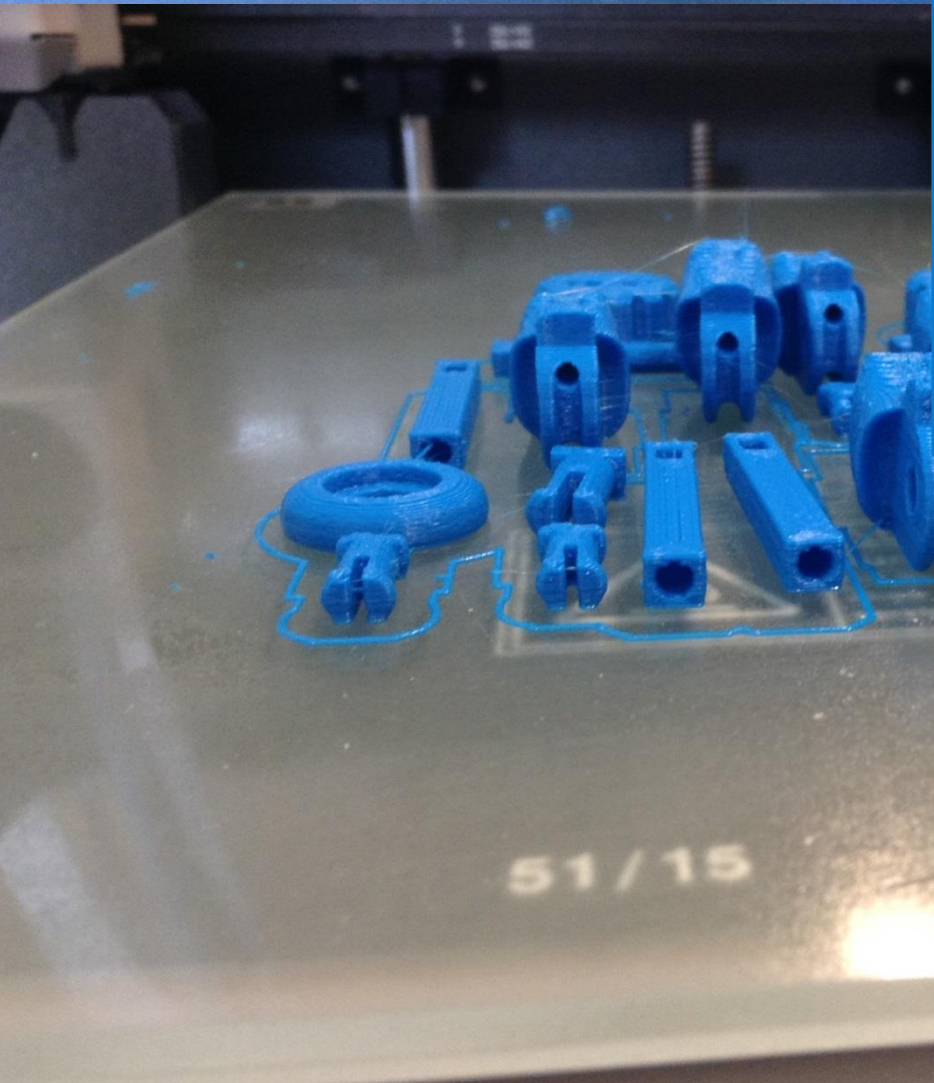


Imprimint una Pròtesi a Casa

Treball de Recerca



Autora:
Ibtissam Ghailan Tribak
Tutores: Ana Palacios i
Isabel Sobrino
Treball de Recerca
Curs: 2016-2017

*El verdadero progreso es el
que pone la tecnología al
alcance de todos.*

Henry Ford

ÍNDEX

1. AGRAÏMENTS.....	5
2. INTRODUCCIÓ.....	6
3. LA IMPRESSIÓ 3D.....	9
4. TIPUS D'IMPRESSORES 3D	9
4.1 IMPRESSORES D'ADDICIÓ (SEMI-PROFESSIONALS)	9
4.1.1 IMPRESSORES FDM.....	10
4.1.2 REPRAP I EL MÓN MAKER	11
4.2 IMPRESSORES DE COMPACTACIÓ (INDUSTRIAL).....	12
4.2.1 SLA: ESTEREOGRAFIA.....	12
4.2.2 SLS: SINTETITZAT PER LÀSER	13
5. MODELATGE (DISSENY) EN 3D.....	14
5.1 EL SOFTWARE DE DISSENY EN 3D.....	14
5.2 L'ESCÀNER	15
5.3 EL LAMINADOR	16
6. FUNCIONAMENT DE LES IMPRESSORES 3D	16
6.1 FUNCIONAMENT DE LES IMPRESSORES D'ADICIÓ.....	16
6.2 FUNCIONAMENT DE LES IMPRESSORES DE COMPACTACIÓ: SLA I SLS	17
7. CARACTERÍSTIQUES DE LES IMPRESSIONS	18
7.1 OBJECTES IMPRESOS A PARTIR D'IMPRESSORES D'ADDICIÓ.....	18
7.2 OBJECTES IMPRESOS A PARTIR D' IMPRESSORES DE COMPACTACIÓ	19
7.2.1 PROPIETATS DELS OBJECTES IMPRESOS PER SLA	19
7.2.2 PROPIETATS DELS OBJECTES IMPRESOS PER SLS	20
8. MATERIALS PER IMPRIMIR.....	20
8.1 PLÀSTIC COM A MATÈRIA PRIMERA	20

8.1.1	ABS (ACRILONITRAT BUTADIÈ ESTIRÈ)	21
8.1.2	PLA (POLIÀCID LÀCTIC)	21
8.1.3	POLIAMIDA	22
8.1.4	RESINES LÍQUIDES	22
8.2	METALLS	23
8.2.1	ALUMINI, ACER I TITANI	23
8.2.2	METALLS PRECIOSOS	24
8.3	CERÀMICA	25
8.4	MATERIALS ORGÀNICS	25
9.	<u>HISTÒRIA</u>	<u>26</u>
10.	<u>APLICACIONS DE LA IMPRESSIÓ 3D</u>	<u>27</u>
10.1	MEDICINA.....	27
10.2	JOGUINES I FIGURES.....	28
10.3	MODA: ROBA A MIDA	28
10.4	ART I JOIERIA.....	29
11.	<u>FABRICACIÓ TRADICIONAL VS IMPRESSIÓ 3D</u>	<u>29</u>
12.	<u>IMPRESSIÓ 3D EN UN FUTUR</u>	<u>31</u>
13.	<u>LA COMUNITAT E-NABLE I RAPTOR RELOADED</u>	<u>33</u>
14.	<u>ABANS DE COMENÇAR</u>	<u>33</u>
15.	<u>MATERIALS</u>	<u>33</u>
16.	<u>DISSENY DE LA PRÒTESIS</u>	<u>34</u>
16.1	CONVERTIR UNA MALLA EN UN OBJECTE FREECAD	34
16.2	MODIFICACIÓ DEL DISSENY DE LA RAPTOR	35
16.2.1	EL TEXT	35
16.2.2	EL DISSENY DE LES UNGLES	36
16.2.3	INSERIR TEXTOS I UNGLES	36
16.3	ARXIU FREECAD A FORMAT G-CODE	37

17. IMPRESSIÓ DE LA RAPTOR RELOADED	38
18. MUNTATGE.....	39
19. MECÀNICA.....	41
20. PRESSUPOST	41
21. PRÒTESIS TRADICIONALS VS RAPTOR HAND.....	42
22. CONCLUSIONS.....	43
23. ANNEXOS	45
24. BIBLIOGRAFIA I WEBGRAFIA.....	70

1. Agraïments

El meu treball no seria el mateix sense la ajuda de persones que m'han ensenyat, guiat i aconsellat durant tot el treball. Vull començar a donar les gràcies a dues dones excepcionals que són les que més han influenciat en el meu treball. Aquestes *superwomen* han sigut les meves dues tutores del treball de recerca, l'Ana i la Isabel. Primer de tot agrair-les la gran disponibilitat que van tenir envers a les reunions que vam fer durant l'elaboració del treball, perquè són dues persones amb molta feina. Tot i així, han tingut molta paciència amb mi, m'han recolzat i m'han aconsellat millor que ningú. També m'han obert un món de possibilitats que sense elles seria impossible, sobre tot l'entrada a una fira tecnològica que em va proporcionar Isabel gràcies a que forma part de l'empresa Cabania i a l'Ana per informar-me d'un curs a la Universitat Autònoma de Barcelona relacionat amb el tema del treball, entre altres coses. A més haig d'agrair moltíssim a la Fundació de Viladecans i més concretament a dues persones que hi formen part. El primer és en Joan que des d'un bon principi es va mostrar obert a ajudar-me a buscar una empresa que cotutoritzés el meu treball, finalment ho va aconseguir i em va trobar una cotutora tan amable com és la Isabel. A més agrair-li que posés a la meva disposició una de les impressores de la fundació per a que jo pogués desenvolupar la meva part pràctica. Durant la impressió va ser fonamental l'ajuda del Valentí, el segon membre de la fundació, que m'agradaria donar-li les gràcies per ajudar-me durant la impressió i que em va donar consells molt bons relacionats amb les impressions 3D. Després hi ha un gran nombre de persones que han posat el seu granet de sorra i que gràcies a ells el meu treball és com és i no és d'una altre manera. M'agradaria recalcar persones com el Xavi, que va ser el meu tutor de 1r de batxillerat, perquè va ser la persona que inconscientment em va donar la idea de fer el treball sobre la impressió 3D. També a la professora del curs de la UAB que en assabentar-se de que feia un treball de recerca va fer el possible per facilitar-me informació i va aconseguir que pogués visitar un departament de recerca de la universitat que utilitzen impressores 3D. Finalment, tot el personal relacionat amb la Isabel que ha estat present en alguna reunió i que també han participat d'alguna manera en aquest projecte.

Sóc una persona que li grada molt la ciència, però que no creu en les casualitats. Així que fent un anàlisi de tot el meu treball voldria donar les gràcies a Déu per obrir-me les portes al coneixement i agrair-li que totes les persones que s'han topat al meu camí durant l'elaboració del treball hagin sigut increïbles, amables i simpàtiques amb mi, i que absolutament totes m'han ajudat d'una manera o altra.

2. Introducció

Podem afirmar amb tota seguretat que les innovacions tecnològiques han sigut clau en el desenvolupament de tots els àmbits de les diferents branques del coneixement. Avui dia sectors aeronaútics, empresarials, industrials i automobilístics entre d'altres depenen constantment dels avanços de la tecnologia. La medicina no és una excepció. La constant investigació sobre malalties i la seva cura requereixen cada vegada més de màquines i instruments més desenvolupats. Una d'aquestes branques sanitàries està investigant la impressió en tecnologia 3D d'òrgans funcionals. És una nova investigació innovadora que es troba en fase de desenvolupament.

Sóc una persona que s'interessa pels fets desconeguts i la tecnologia innovadora, a més dels nous descobriments dintre de l'àmbit científicotecnològic. Així doncs, quan vaig escoltar parlar per primera vegada sobre aquesta nova investigació, vaig pensar que podria fer el treball sobre la impressió 3D de cèl·lules vives en medicina. Em va picar la curiositat i volia conèixer més sobre aquest tema, a més vaig tenir la sort de què el meu treball de recerca va ser seleccionat per ser cotutoritzat per una empresa que treballa amb tecnologia d'impressió 3D.

Abans del Treball de Recerca no coneixia el món de la impressió 3D, ni tan sols que existia. Els meus coneixements eren mínims, així que per acabar de concretar el tema del treball i la part pràctica vaig consultar a Isabel, representant de l'empresa Cabania. Cabania és una petita empresa familiar que es dedica a llençar al mercat productes tecnològics amb parts impreses amb tecnologia 3D. Els seus membres segueixen la filosofia *maker* que consisteix en fer aparells tecnològics i màquines un mateix per abaratir costos. La possibilitat de poder treballar amb una empresa va fer que aprofités al màxim totes les oportunitats que aquest fet implica, per aquest motiu vaig canviar la meua orientació inicial sobre el tema del meu treball. El meu treball va deixar de precisar-se en una rama molt específica de la impressió 3D com és la bioimpressió, a centrar-se en el món de la impressió 3D en general, però enfocant la part pràctica a la medicina. Em vaig plantejar si jo podria fer una pròtesi amb tecnologia 3D que fos funcional.

Amb aquest treball vull estudiar l'aplicació de la impressió 3D en medicina, concretament si aquesta nova tecnologia permet dissenyar i fabricar pròtesis mèdiques, funcionals i econòmiques que arribin a un nombre més gran d'usuaris. A partir d'aquí vaig dividir el treball en dues parts ben diferenciades. La primera part, que és teòrica, s'explica breument la impressió 3D i tot allò que l'envolta i la segona part, que és pràctica, on s'explica tot el procediment per fer una pròtesi d'una mà.

El primer contacte amb el món de la tecnologia 3D es va ser a la fira In(3D)ustry que va tenir lloc a Barcelona. Va ser una fira on es van reunir grans i petites empreses amb diferents intencions comercials i empresarials, però tot relacionat amb la impressió 3D. També hi va haver una zona *maker*. Jo hi vaig assistir gracies a Cabania que em va facilitar una entrada. Aquesta experiència ha sigut fonamental per començar a conèixer més sobre el tema escollit. Durant tot el treball Cabania em va ajudar, recolzar i guiar constantment.

La visita a la fira i la cerca d'informació a través de vídeos de *youtube*, documents i llibres va ser suficient per escriure la part teòrica, però per a l'elaboració de la part pràctica vaig necessitar més recursos. En aquesta part es descriu tot el procés digital, d'impressió i de muntatge de la pròtesi. La part digital va consistir en la modificació parcial del disseny de la Raptor Hand, el nom que rep per part del creadors de la pròtesi que vaig imprimir. Per aconseguir-ho vaig haver d'aprendre a utilitzar un software de disseny anomenat FreeCad. El meu aprenentatge va començar en un curs d'estiu a la Universitat de Barcelona que va durar 20 h durat una setmana i va ser complementada amb vídeos en *youtube* de Juan González. En Juan González, conegut com Obijuan, és un *maker* que li encanta tot allò relacionat amb el *software* lliure; com veurem més endavant FreeCad és un *software* d'aquest tipus. A la UAB vaig dissenyar i imprimir les meves primeres peces 3D en plàstic amb un tipus d'impressores. Durant el curs també vaig tenir l'oportunitat de visitar i entrevistar un departament d'investigació de la universitat que posseeix una impressora que utilitza una tecnologia diferent a la que estàvem fent servir en el curs.

La impressió de la pròtesis Raptor Hand es va dur a terme gràcies a la col·laboració de la Fundació Ciutat de Viladecans que em va facilitar la BCN 3D Sigma, una impressora 3D que es troba en una de les seves instal·lacions. La impressió va estar sota supervisió de Valentín, un dels membres que formen part de la Fundació Ciutat de Viladecans. Valentín em va donar molts consells útils sobre la impressió i em va ajudar en la recerca de materials per a la pròtesi. Amb les peces impreses i amb tot el material necessari, només quedava el muntatge que va ser possible gracies a vídeos d'internet. Totes les experiències que vaig viure durant la elaboració del treball em va permetre que fotografies tot allò que tingués relació amb el tema del treball. Totes les il·lustracions d'aquest treball són de font pròpia.

En aquest treball ens endinsarem en el món de la impressió 3D per adquirir nous coneixements i finalment posar-los en pràctica.

PART



TEÒRICA

3. La impressió 3D

La impressió en 3D és una nova tecnologia que permet crear un objecte físic a partir del disseny digital tridimensional de l'objecte que es vol imprimir. És una tècnica de fabricació additiva, és a dir, s'obtenen objectes tridimensionals mitjançant la superposició de capes.

El procés d'impressió, que ha estat impulsat per les tecnologies digitals i l'era de la informàtica, es duu a terme a través d'impressores 3D, màquines que són físicament molt variades entre elles amb grandàries i aspectes diferents..

4. Tipus d'impressores 3D

Existeixen diferents mètodes d'impressió que acaben produint l'aparició de diferents tipus d'impressores. Tot i així, totes tenen en comú que es basen en la superposició de capes successives.

Les impressores 3D es poden classificar seguint diferents criteris. Els criteris utilitzats en aquest apartat seran: la tecnologia d'impressió, la tècnica que utilitzen, el material per imprimir, la qualitat d'impressió, limitacions d'impressió i les característiques de les impressores. A grans trets i seguint aquests criteris podem dividir les impressores 3D en dos grans grups: impressores d'addició (semi-professionals) i impressores de compactació (industrials).

4.1 Impressores d'addició (semi-professionals)

Les impressores d'addició són impressores de sobre taula que es caracteritzen per disposar la matèria primera ja sigui ruixant-la, polvoritzant-la o transformant-la en estat líquid a través d'un extrusor. L'extrusor és el capçal de la impressora que es mou en els diferents eixos per disposar el material a la posició idònia. La peça va assolint consistència a mesura que la unió progressiva de la material vagi solidificant-se. Tota impressora d'addició es trobarà composta per tres parts principals i imprescindibles: un extrusor tèrmic amb un *hotend*, el *hotend* és la part final de l'extrusor on hi ha un forat d'on surt el filament fos; un llit o *bed* tèrmic, plataforma plana sobre la qual reposa l'objecte mentre es va imprimint; i la matèria primera, normalment es troba continguda en bobines. Tot això, es troba unificat en un marc o estructura sòlida. La part electrònica és controlada per una placa amb micro-controladors que faràn de directors d'orquestra. En el món *Maker* aquesta placa acostuma a ser de la gamma Arduino. També es necessita una altre placa electrònica per controlar la electrònica de potència (extrusor, sensor de temperatura i hotend) anomenada Ramps. La part mecànica la

formaran els motors necessaris per moure l'extrusor en els diferents eixos per tal d'imprimir els objectes.

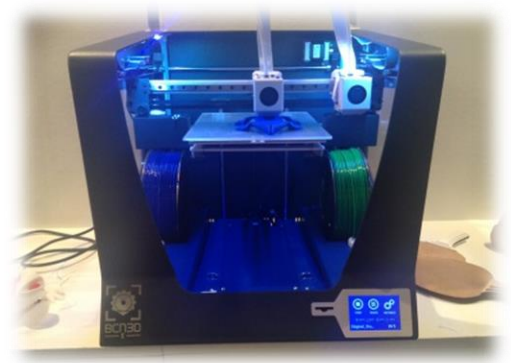
Han sigut impulsades per comunitats tecnològiques, com la *Maker* (explicada més endavant), i la nova generació digital que utilitzen eines de fabricació digitals d'entre elles la impressió 3D, a causa del baix cost i la facilitat de la seva instal·lació. A més, aquests dos motius són els principals responsables de que aquest tipus d'impressores són les que avui dia es vénen com a impressores 3D domèstiques o per a l'oficina. D'aquesta manera, molta gent interessada en el tema pot tenir la possibilitat de tindre una a casa. Tot i així, avui dia encara és una tendència emergent que requereix tenir certs coneixements tècnics i multidisciplinaris per a fer-ne un bon ús.

Les impressores d'addició són considerades revolucionàries perquè en un futur han de permetre que qualsevol individu pugui imprimir allò que vulgui només prenent un botó. Quan això succeeixi, es preveu que en el futur puguin assolir la mateixa popularitat que les impressores de paper.

En resum són impressores assequibles que van destinades a particulars o a petites empreses que vulguin fer les seves pròpies peces a casa o a l'oficina.

4.1.1 Impresores FDM

Les més conegudes de les impressores d'addició són les impressores FDM o *Fusion deposition Modeling*, que han guanyat popularitat gràcies a l'aparició de les impressores domèstiques. Aquest mètode utilitza normalment termoplàstics com l'ABS i el PLA, però també es poden utilitzar materials com la xocolata i cèl·lules si es canvia l'extrusor per una xeringa.



Il·lustració 1: La impressora BCN3D Sigma és una impressora de tipus FDM.. Es pot observar els rotllos d'ABS de color verd i blau a cada un dels costats de la impressora.

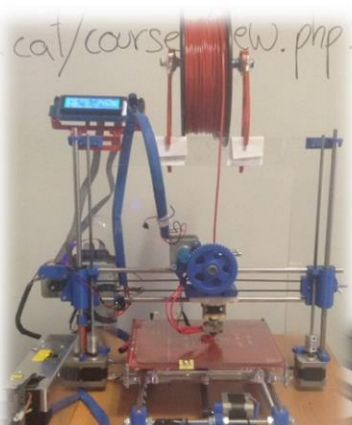
Quan el filament d'ABS o PLA sòlid, que inicialment es troba emmagatzemat en rotllos com s'observa en la il·lustració 1, travessa del

hotend, que es troba a la temperatura de fusió del material, el filament es fon i es disposa en un lloc concret d'acord amb el traçat que ve definit pel CAD, *Computer-Aided Design*, (explicació més endavant). El filament s'adhereix al *bed* tèrmic, que pot ser mòbil o fixa, depenent del model de la impressora i de la tècnica que s'utilitza. El *bed* assoleix una certa temperatura per ajudar a que durant la impressió la peça no s'hi desprengui. Superposant capa a capa acabarà formant una sola peça.

4.1.2 RepRap i el món Maker

El projecte RepRap representa el naixement de les impressores 3D personals. La RepRap és una impressora autoreplicable, és a dir, la major part de la seva estructura, concretament un 80% , es pot imprimir amb una impressora 3D, per l'altra part es necessiten perfils metàl·lics, cargols, electrònica... A més, ha permès la introducció del *Open-source* al món de les impressions 3D. Aquesta és la diferència que hi trobem entre les RepRap i les FDM. Una RepRap utilitza la mateixa tecnologia que una FDM, però una impressora FDM no és *Open-source*, per tant, no es troben els seus plànols per internet, en canvi, les RepRap si ho són, això vol dir, que els seus dissenys si es poden trobar a internet. Aquest fet afavoreix a que qualsevol persona pot baixar-se'ls, copiar-los i distribuir-los, donant la possibilitat de poder modificar els plànols al gust de cada persona. Gracies això evolucionen tant en la part mecànica i física. L'aspecte físic de les RepRap varia cada generació segons el gust del creador, de la mateixa manera també varia la part electrònica.

La fabricació d'una RepRap va dirigida a persones que hagin fet investigacions sobre els seus plànols. A més han de buscar totes les peces, ja sigui comprant-les en un kit, imprimint-les o buscar-les en associacions i comunitats de persones actives en aquest món, que regalen les



Il·lustració 2: Impressora RepRap fabricada per alumnes d'enginyeria de la UAB. Les peces blaves han estat impreses per la impressora.

peces. Per tant, el cost de fabricació és variable. Durant tot el procés del muntatge d'una RepRap afavoreix a que el constructor aconsegueixi informar-se i adquirir un coneixement ampli i detallat sobre la seva impressora, afavorint a que la màquina tingui un manteniment adequat. Tot aquest aspectes faran que la comunitat *Maker* s'interessin per les RepRap.

Podem veure un exemple d'impressora RepRap en la il·lustració 2.

El món *Maker* és una moda que va sorgir als anys 70 als EEUU. Engloba a totes les persones, anomenades avui dia *makers*, de

totes les edats que tinguin una gran inquietud, ganes d'aprendre, molta creativitat i amb un cert coneixement tecnològic que es dediquin a fabricar, inventar i innovar dintre del món de la

tecnologia. Fins i tot, n'hi ha empreses com Cabania, empresa que fa peces impreses en 3D a partir d'impressores que fan ells mateixos, que es guanya la vida amb això. La cultura *Maker* es basa en l'abaratiment de costos creant i fent les coses un mateix, i en el concepte del coneixement lliure i la seva distribució. Aquestes característiques es veuen ben definides en la filosofia *Maker* que es fonamenta en el DIY (Do it yourself) i en el DIWO (Do it with other).

Els *makers* utilitzen estris de tecnologia, com ara la impressió 3D, per crear i desenvolupar les seves idees. Aquests entren dins del món de la impressió additiva gracies a les impressores RepRap que són les que més s'ajusten a la seva filosofia.

4.2 Impressores de compactació (industrial)

Les impressores de compactació es basen en la fixació de la matèria en capes per crear els objectes. Ho aconsegueixen gràcies a un tipus de llum o calor que solidifica la matèria primera que es troba en estat de pols o líquid segons el tipus d'impressora.

Està dirigida cap a l'àmbit empresarial pel alt preu de les impressores i el gran volum que ocupen, i el cost elevat de la matèria primera, encara que avui dia també són utilitzades en altres àmbits com la salut i la biomedicina. Dintre del món de la indústria es pretén que aquestes impressores produeixin un gran canvi o, fins i tot, una revolució dintre de l'àmbit industrial. Amb unes expectatives molt ambicioses, la finalitat principal d'aquest tipus d'impressores dintre d'aquest món comercial és augmentar la competitivitat entre les empreses mitjançant la reducció del temps i costos. D'aquesta manera, s'aconseguirà ampliar les capacitats productives. La millora del rendiment afavorirà a la millora en el servei al client.

Hi ha diversos tipus d'impressores de compactació, però les més antigues i conegudes són les que fan servir el mètode d'estereolitografia o SLA (*stereolithograph apparatus*) i el mètode de sintetitzat per làser o SLS (*selective laser sintering*). La principal diferència entre aquests dos tipus d'impressions és el material i en l'estat físic en que es troba per imprimir, i la manera de solidificar la matèria primera.

4.2.1 SLA: Estereografia

El mètode SLA es fonamenta en el principi de foto-polimerització que consisteix en la solidificació del fotopolímer o resina líquida a través d'una llum ultraviolada. Els fotopolímers són materials sensibles als raigs ultraviolats que canvien les seves propietats físiques quan entren en contacte amb aquest tipus de llum, és a dir, el líquid fotosensible, que s'utilitza en la impressió 3D, s'endureix amb la llum. A mesura que la llum va traçant la forma de la peça en cada capa de líquid, s'anirà formant la figura. En la il·lustració 3 trobem una impressora SLA en procés d'impressió.

El mètode SLA és una de les tecnologies més perfeccionades del mercat i més cares, a conseqüència dels elevats preus dels materials i de la complexitat en sí que implica la fabricació d'una impressora 3D amb aquest tipus de tecnologia. Les impressores que utilitzen aquesta tecnologia estan constituïdes per una plataforma mòbil, que té una cubeta enfonsada

on hi caben una quantitat determinada de líquid que ve definida segons la capacitat de la impressora, i una llum ultraviolada.

Aquest procés d'impressió aporta certs avantatges per sobre de les impressores d'addició. Les més importants són la gran precisió i la qualitat en els detalls i acabats

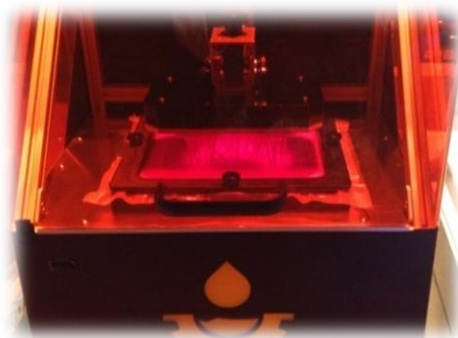
de les peces finals, tanmateix, els objectes impresos en SLA sempre necessiten un post-tractament un cop acabats d'imprimir. Cal afegir la no necessitat de cap supervisió particular, això permet deixar-la funcionant

tota la nit sense preocupar-se de res. Els altres mètodes, encara que també funcionen independentment, hi ha una petita probabilitat de que es produeixi algun imprevist. Ara bé, també té inconvenients, el més destacat és la seva gran lentitud, que varia segons la grandària de la peça a imprimir, aproximadament es troba al voltant de sis i dotze hores, encara que pot arribar a trigar dies si la peça és molt gran. S'hi ha d'afegir la presència obligatòria d'un sistema de ventilació que permeti escampa els vapors tòxics que es desprenen del fotopolímer en procés de solidificació. En el cas de les FDM la presència només serà necessària si s'imprimeix en PLA o amb algun plàstic semblant.

Les impressores SLA van encarades fonamentalment a les indústries de tipus aeronàutica, automobilística i militar, que posseeixen un gran capital i que siguin capaços de mantenir i invertir en una impressora tan cara. També estan orientades al món del prototipatge dins la indústria, doncs poden fabricar peces amb un grau de detall molt més gran que altres tipus d'impressores. També hi ha l'alternativa de "llogar-la" com a serveis d'impressió 3D a diferents àmbits que ho necessiten i no tinguin una impressora amb aquesta tecnologia. Les empreses imprimeixen en aquest mètode amb una finalitat de fer prototips i per presentar els models dels seus futurs productes.

4.2.2 SLS: Sintetitzat per làser

En les impressores de compactació que utilitzen la tecnologia SLS s'utilitza el mateix principi que en les impressores SLA, tots dos utilitzen un tipus de llum que produeix un canvi físic en la matèria primera fent possible poder imprimir allò que es desitgi. De fet, una impressora SLS esta constituïda per les mateixes parts que una impressora SLA, això és així perquè la diferència principal entre el mètode SLS i SLA es troba en l'estat inicial de la matèria primera, en les impressores SLS es trobarà en esta sòlid (pols) mentre que en les impressores



Il·lustració 3: Impressora imprimint amb el mètode SLA. S'observa en la cama el fotopolímer líquid i com va sortint la peça solidificada.

SLA es trobarà en estat líquid. Quan la pols sigui impactada amb un làser es fondrà i posteriorment es solidificarà.

El fet de que la matèria primera es trobi en estat sòlid a l'inici proporciona certs avantatges al mètode SLS sobre el SLA. La principal i més important és la de permetre'ns utilitzar una varietat més àmplia de materials que en l'altre mètode no serien adients. N'hi ha d'altres com



Il·lustració 4: ZPrinter 450 és una impressora SLS que imprimeix en pols ceràmic.

la de poder reutilitzar la pols sobrant de la impressió, en contraposició del líquid fotosensible. També és important el fet de que la pols sobrant, que és aquella que envolta les peces impreses, fa de suport a l'objecte quan es troba en procés d'impressió, fet que produeix que durant la impressió tinguin menys possibilitats de trencar-se o de patir algun tipus de defecte. Com a exemple d'impressora d'aquest tipus trobem la ZPrinter 450 fotografiada en la il·lustració 4.

5. Modelatge (disseny) en 3D

La importància i la revolució de la impressió en 3D no es troba només en les impressores i els processos de fabricació, també s'ha de tenir en compte els softwares necessaris per a dissenyar l'objectes que es vol imprimir.

Tota impressora 3D necessita un arxiu digital en format STL procedent d'un ordinador d'allò que ha d'imprimir. Per aquest motiu, es freqüent escoltar dir que tota impressió comença dintre del món digital format per *pixels* i *bits*, i acaba transformant el conjunt de *pixels* en matèria formada per àtoms.

El model digital en 3D el podem modelar amb programes de disseny, descarregar-los en biblioteques digitals gratuïtes o escanejar la peça que es vol imprimir

5.1 El software de disseny en 3D

Dintre del món digital trobem persones que dissenyen i que pengen les seves creacions en biblioteques digitals (*Thingiverse* és un exemple de biblioteca digital). Posar els dissenys a disposició de la comunitat permet que qualsevol persona els pugui descarregar i modificar al seu gust amb un software de disseny fàcil d'utilitzar, per a que posteriorment imprimeixi la peça. D'aquesta manera, entre tots els usuaris s'aconsegueix evolucionar dintre del modelatge en 3D.

El model d'allò que es vol imprimir es dissenya amb un software de disseny. Avui dia els softwares de disseny es podem dividir en dos grups: modelatge de sòlid i modelatge de superfícies.

- Software de modelatge de sòlid: Aquest tipus de softwares ofereixen als usuaris una biblioteca de cubs, cilindres, esferes i altres formes geomètriques que se'ls permet fer modificacions i combinar-les entre elles, fins a aconseguir disseny únics. Aquest tipus de software està pensat per poder agilitzar el procés de disseny. Generalment és utilitzat per enginyers i dissenyadors industrial perquè els dissenys són paramètrics, tècnics i d'aspecte industrial. Exemples d'aquest tipus de software són el *FreeCad* i *OpenSCAD*.
- Software de modelatge de superfícies: Tenen un origen dintre del món dels dibuixos animats i, posteriorment; es van introduir en el món dels jocs i dissenys gràfics. De fet són dissenys artístics que es centren en les textures, en la física i en els moviments. La precisió en les mesures i les figures geomètriques queden en un segon pla. *Blender* és un software de modelatge de superfícies.

5.2 L'escàner

En un intermedi entre les formes del software de modelatge de sòlids i els detalls menys geomètrics que posseeixen els objectes digitals en el software de modelatge de superfícies, es troben les dades que s'obtenen amb l'escaneig d'objectes. L'escàner captura les dimensions físiques i la forma del món físic que posteriorment transformarà en un format digital mitjançant un conjunt de coordenades tridimensionals. Es podria considerar com el procés invers a la impressió 3D.

El procés d'escaneig consisteix en col·locar un objecte en front de l'escàner, per tal de que l'escàner faci una captura a una de les cares de l'objecte. Un cop realitzat, és necessari girar l'objecte uns quants graus per a que l'escàner pugui realitzar noves fotografies. Aquest procés es repeteix fins haver aconseguit imatges de la figura en 360°. Un cop escanejada tota la figura passem a tenir la figura a l'ordinador on es podran duu a terme diferents accions de modificacions i estudis. Avui dia ja s'ha aconseguit



Il·lustració 5: La figura de buda escanejada amb l'escàner de l'esquerra de la fotografia i impresa posteriorment.

imprimir objectes que han sigut escanejats anteriorment com podem veure en la il·lustració 5 on s'ha replicat un cap de buda.

5.3 El laminador

Quan ja tinguem l'objecte dissenyat o escanejat l'hem d'exportar en format STL que és el que un determinat tipus de software, que s'anomenen laminadors, podran llegir i obrir sense cap mena de problema. Els laminadors ens permeten convertir l'arxiu STL a format G-Code. El G-Code és el format que conté les ordres que permetran a la impressora posicionar el capçal en el lloc correcta i de forma molt precisa a sobre del *bed*, per tal d'imprimir correctament la peça. Un laminador fàcil d'utilitzar i que és software *open source*, de la mateixa manera que Blender i FreeCad, és el Cura. Un software *open source* és tot aquell software que permet a qualsevol usuari amb certs coneixements d'executar, copiar, distribuir, estudiar, modificar i millorar el programari.

- Laminador Cura: Quan s'exporta un arxiu STL al Cura, automàticament es lamina la peça, un pas imprescindible per a que posteriorment la peça es pugui imprimir. Es poden fer altres operacions que també seran importants per la impressió, com ara ajustar paràmetres com la densitat o el gruix de les capes. L'interior de les peces impreses no necessàriament han de ser farcides per dintre com se'ns mostra a la il·lustració 6.



Il·lustració 6: Interior del pokémon Bulbasaur sense acabar d'imprimir.

El temps d'impressió, que es veurà indicat en el mateix programa, es veurà modificada pels canvis realitzats als paràmetres d'impressió. Un cop finalitzades les modificacions s'ha d'exportar el fitxer en el format G-Code.

L'últim pas consistirà en guardar els arxius G-Codes en una targeta SD, per a posteriorment introduir-la en la impressora.

6. Funcionament de les impressores 3D

El funcionament de les impressores en 3D varia segons el tipus de impressores. En aquest apartat explicaré el funcionament de les impressores d'addició i compactació explicades en el punt 3.

6.1 Funcionament de les impressores d'adició

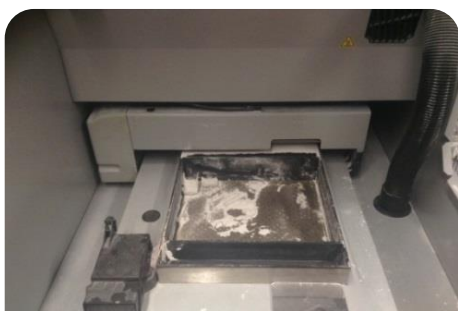
Primer de tot s'haurà de seleccionar el fitxer de la targeta SD que es vol imprimir. Abans de començar definitivament amb la impressió hem d'introduir en l'extrusor un filament de plàstic, normalment d'ABS o PLA, en estat sòlid. Després, el *hotend* s'escalfarà fins al punt de fusió del plàstic que hem introduït. Un cop fos el plàstic començarà el procés d'impressió. El capçal de la impressora es mourà per la guia de cavallet, que compon els rails horitzontals i

verticals, i guiarà l'extrusor fins al punt adient, on començarà a imprimir el contorn de la forma de l'objecte a imprimir. Posteriorment, el capçal es mourà endavant i enrere fins omplir el contorn.

D'aquesta forma es dipositarà la matèria primera fins a crear la primera capa. Aquesta serà la base de l'objecte. Quan hagi finalitzat la impressió de la capa inicial, el capçal s'eleva lleugerament i es prepara per a la impressió de la següent capa. El procés de dipositar d'acord a les indicacions de l'arxiu de disseny, refredar i solidificar el plàstic es repetirà constantment fins a l'obtenció de l'objecte desitjat.

6.2 Funcionament de les Impressores de compactació: SLA i SLS

Quan ja tinguem el pas inicial fet (explicat anteriorment), introduïm en una cubeta el fotopolímer dintre de la impressora, depenent si es tracta d'impressió SLS o SLA, el fotopolímer es trobarà en estat pols o líquid respectivament. Un cop introduït començarà la impressió. Podem observar la cubeta de la impressora ZPrinter en la il·lustració 7.



Il·lustració 7: La cubeta de la impressora ZPrinter 450. Quan imprimeix el llit s'omple de resina en pols. Es pot observar restes de resina.

La impressió s'iniciarà quan un raig de llum ultraviolada comenci a traçar el contorn i la superfície en funció del model 3D sobre una plataforma horitzontal. Quan es tracti de l'estereolitografia, a mesura que va traçant la forma, el polímer líquid es solidificarà, mentre que en el sintetitzat per làser quan el làser impacti en la pols produirà que el material es fongui i posteriorment se solidifiqui.

Una vegada que la capa de matèria s'hagi solidificat i hagi acabat la primera capa, la base mòbil que conté la part impresa baixa una fracció mil·limètrica segons el gruix de capa que es desitgi. Tot seguit la impressora farà moure un corró de tal manera que afegirà una nova capa del polímer, aconseguint que la peça quedi submergida sota una nova capa. En el cas de l'estereolitografia hi ha impressores que funcionen a l'inrevés i en comptes de baixar puguen.

Quan això succeeix, el làser torna a exercir la seva funció, dibuixant sobre la nova capa la forma del model 3D. Posteriorment torna a baixar la base deixant per sota les capes impreses, tot seguit del braç mecànic d'impressió deixarà una altra capa del fotopolímer per sobre de la impressió. Aquest cicle es repeteix una i altra vegada fins imprimir poc a poc l'objecte amb la forma desitjada.



Il·lustració 8: Zona de post-tractament de la impressora ZPrinter 450 per tal de netejar la pols restant de les peces acabades de imprimir.

En la impressió mitjançant mètodes de compactació es necessari un post-tractament. En la impressió SLA aquest consisteix en introduir la peça extreta de la impressora en un forn de rajos per a que finalment es solidifiqui del tot i augmenti la seva resistència. En les impressions SLS el post-tractament depèn de la mida i el gruix de les capes. En el cas de peces grans, és probable que calgui deixar-les refredar durant un dia. Per últim, en tots dos casos, es neteja la peça de les restes de matèria primera que puguin contenir. La il·lustració 8 mostra una petita zona de post-tractament de la impressora ZPrinter.

7. Característiques de les impressions

Les qualitats i característiques de les peces impreses en 3D venen definides pel material en què estan impresos, el disseny tridimensional, i en part per la tecnologia d'impressió en el que s'ha imprès, és a dir, un mateix objecte imprès en una impressora d'addició com ara les FDM no serà igual a si hagués estat imprès mitjançant SLS, com es mostra en la il·lustració 9.



Il·lustració 9: Tenim un vaixell imprès en diferents mètodes. A la dreta trobem el vaixell imprès per una impressora FDM mentre que a l'esquerra per el mètode SLS.

En aquest apartat explicaré breument les característiques que tindrà un objecte final imprès en cadascun dels tipus d'impressió explicats anteriorment (Impressores d'addició, SLA i SLS)

7.1 Objectes impresos a partir d'impressores d'addició



Il·lustració 10: La carcassa de la Guitarra impresa en 3D

La qualitat d'impressió de les peces impreses a partir de d'impressores d'addició, tant en FDM com en RepRap, es veuen molt influenciades per la impressora 3D i pel material en que s'imprimeixen. Quan més perfeccionada estigui la impressora, la definició de les capes serà major i podrà utilitzar un major nombre de materials diferents. Tot i que poden arribar assolir una precisió alta, sobretot les FDM, en el gruix i la definició durant la impressió, que són idonis per una impressora d'ús domèstic, no arriben a ser tan bons qualitativament com les impressores de compactació. Normalment les RepRap solen ser encara menys precises que les FDM.

Les avantatges que presenten les impressores d'addició es troben en la seva facilitat de manipulació, rapidesa, la utilització de materials que són econòmics, fàcils de trobar i de

diversos colors, i la possibilitat d'imprimir amb tot allò que es pugui fer passar per un *hotend*, com cèl·lules i menjar, que no serien compatibles amb els altres tipus de impressores. Les peces són funcionals dintre dels seus límits, és a dir, les peces de plàstic faran la seva funció bé quan s'imprimeix objectes com carcasses dels mòbils o d'altres objectes com el de la guitarra que trobem en la il·lustració 10, o una figura de col·leccionista o objectes de decoració entre d'altres.

7.2 Objectes impresos a partir d' impressores de compactació

Les impressions obtingudes a partir d'impressores de compactació, són objectes de gran qualitat, perquè les capes són molt fines (avui dia la SLA poden arribar a gruix de 10 micròmetres). El fet d'utilitzar làser afavoreix que una geometria complexa es pugui imprimir amb una gran precisió i de manera molt ràpida. Es poden perfilar formes amb una resolució superior a les impressores d'addició, raó per la qual la qualitat de la impressió en FDM i RepRap és inferior a les impressores làser.

7.2.1 Propietats dels objectes impresos per SLA

Les peces que s'obtenen mitjançant l'estereolitografia, normalment prototips, són peces de gran qualitat amb un marge de desviació i d'error d'un 0,005 mm respecte del disseny 3D. La deformació pot augmentar lleugerament en el procés de post-tractament que es duu a terme en un forn per proporcionar-li una solidificació permanent. Les peces es poden imprimir de forma relativament ràpida en comparació en la fabricació tradicional.

Com a particularitat especial són les grans dimensions que poden assolir, s'ha aconseguit imprimir objectes amb un diàmetre superior a 2 m. A més, són molt precisos tant en les mesures com en els detalls i acabats en qualsevol mesura, independentment de la complexitat de la geometria que tingui. Les limitacions es troben en la no disponibilitat d'una gamma de



Il·lustració 11: Disseny d'una base d'investigació transparent impresa pel mètode SLA

materials molt diversos i la impossibilitat d'imprimir en color. Normalment les peces solen ser transparents com a la il·lustració 11 i fràgils. Aquest inconvenient és el motiu principal pel qual s'utilitzen majoritàriament per prototips i no per la impressió de productes per al mercat. En un futur es preveu que podran fabricar una gamma més amplia d'objectes amb propietats materials

especialitzades a mesura que la qualitat i la varietat dels fotopolímers vagin augmentant.

7.2.2 Propietats dels objectes impresos per SLS

A través del mètode SLS es poden imprimir objectes en diferents colors, això es degut a que la resina polvoritzada pot tenir més d'un color sense que afecti a la impressió, a diferència dels mètodes SLA i FDM. No es pot utilitzar, però, diferents tipus de resina en una mateixa impressió. La superfície dels objectes no sol ser llisa sinó porosa, encara que això no els impedeix fer la seva funció. Els objectes són ideals per proves de funcionalitat, proves mecàniques, aerodinàmiques, etc. A més a més permet diversos acabats de pintura i metal·litzat. Totes aquestes característiques es poden veure a l'objecte de la il·lustració 12.



Il·lustració 12: Peça impresa en una sola impressió pel mètode SLS. Les peces petites de colors tenen una certa mobilitat.

8. Materials per imprimir

La matèria primera és un component important que definirà la funció, característica i propietats de les peces impreses. Diferents materials d'impressió impliquen que característiques com l'estructura, definició, propietats tèrmiques, aparença visual, durabilitat... d'un mateix objecte imprès amb diferents tipus de material siguin diferents. De fet, cada tipus de tecnologia d'impressió ve limitat per una gamma de materials imprimibles. Avui dia trobem 13 tecnologies molt diferents que compten amb un ampli ventall de materials disponibles

Els materials més utilitzats en el món de la impressió en 3D són els plàstics i els metalls. Tot i així, trobem altres matèries com la ceràmica i materials orgànics que van assolint cada vegada més importància dintre d'un àmbit específic.

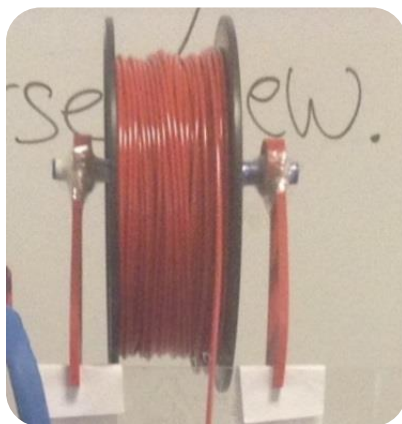
8.1 Plàstic com a matèria primera

El plàstic és el material més utilitzat i popular dintre del món d'impressió 3D, tant que ha estat clau durant tota la història d'aquesta tecnologia. Té un preu econòmic comparat amb les altres matèries.

Els plàstics els podem dividir en dos grans grups: els termoplàstics i els polímers termoestables. Els termoplàstics són aquells que canvien el seu estat de matèria sense que es vegi modificada la seva composició interna, aquest fet ens permet reutilitzar-los una vegada i una altra. Són utilitzats per les impressores SLS i pel mètode FDM, on és imprescindible que els termoplàstics siguin dúctils i mal·leables. A diferència trobem els polímers termoestables

que es solidifiquen amb la calor, i un cop solidificats no es pot reinvertir el procés. Les impressores SLA utilitzen polímers termostables sensibles a la llum ultraviolada.

8.1.1 ABS (Acrilonitrat butadiè estirè)



Il·lustració 13. Bobina d'ABS de color vermell.

L'ABS, material que s'utilitza per fer les peces de LEGO, és el termoplàstic més popular i utilitzat per les impressores domèstiques. Aquest tipus de plàstic es caracteritza per tenir un punt de fusió alt, al voltant d'uns 240°C. Els objectes impresos amb aquest material poden suportar unes temperatures màximes d'uns 80° i mínimes de -20°. També es caracteritza per ser un plàstic tenaç, dur, rígid i econòmic. El filament d'ABS per imprimir es compra en bobines com la de la il·lustració 13 per un preu de 18€/Kg. Generalment els fils ABS que s'utilitzen en la impressió 3D tenen un diàmetre de 3mm o de 1,5mm, aquest últim cada

cop guanya més terreny.

La impressió requereix de la presència d'un *bed* tèrmic incorporat a la impressora que permeti assolir, abans de començar, una temperatura aproximada de 70°C i mantenir-la constant durant tot el procés. D'aquesta manera ens assegurem que el filament extruït s'adhereixi al llit i no es desprengui un cop refredat o a mesura que la impressió vagi avançant. Molt sovint és necessària l'aplicació de laca capil·lar en el *bed* per proporcionar una major adherència al filament.

Normalment s'utilitzen per fer peces de col·leccionistes i carcasses de telèfons d'entre altres. Són peces que tenen una aparença agradable a conseqüència de que la seva superfície es llisa i brillant. A més, té l'avantatge de que es pot pintar fàcilment amb aerògraf.

8.1.2 PLA (Poliàcid làctic)

El PLA és un material biodegradable que s'obté a partir de materials orgànics, concretament del midó de blat de moro. A simple vista no es pot distingir entre els filaments d'ABS i PLA com podem veure i comparar en les il·lustracions 13 i 14

Aquest tipus de plàstic difereix en aspectes importants amb l'ABS. El PLA té un punt de fusió molt baix i a partir d'uns 60°C comença a descompondre's. Es refreda i solidifica de



Il·lustració 14. Filaments de PLA de diversos colors.

manera molt ràpida i ens permet prescindir de la *bed* tèrmica. Aquest fet permet reduir el consum d'energia durant la seva impressió

El fet de ser un material biodegradable té els seus inconvenients. Els objectes es poden veure afectats i debilitats si es troben en una situació prolongada a l'aire lliure o en contacte amb l'aigua.

Les bobines de PLA tenen un preu similar al de les d'ABS i, de la mateixa manera que les bobines d'ABS, els filaments poden ser de diferents colors, fins i tot, transparents. Els retocs i acabats també són compatibles un cop l'objecte es tingui a les mans.

El PLA no és tòxic i s'utilitza majoritàriament en objectes que tenen contacte amb el aliments, sempre i quan sigui un polímer pur que s'hagi imprès a través d'un extrusor d'acer inoxidable.

8.1.3 Poliamida

La poliamida és un polímer termoplàstic d'alta resistència que s'obté a partir d'olis i derivats del petroli. S'utilitza molt en el mètode SLS en forma de pols, de fet es tracta d'un material imprescindible per aquest tipus d'impressió. Presenta certs avantatges sobre els plàstics de bobina explicats anteriorment. És un material amb una gran estabilitat dimensional i propietats mecàniques.

Les peces impreses amb aquest material són rígides, estables, resisteixen els cops i posseeixen una certa flexibilitat. Els objectes són biocompatibles, és a dir, poden estar en contacte amb aliments exceptuant l'alcohol. La superfície és molt més polida i no s'observa “ l'efecte escalar” que consisteix en la presència visual de les capes que formen la peça, tanmateix, té un tacte porós.

Gràcies tant al material com al mètode d'impressió, el resultat final d'un procés pot tenir detalls amb un nivell molt alt de precisió. Gràcies això es pot imprimir una gran varietat de peces amb aplicacions complexes, petites i funcionals, com exemple trobem els engranatges i mecanisme. Es pot ampliar la seva aplicació si es reforça amb fibra de vidre que permetrà augmentar la seva resistència fent-ho ideal per la impressió de prototips i peces que hagin de suportar una alta resistència tèrmica.

8.1.4 Resines líquides

La resina líquida és el material indispensables per a la impressió amb el mètode SLA. És considerada el tercer material amb més importància dintre de la impressió 3D, després dels plàstics (ABS i PLA) i la Poliamida.

Les peces obtingudes solidificant resina líquida tenen una geometria i un funcionament limitat, tot i així són de bona qualitat. A més a més, la seva superfície és polida i es poden

obtenir objectes brillants, blancs, negres o, fins i tot, transparents., tanmateix, hi ha la possibilitat de pintar les peces. Un cop tenim les peces impreses es poden fer diversos post-tractaments per modificar les característiques de la peça inicial.

8.2 Metalls

Els metalls són la segona família de materials més important després dels plàstics dintre del món de la impressió 3D. Són compatibles metalls com l'alumini, el titani, ferro, l'acer inoxidable,... i, fins i tot, metalls preciosos com l'or, la plata y el bronze.

La impressió en metall és una gran tendència avui dia. De fet, està adquirint tanta popularitat que està ocupant l'àmbit d'investigació de moltes indústries que avancen de manera molt ràpida. Avui dia, s'ha mostrat que la impressió d'objectes metàl·lics presenten propietats físiques molt interessants, dels quals es creu que afavoriran al desenvolupament de diferents àmbits industrials.

Per imprimir metalls, normalment s'utilitza el mètode SLS, on el metall es troba en forma de pols i es va solidificant a mesura que va passant el làser. Finalment la peça passa per un post-tractament.

La impressió 3D permet l'obtenció de qualsevol objecte però sense la despesa de material que es malgasta durant la fabricació tradicional, això implica una disminució important en el cost, temps i en el consum d'energia. Les peces pateixen una disminució en la seva densitat però al mateix temps són sòlides i fan la mateixa funció que les peces tradicionals.

També ha permès imprimir objectes en metalls pesats com ara acer, titani i tungstenita que amb la fabricació tradicional és molt difícil modelar.

8.2.1 Alumini, acer i titani

Alumini: L'alumini és un metall molt utilitzat avui dia, sobretot quan es troba formant aliatges amb el zinc i magnesi d'entre altres, per indústries que utilitzen la fabricació tradicional. Això es degut principalment per la relació que s'estableix entre la seva qualitat i el seu preu econòmic.

Dintre del món de la impressió 3D, és un metall utilitzat per varies empreses perquè permet l'obtenció de peces molt fines amb una geometria molt complexa. A més als aliatges d'alumini permeten proporciona a les peces un augment en la seva capacitats de suportar cargues pesades i fer-los més sòlids, amb l'avantatge de assolir una resistència tèrmica major i de ser més lleuger. Per totes aquestes característiques i, a conseqüència de que el mètode d'impressió 3D abarateix costos, l'alumini és un material òptim i molt desitjat en el sector aeroespacial i en el món dels motors de carreres.

Acer: L'acer és un metall amb una gran resistència, durabilitat i un preu assequibles. Aquest va ser el primer metall que va entrar dintre del món de la impressió 3D.

Dintre de la impressió 3D, un nombre important d'empresaris es van centralitzar en l'acer inoxidable o *inox*, perquè presenta propietats mecàniques que faciliten la seva impressió, sobretot la mal·leabilitat durant l'actuació del làser. Un altre tipus d'acer també utilitzat en la impressió 3D és l'acer d'utilatge, que de forma molt general s'utilitza bàsicament per imprimir motlles.

Titani: Aquest és un metall molt car en comparació amb l'alumini i l'acer. Es caracteritza per ser poc pesant, alta elasticitat, baixa densitat però molt sòlid i, sobretot, per la seva gran capacitat de resistència contra substàncies corrosives. Aquestes propietats el fan estar present en sectors com la medicina (veure il·lustració 15), cirurgia, aeroespacials, automobilístics, indústria química,...



Il·lustració 15. Mandíbula impresa en titani per la empresa Renishaw.

El major inconvenient que avui dia tenen les indústries que fabriquen peces amb titani és el complex i costós mètode de fabricació d'aquestes peces, a més si li afegeix la possibilitat de contaminació del titani durant la fase de soldadura. Tots aquests inconvenients fan que aquest tipus d'indústries s'interessin per la impressió 3D que permet treballar amb aquests metalls sense gaires limitacions i la possibilitat d'evitar les impureses en les peces finals de titani. Per tant, són peces de bona qualitat, tant a nivell de propietats mecàniques com del comportament durant la fase de producció.

8.2.2 Metalls preciosos

Metalls com la plata, l'or, el bronze o el platí també són compatibles amb la impressió 3D. Aquest tipus de metalls, a diferència dels anteriors que eren destinats per a l'àmbit industrial, la seva importància dintre del món de la impressió 3D va encarada cap el sector joier.

Podem trobar diferents mètodes de fabricació de joies. El primer, que és el mètode directe, consisteix en imprimir les joies en impressores SLS de la mateixa manera que en els altres metalls. S'utilitza aquesta tecnologia perquè aporta a les peces detalls molt precisos i ben definits, a més de ser l'únic mètode que permet tindre inicialment el metall en estat de pols. D'aquesta manera, s'aconsegueix estalviar tota l'energia que es necessitaria per passar d'estat sòlid a líquid. Com a segona opció trobem el mètode indirecte que consisteix en imprimir el motlle en un material resistent a temperatures elevades, normalment en cera, de la forma que vulguem la joia. Un cop imprès, aboquen el metall fos i els deixa refredar en un refrigerador.

Aquest últim mètode provoca certes dificultats durant el procés de fabricació, en tot cas es necessari tant en un procés com en l'altre un post-tractament que es basa en polir manualment la peça un cop finalitzada la seva fabricació. La gran innovació es troba en el primer mètode, ja que el segon és molt fidel a les bases de fabricació tradicional.

8.3 Ceràmica

La impressió 3D en ceràmica només són capaces de fer-la molt poques impressores per la dificultat i complexitat del procés que requereix tindre uns coneixements i estar familiaritzat profundament tant amb les característiques físiques i químiques del tipus de ceràmica que s'utilitzarà en el procés com de la tecnologia d'impressió que s'utilitza. Els objectes impresos en ceràmica per impressió 3D són objectes més resistents, menys porosos i precisos que els que es fabriquen avui dia per fabricació tradicional. La gran aplicació d'aquest tipus de peces són els implants d'ossos de ceràmica que es s'imprimeixen a partir d'un TAC fet al pacient.

8.4 Materials orgànics

Avui dia trobem la possibilitat d'imprimir amb diferents materials orgànics. La majoria d'aquests materials necessiten un mètode nou d'impressió o la modificació parcial d'un dels mètodes clàssics. Trobem materials com les ceres, fusta, aliments i teixits biològics.

Les ceres són materials que utilitzen un procés molt eficaç d'impressió anomenat impressió a cera on s'arriba a escalfar el material entre uns 60° a uns 90°. S'utilitzen per elaborar motlles per peses de metalls, joies o utensilis dentals.

La fusta com a material d'impressió va ser inventat per un inventor alemany anomenat Kai Parthy. La fusta es comercialitza en bobines de la mateixa manera que l'ABS i el PLA, i té una temperatura de fusió d'entre 185° a 230°.

Com a gran curiositat trobem la possibilitat d'imprimir amb aliments com el xocolata, humus i formatge entre altres. Utilitzen el mètode FDM però es imprescindible fer-li modificacions, un d'ells és canviar l'extrusor per una xeringa. Van destinats a àmbits educatius i de cara a la creacions comestibles, tot i que avui dia no es recomana consumir aliments impresos per possibles problemes higiènics alimentaris.

La gran innovació es troba en la possibilitat de que una impressora 3D sigui capaç d'imprimir teixits biològics, és a dir, que sigui capaç de reproduir teixits humans utilitzant com a matèria primera cèl·lules vives. La impressió consisteix en la deposició inicial d'un d'hidrogel que conté cèl·lules vives. Les cèl·lules creixerien i es reproduirien formant un teixit molt estable, tanmateix, apareixeria el problema de la insuficiència de nutrients a mesura que vagi creixent

el teixit., ja que el teixit d'una persona es nodreix a partir dels components que es troben a la sang.

9. Història

La impressió 3D, encara que sembli una innovació molt recent, no ho és. Fa moltes dècades que la impressió 3D imprimeix en tallers mecànics de les grans indústries amb la utilitat principal de fer prototips i utilitat ràpid. La impressió ha anat millorant a mesura que ha anat avançant el software de disseny, els materials, la capacitat de processament,...

Tot comença a l'any 1983 quan l'inventor Chuck Hull, estava treballant com a enginyer en un laboratori per tal de fer prototips. Arran d'això, va inventar el primer mètode de impressió 3D, l'estereolitografia. Anys després, Chuck Hull va fundar la empresa 3D Systems i al 1988 començà a comercialitzar les primeres impressores SLA.

Entre el 1988 i el 1990 es desenvolupen dos nous mètodes que avui dia tenen molta repercussió dintre del món de la impressió en 3D. Per una banda trobem S.Scott Crump que va inventar i desenvolupar la tècnica FDM, en el 1989 va fundar l'empresa Stratasys amb la qual va comercialitzar aquest tipus d'impressores. D'una altra banda i de manera independent, els investigadors Carl Deckard i Joseph Beaman van inventar el sintetitzat selectiu per làser (SLS) a la universitat de Texas. No es començarà a comercialitzar fins al començament del 2006.

Al començant del s XXI comença el creixement de la venda d'impressores per a usuaris particulars (ús domèstic, per a l'oficina, usos de col·leccionistes,..). Dintre d'aquest període Adrian Bowyer, influenciat per la iniciativa que sorgeix per tal de fabricar impressores que puguin imprimir els seus propis components per reduir els costos i estendre la impressió en 3D, va crear les impressores RepRap (Replicating Rapid Prototyper). Aquestes impressores es van fer virals per dues característiques. El primer motiu és que Adrian va decidir compartir gratuïtament els patrons de disseny de la impressora en Internet, mai va patentar el disseny i la tecnologia de la RepRap. La següent característica consisteix en que els usuaris que tinguin una impressora RepRap mai no hauran de comprar-se una de nova. A més a més, van implicar l'entrada del *Open-source*, software distribuït i desenvolupat lliurement. El projecte RepRap ha permès que la comunitat *maker* també entri dintre del món de la impressió en 3D.

A partir d'aquí la impressió 3D començarà a introduir-se en diferents àmbits com ara en la medicina, quan l'any 2008 es va imprimir una pròtesis de cama amb totes les parts que la componen. També en l'enginyeria industrial, quan els enginyers de la Universitat de Southampton van dissenyar, imprimir i fer volar el primer avió sense tripulant en només 7 dies i amb un pressupost de 7000 euros.

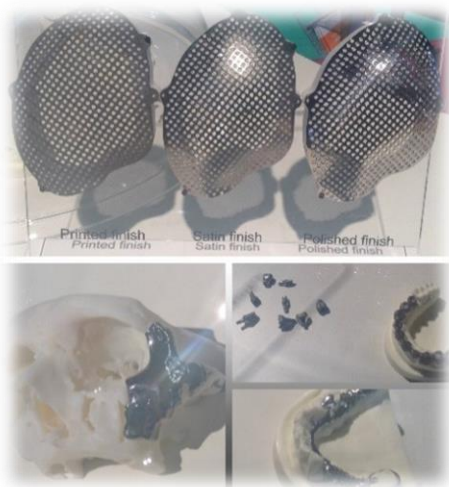
10. Aplicacions de la impressió 3D

La impressió 3D obre un ventall molt ampli de possibilitats mai abans imaginades que ha arribat a posar en qüestió el procés de fabricació que s'utilitza en la nostra època. A més és un procés amb un gran potencial.

En aquest apartat veurem algunes de les creacions més sorprenents que s'han aconseguit amb la impressió 3D.

10.1 Medicina

La impressió en 3D, dintre del món de la sanitat, té diferents graus de complexitat. En el grau inferior es troba la impressió de parts del cos a mida en



Il·lustració 16. Pròtesis de diferents parts del cos impreses en titani per Renishaw.

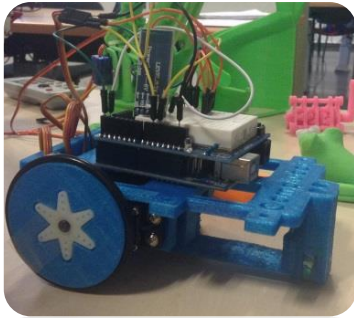
inferior es troba la impressió de parts del cos a mida en diferents materials compatibles amb els teixits orgànics. Dintre d'aquest grup trobem diferents tipus de pròtesis com les dents, aparells d'ortodòncia i audiòfons que avui dia trobem en milers de persones i que s'han imprès en impressores 3D. Imprimir aquest tipus de pròtesis es relativament senzill, només es necessita escanejar la part del cos en qüestió i extreure les dades necessàries. Un cop fet aquest pas s'envia cap un ordinador per tal d'ajustar el arxiu a un cert format i per últim enviar l'arxiu de disseny a la impressora per a que imprimeixi.

Articulacions artificials impreses en titani es troben disponibles com les que es imprimeixen l'empresa Renishaw. Exemples d'aquestes pròtesis es troben a la il·lustració 16. Avui dia també s'ha aconseguit imprimir articulacions en polímer que, gràcies a les seves propietats específiques, aporten noves possibilitats que no presenten les articulacions impreses en ceràmica o en titani. Per exemple, poder afegir additius de creixement bioactius i fàrmacs com ara antibiòtics o antiinflamatoris que ajudarien a una millora en la recuperació de l'usuari després de l'operació. Si pugem un graó més, trobem la impressió de teixits senzills com cartílag i ossos. La impressió d'aquest teixits es considera medicina experimental.

La gran innovació es troba en la bioimpressió que comprèn els graons superiors de la impressió 3D en medicina. La bioimpressió consisteix en imprimir teixit viu, funcional i heterogeni imprimint en "tinta viva". Es refereix a tinta viva quan es tracta d'un hidrogel que conté cèl·lules al seu interior i té la funció de cobrir i protegir les cèl·lules vives durant la sortida d'aquestes de la xeringa. Cal recordar que per imprimir menja o cèl·lules en impressores d'addicció es imprescindible canviar el *hotend* per una xeringa.

Els objectius de la bioimpressió són molt ambiciosos. Exposats amb ordre de menor a major complexitat trobem: la impressió de venes, pell, òrgans complexes i vitals (cor, cervell i pulmons) i per últim éssers vius.

10.2 Juguines i figures



Il·lustració 17: Robot imprès i millorat amb la incorporació d'un Arduino.

Les peces de plàstic com les juguines patiran una gran revolució. Els pares podran imprimir juguines segons el gust dels seus fills de manera econòmica i de la mida que desitgin (les limitacions dimensionals es veuran definides per la impressora). A més, les juguines impreses en 3D podran ser modificades un cop impreses per proporcionar alguna millora, com per exemple afegir un arduino per proporcionar mobilitat. Tenim un exemple a la il·lustració 17.

Les juguines podran ser dissenyades pels propis pares o, en el cas de que no en sàpiguen, podran escollir en una de les biblioteques digitals on altres persones hagin penjat l'arxiu del disseny de les seves juguines.

Els col·leccionistes es veuran beneficiats pel fet de que podran obtenir figures i juguines d'allò que col·leccionen de manera ràpida i gens costosa.

10.3 Moda: Roba a mida

Crear roba a partir de dissenys de moda propis de manera senzilla i en poc temps ha fet que el món de la moda i la indústria tèxtil s'hagin fixat en la impressió 3D. Qualsevol persona normal o aficionada a la moda podrà imprimir la seva pròpia vestimenta: samarretes, vestits, faldes, bikinis i, fins i tot, sabates, barrets i accessoris. Tot a mida i al gust personal de cadascun. Danit Peleg es una de les dissenyadores de roba i sabates que utilitza la impressora 3D per fer les seves creacions, algunes de les quals es poden veure en la il·lustració 18.



Il·lustració 18. Roba i sabates de tacó de la dissenyadora Danit Peleg impreses en 3D.

La roba es pot imprimir tant en materials naturals com sintètics. Existeixen impressores que imprimeixen en fil i llana. Encara que avui dia hi ha dissenyadors que aposten per nous materials, com els teixits de polímer, que aporten una gran flexibilitat i comoditat a l'hora de vestir-los.

És possible que les peces de roba o les sabates un cop impreses se les hagi de fer alguna millora per tal d'augmentar la seva comoditat.

10.4 Art i joieria

Els artistes sempre busquen trobar una nova forma d'expressió artística i experimentar amb noves estètiques, llenguatge i formes. Dintre del món de la impressió 3D han trobat un aliat que, a més de trobar allò que volen per al nou art, s'han trobat una tècnica per a desenvolupar projectes casi impossibles de fer amb les tècniques tradicionals. També ha aconseguit fer arribar l'art a un major nombre de persones i en un futur ens permetrà tenir a casa petites obres d'art.

La impressió d'escultures és única i fascinant. Alhora de dissenyar-les digitalment es treballa aspectes de les matemàtiques com la simetria, la geometria i l'equilibri. El resultat són obres d'arts de metall, ceràmica o argila impossibles de poder fer manualment.

El futur de les joies no va molt allunyat al de les obres d'art. En les joieries s'imprimiran joies sota demanda on el client haurà creat o decidit el disseny. El joier tindrà a la botiga or, plata, platí i aliatges de metalls en forma de pols i podrà imprimir la joia en la mateixa botiga.



Il·lustració 19: Joia metàl·lica impresa per mètode SLA amb dibuixos i lletres

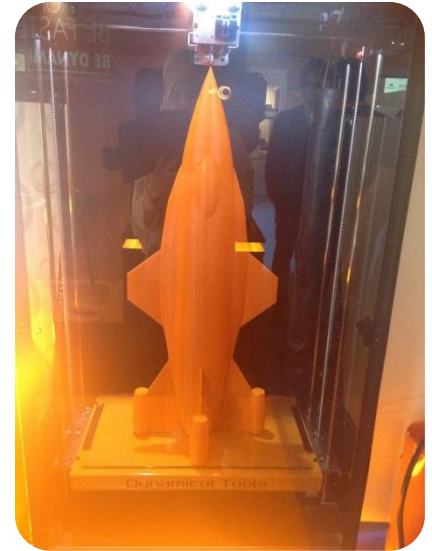
És ben segur que gràcies a les impressores 3D les joies patiran una baixada de preu. Aquest fet no afectarà a la qualitat ni tan sols a la complexitat en el disseny de la joia en qüestió, de fet l'estructura i les formes de les peces seran sorprenentment complicades i difícils, per no dir impossibles, de calcar amb el mètode tradicional. Es pot observar a la il·lustració 19 la precisió en els detalls de la peça.

11. Fabricació tradicional vs impressió 3D

Hi ha una gran diferència entre fer un objecte a través de la fabricació tradicional i la impressió 3D. La fabricació tradicional parteix d'un bloc de matèria sobre la qual es realitzen diferents operacions per treure capes fins aconseguir la peça que es desitja, a diferència de la impressió 3D, que crea els objectes mitjançant la superposició de capes des de zero.

La impressió en 3D ha permès i permetrà superar barreres que en la fabricació tradicional seria impossible evitar-les. La producció en massa per si és cara i a més està plegada de costos i retards ocults que són molt difícils de prevenir. Els costos augmenten a mesura que la complexitat i la dificultat de la forma de l'objecte a fabricar vagi augmentant. La impressió en 3D és econòmica i la varietat no presenta cap increment en el pressupost, ni tan sols imprimir sota demanda. Cal emfatitzar en el reduïment del temps per poder obtenir l'objecte a les nostres mans, això és gràcies a que les peces d'un objecte 3D no cal acoblar-les perquè estan interconnectades entre sí.

Aquests no són els únics avantatges que presenta aquesta nova tecnologia. Trobem innovació dintre de la capacitat de fer formes que abans no es podien fer i sense necessitat de ser un dissenyador o enginyer professional per tal de calibrar la màquina. També permet crear objectes tan grans com el *bed* sigui de gran, gràcies a aquest fet, la capacitat de fabricació és major que la de les màquines tradicionals. Les dimensions de l'objecte a imprimir venen limitades pel *bed*, no pas per la grandària de la impressora. Aquesta característica és fàcil d'entendre amb la il·lustració 20.



Il·lustració 20. Un coet imprès que és quasi igual d'alt que la impressora.

Els objectes impresos en 3D seran més fidels als dissenys digitals en 3D. Els objectes del món real es podran escanejar, editar i duplicar per tal de crear rèpliques exactes o per millorar l'original. No es descarta que en un futur les impressores 3D acabin convertint-se en impressores multimaterials per poder aconseguir peces impreses mesclant i fusionant matèries primeres diferents.

El fet de que un botiguer pugui imprimir la seva mercaderia en la mateixa botiga i no haver de comprar-la en els grans magatzems o utilitzar només la quantitat de matèria exacte per fer allò que vol imprimir, entre altres coses, reduirà els residus que en la fabricació tradicional seria impossible; ens permet catalogar la impressió 3D com un mètode ecològic per a crear objectes.

Encara que la impressió en 3D té molts avantatges sobre la fabricació tradicional, també té inconvenients. Poder imprimir qualsevol cosa a casa dificultarà a les autoritats el tenir un control de les persones que posseeixin un arma, ja que també es poden imprimir. Fins i tot, es podrà imprimir drogues de la mateixa manera que es pot imprimir menjar.

12. Impressió 3D en un futur

El futur de la impressió en 3D és prometedor. Ens permetrà imprimir qualsevol cosa i no tindrà cap mena de competència amb la fabricació tradicional, sempre i quan es tracti de fabricar quantitats petites. És evident que la impressió 3D presenta clars avantatges respecte a la fabricació 3D quan es tracta de fabricar poques unitats, en canvi, no ho és tan quan es tracta de produir quantitats industrials com les que es produeixen avui dia. El temps i el pressupost inicial per imprimir quantitats industrials amb impressores 3D serien molt més elevades que en la fabricació industrial. Per tant, en un futur les petites empreses i algunes de mitjanes podran utilitzar la impressió 3D com a tecnologia de fabricació, les grans empreses també l'utilitzaran però com a tècnica de prototipat o per usos específics.

La impressió 3D serà una eina perfecta per proporcionar una constant renovació i incrementar la llibertat potencial creativa de totes les persones que dissenyin i imprimeixin productes complexos, a més d'abaratir els costos. Les peces no es veuran afectades per les limitacions tradicionals i es pretén imprimir tant objectes passius (ex: les joguines dels col·leccionistes) com sistemes actius (ex: robots amb mobilitat) que puguin sentir, reaccionar processar i tenir un comportament determinat. Això no és tot, ja que es pretindrà passar de controlar el funcionament mecànic d'un objecte a controlar com funciona, com processa la informació i l'energia.

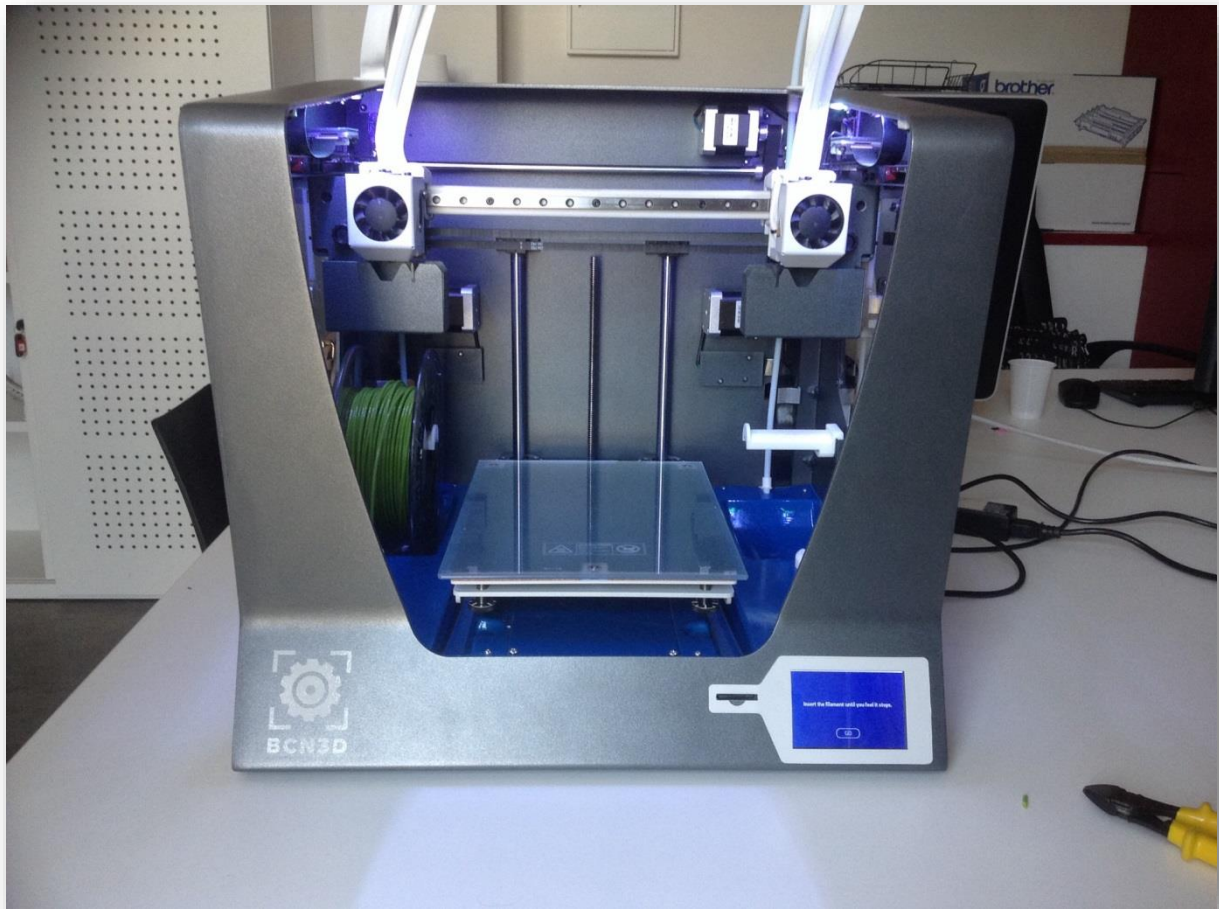
No cal dir que anirà creixent dintre de l'àmbit professional, tant en el món de l'enginyeria com en el de la medicina, de la cuina o fins i tot en el de l'aeronàutica on tindran un gran impacte quan es puguin enviar impressores 3D en els coets i així reduir els materials que ha de transportar. Potser es farà realitat el somni de poder colonitzar Mart amb l'ajuda de la impressió 3D.

Cada vegada estarem més familiaritzats i es faran més populars, però per a què això succeeixi, ha de convertir-se en un sector senzill, accessible i fàcil d'utilitzar. Per aconseguir-ho hauran de crear un *Killer-app* (aplicació assassina). Un *Killer-app* és la denominació que reben els productes o eines que creen nous mercats, nous models de negoci i que apropa els clients a la nova tecnologia.

A mesura que es vagin popularitzant els preus de les impressores tipus FDM cada vegada seran més econòmiques i es trobaran a les cases de totes les persones.

La impressió 3D serà una de les grans protagonistes en

PART



PRÀCTICA

13. La Comunitat e-Nable i Raptor Reloaded

La comunitat *e-Nable the future* és una entitat internacional que té el seu origen als Estats Units. Aquesta comunitat està formada per un grup de persones molt gran d'arreu del món amb diferents professions, que deixant de banda totes les seves creences religioses, idees polítiques i diferències culturals; participen en la creació i impressió de pròtesis de mans i braços, per a posteriorment donar-les de forma gratuïta a persones que necessiten una pròtesi. La possibilitat d'ajudar a persones que tinguin malformacions en les extremitats superiors, ja sigui per naixença com provocat per algun accident, ha fet que cada vegada hi ha més gent que s'incorpora, fet que produeix el creixement de la comunitat.

La Raptor Reloaded Hand és una pròtesi dissenyada per dissenyadors voluntaris de la comunitat *e-Nable*. Aquesta pròtesi és la versió millorada d'una anterior pròtesi anomenada Raptor Hand. Les dues pròtesis són per persones que tenen tot el braç excepte la mà o que tingui la palma poc desenvolupada, és a dir, una palma petita i desproporcionada en comparació amb la mida d'una palma estàndard de l'edat de la persona en qüestió. A vegades, fins i tot, poden tenir dits que també estan poc desenvolupats .

14. Abans de començar

A mesura que em vaig anar informant mitjançant vídeos, llibres i articles d'internet vaig saber que la meua part pràctica es constaria de dos parts ben definides: una primera part digital en la que s'engloba els softwares de disseny i els laminadors, i una segona part més física i material que consistirà en la impressió i el muntatge de la Raptor Reloaded.

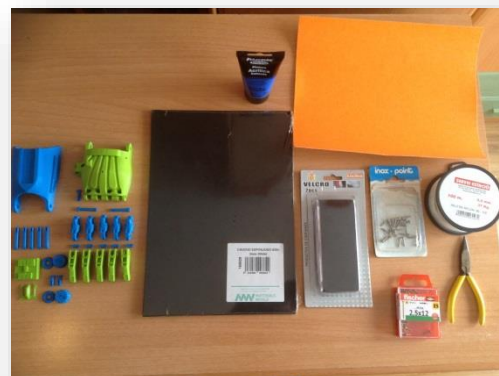
Abans de començar amb el disseny de la pròtesi havia d'aprendre a fer servir els softwares de disseny. El primer contacte que vaig tenir amb aquest tipus de programes va ser al curs de la Universitat Autònoma de Barcelona on vaig aprendre a dissenyar en FreeCad i en Blender de manera molt bàsica, posteriorment he hagut de ampliar pel meu compte, a més vaig modelar en 3D un disseny que posteriorment vaig imprimir, deixant-me programar la impressora per a la impressió. La impressora era una RepRap.

15. Materials

Els materials necessaris per fer una Raptor Reloaded són:

- ✓ Bobina de PLA (o ABS) de qualsevol color. En el meu cas blau i verd.
- ✓ Laca capil·lar
- ✓ Paper de vidre.
- ✓ Cautxú (o farciment d'espuma) adhesiu de 3mm de grossor.

- ✓ 5 fils de 20 cm de llarg de fil de pesca de nylon d'un grossor d'entre 1 - 0,9 mm (jo l'he substituït per un fil no-flexible blanc).
- ✓ 5 fils de 15 de llarg de corda elàstica de color blau d'un diàmetre d'1 mm.
- ✓ 5 Cargols de cabota plana 2,5 x 12
- ✓ 5 Cargols de cabota rodona 2,9 x13
- ✓ 2 tires de Velcro 5 x 30 cm
- ✓ Pintura blava acrílica



Eines que cal per imprimir i pel muntatge:

- ✓ Impressora 3D (Jo imprimiré amb la BCN3D Sigma)
- ✓ Alicates
- ✓ Tornavís
- ✓ Explorador dental o sonda
- ✓ Pines
- ✓ Espàtula
- ✓ Pinzell



Il·lustració 21: Dues fotografies en que hi apareixen alguns dels materials que he fet servir.

16. Disseny de la pròtesis

La Raptor Reloaded es compon per 26 peces imprimibles que vaig descarregar de la biblioteca digital *Thingiverse*, posteriorment les vaig personalitzar a través del FreeCad. Vaig escollir aquest software de disseny perquè hi ha molts tutorials a internet, on explica de manera clara i senzilla com s'ha d'utilitzar. A més vaig haver de veure molts vídeos sobre FreeCad per aprofundir en els meus coneixements dintre del modelatge 3D adquirits durant el curs de la UAB.

16.1 Convertir una malla en un objecte FreeCad

Primer de tot vaig descarregar totes les peces de la pròtesis de la mà esquerra de *Thingiverse*. Tots els arxius descarregats es trobaven en format STL, aquest és molt utilitzat en el món de la impressió 3D, però no és compatible amb el FreeCad, és a dir, no permet el treball amb aquells arxius, només visualitzar-los. Aquest fet em va obligar a convertir totes les peces en objectes de FreeCad. En finalitzar les modificacions corresponents al final de tot els vaig tornar a passar al format inicial. La descripció del software i del procés de conversió d'arxius es pot veure a l'Annex 1.

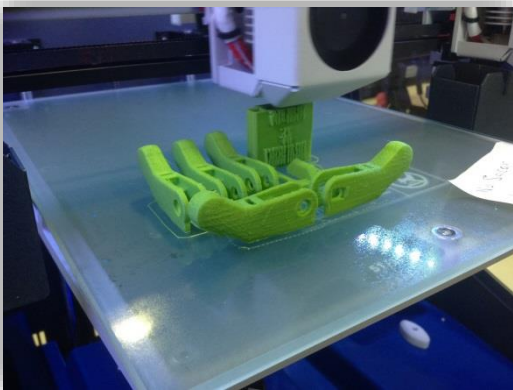
16.2 Modificació del disseny de la Raptor

Les dues grans modificacions que vaig fer a la meva Raptor Reloaded van consistir en afegir unghes als dits i text en certes zones on la superfície sigui plana. Les lletres van tindre el gruix necessari per a que la impressió es fes de forma correcta.

Com he dit anteriorment, vaig utilitzar el FreeCad que és un software que ens dóna la possibilitat de treballar amb diferents eines de treball que es troben repartides en diferents bancs de treball. Els bancs de treball són diferents seccions que ens permeten la creació de una gran varietat d'objectes diversos.

16.2.1 El text

Els textos els vaig inserir en dues peces: la *guantlet*, una de les peces més grans i que té la funció de fixar el braç amb la pròtesi; i el tensorador, peça que es situa sobre la *guantlet* i que té



Il·lustració 22: El tensorador a punt d'acabar-se d'imprimir . S'observa el text inserit.

la funció de tensar les cordes que permeten plegar els dits.

La inserció de text en el FreeCad és molt més complicada que no pas en el Blender, però com que les dues peces a modificar ja les havia importat a FreeCad, vaig continuar amb aquest software de disseny. Així que, per fer aquesta

modificació vaig recórrer a una aplicació externa, l'Inkscape, per després exportar-les al FreeCad.

Inkscape és una aplicació d'edició de gràfics *Open-source*, és a dir, una aplicació lliure, a més de multi plataforma.

Els textos que vaig escriure van ser: “*Treball Recerca*” i “*Ibtissam Ghailan Tribak*” que els vaig posar al *guantlet*, es pot veure a la il·lustració 23, i “*Treball Recerca 3DP: Raptor Hand*” que el vaig posar a al tensorador, es pot veure amb certa dificultat



Il·lustració 23: El *guantlet* acabat d'imprimir . S'observen els textos inserits.

a la il·lustració 22. Després de dissenyar el text al meu gust a l'Inkscape, els vaig exportar a una carpeta per emmagatzemar-los i posteriorment els

vaig importar en el FreeCad. La descripció de l'Inkscape i el procés de creació dels textos es troben explicats en l'Annex 2.

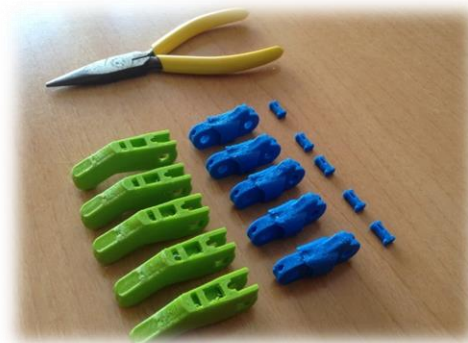
Un cop s'obrien al FreeCad, les lletres com A,R,D o P s'importaven com a dues figures, figura exterior i la figura interior. Les figures internes són els forats de dintre de les lletres, per exemple la lletra A estaria composta per una figura interna formada pel triangle que es troba en la part superior de la vocal i la figura externa, totes les línies que no formen el petit triangle. Per solucionar aquest problema vaig donar volum a totes les figures i, a continuació, vaig restar la part interna a la part externa. Les tècniques utilitzades en aquest procés està descrit a l'Annex 3.

Aquest procés es repeteix per a totes les lletres compostes per dues figures. Un cop vaig finalitzar, vaig decidir unificar totes les lletres per a que posteriorment em fos més fàcil la seva mobilització. La unificació es troba descrita de forma molt precisa en l'Annex 4.

16.2.2 El disseny de les ungles

Fins aquest moment sempre havia treballat dintre de la secció de part del banc de treball. Dissenyant i creant a partir d'objectes senzills mitjançant operacions *booleanes* que consisteixen en operacions de unificació, restar, intersecció... Però per dissenyar les ungles he treballat en la secció de *part design*. Aquesta secció permet dissenyar creacions més complexes a partir de dibuixos en un plànol de dos dimensions i posteriorment dotar-los de volum.

Les ungles, que es poden veure a la il·lustració 24, estan formades per tres línies rectes, dos horitzontals paral·leles entre sí i una vertical que les uneix, a més d'una semicircumferència que és oposada a la recta vertical. Per dibuixar les línies vaig situar dos punts per cada línia i després vaig dibuixar l'arc, que és més complex que no pas una recta. El procediment d'aquest disseny està descrit a l'Annex 5. Un cop tenia



Il·lustració 24: El dits impresos sense muntar. S'observen les ungles a les peces verdes.

les figures per dissenyar l'ungla vaig haver d'imposar restriccions als punts i línies per fer la forma bidimensional de l'ungla. La imposició de les restriccions es troben explicades a l'Annex 6. Un cop definida la forma ja tenia fet l'esbós. Només em faltava convertir-lo en un objecte 3D, per fer això vaig donar volum a l'esbós. Aquest procés es troba explicat a l'Annex 7.

16.2.3 Inserir textos i ungles

A mesura que anava fent els textos els vaig anar inserint a la peça de la pròtesi que em va semblar adient. Les ungles evidentment les vaig inserir al dit, però tan sols va ser en un,

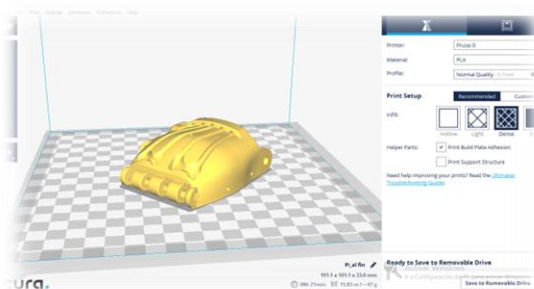
perquè la mesura de tots els dits és la mateixa i això em permet estalviar-me la repetició del mateix procés quatre vegades més.

Primer de tot per inserir un text o l'ungla a una peça de la pròtesi vaig obrir els arxius que feien falta en una mateixa finestra del FreeCad, sempre dintre de la secció *part* del banc de treball. Per unir dues peces és necessari que aquestes estiguin en contacte, així que vaig moure les peces per a que coincidissin. Les modificacions espacials es fan variant la seva posició en els eixos (x,y,z). Per a facilitar-me aquest procés vaig fer visibles el sistema de referència. El procés ve explicat l'Annex 8. Un cop visibles, vaig moure el text fins que el vaig superposar a la superfície de la peça en qüestió, tanmateix, seguien sent independents. Així que el pas següent va consistir en unir les dues peces en una sola. La unió es va produir gracies a l'operació *booleana* de la fusió. A l'Annex 9 hi apareix com es fa aquesta operació *booleana*.

16.3 Arxiu FreeCad a format G-Code

El format en que es guarden per defecte els dissenys modelats en FreeCad és en el format FCStd. Encara que FreeCad, com altres softwares de dissenys, ens donen la possibilitat d'exportar els arxius en altres formats, com per exemple en STL. Així doncs, acabada la personificació de les peces en FreeCad, les vaig exportar en format STL. És fonamental que estiguin en STL per a després poder obrir-los en el laminador Cura.

Vaig exportar els documents STL al Cura i el vaig separar en diferents *beds*, en total quatre. Procurant que el temps d'impressió no sigui massa extens. Un *bed* va ser exclusiu per la palma de la Raptor, com es pot observar en la fotografia 25. Un cop dividits, vaig canviar paràmetres d'impressió



Il·lustració 25: La palma de la Raptor dintre del laminador Cura i en mig de les modificacions dels paràmetres d'impressió

relacionats amb la densitat, l'activació del ventilador, el grossor de les capes i la paret externa. Les modificacions van ser igual per a tots els *beds*.

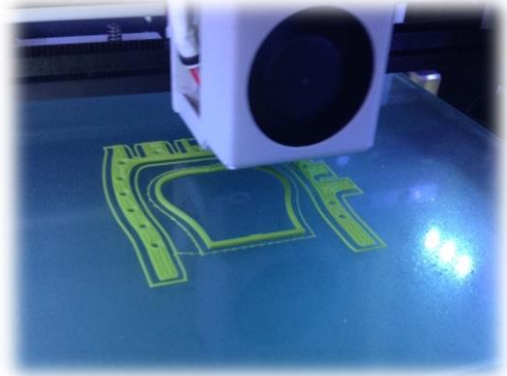
De la mateixa manera que cada software de disseny té el seu format particular, els laminadors també en tenen un de comú: el G-Code. De fet, la funció més important del Cura en la impressió 3D és la conversió de fitxers STL a G-Code, ja que les impressores 3D només es troben capacitades per interpretar fitxers en aquest format.

A mesura que canviava tots els paràmetres de cada *bed* anava guardant els arxius, que automàticament es convertien en G-Code. La modificació dels paràmetres es descriu a l'Annex 10. Els fitxers els vaig guardar en una targeta SD per a posteriorment introduir-la en la impressora.

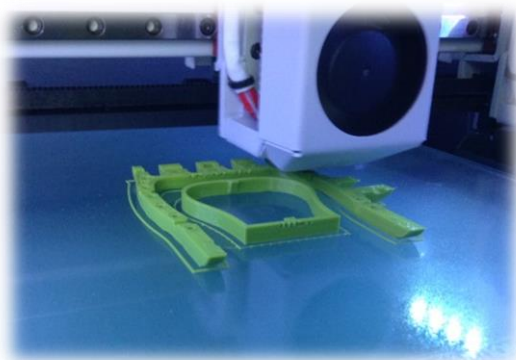
17. Impressió de la Raptor Reloaded

La Raptor Hand es va imprimir amb una BCN3D Sigma en una de les instal·lacions de la Fundació Ciutat de Viladecans. La impressió de les 26 peces es va fer en 4 tandes de les quals dos es van fer en PLA blau i les dos altres en PLA verd festuc. Les peces impreses en blau van ser la *gantlet*, les peces d'unió i els components inferiors dels dits. Totes les demés, la palma, el tensador i els components superiors dels dits es van imprimir en verd.

Sempre abans de començar amb una impressió vaig haver de comprovar que el *bed* estigui calibrat i, a continuació, ruixar-li per sobre laca capil·lar per assegurar-me l'adherència del filament de PLA. A més s'havia d'ajustar els paràmetres de la impressora com la temperatura del *hotend* i del *bed*. Aquests assolien les temperatures programades de forma



Il·lustració 26: La impressió de les primeres capes de la palma de la Raptor



Il·lustració 27: La palma de la Raptor comença a obtenir forma i volum

molt ràpida. Tot això s'havia de comprovar abans de començar amb la impressió, però un cop que començava era imprescindible assegurar-se de que la primera capa estigués ben impresa, si això succeïa no calia preocupar-se per la impressió a menys que hagués un tall de corrent durant el procés. Es pot veure les primeres capes d'impressió de la palma de la Raptor a la il·lustració 26 i com va adquirint forma i volum a la il·lustració 27.

Quan s'acabava la impressió, la peça es desenganxava del *bed* utilitzant una espàtula, i es preparava la impressora per a la següent peça, si feia falta es canviava la bobina del plàstic. Es pot observar la palma finalitzada a la il·lustració 28.

La impressió de tota la pròtesis va tenir una durada de 5 dies totals. La impressora no estava imprimint durant 24h, sinó que s'imprimia una tanda per dia. La primera peça que es va imprimir va ser la palma de la Raptor i va tenir una durada aproximada d'unes quatre hores. Es va imprimir a la perfecció sense cap mena de problema. La següent peça va ser la *gantlet* que tenia un temps d'impressió molt similar a la de la palma. Semblava que



Il·lustració 28: La palma de la Raptor al finalitzar la impressió

el procés aniria igual de bé que a la peça anterior, però no va ser així perquè la impressora es va aturar en mig de la impressió. Per la qual cosa s'havia de repetir tot el procés des de l'inici i posar-la a imprimir de nou. Aquest cop va acabar imprimint-se de forma correcta. En la tercera tanda d'impressió es van imprimir vint peces en total en un mateix *bed*, però amb mesures molt més reduïdes que no pas les dues anteriors. Encara que eren moltes més peces el temps d'impressió era molt més curt, aproximadament d'una hora i mitja. L'última tanda d'impressió es van fer les peces que quedaven, eren menys en nombre que en l'última impressió però eren més grans, aquest fet va provocar que tinguin una durada d'impressió igual a l'última tanda. La impressió va transcórrer amb total normalitat i quan va finalitzar vaig agafar totes les peces impreses i me les vaig emportar cap a casa. A partir d'aquell moment va començar el procés de muntatge de la Raptor Hand Reloaded.



Il·lustració 29: Les 26 peces de la Raptor Hand impreses.

18. Muntatge

La Raptor Hand està composta per una estructura formada per les 26 peces impreses i per uns components que li proporcionen el moviment dels dits i la seva adherència al braç.

El seu muntatge es comprèn per dos fases. La primera va consistir en muntar les peces que es va imprimir, és a dir, en fer l'estructura de la Raptor. On podem diferenciar tres parts principals: els dits, la palma i el *gantlet*. El primer pas que vaig fer va ser muntar els dits que es componen per dues peces imprimibles com es pot observar a la fotografia 30. Aquest procés es va repetir per a cada dit.



Il·lustració 30: Un dit muntat. S'observa la peça d'unificació de color blau a la zona verda.

De manera paral·lela vaig unir la palma amb el *gantlet*, la unió es veu fotografiada a la il·lustració 31. Finalment vaig acabar de muntar-ho tot unint els dits amb la palma. Es pot



Il·lustració 31: La palma de la Raptor unida al guantlet.

observar l'estructura de la Raptor a la il·lustració 33 La unió entre ells va ser possible gracies a peces d'unió, que podem veure tant en la il·lustració 30 com a la 24 en la pàgina 36, que es van imprimir. Aquestes tenien mides variades depenent les parts que unien, però totes elles

tenen en un dels extrems una forma rectangular i en l'altre una forma rodona amb un tall al mig. Va ser necessari el ús d'alicates per disminuir el gruix de les peces per a que sigui possible a seva introducció en els forats.

En la següent fase vaig posar els fils elàstics a la part superior de la palma i seguidament el fil blanc per baix de la palma. Cada fil li donarà una característica a la pròtesi que explicaré en el següent apartat. Els fils es van posar amb ajuda d'un estri de dentista. Un cop acabat, vaig posar el velcro que permetrà l'adherència al braç de la persona. Vaig unir el velcro a la pròtesi amb cargols.



Il·lustració 32: Les vint-i-sis peces de la Raptor muntades

Finalment només quedava enganxar el cautxú sobre el velcro per millorar el tacte. Cop a particularitat vaig pintar de blau les ungles i les lletres del tensorador..



Il·lustració 33: La Raptor acabada de muntar i amb les lletres i ungles pintades de blau.



19. Mecànica

Els dits estan formats per dues peces i el seu moviment de plegatge és purament mecànic. Es produeix gràcies el moviment del doblament del canell

El moviment es veu molt lligat a com està feta la pròtesis. El moviment de canell manté rígid el *gantle* i inclina la palma Tenint en compte que la part superior dels dits esta connectada amb el tensador que es troba a sobre del

gantlet a través del fil blanc, provoca que amb aquest moviment del canell, els dits es dobleguin. Les cordes elàstiques dels dits permeten que es mantinguin rígids i no decaiguin per efecte del seu pes i la gravetat. El sistema del moviment mecànic es veu en la il·lustració 33.



Il·lustració 33: Utilitzant la Raptor Hand per agafar un objecte .

20. Pressupost

Per poder veure més clar l'avantatge de la impressió 3D sobre la fabricació addicional he calculat el pressupost de la meva pròtesis personalitzada i l'he comparada amb el preu d'una pròtesis tradicional.

En la taula següent hi apareix tot el material que he necessitat per fer la pròtesis i que comprat. En la taula hi apareixen dos preus: el cost unitat consumida que és el preu equivalent al cost de la compra en el cas de que es poguessin comprar en unitats o mesures exactes els cargols, fils, cautxú... El cost total és el preu que em va costar comprar-los en la botiga, és a dir, són els preus que van aparèixer en el tiquet de compra.

Veient la taula podem observar com una pròtesis impresa en 3D és molt més assequible que una pròtesis tradicional de una mà sencera que costa al voltant de \$ 4000 (=3.579,65 €). Però no és només això, el temps de impressió i muntatge fins a tenir la Raptor Hand a les nostres mans com a màxim pot arribar a una setmana, en contraposició del gran període de temps que es necessita per fer les pròtesis tradicionals que es troba al voltant de tres mesos, en cas de que tot anés bé.

Material	Quantitat	Cost unitat consumida €	Cost total €
PLA	¼ de bobina PLA	5	20
Paper de vidre	Aprox. Superfície DIN A4	0,35	0,35
Cautxú adhesiu	Superfície DIN A4	0,92	1,84
Fil de nylon	5 fils x aprox. 20 cm de llarg cada un	0,013	6,40
Corca elàstica	5 fils x aprox. 15 cm de llarg cada un	0,045	2,99
Cargols cabota plana	5 unitats	0,23	2,04
Cargols cabota rodona	5 unitats	0,36	1,42
Velcro	2 tires de 5 x 30 cm	2	2
Total	–	8,92	20,04

21. Pròtesis tradicionals vs Raptor Hand

Durant tot el treball es pot deduir fàcilment que molt probablement les pròtesis tradicionals acabaran desapareixent. Normalment les pròtesis tradicionals que es posen a disposició dels ciutadans venen amb una mida concreta i predeterminada, per la qual cosa es la persona que s'ha d'adaptar a la pròtesis i no al contrari. Aquest fet provoca moltes vegades que un cop la persona estigui operada no s'acabi de trobar bé amb el seu cos i que provoqui problemes posteriors relacionats amb el benestar del pacient. Amb les pròtesis impreses 3D aquest problema es soluciona, ja que permet la creació de models tridimensionals a partir d'imatges digitals obtingudes a través de proves mèdiques com les ressonàncies magnètiques. La aplicació de la impressió 3D en medicina estan demostrant ser molt útils, ja que les pròtesis resulten molt eficaces per al tractament de tot tipus d'afeccions, i permeten, fins i tot, salvar la vida dels pacients. Per exemple hi ha una possibilitat més gran de que sobrevisqui un pacient que s'hagi fet un forat al crani o que se l'hagi trencat si el reconstrueixen amb una pròtesis personalitzada per a ell, que no pas una pròtesis que pugui ser uns mm més petita o més gran. S'ha demostrat varies vegades que les pròtesis impreses en 3D són més còmodes i eficaces que les tradicionals.

Cal insistir molt en els dos principals avantatges que presenten les pròtesis impreses en 3D sobre les tradicionals. La primera és la senzillesa del procés de fabricació i la segona és la disminució del preu. Jo mateixa he pogut comprovar experimentalment que es compleixen els dos avantatges amb la fabricació de la Raptor Hand.

Veient l'apartat anterior es pot veure la gran diferència econòmica que hi ha entre una i l'altra. També hi ha una gran diferència entre el temps de fabricació de cada una d'elles, ja que la Raptor s'hagués pogut imprimir perfectament en un dia mentre que una pròtesis tradicional d'una mà pogués haver arribat a un mes aproximadament o més, depèn de la complexitat de la pròtesi. Aquesta n'és una altre, la complexitat no només allarga el temps de fabricació, sinó que a més eleva el cost en les pròtesis tradicionals, tanmateix, aquest fet no passa amb les pròtesis impreses en 3D. A major complexitat major temps d'impressió, però mai més gran que el de la fabricació tradicional i no incrementa el preu.

22. Conclusions

En els primers dies, quan havia de decidir el tema del meu treball de recerca, em van sorgir molts dubtes per la dificultat i complexitat que representava el projecte. Tanmateix, després d'un cert temps de reflexió i la possibilitat de col·laboració d'una empresa amb el meu treball, vaig acceptar el repte de fabricar una pròtesi. Tot i que els meus coneixements sobre el tema inicialment fossin nuls.

La metodologia que vaig utilitzar es fonamenta en el coneixement que vaig adquirir en la part teòrica. La divisió de la part pràctica en tres parts va ser fonamental per a que la fabricació de la pròtesis es pogués fer correctament i dintre del termini. Gràcies a la part pràctica he arribat a la conclusió de que l'estudi de la meva premissa inicial ha tingut resultats positius. Les conseqüències han sigut les següents:

-La impressió 3D mitjançant impressores d'addició de matèria, sembla una tecnologia complexa, cara i només apta per enginyers, però es relativament fàcil tenir-ne una a casa. Aprendre a fer-la funcionar i a disseny 3D per treure-li profit no és tan complicat com sembla. Com a curiositat, una màquina comercial ja muntada i calibrada pot costar al voltant de 1.600€, tanmateix, hi ha la possibilitat de comprar un kit per muntar-la a casa per uns 400€. La diferència qualitativa entre una i altre no és molt gran, a més la tecnologia millora dia a dia. En un futur proper, és preveu que les tindrem massivament a casa i ens permetrà fabricar objectes, per tant s'aconseguirà apropar a moltíssimes persones el nou mètode de fabricació. També hi seran a les empreses, oficines i, fins i tot, a les consultes dels metges. El metge tindrà una eina que li permetrà adaptar la pròtesi al pacient i imprimir-la en la mateixa consulta en un temps i un preu molt reduït.

-La impressió 3D té ara mateix dues branques. Una professional en la que grans empreses fabriquen màquines cares i complexes per sectors específics, però també està l'*amateur*, que permet fer arribar aquesta tecnologia a tothom. Hi ha una comunitat mundial creixent formada per empreses i aficionats a la tecnologia, anomenats *makers* amb intenció de fer arribar el coneixement i la possibilitat de ser creador tecnològic a gran part de la població. És una comunitat molt activa que penja tutorials de forma altruista i comparteix en els fòrums projectes, dificultats i èxits, a més de tractar diferents temes com projectes d'electrònica com Arduino (molt utilitzades en projectes comercials-també en les impressores 3D), projectes com Rep Rap per replicar impressores 3D o plataformes d'aprenentatge de programació són alguns exemples. Aquestes plataformes possibiliten que qualsevol sense grans coneixements pugui desenvolupar projectes tecnològics.

Jo sóc un clar exemple. Era una persona que no coneixia res sobre la impressió en 3D abans de començar el treball, i que en poc temps he pogut fer una pròtesi, funcional, personalitzada i econòmica.

Per finalitzar haig de dir que estic molt satisfeta del meu treball i em sento orgullosa d'ell. Per mi, no només ha sigut un treball escolar, sinó que també una experiència inoblidable en el que he pogut conèixer d'una manera diferent a la que estic acostumada a fer en les aules. Sense cap mena de dubte he crescut com a persona amb aquest treball per diversos motius, els dos que vull ressaltar són l'organització del temps i en l'autonomia, dos factors que crec que són essencials per fer un bon treball de recerca.

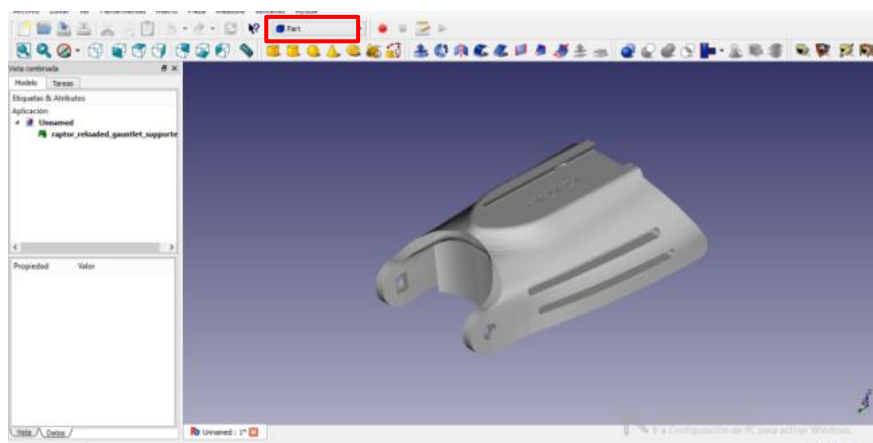
23. Annexos

Annex 1: Convertir una malla en un objecte FreeCad

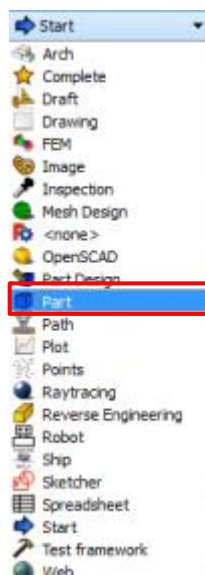
El format STL, molt utilitzat en la impressió 3D, no és “compatible” en FreeCad, és a dir, no ens permet treballar amb aquest tipus de format a causa de que la peça no s’importa com un objecte de FreeCad. Això implica que no puguem seleccionar les cares, no et permeti treballar amb aquesta figura tridimensional, ni tan sols editar-la. Només ens permet visualitzar-la des de diferents punts amb un angle de 360° i col·locar-la en un punt de l’espai determinat. Per tan em vaig veure obligada a transformar tots els arxius que volia editar en formats FreeCad.

Per fer aquesta conversió de malla a un objecte FreeCad s’ha de seguir uns passos concrets.

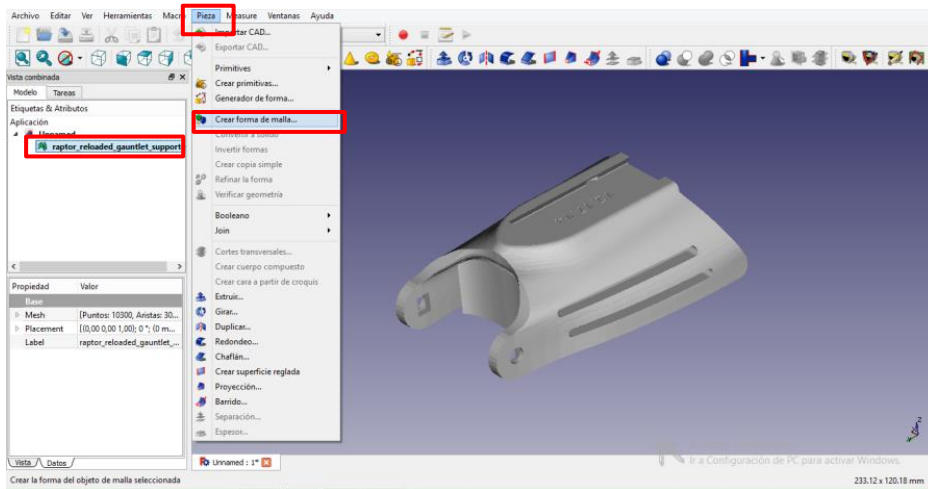
Per convertir la malla en un objecte FreeCad vaig importar el arxiu en STL d’una peça. La primera que vaig editar va ser el *gauntlet*.



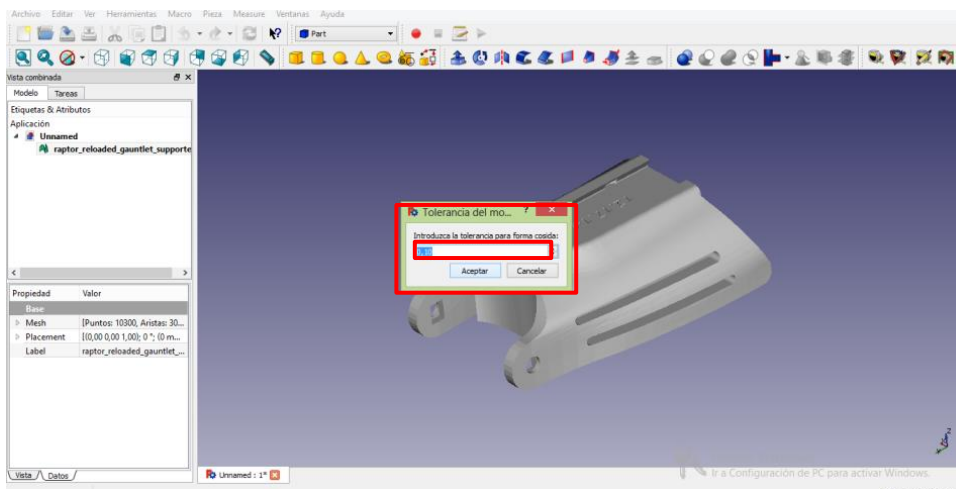
A continuació vaig entrar dintre del menú de *part* que apareix a la barra superior del programa.



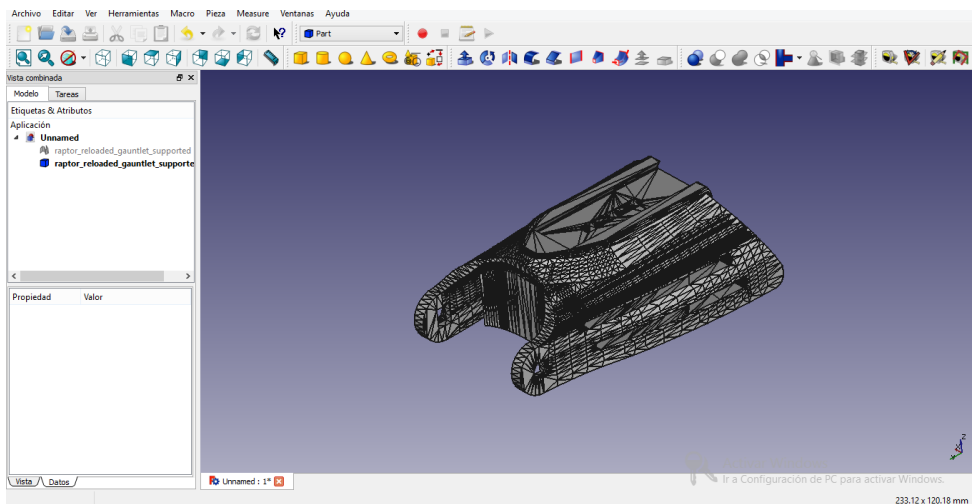
Un cop dintre, vaig entrar al menú de peça i vaig clicar en *create shape from mesh* (crear la forma de la malla).



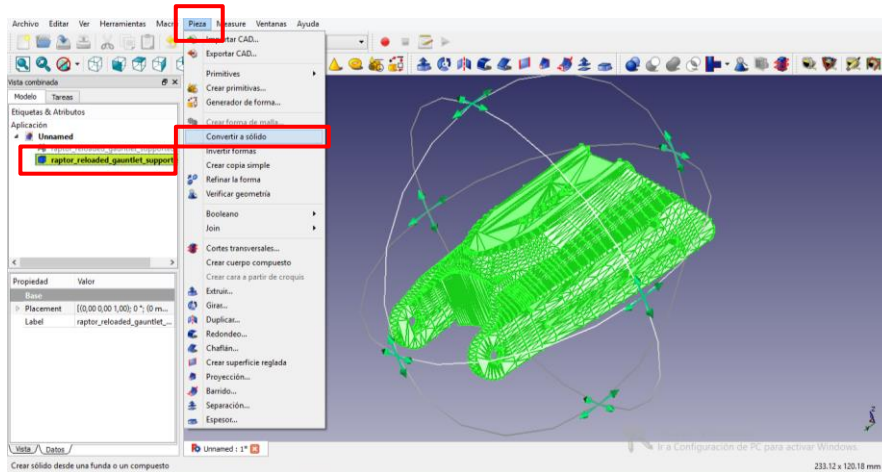
De seguida va aparèixer un petit requadre per a que indiqui la tolerància que volia per formar aquesta malla. La tolerància que bé per defecte i que utilitzaré és 0,10 mm. Per fer la conversió a un format FreeCad el software de disseny processa tot els triangles que formen la malla.



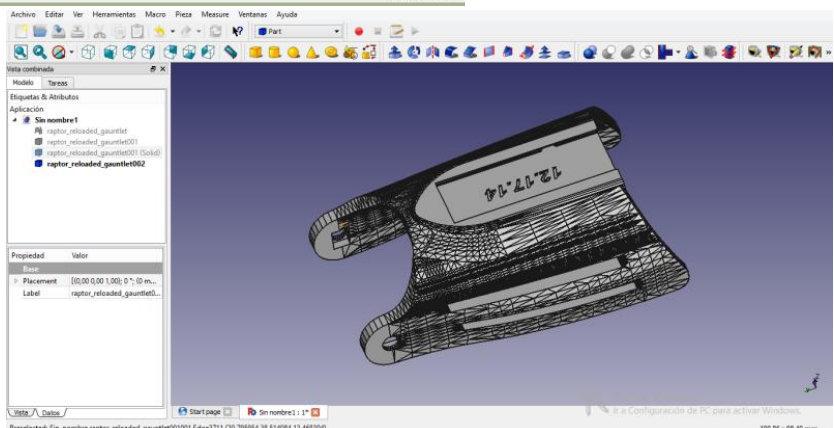
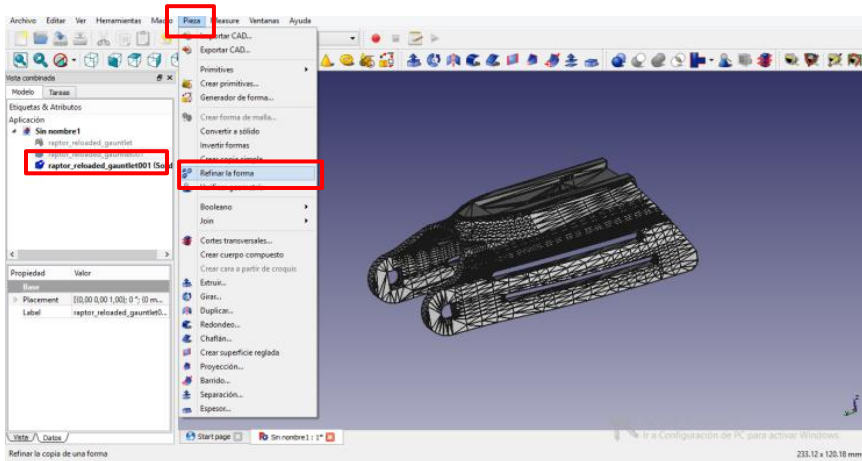
Aquest procés triga una mica i quan va finalitzi ja tenia un objecte FreeCad.



Un cop va finalitzar, a la barra de l'esquerra es veia com el format d'importació anterior encara estava present, és a dir, era visible. Per aquesta raó, per comoditat i sobretot per facilitar els següents passos vaig seleccionar el format inicial i el vaig amagar prenent la tecla d'espai, deixant visible només la nova peça. L'objecte obtingut no era sòlid, per tant com a segon pas important vaig haver de seleccionar l'objecte, entrar al menú part i clicar a *convert to solid*, automàticament es va "solidificar". Després vaig fer invisible la peça anterior.

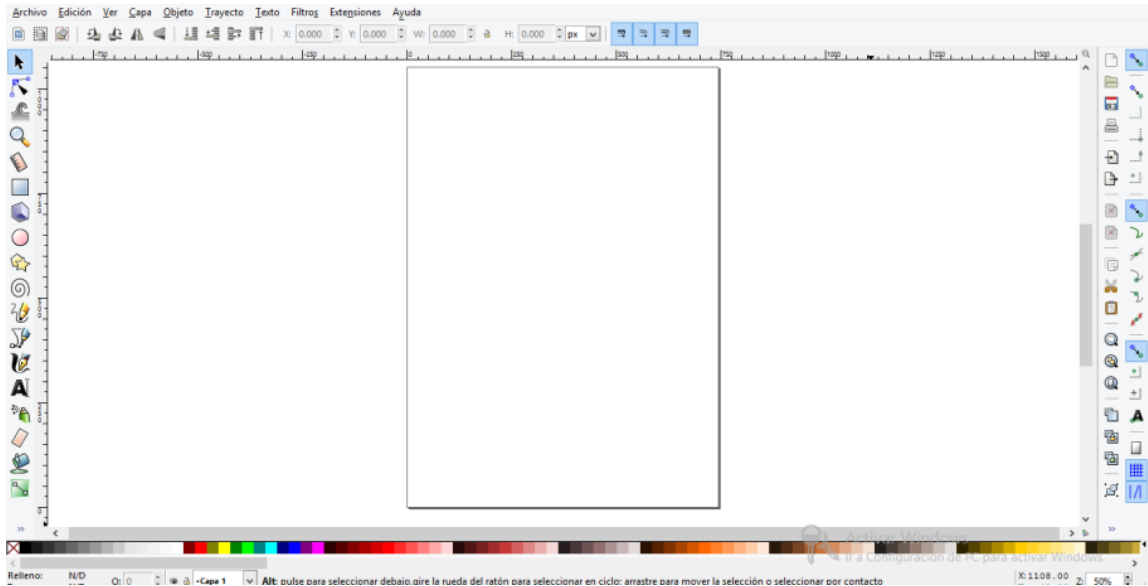


Encara que ara la peça sigui sòlida, el seu aspecte no és agradable ni tampoc còmode per al treball perquè totes les cares estan compostes per triangles i malles. A conseqüència totes les malles i triangles d'una mateixa capa s'han de simplificar en una sola superfície. Com a última modificació vaig seleccionar la peça, i dins el menú peça vaig clicar refine shape.

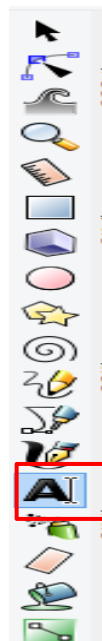


Annex 2: Inkscape

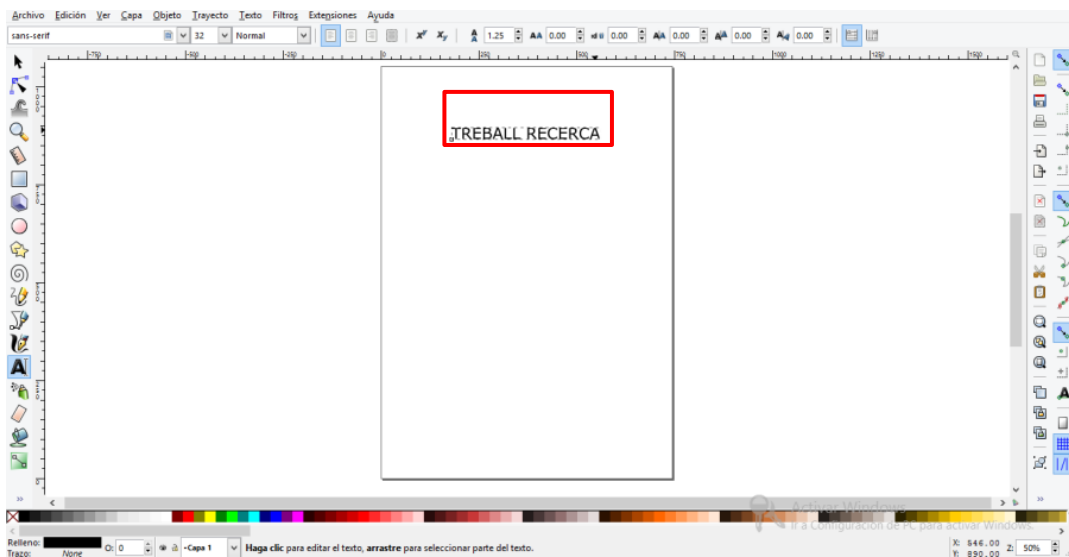
La primera vegada que vaig obrir l' Inkscape vaig veure un full en blanc on al lateral esquerre i a la part superior hi ha unes icones que ens permetran treball amb el programa.



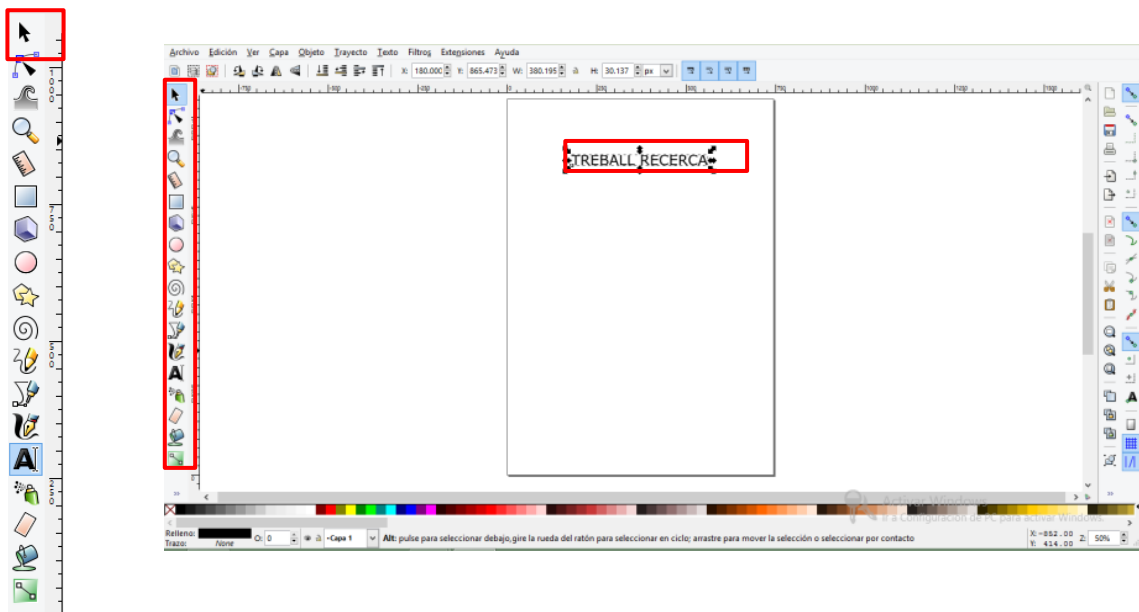
El primer que vaig fer va ser insertar un text prenent la icona amb el símbol d'una A majúscula que es troba a la columna de l'esquerra.



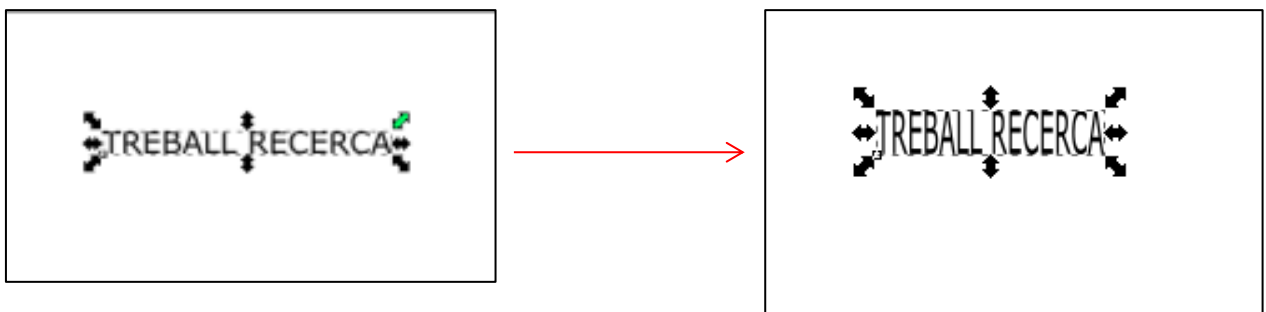
Quan li vaig donar em vaig situar a sobre del full i vaig clicar el botó esquerre del ratolí, tot seguit vaig escriure el text. Els textos que vaig escriure van ser: Treball Recerca i Ibtissam Ghailan Tribak i Treball Recerca 3DP: Raptor Hand.



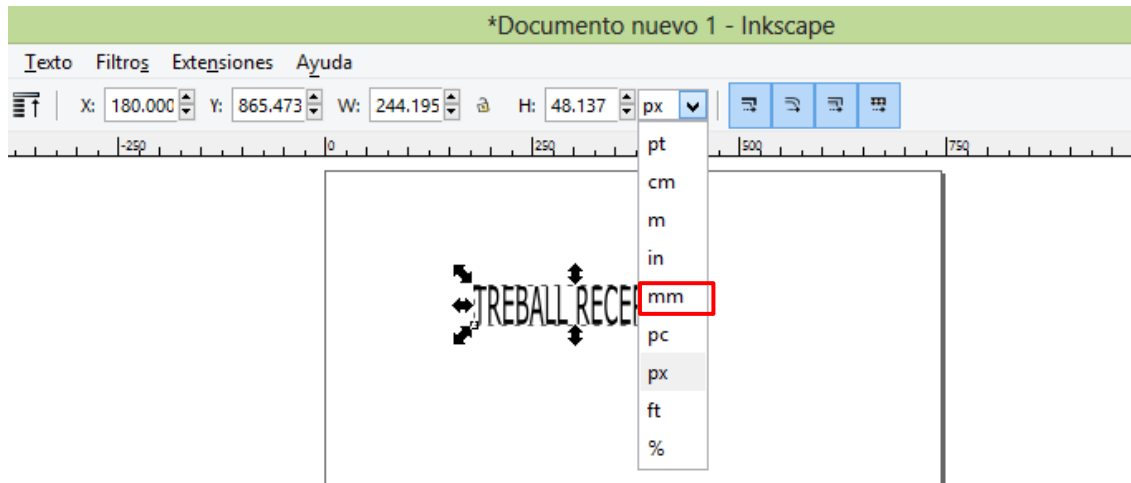
Un cop escrit vaig canviar el tipus de lletra i la grandària de les lletres. Per escalar el text vaig clicar a primera icona de de la columna de l'esquerra en que hi apareix un cursor del retolí i vaig seleccionar totes les lletres.



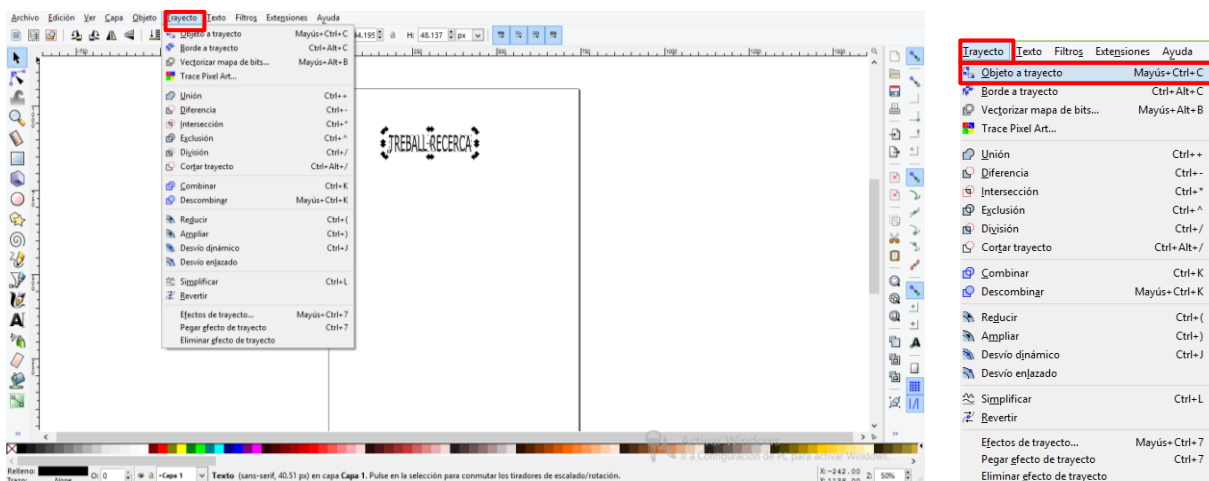
A continuació vaig clicar a la tecla de control i amb el cursor del ratolí vaig augmentar la mida del text.



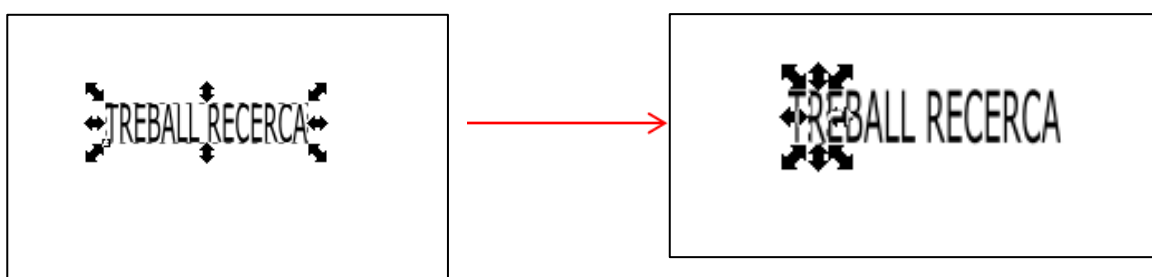
També hi ha una segona possibilitat que vaig utilitzar per augmentar les mesures. Quan selecciones les lletres a la segona fila superior apareix les mesures del width (amplada) simbolitzat per una w i les del height (alçada) representat per una h de les lletres en px (píxels). Vaig canviar les mesures de px a mm i, a continuació vaig introduir les mesures adients.



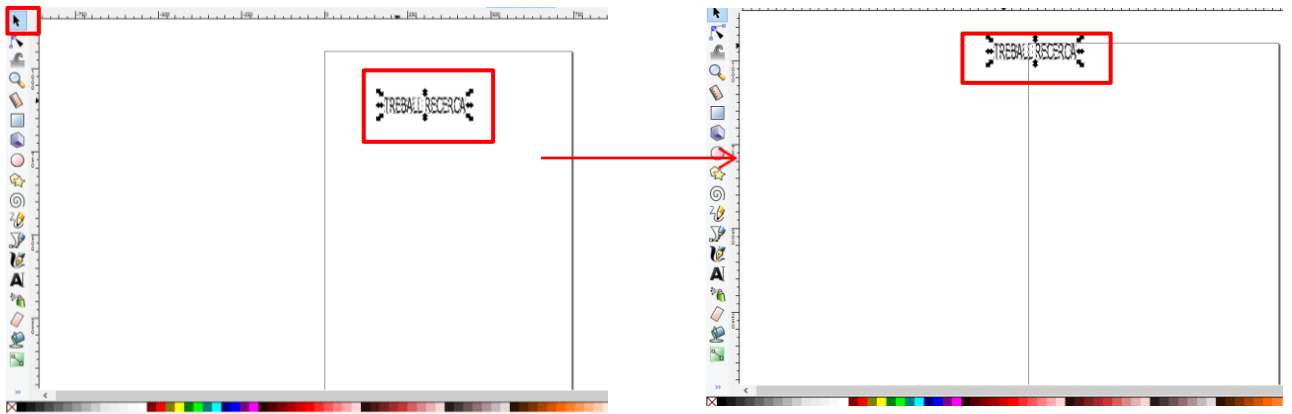
Abans d'exportar el text és necessari convertir les lletres a traços, és a dir, que cada lletra del text sigui independent de les altres i cada una d'elles estigui formada per punts, rectes i corbes independents. Per aconseguir-ho vaig entrar dintre del menú de path (trayecte) i un cop dintre li vaig donar a *object to path* (objecte a trajectòria).



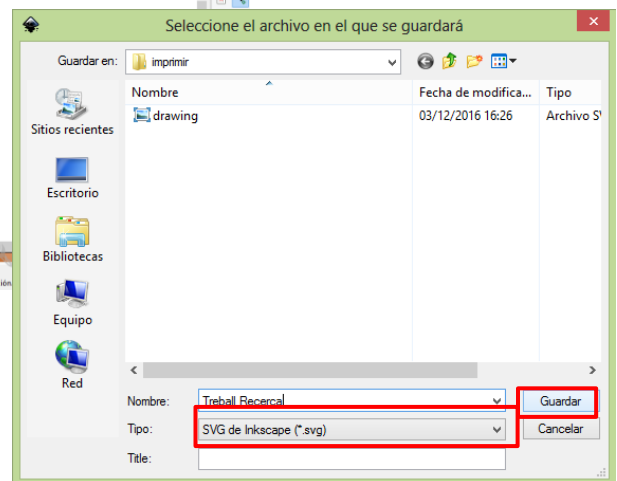
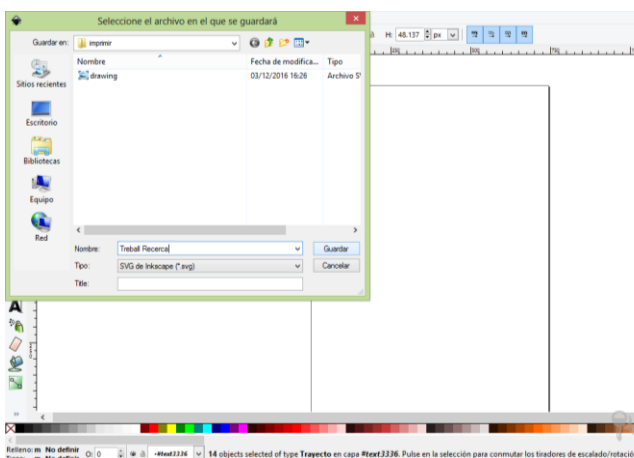
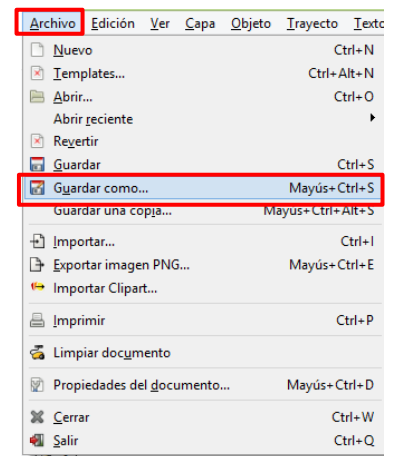
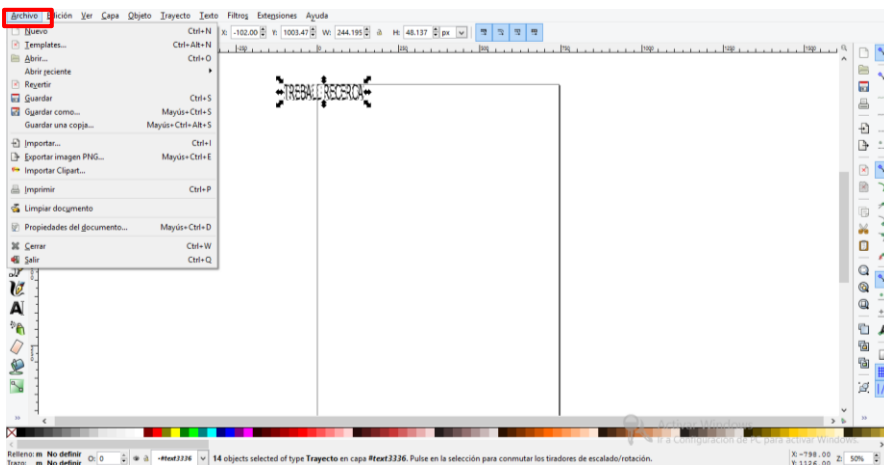
El text es va convertir automàticament en traços.



Només em faltava seleccionar totes les lletres i col·locar-les al punt d'origen, és a dir, en l'extrem superior esquerre del full d'Inkscape.



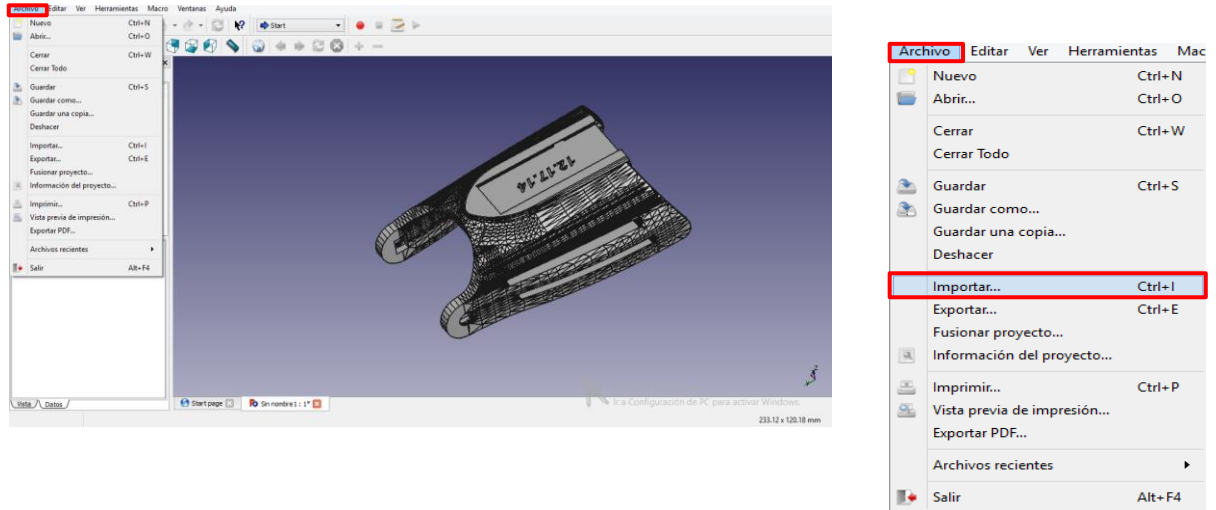
A continuació vaig entrar al menú del file, save as i vaig exportar-lo en format Plain.svg.



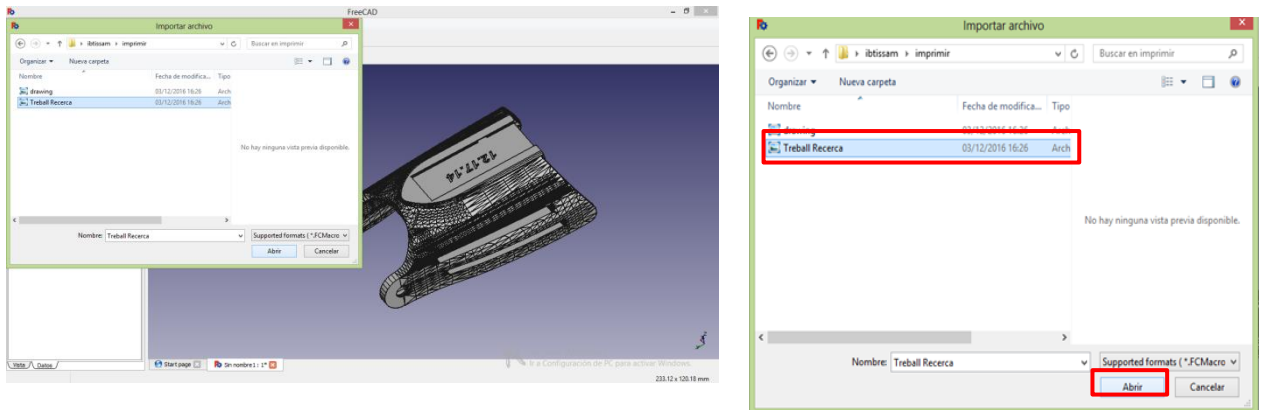
Després de dissenyar el text vaig exportar-lo per a posteriorment importar-lo a FreeCad.

Annex 3: Importar els textos a FreeCad

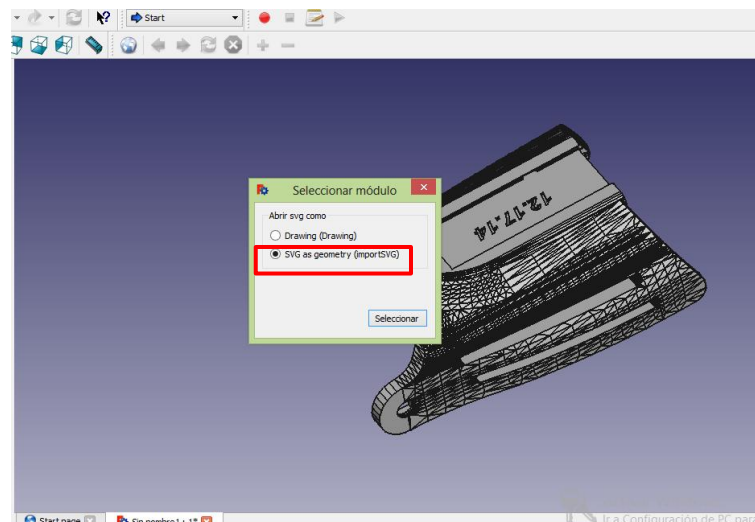
Un cop guardat ja es podia importar a la finestra de FreeCad on jo volia col·locar els textos. Per exportar fitxers en format svg cal entra en menú file (arxiu) de FreeCad i clicar a import.



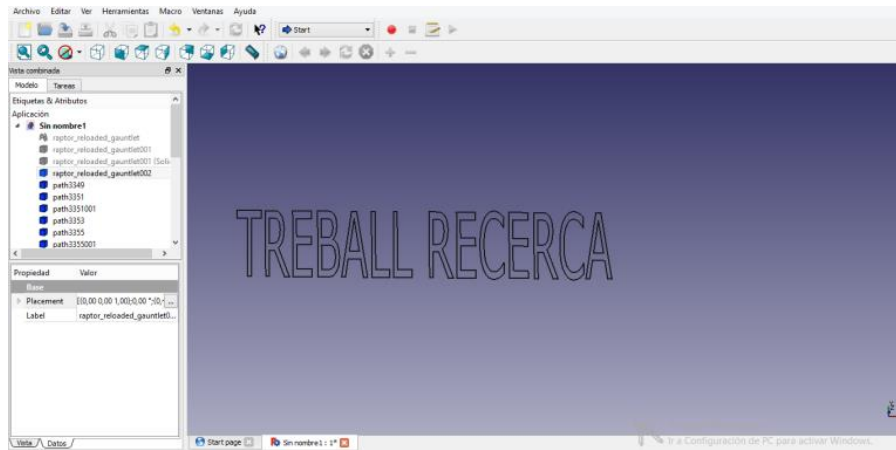
Automàticament es va obrir la biblioteca de l'ordinador on haurem de buscar el fitxer, seleccionar-lo i clicar al botó de select (obrir).



Tot seguit apareix un requadre en FreeCad on posa *open svg as: -drawing(drawing) or -SVG as geometry(import SVG)*. Jo vaig seleccionar la segona opció.

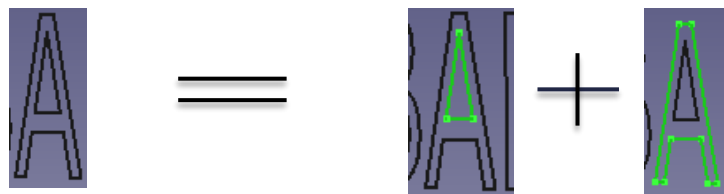


Les lletres es van exportar com a geometria en dos dimensions.



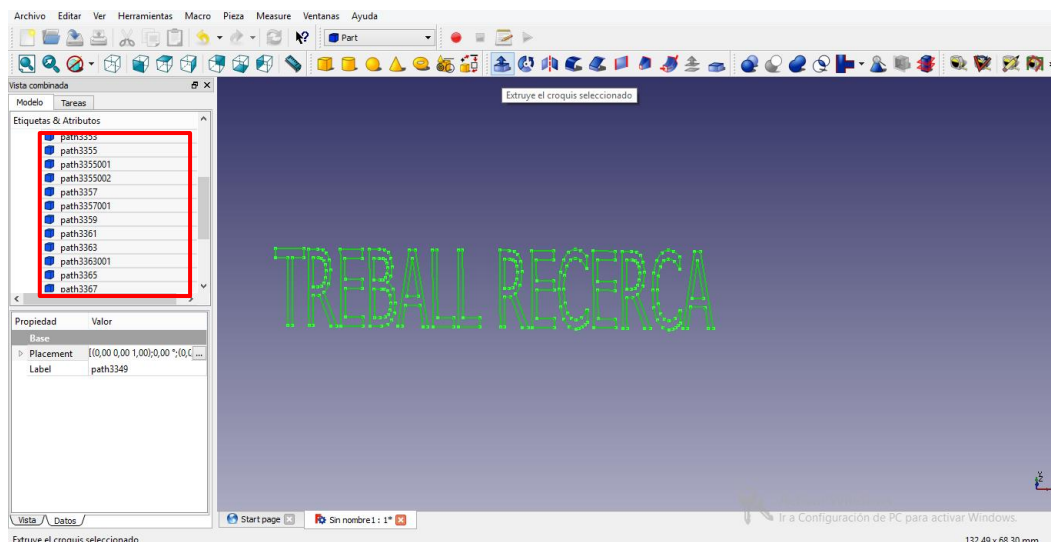
Annex 3: Donar volum al text

La primera cosa que em vaig donar compta va ser que lletres com la A,R,D o P s'importaven com a dues figures, figura exterior i figura interior que serien els forats de dintre de les lletres.



Per exemple la lletra A estaria composta per una figura interna formada pel triangle que es troba en la part superior de la vocal i la figura externa, totes les línies que no formen el petit triangle.

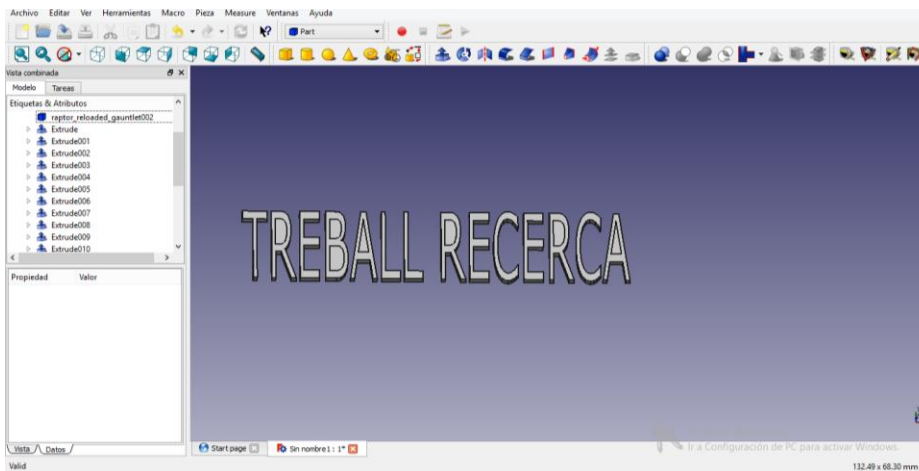
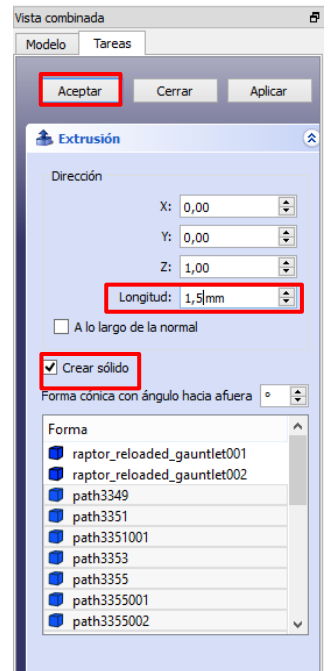
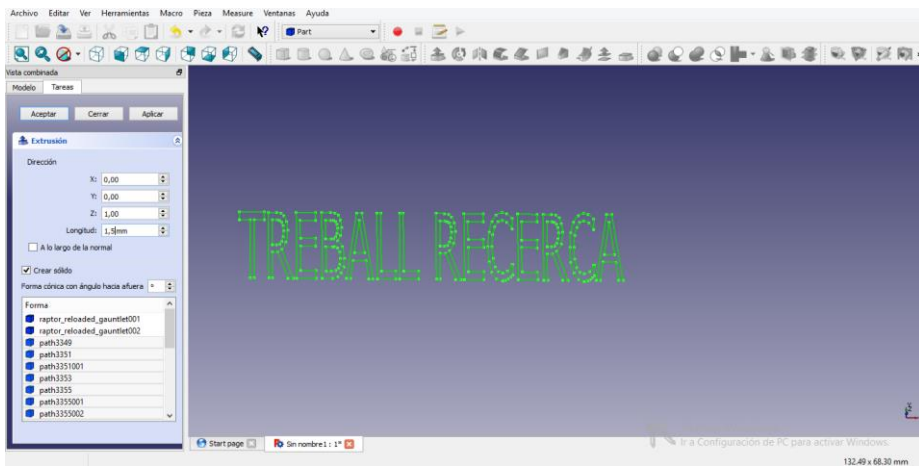
Per solucionar aquest problema vaig seleccionar totes les lletres clicant en la columna de l'esquerra a la primera lletra, posteriorment a la tecla shift del teclat i sense deixar de prémer aquesta tecla clicar a l'última lletra de la llista. D'aquesta manera he seleccionat totes les lletres sense haver de seleccionant una per una. Una altra manera seria seleccionar directament el text en la finestra 3D amb el botó esquerra del ratolí.



A continuació les vaig donar volum clicant una de les icones de la segona fila superior.

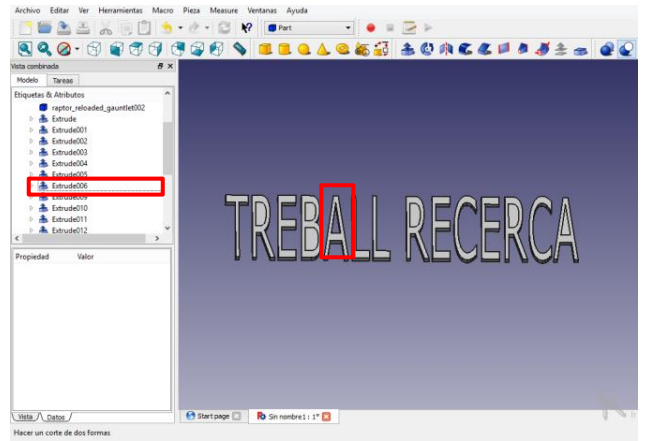
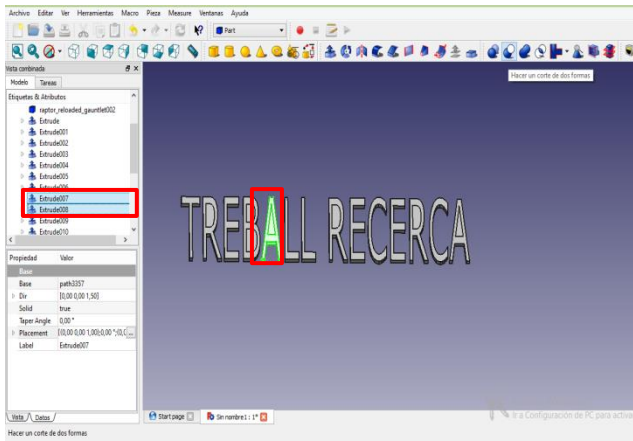


Després a la columna de l'esquerra es va obrir una panell de control de l'extrusió on vaig fer dos canvis importants. El primer canvi va ser convertir-les a sòlid amb l'opció de *create sòlid* i com a segon vaig anar a *length* i vaig canvia els 3 mm d'extrusió que venien predeterminats a 1,5 mm. Fetes les modificacions li vaig donar a *close* i automàticament les lletres van agafar volum, fins i tot, les zones internes de les lletres compostes per dues figures.



Per treure les parts internes vaig seleccionar la part externa de la lletra i posteriorment la part interna, sempre en aquest ordre, i vaig prémer un dels icones de la segona fila començant per la dreta que correspon al símbol de restar d'una peça a una altre.



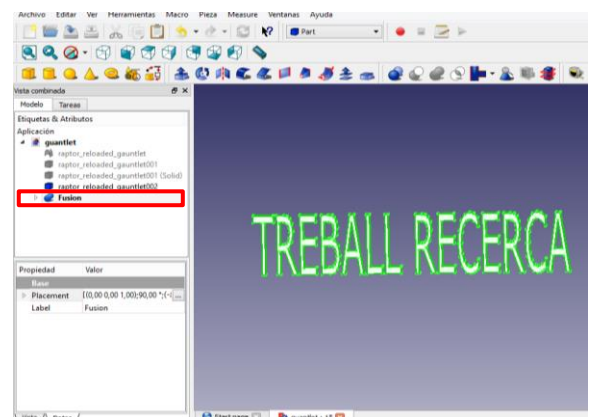
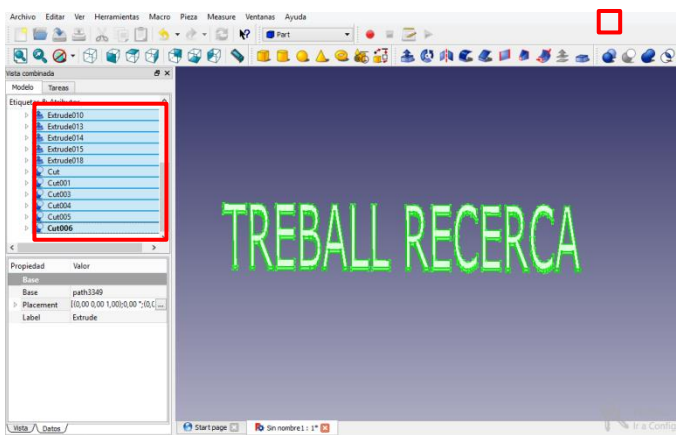


Aquest procés es repeteix per a totes les lletres compostes per dues figures.



Annex 4: Unificació dels textos

Un cop acabat, vaig unificar totes les lletres per a que posteriorment sigui més fàcil la seva mobilització. Per unificar les peces les vaig seleccionar totes i vaig clicar el símbol que es troba al costat esquerra del símbol de la resta que correspon al símbol d'unificació. D'aquesta manera només tenia una sola peça.

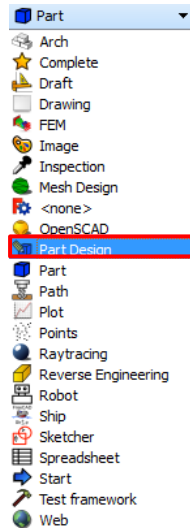


Annex 5: Dibuixar l'ungla

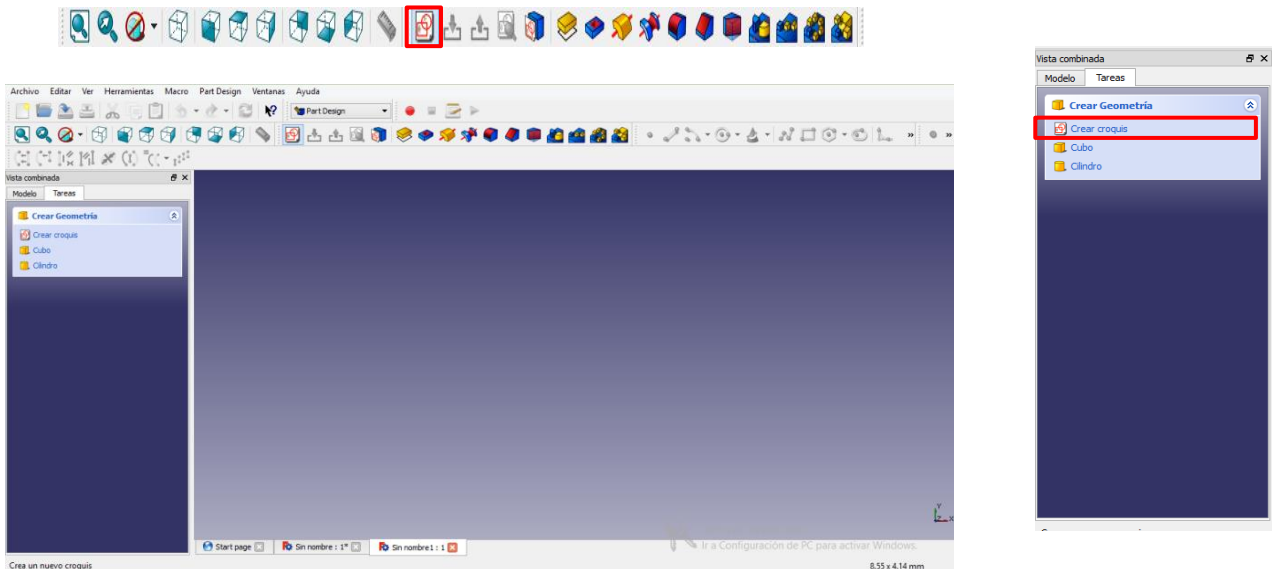
Les ungles estaran formades per tres línies rectes, dos horitzontals paral·leles entre sí i una vertical que les uneixi, a més d'una semicircumferència que serà oposada a la recta vertical.

Per dissenyar les ungles vaig dissenyar dintre de la secció de *part* i després vaig donar volum al dibuix del plànol de dos dimensions.

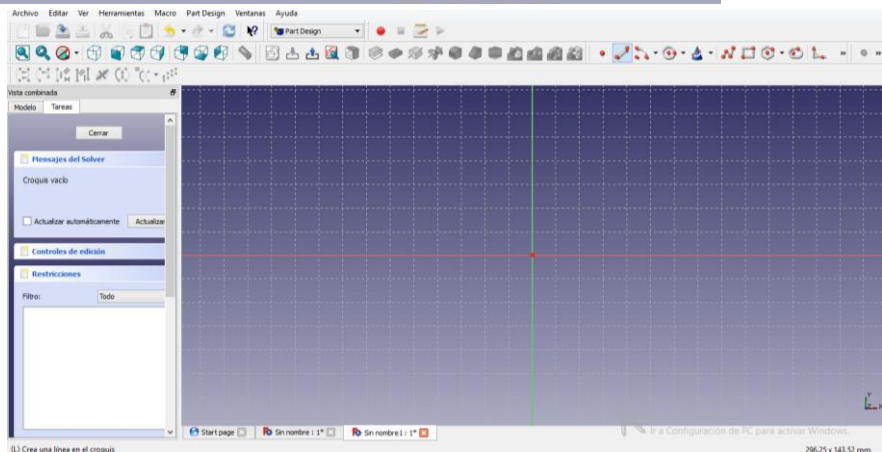
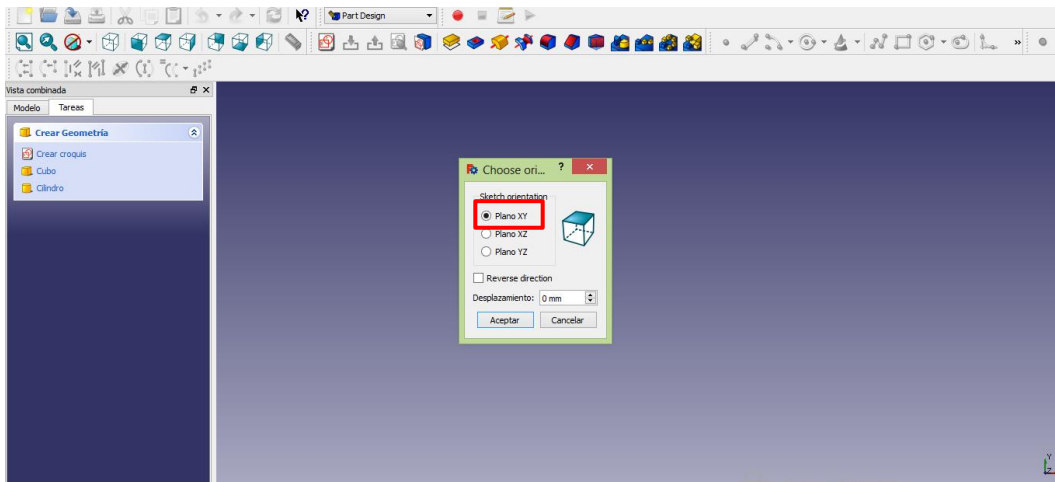
Vaig començar per entrar dintre del banc de treball, després vaig seleccionar la secció de *part design*. Les icones van canviar i em van permetre fer coses que amb l'altre secció no es podia.



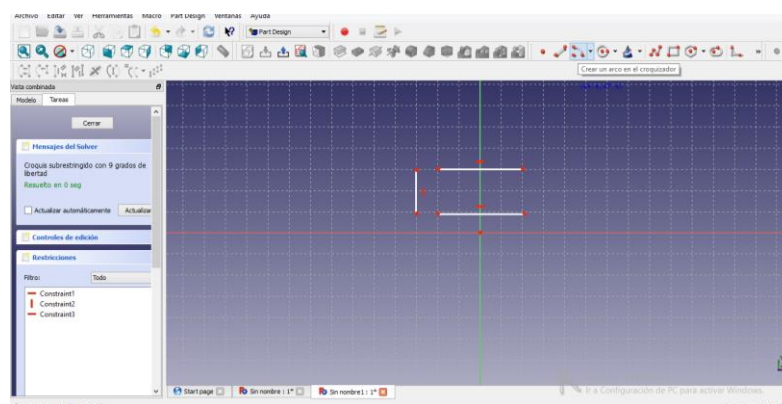
Un cop dintre vaig prémer el primer icona per l'esquerra, si posem el cursor a sobre sense clicar sobre veurem que posa *create sketch*. Aquesta possibilitat també la podem activar dintre de la pestanya de *tasks* a la columna de l'esquerra.



Després d'haver-li donat ens apareix una finestra on posa *choose orientation*, cal recordar que estem treballant en un plànol de dos dimensions, on es dona la possibilitat d'escollir quina és l'orientació en què volem dibuixar el plànol. Jo escolliré la del pla XY que és la que ve per defecte.

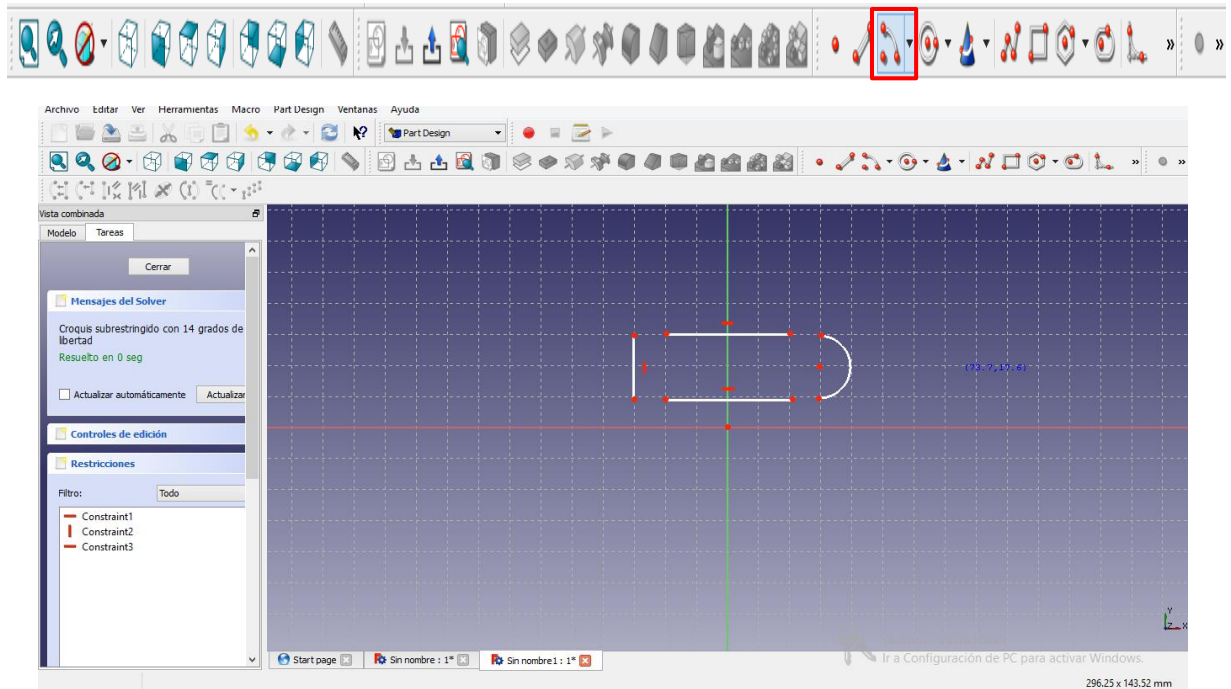


A continuació vaig començar a dibuixar l'esbós. Primer vaig dibuixar tres línies independents amb qualsevol mesura i direcció clicant al símbol de la segona fila superior en que hi apareix representat dos punts i una línia blanca que els uneix. Per dibuixar una línia primer es situa un punt en qualsevol lloc amb el cursor i clicant el botó esquerre del ratolí i posteriorment el segon.



Després vaig dibuixar l'arc que és més complex per dibuixar que no pas una recta. Vaig clicar a un símbol molt a prop de de la línia en que hi apareix representat un cercle que té un punt vermell al centre i un altre incorporat al cercle. Tot seguit vaig clicar a qualsevol zona del plànol, aquest punt representa el centre de l'arc, seguidament vaig definir el segon punt que

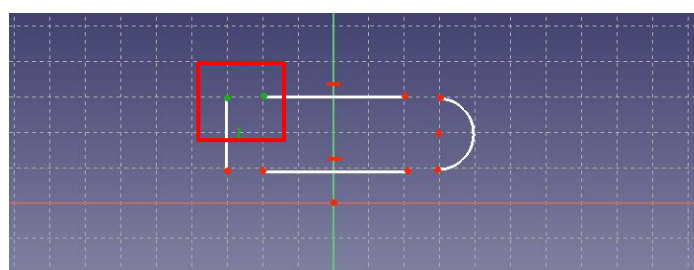
representa l'inici de l'arc i per últim vaig definir el tercer punt que representarà el final de l'arc. Vaig establir els punts de tal manera que formessin una semicircumferència.



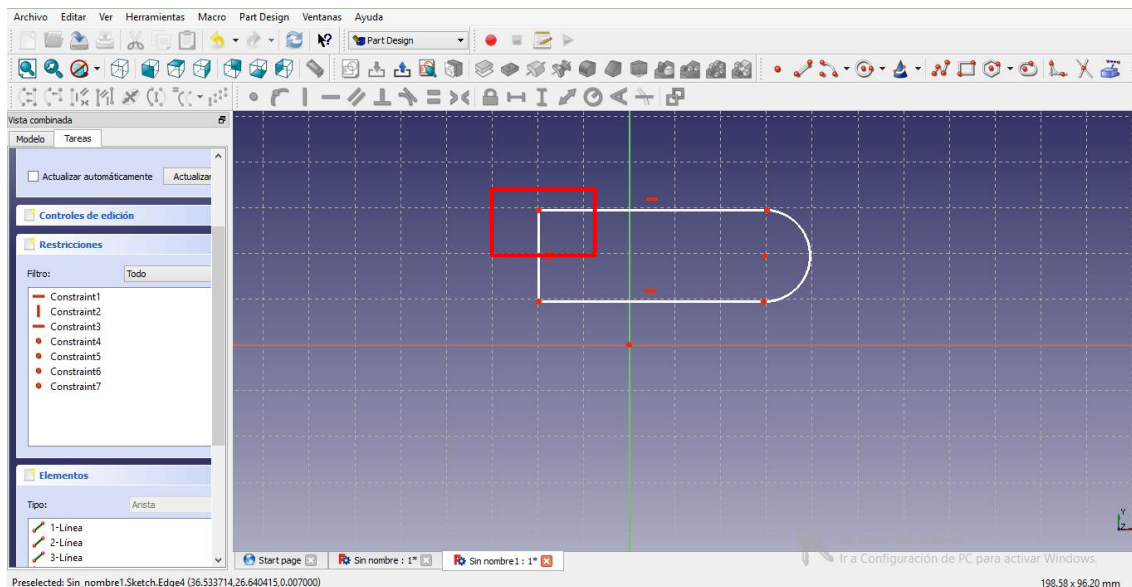
Quan vaig acabar tenia 8 punts lliures els quals formaven tres rectes i una semicircumferència. Les rectes tenien tres restriccions que venien per defecte, la de horitzontalitat i verticalitat, però no més. Les restriccions són les limitacions de moviment que imposes a les figures bidimensionals.

Annex 6: Imposició de restriccions

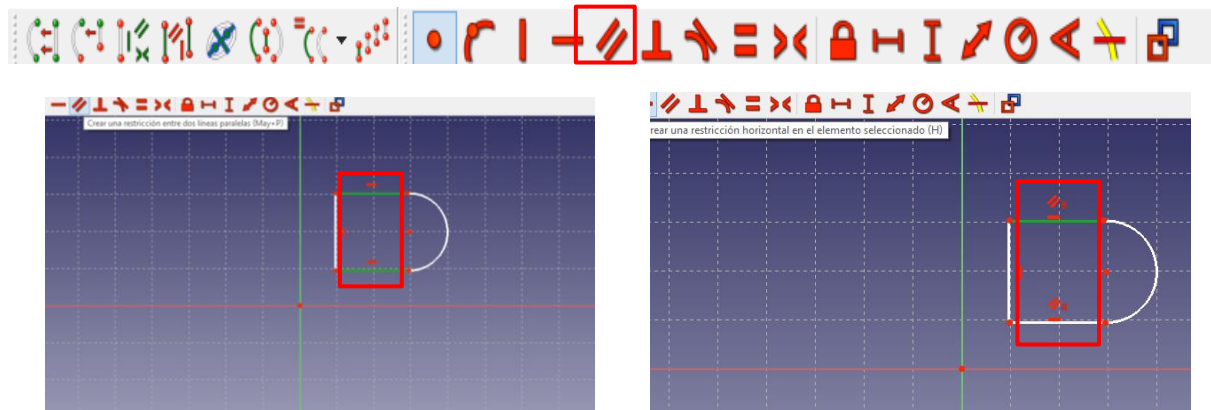
Per fer les unges vaig haver d'imposar certes restriccions. La primera restricció va ser la restricció de coincidència en la qual vaig obligar a que els punts de les rectes i de l'arc formin entre ells una figura. Per fer això, calia seleccionar amb el botó esquerre del ratolí dos punts que constitueixin formes independents i prémer el símbol que es troba a la segona fila superior en que es veu representat per un punt vermell.



Aquest procés es repeteix amb tots els punts sense deixar cap solt.

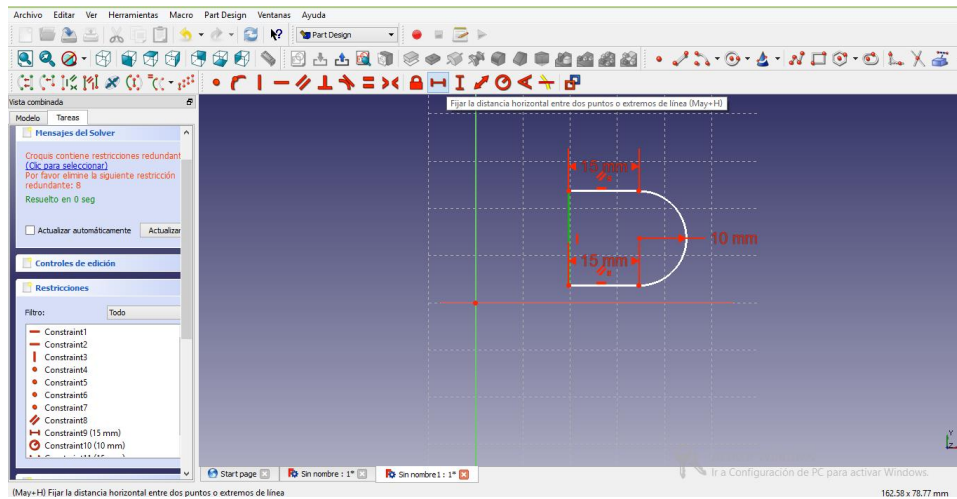


La segona restricció va ser la restricció de paral·lelisme que consisteix en obligar que dues rectes sempre siguin paral·leles independentment de les coordenades que tingui. Aquesta la vaig aplicar a les dues rectes horitzontals. Vaig seleccionar les rectes i després vaig clicar al símbol de dues rectes horitzontals paral·leles. Totes aquestes restriccions es veuen indicades a l'esbós mitjançant símbols per sobre de la forma en que actuen.

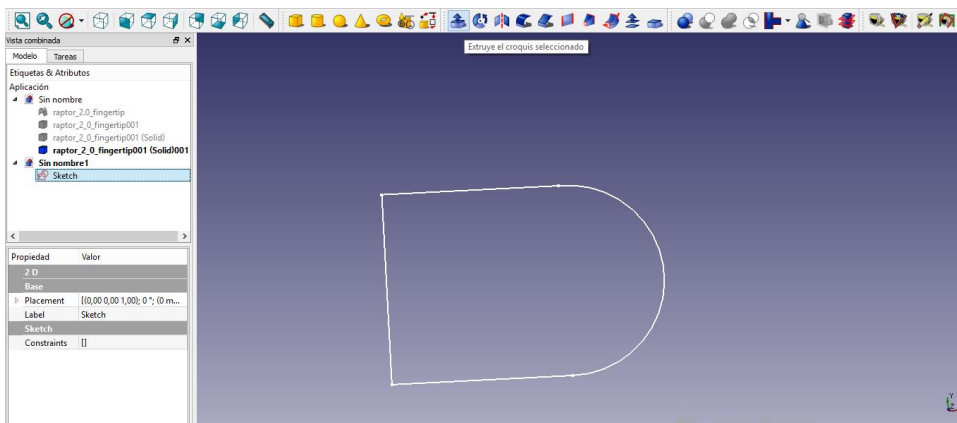


L'última restricció va ser l'acotació que em va servir per a que les mesures de les rectes i l'arc no varin, també em va permetre modificar les mesures.





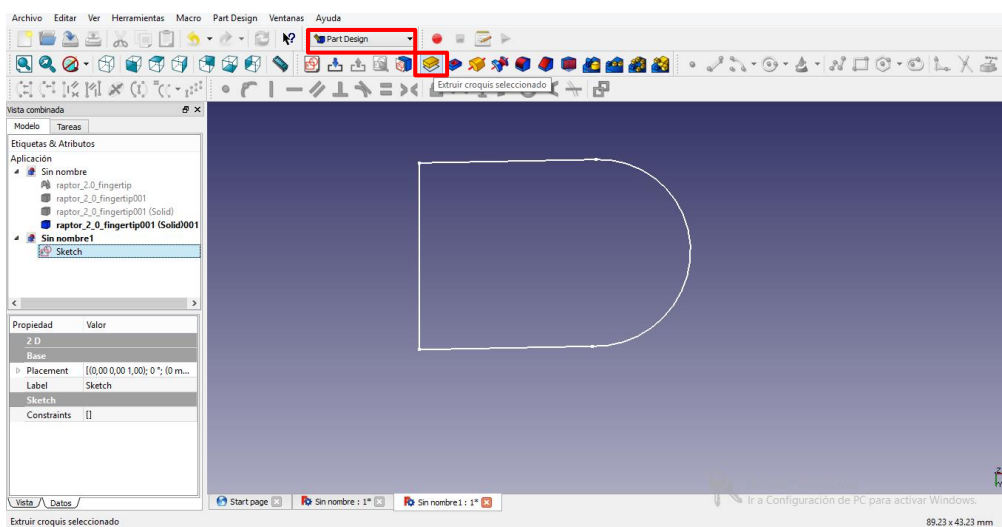
Un cop estava definida la forma, vaig clicar a *close* a la secció de *task* i ja tenia el plànol acabat. El programa va tornar a una visualització en 3D i vaig poder observar com l'esbós veritablement està situat al pla XY. (En la imatge no es pot veure perquè no s'observa els eixos de coordenades).



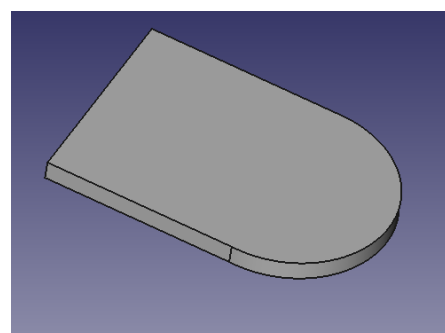
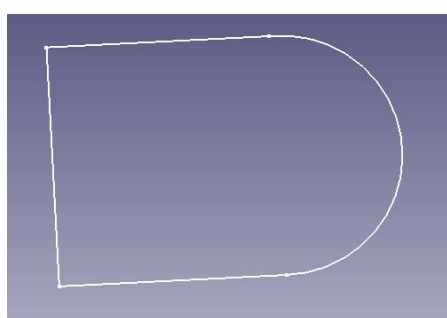
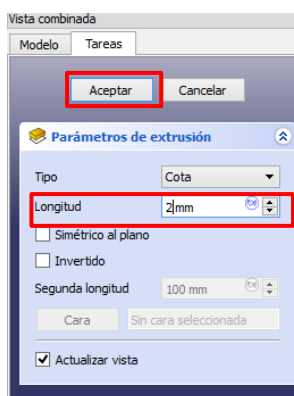
Annex 7: Donar volum a l'esbós

En aquell moment només em faltava convertir l'ungla en un objecte 3D. Ho vaig fer en la mateixa secció de *part design*. Per donar volum vaig clicar a un dels símbol de la segona fila de la part superior



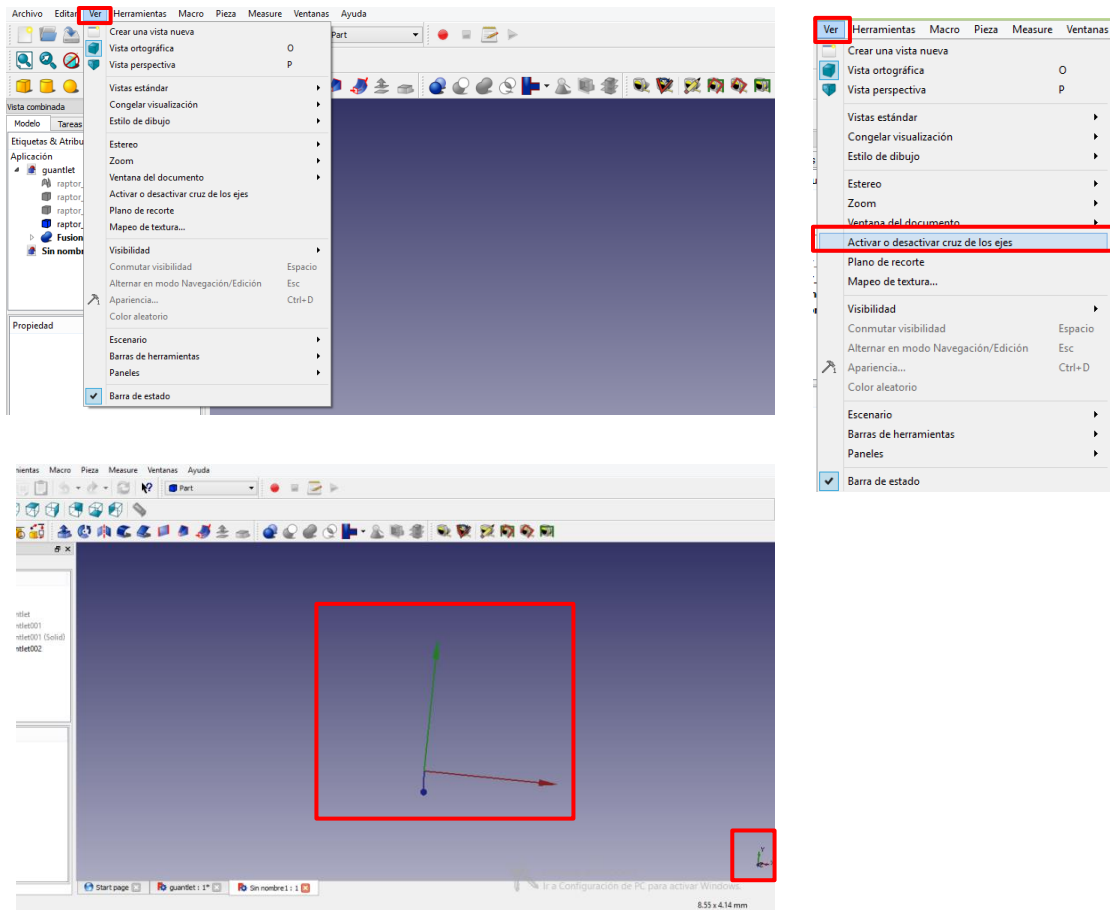


Automàticament es va obrir a la columna de l'esquerra la secció de *tasks* amb la possibilitat de poder canviar el grossor en el *length* . Un cop vaig posar el gruix que volia vaig donar a acceptar i la figura va agafar volum.



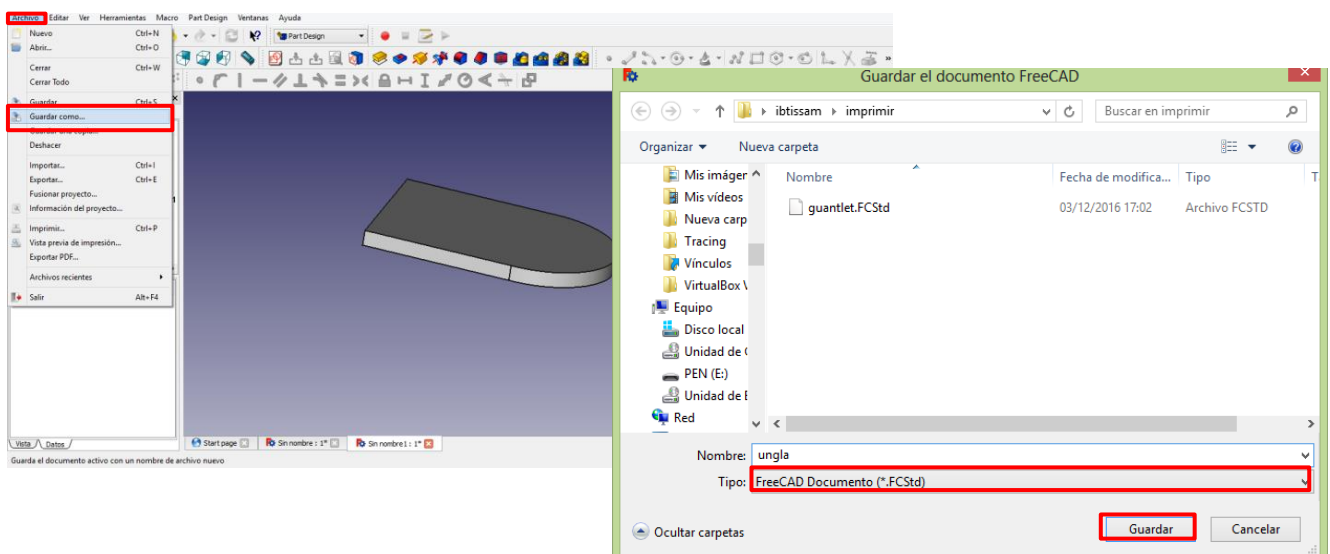
Annex 8: Visibilitat dels eixos de coordenades

Per unir dues peces va ser necessari que aquestes estiguessin en contacte, per aquest motiu vaig moure les peces per a que coincideixin. Per fer una modificació en l'espai es fa variant la seva posició en els eixos (x,y,z). Per a facilitar-me aquest procés vaig fer visibles el sistema de referència entrant dintre del menú de *view* i clicant a *toggle axis cross*. L'activació de la visibilitat del sistema de referència es un pas manual que s'ha de fer sempre que s'obri una finestra nova.

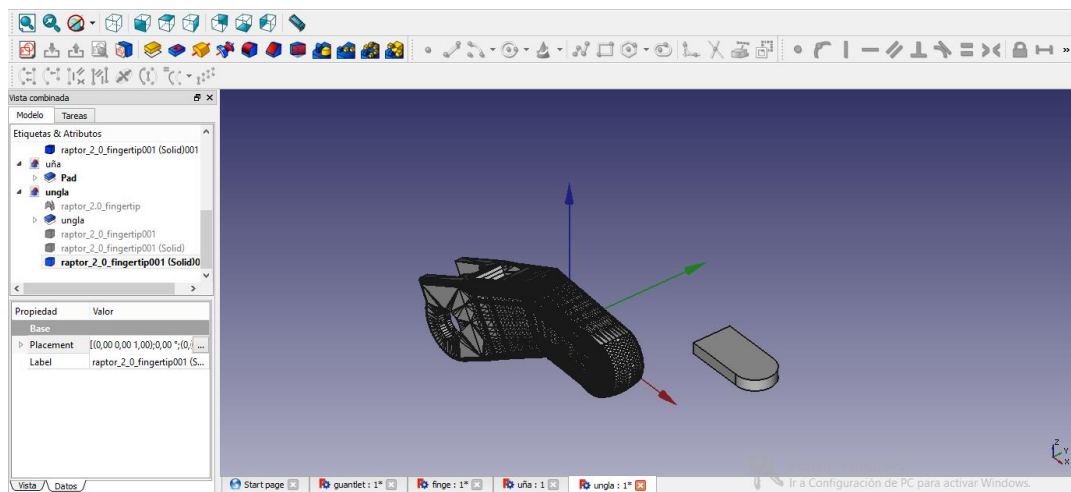
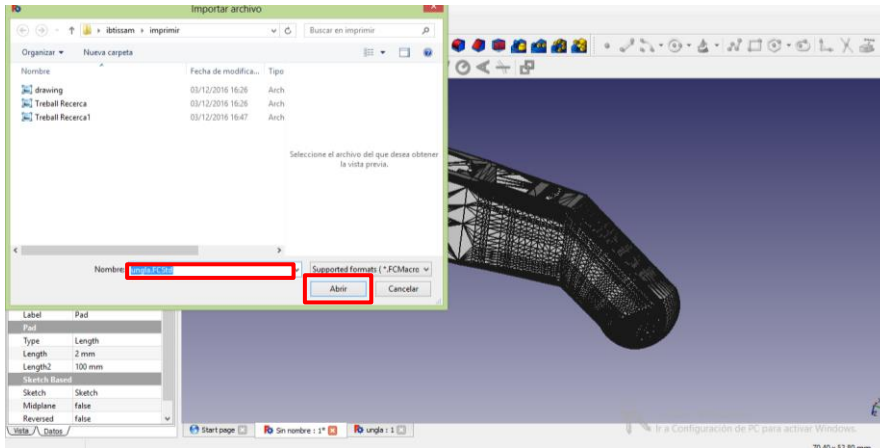


Annex 9: Inserció de textos i ungl

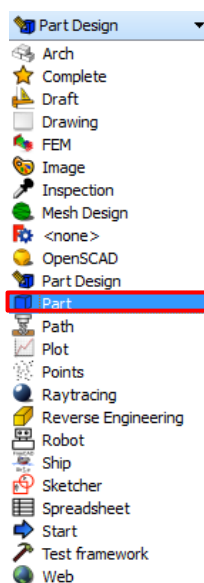
Per inserir un text o l'ungla a una peça de la pròtesis vaig haver d'obrir els arxius que feien falta en una mateixa finestra del FreeCad, sempre dintre de la secció *part* del banc de treball. Calia guardar un dels arxius



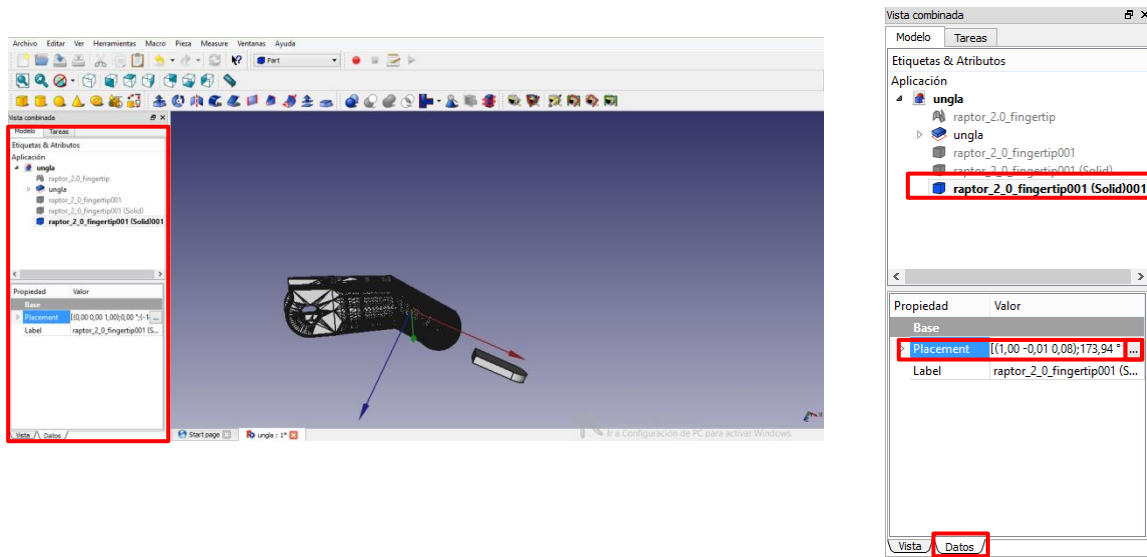
Posteriorment importar-lo a la finestra on s'hi trobava la part de la pròtesis.



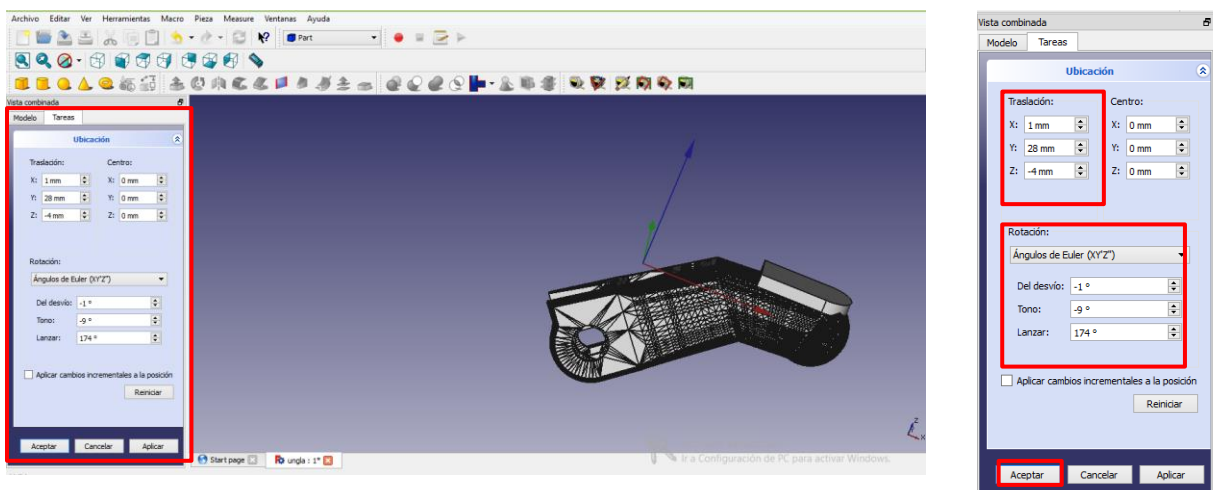
Per desplaçar les figures cal tornar a la secció de *part*.



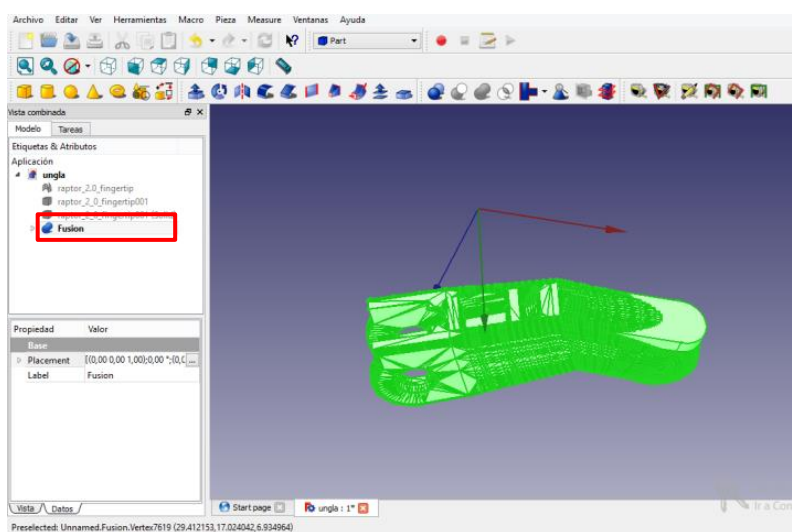
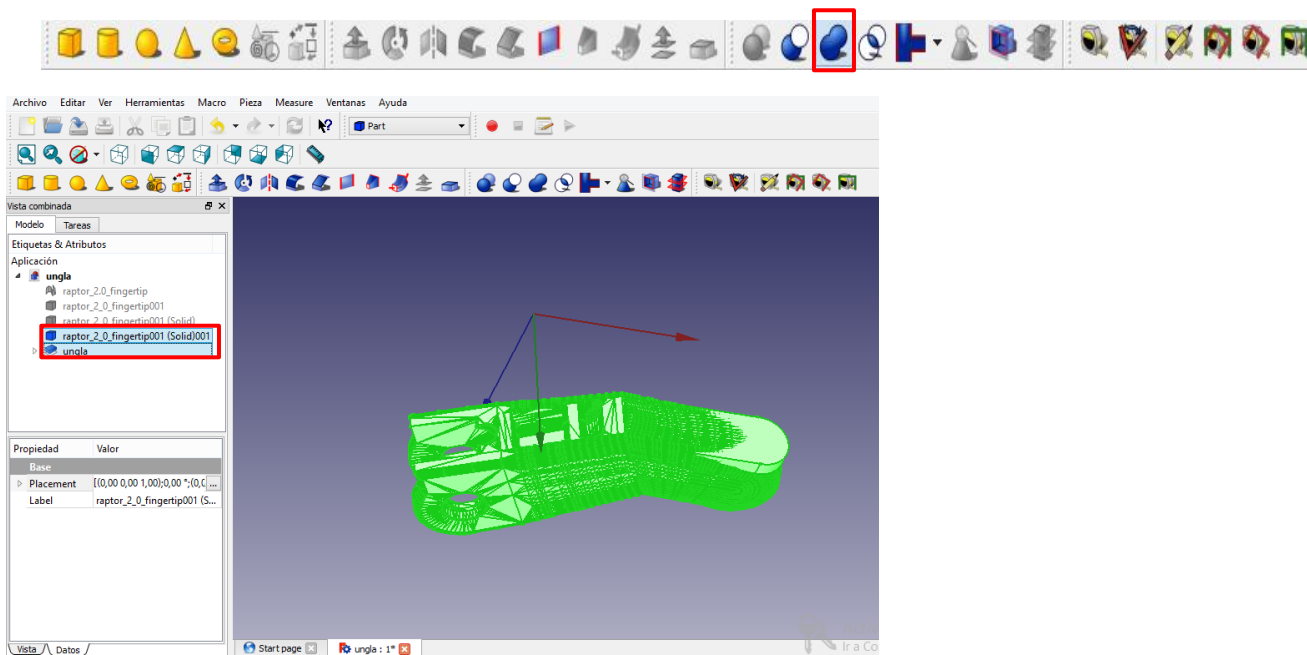
Dintre vaig seleccionar el text a la columna de l'esquerra. En la mateixa zona a la part inferior apareix una pestanya que hi posa *data*. Quan hi vaig clicar es van obrir les configuracions d'algunes propietats del text seleccionat. Un d'ells i el que més m'interessava era el de *placement* on pots configurar la posició de la figura seleccionada.



Vaig clicar en els punts suspensius que es troben al costat de la paraula *placement*. S'obra la configuració de posició de la figura. Un cop obert, vaig començar a modificar la posició del dit fins que es va situar en el lloc precís sota l'ungla (l'ungla no la vaig moure perquè no em deixava.). Es necessari clicar *OK* al finalitzar per a que el dit es quedi fixa en aquell lloc , si no es feia així, al sortir del panel tornava a la seva posició inicial.



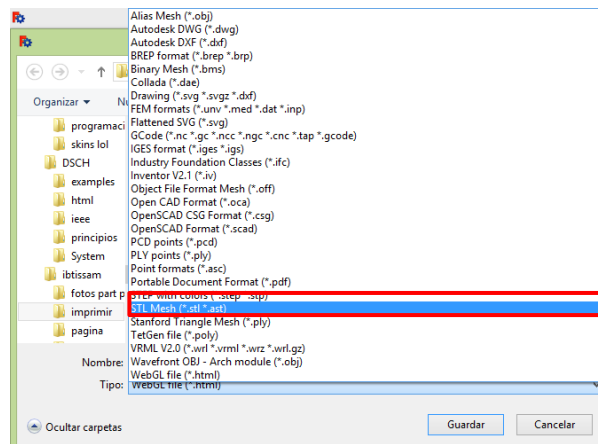
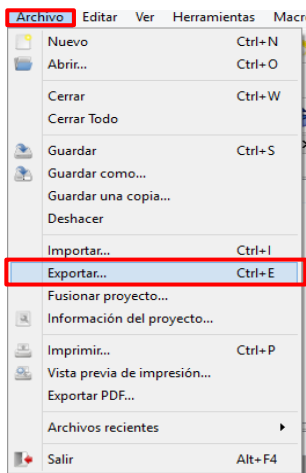
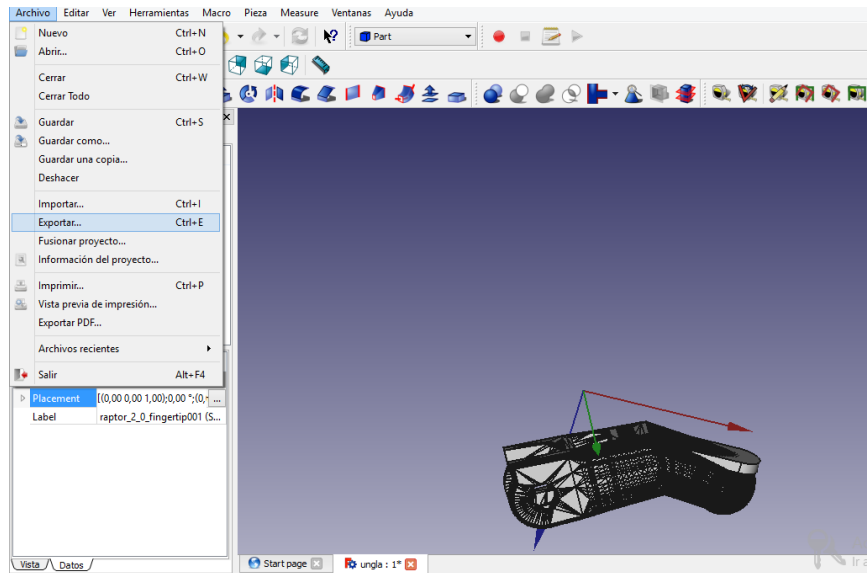
Ara estaven junts, però seguien sent independents. El següent pas va consistir en unir les dues peces en una sola. Selecció dels dos objectes, el ordre no importava en aquest cas, i prement el símbol d'unió. Posteriorment i de manera automàtica es va formar un sol objecte.



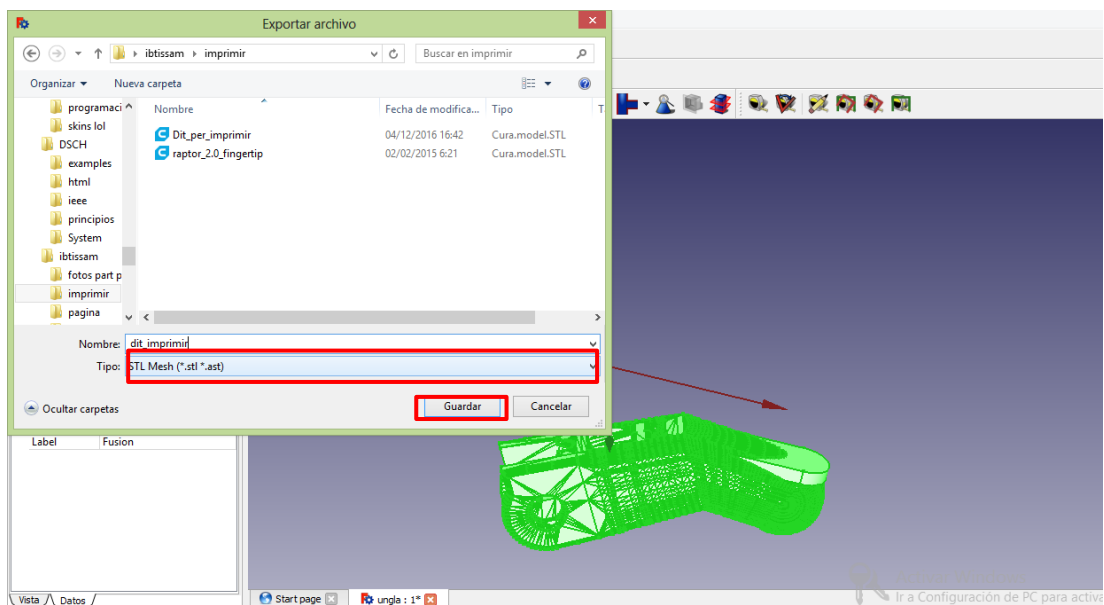
El mateix procés es va fer pel text, però en comptes de moure la peça de la pròtesi per inserir el text, vaig moure el text.

Annex 10: Arxiu FreeCad a format G-Code

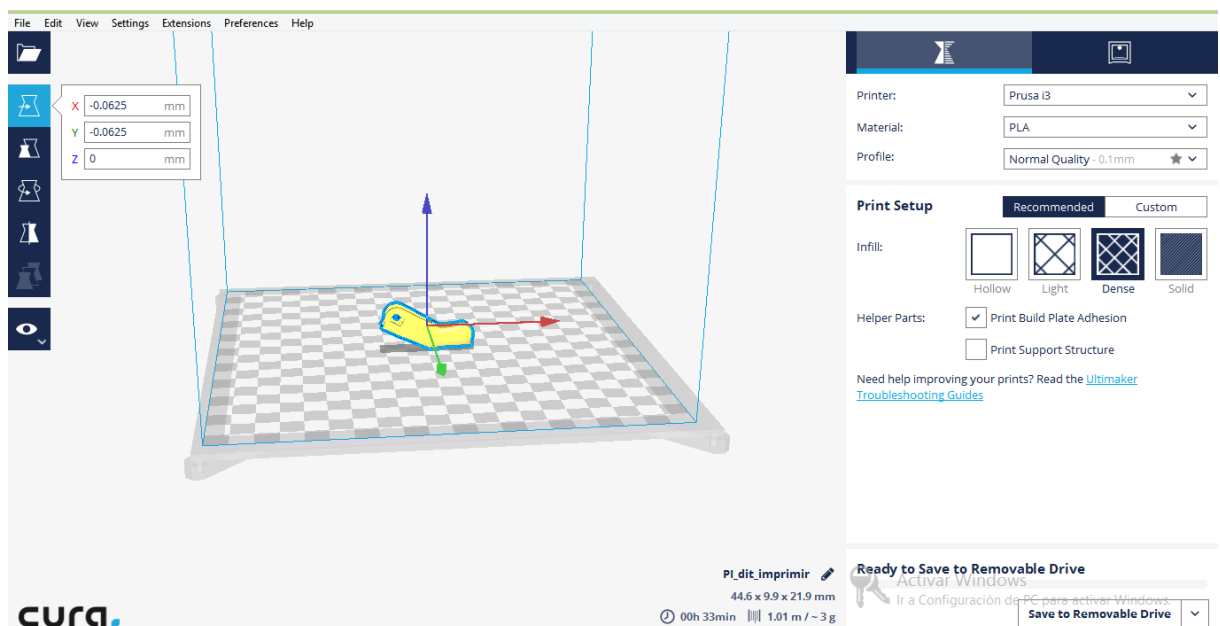
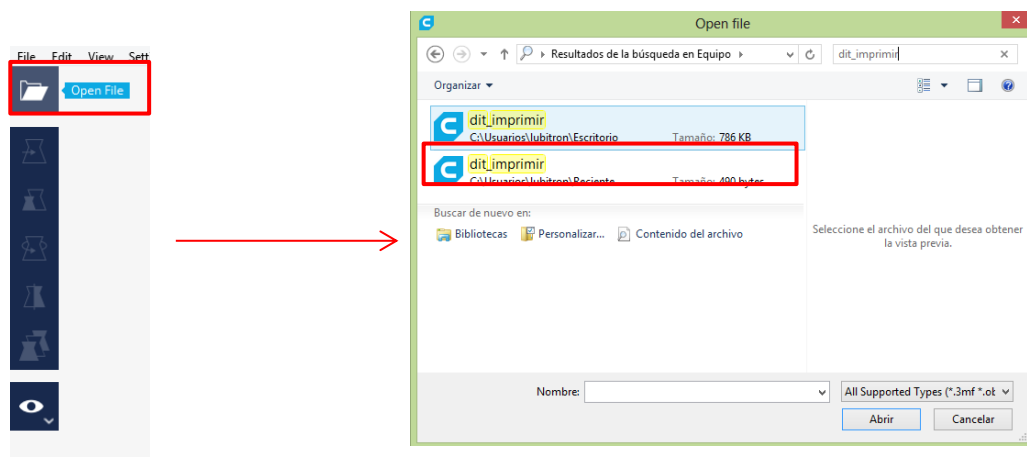
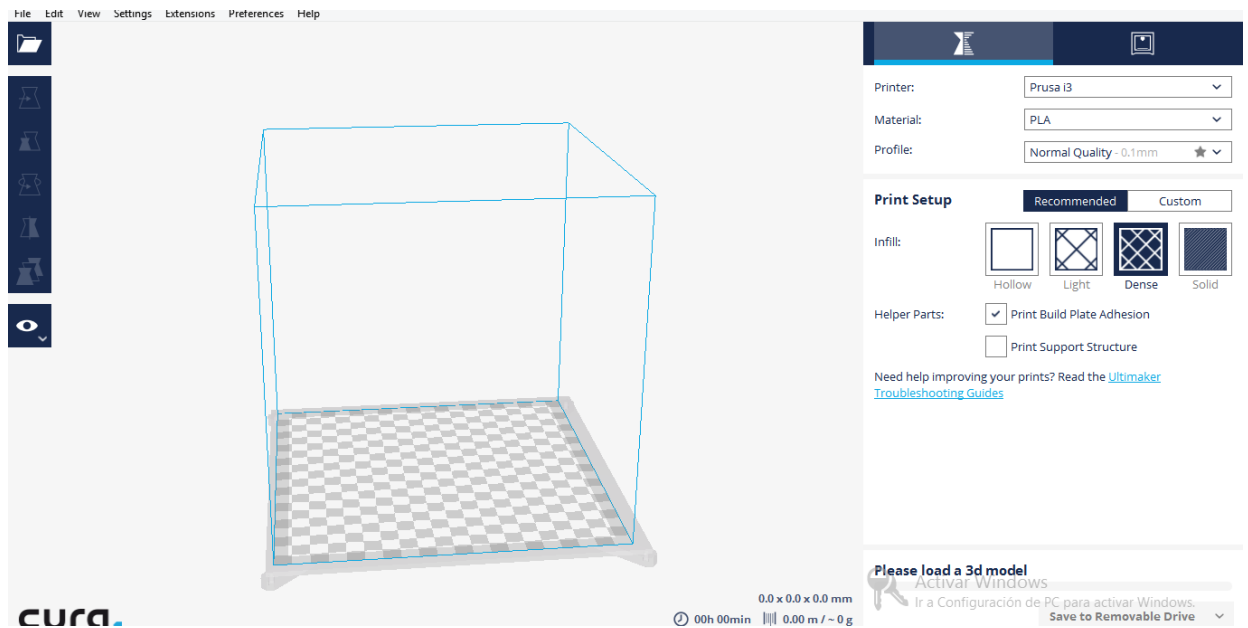
Un cop vaig tenir la fusió feta, vaig exportar la peça i no vaig guardar-la, s'ha de fer així ja que quan es guarda un disseny en FreeCad s'emmagatzema en format FCStd.org, en canvi quan s'exporta es pot guardar l'arxiu en diferents formats. El que necessitava jo per obrir l'arxiu en el laminador



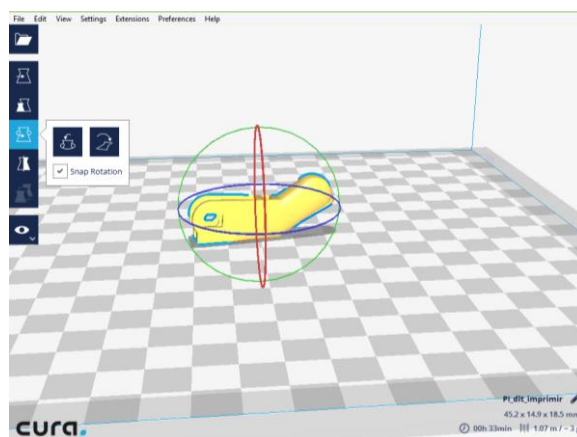
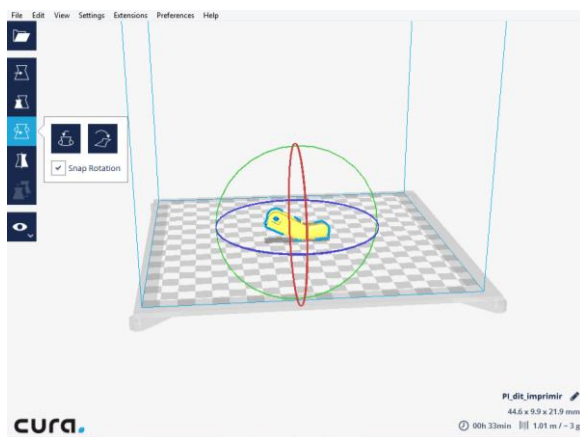
Cura va ser el format STL, així que vaig exportar el disseny en aquest format.



Posteriorment, vaig obrir el Cura per importar l'arxiu des d'una carpeta. Dintre de cura vaig clicar a la icona de la carpeta per a que s'obris.



Un cop obert l'arxiu al cura vaig modificar la seva posició per a que la impressió es produeixi de forma correcta. Per modificar la posició cal clicar sobre de la peça, en aquest cas un dit. La variació de la posició del dit es produeix gracies a les rotacions en els tres eixos (x,y,z).



Amb la posició de la peça per imprimir vaig adaptar els paràmetres d'impressió que apareixen en la columna de la dreta.

Els paràmetres recomanats per imprimir la Raptor Hand són:

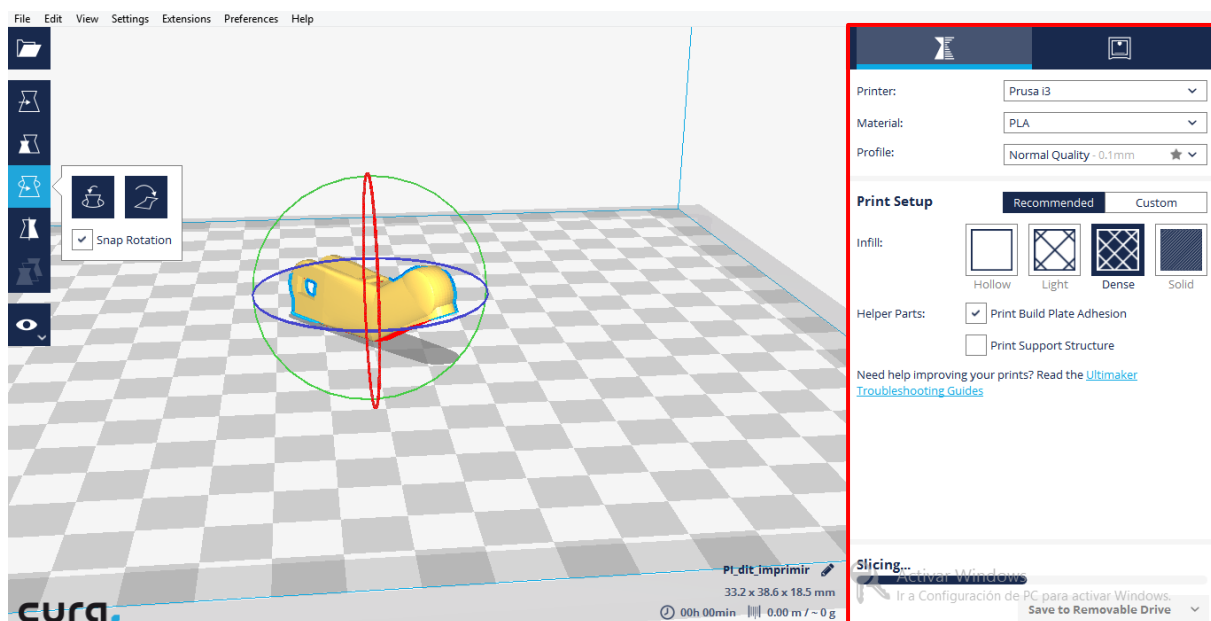
PLA (o ABS, PET, Nylon)

0.2mm capes

2 gruix de la paret externa

35% de farciment

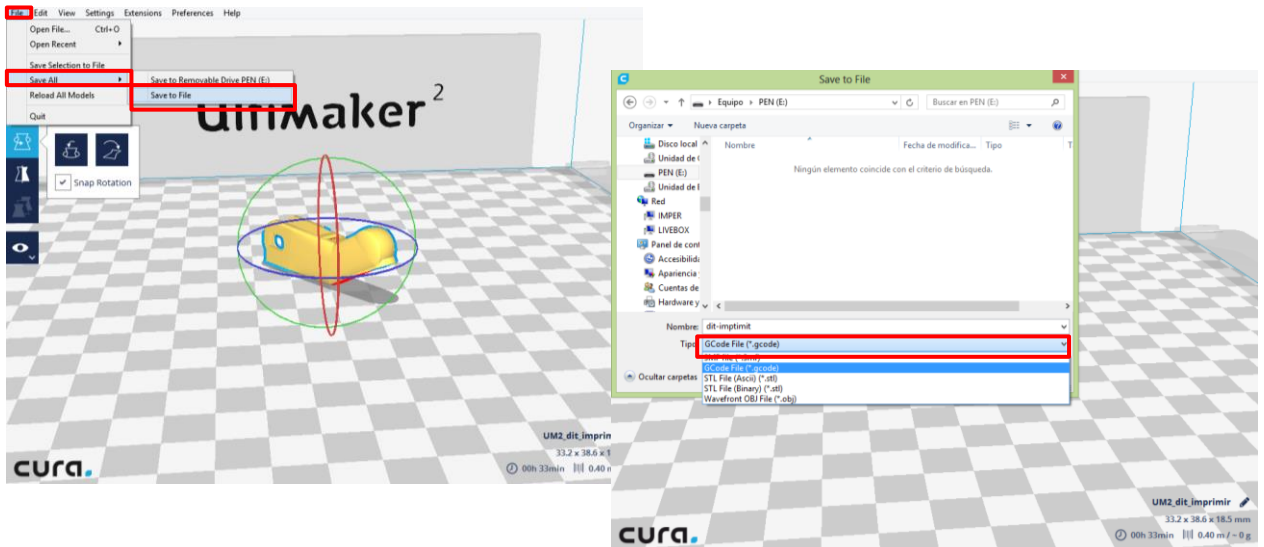
ventilador de refrigeració activat



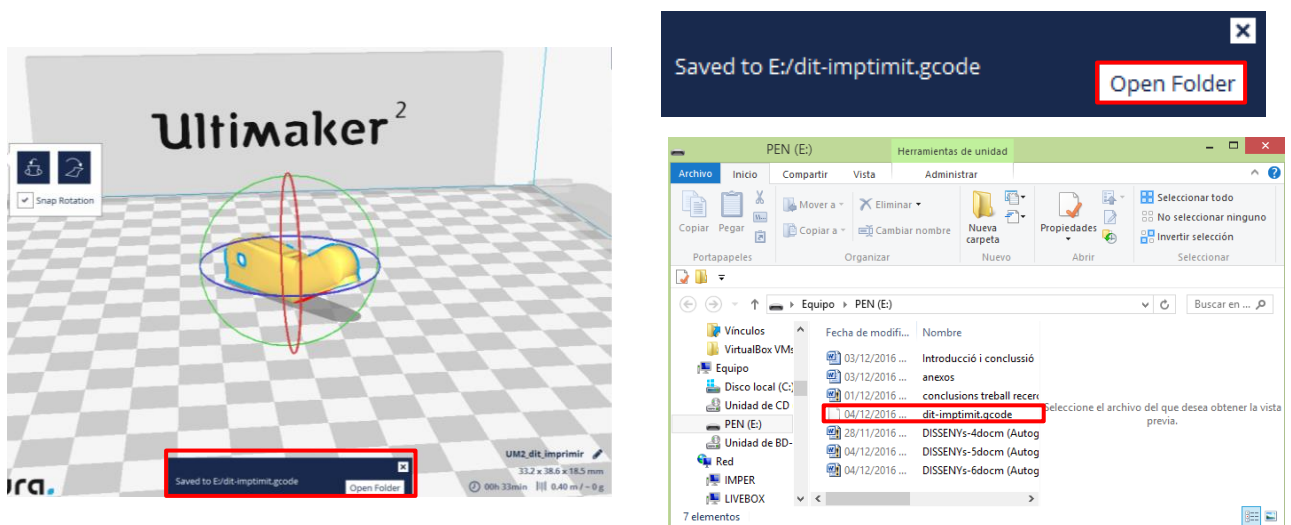
Aquest últim pas el vaig fer quan tenia totes les peces distribuïdes en els quatre bed.

Finalitzada la modificació dels paràmetre, només faltava guardar l'arxiu. El arxius que es guarden a partir d'un laminador s'emmagatzemen per defecte en format G-Code, tanmateix, també es pot guardar en altres formats.

Per guardar vaig entrar al menú de *File*, dintre vaig clicar *save all* on em donaven la possibilitat de guardar l'arxiu en el mateix format que s'ha importat i es desar-lo en la mateixa carpeta d'on prové inicialment, o la possibilitat d'exportar-lo en un altre format i en la carpeta que jo volgués. Vaig clicar a la segona opció per desar l'arxiu en format G-Code.



Un cop guardat l'arxiu apareix aquest missatge a la part inferior de la pantalla. Vaig clicar a *open folder* per comprovar que s'havia desat de forma correcta.



24. Bibliografia i webgrafia

Bibliografia:

Kurman, Melba; Lipson, Hod. La revolución de la impresión 3D. Trad. Carmen Aneiros Leira. Madrid: Ediciones Anaya Multimedia, 2015.

Berchon, Mathilde; Luyt Bertier. La impresión 3D. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, SL, 2016 (versió castellana)

Webgrafia:

www.3dnatives.com/es/plasticos-impresion-3d-22072015/

<http://www.cosasdearquitectos.com/2014/04/impresion-3d-por-compactacion-de-o-solidificacion-de-materiales/>

<http://www.areatecnologia.com/informatica/impresoras-3d.html>

<http://www.3dnatives.com/es/impresion-3d-por-estereolitografia-les-explicamos-todo/>

<https://impresoras3dblog.wordpress.com/tag/impresoras-3d-compactacion/>

<https://impresoras3d.com/blogs/noticias/102883975-tipos-de-impresoras-3d>

<http://www.xataka.com/perifericos/estas-son-las-tecnologias-de-impresion-3d-que-hay-sobre-la-mesa-y-lo-que-puedes-esperar-de-ellas>

<http://www.pantur.es/>

<https://telecotowalk.wordpress.com/2013/11/01/la-historia-del-futuro-industrial-como-surgio-la-impresion-3d/>

<http://www.impresoras-3d.info/historia-de-las-impresoras-3d/>

<https://caminstech.upc.edu/ca/blog/impresio3D>

<https://impresoras3d.com/blogs/noticias/102883975-tipos-de-impresoras-3d>

<https://www.fayerwayer.com/2013/07/los-7-usos-mas-innovadores-de-las-impresoras-3d/>

<http://ounae.com/25-usos-impresoras-3d-aplicaciones-increibles/>

<https://www.bbvaopenmind.com/las-aplicaciones-mas-creativas-de-la-impresion-3d/>

<http://www.3dnatives.com/es/top-10-impresion-3d-arte-30062016/>

<http://www.in3dustry.com/en/home>

<http://www.freecadweb.org/>

http://www.learobotics.com/wiki/index.php?title=Obijuan_Academy

<file:///C:/Users/pc0/Downloads/impressio%203d%20treball%20barcelona%20activa.pdf>

<https://prezi.com/2x-ipoky7tbu/mundo-maker/>

<https://prezi.com/2x-ipoky7tbu/mundo-maker/>

<http://enthings.com/software-3d/software-para-impresoras-3d/>

Cost d'una pròtesis: <http://www.manosydedos.com/precios.html>

Mediagrafia:

Canales i vídeos de youtube:

https://www.youtube.com/watch?v=LTGqYsXL3DI&list=LLLE6RWTvhdOfEjfbt_0j_gQ&index=28

https://www.youtube.com/playlist?list=PLgNLmknayaj4t-lgsR2_4hMH2EZgDmLu

<https://www.youtube.com/watch?v=khE072FW6KE>

<https://www.youtube.com/watch?v=cSAoOhaxoaI>

https://www.youtube.com/watch?v=yo9yt4Ba9LI&index=41&list=LLLE6RWTvhdOfEjfbt_0j_gQ

Primera temporada:

https://www.youtube.com/playlist?list=PLmnz0JqIMEzWQV-3ce9tVB_LFH9a91YHf

Segona temporada:

<https://www.youtube.com/playlist?list=PLmnz0JqIMEzUqEM-nxqhZoDaqszVXijOb>

Pròtesis:

<https://fablabmadridceu.com/2016/05/17/fabricacion-de-protesis-para-ninos/>

<http://m.eldiariomontanes.es/sociedad/salud/investigacion/201507/26/protesis-alcance-mano-20150726204151-rc.html>

<http://www.galileo.edu/noticias/u-galileo-y-estudiantes-de-ingenieria-donan-protesis-%E2%80%9Cgalileo-hand%E2%80%9D/>

<http://enablingthefuture.org/>

