinàmica i es va considerar que era una línia de recerca que no portaria bons resultats.

8.5 ALES PRIMES

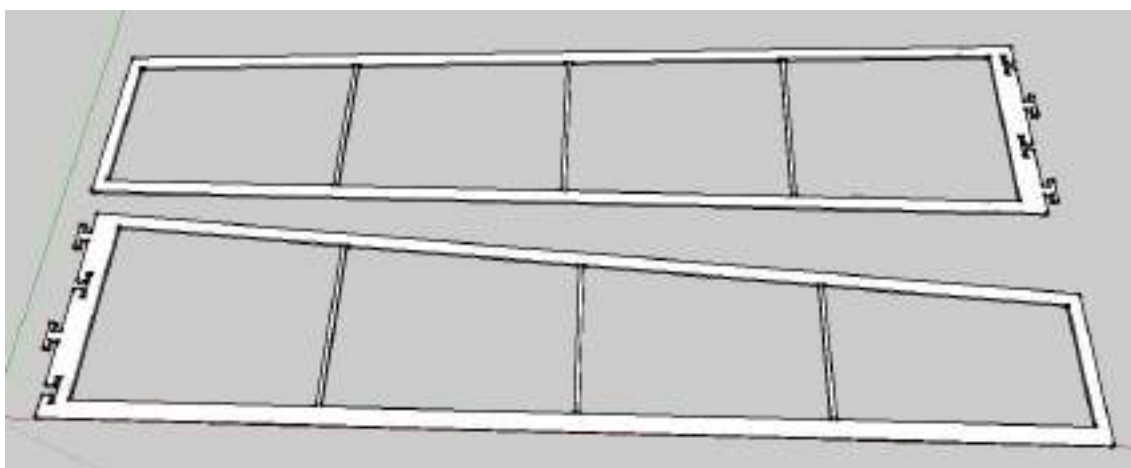


Figura 8.5: Ales primes

Aquest és un disseny molt trencador. Es tracta d'unes ales molt primes i, per tant, molt lleugeres. Estan formades per una zona exterior bastant estreta, tres barres de suport a la zona interior i uns encaixos per unir les dues a la part central.

Pel fet de ser tan primes i lleugeres, també són extremadament flexibles; però en aquest cas no és cap problema perquè ja és un dels factors que es buscava quan es dissenyaven.

Com que la principal característica d'aquestes ales és la seva lleugeresa, només poden anar amb un cos molt lleuger (una canya de refresc, per exemple).

8.6 COS PRIMARI LLEUGER

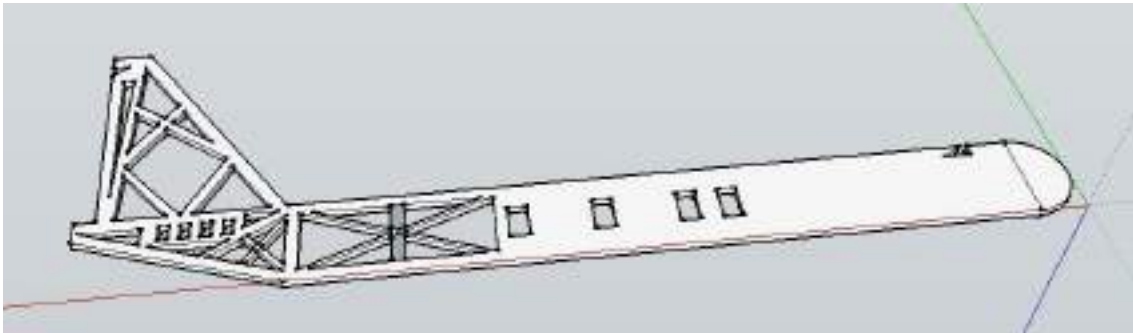


Figura 8.6: Cos primari lleuger

És la reedició del primer cos. Es va fer amb l'objectiu d'aconseguir la lleugeresa necessària que el primer no tenia. El gruix del cos es va reduir a menys d'una tercera part respecte l'original i, a la part posterior, es va substituir la part massissa per un entramat en creu.

La part posterior es va modificar amb l'objectiu d'aconseguir un correcte calibratge del pes de tot l'avió (amb el centre de gravetat al primer terç de l'ala), ja que en el primer cos s'havia observat que pesava molt més la part posterior que l'anterior.

8.7 ALES AERODINÀMIQUES

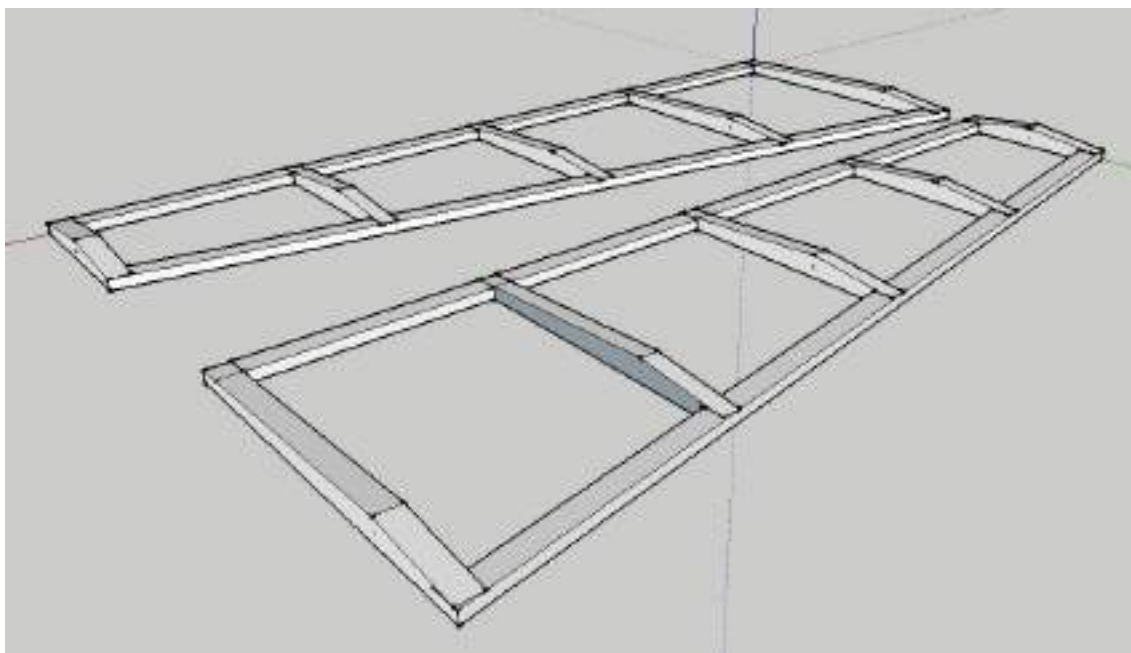


Figura 8.7: Ales aerodinàmiques

Aquestes ales són les que tenen una forma més aerodinàmica de totes les que s'han dissenyat al treball. Són bastant lleugeres, però això no compromet la seva rigidesa ja que també són molt resistents.

La gran innovació apareix en la forma de la seva part superior: es va substituir la forma plana per dues pendents que s'inicien una per cada costat i coincideixen on, aproximadament, hauria d'estar situat el centre de gravetat. Aquesta nova forma es va inspirar en la que tenen les ales dels avions d'aeromodelisme i comercials, i el que es busca és que provoquin més força de sustentació. Aquesta força s'aconsegueix si l'aire ha d'anar més ràpid per la part de dalt de les ales que per baix, ja que, quan això passa, l'aire empeny l'avió amunt.

8.8 EL COS INNOVADOR

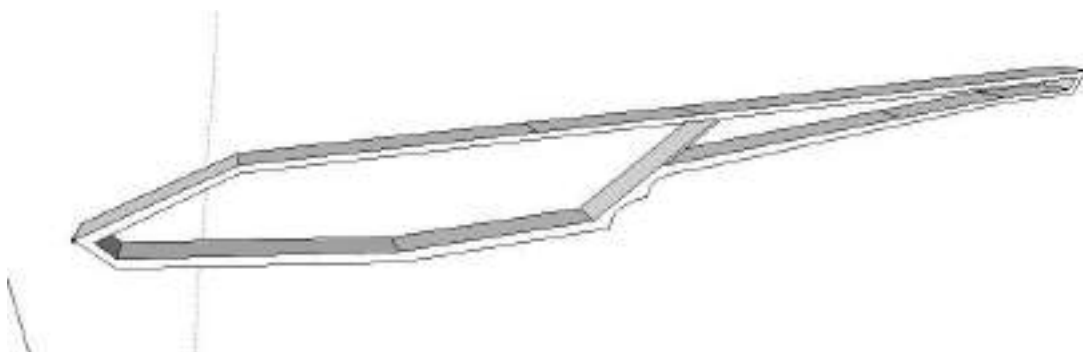


Figura 8.8: Cos innovador

En aquest nou disseny de cos es va innovar en el concepte: s'abandonà la idea d'un cos rígid i cobert per passar a un en el qual la forma i el contorn prenguessin tota la rellevància. La forma es va extreure de l'avió de fusta que es va construir prèviament seguint la recomanació dels membres del Club d'Aeromodelisme de Girona.

El cos és més ample de davant i es fa estret a mesura que s'avança cap a la part posterior. D'aquesta manera s'intenta aconseguir que el centre de gravetat sigui més fàcil de centrar a la primera part de l'ala.

A diferència dels anteriors, aquest cos és completament buit de dins; fet que aporta coses positives i negatives. Com a positives hi ha la disminució de pes, però com a negatives que no serveix d'estabilitzador vertical per l'avió en el moment del vol.

8.9 ALES DOBLES PETITES

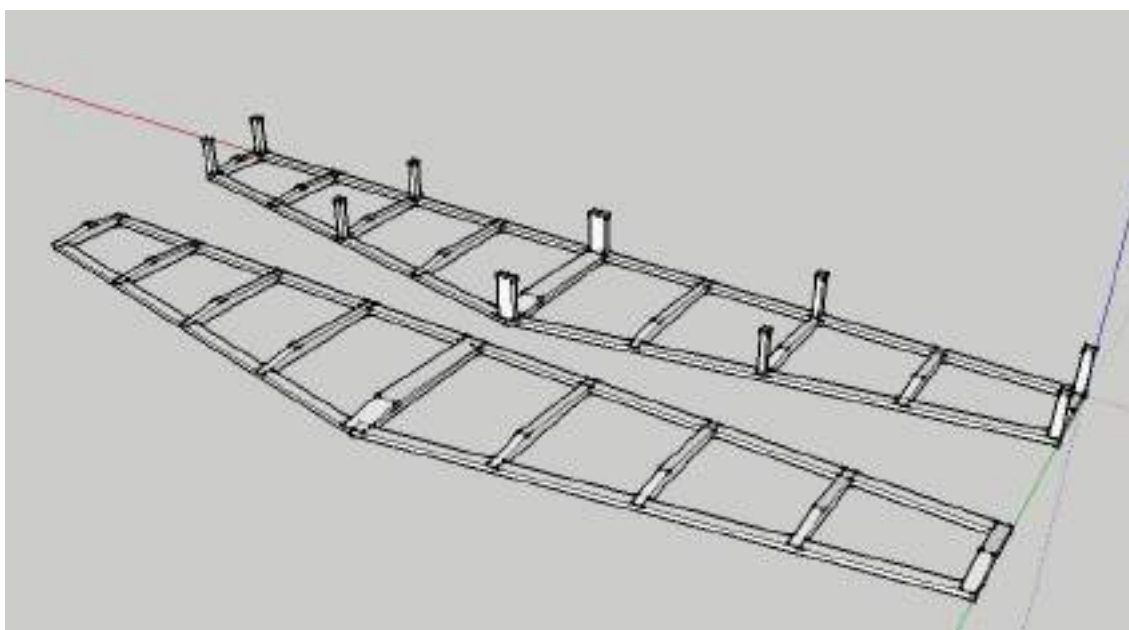


Figura 8.9: Ales dobles Petites amb la part superior davant la inferior

Aquest disseny consisteix en unes ales dobles de mida petita. Consisteixen bàsicament en dues ales enganxades una al cim de l'altra per tal d'intentar aconseguir el doble de sustentació en l'aire.

Al fer-les de mida petita, es van poder unir les parts dreta i esquerra de l'ala. D'aquesta manera, d'aquesta manera es va haver de fer una única unió manual entre la part inferior i la superior, ja que la impressora no és capaç d'imprimir-ho tot junt.

Les dues parts de les ales (la part superior i la inferior) segueixen tenint la mateixa forma que les anteriors, amb la inclinació suau que provoca que l'aire hagi d'anar més ràpid per dalt que per baix i provoqui la sustentació.

Els pilars que aguanten l'estructura superior de les ales estan enganxats a la part de baix perquè és l'única manera que quedin ben impresos, ja que la impressora no els podria imprimir enganxats a la part superior ni imprimir les ales completament acoblades.

8.10 ALES DOBLES

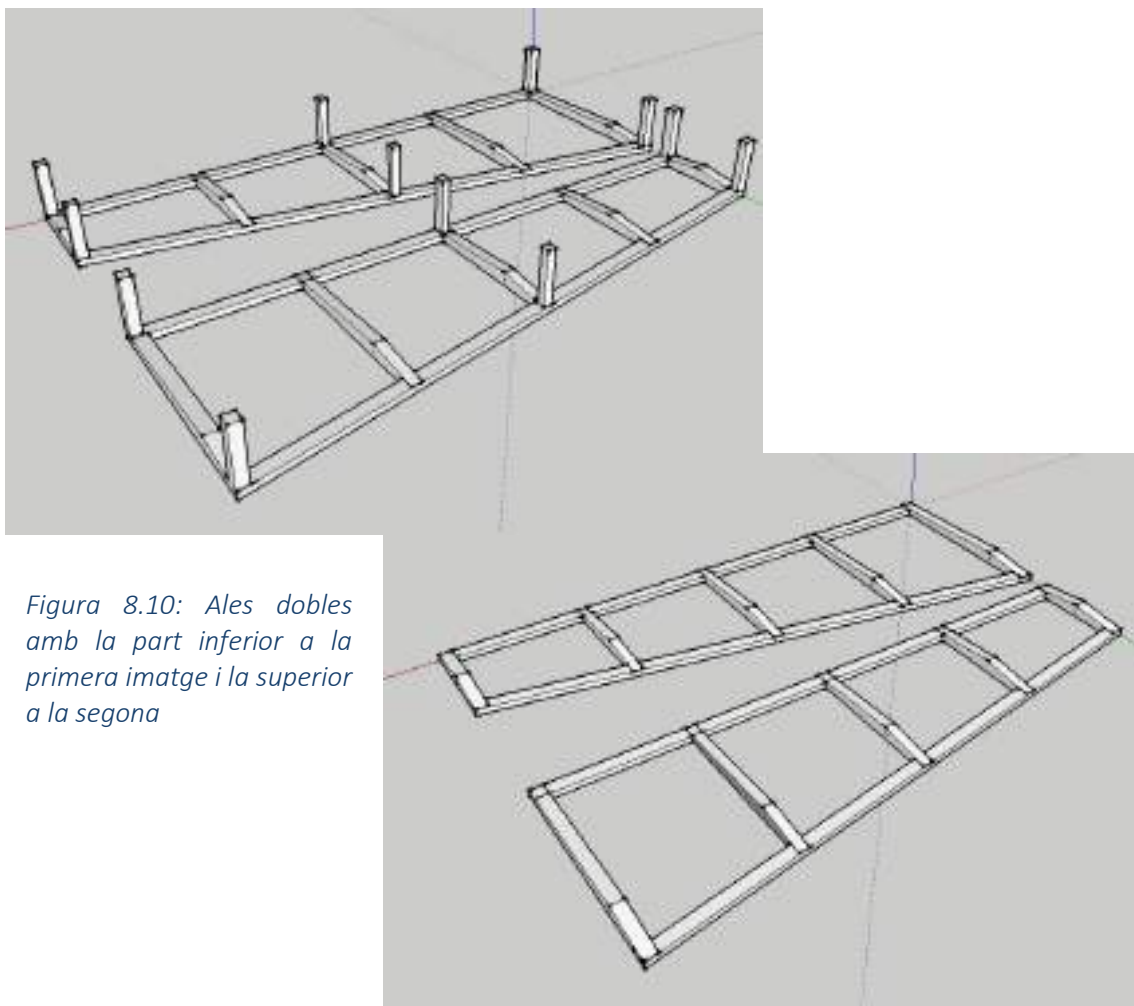


Figura 8.10: Ales dobles amb la part inferior a la primera imatge i la superior a la segona

Aquest últim disseny és la versió gran de les ales anteriors. Aquest cop, la part dreta i la part esquerra de l'ala s'han d'imprimir separades a causa de la seva mida i, per tant, a l'hora d'unir les diferents peces s'ha de fer en quatre punts: entre la part dreta i esquerra de baix, entre la part dreta i esquerra de dalt i entre la part superior i la inferior.

Amb aquest disseny, el que es busca és, principalment, aconseguir el doble de sustentació que amb les ales normals gràcies a què hi ha el doble de superfície alar. El problema, però, és que a l'haver-hi el doble de superfície alar també hi ha el doble de pes.

9 AVIONS DISSENYATS: ELS DIFERENTS PROTOTIPS

Tot i els problemes que van aparèixer amb la impressora, va ser possible configurar fins a deu avions impresos en 3D que, sumats al que es va construir amb fusta de balsa seguint el consell del Club d'Aerodelisme Girona, conformen la flota d'avions per a l'estudi.

Seguidament, es presenten individualment tots aquests avions de forma detallada amb la seva fitxa tècnica, el procés de construcció, els punts claus i els errors.

9.1 AVIÓ 1: *VELER MERLIN*

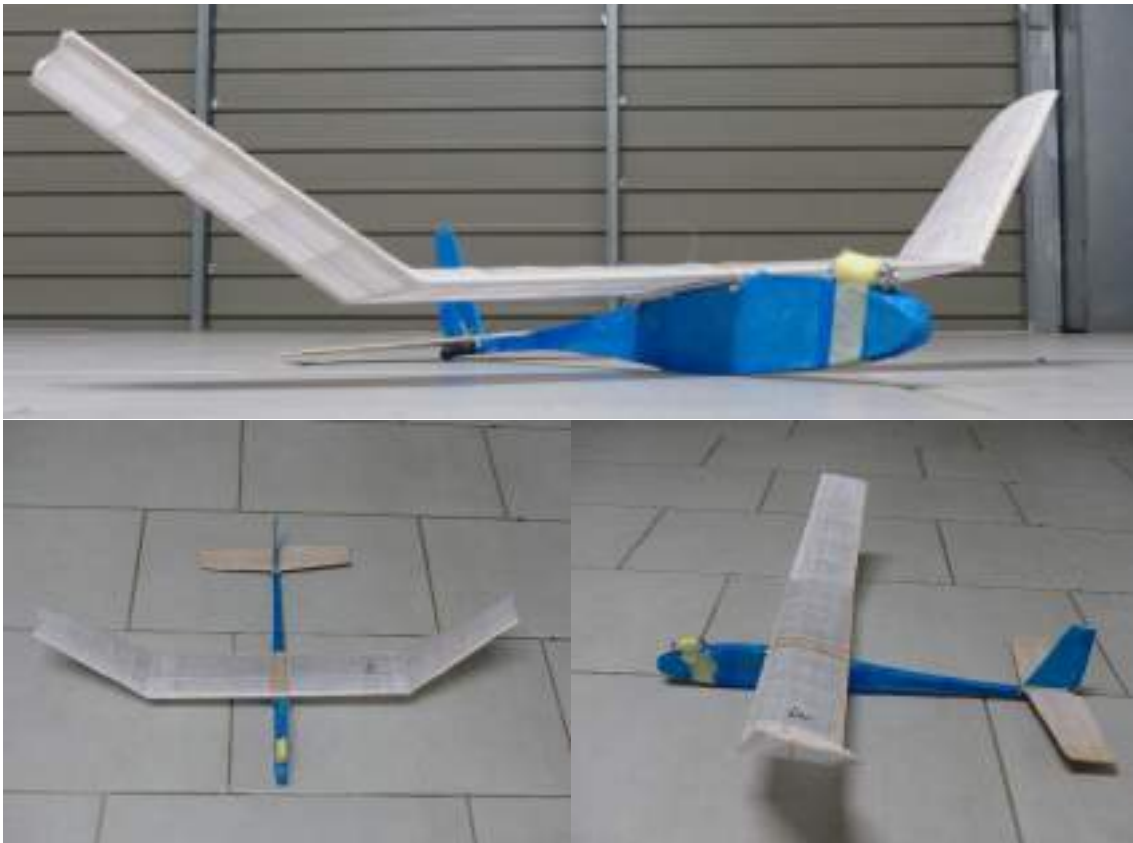


Figura 9.1: Veler Merlin

Aquest *kit* de muntatge d'un avió de tipus veler es va adquirir per internet a través de la pàgina web que ens van recomanar (WWW.SPEEDHOBBYS.COM) i va servir per veure anava el procés de construcció i descobrir els punts clau d'aquests avions.

9.1.1 Fitxa tècnica

Llargada	54,8 cm
Envergadura	79,2 cm
Pes	101 g
Materials de construcció	<ul style="list-style-type: none"> - Fusta de balsa - Cola blanca - Paper de seda - Vernís tensor (<i>Novavia</i>) - Fil - Claus - Cinta de pintor

9.1.2 Procés de construcció

Les instruccions de muntatge, tres fulls A4, detallaven els passos a seguir i anaven acompanyades d'un full més gran amb el dibuix de totes les parts per facilitar la construcció de cadascuna d'elles.

El primer que vam fer va ser enganxar el plànol en una taula i cobrir-lo amb plàstic transparent per tal de poder-hi treballar a sobre sense perill d'embrutar-lo.

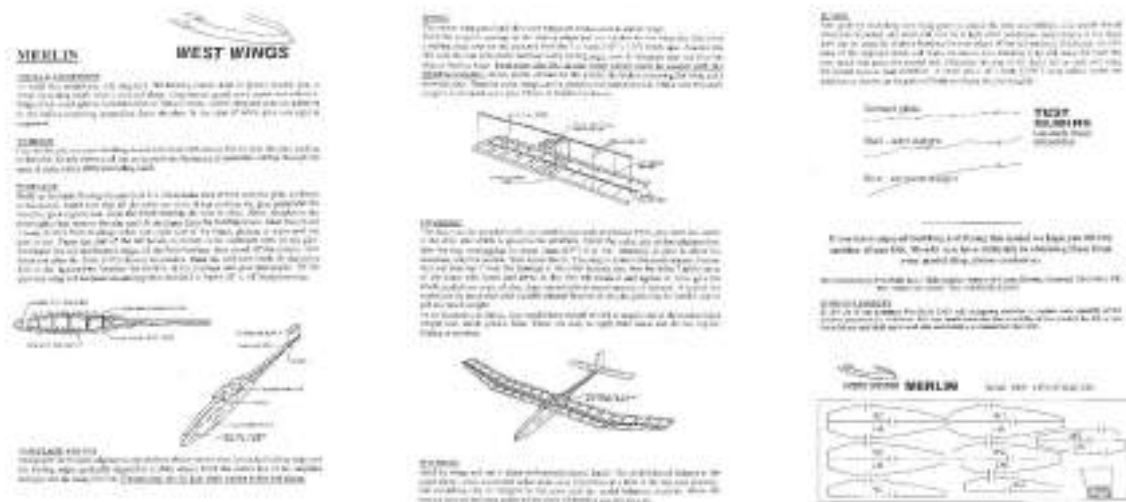


Figura 9.2: Instruccions de muntatge

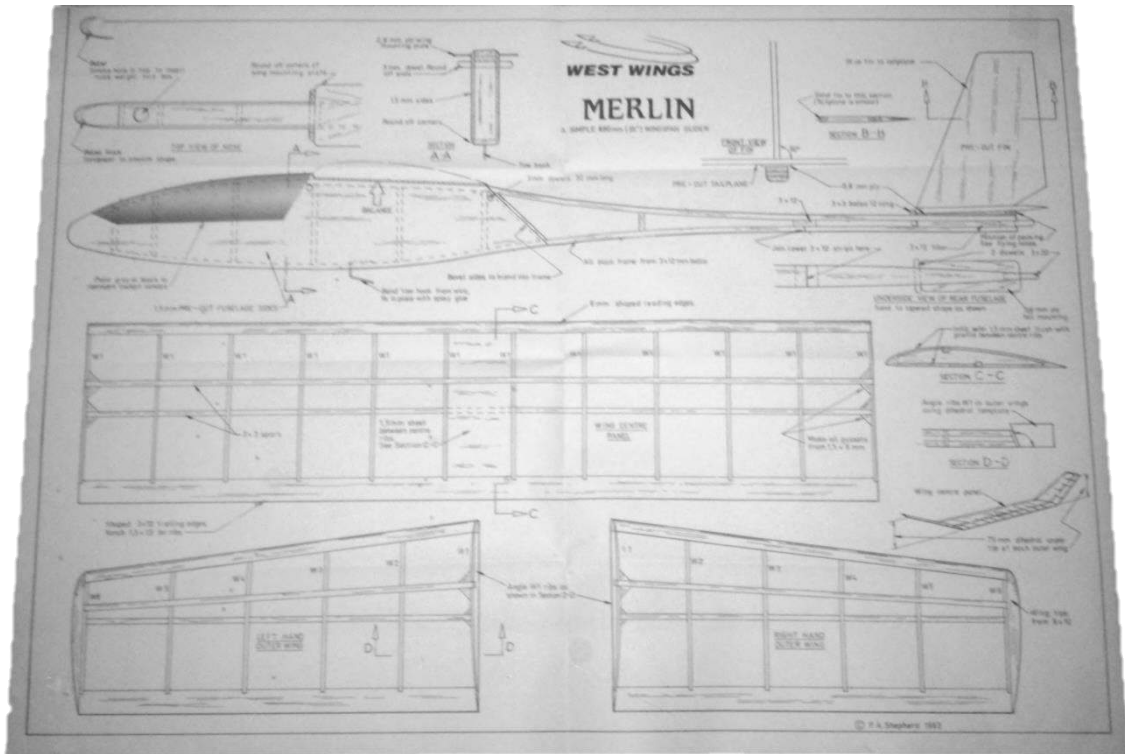


Figura 9.3: Plànol de muntatge

A continuació, seguint els dibuixos del plànol, es van anar enganxant i tallant les fustes fins a acabar completant totes les parts. Un cop la cola va estar seca, es van cobrir totes les parts amb paper de seda i un vernís tensor especial (vernís *Novavia*). Amb aquest vernís el paper va agafar rigidesa, i va donar forma a la superfície alar.

Un cop es van haver unit les tres peces (cos, ales i T de cua), es va procedir al pas més difícil, el calibratge del pes. Es va dedicar molt temps a aquest procés per evitar que l'avió caigués de morro o de cua, però tot i els vint claus inserits a la part davantera, el pes no va acabar del tot ben calibrat.



Figura 9.4: Recull d'imatges del procés de construcció.
Se'n poden trobar més al web TDR2K15.WIX.COM/AVIONS3D

9.1.3 Errors

Tan bon punt va estar enllestit, es va observar que el pes de l'avió seguia sense estar correctament calibrat i això seria un greu problema per al vol de l'avió ja que seguia caient de cua.

9.2 AVIÓ 2



Figura 9.5: Avió 2

9.2.1 Fitxa tècnica

Llargada	21,8 cm
Envergadura	41,7 cm
Pes	55 g
Materials de construcció	<ul style="list-style-type: none">- Plàstic PLA- Fil- Paper- Cinta adhesiva

Aquest avió és una simplificació dels conceptes principals de l'avió anterior, tenint en compte, això sí, les limitacions de la impressora que s'havien descobert en les impressions prèvies.

9.2.2 Procés de construcció

En ser el primer avió imprès en 3D, va servir per crear el procés de construcció, que és bastant idèntic per a la resta d'avions.

El primer pas va consistir en dibuixar el disseny per ordinador. Està compost per 6 parts impreses per separat: el cos, dues ales centrals, dues ales de cua i uns suports.

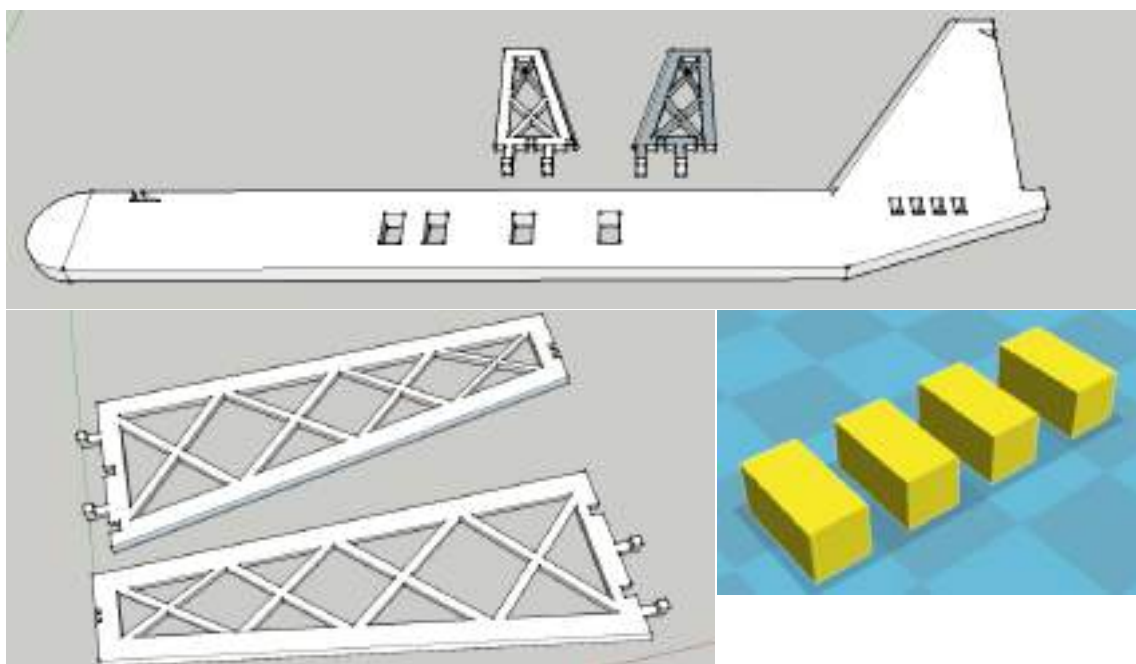


Figura 9.6: Parts de l'avió: cos, ales i suports

Es van imprimir totes les parts seguint el procés explicat en l'apartat 'Impressió 3D' (pàgina 10) i es van comprovar els encaixos. Com es pot veure en les imatges superiors, les ales s'inserten dins els 4 forats centrals del cos i s'utilitzaven els 4 suports per assegurar que no es desencaixessin. Les ales de cua s'insereixen de la mateixa forma, però no calen suports perquè els forats són molt petits. Les ales es van cobrir amb paper i cinta adhesiva i es va utilitzar un fil per assegurar la seva tensió.

9.2.3 Errors

El pes de l'avió és excessiu en relació amb la mida d'aquest, fet que provoca que enlloc de volar es precipiti al terra.

9.3 AVIÓ 3

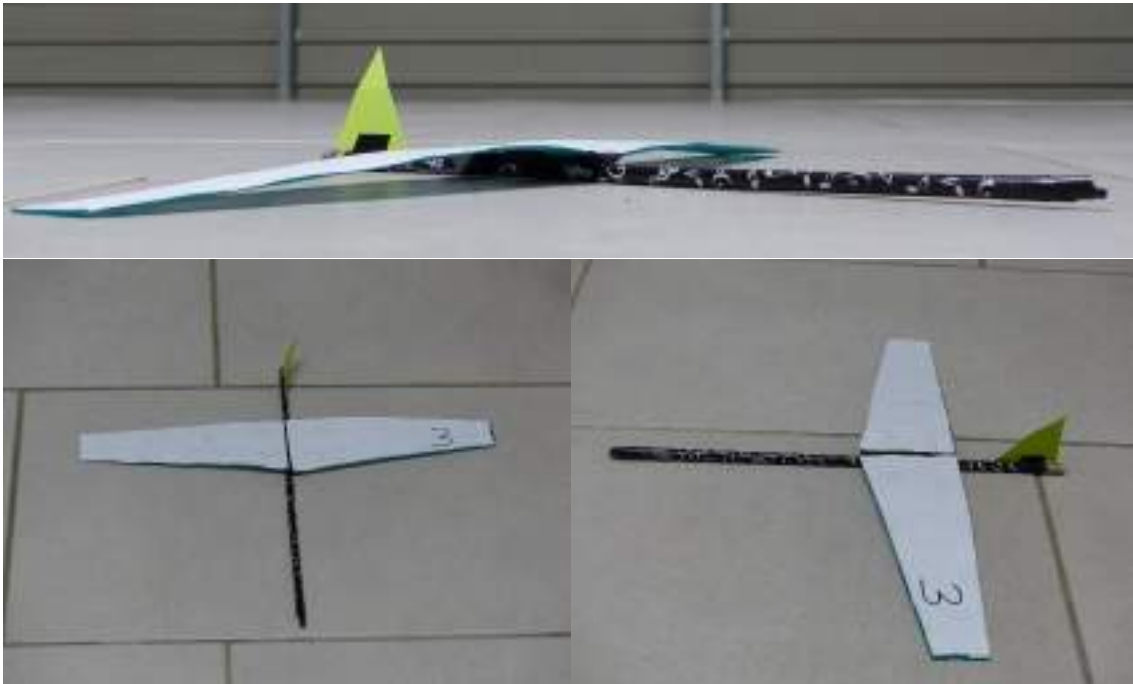


Figura 9.7: Avió 3

9.3.1 Fitxa tècnica

Llargada	34,6 cm
Envergadura	42 cm
Pes	34 g
Materials de construcció	<ul style="list-style-type: none">- Plàstic PLA- Llapis llarg- Paper- Cinta adhesiva- Tros de cartolina

9.3.2 Procés de construcció

Les ales utilitzades són molt semblants a les de l'avió número 2, però molt més primes.

Un cop impreses es van enganxar en un llapis llarg utilitzant cinta adhesiva i se'n va cobrir la part superior amb paper. Per acabar, es va afegir l'ala petita del darrere amb la finalitat de fer d'estabilitzador vertical: un tros de cartolina enganxat amb cinta adhesiva.

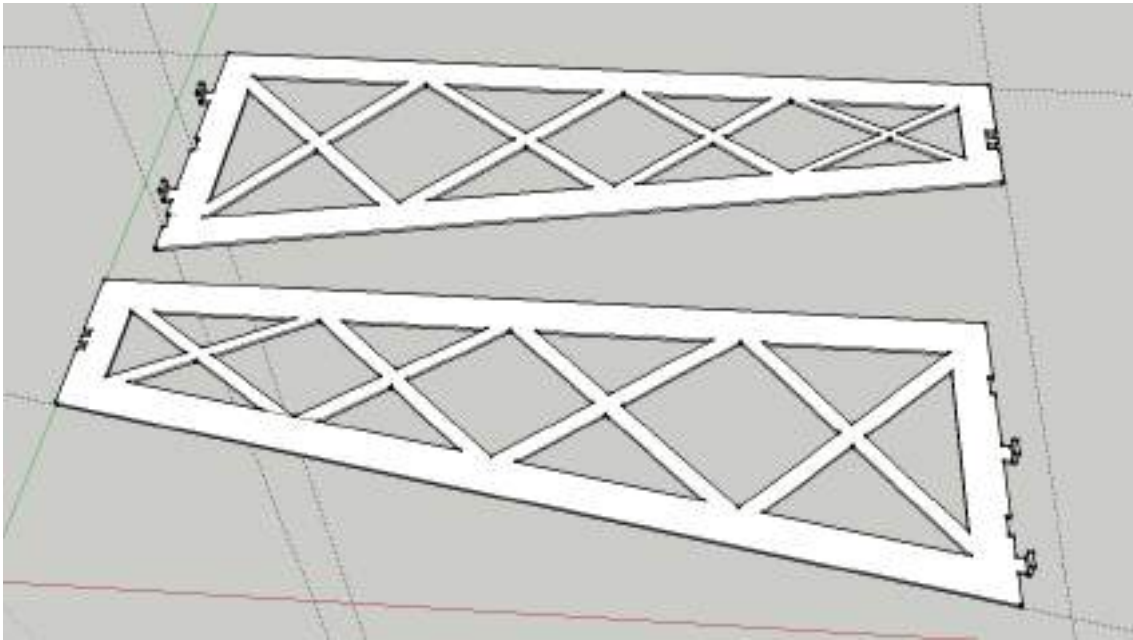


Figura 9.8: Ales de l'avió 3

9.3.3 Errors

Les ales són massa primes i flexibles i no tenen la suficient rigidesa com per mantenir la seva forma ideal durant el vol.

9.4 AVIÓ 4

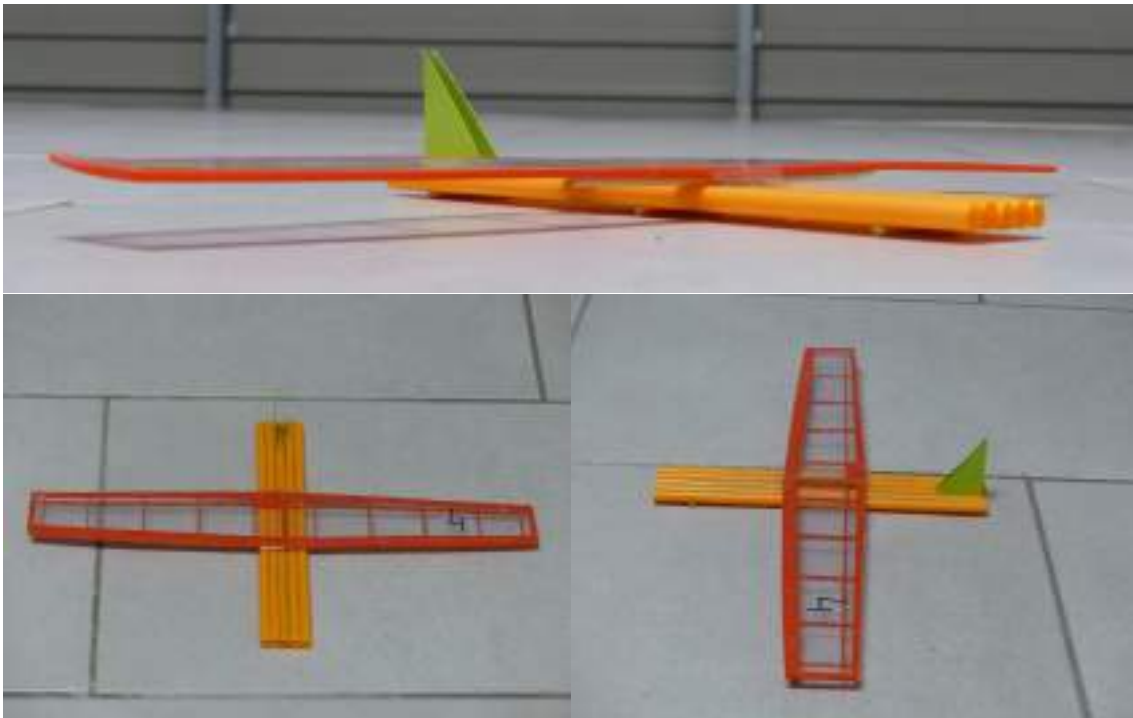


Figura 9.9: Avió 4

9.4.1 Fitxa tècnica

Llargada	24,7 cm
Envergadura	42,7 cm
Pes	34 g
Materials de construcció	<ul style="list-style-type: none">- Plàstic PLA- 5 canyes de plàstic- Plàstic transparent- Cinta adhesiva- Tros de cartolina- Ecuradents- Cola blanca- Llapis

9.4.2 Procés de construcció

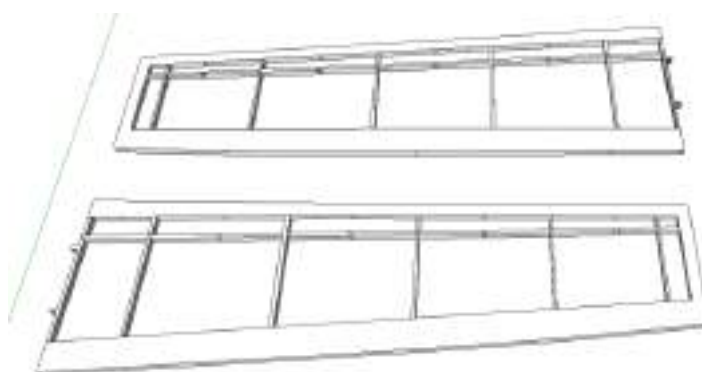


Figura 9.10: Ales de l'avió 4

Es van utilitzar unes noves ales, amb una forma completament diferent que els aportava molta més rigidesa sense augmentar gaire el pes, les quals es van cobrir amb plàstic transparent.

Es van agafar 5 canyetes i es van unir horitzontalment utilitzant cola blanca i tres trossos d'escudadors. Es van unir les ales al cos amb cinta adhesiva i es van fer dos timons de cua amb cartolina que també es van unir al cos. Finalment, i per intentar calibrar el pes de l'avió, es va inserir un llapis dins la part de davant de la canya central.

9.4.3 Errors

Es va observar que la forma del cos no és la més adequada per a un avió i no és suficientment aerodinàmica.

9.5 AVIÓ 5

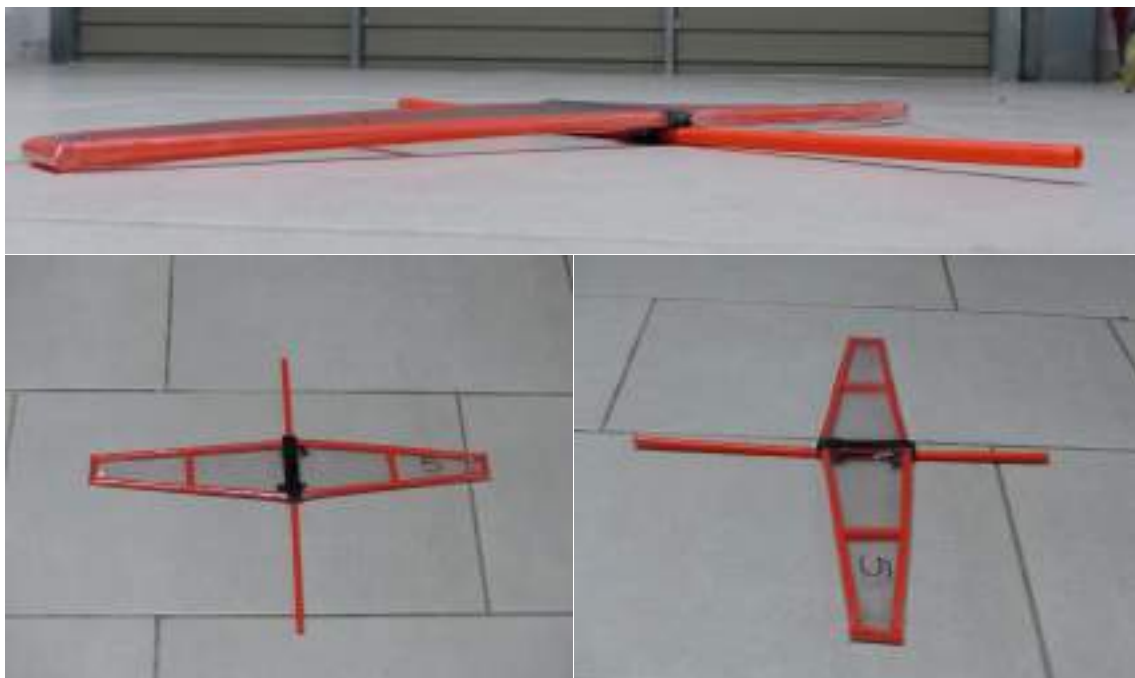


Figura 9.11: Avió 5

9.5.1 Fitxa tècnica

Llargada	40,6 cm
Envergadura	51,5 cm
Pes	23 g
Materials de construcció	<ul style="list-style-type: none">- Canyes de plàstic- Cinta adhesiva- Vinil autoadhesiu (<i>Aironfix</i>)- Cola blanca

9.5.2 Procés de construcció

Aquest avió no està imprès en 3D perquè va ser construït durant l'època en què la impressora no funcionava. Tota l'estructura està feta amb canyetes de plàstic.

Les ales estan fetes a base d'unir canyetes amb cinta adhesiva, intentant aconseguir la forma que es pot observar a la imatge de la figura 9.11, i folrades amb vinil autoadhesiu. El cos està format simplement per dues canyes unides, inserint un tros d'una dins l'altra. Ales i cos s'uneixen, també, amb cinta adhesiva.

9.5.3 Errors

El cos és massa prim en comparació amb les ales i no està del tot ben calibrat.

9.6 AVIÓ 6

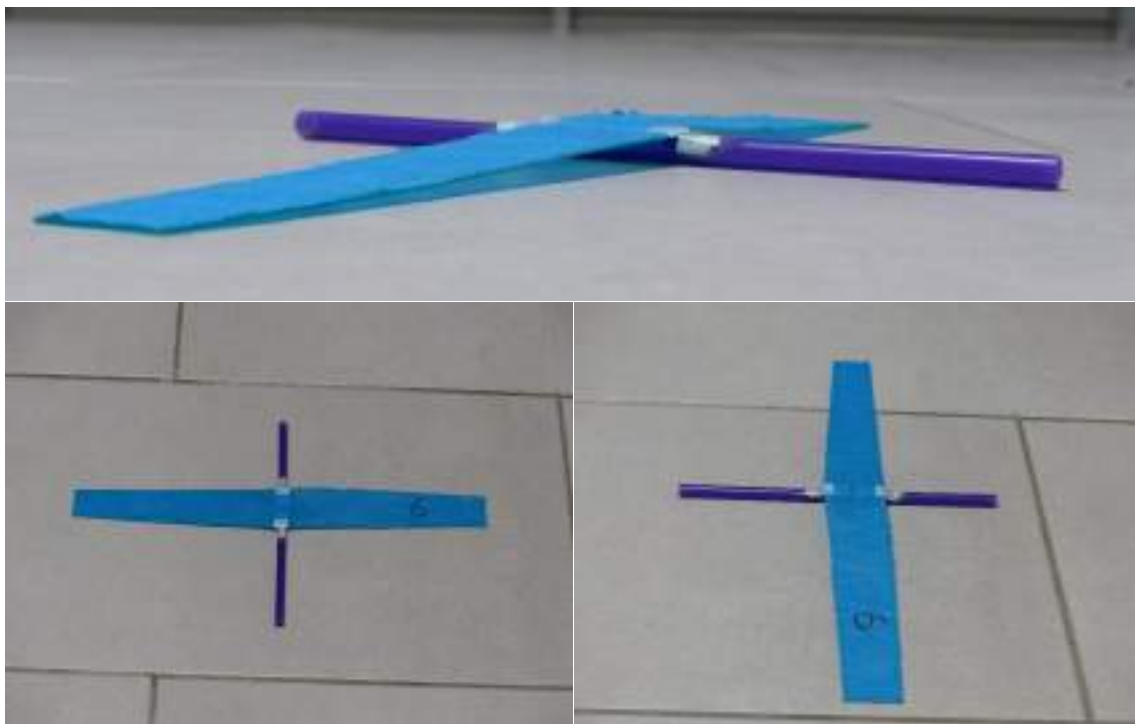


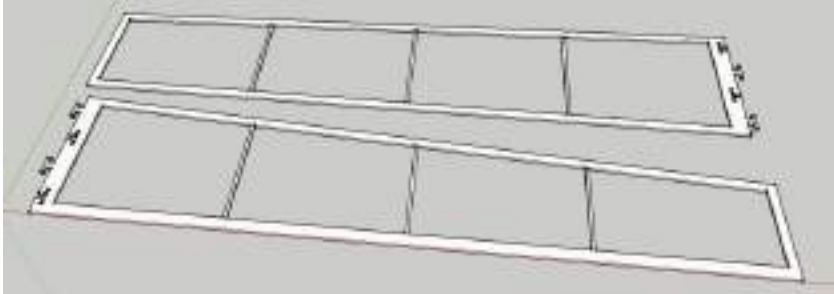
Figura 9.12: Avió 6

9.6.1 Fitxa tècnica

Llargada	22,7 cm
Envergadura	40 cm
Pes	6 g
Materials de construcció	<ul style="list-style-type: none">- Plàstic PLA- Canya de plàstic- Cinta adhesiva- Paper de seda

9.6.2 Procés de construcció

Per aquest model es van utilitzar les ales primes (disseny 9.6, pàgina 35), ales amb una estructura molt senzilla i lleugera.



Van ser unides per la part central utilitzant els encaixos que es poden observar a la imatge utilitzant la pressió exercida per un cargol de banc durant unes hores. Després es van cobrir amb paper de seda enganxat amb cola de barra. Finalment es van unir al seu cos, una canya de plàstic, amb cinta adhesiva.

Per al cos es va utilitzar una canya de plàstic per intentar seguir mantenint la lleugeresa que s'havia aconseguit amb les ales de l'avió.

9.6.3 Errors

El pes de l'avió no està correctament ben repartit.

9.7 Avió 7

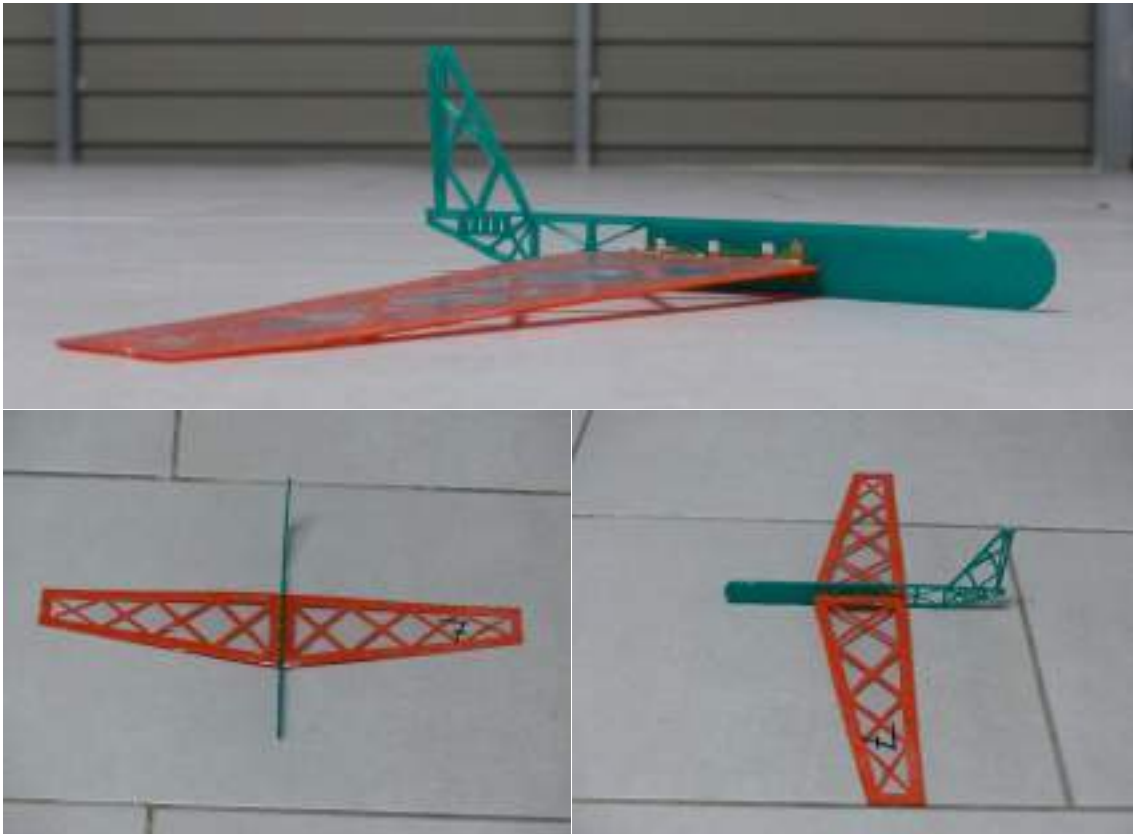


Figura 9.13: Avió 7

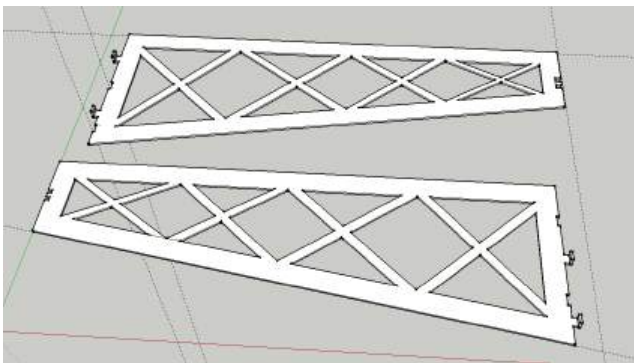
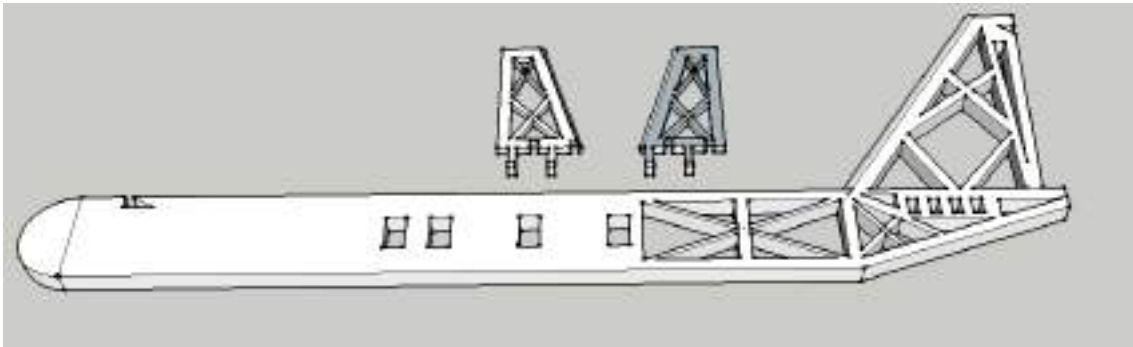
9.7.1 Fitxa tècnica

Llargada	21,6 cm
Envergadura	42 cm
Pes	26 g
Materials de construcció	<ul style="list-style-type: none">- Plàstic PLA- Cola de contacte- Plàstic de folrar llibres- Cola de barra

9.7.2 Procés de construcció

Aquest avió és una reedició del número 2. El cos és el mateix però amb una reducció del gruix i d'un buidatge de les parts posteriors. Les ales també són les mateixes però amb el gruix reduït.

Un cop impreses les parts, es va observar que les ales de cua no s'havien imprès correctament i van ser descartades.



↑ *Figura 9.14: Cos i ales de cua*

← *Figura 9.15: Ales centrals*

Les ales van ser acoblades al cos amb l'ajuda dels encaixos i cola de contacte. Es van cobrir amb plàstic transparent.

9.7.3 Errors

Les ales són massa primes i, per tant, massa flexibles com per aguantar a l'avió.

9.8 AVIÓ 8

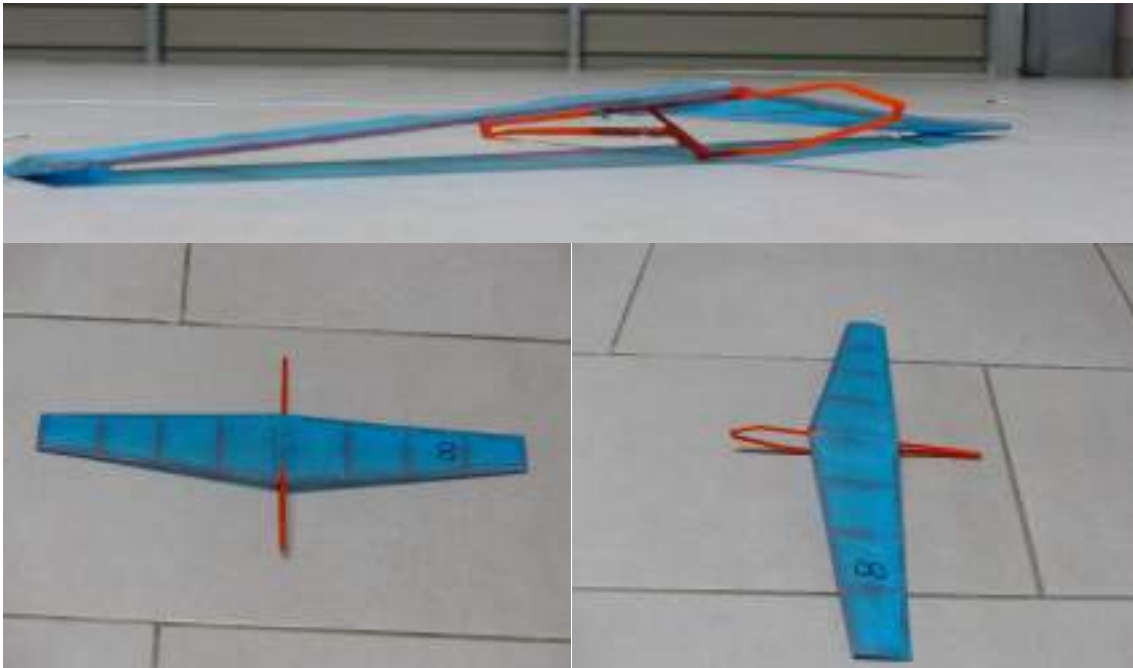
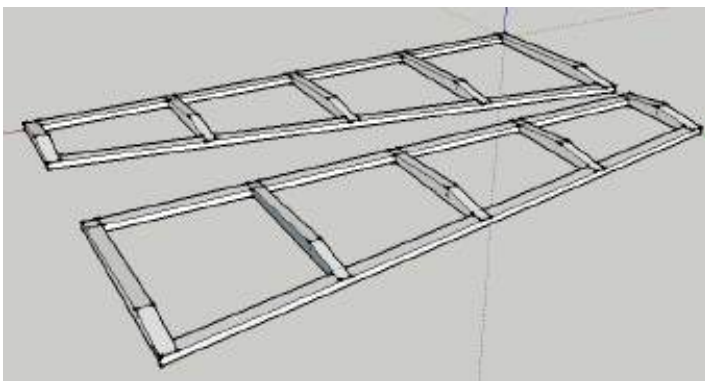


Figura 9.16: Avió 8

9.8.1 Fitxa tècnica

Llargada	22,6 cm
Envergadura	46,8 cm
Pes	26 g
Materials de Construcció	<ul style="list-style-type: none">- Plàstic PLA- Cinta adhesiva- Paper de seda- Vernís tensor (<i>Novavia</i>)

9.8.2 Procés de construcció



Es van utilitzar les ales innovadores, més semblants a les dels avions comercials.

Figura 9.17: Ales de l'avió 8

També es va utilitzar un nou disseny de cos, molt més semblant al del de l'avió fet amb fusta de balsa que havia servit de model al principi.

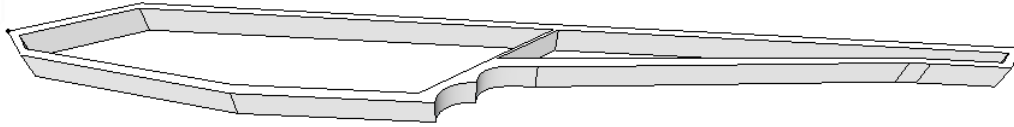


Figura 9.18: Cos de l'avió 8

Un cop impreses les dues parts, es van acoblar amb cinta adhesiva i es van recobrir les ales amb paper de seda cobert amb el vernís tensor especial.

9.8.3 Errors

Amb la primera anàlisi, no va semblar que hi hagués cap error en el cos ni en les ales d'aquest model d'avió.

9.9 AVIÓ 9



Figura 9.19: Avió 9

9.9.1 Fitxa tècnica

Llargada	11,6 cm
Envergadura	23,2 cm
Pes	10 g
Materials de construcció	<ul style="list-style-type: none">- Plàstic PLA- Cinta adhesiva- Paper de seda- Vernís tensor (<i>Novavia</i>)- Cola per plàstic

9.9.2 Procés de construcció

Aquest avió es va construir amb una mida molt petita, ja que el que s'intentava era provar d'imprimir unes ales dobles i comprovar si realment funcionaven. El cos és el mateix que el de l'avió 8 amb una mida més reduïda.

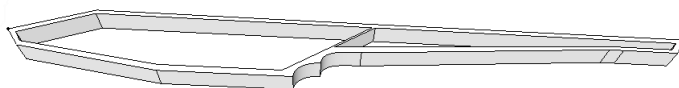


Figura 9.20: Cos de l'avió

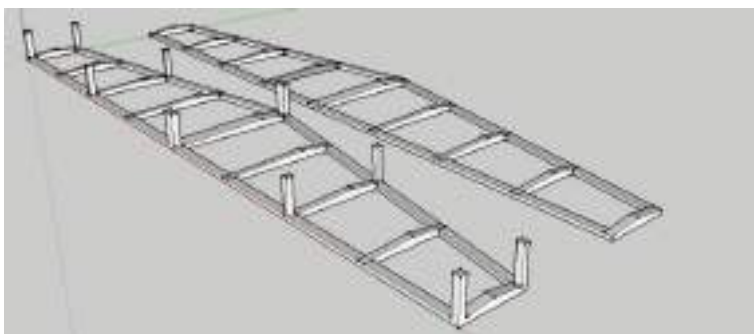


Figura 9.21: Ales de l'avió 9

Es van unir les dues parts de les ales mitjançant una cola especial per a plàstics. Seguidament es van recobrir amb paper de seda i vernís tensor. Per acabar, es van enganxar, també amb cola per a plàstics, les ales al cos.

9.9.3 Errors

Les ales pesen massa en comparació amb el cos.

9.10 Avió 10



Figura 9.22: avió 10

9.10.1 Fitxa tècnica

Llargada	23,2 cm
Envergadura	46,8 cm
Pes	10 g
Materials de construcció	<ul style="list-style-type: none">- Plàstic PLA- Cinta adhesiva- Paper de seda- Vernís tensor (<i>Novavia</i>)

9.10.2 Procés de construcció

Aquest avió consisteix en la versió gran del 9. Un cop canviades les mides dels dissenys es va seguir exactament el mateix procés de construcció que en l'anterior prototip.

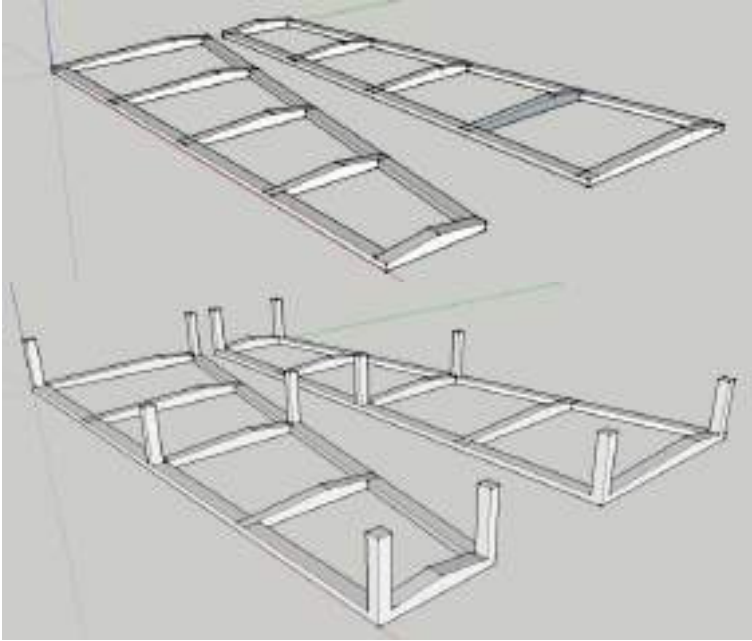


Figura 9.23: Part superior de les ales

Figura 9.24: Part inferior de les ales

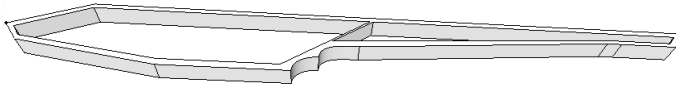


Figura 9.25: Cos de l'avió

9.10.3 Errors

Les ales seguien pesant massa en comparació amb el cos que s'havia dissenyat per a elles.

9.11 AVIÓ 11

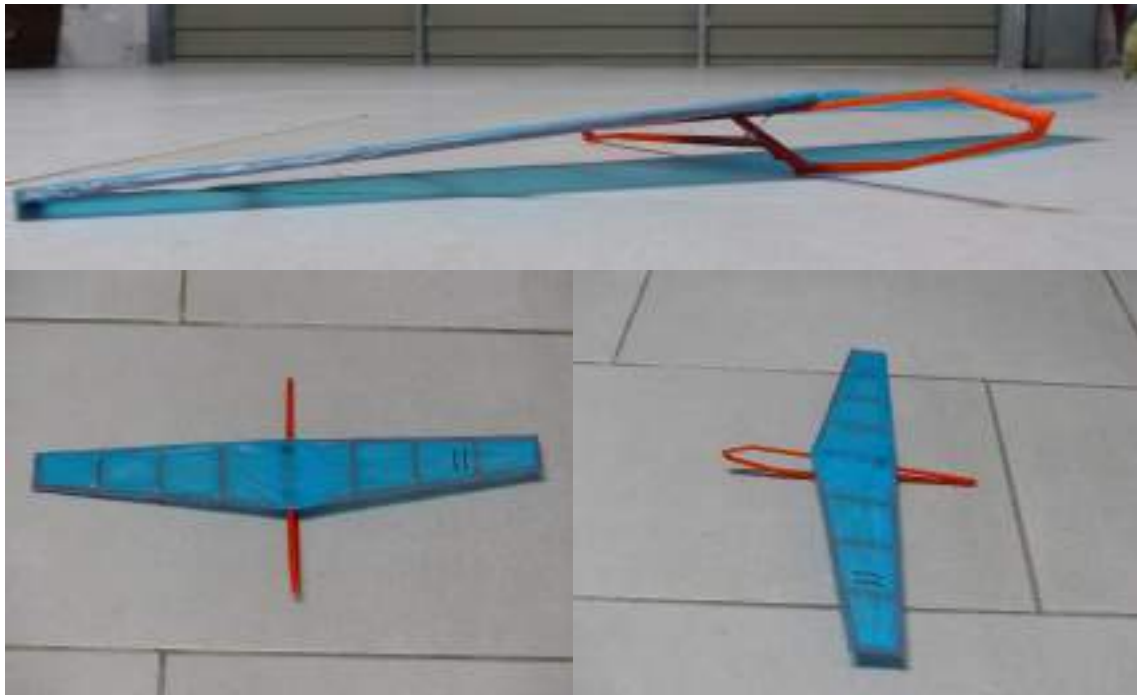


Figura 9.26: avió 11

9.11.1 Fitxa tècnica

Llargada	22,6 cm
Envergadura	44,1 cm
Pes	20 g
Materials de construcció	<ul style="list-style-type: none">- Plàstic PLA- Cinta adhesiva- Paper de seda- Vernís tensor (<i>Novavia</i>)

9.11.2 Procés de construcció

Aquest avió és idèntic al número 6 amb la diferència, però, que tant el cos com les ales són una mica més primes.

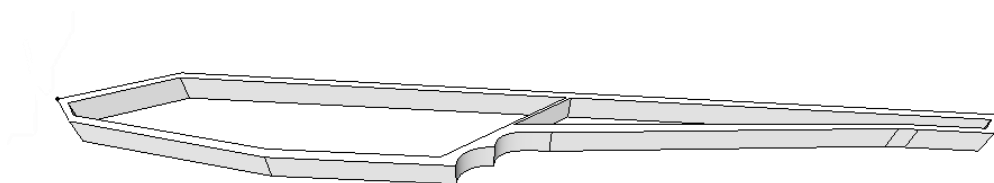


Figura 9.27: Cos avió 11

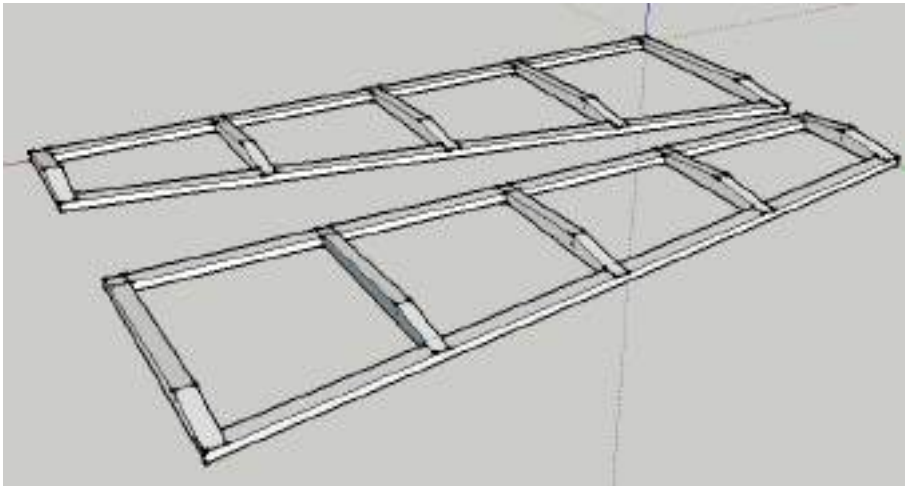


Figura 9.28: Ales avió 11

El procés de construcció també va ser el mateix. Un cop impreses les ales i recobertes amb el paper de seda mitjançant el vernís tensor, només va caldre enganxar-les al cos amb cola per a plàstics.

9.11.3 Errors

El centre de gravetat va quedar molt mal ubicat i l'avió queia molt de cua.

10 ESTUDI DEL VOL DELS AVIONS

Un cop impresos i muntats tots els avions dissenyats fins al moment, arribava l'hora de fer l'estudi sobre el vol de cadascun d'ells per extreure'n conclusions referides al pes, al seu calibratge, a les ales i la seva forma, a les dimensions, a l'encaix amb el cos, etc.

10.1 LLANÇAMENTS

L'estudi va consistir en dos llançaments amb cada avió, des de diferents altures: un amb el llançador assegut (aproximadament a 1 metre d'alçada) i l'altre amb el llançador dret (a 1,70 metres aproximadament). El llançador era sempre el mateix per tal que les úniques variables de l'estudi fossin l'avió llançat i les dues opcions d'altura de llançament.

Els llançaments es van dur a terme en un garatge; així s'evitaven corrents d'aire o altres influències meteorològiques. Prèviament s'havia enganxat una cinta mètrica al terra per a poder mesurar amb exactitud fins on havia arribat cadascun dels avions al tocar a terra per primer cop.

Així és com va quedar l'espai de l'estudi:

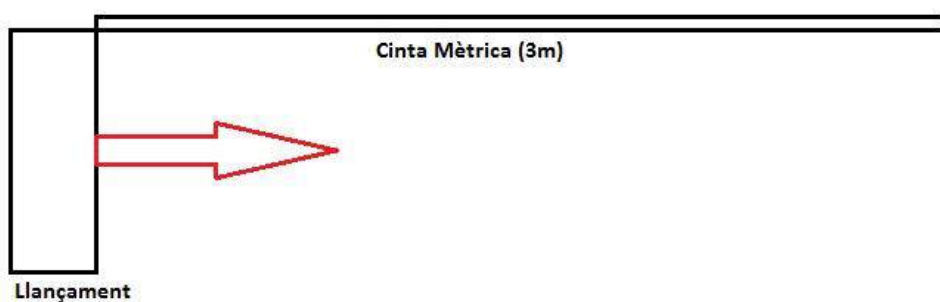









Figura 10.1: Espai de l'estudi

Durant l'estudi, s'agafava sempre la mesura del llançament en el punt on l'avió tocava a terra per primer cop, no pas la d'on arribava després de lliscar pel terra.

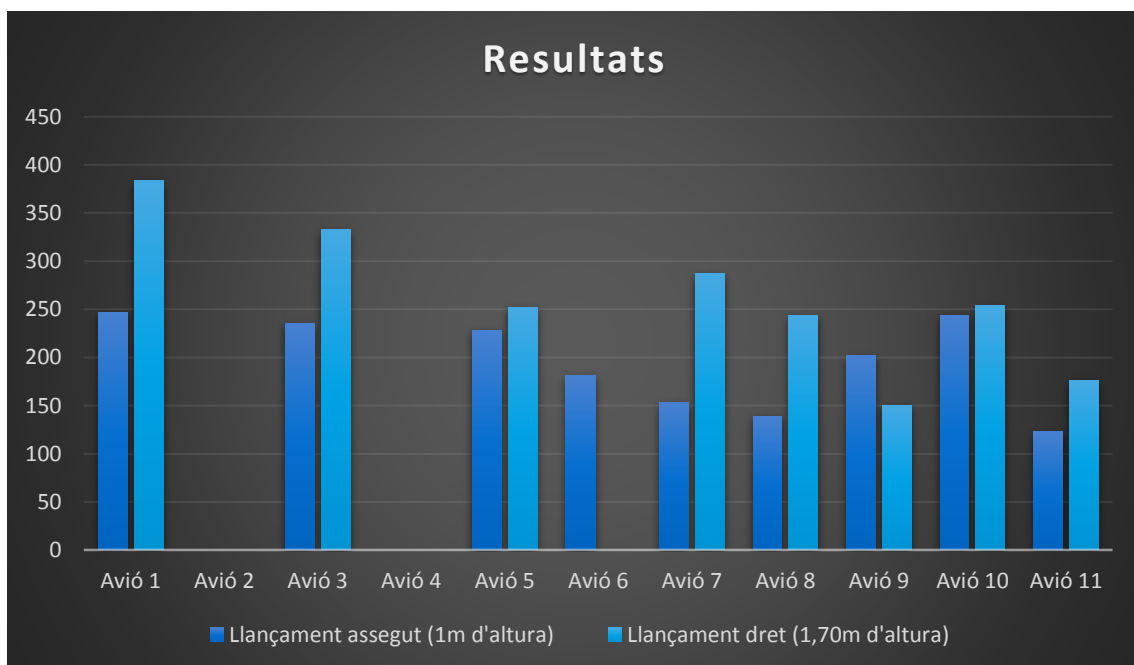
10.2 RESULTATS

	Avions	Llançaments	
		Asseguts	Drets
1		247,2 cm	383,5 cm
2		Sinistre ¹	---
3		235 cm	333 cm
4		Sinistre	---
5		228,5 cm	252 cm
6		181 cm	Sinistre
7		153 cm	287 cm

¹ S'indiquen com a sinistre els avions que s'han trencat en el moment de tocar a terra, amb els quals no s'ha pogut repetir el llançament.

8		139 cm	243 cm
9		201,5 cm	150,3 cm
10		243,8 cm	254 cm
11		123,2 cm	176,4 cm

10.3 ANÀLISI DELS RESULTATS



La taula de resultats permet observar clarament com hi ha avions que han donat uns resultats satisfactoris en el seu llançament, altres que no han acabat d'arribar on s'esperava i, finalment, altres que no han superat la prova i s'han trencat (indicats com a *Sinistre*).

Fixant-se en les dades recollides, els avions que han donat més bon resultat han estat:

- **Avió 1:** és el que ha arribat més lluny en el llançament a peu dret (383,5 cm) i, de fet, és el que hauria de tenir la millor forma ja que ha estat muntat a partir d'un *kit* prefabricat.
- **Avió 3:** ha arribat més lluny de l'esperat (235 i 333 cm respectivament) ja que ni la seva forma ni la rigidesa semblen ser les adients; ha donat bon resultat.
- **Avió 7:** és la millora del núm. 2, que s'ha trencat: més lleuger i dinàmic, ha donat el resultat que s'esperava (287 cm, a peu dret).
- **Avió 10:** dels bons resultats, el més decebedor; s'esperava més ja que era el que tenia més superfície alar i, en teoria, les ales amb la millor forma. És l'avió en què menys diferència hi ha entre els dos tipus de llançaments (243 i 254 cm respectivament).
- **Avió 8:** primer avió amb les ales amb relleu, bon resultat, sobretot a peu dret (243 cm), tot i que se n'esperava més ja que incorporava unes ales amb una forma més aerodinàmica que feien preveure un molt bon resultat.
- **Avió 9:** no ha arribat tan lluny com els altres (201 cm asseguts, 150 cm drets), però és comprensible perquè la seva mida també és molt més petita.

Tot i haver aconseguit bons resultats amb la meitat d'avions, també s'ha hagut de lamentar la pèrdua d'alguns d'ells, que s'han trencat amb l'impacte amb el terra. La violència de l'impacte va ser prou forta com per trencar l'avió a causa que, o bé el prototip pesava massa (com és el cas de l'avió 2, 55 g) o bé era excessivament fràgil (avió 6, fet amb una estructura molt fràgil i lleugera).



Figura 10.2: Avió 2 accidentat

Aquestes destrosses en alguns dels avions van fer pensar que era convenient reduir el nombre de llançaments per fer l'estudi de vol, sobretot tenint en compte la fragilitat del material amb què estan fets. El desgast ocasionat pels llançaments provocaria que cada vegada es trenquessin més avions i s'acabaria sense prototips per estudiar.

Tot i haver hagut de reduir els llançaments de l'estudi de vol, se n'han pogut extreure força conclusions, que s'expliquen a continuació.

10.4 CONCLUSIONS DE L'ESTUDI DE VOL

Un cop vistos i analitzats els resultats, s'ha demostrat que les millors ales són les que tenen cert relleu a la part superior, és el cas dels avions 1, 8, 9 i 10. Tot i això, també n'hi ha hagut d'altres sense aquest relleu que han donat un resultat acceptable (núm. 3 i 7). Pel que fa a la forma del cos s'ha vist clar que els millors resultats han estat obtinguts amb el segon cos que es va dissenyar (Apartat 8.8, *El cos innovador*), ja que era molt lleuger i tenia una forma més aerodinàmica.

Per altra banda s'ha pogut confirmar que tots els avions que eren més lleugers i tenien el centre de gravetat més ben col·locat han aconseguit millors resultats (núm. 1, 3, 7, 8, 9 i 10). Per tant, es pot afirmar que els factors més importants a tenir en compte per dissenyar un avió són la lleugeresa i la bona col·locació del centre de gravetat. En canvi, al tractar-se d'avions petits i sense motor, la forma aerodinàmica potser passava a un pla una mica més secundari.

La majoria d'avions han arribat més lluny en el seus llançaments a peu dret; això és degut a què, al començar el vol des de més altura, tenien més temps per a planejar perdent alçada i, per tant, l'oportunitat de recórrer més espai.

Amb aquest estudi s'han confirmat les indicacions que es van rebre del Club d'Aeromodelisme de Girona: l'essencial perquè un avió voli és que tingui el centre de gravetat ben alineat (al primer terç de l'ala).

Tot i que en aquest estudi no s'hagi demostrat del tot, la forma de les ales és un factor importantíssim en el vol dels avions: és imprescindible que la part de dalt tingui una forma més convexa que la de sota, per tal que la velocitat de l'aire a la part superior sigui més gran que a la inferior.

Aquesta diferència de velocitats és necessària perquè es pugui produir la sustentació, que s'explica amb l'**efecte Venturi**, el qual descriu que, en un fluid de flux horitzontal, com més alta és la velocitat de l'aire en un punt, més disminueix la pressió al mateix punt respecte un altre.

Per a explicar aquest fenomen cal remuntar-se a l'**equació de Bernoulli**, que explica el corrent d'un fluid entre dos punts i s'expressa amb la següent equació:

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 + P_1 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 + P_2$$

- On:
- ρ és la densitat del fluid
 - V_1 és la velocitat del fluid al punt 1
 - h_1 és l'altura del fluid al punt 1
 - P_1 és la pressió del fluid al punt 1
 - V_2 és la velocitat del fluid al punt 2
 - h_2 és l'altura del fluid al punt 2
 - P_2 és la pressió del fluid al punt 2

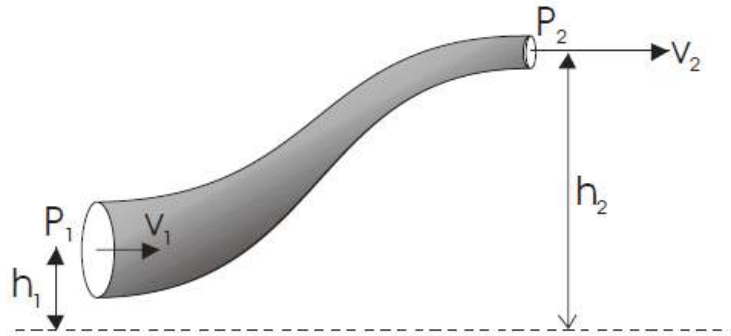


Figura 10.3: Situació a la que s'aplica el principi de Bernoulli

Si s'aplica el fet que el flux és de trajectòria horitzontal ($h_1 = h_2$) a l'equació de Bernoulli, s'obté **l'equació de Venturi**:

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 + P_1 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + P_2$$

- On:
- ρ és la densitat de l'aire
 - v_1 és la velocitat de l'aire al punt 1
 - P_1 és la pressió al punt 1
 - v_2 és la velocitat de l'aire al punt 2
 - P_2 és la pressió al punt 2

En aquesta equació s'observa que si la velocitat del punt 1 és més gran que la del punt 2, la pressió del punt 1 és més petita que la del punt 2.

Aquesta diferència de pressions entre el punt 1 i el punt 2, és a dir, entre la part de dalt i la de baix de l'ala, provoca una força neta cap amunt (la sustentació) que s'expressa com la diferència de pressions multiplicada per la superfície de l'ala.

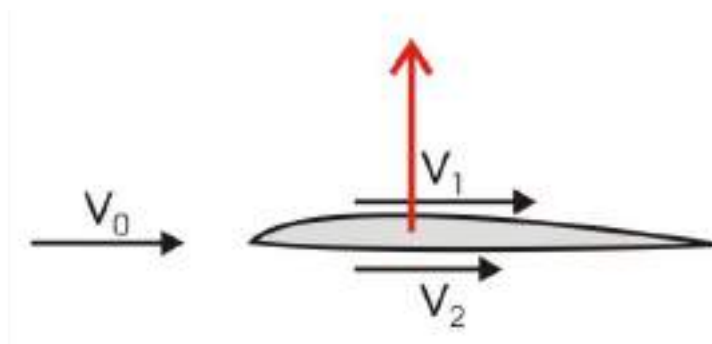


Figura 10.4: Força de sustentació

Un altre factor que afavoreix el vol dels avions, però que no es va utilitzar en el treball a causa de la dificultat que suposava crear dissenys amb aquestes característiques amb la impressora 3D, és l'angle d'atac de les ales.

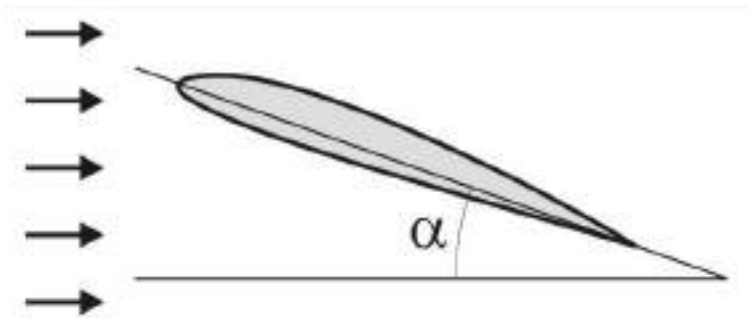


Figura 10.5: Angle d'atac de l'ala d'un avió (α)

Aquest angle d'atac és important perquè, quan l'aire arriba a l'ala, aquesta el desvia cap avall i l'aire, seguint el principi d'acció-reacció, infringeix a l'ala, com a reacció, una força cap amunt.

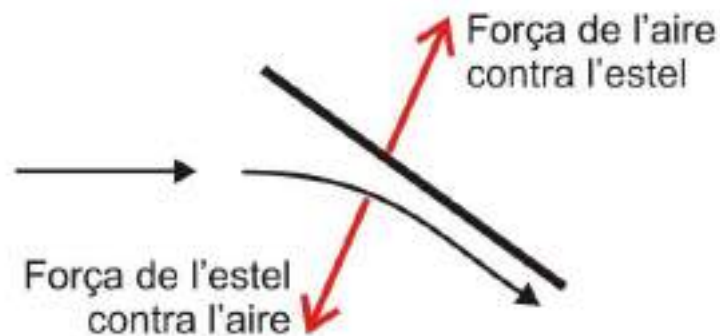


Figura 10.6: Esquema del principi d'acció-reacció en un estel

Amb aquestes explicacions físiques de l'efecte Venturi (a partir de l'equació de Bernouilli) i l'angle d'atac de l'ala, es demostra que, tot i que popularment mai s'hagi cregut així, la força que manté un avió a l'aire no és la que provoca el motor sinó la resultant de la suma de totes les que provoquen les ales. Els motors també fan falta, perquè és necessari mantenir la velocitat; però sense que les ales tinguin la forma necessària, els avions no volen.

El fet que els motors no són el factor clau ha quedat demostrat en aquest estudi, ja que ha estat possible fer que alguns avions es mantinguessin en l'aire durant un temps sense que duguessin motor. Tanmateix el seu vol ha estat tan curt perquè els avions no portaven cap motor incorporat que els anés ajudant a mantenir la velocitat.

A partir d'aquestes conclusions, es podria continuar aquest treball i dissenyar un avió més gran que, imprès a peces, incorporés motor i elements electrònics, i estigués controlat utilitzant una emissora ràdio-control. Aquest era, de fet, l'objectiu final del treball i el nostre propòsit; però degut als problemes que han aparegut durant la impressió dels prototips dels avions i a la gran quantitat de temps dedicat a solucionar-los, no s'ha pogut crear aquest avió ràdio-control. El treball de recerca té un temps limitat.

No obstant, durant aquest període s'han elaborat diferents materials que no estaven previstos quan es van definir els objectius inicials del treball. Aquests materials es troben explicats al següent apartat (*Manuals i webs elaborats*).

11 MANUALS I WEBS ELABORATS

Quan es descobreixen coses, és bo posar-les a disposició del públic per tal que tothom en pugui fer us, pugui gaudir-ne i, fins i tot, els pugui ajudar a seguir endavant. Això és el que s'ha fet: a partir de l'experiència del treball s'han creat una sèrie de suports de comunicació on s'explica, per una banda, en què consistia el treball dels avions en 3D i, de l'altra, instruccions i webs de suport perquè qualsevol pugui arribar a ser un veritable expert de la impressió en 3D.

Els suports creats són els següents:

11.1 MANUAL BÀSIC D'IMPRESSIÓ 3D

Fruit de l'experiència adquirida en el treball de recerca, s'ha elaborat, en forma de tríptic, un manual bàsic d'impressió en 3D. Recull els nou passos bàsics per a arribar a imprimir un disseny generat per ordinador amb la impressora Rep Rap BCN 3D+, la de l'INS Pere Alsius i Torrent. El tríptic, reproduït a continuació, es pot trobar imprès a mida real a l'annex del treball



Figura 11.1: Anvers del tríptic



Figura 11.2: Revers del tríptic

11.2 MANUAL AVANÇAT D'IMPRESSIÓ 3D



Figura 11.3: Portada del manual

També es va elaborar un Manual Avançat d'Impressió 3D, el qual recull tota la informació que es va anar recopilant des de l'inici del projecte fins que es va donar per acabada l'etapa d'impressió. Es tracten temes com la impressora i les seves parts, els programes de dibuix, els passos per a imprimir, els possibles problemes i la seva solució.

És un manual molt complet amb el qual qualsevol personal pot esdevenir un bon expert en la impressió 3D.

11.3 WEB “IMPRESSIÓ 3D”

Enllaç: TDR2K15.WIX.COM/IMPRESSIO3D



Figura 11.4: Pàgina inicial del web

Utilitzant el programari gratuït de creació de pàgines web WWW.WIX.COM, s'ha creat un portal on es recullen tots els manuals que s'han elaborat arran del treball de recerca (bàsic, avançat, configuració del cura, Sketch Up, Autodesk i errors) perquè qualsevol persona que ho necessiti els pugui consultar sense cap impediment.



Figura 11.5: Captura de pantalla dels diferents manuals elaborats



Figura 11.6: Formulari de contacte

A la pàgina web s'ha habilitat un formulari de contacte a través del qual es pot enviar un missatge de consulta que s'intentarà que sigui respost el més aviat possible.

11.4 WEB "IMPRESSIÓ D'AVIONS 3D"

Enllaç: TDR2K15.WIX.COM/AVIONS3D



Figura 11.7: Pàgina principal del web

A més dels manuals d'Impressió 3D, també es va crear aquest web (*Impressió d'Avions 3D*) on es recull tota la informació sobre el treball de recerca (la mateixa que hi ha en aquesta memòria escrita) disposada en quatre grans apartats: disseny, impressió, els nostres avions i estudi de vol.

Al web es pot trobar una subpàgina per a cadascun dels models d'avió elaborats en la recerca on es detalla el seu procés de construcció, la seva fitxa tècnica i, fins i tot, s'inclouen enllaços per a descarregar els seus fitxers de disseny.



Figura 11.8: Pàgina "Els nostres avions"

Figura 11.9: Pàgina "Avió 2"



Aquests quatre materials estan sota una **llicència de Reconeixement i No Comercial Creative Commons**, per la qual cosa es permet la seva reproducció total o parcial citant-ne l'autoria, però no se'n pot fer un ús comercial.

12 CONCLUSIONS FINALS

Tot i que no s'ha pogut assolir completament l'objectiu final que s'havia establert - la construcció d'un avió controlat per ràdio-control - estem molt satisfets del treball fet i dels resultats obtinguts.

Si ens fixem en els diferents objectius proposats a l'inici del treball, es pot afirmar que s'han aconseguit tots els objectius secundaris:

- En l'apartat d'impressió 3D, s'ha aconseguit conèixer les característiques principals d'aquest tipus d'impressió, els diferents tipus de processos que existeixen, els programes que cal utilitzar per dissenyar, reparar i planificar objectes; els passos que cal seguir per a imprimir; el manteniment de la impressora i com solucionar els problemes més freqüents.
- En l'apartat dels avions, també s'ha aconseguit descobrir quines són les millors formes d'ales i cossos per a un avió d'aerodelisme a partir dels resultats de l'estudi de vol que s'ha realitzat amb tots els prototips dissenyats i impresos en 3D. A més a més, s'ha pogut explicar per què aquestes formes són millors, utilitzant les teories físiques de Bernoulli i Venturi i l'efecte acció-reacció. Amb l'estudi de vol realitzat, també s'ha pogut comprovar una de les explicacions físiques per al vol dels avions: no són els motors el que és clau sinó la forma de les ales.

No obstant, els problemes que van sorgir amb la impressora a l'hora d'imprimir els dissenys dels prototips elaborats, van impedir arribar a crear un avió de mides més grans (que aplicués les conclusions obtingudes en l'estudi del vol dels prototips), amb motor i controlat de forma remota, tal com havíem pensat al principi del treball. Però aquests problemes també han acabat aportant coses positives; ens van fer pensar en elaborar altres materials com els manuals d'impressió 3D, en una versió bàsica (en format tríptic) i en una versió avançada (en format llibret), que es poden consultar als annexos del treball. En aquests manuals s'hi recull tota la informació i experiència que s'ha anat obtenint durant la recerca i haurien de permetre que qualsevol pugui esdevenir un expert de la impressió 3D. Finalment, també es va optar per la creació de dues pàgines web. En una d'elles, *Impressió d'Avions 3D*, es recull, en format digital, tota la informació que hi ha en aquesta memòria escrita; en l'altre web, *Impressió 3D*, s'hi troba tota la

informació relacionada amb el 3D, així com els manuals elaborats i un formulari de contacte per consultar qualsevol dubte.

Els dos manuals, el bàsic i l'avançat, es van enviar a Joan Pellicer (responsable de la pàgina web WWW.PICAXE.ES i del servei tècnic de la Impressora 3D) i a BCN 3D Technologies, l'empresa que ha dissenyat, creat i comercialitzat la impressora que hem utilitzat. La resposta que es va rebre per part dels dos va ser molt positiva i el manual avançat ha estat publicat al web WWW.PICAXE.ES perquè qualsevol qui ho necessiti el pugui consultar. Aquests suports s'han pogut crear aprofitant les dificultats que van aparèixer, convertint-les en oportunitats per a fer nous materials.

Els mètodes de treball utilitzats han resultat productius i eficients. Es va optar per una recollida prèvia d'informació per a elaborar un seguit de prototips que després es sotmetrien a estudi. Aquest mètode de treball va donar bons resultats perquè va permetre seguir diferents línies en l'elaboració d'aquests prototips.

Fer el treball entre dos alumnes ha suposat també un gran avantatge perquè ens ha permès combinar les nostres idees i punts de vista diferents per aconseguir un millor resultat.

A causa de la gran extensió dels temes tractats, seria molt interessant poder continuar amb aquest treball, utilitzant els coneixements adquirits fins al moment per tal d'acabar realitzant el projecte tal com estava previst inicialment.

Si es volgués acabar de realitzar el projecte inicial, s'haurien de seguir els següents passos:

Caldria dissenyar un nou avió de dimensions més grans (1,20 m d'envergadura, aproximadament) utilitzant els millors aspectes de cadascun dels prototips estudiats (avions 1, 3, 7, 8, 9 i 10). S'hauria de tenir en compte que, al ser un avió més gran, no es podria imprimir tot junt, per la qual cosa caldria imprimir-lo a peces, que més tard s'unirien utilitzant uns encaixos que cal dissenyar molt bé.

Un cop imprès i unit, seria necessari comprovar que el centre de gravetat, la forma de les ales i els altres requisits principals (esmentats a les conclusions de l'estudi de vol, pàgina 65) no s'han modificat i segueixen essent correctes.

L'últim pas seria adquirir el motor, el comandament a distància, les bateries, els servos, els cables i tots els elements electrònics necessaris per a controlar l'avió. S'hauria de tenir present el pes d'aquest material i la seva relació amb la potència necessària per a poder volar: hi ha una part de càlcul molt important a fer. Quan es muntés aquesta part electrònica, caldria fer-ho amb molta cura per intentar que aquestes noves peces no desestabilitzessin el correcte calibratge de l'avió.

El treball fet ha permès tocar les diferents facetes d'un tema tan innovador com és la impressió 3D. S'han treballat els aspectes més tècnics utilitzant la impressora del nostre institut, s'han conegut els aspectes comercials visitant l'empresa *Impressió D3D*, s'han dissenyat diferents prototips d'avions i s'han imprès en 3D, i s'ha realitzat un estudi experimental de la seva capacitat de vol, el qual ha permès extreure conclusions per a poder construir un avió més gran.

Aquest treball, tal i com s'explica a la introducció, se'ns va presentar com un repte, el repte d'endinsar-nos en dos temes totalment desconeguts per nosaltres. Com a bons emprenedors, vam acceptar-lo; no ens podíem fer enrere; i no ho hem fet. Hem arribat fins al final... O gaire bé. Repte superat!

13 BIBLIOGRAFIA

WEBS

I3D DIGITAL MEDIA SL. IMPRESORAS 3D: Empresa de disseny, escaneig, impressió i merchandising en 3D [en línia]. Informació de caràcter general sobre la impressió 3D (característiques, tipus d'impressores, materials...). Almería. Publicació: 2012. <[HTTP://MPRESORAS3D.COM](http://MPRESORAS3D.COM)>

MAKERS SHOP SLU. MAKER SHOP BCN: empresa dedicada a oferir serveis als *makers*, especialitzada en impressores 3D [en línia]. Informació de caràcter general sobre la impressió 3D (característiques, tipus d'impressores, materials...). Barcelona. Publicació: 2014. <[HTTP://MAKERSHOPBCN.COM/CA/](http://MAKERSHOPBCN.COM/CA/)>

OUNAE: web de consulta de temes tecnològics [en línia]. Informació de caràcter general sobre la impressió 3D (característiques, tipus d'impressores, materials...). València. <[HTTP://OUNAE.COM](http://OUNAE.COM)> [Consulta: Juliol del 2015]

WIKIMEDIA FOUNDATION INC. VIQUIPÈDIA: enciclopèdia web de contingut lliure [en línia]. Informació general sobre la impressió 3D (característiques, tipus, materials...). Publicació: 16 de març del 2001. <[HTTPS://CA.WIKIPEDIA.ORG/](https://ca.wikipedia.org/)>

LLIBRES

ESTEBAN OÑATE, Antonio (2007) *Conocimientos del avión: obra adaptada al programa de estudios JAR FCL para Piloto Comercial y de Transportes de Línea Aérea* (6ª Edició). Madrid: Paraninfo.

JOU, David. (2005) “La força de l'aire”. Extret de *Ciències: revista del professorat de ciències de primària i secundària*; núm. 2 [en línia]. Àrea de Física de la Matèria Condensada, Universitat Autònoma de Barcelona. <[HTTP://WWW.RACO.CAT/INDEX.PHP/CIENCIAS](http://www.raco.cat/index.php/Ciencies)>

14 ÍNDEX D'IMATGES²

FIGURA 2.1: LOGOTIP CAGIP	9
<i>Font: http://www.cagip.org/</i>	
FIGURA 2.2: AVIÓ VELER	9
<i>Font: www.speedhobbys.com/</i>	
FIGURA 3.1: EXEMPLES D'APLICACIONS DEL 3D	11
<i>Font: http://www.enter.co, http://www.argnoticias.com, http://www.omicron.com, -http://xyzist.com, http://ounae.com, http://www.studyplan.es, http://es.engadget.com, http://enjoyinnovating.com</i>	
FIGURA 3.2: BOVINA DE PLA	12
FIGURA 3.3: BOVINA D'ABS	12
<i>Font (figures 3.2 - 3.3): www.3despana.com</i>	
FIGURA 3.4: PECES IMPRESSES AMB AQUESTA TÈCNICA	13
FIGURA 3.5: IMPRESSIÓ PER ESTEREOLITOGRAFIA	13
FIGURA 3.6: IMPRESSIÓ PER SINTERITZACIÓ SELECTIVA PER LÀSER	13
FIGURA 3.7: IMPRESSIÓ PER DEPOSICIÓ DE MATERIAL FOS.....	14
<i>Font (figures 3.4 - 3.7): http://impresoras3d.com</i>	
FIGURA 4.1: IMPRESSORA REP RAP BCN 3D+	15
FIGURA 4.2: PARTS PRINCIPALS DE LA IMPRESSORA	16
FIGURA 4.3: EXTRUSOR	16
FIGURA 4.4: MOTOR DE L'EXTRUSOR	16
FIGURA 4.5: D'ESQUERRA A DRETA, ENGRANATGE PETIT I ENGRANATGE GRAN	17
FIGURA 4.6: TENSOR DE L'EXTRUSOR	17
FIGURA 4.7: PARTS DEL 'FINAL CALENT'	17
FIGURA 4.8: EXTRUSOR UNIT A L'EIX	18
FIGURA 4.9: EMBOCADURA	18
FIGURA 4.10: D'ESQUERRA A DRETA, VENTILADOR I DIFUSOR.....	18
FIGURA 4.11: LLIT CALENT	18
FIGURA 4.12: PANTALLA DE CONTROL	19
FIGURA 4.13: CARCASSA DE LA IMPRESSORA	19
<i>Font (figures 4.1 - 4.13): http://www.bcn3dtechnologies.com/</i>	
FIGURA 5.1: LOGOTIP DEL PROGRAMA SKETCH UP	20
<i>Font: www.sketchup.com/es</i>	

² La numeració de les pàgines s'ha fet seguint el següent criteri: se citen d'acord amb l'apartat de l'índex on es troben i per l'ordre d'aparició dins aquest apartat. Les fonts de les imatges se citen agrupant-les segons aquesta.

FIGURA 5.2: DISSENY REALITZAT AMB SKETCH UP	20
<i>Font: https://potty12.wordpress.com</i>	
FIGURA 5.3: LOGOTIP DEL PROGRAMA AUTODESK	21
<i>Font: www.123dapp.com/design</i>	
FIGURA 5.4: EXEMPLE D'UN DISSENY ELABORAT AMB AUTODESK 123D.....	21
<i>Font: http://www.123dapp.com</i>	
FIGURA 5.5: CARGOL AMB LA SEVA FEMELLA CORRESPONENT	21
<i>Font: pròpia</i>	
FIGURA 6.1: LOGOTIP DEL PROGRAMA NETFABB	22
<i>Font: www.netfabb.com/</i>	
FIGURA 6.2: PROCÉS DE REPARACIÓ D'UN DISSENY ON ES PODEN OBSERVAR LES PARTS AMB ERRORS EN VERMELL	22
<i>Font: pròpia</i>	
FIGURA 6.3: LOGOTIP DEL PROGRAMA CURA	23
<i>Font: https://ultimaker.com</i>	
FIGURA 7.1: LOGOTIP DE L'EMPRESA IMPRESSIÓ D3D.....	26
<i>Font: www.impressiod3d.com</i>	
FIGURA 7.2: LOGOTIP DE L'EMPRESA TECNOPOL	26
<i>Font: www.tecnopol.cat</i>	
FIGURA 7.3: DIFERENTS PECES IMPRESSES A L'EMPRESA	28
<i>Font: www.impressiod3d.com</i>	
FIGURA 7.4: IMPRESSORA 3D DE L'EMPRESA	28
FIGURA 7.5: KIT DE RETIRADA DEL PLÀSTIC DE SUPORT.....	29
FIGURA 7.6: IMPRESSORA 3D HP	29
<i>Font (figures 7.4 - 7.6): www.hp.com</i>	
FIGURA 8.1: ALES PRIMÀRIES AMB ELS PUNTS CLAU RESSALTATS.....	32
FIGURA 8.2: COS PRIMARI AMB LES PARTS RELLEVANTS DESTACADES	33
FIGURA 8.3: REEDICIÓ DE LES ALES, AMB ELS PUNTS CLAU RESSALTATS.....	34
FIGURA 8.4: ALES RÍGIDES	35
FIGURA 8.5: ALES PRIMES.....	35
FIGURA 8.6: COS PRIMARI LLEUGER	36
FIGURA 8.7: ALES AERODINÀMIQUES	37
FIGURA 8.8: COS INNOVADOR	38
FIGURA 8.9: ALES DOBLES PETITES AMB LA PART SUPERIOR DAVANT LA INFERIOR.....	39
FIGURA 8.10: ALES DOBLES AMB LA PART INFERIOR A LA PRIMERA IMATGE I LA SUPERIOR A LA SEGONA.....	40
FIGURA 9.1: VELER MERLIN	41

FIGURA 9.2: INSTRUCCIONS DE MUNTATGE	42
FIGURA 9.3: PLÀNOL DE MUNTATGE	43
FIGURA 9.4: RECULL D'IMATGES DEL PROCÉS DE CONSTRUCCIÓ.	43
FIGURA 9.5: AVIÓ 2	44
FIGURA 9.6: PARTS DE L'AVIÓ: COS, ALES I SUPORTS.....	45
FIGURA 9.7: AVIÓ 3	46
FIGURA 9.8: ALES DE L'AVIÓ 3	47
FIGURA 9.9: AVIÓ 4	47
FIGURA 9.10: ALES DE L'AVIÓ 4	48
FIGURA 9.11: AVIÓ 5	49
FIGURA 9.12: AVIÓ 6	50
FIGURA 9.13: AVIÓ 7	52
FIGURA 9.14: COS I ALES DE CUA	53
FIGURA 9.15: ALES CENTRALS	53
FIGURA 9.16: AVIÓ 8	54
FIGURA 9.17: ALES DE L'AVIÓ 8	54
FIGURA 9.18: COS DE L'AVIÓ 8	55
FIGURA 9.19: AVIÓ 9	55
FIGURA 9.20: COS DE L'AVIÓ.....	56
FIGURA 9.21: ALES DE L'AVIÓ 9	56
FIGURA 9.22: AVIÓ 10.....	57
FIGURA 9.23: PART SUPERIOR DE LES ALES.....	58
FIGURA 9.24: PART INFERIOR DE LES ALES.....	58
FIGURA 9.25: COS DE L'AVIÓ.....	58
FIGURA 9.26: AVIÓ 11.....	59
FIGURA 9.27: COS AVIÓ 11	59
FIGURA 9.28: ALES AVIÓ 11	60
FIGURA 10.1: ESPAI DE L'ESTUDI.....	61
FIGURA 10.2: AVIÓ 2 ACCIDENTAT	65
<i>Font (figures 8.1 - 10.2): pròpia</i>	
FIGURA 10.3: SITUACIÓ A LA QUE S'APLICA EL PRINCIPI DE BERNOUILLI.....	67
FIGURA 10.4: FORÇA DE SUSTENTACIÓ.....	67
FIGURA 10.5: ANGLE D'ATAC DE L'ALA D'UN AVIÓ (A)	68
FIGURA 10.6: ESQUEMA DEL PRINCIPI D'ACCIÓ-REACCIÓ EN UN ESTEL	68
<i>Font (figures 10.3 - 10.6): JOU, David: "La força de l'aire"</i>	
FIGURA 11.1: ANVERS DEL TRÍPTIC	70
FIGURA 11.2: REVERS DEL TRÍPTIC.....	71

FIGURA 11.3: PORTADA DEL MANUAL	71
FIGURA 11.4: PÀGINA INICIAL DEL WEB	72
FIGURA 11.5: CAPTURA DE PANTALLA DELS DIFERENTS MANUALS ELABORATS	72
FIGURA 11.6: FORMULARI DE CONTACTE	73
FIGURA 11.7: PÀGINA PRINCIPAL DEL WEB.....	73
FIGURA 11.8: PÀGINA "ELS NOSTRES AVIONS"	74
FIGURA 11.9: PÀGINA "AVIÓ 2"	74

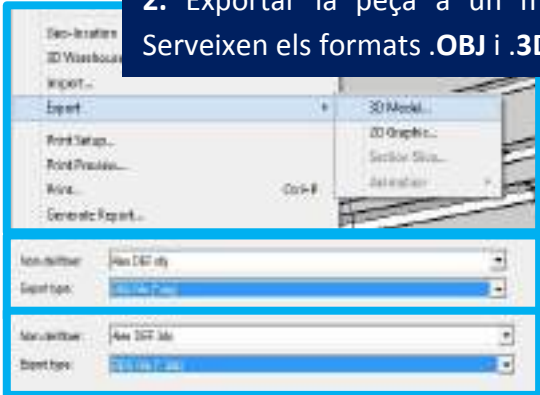
Font (figures 11.1 - 11.9): pròpia

15 ANNEXOS

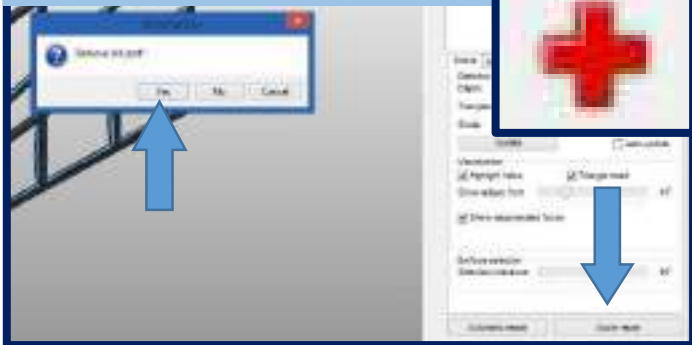
PASSOS

1. Dibuixar l'objecte amb **Sketch Up**. Vigilar no deixar parts flotant, poden portar problemes.

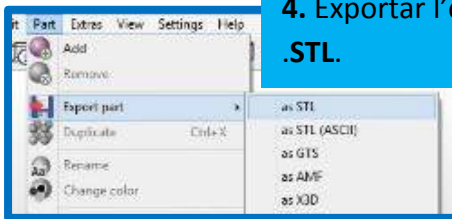
2. Exportar la peça a un model 3D. Serveixen els formats **.OBJ** i **.3DS**.



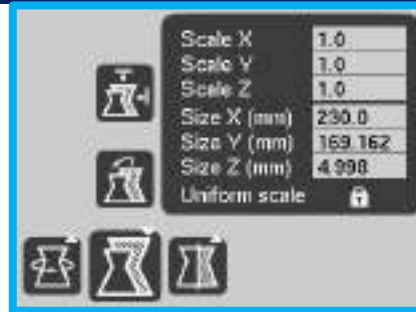
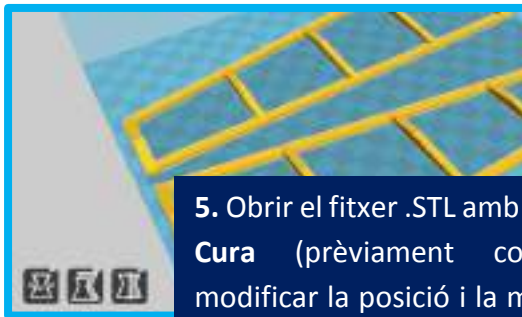
3. Obrir el nou fitxer amb el **Netfabb** i, si apareix la icona d'alerta, fer clic a la creu vermella per reparar-lo. Fer clic a **"Apply Repair"** a la barra de tasques de la dreta i seguidament a **"Yes"** al quadre de diàleg que apareix.



4. Exportar l'objecte en format **.STL**.



5. Obrir el fitxer **.STL** amb el programa **Cura** (prèviament configurat) i modificar la posició i la mida amb els botons de la part inferior esquerra. A l'hora de canviar la mida, només modificar l'espai **"Size X"**.



6. A la part superior esquerra hi ha la informació sobre el termini d'impressió i el fil de PLA (plàstic) que es gastarà. Inserir una targeta SD i fer clic al botó guardar. Es generarà un fitxer **.GCODE**.



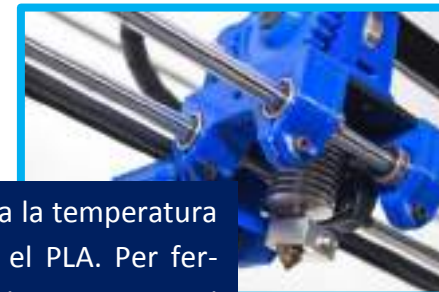
7. Engagar la impressora, inserir la targeta SD i posar a preescalfar. Per moure's pel menú fer girar el botó blau i pressionar-lo per seleccionar. Per preescalfar, fer clic, seleccionar **PREPARE**, seleccionar **PREHEAT** i seleccionar **PREHEAT PLA**.

Comprovar que a la pantalla apareix:

Extruder	Hot bed
185°	40°



8. Un cop assolida la temperatura desitjada, inserir el PLA. Per fer-ho: fer clic, seleccionar **PREPARE** i després **DISABLE STEPPERS**. Seguidament inserir el PLA al forat superior de l'extrusor i fer girar l'engranatge gran de l'esquerra fins que faci topall.



9. Seleccionar **PREPARE** → **AUTOHOME**.

Clicar **PRINT FROM SD**, seleccionar el fitxer desitjat i **començar a imprimir!**

PRESENTACIÓ

Manual bàsic per aprendre a imprimir en 3D. Només hi apareixen els passos indispensables per arribar a imprimir un objecte en 3D.

Manual per a la impressora Rep Rap BCN 3D+. Els formats i passos a seguir poden no ser compatibles amb altres màquines.

REQUISITS INICIALS

Cal descarregar el següent programari:

- Sketch Up
- Netfabb Studio Basic
- Cura (es recomana la versió 15.04)

Tots són de llicència gratuïta.



Cal configurar el programa Cura per tal que la impressió es pugui dur a terme. Per a fer-ho, visitar:

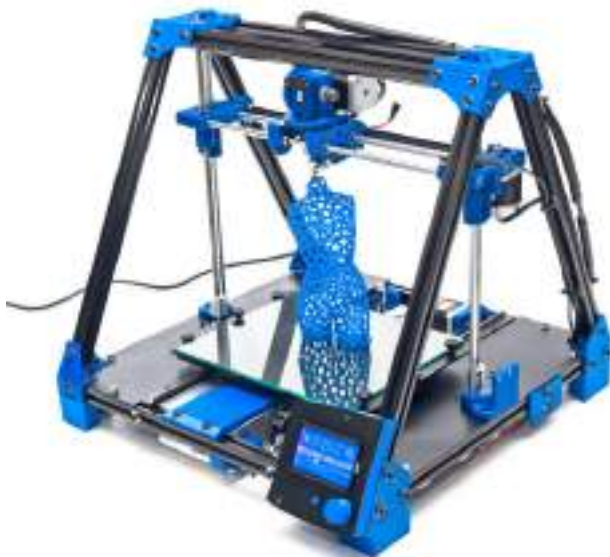
is.gd/configuracura



En cas de problemes durant la impressió, aturar el procés i demanar ajuda. **NO MANIPULAR MAI ELS SISTEMES DE LA IMPRESSORA**, són d'extrema fragilitat.

“Tenim un pla estratègic. Se'n diu fer les coses bé”

Herb Kelleher



COM IMPRIMIR EN 3D - MANUAL BÀSIC

Treball de Recerca de Batxillerat

Sergi Bech | Marc Serra

La resta de manuals i resolució de problemes:

tdr2k15.wix.com/impresio3d

El treball de recerca:

tdr2k15.wix.com/avions3d



Aquest document està sota una llicència de Reconeixement i No Comercial Creative Commons

imatges: Font pròpia i www.mackerwise.com



Two young men are holding a large, blue and black 3D printer. The man on the left is wearing a blue t-shirt and white pants, while the man on the right is wearing a dark t-shirt and light blue jeans. The printer is a RepRap BCN 3D+ model, featuring a prominent blue frame and a black base. The background is plain white.

COM

IMPRIMIR

EN

3D

MANUAL AVANÇAT

REP RAP BCN 3D+

PRESENTACIÓ

Aquest és el **Manual Avançat d'Impressió en 3D** amb la màquina **Rep Rap BCN 3D+**. Ha estat elaborat per Sergi Bech i Marc Serra, alumnes de Batxillerat de l'INS Pere Alsius i Torrent durant els cursos 2014-2015 i 2015-2016.

En el marc del Treball de Recerca de Batxillerat, d'ara en endavant TdR, vam decidir aventurar-nos en el novedós tema de la impressió 3D per dissenyar diversos models d'avions i fer un estudi de les característiques del vol de cadascun d'ells.

Malauradament, abans de poder començar a imprimir-ne cap, ens vam trobar amb molts problemes perquè molta de la informació necessària per imprimir en 3D no està disponible a Internet o costa molt de trobar. És per això que vam decidir elaborar aquest manual d'impressió 3D amb tots els passos explicats detalladament, els nostres consells i la resolució d'alguns dels problemes que ens ha anat donant la màquina, que no han pas estat pocs.

Aquest manual s'ha fet pensant en totes les persones que volen dissenyar un objecte i imprimir-lo però que no saben com fer-ho. A més del manual avançat, s'ha fet també un manual molt bàsic en el qual s'expliquen els passos essencials però que pot servir igualment per arribar a imprimir el disseny desitjat.

Tots els manuals, en format PDF, els consells i un formulari de contacte per demanar qualsevol cosa que no estigui als manuals es poden trobar a la pàgina web creada expressament per a l'ocasió: tdr2k15.wix.com/impressio3d

Aquest manual s'ha fet pensant en la impressora Rep Rap BCN 3D+, màquina de què disposa el Departament de Tecnologia de l'INS Pere Alsius i Torrent de Banyoles. És per això que no podem assegurar que amb totes les màquines d'impressió 3D s'hagin de seguir els mateixos passos ni que tots els formats de fitxer citats siguin útils per a totes.

Esperem que us sigui d'ajuda i que pugueu arribar a imprimir les vostres creacions.

Per saber més sobre el TdR: tdr2k15.wix.com/avions3d

Sergi Bech | Marc Serra



Tots els textos i documents d'aquest manual són originals i propietat de tdr2k15.wix.com/impressio3d i estan sota una **licència de Reconeixement i No Comercial Creative Commons**, per la qual cosa queda prohibida la seva reproducció total o parcial sense citació de l'autoria igual com l'ús comercial d'aquest material.

Les imatges d'aquest document han estat extretes de www.mackerwise.com i fonts pròpies.

ÍNDEX DE CONTINGUTS

1	Disseny	5
1.1	Programes de Dibuix.....	5
1.1.1	Sketch Up.....	5
1.1.2	Autodesk 123D Design.....	7
1.2	Consideracions importants.....	9
1.3	Exportar.....	9
2	Reparació d'errors	11
2.1	Netfabb.....	11
2.1.1	Configuració de la plataforma (opcional).....	11
2.2	Reparació del fitxer.....	12
2.3	Exportació.....	14
3	Planificació de la Impressió	15
3.1	El programa Cura.....	15
3.1.1	Configuració del Cura.....	15
3.1.2	Configuracions modificables.....	20
3.2	Configuració de l'objecte.....	22
3.2.1	Rotar.....	22
3.2.2	Escalar.....	22
3.2.3	Invertir.....	23
3.2.4	Vista de capes.....	23
3.2.5	Informació sobre la impressió.....	24
3.3	Exportar.....	24
4	Impressió	25
4.1	La impressora Rep Rap BCN 3D+.....	25
4.2	Materials d'impressió.....	26
4.3	Pantalla de control i principals controls.....	26
4.3.1	Preescalfar (<i>Preheat</i>).....	26
4.3.2	Desactivar motors (<i>Disable Steppers</i>).....	26
4.3.3	Punt inicial (<i>Autohome</i>).....	26
4.3.4	Altres controls.....	27
4.4	Començar a imprimir.....	27
4.5	Durant la impressió.....	28

4.5.1	Temps i percentatge d'impressió	28
4.5.2	Variació de la velocitat	28
4.6	Finalitzada la impressió.....	28
5	Possibles problemes	29
5.1	Filament	29
5.2	Peces que es trenquen / Peces de recanvi	29
5.3	Altura de l'extrusor	31
5.4	Embocadura taponada.....	32
5.5	Peces mal collades	34
5.6	Boletes a l'hora d'imprimir	34

1 DISSENY

El primer pas consisteix en crear un disseny per ordinador de la peça que es vol imprimir. Hi ha un munt de programes que permeten crear models o objectes en 3D. Es recomanen dos programes gratuïts molt complets que permeten dissenyar qualsevol cosa.

1.1 PROGRAMES DE DIBUIX

1.1.1 Sketch Up



Sketch Up és el programa de dibuix en 3D de Google. Té una interfície bastant intuïtiva, fet que facilita un ràpid aprenentatge del seu funcionament, i un munt d'opcions i eines que permeten crear dissenys realment sorprenents. És ideal a l'hora de dissenyar objectes no gaire complexos, amb superfícies planes i sense massa corbes. L'únic inconvenient que té és que si es volen dissenyar formes molt complexes s'han de descarregar molts complementos que no vénen de sèrie.

Es pot descarregar la versió normal del programa de forma gratuïta des de la seva web (www.sketchup.com/es); la versió Pro és de pagament.

En accedir al programa apareix la següent barra d'eines a la part superior:

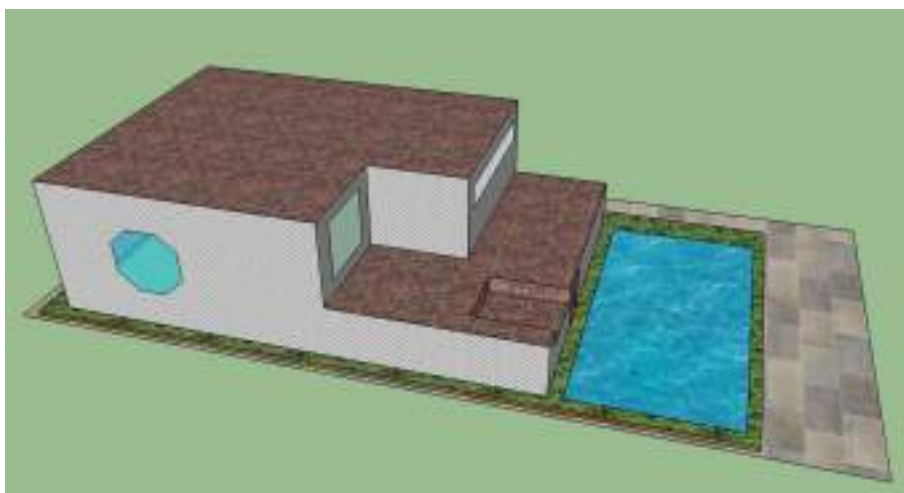
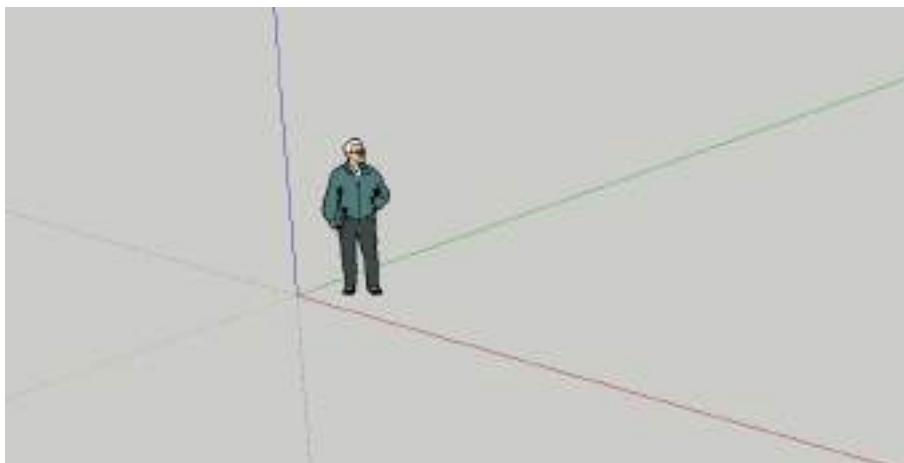


Tot i que totes les icones són prou intuïtives, això és el que permet fer cadascuna. D'esquerra a dreta:

- **Cursor negre:** permet seleccionar qualsevol element del dibuix. Fent doble clic selecciona tota una capa i fent triple clic tot l'objecte. La seqüència *Control + Clic* permet fer una selecció múltiple.
- **Goma d'esborrar:** permet esborrar les línies o superfícies a les quals fem clic. També es pot fer amb la tecla *Suprimir*.
- **Llapis:** permet dibuixar línies rectes. Desplegant el seu menú d'opcions es pot canviar a dibuix lliure (*freehand*).
- **Arc:** permet crear arcs de dos i tres punts (seleccionar al seu menú desplegable l'opció desitjada).

- **Rectangle:** permet dibuixar rectangles, cercles o polígons (seleccionar al menú desplegable l'opció desitjada).
- **Push/Pull:** permet extrusionar capes per convertir-les en figures amb volum.
- **Offset:** no se sol utilitzar per al disseny de peces 3D per imprimir.
- **Move:** permet moure l'objecte o parts de l'objecte per l'àrea de dibuix.
- **Rotate:** permet fer girar l'objecte sobre ell mateix o sobre un punt determinat.
- **Scale:** permet augmentar o disminuir la mida d'un o varis objecte treballant a escala.
- **Cinta mètrica:** permet establir mesures en el dibuix.
- **Text:** permet inserir anotacions en el dibuix.
- **Galleda de pintura:** permet canviar el color de les capes. No s'utilitza en la impressió 3D perquè el color final ve determinat pel del plàstic amb què treballem.
- **Orbit:** permet canviar l'angle des del qual veiem el que estem dibuixant.
- **Pan (mà blanca):** permet moure'ns per la pantalla amunt, avall, dreta i esquerra.
- **Lupa:** permet acostar-se o allunyar-se del dibuix. També es pot fer amb la rodeta del ratolí.

Una facilitat que ofereix el programa és que sempre que treballem sobre algun dels tres eixos, els quals es poden observar a la imatge inferior, ho indica amb el color de l'eix (blau, verd o vermell).



Exemple d'un disseny elaborat amb Sketch Up on es pot observar que no hi ha formes arrodonides, només rectilínies

1.1.2 Autodesk 123D Design



AUTODESK® 123D® DESIGN

L'Autodesk 123D Design és la versió simplificada del programa Autocad. És un programa més complex d'utilitzar ja que la interfície no és tant intuïtiva i requereix bastant de temps dominar tot el seu funcionament. A diferència de l'Sketch Up, és un programa que funciona bé tant en formes rectes com arrodonides i no és necessari descarregar complements per a figures més complexes.

Es pot descarregar gratuïtament des del seu web: www.123dapp.com/design.

Barra d'eines superior del programa:

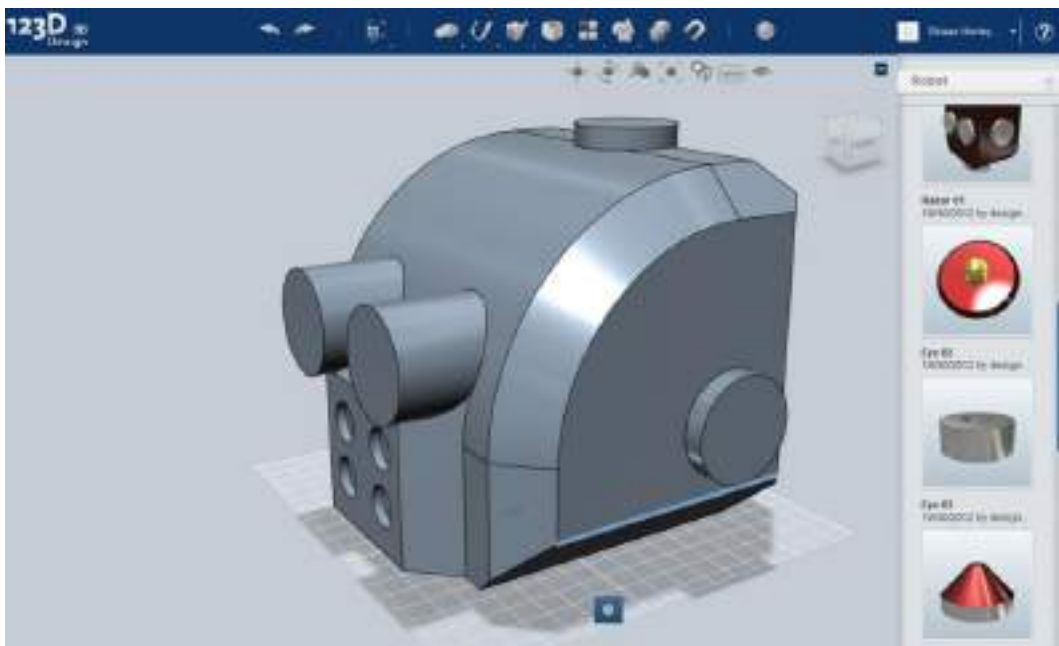


Això és el que permet fer cadascuna de les icones. D'esquerra a dreta:

- **Dues fletxes:** serveixen per desfer i refer les últimes accions.
- **Transform:** permet moure de lloc, rotar i escalar els objectes.
- **Primitives:** permet inserir qualsevol figura primitiva plana i en volum: cubs, cons, esferes, cilindres, etc.
- **Sketch:** permet dibuixar diferents línies, arcs i formes.
- **Construct:** permet extrusionar capes perquè agafin volum així com ajuntar diferents sòlids.
- **Modify:** permet fer tota mena de modificacions en cossos sòlids com per exemple arrodonir els costats i tallar els objectes.
- **Pattern:** permet crear patrons dels objectes i també fer l'efecte mirall.
- **Grouping:** permet agrupar diversos objectes per formar-ne un de sol.
- **Combine:** permet combinar objectes, és a dir, posar-ne un dins d'un altre, fer que interseccionin en un punt, etc.
- **Adjust:** permet fer tota mena de mesures.
- **Text:** permet posar text i anotacions.
- **Snap:** permet atraure objectes a una zona delimitada.
- **Material:** permet seleccionar el material i color que ha de tenir el sòlid. No s'utilitza en la impressió 3D perquè el color final ve determinat pel del plàstic amb què treballem.

Aquesta és la barra lateral i bàsicament serveix per situar-se i moure's en l'espai de treball. De dalt a baix:

- **Cub:** permet moure's per les diferents cares partint d'un punt fix.
- **Pan:** permet moure's per l'espai de treball.
- **Orbit:** permet orbitar la plataforma de treball.
- **Zoom:** permet ampliar i acostar la imatge.
- **Fit:** marca la zona de treball.
- **Materials and outlines:** permet amagar o fer visible el material de l'objecte.
- **Show and hide:** permet amagar o fer visible línies o sòlids segons convingui.
- **Grid visibility:** permet amagar o fer visible la quadrícula.
- **Grouping while snapping:** agrupa automàticament un objecte atret per l'eina "snap".



Exemple d'un disseny elaborat amb autodesk on es poden apreciar les formes arrodonides

1.2 CONSIDERACIONS IMPORTANTS

Un cop escollit el programa ja es pot començar a dissenyar. Durant aquesta fase s'han de tenir en compte algunes consideracions importants degudes a les característiques de la impressora:

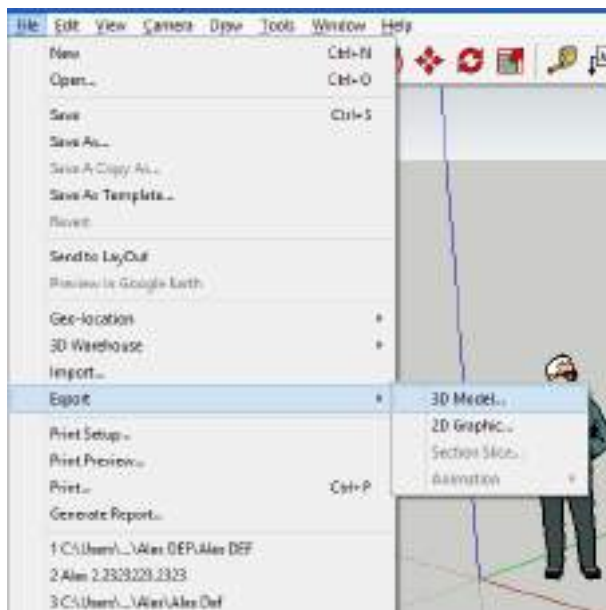
- La impressora té unes mides màximes d'impressió, per tant si es vol fer una peça molt gran s'haurà de dividir en parts i pensar en encaixos per unir-les.
- Si es fan encaixos, s'ha de pensar que la impressora no té una precisió del 100%, per tant si es fa un espai de 1 cm d'ample la peça més gran que hi pot entrar ha de fer, com a màxim 0,9 cm.
- Si es dissenyen objectes molt complexos o amb molts detalls, pot ser que no acabin de sortir del tot bé.

Acabat el disseny és molt important assegurar-se que ha quedat tot correctament unit i que no hi ha cap part flotant, ja que la impressora no pot imprimir parts que no es recolzin a la superfície d'impressió. Si és necessari, es pot imprimir l'objecte de forma apaïxada per tal que no quedin parts flotant.

Una vegada revisat, es passa a exportar el disseny.

1.3 EXPORTAR

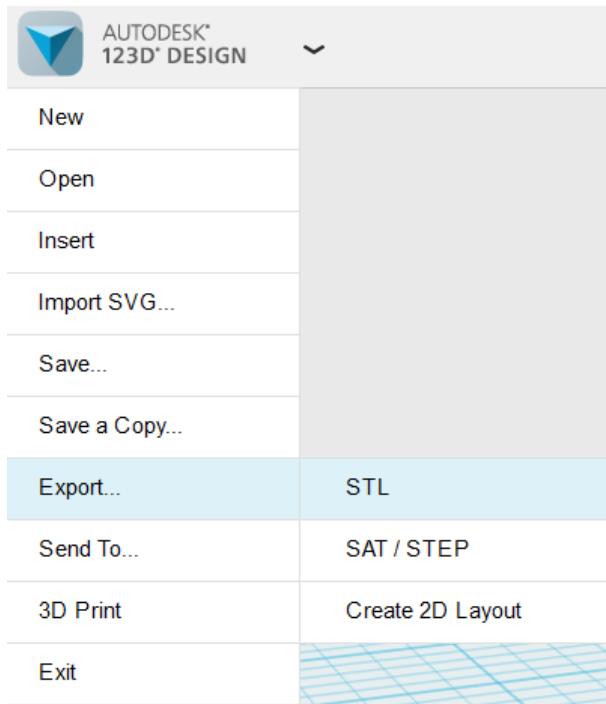
A l'hora d'exportar, es fa de forma diferent segons el programa de dibuix escollit.



Si s'ha utilitzat l'**Sketch Up**, s'exporta en format **OBJ File (.obj)** o bé **3DS File (.3ds)**.

S'exporta en aquests formats perquè el programa treballa amb unions de capes, però no entén les figures dibuixades com a volums plens.

Nom del fitxer:	<input type="text" value="Untitled"/>
Export type:	<input type="text" value="OBJ File (*.obj)"/>
Nom del fitxer:	<input type="text" value="Untitled.3ds"/>
Export type:	<input type="text" value="3DS File (*.3ds)"/>



Si s'ha utilitzat l'**Autodesk 123D** s'exporta l'objecte en format .STL.

Amb aquest programa es pot exportar a STL perquè l'Autodesk ja treballa amb volums plens i permet exportar a formats volumètrics com l'STL.

2 REPARACIÓ D'ERRORS

Un cop exportats els fitxers, és necessari assegurar-se que no hi ha cap problema en les unions entre capes de la peça per tal que la impressora no tingui cap problema a l'hora d'interpretar el disseny i no cometi errors durant la impressió.

2.1 NETFABB



El Netfabb és un programa dedicat exclusivament a la impressió en 3D i el que fa és analitzar els objectes i reparar qualsevol error que hi hagi en les capes, deixant l'objecte a punt per ser imprès sense errors. Té una versió gratuïta i una altra més completa de pagament, però la gratuïta és suficient.

Es pot descarregar des del seu web: <http://www.netfabb.com/>

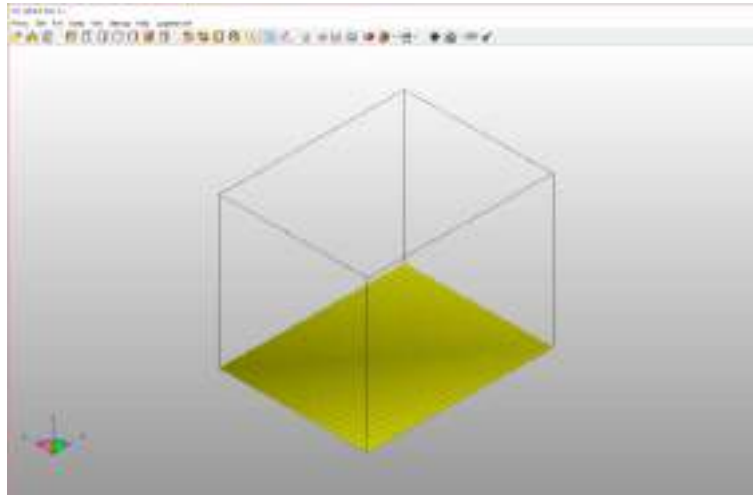
2.1.1 Configuració de la plataforma (opcional)

Quan s'obre el programa per primer cop es pot configurar una plataforma dins l'espai de treball amb les mides de la impressora. No és un pas indispensable i, de fet, no facilita ni complica el treball. Només serveix de referència per saber amb quines mides s'està treballant.



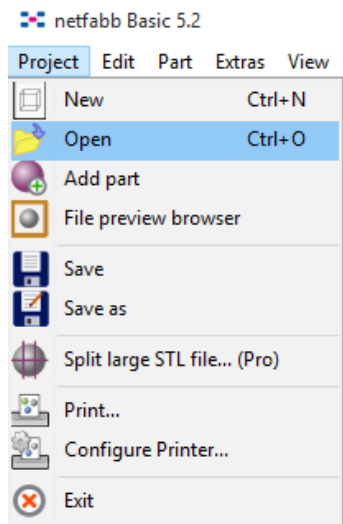
Per fer-ho cal anar a **SETTINGS** i introduir les mides de la impressora a l'opció **DEFAULT PLATTFORM SIZE** i guardar els canvis.

En aquest cas cal posar **250.00 x 200.00 x 200.00**. Les mesures són en mil·límetres. Un cop fet això, apareixerà la plataforma a l'espai de treball.



Aquesta és la plataforma un cop configurada

2.2 REPARACIÓ DEL FITXER



El procediment que cal seguir és realment senzill i sempre el mateix per a totes les peces.

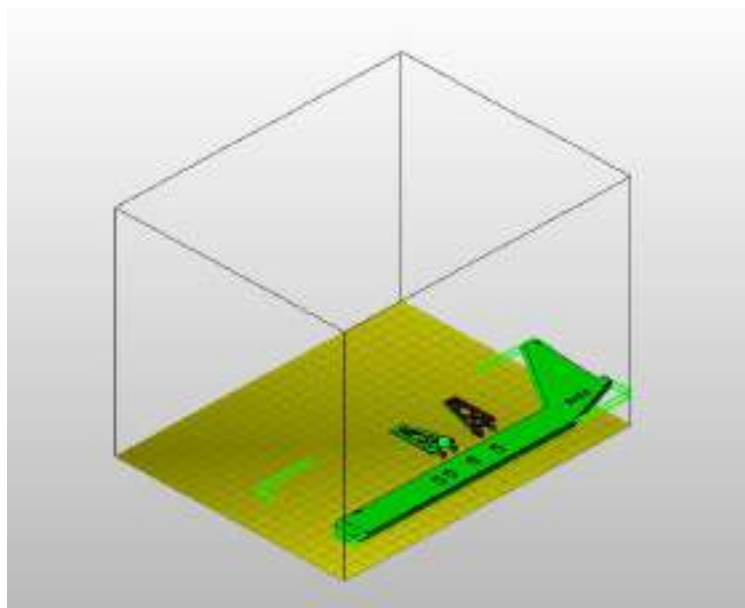
Primer cal desplegar la pestanya **PROJECT** de la barra d'eines superior i anar a **OPEN** per obrir el fitxer desitjat (admet fitxers STL, OBJ i 3DS).

Seleccionar el fitxer i esperar que es carregui.

Un cop obert el disseny de seguida es veu **si és necessari reparar** alguna part ja que **les parts amb errors apareixen de color vermell** i a la part inferior dreta hi ha un **signe de perill**.

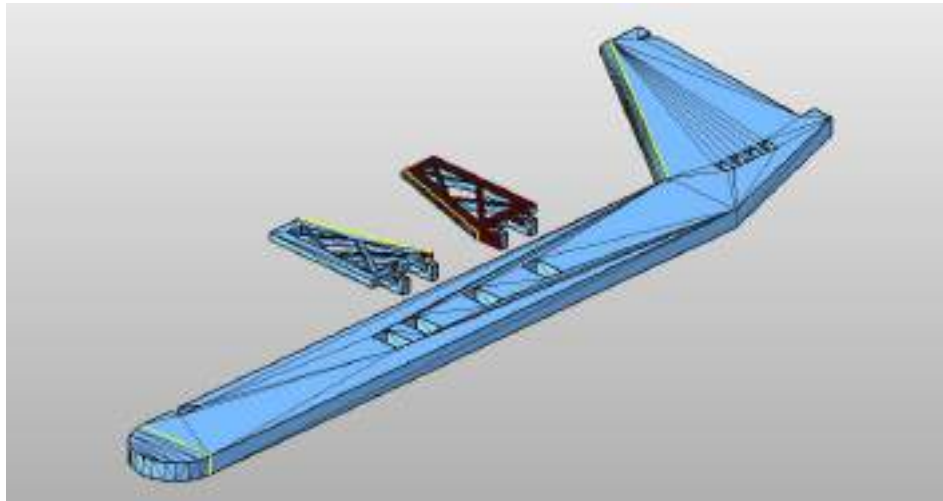


Signe de perill



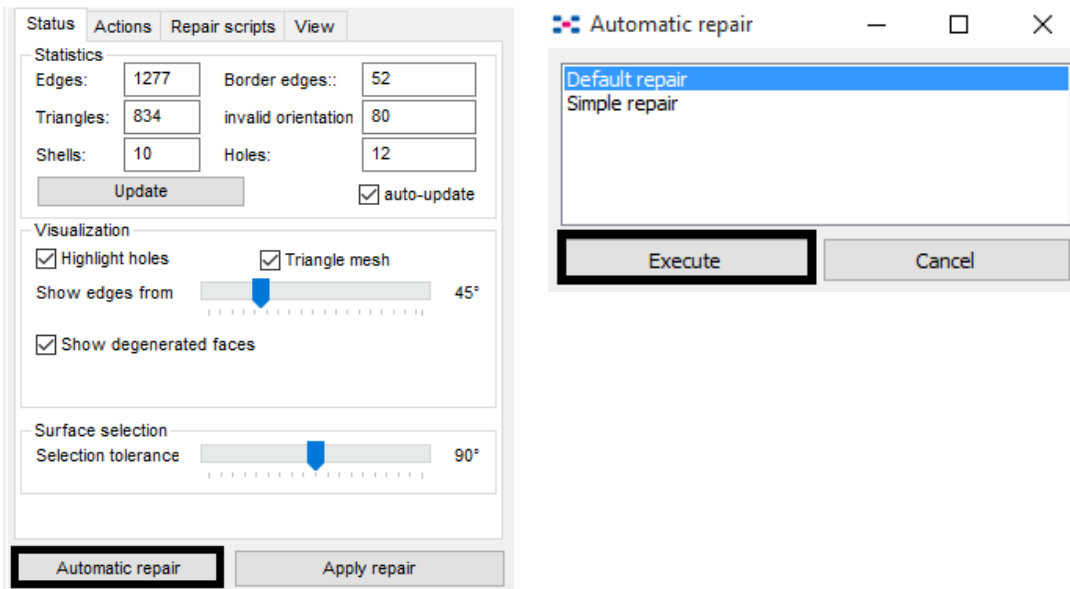
Disseny on es pot veure una part que conté errors

Per reparar aquestes parts s'ha de clicar la creu de color vermell situada a la barra d'eines del programa i tot seguit apareixerà una nova barra d'eines a la part dreta de la pantalla.

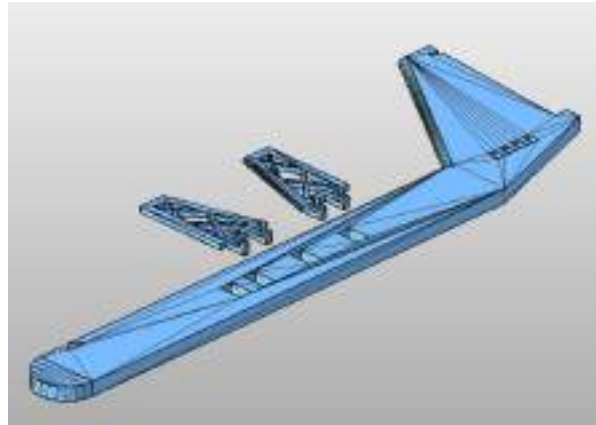


Així és com es veu la figura després de clicar la creu vermella

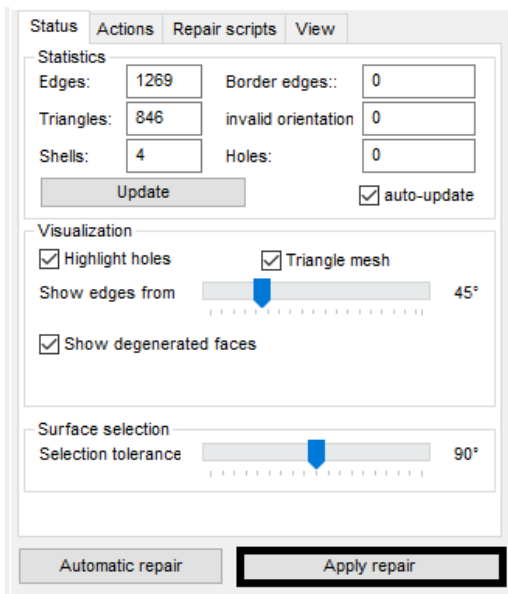
Seleccionar l'opció **AUTOMATIC REPAIR** del menú de la dreta i tot seguit **EXECUTE** al quadre de diàleg que apareixerà.



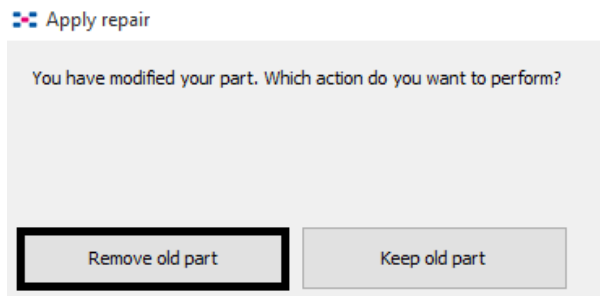
Si tot ha funcionat correctament les parts ressaltades en vermell desapareixeran i el fitxer ja no tindrà cap error.



Fitxer reparat



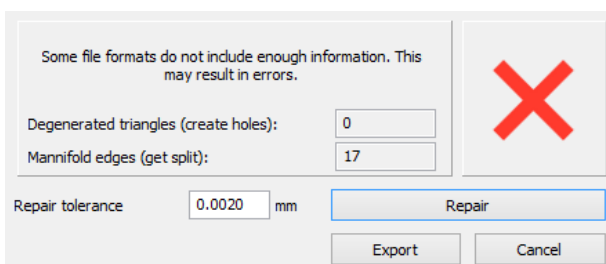
Per acabar, seleccionar **APPLY REPAIR** i tot seguit **REMOVE OLD PART**.



2.3 EXPORTACIÓ

El fitxer ja està reparat i es pot exportar a **STL**. Per fer-ho, anar a la pestanya **PART** de la barra d'eines, **EXPORT PART** i després **AS STL**.

Si a l'hora d'exportar-lo apareix una finestra d'error, tornar a seleccionar l'opció **REPAIR** del mateix quadre de diàleg i després **EXPORT**.



3 PLANIFICACIÓ DE LA IMPRESSIÓ

L'últim pas abans de començar a fer servir la impressora és planificar exactament les capes que ha de fer la impressora, el recorregut que ha de seguir, com ha d'imprimir-se la peça, etc.

El programa que ho permet fer és el Cura.

3.1 EL PROGRAMA CURA

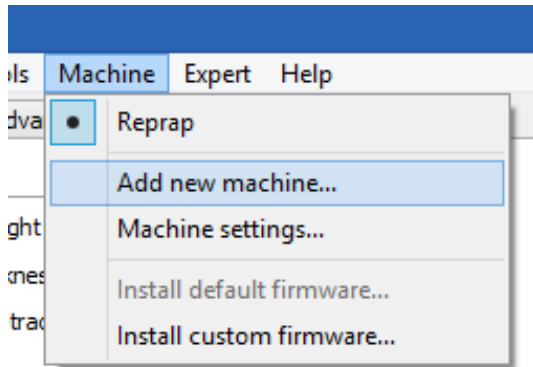


És un programa de la casa Ultimaker, empresa dedicada exclusivament al tema del 3D que ha creat aquest programa per les seves impressores però que permet que es pugui fer servir per a qualsevol impressora.

El programa és de llicència gratuïta i es pot descarregar des del web d'Ultimaker: <https://ultimaker.com/en/products/cura-software>. Es recomana la versió 15.04 perquè té una interfície molt intuïtiva la qual facilita l'aprenentatge de les funcions del programa.

3.1.1 Configuració del Cura

El primer que s'ha de fer en el programa és configurar la impressora per tal que, un cop tingui totes les dades, el programa pugui planificar exactament el procés d'impressió.



Cal anar a la pestanya **MACHINE** de la barra d'eines superior i seleccionar **ADD NEW MACHINE**.

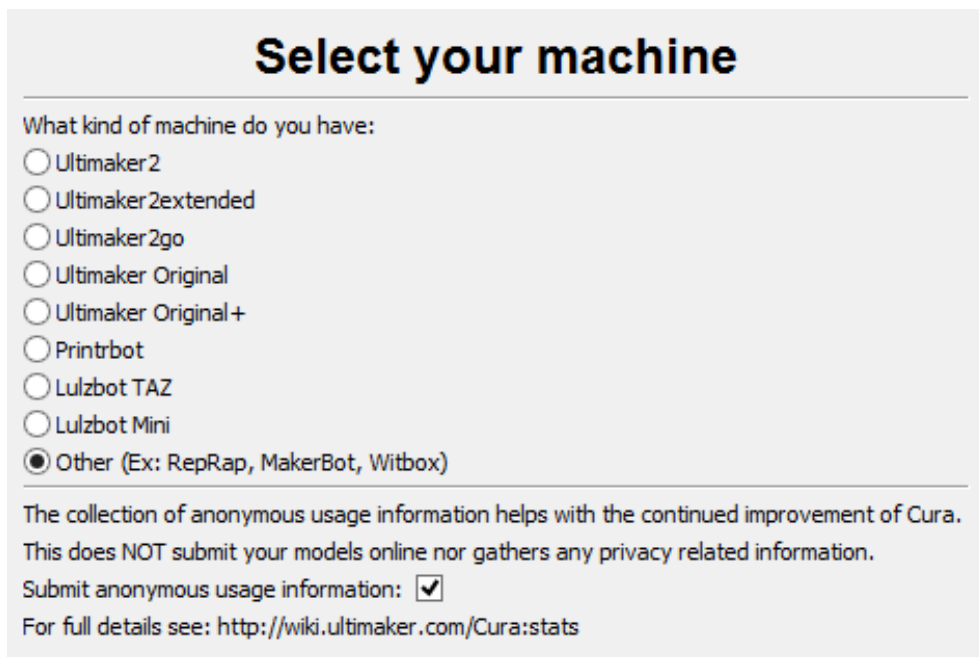
Es pot observar com aquí ja hi apareix una impressora Rep Rap, això és perquè ja està configurada. El programa permet configurar més d'una impressora si és necessari.

S'obre un auxiliar d'instal·lació d'una nova impressora, té aquest aspecte:

Cliquem **NEXT** (següent) per començar la instal·lació de la impressora.



A continuació d'aquí s'ensenya a configurar la impressora Rep Rap BCN 3D+. Per a una impressora diferent, cal buscar les dades a la fitxa tècnica de la màquina.



El programa porta configurades per defecte una sèrie d'impressores, però la **Rep Rap BCN 3D+** no està inclosa en aquesta llista. Per tant, cal seleccionar l'opció **OTHER** i fer clic a **NEXT**.

Other machine information

The following pre-defined machine profiles are available

Note that these profiles are not guaranteed to give good results, or work at all. Extra tweaks might be required. If you find issues with the predefined profiles, or want an extra profile. Please report it at the github issue tracker.

- BFB
- DeltaBot
- Hephestos
- Hephestos_XL
- MakerBotReplicator
- Mendel
- Ord
- Prusa Mendel i3
- Rigid3D
- RigidBot
- RigidBotBig
- Witbox
- Zone3d Printer
- julia
- katiha1
- punchtec Connect XL
- Custom...

Apareix una nova llista d'impressores ja incloses en el programa, però la Rep Rap tampoc hi és present.

Seleccionar l'opció **CUSTOM** (personalitzada) i seguidament clicar **NEXT**.

Apareix una finestra en la qual es poden començar a introduir les dades de la màquina tal i com es mostra a la imatge de la dreta.

Un cop acabat, fer clic a **FINISH**.

Per si la captura de pantalla no és prou nítida, aquestes són les dades necessàries:

Custom RepRap information

RepRap machines can be vastly different, so here you can set your own settings. Be sure to review the default profile before running it on your machine. If you like a default profile for your machine added, then make an issue on github.

You will have to manually install Marlin or Sprinter firmware.

Machine name:

Machine width X (mm):

Machine depth Y (mm):

Machine height Z (mm):

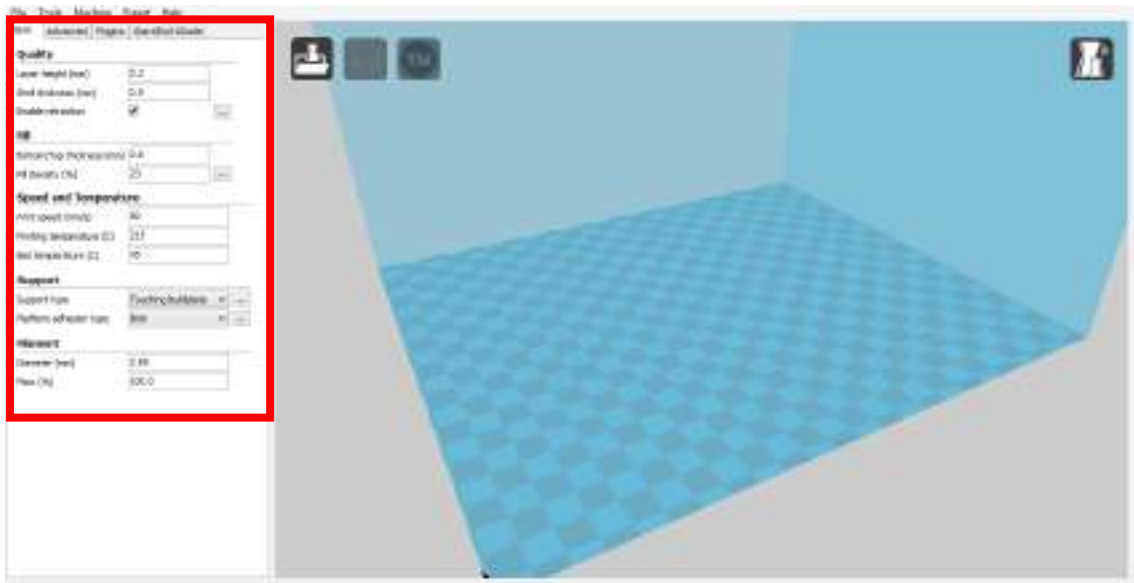
Nozzle size (mm):

Heated bed:

Bed center is 0,0,0 (RoStock):

Machine name	RepRap
Machine width X (mm)	242
Machine depth Y (mm)	210
Machine height Z (mm)	200
Nozzle size (mm)	0.4
Heated bed	<input checked="" type="checkbox"/> (seleccionar)
Bed center is 0,0,0 (RoStock)	<input type="checkbox"/> (no seleccionar)

Es tanca l'auxiliar d'instal·lació i es torna a obrir el programa. Abans d'obrir el disseny, encara s'han d'introduir algunes dades més. Cal fixar-se en la barra lateral esquerra (marcada en vermell):



Basic **Advanced** Plugins Start/End-GCode

Quality

Layer height (mm)

Shell thickness (mm)

Enable retraction ...

Fill

Bottom/Top thickness (mm)

Fill Density (%) ...

Speed and Temperature

Print speed (mm/s)

Printing temperature (C)

Bed temperature (C)

Support

Support type ...

Platform adhesion type ...

Filament

Diameter (mm)

Flow (%)

S'han de canviar els valors que hi ha en els espais per tal que hi hagin els adequats a la nostra màquina. Per tant, s'omplen tal i com es mostra en la imatge.

Quality

Layer height (mm)	0.2
Shell thickness (mm)	0.8
Enable retraction	<input checked="" type="checkbox"/> (seleccionar)

Fill

Bottom/Top thickness (mm)	0.6
Fill density (%)	23

Speed and temperature

Print speed (mm/s)	50
Printing temperature (C)	215
Bed temperature	45

Support

Support type	Touching buildplate
Platform adhesion type	Brim

Filament

Diameter (mm)	2.85
Flow (%)	100.0

Per si no es veu prou bé, aquestes són les dades:

Basic **Advanced** Plugins Start/End-GCode

Machine

Nozzle size (mm)

Retraction

Speed (mm/s)

Distance (mm)

Quality

Initial layer thickness (mm)

Initial layer line width (%)

Cut off object bottom (mm)

Dual extrusion overlap (mm)

Speed

Travel speed (mm/s)

Bottom layer speed (mm/s)

Infill speed (mm/s)

Top/bottom speed (mm/s)

Outer shell speed (mm/s)

Inner shell speed (mm/s)

Cool

Minimal layer time (sec)

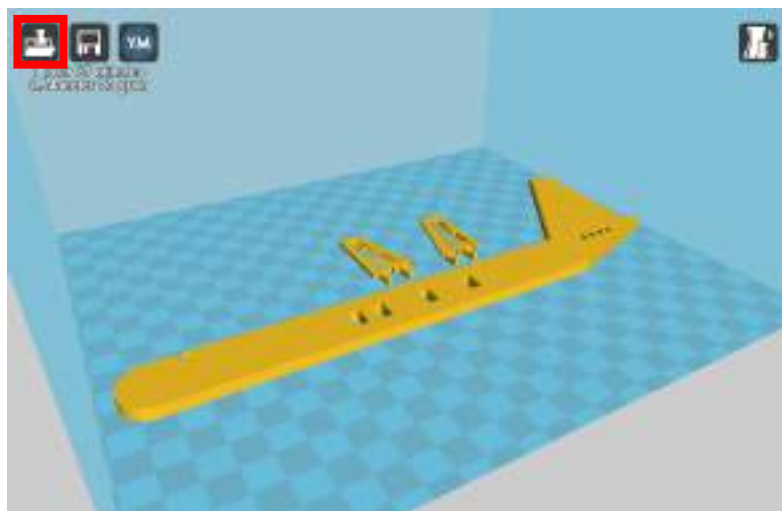
Enable cooling fan ...

Seleccionar la pestanya **ADVANCED** i tornar a repassar tots els valors per tal que coincideixin amb els de la taula d'aquest document.

Aquestes són les dades:

Machine	
Nozzle size (mm)	0.4
Retraction	
Speed (mm/s)	40.0
Distance (mm)	4.5
Quality	
Initial layer thickness (mm)	0.3
Initial layer line width (%)	100
Cut off object bottom (mm)	0.0
Dual extrusion overlap (mm)	0.15
Speed	
Travel speed (mm/s)	150.0
Bottom layer speed (mm/s)	30
Infill speed (mm/s)	90
Top/bottom speed (mm/s)	30
Outer Shell speed (mm/s)	40
Inner Shell speed (mm/s)	80
Cool	
Minial layer time (sec)	3
Enable cooling fan	<input checked="" type="checkbox"/> (seleccionar)

La impressora ja està configurada i es pot obrir l'arxiu STL amb el disseny. Per a obrir un fitxer, fer clic al primer botó de la barra d'eines superior de l'espai de treball (marcat amb un requadre vermell).



3.1.2 Configuracions modificables

Les configuracions mostrades anteriorment són les estàndard per poder imprimir gairebé qualsevol peça. Ara bé, hi ha una sèrie de configuracions que es poden modificar segons les característiques de l'objecte que s'imprimirà per millorar el rendiment de la impressora.

Aquests són els paràmetres que es poden modificar:

Layer Height

Permet modificar l'altura de les capes. És el paràmetre més important a l'hora de determinar la qualitat i la durada de la impressió. Amb la Rep Rap BCN 3D+ es pot introduir qualsevol valor comprès entre 0,2 i 0,3 segons si importa molt o no la qualitat de la peça. Com més baix sigui el valor menys altura hi haurà entre capes i per tant la qualitat d'impressió serà millor, ara bé el temps que tardarà a imprimir també serà molt superior.

El valor més recomanable és 0,2, per això és el valor per defecte; no obstant, si la peça és molt gran o no es busca molta qualitat es pot introduir una altura de capa de 0,3.

Fill Density

Permet modificar la densitat de l'interior de la peça. Si es vol una peça completament plena i súper resistent es posa 100%. I, per al contrari, si es vol una peça buida i gens resistent s'introdueix un valor molt baix (5% – 10%). En la majoria de les impressions es pot posar un valor al voltant del 20-25%. Amb aquests, el programa dissenya una mena de xarxa que omple l'interior de la peça. Cal tenir en compte que aquest paràmetre també afecta el temps d'impressió: com més densitat, més temps d'impressió.

Print Speed

Permet modificar la velocitat d'impressió, però com que la Rep Rap ja permet canviar-ho des de la pantalla de control no es modifica aquest paràmetre. El fet d'augmentar la velocitat té una afectació en el termini d'impressió però sobretot en la qualitat del producte.

Printing Temperature

La temperatura d'impressió és d'uns 210-215°C en el cas que el material usat sigui PLA. Si el material és ABS es necessita una temperatura de 230°C o superior.

Bed Temperature

Permet modificar la temperatura del vidre calent de la impressora, conegut com a llit. Si el material que s'utilitza és PLA es pot posar un valor entre 20 i 90°C, tot i que el més recomanable és 40/45°C; mentre que si es fa amb ABS s'ha de posar un valor entre 70 i 120°C.

Support Type

La impressora permet escollir entre diferents tipus de suports que aquesta fa al voltant de l'objecte per assegurar-se que s'imprimeix correctament.

Tres tipus de suports:

- ***Touching buildplate***: és el suport més comú i el més recomanable per a la majoria de peces, ja que només es fa el suport allà on és estrictament necessari per imprimir sense que es mogui tot l'objecte.
- ***Everywhere***: aquesta opció fa que la impressora vagi fent suports a mesura que va pujant d'altura. En la majoria d'objectes tots aquests suports són innecessaris i després costen molt d'eliminar correctament sense malmetre l'objecte. L'altre inconvenient que té és que suposa un gran augment del temps d'impressió.
- ***None***: Si se selecciona aquesta opció la impressora no farà cap mena de suport; només és recomanable fer-ho en peces molt grans i amb una bona base.

Platform adhesion type

Aquesta opció fa que la impressora imprimeixi unes capes més fines al voltant del nostre objecte per ajudar a evitar que aquest es desenganxi o es mogui de costat a costat durant la impressió. Aquestes capes són molt fàcils d'eliminar un cop acabat el procés.

Tres opcions a escollir:

- ***None***: si s'escull aquesta opció la impressora no farà cap capa al voltant de l'objecte. Només farà una petita línia per preparar l'extrusor i comprovar que l'objecte cap dins la plataforma. Pot ser que l'objecte es mogui mentre s'està imprimint.
- ***Brim***: és l'opció més recomanable per la majoria d'objectes. Afegeix capes planes una mica més primes al voltant de la peça per evitar que aquesta es mogui. A l'obrir el menú desplegable del costat, es pot triar quantes línies es volen. Es recomana posar un valor de 5 línies perquè són més que suficients per assegurar la fixació.
- ***Raft***: afegeix una trama gruixuda sota l'objecte i tot seguit una fina superfície entre la trama i l'objecte per assegurar la fixació.

Flow

Aquest paràmetre modifica la quantitat de material extrusionat i també és un paràmetre que es pot modificar des de la impressora. Es recomana utilitzar un valor entre 100 i 107. Com més alt és el valor més material sortirà i per tant disminuirà el temps d'impressió.

De l'apartat de configuracions avançades no es toca cap paràmetre i es deixa tot tal com s'ha indicat anteriorment.

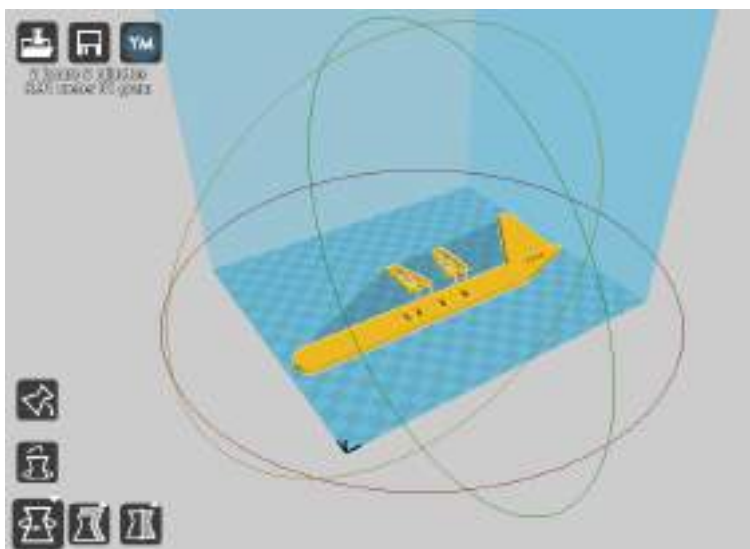
3.2 CONFIGURACIÓ DE L'OBJECTE

Des del programa Cura es pot canviar la mida de les peces, rotar-les i invertir-les en qualsevol dels eixos (X, Y i Z).



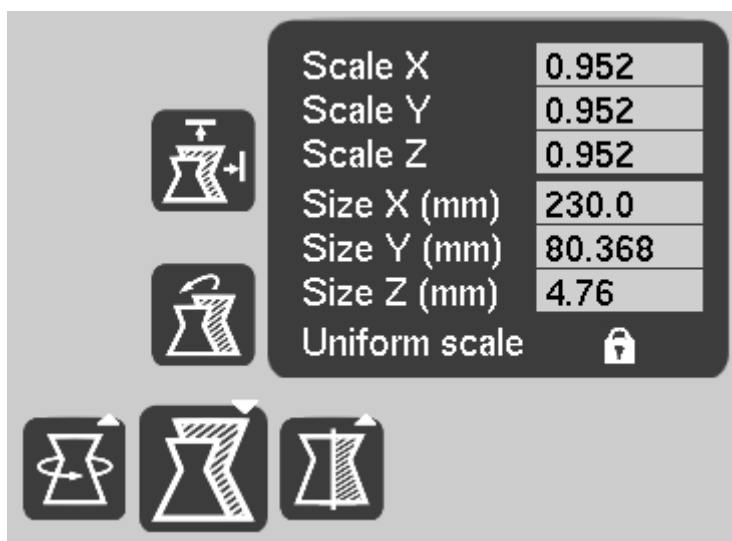
D'esquerra a dreta: rotar, escalar i invertir

3.2.1 Rotar



Si se selecciona l'opció de rotar, apareixen aquestes tres circumferències de color (groc, verd i vermell) que guien en la rotació. Només s'ha de posar el cursor damunt l'eix en què es vol rotar, fer clic i arrossegar. En pantalla apareixen els graus que s'està rotant.

3.2.2 Escalar



Aquesta opció permet modificar la mida de l'objecte seleccionat. Es recomana modificar només l'espai de **SIZE X**, així tots els altres valors variaran a escala dels canvis fets.

La mida màxima que s'hi pot introduir sol ser d'entre 220 i 230 mm.

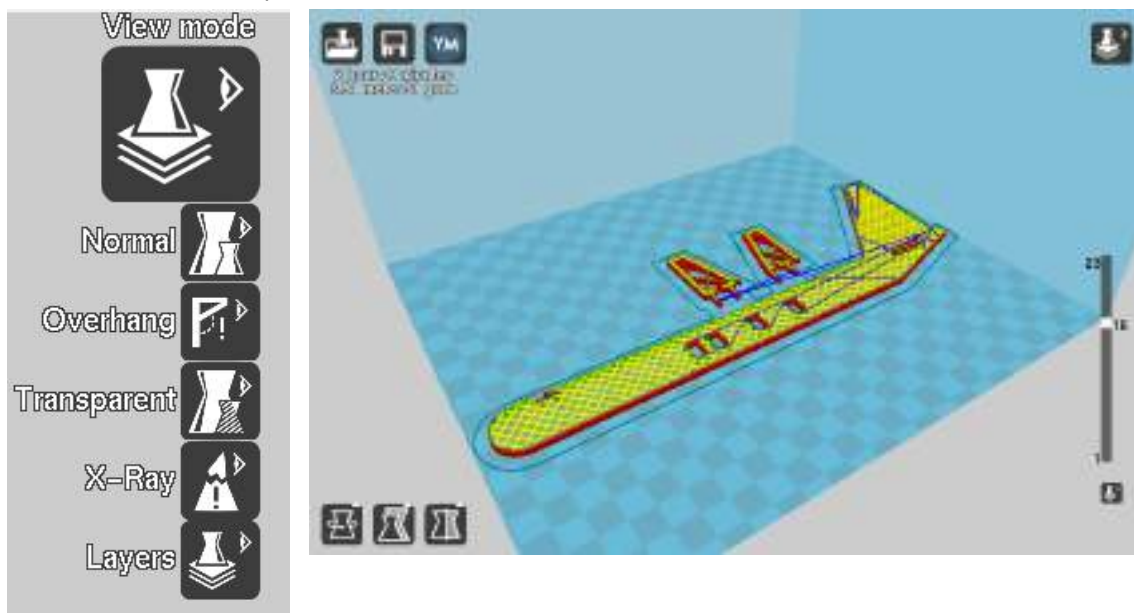
3.2.3 Invertir



Aquesta opció permet invertir la peça fent efecte mirall en els tres eixos (X, Y i Z).

De dalt a baix, la primera opció permet invertir en l'eix Z, la segona en l'eix Y i la tercera en l'eix X.

3.2.4 Vista de capes

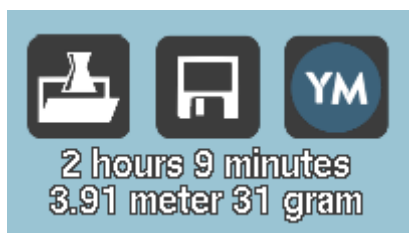


Una de les opcions interessants d'aquest programa és la vista de capes (VIEW MODE → LAYERS). Permet veure quin és el recorregut que seguirà la impressora durant la impressió i serveix per comprovar que no es deixa cap de les parts de l'objecte.

Amb la barra de la dreta es pot anar passant capa a capa per observar-les totes. En el cas de la imatge de sobre, de la capa 1 a la 23.

3.2.5 Informació sobre la impressió

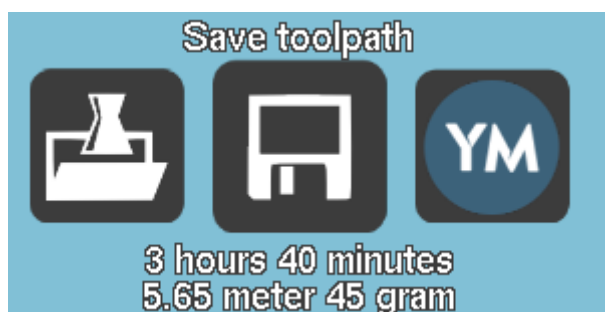
El programa informa sobre el temps que tardarà a imprimir-se la peça i la quantitat de material que gastarà. Tant el temps com el material es van actualitzant automàticament quan es modifica alguna de les configuracions.



En el cas de la imatge, la peça tardarà 2 hores i 9 minuts a imprimir-se i gastarà 3.91 metres de fil, que equivalen a 31 grams.

3.3 EXPORTAR

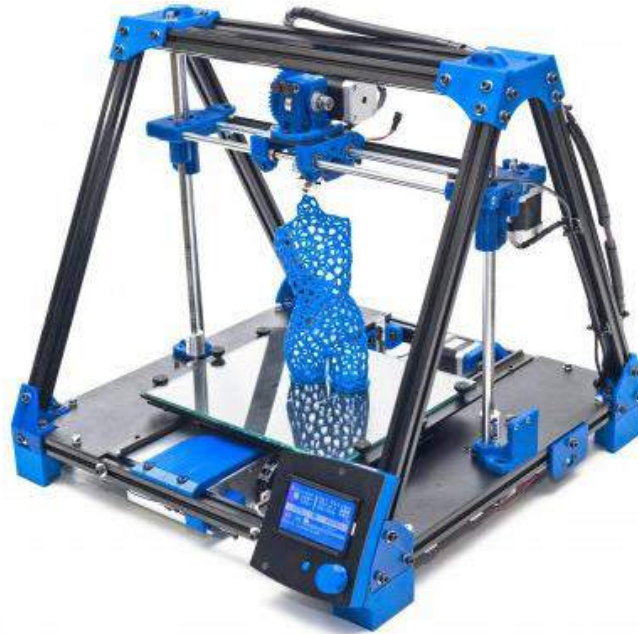
Un cop configurada la peça, s'ha de fer l'últim pas que és exportar-la a .GCODE, format que pot llegir la impressora. Per fer-ho, inserir una targeta SD a l'ordinador i clicar l'opció **SAVE TOOLPATH**.



El fitxer ja està llest per a imprimir!

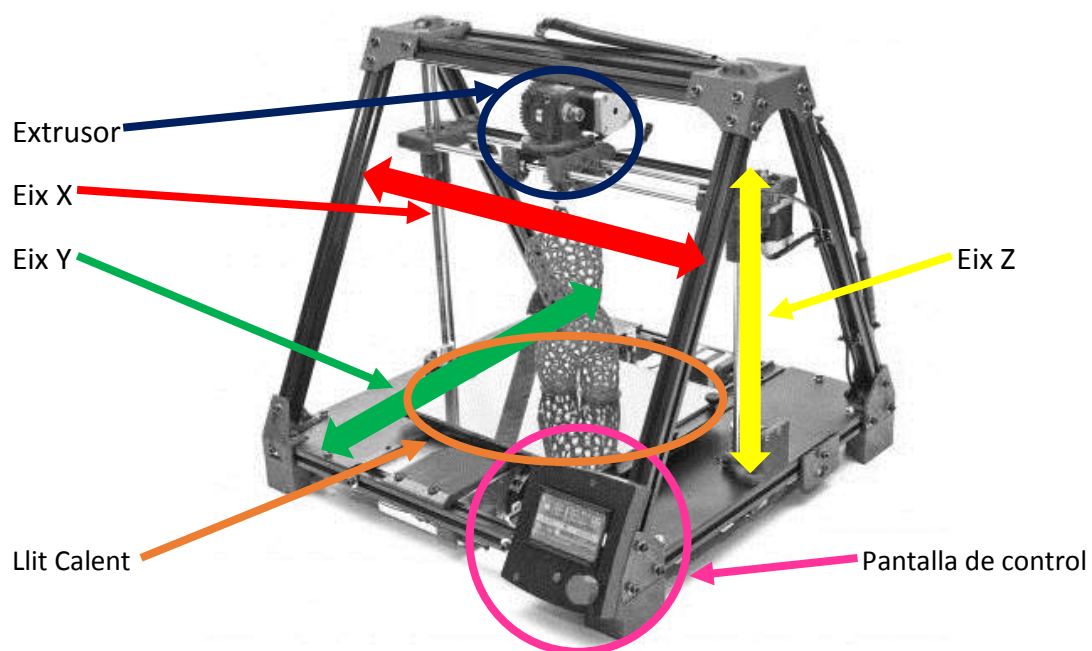
4 IMPRESSIÓ

4.1 LA IMPRESSORA REP RAP BCN 3D+



La Impressora Rep Rap BCN 3D+ és una impressora 3D *Open Source* modular ideal per a descobrir el món del 3D. Ha estat dissenyada per *BCN3D Technologies*, un projecte de la fundació CIM-UPC (*Computer Integrated Manufacturing* – Universitat Politècnica de Catalunya) dedicat exclusivament a la recerca i innovació en aquest camp.

Aquestes són les seves parts principals:



4.2 MATERIALS D'IMPRESSIÓ

La impressora Rep Rap BCN 3D+ és capaç d'imprimir amb aquests materials:

- **PLA (àcid polilàctic):** polímer termoplàstic biodegradable derivat de l'àcid làctic.
- **ABS (Acrilonitril Butadiè Estirè):** termoplàstic amorf molt resistent als cops.
- **Nylon (niló):** polímer artificial del grup de les poliamides.

Els més habituals són el PLA i l'ABS. És molt important saber amb quin dels dos es treballa perquè les temperatures de funcionament varien molt segons el material. En aquest cas, tota la configuració s'ha fet pensant en imprimir amb PLA.

4.3 PANTALLA DE CONTROL I PRINCIPALS CONTROLS


En aquest apartat s'expliquen els principals controls de la impressora. Tots es fan des de la pantalla de control i són importantíssims per cada impressió que es vol realitzar.

Per a utilitzar la pantalla de control: fer girar la rodeta blava per moure's pel menú i pressionar-la per a seleccionar; el botó petit del costat serveix per fer un *reset* a la impressora. Per accedir al menú principal, pressionar la rodeta blava des de la pantalla inicial.

4.3.1 Preescalfar (*Preheat*)

Abans de qualsevol impressió, s'ha de posar la màquina a preescalfar per tal que l'extrusor estigui calent i preparat per quan s'hi posi el plàstic i es comenci a imprimir.

Per a preescalfar: accedir al menú principal i després **PREPARE → PREHEAT → PREHEAT PLA** o **PREHEAT ABS** (segons el material utilitzat).

 **No posar mai la impressora a preescalfar amb el material dins l'extrusor,** provocaria que es carbonitzés i taponaria l'embocadura.

4.3.2 Desactivar motors (*Disable Steppers*)

Per inserir el material dins l'extrusor és necessari desactivar els motors per a poder fer girar els engranatges manualment. Si s'intenten fer girar sense desactivar-los es fan malbé.

Per a desactivar-los: anar al menú principal i després **PREPARE → DISABLE STEPPERS**.

Els motors es tornen a activar automàticament quan es dona una nova ordre a la impressora.

4.3.3 Punt inicial (*Autohome*)

El punt inicial (*autohome*) és el punt 0,0,0 de la màquina. És des d'on comença cada impressió. És necessari fer un *autohome* abans de començar a imprimir.

Per a fer un *autohome*: anar al menú principal, **PREPARE → AUTOHOME**.

4.3.4 Altres controls

4.3.4.1 Moviment dels eixos (Move Axis)

Aquesta opció ens permet moure els diferents eixos de la impressora (X, Y, Z i Extrusor). És útil per comprovar si tot funciona correctament i per si necessitem aixecar l'extrusor a l'hora de canviar l'embocadura.

Per a moure els eixos: menu principal i **PREPARE** → **MOVE AXIS** → seleccionar entre **10mm / 1mm / 0,1mm** (distància que implica cada gir de la rodeta) → seleccionar l'eix.

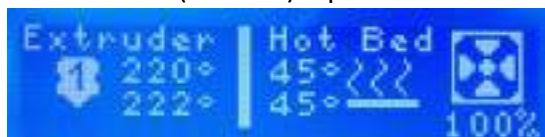
Si se selecciona **10mm** només es poden moure els eixos **X i Y**; si se selecciona **1mm** els eixos **X, Y i Z**, i si se selecciona **0,1 mm** es poden moure tots (**X, Y, Z i EXTRUDER**).

Per a tornar a la posició inicial, la millor opció és un **AUTOHOME** (PREPARE → AUTOHOME).

4.4 COMENÇAR A IMPRIMIR

Un cop coneguts els principals controls, posar una peça a imprimir és realment senzill. Es recomana tenir la impressora en un lloc on no hi hagi gaire corrent d'aire perquè això pot provocar errors. S'han de seguir aquests passos:

1. **Engegar** la impressora
2. **Inserir la targeta SD** amb el fitxer .gcode.
3. **Preescalfar** l'extrusor i el llit calent (PREPARE → PREHEAT → PREHEAT PLA/ABS). Comprovar que a la pantalla apareixen les temperatures desitjades i les actuals de l'extrusor (*extruder*) i el llit calent (*hot bed*) i que les actuals van augmentant.



4. Un cop assolides les temperatures desitjades, **desactivar els motors** (PREPARE → DISABLE STEPPERS), **inserir el fil** al forat de la part superior de l'extrusor i fer girar l'engrenatge gran fins que el fil faci topall amb l'embocadura i comenci a sortir per sota).
5. Fer un **autohome** (PREPARE → AUTOHOME).
6. Posar el fitxer a **imprimir** (PRINT FROM SD → FITXER DESITJAT.gcode).

En aquest moment, si s'han fet tots els passos correctament, la màquina començarà a imprimir.

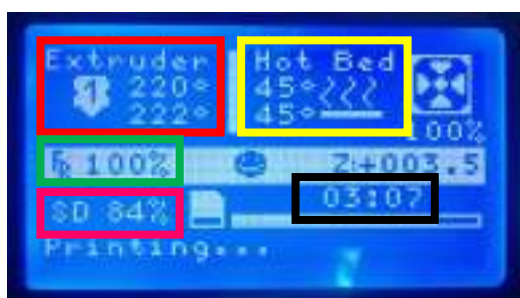
És recomanable posar laca d'impressió 3D al vidre del llit calent de tant en tant ja que aquesta assegura la fixació de la peça al vidre.

4.5 DURANT LA IMPRESSIÓ

És important assegurar-se que la impressora està fixada en un lloc i que no rep corrent d'aire, per tal que la qualitat d'impressió sigui bona. Les capes que surten de l'extrusor són tan fines i lleugeres que un petit moviment d'aire o una vibració de la màquina fa que es desplacin i provoquin defectes.

4.5.1 Temps i percentatge d'impressió

A la pantalla inicial hi apareix la informació sobre les temperatures de l'extrusor i el llit calent, la velocitat d'impressió en percentatge respecte a la inicial, el percentatge de capes impreses i el temps que es porta imprimint.



Temperatura de l'Extrusor
Temperatura del llit calent
Velocitat en Percentatge
Percentatge de Capes Impreses
Temps transcorregut

4.5.2 Variació de la velocitat

És l'únic paràmetre que es pot modificar durant el procés d'impressió. Per a fer-ho només s'ha de fer girar la rodeta blava de la pantalla de control i el percentatge de la velocitat augmentarà o disminuirà.

Tot i ser una forma de reduir el temps d'impressió, no és molt recomanable augmentar gaire la velocitat perquè fa que la impressora perdi precisió i hagi de treballar amb més tensió que habitualment, fet que pot portar problemes.

Si es vol augmentar la velocitat, fer-ho, com a màxim, fins a un 150%. Es pot arribar al 700%, però no és recomanable perquè el més segur és que s'hagi de repetir la peça.

4.6 FINALITZADA LA IMPRESSIÓ

Immediatament després que la impressora acabi d'imprimir s'ha de treure el fil de PLA de l'extrusor. Per a fer-ho: desactivar motors (PREPARE → DISABLE STEPPERS), fer girar l'engranatge gran al revés de com s'ha fet per fer entrar el fil i acabar d'estirar-lo amb les mans fins que surti tot el PLA que hi ha dins. És possible que surti un fil molt prim i molt llarg a la part final de PLA. És important fer-ho de seguida perquè, quan acaba d'imprimir, la impressora es refreda i, si el PLA es queda dins, l'extrusor quedarà taponat.

Després ja es pot arrencar la peça del vidre. Si amb el vidre muntat a la impressora no es pot, desmuntar el vidre (desenganxar les pinces que l'aguanten) i arrencar-lo en un lloc on sigui més còmode. Després es neteja el vidre i es torna a col·locar al seu lloc.

5 POSSIBLES PROBLEMES

És molt comú que si s'utilitza bastant la impressora 3D aparegui algun problema. Aquest últim apartat recull els problemes més habituals, la forma de solucionar-los i algun consell per evitar-los.

5.1 FILAMENT

És molt important assegurar-se que el fil, sigui del material que sigui, estigui en un bon estat i sense embolics que puguin provocar que es trenqui o provoqui problemes a la màquina durant la impressió.

També s'ha de tenir en compte que després d'una impressió s'ha de tallar la part del fil que ha quedat fosa perquè el fil que entra a l'extrusor ha d'estar en perfecte estat. Aquest tall no es pot fer de qualsevol manera, s'han de fer servir unes alicates o qualsevol eina tallant que permeti fer un tall recte.

Per últim s'ha de tenir en compte que amb el temps aquest filament pot agafar humitat i tornar-se més trencadís. Això pot suposar un greu problema ja que és molt probable que en impressions una mica llargues el fil s'acabi trencant tot sol amb el mateix moviment de la màquina i aquesta deixi d'imprimir. Una manera fàcil de solucionar-ho és comprant un deshumidificador i sempre que no es faci servir la impressora guardar la bovina de fil amb el deshumidificador dins una caixa.

5.2 PECES QUE ES TRENQUEN / PECES DE RECANVI

La majoria de parts d'aquesta impressora han estat impreses en 3D amb una altra impressora; per tant és molt recomanable que les primeres coses a imprimir siguin les peces de recanvi ja que mai avisen abans d'espatllar-se i un cop s'han fet malbé és molt difícil poder-ne imprimir.

Totes les peces de la impressora que han estat impreses en 3D estan disponibles a internet preparades per a imprimir. Les de la Rep Rap BCN 3D+ estan disponibles a l'enllaç: <http://is.gd/pecesreprap>

Per si l'enllaç reduït no funciona, aquest és l'enllaç original. Es pot trobar també a la nostra pàgina web (tdr2k15.wix.com/impressio3d) i al codi QR següent.



https://drive.google.com/folderview?id=0BxiytU6zOcrjbmthZjhMWWpicG8&usp=drive_web&tid=0BxiytU6zOcrjSjBQRIFTcEhOYzQ

Hi ha dues peces que és molt fàcil que es trenquin o es malmetin. Per tant, són les primeres que s'haurien d'imprimir. Són aquestes:



ENGRANATGE PETIT DE L'EXTRUSOR

És la peça que posa en contacte el motor amb l'engranatge d'extrusió. És molt fàcil que es malmeti perquè treballa a una gran pressió.

A la carpeta de l'enllaç anterior, es pot trobar amb el nom:

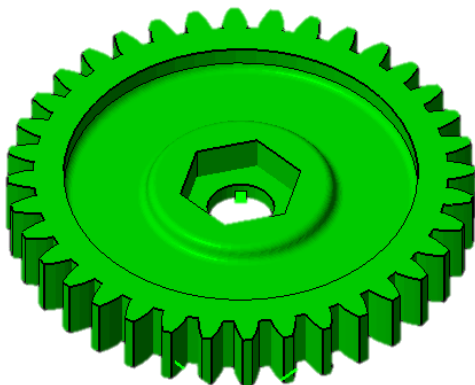
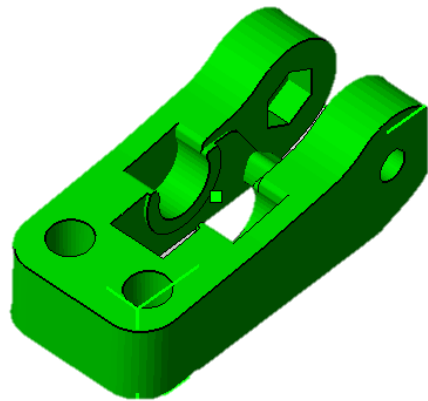
BCN3D1.2-M05C01.0P03B Small gear

TENSOR DE L'EXTRUSOR

És la peça que fa pressió a la zona per on passa el fil per assegurar que no rellisca de l'engranatge. És important que estigui en perfecte estat per poder imprimir correctament.

A la carpeta de l'enllaç anterior, es pot trobar amb el nom:

BCN3D1.2-M05C01.0P04C Extruder idler



ENGRANATGE GRAN DE L'EXTRUSOR

És la peça amb què comunica l'engranatge petit i s'encarrega de fer avançar el fil lentament però sense pausa cap a l'emboadura. És molt important que estigui en bon estat per a imprimir.

A la carpeta de l'enllaç anterior, es pot trobar amb el nom:

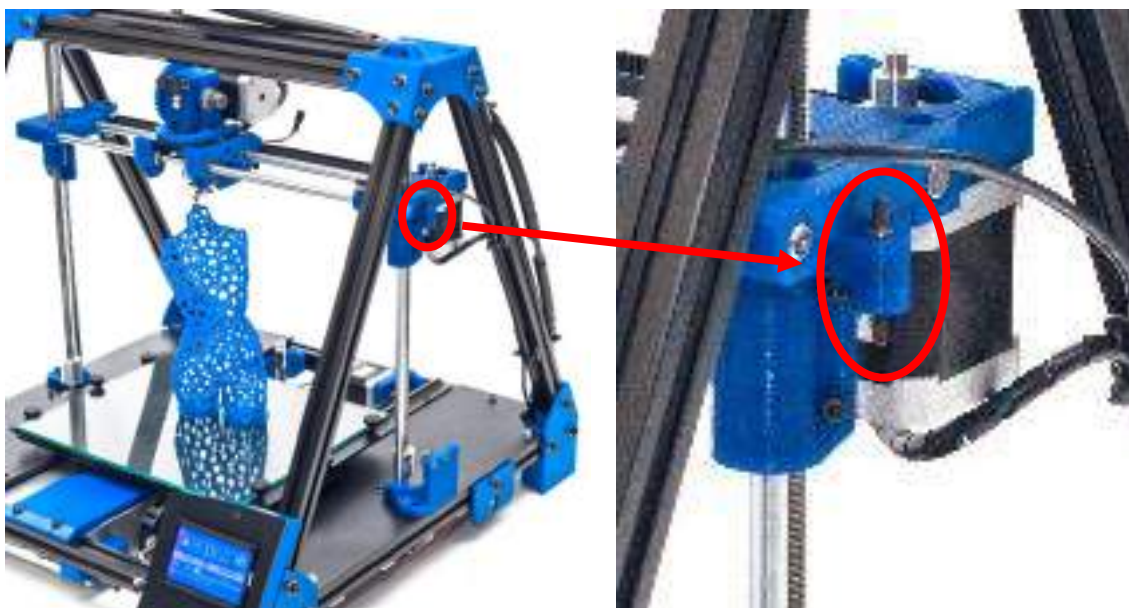
BCN3D1.2-M05C01.0P02C Large gear

5.3 ALTURA DE L'EXTRUSOR

Per poder imprimir correctament és necessari que l'extrusor estigui a l'altura adequada; si no és així pot ser que no ajunti del tot bé les diferents capes.

Per comprovar si l'extrusor és a l'altura correcta, s'ha d'intentar fer passar un full de paper entre l'embocadura i el llit calent. Si el full passa sobrat o no passa s'ha de modificar l'altura perquè no és la adequada.

COM MODIFICAR L'ALTURA DE L'EXTRUSOR?



Per modificar-ne l'altura cal cargolar o descargolar un cargol que es troba a la part dreta de la barra mòbil de la impressora (marcat en vermell a la foto anterior). L'eina necessària és una clau Allen molt petita que va inclosa amb la màquina.

Aquest cargol s'encarrega d'avisar a la màquina quan l'eix Z es troba a la posició inicial perquè és quan el cargol entra en contacte amb el sensor. Per tant, si es cargola lleugerament la peça, l'extrusor quedarà més aixecat perquè el contacte entre el cargol i el sensor es produirà abans. Al contrari, si es descargola, l'extrusor quedarà més avall perquè el contacte es produirà més tard.

Després de cargolar o descargolar, cal fer un **AUTOHOME** (PREPARE → AUTOHOME), perquè s'apliquin els canvis fets. Si quan es fa se sent un soroll fort i continuat cal tornar a pujar l'altura ràpidament i repetir l'AUTOHOME perquè vol dir que s'ha fet baixar massa l'extrusor i el motor està fent topall, fet que pot provocar que es faci malbé.

Modificar l'altura és un procés que s'ha de fer amb molta cura i és recomanable demanar ajuda a algú que en sàpiga per evitar fer malbé una màquina tan delicada com aquesta.

5.4 EMBOCADURA TAPONADA



Un dels problemes més comuns és que el petit forat de l'embocadura (també coneguda com a *boquilla*) quedi taponat impedit que en surti plàstic.

CAUSES PROBABLES I CONSELLS PER EVITAR-HO

- Procurar que els cargols del tensor del filament no estiguin ni massa cargolats ni massa descargolats. S'ha de trobar un punt on la molla estigui bastant comprimida però sense passar-se.
- Revisar el cargol que pressiona l'engranatge petit del motor de l'extrusor. Pot ser que aquest s'hagi aflluixat i patini damunt l'eix. Aquest eix té una cara llimada i el cargolet ha de pressionar aquesta cara.
- Revisar que no es tingui una temperatura de fusió massa elevada. La temperatura ideal és entre 210 i 215 °C.
- Sobretot **no posar mai la màquina a preescalfar amb el fil de PLA posat** ja que al cap d'un temps es carbonitza i obstrueix l'embocadura de l'extrusor. Sempre s'ha de preescalfar sense el filament i un cop acabada la impressió treure'l de seguida de la màquina.

Tot i fer tot això correctament, és possible que al cap d'un temps l'embocadura s'acabi taponant. Seguidament s'expliquen els mètodes per netejar-la.

COM DESTAPONAR L'EMBOCADURA

- El primer que es pot intentar és posar la màquina a preescalfar amb una temperatura una mica superior a l'habitual per intentar aconseguir que el plàstic es fongui i acabi baixant. Cal vigilar de no escalfar-lo massa, ja que si s'acaba carbonitzant el plàstic encara serà pitjor i costarà molt més de treure.
- Una altra manera d'intentar destapar l'embocadura consisteix en posar-la en un recipient amb acetona durant 24h com a mínim, ja que aquesta dissol el PLA. Si el plàstic ha quedat carbonitzat aquest mètode no funciona.
- Una altra forma d'intentar destapar-la consisteix a fer-ho de manera mecànica amb una agulla molt petita. El primer que es farà serà escalfar l'embocadura amb un bec *bunsen*, un bufador, un soldador o alguna altra eina similar. Un cop escalfada es passa l'agulla pel forat amb l'ajuda d'uns guants o unes alicates i s'intenta treure el plàstic.
- Finalment, si no és possible destapar l'embocadura de cap manera, se n'haurà de comprar una de nova.

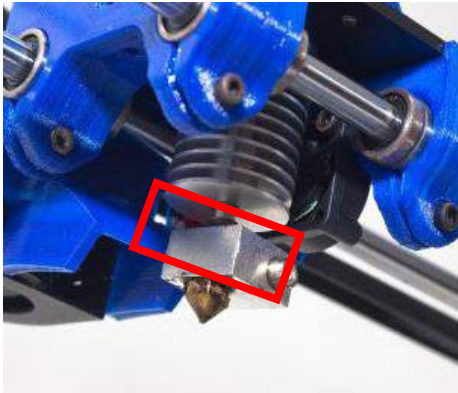
En aquestes webs se'n poden adquirir als preus de 5,20 € i 7,90 €:

<http://www.bcn3dtechnologies.com/es/catalog/product/brass-nozzle-04mm>

<http://www.picaxe.biz/tienda/producto/re10506>

En tots els mètodes exposats excepte en el primer cal desmuntar l'embocadura. Totes les eines necessàries per fer-ho van incloses amb la màquina.

COM DESMUNTAR I MUNTAR L'EMBOCADURA



Cal desenroscar el suport de l'embocadura (encerclat en vermell a la imatge) amb la clau corresponent, havent desconnectat el cable elèctric prèviament.

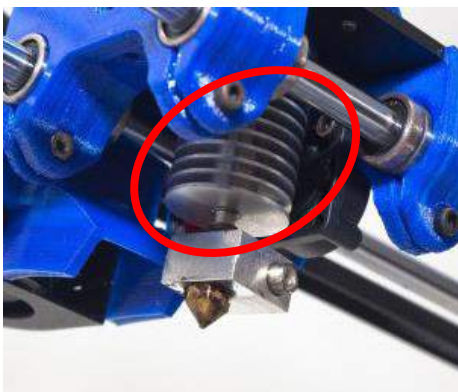
Un cop desmuntat el suport, s'ha de descollar l'embocadura del suport amb la clau adequada.

El procés s'ha de fer amb les peces encara en calent, per tant s'haurà d'utilitzar protecció per no cremar-se.

Per tornar-la a muntar, repetir el procés a la inversa.

Desmuntar l'embocadura és un procés bastant delicat i s'ha de fer amb molta cura per evitar futurs problemes. És recomanable tenir l'ajuda d'algú que en sàpiga en el moment de fer-ho.

POSSIBLES PROBLEMES DERIVATS DEL TAPONAMENT DE L'EMBOCADURA



El taponament de l'embocadura pot provocar que es taponi la part superior de l'extrusor (marcada en vermell a la imatge). Amb aquesta peça s'ha d'anar molt en compte perquè té un preu de 70,18€ i és molt delicada.

Si s'ha taponat, s'ha de repetir el procés per desmuntar l'extrusor; després, desenganxar el motor de la part superior (3 cargols amb clau Allen) i desenganxar la part superior de l'extrusor que s'aguanta per la part que queda sota el motor amb 3 cargols de clau Allen més.

Un cop desmuntat, s'escalfa amb un bufador o un bec *bunsen* i s'hi fa passar algun instrument de la mida del forat per dins per tal de netejar-lo.

Un cop net, es repeteix el procés a la inversa per tornar-lo a muntar.

També es un procés molt delicat; per tant s'aconsella tenir l'ajuda d'algú que domini com fer-ho.

5.5 PECES MAL COLLADES

S'ha de vigilar molt que totes les peces estiguin ben collades, sobretot les que serveixen per aguantar l'embocadura. Si alguna d'aquestes peces està mal col·locada el plàstic pot acabar sortint per la part de dalt i llavors s'haurà de desmuntar tot, netejar-ho i collar-ho correctament.

5.6 BOLETES A L'HORA D'IMPRIMIR

Si s'observa que la impressora no imprimeix correctament i en comptes d'un fil continu el que surten són boletes caldrà fixar-se en l'engranatge petit del motor. Si aquest engranatge no gira i patina damunt l'eix o bé deixa de girar per estones el filament no pot anar baixant i això és el causant d'aquestes boletes.

Per solucionar-ho caldrà desmuntar la part que conté el motor i l'eix, i assegurar-se que el cargol que pressiona l'engranatge petit no s'hagi afluixat i estigui col·locat damunt la cara llimada de l'eix.

Si un cop fet tot això la impressora segueix sense anar bé llavors s'haurà de controlar la temperatura del motor. És possible que el motor tingui més potència de la que realment necessita i pateixi un sobreescalfament. Per canviar la seva potència s'haurà de desmuntar la placa de la part inferior de la impressora i cargolar o descargolar un cargolet petit que es troba allà. **Aquest pas s'ha de fer sempre amb la supervisió i l'ajuda d'una persona que hi tingui pràctica.**

Tota la informació, suport i contacte al web:

tdr2k15.wix.com/impresio3d

Sergi Bech | Marc Serra

Treball de Recerca de Batxillerat 2015

