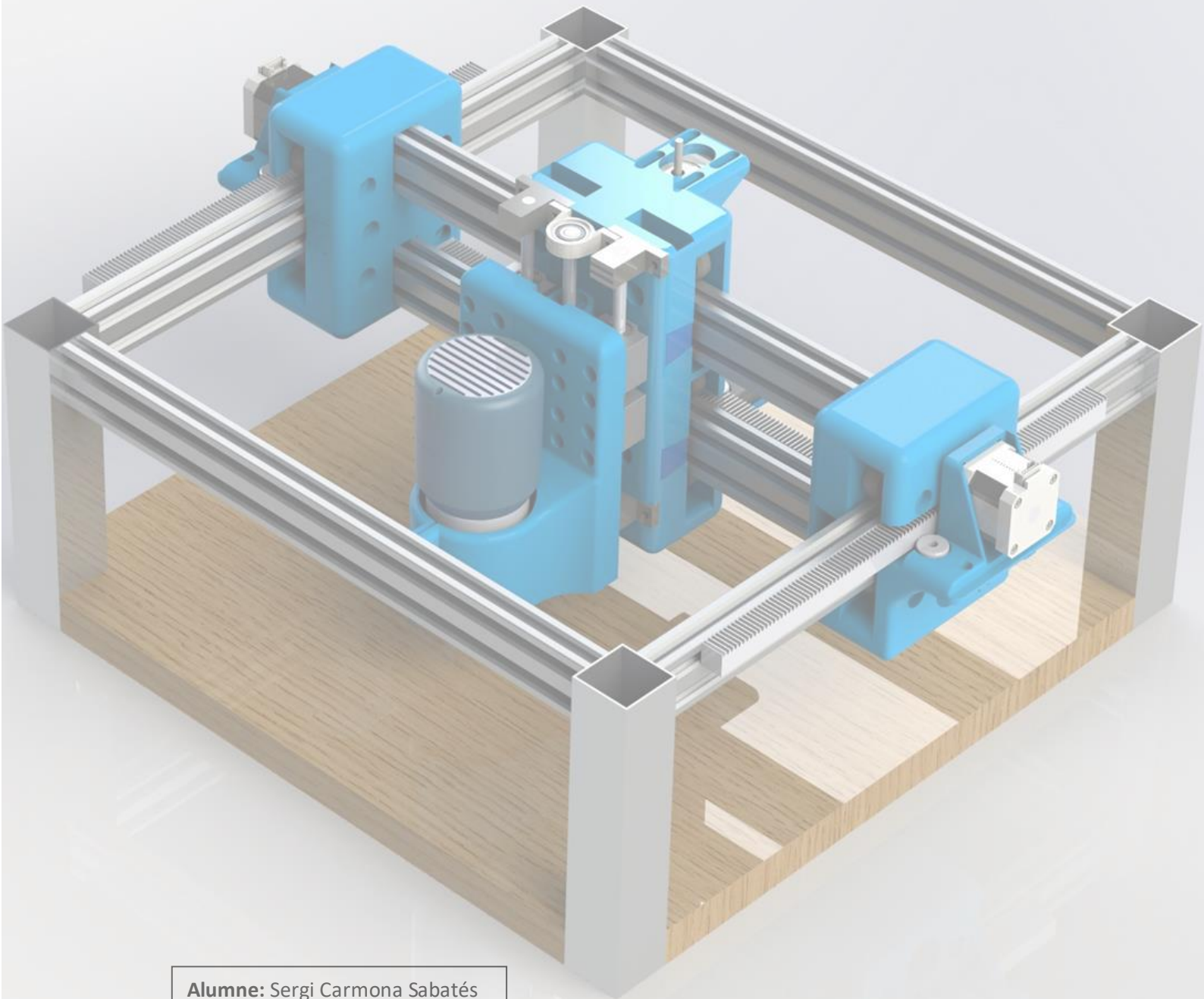




Disseny i Construcció d'una CNC controlada per Arduino



Alumne: Sergi Carmona Sabatés
Tutor: Pau Suy
Centre: INS Vilablareix
Curs: 2n Batxillerat B

20/10/2022

Resum

Gràcies a l'interès per la robòtica s'ha decidit fer aquest treball de recerca, aquest es basa en dissenyar i muntar una fresadora CNC controlada per Arduino des de zero que sigui capaç de desplaçar-se amb precisió.

Durant el desenvolupament del treball s'ha cercat informació sobre el funcionament de les fresadores CNC i els seus components, després mitjançant una llicència d'estudiants de SolidWorks s'han dissenyat les peces fent servir els coneixements apresos anteriorment. Quan totes les peces han estat dissenyades s'han acoblat a través de SolidWorks, a continuació, hi ha hagut l'etapa d'impressió de les peces per posteriorment poder-les acoblar com una màquina tangible i funcional. Per acabar, s'ha pogut comprovar que es pot dissenyar i muntar una CNC funcional utilitzant un Arduino amb un preu no gaire elevat.

Resumen

Gracias al interés por la robótica se ha decidido realizar este trabajo de investigación, este se basa en diseñar y montar una fresadora CNC controlada por Arduino desde cero que sea capaz de desplazarse con precisión.

Durante el desarrollo del trabajo se ha buscado información sobre el funcionamiento de las fresadoras CNC y sus componentes, después mediante una licencia de estudiantes de SolidWorks se han diseñado las piezas utilizando los conocimientos aprendidos anteriormente. Cuando todas las piezas han sido diseñadas se han ensamblado a través de SolidWorks, a continuación, ha habido la etapa de impresión de las piezas para después poderlas ensamblar como una máquina tangible y funcional.

Por último, se ha podido comprobar que se puede diseñar y montar una CNC funcional utilizando un Arduino con un precio no muy elevado.

Abstract

Thanks to the interest in robotics, it has been decided to carry out this research assignment, which is based on designing and assembling an Arduino-controlled CNC milling machine from scratch that can move with precision.

During the development of the work, information has been sought on the operation of CNC milling machines and their components, then through a SolidWorks student license the parts have been designed using the knowledge previously learned. When all the pieces have been designed and assembled through SolidWorks, then there has been the stage of printing the pieces so that they can later be assembled with a tangible and functional machine.

Finally, it has been verified that a functional CNC can be designed and assembled using an Arduino with a not exceedingly high price.

Agraïments

Abans de començar amb el TDR voldria agrair a totes les persones que m'han ajudat en el seu desenvolupament.

A la primera persona que li vull donar les gràcies és en Marc Camacho, entrenador de robòtica durant molts anys, ell va ser qui em va donar la idea de fer una CNC com a TDR, també em va donar una llicència de SolidWorks per dissenyar les peces en 3D i un cop les peces van estar dissenyades ell va imprimir les primeres versions amb una impressora 3D.

A continuació també dono les gràcies a en Roger Reset, alumne de 2n de batxillerat del FEDAC Sant Narcís que m'ha ajudat molt a imprimir les peces definitives del treball.

També dono gràcies a la meva família, especialment a la meva mare i al meu tiet, la meva mare ha fet possible la construcció d'aquesta CNC finançant el treball i el meu tiet m'ha ajudat a mecanitzar diferents peces com tallar-les, foradar-les o fer-los una rosca.

Uns altres agraïments van cap a l'escola FEDAC Sant Narcís per deixar-me un espai durant l'estiu per poder treballar en el TDR i també dono gràcies en aquest institut, INS Vilablareix, per deixar-me la impressora 3D.

Finalment, dono gràcies a en Jordi Collell i en Pau Suy per ser els meus tutors i anar-me guiant en aquest treball.

Índex

<u>1</u>	<u>INTRODUCCIÓ</u>	<u>10</u>
1.1	MOTIVACIONS	11
1.2	HIPÒTESI	11
1.3	OBJECTIUS	11
1.4	METODOLOGIA DEL TREBALL	12
<u>2</u>	<u>MARC TEÒRIC</u>	<u>13</u>
2.1	CNC	13
2.1.1	EL TORN	13
2.1.2	EL LÀSER	13
2.1.3	LA FRESADORA	14
2.2	CONTROLADOR	14
2.2.1	ORDINADORS DE PLACA	14
2.2.1.1	Raspberry	14
2.2.2	MICROCONTROLADORS	15
2.2.2.1	Micro Bit	15
2.2.2.2	Arduino	15
2.2.3	CNC SHIELD	16
2.3	CAM	16
2.3.1	INTERPRETADOR DE COMANDES	16
2.4	MOTORS	17
2.4.1	MOTOR DE CC	17
2.4.1.1	El servo motor	18
2.4.1.2	El motor pas a pas	18
2.4.2	MOTOR DE CA	19
2.5	DESPLAÇAMENT LINEAL	20
2.5.1	MECANISMES LINEALS AMB MOTORS	20
2.5.1.1	Eix òptic d'avanç	21

2.5.1.2	Corretja	21
2.5.1.3	Cremallera	21
	CAD	22
2.6	IMPRESSIÓ 3D	22
2.6.1	MATERIALS D'IMPRESSIÓ 3D, PLÀSTICS	22
3	MARC PRÀCTIC	23
3.1	METODOLOGIA DEL PROCÉS DE CREACIÓ	23
3.2	DISSENY MECÀNIC	25
3.2.1	L'ESTRUCTURA	25
3.2.2	MOVIMENT EN ELS EIXOS DE COORDENADES	26
3.2.3	PECES 3D	26
3.2.3.2	Optimització de les peces	30
3.2.3.3	Disseny de les peces	31
3.3	ASSEMBLATGES	31
3.4	ENGINYERIA DE REQUERIMENTS	31
3.4.1	SISTEMA DEL CONTROL MOTRIU I ALIMENTACIÓ	32
3.4.1.1	Arduino Uno i les plaques d'extensió	32
3.4.1.2	Motors pas a pas	32
3.4.1.3	Alimentació	32
3.5	CALIBRACIÓ I TALL DE PECES	32
3.5.1	GRBL, <i>UNIVERSAL G-CODE SENDER</i>	32
3.5.2	TALL DE PECES, <i>FUSION 360</i>	33
3.6	ANÀLISI DE RESULTATS	34
3.6.1	PROVA 1	34
3.6.2	PROVA 2	34
3.7	ANÀLISI DE COSTOS	37
4	CONCLUSIONS	38
5	FONTS D'INFORMACIÓ	39

6	GLOSSARI	41
6.1	ROBÒTICA	41
6.2	TECNOLOGIA	41
7	ANNEXES	42
7.1	ANNEX 2, AVANTATGES I INCONVENIENTS DELS ENGRANATGES RECTES I HELICOIDALS	42
7.2	ANNEX 1, PROPIETATS DELS PLÀSTICS	43

Índex figures

Figura 1. Torn. Font: Premium Parts.	13
Figura 2. Gràfiques parell motor-corrent velocitat-parell motor. Font. Mecatronica LATAM	17
Figura 3. Eix òptic d'avanç. Font. Elaboració pròpia.	21
Figura 4. Procés tecnològic. Font. Elaboració pròpia	23
Figura 5. Esbós aguanta rodament. Font. Elaboració pròpia	24
Figura 6. Esbós carril CNC eix Y. Font. Elaboració pròpia	24
Figura 7. Esbossos carril CNC eix Y i aguanta rodament. Font. Elaboració pròpia	24
Figura 8. Peces necessàries per muntar l'estructura. Font. Elaboració pròpia	24
Figura 9. Tall de la base per fer les mides optimes. Font. Elaboració pròpia	24
Figura 10. Base amb els 4 subjecta perfils i les 4 potes. Font. Elaboració pròpia	24
Figura 11. Estructura interna de la CNC. Font. Elaboració pròpia	24
Figura 12. Esbós idea 1. Font. Elaboració pròpia.	25
Figura 13. Esbós idea 3. Font. Elaboració pròpia.	25
Figura 14. Esbós idea 2. Font. Elaboració pròpia.	25
Figura 15. Esquema de l'estructura de la CNC vist de perfil. Font. Elaboració pròpia.	26
Figura 16. Eixos X Y Z. Font. Elaboració pròpia	26
Figura 17. Render Carril CNC eix X v2. Font. Elaboració pròpia.	27
Figura 18. Render Carril CNC eix X v1. Font. Elaboració pròpia.	27
Figura 19. Render Carril CNC eix X v3. Font. Elaboració pròpia.	27
Figura 20. Eix X. Font. Elaboració pròpia.	27
Figura 21. Eix Y. Font. Elaboració pròpia.	28
Figura 22. Render Carril CNC eix Y. Font. Elaboració pròpia.	28
Figura 23. Eix Z. Font. Elaboració pròpia.	28
Figura 24. Render Carril CNC eix Z. Font. Elaboració pròpia.	28
Figura 25. Render Tap v1. Font. Elaboració pròpia.	28
Figura 26. Render Tap v.2 Font. Elaboració pròpia.	28
Figura 27. Render Suport motor v1. Font. Elaboració pròpia.	29
Figura 28. Render Suport motor v2. Font. Elaboració pròpia.	29
Figura 29. Render Suport motor v2. Font. Elaboració pròpia.	29
Figura 30. Render aguanta rodament v2. Font. Elaboració pròpia.	29
Figura 31. Render aguanta rodament v3. Font. Elaboració pròpia.	29
Figura 32. Render aguanta rodament v1. Font. Elaboració pròpia.	29
Figura 33. Render subjecta perfil. Font. Elaboració pròpia.	30
Figura 34. Render pota. Font. Elaboració pròpia.	30
Figura 35. Carril CNC eix X + Suport motor + Aguanta rodament. Font. Elaboració pròpia.	30

<i>Figura 36. Carril CNC eix Y + Suport motor + Aguanta rodament. Font. Elaboració pròpia.</i>	30
<i>Figura 37. Planta del carril CNC eix X per veure el trau colís per ajustar les mides del motor. Font. Elaboració pròpia</i>	31
<i>Figura 38. Perfil carril CNC eix Y estructura, triangles i suports</i>	31
<i>Figura 39. Foto Arduino + CNC Shield + drivers. Font. Elaboració pròpia.</i>	32
<i>Figura 40. Seqüència de tall d'una peça. Elaboració pròpia.</i>	33
<i>Figura 41. Primera prova del funcionament de la CNC. Font. Elaboració pròpia</i>	34
<i>Figura 42. Mesura de la distància amb peu de rei. Font. Elaboració pròpia</i>	35
<i>Figura 43. Gràfic de la prova 2. Font. Elaboració pròpia</i>	36

Índex taules

<i>Taula 1. Comparació entre Arduino Micro, Uno i Mega. Font: Arrow (2017)</i>	16
<i>Taula 2. Comparació dels diferents firmwares per controlar CNC. Font. Elaboració pròpia.</i>	17
<i>Taula 3. Comparació motors pas a pas. Font. Maquinarilliura</i>	19
<i>Taula 4. Taula d'anàlisi de l'error en l'eix X. Font. Elaboració pròpia</i>	36
<i>Taula 5. Taula d'anàlisi de l'error en l'eix Y. Font. Elaboració pròpia</i>	36
<i>Taula 6. Anàlisi de costos. Font. Elaboració pròpia.</i>	37
<i>Taula 7. Avantatges i inconvenients dels engranatges rectes. Font. CRL</i>	42
<i>Taula 8. Avantatges i inconvenients dels engranatges helicoidals. Font. CRL</i>	43
<i>Taula 9. Propietats del PLA. Font: Daniel Cusí</i>	43
<i>Taula 10. Propietats de l'ABS. Font. Daniel Cusí</i>	43
<i>Taula 11. Propietats del PETG. Font. Daniel Cusí</i>	44
<i>Taula 12. Propietats del Niló. Font. Daniel Cusí</i>	44
<i>Taula 13. Propietats del TPU. Font. Daniel Cusí</i>	44
<i>Taula 14. Taula 10. Propietats del PC Policarbonat. Font. Daniel Cusí</i>	44

1 Introducció

Fa molts anys que els humans van començar a desenvolupar tecnologia amb la finalitat de tenir una vida més fàcil, còmode i segura. Tanmateix, el punt d'inflexió va ser amb la Revolució Industrial on la societat requeria un augment de la productivitat de les fàbriques per tal de donar cobertura a tota la demanda que hi havia. Per aquest motiu, les màquines industrials van començar a ser cada vegada més presents perquè podien mecanitzar peces de manera ràpida, precisa i econòmica. Això va anar en detriment de les persones que van anar adaptant els seus llocs de feina a les necessitats que es generaven.

Actualment, vivim en un món cada vegada més globalitzat i això afecta també a la productivitat. Empreses com Amazon han vist la necessitat de millorar la seva capacitat logística a través dels robots per tal de satisfer la immediatesa en l'entrega de productes que demanda la societat actual. Això ha fet que la societat estigui immersa en un procés de robotització de tots els àmbits productius.

Cal tenir en compte que, per exemple, SEAT produeix 2100 vehicles diàriament. Aquests, comencen essent un tros de planxa metàl·lica que cal ser tallada i manipulada a través de robots amb làsers, fresadores o amb aigua a pressió. El seu preu és elevat, però garanteixen una productivitat per sobre del que pot fer una persona amb eines manuals. El problema és que aquests robots estan fora de l'abast econòmic de les persones aficionades al món "maker" i de construcció de projectes tecnològics propis.

Per aquest últim motiu, per aconseguir fer arribar a tothom eines que puguin permetre desenvolupar projectes, però a un preu assumible, en aquest treball es presenta el disseny i l'assemblatge d'una fresadora per control numèric econòmica i accessible per a tothom. Es presenten els models 3D per tal de poder-los replicar amb una impressora 3D i la resta de materials es poden obtenir a través dels distribuïdors habituals com Amazon, ferreteries...

1.1 Motivacions

Fa 10 anys, quan feia 3r de primària, vaig començar a fer robòtica a través de l'escola que anava, FEDAC Sant Narcís. Allà em vaig iniciar en aquest món que em va portar a 5è de primària a competir a la First Lego League i a viatjar els següents anys a Logroño, Tenerife i quedar 3r d'Espanya. En tot aquest recorregut, vaig anar descobrint el que realment m'agradava: dissenyar mecanismes i dur-los a terme.

Els darrers anys he participat en la First Tech Challenge, una competició de robòtica on el material i les construccions són lliures i m'han permès utilitzar impressores 3D, màquines de tall per control numèric, múltiples materials, mecanismes de transmissió de moviments, components electrònics... Ara, i a través del repte que em va llençar en Marc Camacho, l'entrenador que teníem l'any passat, m'he decidit a dissenyar i construir la meva pròpia fresadora CNC. M'ho he agafat com un repte personal que a més em pot servir per determinar si realment la mecànica és el que m'agrada.

1.2 Hipòtesi

Per desenvolupar aquest TDR em vaig plantejar com a hipòtesi:

“És possible dissenyar i muntar una fresadora per CNC, econòmica i amb models reproduïbles amb una impressora 3D.”

La qüestió principal és demostrar que amb els coneixements que he anat adquirint amb la meva experiència en el món de la robòtica em serveixen per dur a terme un projecte que és ambiciós i d'una alta complexitat. Els models 3D seran de creació pròpia i tot el que es pugui crear, es farà d'aquesta manera.

1.3 Objectius

Els objectius que s'han proposat aconseguir:

- Dissenyar peces funcionals que assemblades siguin una CNC.
- Muntar la CNC amb un preu assumible per tothom.
- Fer que es mogui la CNC.

Mirant els dos objectius anteriors, l'objectiu final serà:

- Aconseguir que la fresadora es mogui de manera precisa.

Els objectius estan col·locats de manera que sense fer l'anterior no es pot fer el següent, així queden objectius petits per anar avançant de mica en mica i deixar més marcat el procés a seguir.

1.4 Metodologia del treball

Per poder arribar a assolir els objectius prèviament esmentats cal tenir uns coneixements previs, ja que no pots començar a fer una cosa sense saber-la aplicar.

- Aprendre a utilitzar eines digitals per la creació de models 3D, en aquest cas va ser el SolidWorks
- Aprendre a imprimir peces amb una impressora 3D a través del cura.
- Contactar amb experts per triar components que s'adeqüin més a la construcció de la CNC.

2 Marc teòric

Per tal de poder realitzar la construcció d'una CNC cal tenir en consideració un seguit d'aspectes i el seu funcionament. Serà llavors quan es puguin analitzar les diferents opcions que hi ha per desenvolupar els diferents apartats. En aquesta primera part del treball s'exposaran les definicions i la teoria dels components i les parts més importants que formen aquest projecte.

2.1 CNC

Les sigles CNC volen dir *Control Numèric per Ordinador*, en anglès *Computer Numerical Control*. Aquestes sigles el que volen dir és una màquina capaç d'executar un conjunt d'accions donades per un ordinador en un sistema de coordenades de diferents eixos.

Les màquines CNC estan dissenyades per treballar en àmbits industrials. El funcionament d'aquestes màquines consisteix en una eina de treball que es pot moure lliurement en els eixos que tingui la màquina, això fa que sigui molt exacte a l'hora de mecanitzar peces amb alta precisió i a costos baixos.

Actualment, existeixen molts tipus de màquines CNC i cadascuna té una funció diferent. A continuació s'exposarà unes quantes d'elles.

2.1.1 El torn

EL torn CNC consisteix en una màquina que se li col·loca una un objecte que es vol mecanitzar, aquest comença a girar a alta velocitat i amb ajuda d'una eina que es pot moure en els eixos X i Y li dona la forma que es desitgi per poder mecanitzar una peça determinada.



Figura 1. Torn. Font: Premium Parts.

2.1.2 El làser

Aquesta màquina CNC consisteix en un làser col·locat verticalment que es pot moure en els eixos X i Y, depèn de la potència que tingui el làser podrà tallar o només podrà gravar coses a la superfície d'un material. Un dels grans inconvenients d'aquest és que té la suficient potència per crear un incendi, per tant, ha d'estar en un entorn controlat.

2.1.3 La fresadora

La fresadora CNC consisteix en un “trepant” situat verticalment que les més senzilles es mou en els eixos X, Y i Z, això vol dir que pot fer figures 3D (donar-li un volum a les peces), no sempre té 3 eixos. En el món industrial n’hi ha amb infinitats d’eixos, és a dir que la fresadora és capaç de girar per donar-li diferents graus a les peces. També moltes d’aquestes en el món industrial poden canviar d’eina en mig d’un procés de mecanització d’una peça per fer diferents formes segons el que li convingui.

2.2 Controlador

Un controlador, es considera el cervell de qualsevol màquina. És el que distribueix les ordres a les diferents parts de la màquina i executa les accions. Hi ha controladors de molts tipus per dur a terme accions de diferents tipus. D’aquests tipus n’hem de distingir dos:

2.2.1 Ordinadors de placa

Els ordinadors de placa són bases preparades per tenir un circuit que porta un microprocessador amb la RAM, memòria que permet fer operacions E/S (entrada/sortida), aquestes operacions són complementàries als processos de dades que realitza la CPU. Aquestes plaques van ser dissenyades per tenir un cost baix i compactes perquè tothom pogués tenir accés en aquesta tecnologia.

En resum del paràgraf anterior els ordinadors de placa són ordinadors només amb els elements essencials perquè pugui funcionar com un ordinador.

Una d’aquestes plaques és:

2.2.1.1 Raspberry

La Raspberry és un ordinador de placa creada el 2011 en el Regne Unit per la Fundació Raspberry Pi amb l’objectiu d’apropar la informàtica a les escoles.

La Raspberry és un dels millors ordinadors de placa del mercat que hi ha actualment, ja que té molts components en una mida molt reduïda de 85 x 53 mm, en aquestes mides aquesta placa consta d’una CPU (Unitat Central de Processament), una GPU (Unitat de Processament Gràfic), una memòria, ports USB, ports d’E/S de vídeo, un

emmagatzematge, connectivitat a internet i s'alimenta a través d'una font d'alimentació, depèn de la versió de la Raspberry aquestes components van variant cada cop cap a millor.

2.2.2 Microcontroladors

Un microcontrolador és un circuit integrat en una placa capaç d'executar les ordres que té guardades a la seva memòria. Els microcontroladors consten d'una unitat central de processament, una memòria i perifèrics d'E/S.

2.2.2.1 *Micro Bit*

Micro Bit és una targeta programable de 4 x 5 cm dissenyada per estimular la programació perquè sigui fàcil i divertida. Aquesta va ser creada per la BBC per utilitzar-la en el regne unit com a eina d'educació informàtica, aquesta va ser llençada al mercat el febrer de 2016.

Aquest microcontrolador conté un processador ARM Cortex-M0, sensors acceleròmetres i magnetòmetre, connectivitat Bluetooth i USB, una matriu de leds de 5 x 5, dos botons programables i pot ser alimentada per USB o per una bateria externa. Les E/S d'aquest microcontrolador es realitzen a través de 5 connectors d'anelles situats a la part inferior.

2.2.2.2 *Arduino*

El microcontrolador Arduino va ser creat l'any 2005 per uns estudiants en l'*Interaction Design Institute Ivrea* (IIDi), Itàlia. Aquest microcontrolador el van crear amb l'objectiu de reduir costos perquè el que utilitzaven en aquells moments costava aproximadament 100 €.

L'Arduino té varis models, alguns d'ells són: l'Arduino Mega, l'Arduino Nano, l'Arduino Uno, l'Arduino Esplora i l'Arduino Leonardo.

A continuació hi ha una taula en la qual es pot comparar les diferències d'aquests Arduinos.

	Arduino Micro	Arduino Uno	Arduino Mega
Dimensions	1,78 x 4,83 cm	6,86 x 5,33 cm	10,16 x 5,33 cm
Processador	ATmega32U4	ATmega328P	ATmega2560
Nº de pins (E/S)	20	14	54
Connector	Micro-USB	USB Tipus A/B	USB Tipus A/B
Voltatge	5V	5V	5V
Compatibilitat shield	No	Si	Si
Cost	20 - 25 €	15 - 20 €	35 - 40 €

Taula 1. Comparació entre Arduino Micro, Uno i Mega. Font: Arrow (2017)

En els pins d'entrada i sortida (E/S) es poden connectar plaques d'expansió, un exemple d'aquestes plaques d'expansió és el shield.

2.2.3 CNC Shield

Perquè un controlador sigui capaç de fer moure els motors es necessita una placa d'expansió, en aquest cas el shield, aquesta pot controlar fins a un màxim de 4 motors. Això ho poden fer gràcies al fet que utilitzen el firmware¹ de l'Arduino i també té 4 llocs per col·locar els divers².

2.3 CAM

El CAM consisteix en la fabricació d'ordres per les màquines CNC per poder mecanitzar una peça.

2.3.1 Interpretador de comandes

Perquè el controlador entengui les ordres que s'estan demanant aquest ha de tenir un llenguatge que es diu G-code. Perquè el controlador es pugui comunicar amb el hardware³ d'un sistema informàtic es necessita el firmware.

¹ Llenguatge informàtic que utilitzen els ordinadors per entendre's entre ells.

² És el component necessari per poder controlar amb precisió els moviments dels motors.

³ Conjunt d'elements que forment un ordinador.

El firmware té moltes utilitats en el camp de la informàtica, però els necessaris per a aquest TDR són els que fan funcionar una CNC. A continuació hi ha una taula mostrant les diferències de preus i el controlador que necessites per fer-los funcionar .

	grbl	Mach3	Linux CNC
Controlador	Arduino	Windows PC	PC
Cost	Gratuït	200 €	Gratuït

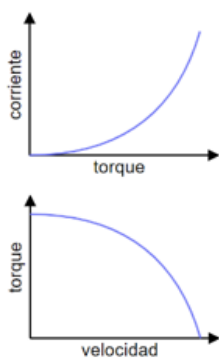
Taula 2. Comparació dels diferents firmwares per controlar CNC. Font. Elaboració pròpia.

2.4 Motors

Els motors són un aparell electrònic dissenyat per crear un moviment circular a partir d'una font d'energia. Alguns dels diferents models són:

2.4.1 Motor de CC

Els motors de CC són molt utilitzats en dissenys d'enginyeria gràcies a les característiques de parell motor – velocitat. Els grans avantatges d'aquests motors són que es poden controlar amb suavitat i la majoria són reversibles amb la capacitat de respondre amb rapidesa als canvis de sentit.



Aquestes gràfiques representen el parell motor que poden proporcionar els motors a diferent voltatges i velocitats.

Generalment, els motors generen un gran parell motor a velocitats baixes, això vol dir que per generar un gran parell motor també necessitarà una gran demanda de corrent.

El parell motor d'arrencada o parell motor crític: Aquest es el parell motor màxim que pot generar el motor en parat.

Figura 2. Gràfiques parell motor-corrent velocitat-parell motor. Font. Mecatronica LATAM

La velocitat de no càrrega: És la màxima velocitat que pot aconseguir un motor sostingut en el temps. Només es possible aconseguir aquesta velocitat quan no s'aplica cap força externa al motor.

2.4.1.1 *El servo motor*

Les principals característiques d'aquest motor són que pot posicionar-se en un lloc dins del seu rang d'operació i mantenir-se en aquella posició, també té la capacitat d'invertir la polaritat de moviment i regular la velocitat.

2.4.1.2 *El motor pas a pas*

El motor pas a pas està dissenyat perquè el rotor giri un angle determinat en funció dels impulsos elèctrics que se li han donat (Conti, 2005) aquests es transformen en moviments circulars molt precisos de fins a $1,8^\circ$.

De motors pas a pas poden haver-hi de tres tipus, cadascun d'aquest funciona d'una manera diferent.

- **Imants permanents:** Aquests motors estan formats per un imant permanent que fa de rotor, aquest està mecanitzat amb un cert nombre de dents (Conti, 2005), el principal avantatge d'aquest motor és que quan no se li dona corrent el rotor no pot girar
- **Reluctància variable:** Aquests motors estan formats per una estructura similar a la dels motors d'imants permanents però, aquests amb l'inconvenient de si no se'ls dona corrent el rotor sí que es pot moure, una altra característica és que els graus del rotor es determinen per el nombre de bobines i el número de pols. Aquests pols es determinen gràcies al desfasament del dentat de l'estator i rotor.
- **Híbrids:** Aquests són els més populars perquè combinen el funcionament dels dos anteriors. Aquests estan formats per un conjunt d'electroimants a l'estator i en el rotor una roda dentada, actualment aquestes rodes estan estandarditzades en els graus: $1,8^\circ$, $5,625^\circ$, $7,5^\circ$, $11,25^\circ$, 18° , 45° i 90° . Si es volgués saber el nombre de dents del rotor s'hauria de dividir 360 entre els graus del motor.
Actualment, s'han desenvolupat diversos models híbrids, per cada aplicació s'ha d'utilitzar un de diferent, aquests es classifiquen segons: parell motor, disponibilitat, mida i cost:

	Nema 17	Nema 23
Parell motor	3,2 kg / cm	14 kg / cm
Disponibilitat	SI	SI
Mida	42 x 48 mm	56 x 76 mm
Cost	10 - 15 €	30 - 35 €

Taula 3. Comparació motors pas a pas. Font. Maquinarilliura

2.4.2 Motor de CA

Els motors de CA estan pensats per ser utilitzats tant en entorns industrials com domèstics, aquests s'usen en a la majoria d'aplicacions, ja que molts d'ells tenen un cost baix, tenen un bon rendiment i necessiten poc manteniment. El funcionament d'aquests motors es base a crear un camp electromagnètic gràcies a bobines alimentades amb corrent altern, la velocitat de gir d'aquests motors va relacionada amb la freqüència del corrent i el nombre de pols que té el motor.

Les parts principals d'aquests motors són: la carcassa, l'estator, i el rotor.

Els motors de CA es poden classificar segons la velocitat de gir, pel tipus de rotor i pel nombre de fases d'alimentació.

2.4.2.1.1 Segons la velocitat de gir

- **Sincrònics:** En aquests motors la velocitat del rotor és la mateixa que el de camp de gir, és a dir que el rotor i el camp magnètic tenen la mateixa velocitat, estan sincronitzats.
- **Asincrònics:** En aquests motors la velocitat del rotor és lleugerament més lenta que el del camp de gir

2.4.2.1.2 Segons el tipus de rotor

- **Motors d'anelles fragants:** Aquests motors se solen usar en llocs on es necessita un alt parell motor i poc corrent per posar-lo en funcionament
- **Motors amb col·lector:** Aquests motors proporcionen una alta potència amb unes mides i un pes reduït, també poden suportar altes càrregues al llarg del temps sense deixar de funcionar.

- **Motors amb gàbia d'esquirol:** El rotor d'aquest motor està format per barres d'alumini o coure que formen una gàbia. Aquest motor agafa la velocitat sincrònica molt ràpid.

2.4.2.1.3 Segons el nombre de fases d'alimentació

- **Monofàsic:** Els motors monofàsics es diuen així perquè s'alimenten a través d'una font monofàsica, aquesta consta de 2 cables: la fase i el neutre. Aquest motor conté dues bobines, una principal i una altre auxiliar. Un motor de CA monofàsic té problemes per arrencar, per poder-lo arrencar la bobina auxiliar està desfasada 90° respecte a la bobina principal, quan el motor ja està en funcionament la bobina auxiliar es desconnecta.
Aquest són els més econòmics, però fan molt de soroll al funcionar.
- **Bifàsic:** Els motors bifàsics són motors que ja no s'utilitzen. Aquests constaven de dues bobines desfasades 90° una respecte l'altre. Aquest constava de dos 3 cables: 2 fases i un neutre.
- **Trifàsic:** Els motors trifàsics es diuen així, ja que s'alimenten a través d'una font trifàsica, aquesta consta de 4 cables: 3 fases i un de neutre. Com que aquests motors contenen 3 línies conductores són impulsats per 3 corrents alterns de la mateixa freqüència, això fa que puguin tenir potències de fins a 300 KW i velocitats d'entre 900 i 3600 rpm.
Aquests són els més costosos però són menys sorollosos que els monofàsics.

2.5 Desplaçament lineal

El desplaçament lineal és la capacitat d'un mecanisme d'una màquina desplaçar-se en línia recta, per poder aconseguir això necessites un motor que creï el moviment i una guia per tal que el cos que es mou no es desvii.

2.5.1 Mecanismes lineals amb motors

Amb aquests mecanismes el que es busca és transformar el moviment circular del motor en un moviment lineal.

2.5.1.1 Eix òptic d'avanç

Aquest mecanisme consisteix amb un eix en forma d'espiral i amb ajuda d'una peça circular amb una rosca integrada quan el motor fa girar l'eix la peça amb la rosca avança.



Figura 3. Eix òptic d'avanç. Font. Elaboració pròpia.

2.5.1.2 Corretja

Aquest mecanisme consisteix en una corretja lligada de punta a punta del lloc que volem que tingui moviment i amb ajuda d'una politja dentada lligada al motor fer que el cos que volem que es mogui es pugui desplaçar en un eix de coordenades.

2.5.1.3 Cremallera

La cremallera consisteix en un engranatge recte i amb un pinyó motoritzat fer moure el cos.

Aquests dos han d'estar relacionats, és a dir, perquè dos engranatges encaixin han de tenir el mateix mòdul i el mateix pas. El pas és la distància que hi ha entre els acabaments de dues dents.

Els engranatges tenen diferents característiques depenent de com els ordenis. Si l'engranatge motriu és el gran i el conduit és el petit s'aconsegueix un sistema multiplicador, alta velocitat però poca força, en canvi si l'engranatge motriu és el petit i el conduit és el gran s'aconsegueix un sistema reductor, velocitat baixa però un gran parell motor.

Un pinyó i cremallera també pot variar la seva velocitat en funció de la mida de l'engranatge, ja que la cremallera es desplaçarà el perímetre de l'engranatge. Si aquest és gran la cremallera anirà més ràpid, en canvi, si és petit la cremallera es desplaçarà més lent, per tant, tindrà més precisió.

De cremalleres i engranatges n'hi ha de dos tipus: les rectes i les helicoidals. Cadascuna d'aquest els seus avantatges i els seus inconvenients (**Annex 1**)

CAD

El CAD va ser inventat per l'enginyer francès, Pierre Bézier, l'any 1966 amb el programa UNISURF.

El CAD (Disseny Assistit per Ordinador) que per les seves sigles en anglès Computer aided-design, és la capacitat dels ordinadors de fer dissenys 2D i 3D digitalment, això ha permès que augmenti la qualitat dels dibuixos, la productivitat dels dissenyadors, etc. Aquests dissenys CAD es presenten en forma d'arxius per imprimir en 3D, mecanitzar peces o operacions de fabricació. Aquest mètode de disseny també et permet escollir el material, color, etc. Per després poder renderitzar l'objecte creat en 3D, un renderitzat⁴.

Per poder fer CAD es necessita un programa especialitzat per fer aquestes tasques com: SolidWorks, AutoCAD, Fusion 360, Qcad, etc. La majoria d'aquests programes necessiten una llicència per poder-los utilitzar, també et pots trobar versions gratuïtes com Blender, FreeCAD, etc.

2.6 Impressió 3d

2.6.1 Materials d'impressió 3d, plàstics

Avui en dia el plàstic és un material que està per tot arreu. Les propietats generals d'aquest material són: Poca resistència a la temperatura, poca resistència als esforços, poca conductivitat tèrmica i elèctrica i són econòmics. Gràcies a aquest material i les seves propietats hem creat les impressores 3D capaces de transformar un disseny 3D fet per ordinador en una peça tangible.

Hi ha molts tipus de plàstics per poder imprimir peces en 3D i cada plàstic té les seves propietats que el diferencien de la resta. **(Annex 2)**

⁴ Previsualització realista del model 3D

3 Marc Pràctic

Un cop s'ha analitzat el funcionament de la CNC i s'han mostrat totes les opcions possibles ara toca seguir una metodologia per tenir un ordre i un bon desenvolupament de la construcció de la CNC.

3.1 Metodologia del procés de creació

La metodologia seguida en aquest TDR està inspirada en el procés tecnològic.

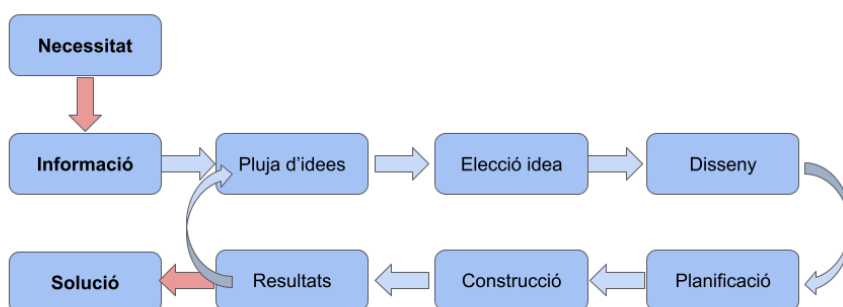


Figura 4. Procés tecnològic. Font. Elaboració pròpia

Ara s'explicaran cadascun dels apartats explicats amb el tema d'aquest TDR.

- 1. Necessitat:** La necessitat és una equivalència dels objectius proposats al principi del treball. Dissenyar i construir una CNC econòmica i tant precisa com sigui possible.
- 2. Informació:** Per poder complir els objectius s'han de tenir uns coneixements, del funcionament de les fresadores CNC i els seus components.
- 3. Pluja d'idees:** En la pluja d'idees es creen moltes idees i es busquen els seus pros i contres, aquestes s'anoten en una llibreta
- 4. Elecció idea:** Un cop s'ha fet una pluja d'idees prou extensa se'n tria una i s'aprofundeix en aquesta. A continuació es poden veure alguns exemples d'esbossos.

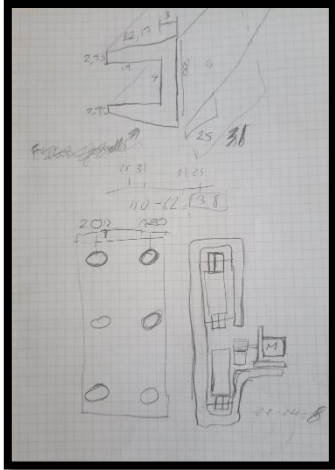


Figura 7. Esbossos carril CNC eix Y i aguenta rodament. Font. Elaboració pròpia



Figura 6. Esbós carril CNC eix Y. Font. Elaboració pròpia

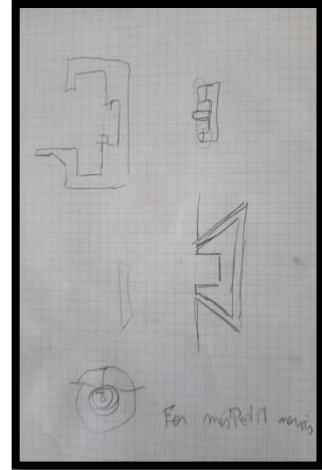


Figura 5. Esbós aguenta rodament. Font. Elaboració pròpia

5. **Disseny:** Quan ja tens pensada i dissenyada la peça amb paper ja es pot començar a dissenyar aquesta amb un programa de disseny de peces 3D, en aquest cas el SolidWorks.
6. **Planificació:** Quan ja tens el disseny de totes les peces es munten en un assemblatge per comprovar que totes les mides són correctes.
7. **Construcció:** Quan ja es té clar què es vol fer i com es vol fer es duen a terme a la realitat. A sota es poden veure unes quantes fotos del procés de muntatge.



Figura 8. Peces necessàries per muntar l'estructura. Font. Elaboració pròpia



Figura 9. Tall de la base per fer les mides òptimes. Font. Elaboració pròpia



Figura 10. Base amb els 4 subjecta perfils i les 4 potes. Font. Elaboració pròpia



Figura 11. Estructura interna de la CNC. Font. Elaboració pròpia

8. Resultats: S'analitzen els resultats de la idea portada a terme, si són bons es dona com a solució, en canvi, si són dolents has de tornar a la pluja d'idees per agafar-ne una altra o també es pot tornar un pas enrere i arreglar-ho.

9. Solució: Finalment, la solució és la CNC ja muntada i funcional.

3.2 Disseny Mecànic

La CNC ha estat dissenyada des de zero, peça a peça, amb el programa SolidWorks, un cop totes les peces han estat acabades s'han assemblet per veure els possibles errors de mesures, dissenys que pot haver-hi.

3.2.1 L'estructura

L'estructura, l'esquelet, de la CNC ha de ser molt robust, per això s'ha decidit utilitzar l'alumini, un material molt resistent i lleuger. El disseny de l'estructura ha anat variant durant el desenvolupament del TDR. A continuació hi ha l'explicació de les 3 idees per fer l'estructura.

1. Collar els perfils que fan de guia en els carrils en una peça impresa en 3D que faria de pilar principal (**Figura 12**).
2. Collar un perfil d'alumini de 40 x 40 mm directament a la fusta fent de pilar perquè els perfils guia es poguessin collar en aquest (**Figura 14**)
3. Collar un perfil d'alumini de 40 x 40 mm en peces impreses 3D i aquestes collades a la fusta (**Figura 13**).

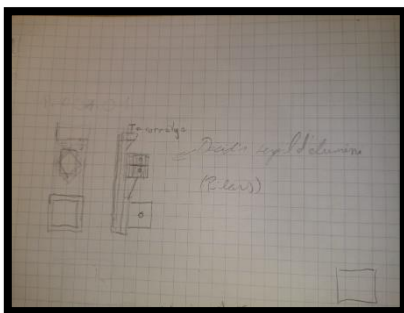


Figura 12. Esbós idea 1. Font. Elaboració pròpia.

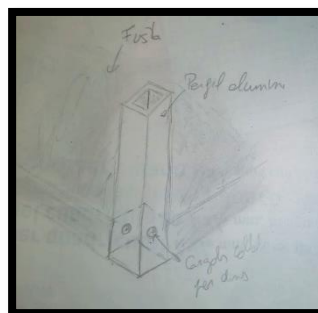


Figura 14. Esbós idea 2. Font. Elaboració pròpia.

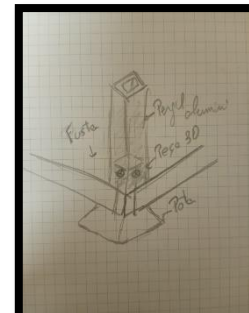


Figura 13. Esbós idea 3. Font. Elaboració pròpia.

Un cop s'ha decidit com subjectar els pilars ara s'ha de decidir com es col·loquen els perfils horitzontals (perfils guia), per allà a on es mouran els carrils dels eixos. Per fixar

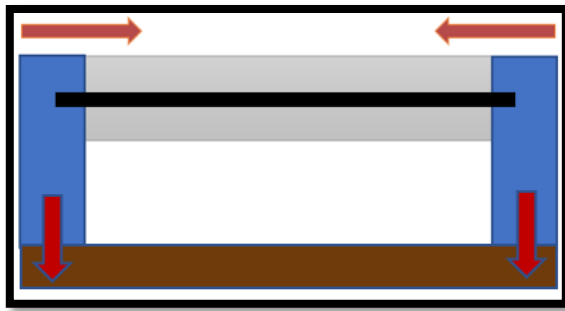


Figura 15. Esquema de l'estructura de la CNC vist de perfil. Font. Elaboració pròpia.

aquests perfils s'ha inspirat en uns dels dissenys de CNC de l'Ivan Miranda, un youtuber que es dedica a crear fresadores CNC. Aquest sistema es basa a posar una vareta roscada per

dins del perfil i collar-la, el més fort

possible, per dins dels perfils d'alumini que fan de pilars (**Figura 15**).

Per fer un resum de l'estructura aquesta consta d'una base de fusta de 626 x 529 x 25, 4 perfils d'alumini de 460 x 20 x 40, 4 perfils d'alumini quadrats de 40 x 40 x 200 i 4 varetes roscades de m10

Les mides de l'estructura exterior han estat decidides en funció de les mides interiors, és a dir la superfície que s'ha de poder moure la fresadora ha de ser de 30 x 30, per tant, sabent les mides de les peces es poden fer sumes i restes per calcular les mides exteriors

3.2.2 Moviment en els eixos de coordenades

El moviment en els eixos de coordenades és el desplaçament que fa la fresadora en els eixos X, Y i Z, endavant - enrere, dreta - esquerra i amunt - avall.

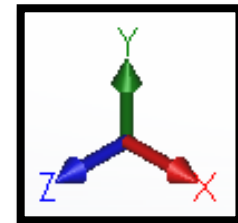


Figura 16. Eixos X Y Z. Font. Elaboració pròpia

Per aconseguir el moviment X i Y s'ha utilitzat el pinyó i cremallera de dents rectes. S'ha escollit aquests per tenir una gran precisió, un cost econòmic i per la capacitat de transmetre una gran potència. El diàmetre dels pinyons escollits és de 15 mm així es guanya precisió.

Per obtenir el moviment en l'eix Z s'ha usat un eix òptic d'avanç, ja que és molt fàcil de fer pujar i baixar la fresadora. Per connectar el motor amb l'eix òptic s'han utilitzat dues politges i una corretja, les politges estan amb un sistema reductor per guanyar força.

3.2.3 Peces 3D

Les peces 3D que venen a continuació s'han creat amb el SolidWorks. Per crear-les es dissenya un petit esbós a mà alçada per tenir una idea del que es vol fer, un cop es té

clar el que es vol fer i com es vol fer (les mides, les formes més representatives que tindrà, l'assemblatge amb altres peces...). Ja es pot començar a dissenyar la peça a l'ordinador.

Ara es pot veure l'evolució que ha tingut cada peça i una petita descripció del seu funcionament.

3.2.3.1.1 Carril CNC eix X

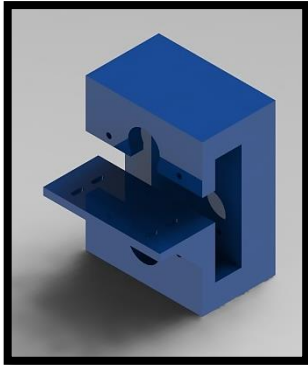


Figura 18. Render Carril CNC eix X v1. Font. Elaboració pròpia.

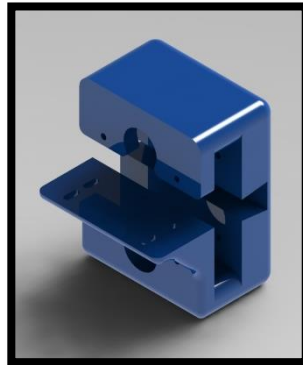


Figura 17. Render Carril CNC eix X v2. Font. Elaboració pròpia.



Figura 19. Render Carril CNC eix X v3. Font. Elaboració pròpia.

Aquesta peça va ser la primera a crear-se, per tant, les següents estan basades en el mateix disseny. L'ús d'aquesta peça és desplaçar la fresadora en l'eix X (**Figura 20**).

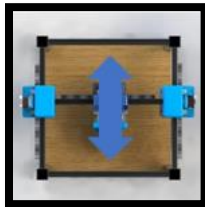


Figura 20. Eix X. Font. Elaboració pròpia.

Les principals diferències que té la primera versió respecta a l'última són:

- Cantonades arrodonides
- Avellanat per tancar els cargols
- Espai per col·locar una altra peça

3.2.3.1.2 Carril CNC eix Y

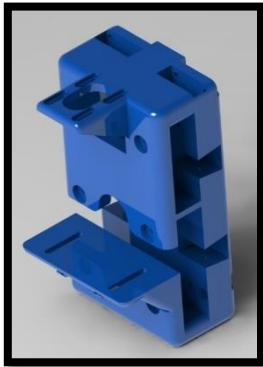


Figura 22. Render Carril CNC eix Y. Font. Elaboració pròpia.

Les funcions d'aquesta peça són desplaçar la fresadora en l'eix Y (**Figura 21**), subjectar el motor que fa pujar i baixar la fresadora.

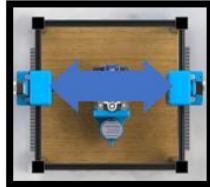


Figura 21. Eix Y. Font. Elaboració pròpia.

3.2.3.1.3 Carril CNC eix Z

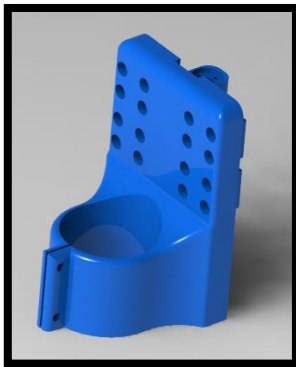


Figura 24. Render Carril CNC eix Z. Font. Elaboració pròpia.

Aquesta peça té la funcionalitat de fer moure la fresadora en l'eix de la Z (**Figura 23**). Aquest moviment farà que la fresadora pugui començar a tallar peces.

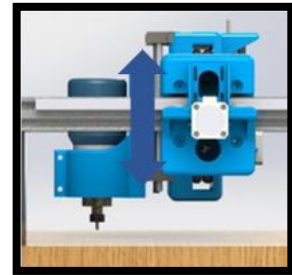


Figura 23. Eix Z. Font. Elaboració pròpia.

3.2.3.1.4 Taps

Per millorar l'estètica de les peces impreses 3D s'han creat taps per tapar els cargols que subjecten l'estructura de la fresadora. L'únic canvi que ha patit en el seu disseny és el seu gruix, ja

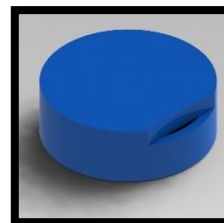


Figura 25. Render Tap v1. Font. Elaboració pròpia.

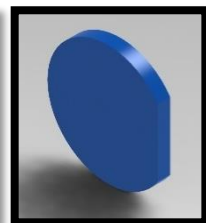


Figura 26. Render Tap v.2 Font. Elaboració pròpia.

que a través de proves es va veure que no era necessari.

3.2.3.1.5 Suport motor

El funcionament d'aquesta peça és fer de suport al motor que crea el moviment per desplaçar la fresadora en els eixos X i Y. Aquesta va col·locada a sobre de la superfície plana de les peces anteriors, aquesta està dissenyada de tal forma que el motor es pot moure endavant, enrere, amunt i avall ajustant la posició perfecta perquè els engranatges engranin.

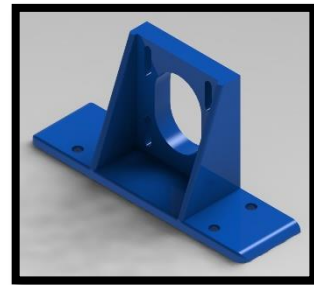


Figura 27. Render Suport motor v1. Font. Elaboració pròpia.

Les principals característiques de l'evolució d'aquesta peça són:

- Superfície de sota més gruixuda
- Arrodoniments
- Més altura per ajustar millor el motor
- Lloc per col·locar un rodament
- Avellanat en els forats

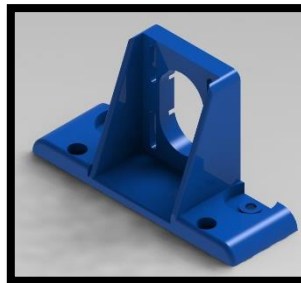


Figura 29. Render Suport motor v2. Font. Elaboració pròpia.

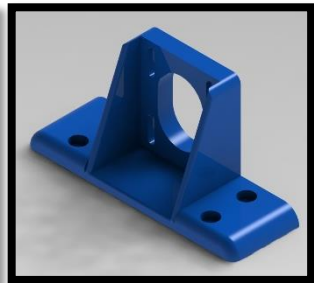


Figura 28. Render Suport motor v2. Font. Elaboració pròpia.

3.2.3.1.6 Suport rodaments

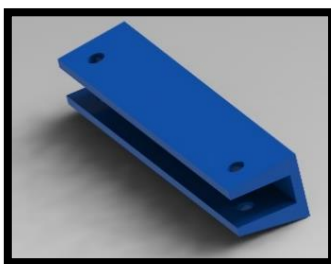


Figura 32. Render aguanta rodament v1. Font. Elaboració pròpia.

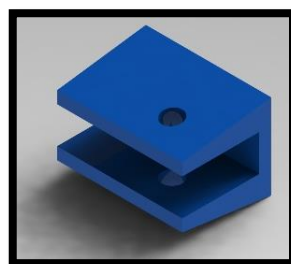


Figura 30. Render aguanta rodament v2. Font. Elaboració pròpia.

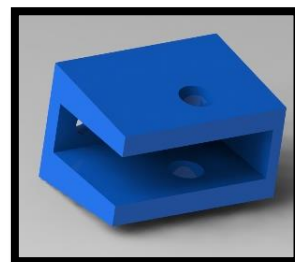


Figura 31. Render aguanta rodament v3. Font. Elaboració pròpia.

Les versions d'aquesta peça han anat canviant en funció de quan es va fer el carril CNC de l'eix X. La funcionalitat d'aquesta peça és fer que el carril no toqui els perfils d'alumini per no produir fregament, això ho aconseguix a través de rodaments en horitzontal.

Les principals característiques que han canviat de la primera versió a l'última han estat:

- Reducció de la llargada per fer-la més resistent
- Implementació d'una nova paret per fer-la més resistent i més estètica

3.2.3.1.7 Potes i suport perfils

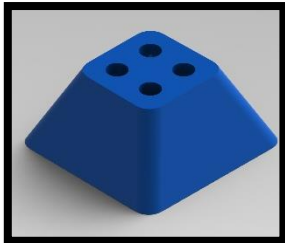


Figura 34. Render pota. Font. Elaboració pròpia.

Aquestes dues peces van unides amb quatre cargols a través de la fusta, aquestes són la base de la CNC perquè li donen una molt bona estructura, perquè pugui arribar a funcionar la fresadora no pot trontollar.

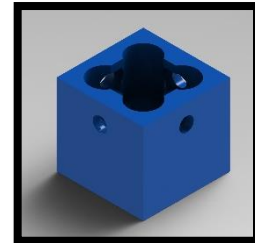


Figura 33. Render subjecta perfil. Font. Elaboració pròpia.

3.2.3.2 Optimització de les peces

Per no haver de dissenyar i imprimir un excés de peces es va pensar un mètode perquè moltes de les peces poguessin fer la mateixa funció en diferents llocs, així es va estalviar temps i material d'impressió 3D. A continuació hi haurà les peces que poden estar a varis llocs.

3.2.3.2.1 Suport motor i aguanta rodament

Aquestes peces es poden col·locar en els carrils X i Y, el suport motor el que fa és ajustar les mides del motor, tant distància com altura, perquè l'engranatge engrani correctament a la cremallera.

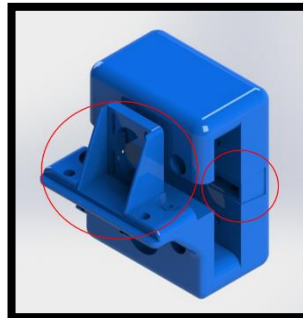


Figura 35. Carril CNC eix X + Suport motor + Aguanta rodament. Font. Elaboració pròpia.

L'aguanta rodament va collat en els dos carrils a la paret en un espai pensat per la peça, aquesta evita que els carrils es desviïn, es col·loquen tant centrats com sigui possible.

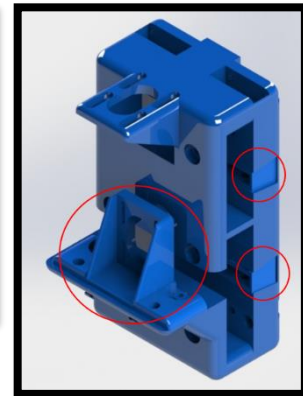


Figura 36. Carril CNC eix Y + Suport motor + Aguanta rodament. Font. Elaboració pròpia.

3.2.3.3 Disseny de les peces

Les peces han estat creades sota un criteri per seguir un ordre a l'hora de dissenyar-les. Aquestes utilitzen els triangles perquè suportin millor els esforços, ja que la triangulació és molt utilitzada en l'arquitectura per aguantar grans edificis. **(Figura 38)**

També he utilitzat traucolís⁵ per ajustar les mides de les peces entre elles. **(Figura 37)**

Un altre dels aspectes de disseny que cal remarcar és l'aguanta rodament que té una forma triangular en els seus cantons perquè no pugui sortir cap endavant. **(Figura 38)**



Finalment també he utilitzat suports en zones que tenien risc de trencar-se **(Figura 38)**

3.3 Assemblatges

Ajuntant totes les peces dissenyades per construir la CNC es poden dividir en dos grans grups: L'eix X i l'eix Y Z.

En l'assemblatge de l'eix X necessitem dos carrils. Per fer carril necessitem: 1 carril CNC eix X, 1 suport motor, 2 aguanta rodaments, 1 tapa femelles i 10 taps

En l'assemblatge de l'eix Y Z necessitem: 1 carril CNC eix Y, 1 carril CNC eix Z, 1 suport motor, 4 aguanta rodaments, 2 tapes femelles i 30 taps.

Figura 37. Planta del carril CNC eix X per veure el traucolís per ajustar les mides del motor.

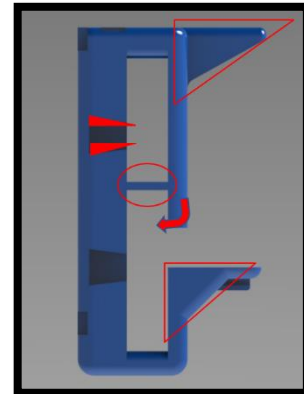


Figura 38. Perfil carril CNC eix Y estructura, triangles i suports

3.4 Enginyeria de requisits

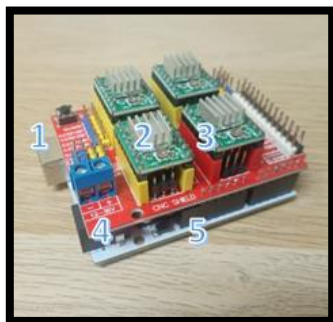
En aquest apartat és allà a on es diu quins són els millors elements per fer funcionar la CNC i la justificació de la seva tria.

⁵ Forat allargat per ajustar mides de diferents components

3.4.1 Sistema del control motriu i alimentació

3.4.1.1 Arduino Uno i les plaques d'extensió

S'ha escollit l'Arduino Uno, ja que és capaç d'entendre el g-code i donar ordres a través de la placa d'extensió Shield CNC, aquesta va connectada a sobre de l'Arduino amb els pins (E/S) i en ella van connectada els drivers.



1. Connector Cable
2. Dissipador de calor
3. Driver
4. CNC Shield
5. Arduino

Figura 39. Foto Arduino + CNC Shield + drivers. Font. Elaboració pròpia.

3.4.1.2 Motors pas a pas

Els motors escollits finalment han estat els motors pas a pas NEMA 17 perquè són els més econòmics i aquests tenen un parell motor suficient per moure una fresadora en els 3 eixos, també és un motor capaç de desplaçar-se amb una gran precisió de fins a $1,8^\circ$. En total s'utilitzen 4 motors per fer moure la CNC en els eixos, dos en l'eix X, un en l'eix Y i un altre en l'eix Z.

3.4.1.3 Alimentació

Per alimentar a la CNC s'ha escollit una font d'alimentació de 12 V i 10 A, és a dir 120 W. S'ha escollit aquesta font d'alimentació, ja que els motors pas a pas NEMA 17 funcionen a 12 V.

3.5 Calibració i tall de peces

3.5.1 Grbl, *Universal G-code Sender*

El programa que s'ha usat per calibrar la CNC i executar les accions ha estat l'Universal G-code Sender, aquest es comunica amb l'Arduino i pot modificar els aspectes de la màquina, alguns d'aquests són:

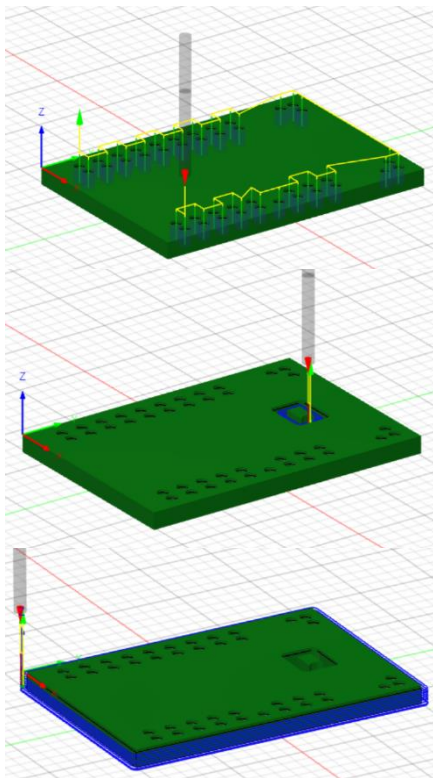
- Quants passos del motor són un mm (step/mm)

- La velocitat màxima de la màquina (mm/s)
- L'acceleració màxima de la màquina (mm/s²)

Aquests aspectes es poden configurar per cadascun dels eixos, també pots posar els límits de la màquina, en el cas de la CNC d'aquest treball ha estat de 300x300, una altra acció que pot fer aquest programa és la de configurar el (0,0,0) de la màquina cada cop que es vol tallar una peça **un zero relatiu**, o configurar el (0,0,0) de la fresadora un sol cop i que cada vegada que es vulgui tallar una peça, la CNC vagi en un punt concret usant finals de carrera, **un zero absolut**.

3.5.2 Tall de peces, *Fusion 360*

Per tal de tallar les peces s'ha de configurar les accions que farà la màquina en ordre de més petit a més gran fins a acabar tallant la peça. Seguidament hi ha un exemple:



Aquesta és la peça que s'utilitzarà en els següents apartats.

1. Es configuren els forats, perquè la màquina en aquest tall no ha de fer força.
2. Es configuren tots els forats interns de la peça
3. Finalment es talla la peça

Figura 40. Seqüència de tall d'una peça.
Elaboració pròpia.

Un cop s'han configurat les operacions que ha de dur a terme la màquina s'exporta l'arxiu en format .nc, aquest format transforma les peces en capes cartogràfiques perquè el *Universal G-code Sender* pugui entendre les accions i executar-les.

3.6 Anàlisi de resultats

En aquest apartat s'ha mesurat l'error que pot tenir la màquina a l'hora de fer talls. Per fer-ho i quantificar-lo s'han fet dues proves, la primera es tractava de fer forats amb una certa distància de separació i al mig un rectangle (la peça de l'apartat anterior) i en la segona prova es tractava de fer-la moure una distància en cada eix i després mesurar-la amb un peu de rei i finalment calcular l'error en cada cas.

3.6.1 Prova 1

Aquesta prova s'ha assolit amb un petit entrebanc. La separació entre els forats ha estat molt precisa, però quan ha començat a fer el rectangle del mig la CNC ha perdut passos en l'eix de les X a causa de la força que ha de fer, per aquest motiu s'ha hagut de parar l'acció de la màquina i no ha acabat de tallar la peça; tot i això, ha passat la prova bastant bé.

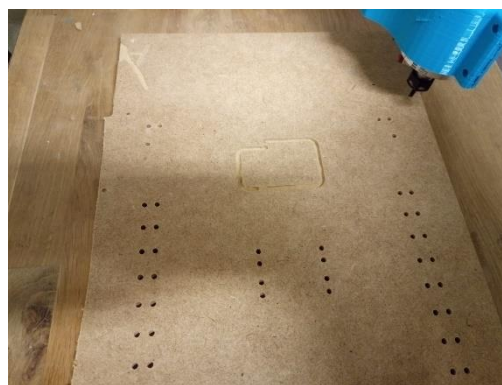


Figura 41. Primera prova del funcionament de la CNC. Font. Elaboració pròpia

A la dreta es pot veure el resultat d'aquesta prova.

Per solucionar aquest problema, a l'hora d'avançar tallant fusta en el Fusion 360 es configura que cada passada la faci de 0,8 mm i així no ha de fer tanta força i no perd passos.

3.6.2 Prova 2

Aquesta segona prova consisteix a mesurar la repetibilitat⁶ que té la màquina a través de fer-la moure i mesurar la distància que s'ha mogut en cada cas després és mesurar l'error absolut que té la màquina. La farem moure en els eixos X i Y dues distàncies: una de 100 mm i l'altre de 200 mm, després amb els valors obtinguts es fa l'error absolut. A

⁶ Vegades que la CNC és capaç de repetir un moviment igual

continuació hi ha una imatge representativa de com es mesura la distància amb un peu de rei i després hi ha les dues taules amb els valors d'aquestes mesures.

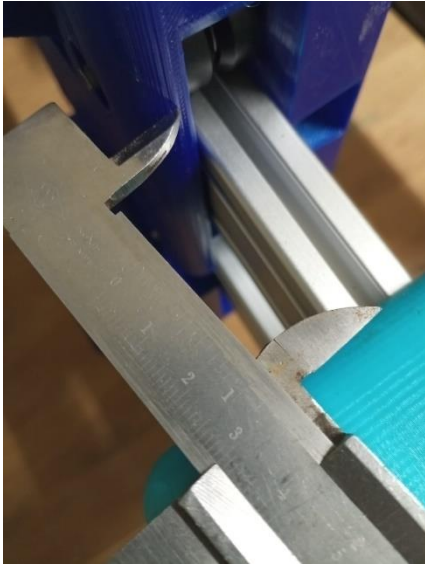


Figura 42. Mesura de la distància amb peu de rei. Font. Elaboració pròpia

Eix X

Distància 100mm		Distància 200mm	
99,52	0,48	200,88	0,88
99,23	0,77	199,02	0,98
100,84	-0,84	198,50	1,50
98,3	1,7	198,67	1,33
98,97	1,03	199,28	0,72
101,23	-1,23	198,40	1,60
100,92	-0,92	200,70	-0,70
102,34	-2,34	203,39	-3,39
103,31	-3,31	201,05	-1,05
100,12	-0,12	201,09	-1,09
97,93	2,07	202,34	-2,34
98,48	1,52	198,97	1,03
99,02	0,98	198,40	1,60
98,75	1,25	198,85	1,15
100,47	-0,47	198,03	1,97
Error absolut:	0,625	Error absolut:	0,85

Taula 4. Taula d'anàlisi de l'error en l'eix X. Font. Elaboració pròpia

Eix Y

Distància 100mm		Distància 200mm	
99,67	0,33	200,37	-0,37
99,46	0,54	199,02	0,98
99,23	0,77	199,34	0,66
99,56	0,44	198,78	1,22
102,5	-2,5	199,30	0,70
102,36	-2,36	198,34	1,66
99,12	0,88	201,30	-1,30
104,3	-4,3	199,20	0,80
98,46	1,54	202,40	-2,40
102,5	-2,5	201,43	-1,43
99,68	0,32	201,45	-1,45
98,48	1,52	199,24	0,76
99,02	0,98	199,56	0,44
98,75	1,25	199,47	0,53
103,02	-3,02	199,54	0,46
Error absolut:	0,49	Error Absolut:	0,59

Taula 5. Taula d'anàlisi de l'error en l'eix Y. Font. Elaboració pròpia

A partir d'aquests resultats es pot arribar a la conclusió que la CNC en l'eix de les X té un error de 0,625 mm cada 100 mm i 0,85 mm cada 200 mm. En canvi, en l'eix Y es pot veure que cada 100 mm fa mig mil·límetre d'error i cada 200 mm en fa 0,59 mm d'error.

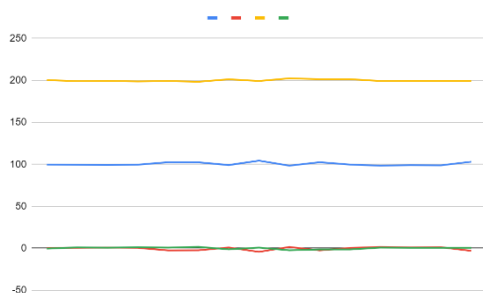


Figura 43. Gràfic de la prova 2. Font. Elaboració pròpia

Amb les dades obtingudes anteriorment es pot fer aquest gràfic el qual ens mostra la precisió de la fresadora, com més recte és la línia més precisa es mou la màquina. Les línies de sota són els errors, és a dir la diferència entre el valor que es volia assolir i el valor real.

3.7 Anàlisi de costos

Per poder muntar la CNC s'han hagut de comprar els components necessaris per muntar-la, aquests estan explicats a l'enginyeria de requisits. A continuació es pot veure una taula amb el preu de cada producte.

Producte	Quantitat	Preu unitat	Preu total
Eix òptic d'avanç	1	31,24 €	31,24 €
Motor pas a pas	1	40,76 €	40,76 €
CNC Shield	1	6,99 €	6,99 €
Arduino	1	17,00 €	17,00 €
Engranatges	3	7,95 €	23,85 €
Cremallera	1	12,60 €	12,60 €
Drivers	1	12,76 €	12,76 €
Font d'alimentació	1	15,55 €	15,55 €
Rodaments	3	10,85 €	32,55 €
Fresadora	1	43,99 €	43,99 €
Filament 3D	2	15,99 €	31,89 €
Cargols	50	0,75 €	37,5 €
Femelles	30	0,10 €	3,00 €
Varetes roscades	5	1,00 €	5,00 €
TOTAL:			314,68 €

Taula 6. Anàlisi de costos. Font. Elaboració pròpia.

Per acabar el preu total és d'uns 315 € per la construcció d'aquesta CNC, tot i que a primera vista pugui semblar una mica car a la llarga resultarà rendible perquè podràs fer moltes peces amb gran precisió i sense perdre molt de temps.

4 Conclusions

En conclusió, els objectius proposats al principi d'aquest treball de dissenyar, moure la CNC amb precisió han estat assolits amb èxit.

El repte més gran ha estat dissenyar totes les peces amb SolidWorks per muntar la CNC, ja que s'ha hagut d'aprendre a fer servir aquesta eina des de zero, les peces s'han imprès amb tres impressores diferents: la Creality CR-10S, la bq Witbox 2 i la Creality CR6 – SE. S'han utilitzat les impressores per crear les peces de la manera més econòmica possible i així abaratir el preu.

Finalment, la hipòtesi s'ha confirmat, ja que s'ha demostrat que és possible dissenyar i construir una fresadora CNC a través de la impressió de peces 3D

Els entrebancs que s'han trobat són: la no disposició d'una impressora 3D per fer tantes proves de peces com s'hauria volgut, el temps limitat en les zones de treball; pel fet que s'havia d'anar al taller de l'escola FEDAC Sant Narcís

Els objectius de millora que es poden fer ara per endavant són fer-la que es mogui amb precisió i que tingui un punt d'origen, és a dir el (0,0,0), a través de finals de carrera per així sempre surti d'allà mateix, si es para en mig d'un tall es pugui tornar a col·locar allà mateix i continuar.

Per acabar cal **remarcar que la CNC és funcional i precisa i està llesta per reproduir-la amb models d'impressora 3D.**

5 Fonts d'informació

Alejandro. (3 / 2019). *Motores de CA / Corriente alterna*. Consultat el 1 / 9 / 2022, a <https://sites.google.com/site/aleblogtecin/home/2-electronica-1/corriente-alterna-motores-de-ca>

Arrow. (12 / 2017). *Comparacion entre arduino Uno, Mega i Micro*. Consultat el 5 / 9 / 2022, a <https://www.arrow.com/es-mx/research-and-events/articles/arduino-uno-vs-mega-vs-micro>

Autycom. (2020). *¿Qué es un servomotor y cómo funciona?* Recollit de <https://www.autycom.com/que-es-un-servomotor-y-como-funciona/>

Conti, F. (2005). *Motores paso a paso*. TECNIBOOK EDICIONES. Consultat el 2 / 9 / 2022

CRL. (26 / 3 / 2022). *Comparativa de engranajes*. Consultat el 3 / 9 / 2022, a <https://clr.es/blog/es/engranajes-rectos-engranajes-helicoidales/>

Electronica Unicrom. (2022). *Motor de corriente alterna o Motor AC*. Consultat el 30 / 8 / 2022, a <https://unicrom.com/motor-de-corriente-alterna-o-motor-ac/>

Historial informatica. (18 / 12 / 2013). *Raspberry Pi*. Recollit de <https://histinf.blogs.upv.es/2013/12/18/raspberry-pi/>

Las diferencias. (2021). *Comparativa y diferencias entre motor de CA y CC*. Consultat el 9 / 8 / 2022, a <https://lasdiferencias.com/diferencias-motor-ca-cc/#:~:text=Comparativa%20y%20diferencias%20entre%20motor%20de%20CA%20y,corriente%20continua%20%28energ%C3%ADa%20de%20CC%29%20en%20energ%C3%ADa%20mec%C3%A1nica.>

LeDuc, J. (29 / 3 / 2017). *Servo Motors and Control with Arduino Platforms*. Consultat el 31 / 8 / 2022, a https://www.digikey.es/es/articles/servo-motors-and-control-with-arduino-platforms?utm_adgroup=Arduino&utm_source=bing&utm_medium=cpc&utm_campaign=Dynamic%20Search_ES_Supplier&utm_term=arduino&productid=&utm_content=Arduino&utm_id=bi_cmp-384683023_adg-129

Maquinarilliura. (19 / 11 / 2019). *Motor pas a pas*. Consultat el 30 / 8 / 2022, a <https://www.hwlibre.com/ca/motor-pas-a-pas/>

Mecatronica LATAM. (23 / 4 / 2021). *Motor corriente continua (cc) o directa (cd)*. Consultat el 5 / 9 / 2022, a <https://www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/motor/motores-electricos/motor-de-corriente-continua/>

Xataka. (23 / 6 / 2022). *Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno*. Consultat el 5 / 9 / 2022, a <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>

6 Glossari

Aquí es poden trobar les definicions de paraules tècniques utilitzades al llarg del treball

6.1 Robòtica

CNC: Màquina capaç de desplaçar-se en els eixos de coordenades a través d'ordres numèriques per tal de donar-li forma a una peça

Rodament: Peça en forma de cercle per evitar el fregament o fer que un mecanisme tingui la capacitat de girar millor.

Enginyeria de requisits: Justificació de l'elecció dels diferents components

Eix: Peça allargada, normalment en forma de barra cilíndrica, que ha de suportar esforços de flexió i torsió

Recta imaginària que té certes propietats sobre un cos.

Trau colís: Forat allargat per ajustar distàncies de diferents components

6.2 Tecnologia

Rotor: Part del motor que és capaç de girar

Parell motor: Força que és capaç de fer el rotor, normalment expressada en N/m

Estator: Part fixa del motor, part allà on hi solen haver-hi els electroimants

7 Annexes

7.1 Annex 2, Avantatges i inconvenients dels engranatges rectes i helicoidals

Engranatges rectes

Avantatges	Inconvenients
<ul style="list-style-type: none">• Poden transmetre una gran quantitat de potència• Són molt fiables• Són els més senzills de dissenyar i fabricar• Són més eficients que els helicoidals• Tenen una relació de velocitat constant i estable• Econòmics	<ul style="list-style-type: none">• Ofereixen poca velocitat• No poden transferir potència en eixos no paral·lels• Quan funcionen a velocitats altes fan molt de soroll• No es poden utilitzar per transmissions d'energia llargues perquè perden precisió.• Són poc resistents, es desgasten ràpid

Taula 7. Avantatges i inconvenients dels engranatges rectes. Font. CRL

Engranatges helicoidals

Avantatges	Inconvenients
<ul style="list-style-type: none">• El fet de tenir les dents de forma gradual fan que s'engranin de forma més suau i no fan tant de soroll• Són més duradors i són ideals per altes cargues, ja que cada cop que giren tenen més dents en contacte• Poden transmetre el moviment en eixos paral·lels com en eixos d'angles rectes	<ul style="list-style-type: none">• Són més costosos• L'eficiència és menor degut que la força que fa produeix calor i això crea una perduda d'energia• Necessita coixinets de empenta ja que hi ha molt més fregaments entre les dents

7.2 Annex 1, Propietats dels plàstics

PLA

Pros	Contres
<ul style="list-style-type: none">• Econòmic• Gran varietat d'aplicacions• Menys problemes a l'hora d'imprimir• Pot ser degradat en un entorn industrial• No necessari el llit calent, però és recomanable• És dels més resistents i rígids• Els vapors a l'imprimir són poc tòxics	<ul style="list-style-type: none">• No aguanta temperatures <60°C• Molt poc tenaç, no aguanta cops.• Deixa anar filaments a l'imprimir.• Poc mecanitzable

Taula 9. Propietats del PLA. Font: Daniel Cusí

ABS

Pros	Contres
<ul style="list-style-type: none">• Absorbeix cops• Resistent a l'ambient• Es dissol en acetona• Es fa servir per fer legos• Mecanitzable	<ul style="list-style-type: none">• Fums tòxics• Necessita llit calent• Es pot esquerdar mentre s'imprimeix• Preferible tenir una impressora tancada

Taula 10. Propietats de l'ABS. Font. Daniel Cusí

PETG

Pros	Contres
<ul style="list-style-type: none">• Resistent als impactes• Transparent• Més fàcil d'imprimir que l'ABS• Pot ser segur pel consum	<ul style="list-style-type: none">• No destaca en propietats mecàniques

Taula 11. Propietats del PETG. Font. Daniel Cusí

Niló

Pros	Contres
<ul style="list-style-type: none">• Molt resistent• Poc coeficient de fricció• Resistent als impactes i a les ratllades	<ul style="list-style-type: none">• Temperatures molt altes d'impressió• Wrapping (zones on el plàstic es refreda més ràpid que d'altres i queda mal imprès)• Higroscòpic (capacitat d'alguns materials d'absorbir humitat del medi ambient)

Taula 12. Propietats del Niló. Font. Daniel Cusí

TPU (flexible)

Pros	Contres
<ul style="list-style-type: none">• Flexible• Resistent als impactes	<ul style="list-style-type: none">• Difícil d'imprimir• És costos

Taula 13. Propietats del TPU. Font. Daniel Cusí

PC Policarbonat

Pros	Contres
<ul style="list-style-type: none">• Molt bones propietats per aguantar els cops• Transparent• Resistent a les temperatures	<ul style="list-style-type: none">• Impressió a altes temperatures, es aconsella imprimir en una impressora tancada• Wrapping• Higroscòpic

Taula 14. Taula 10. Propietats del PC Policarbonat. Font. Daniel Cusí