



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Diseño de una bancada, calibración y preparación de una
fresadora de sobremesa para la fabricación de prototipos

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

AUTOR/A: Nadal Mengual, Ferran

Tutor/a: Gutiérrez Rubert, Santiago Carlos

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

DISSENY D'UNA BANCADA, CALIBRATGE I PREPARACIÓ D'UNA FRESADORA DE SOBRETAULA PER A LA FABRICACIÓ DE PROTOTIPS

Autor: Ferran Nadal Mengual

Tutor: Santiago Carlos Gutiérrez Rubert

Curs acadèmic

2021/2022



Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial
Treball Fi de Grau

Agraïments

“Als meus pares, per estar ahí
Als meus amics, per els somriures
Al meu tutor, per tota l’ajuda”

Contingut del TFG

- Memòria
- Pressupost
- Plànols

Capítol 1

La Memòria

Índex

1	Introducció	8
1.1	Objectiu del treball	8
2	Configuració hardware i software del control i la màquina	9
2.1	Comprovacions prèvies.....	9
2.2	Configuració Mach3.....	10
2.2.1	Configuració dels pins	11
2.2.2	Configuració dels eixos.....	13
2.2.3	Configuració dels motors.	16
2.2.4	Configuració dels finals de carrera.....	18
2.2.5	Comprovacions del correcte funcionament dels eixos	21
3	Disseny CAD de la fresadora	23
3.1	Perfils d'alumini.....	24
3.2	Peus	24
3.3	Suports eixos X	25
3.4	Suport eix Z	25
3.5	Acoble Taladre.....	26
3.6	Rotalí (Taladre).....	27
3.7	Motors	27
3.8	Assemblatge	28
4	Disseny de la bancada	30
4.1	Bancada de Melamina vs Bancada amb Norelem	31
4.2	Modelat de la bancada.	32
4.3	Opció de prova	33
4.4	Implementació	34
4.5	Calibració.....	35
4.5.1	Presa de les mesures.....	35
4.5.2	Estudi de les mesures.....	37
5	Sistema de recollida de residus	41
5.1	Modelat del col·lector.....	42
5.2	Implementació	43
6	Sistema de parada d'emergència	44
7	Prototipat d'una peça	45

7.1	Escaneig	46
7.2	Processat.....	49
8	 Prova de funcionament.	62
8.1	Canvis respecte al model	63
9	 Proposta de millora. Redisseny de l'esquelet	68
10	 Conclusions.....	71

Índex de Figures

Figura 1. Connexions a la placa base.....	9
Figura 2. Propietats del port LTP1.....	10
Figura 3. Logo Mach3.....	11
Figura 4. Direcció Port#1.....	12
Figura 5. Motor Outputs.....	12
Figura 6. Sentit i direcció eix Z.....	13
Figura 7. Direcció i sentit eix X.....	14
Figura 8. Direcció i sentit eix Y.....	14
Figura 9. Slave Axis.....	15
Figura 10. Slave Axis Master.....	16
Figura 11. Motor pas a pas.....	16
Figura 12. Perfil Trapezoidal.....	17
Figura 13. Motor Tuning.....	18
Figura 14. Configuració PIN Sensors.....	19
Figura 15. Configuració Soft Limits.....	20
Figura 16. Autolimit Override.....	21
Figura 17. MPG Mode.....	22
Figura 18. MDI GCode.....	23
Figura 19. Logo Autodesk Inventor 2023.....	23
Figura 20. Arxius CAD dels perfils.....	24
Figura 21. Arxiu CAD d'un peu.....	24
Figura 22. Suport Eix X.....	25
Figura 23. Suport eix Z.....	26
Figura 24. Arxiu CAD acoble taladre.....	26
Figura 25. Arxiu CAD del rotalí.....	27
Figura 26. Arxiu CAD dels motors pas a pas.....	28
Figura 27. Assemblatge base.....	28
Figura 28. Assemblatge eix Z i X.....	29
Figura 29. Assemblatges eixos Y i A.....	29
Figura 30. Assemblatge eix X.....	30
Figura 31. Assemblatge de la fresadora.....	30
Figura 32. Bancada amb melamina.....	31
Figura 33. Base Norelem.....	32
Figura 34. Alguns dels accessoris Norelem.....	32
Figura 35. Base de Norelem per a la nova configuració.....	33
Figura 36. Nou disseny de la bancada.....	33
Figura 37. Modelat de la bancada.....	34
Figura 38. Implementació de la bancada.....	35
Figura 39. Col·locació de la sonda.....	36
Figura 40. Cada punt groc és una mesura.....	36
Figura 41. Mapa dels punts de la superfície.....	37
Figura 42. Estudi per mínims quadrats.....	38
Figura 43. Mapa d'errors.....	39
Figura 44. Punts del mapa d'errors.....	39
Figura 45. Estudi planitud GOMInspect.....	40
Figura 46. Resultats GOMInspect.....	41
Figura 47. Aspiradora Industrial.....	42

Figura 48. Sabata per a la pols.....	42
Figura 49. Arxiu CAD.....	43
Figura 50. Peça recollida de pols impresa.....	43
Figura 51. Configuració Cura	44
Figura 52. Raspall per a la retenció i recollida de virutes	44
Figura 53. Botó de parada d'emergència	45
Figura 54. Escàner HP del laboratori.....	46
Figura 55. Peça tratada per a l'escàner.....	47
Figura 56. Pantalla del HP Scanner	47
Figura 57. Escanejat del fons	48
Figura 58. Superposició d'imatges de l'escaneig.....	48
Figura 59. Peça fusionada	49
Figura 60. Pycam logo	50
Figura 61. Canvi del sistema de coordenades amb Catia	50
Figura 62. Configuració Model en Pycam	51
Figura 63. Fresa de desbast	52
Figura 64. Condicions de tall recomanades	52
Figura 65. Configuració Tools en Pycam.....	53
Figura 66. Configuració Processes Pycam.....	54
Figura 67. Configuració Bounds Pycam	54
Figura 68. Configuració Tasks Pycam.....	55
Figura 69. Toolpath Pycam	55
Figura 70. GCode de la trajectòria.....	56
Figura 71. Logo Fusion360.....	56
Figura 72. Peça en Fusion360	57
Figura 73. Selecció de la màquina, fresadora de 3 eixos, en Fusion360	58
Figura 74. Màquina en Fusion360.....	58
Figura 75. Mecanitzat trocoïdal.....	59
Figura 76. Operació Desbaste Adaptatiu	59
Figura 77. Edició de la ferramenta	60
Figura 78. Mecanitzat de la peça en Fusion360.....	61
Figura 79. Fulla de ruta.....	61
Figura 80. Sistema ER-16 i joc de pinces.....	62
Figura 81. Taladre convencional amb la fresa seleccionada muntada.....	63
Figura 82. Nova bancada prova	64
Figura 83. Bloc de resina epoxi 460.....	64
Figura 84. GCode de tall	66
Figura 85. GCode Mach3	67
Figura 86. Muntatge final.....	67
Figura 87. Ranura de prova	68
Figura 88. Nova configuració de l'esquelet.....	69
Figura 89. Peça alineació bancada.....	69
Figura 90. Vista seccionada	69
Figura 91. Sistema d'amarres	70
Figura 92. Suport corretges	70
Figura 93. Implementació suport corretges.....	71
Figura 94. Nou esquelet i nova bancada	71

1 Introducció

Actualment amb les impressores 3D i la quantitat de software CAD a disposició de la gent de la indústria és tremendament fàcil la creació d'un prototip de quasi qualsevol cosa. Però que passa quan ja tenim l'objecte dissenyat, hem imprès diverses iteracions amb una impressora 3D, hem fet les modificacions pertinents i podem dir que el disseny és l'adequat. Ara hem de passar a la fabricació d'un model definitiu per poder fer proves, el problema que tenim és que la majoria d'impressores treballen amb termoplàstics, materials els quals no tenen les propietats que tindrà el material metàl·lic amb el que es fabricarà la peça final, per tant per treballar amb materials més resistents el més habitual és passar a la fabricació per subtracció de material, les fresadores i torns.

Es per això que tenia interès en aquesta maquinària, més concretament en les dirigides per computadores amb control numèric (CNC). En el laboratori de prototipat e enginyeria inversa disposen d'una xicoteta fresadora de sobretaula que faltava acabar d'acoblar i configurar. L'ús de la fresadora serà per mecanitzar prototips per sostracció de materials (mitjançant programes específics per a prototipat) i per al mecanitzat normal de peces mitjançant CNC.

Personalment tinc experiència amb impressores 3D, torns i diversos mètodes de fabricació per tant l'oportunitat d'aprendre com funcionen les màquines CNC i poder treballar amb una em pareixia un repte interessant de cara al meu desenvolupament professional.

El treball constarà de diverses parts, primer la posada en funcionament de la fresa on es revisaran totes les connexions i es comprovarà que tot funciona correctament (configurant el programa encarregat del control de la màquina, el Mach3). Seguidament passarem a dissenyar la màquina en CAD per a poder realitzar les modificacions de hardware pertinents sobre el model complet i així accelerar el procés de prototipat de les millores. Finalment dissenyarem e incorporarem les millores a la màquina i comprovarem el seu correcte funcionament.

1.1 Objectiu del treball

L'objectiu del treball és posar en funcionament una fresadora de sobretaula, dissenyar una nova bancada i preparar-ne el software per a poder realitzar una xicoteta prova de funcionament i comprovar que tot ha estat configurat de manera correcta. Treballem amb diferents softwares, des de programes per controlar la fresadora, a programes de prototipat ràpid, passant per programes de disseny CAD.

2 Configuració hardware i software del control i la màquina

2.1 Comprovacions prèvies

Abans d'arrancar haurem de comprovar que la màquina està connectada correctament a la xarxa elèctrica i a la unitat de potencia i control de l'equip. També revisarem les connexions dels motors i els sensors de final de carrera (Figura 1) per assegurar-nos que no es produeix ningun error durant el funcionament de la fresa.

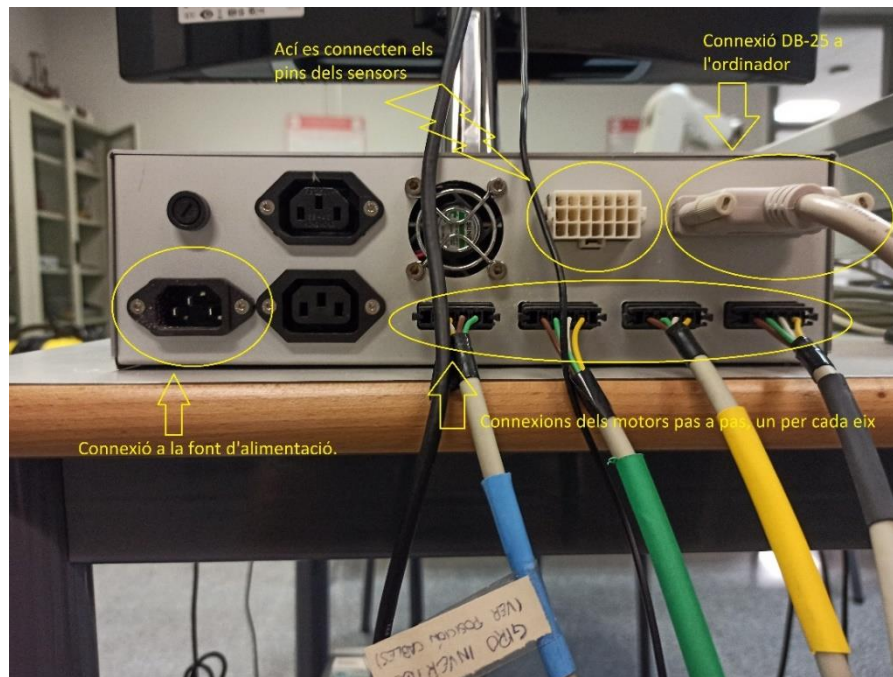


Figura 1. Connexions a la placa base

La placa base de la màquina es comunica amb l'ordinador mitjançant un cable DB-25. Aquest cable té diversos pins cadascun dels quals té assignada una funció com poden ser els motors, els sensors de final de carrera o els eixos que després controlarem amb el software pertinent. Per comprovar que aquest cable està connectat es comprova en l'ordinador el port LTP (Figura 2). Accedirem mitjançant el Panel de Control >> Impresoras y otro Hardware >> Sistema >> Hardware >> Administrador de dispositivos >> Puertos COM & LTP.

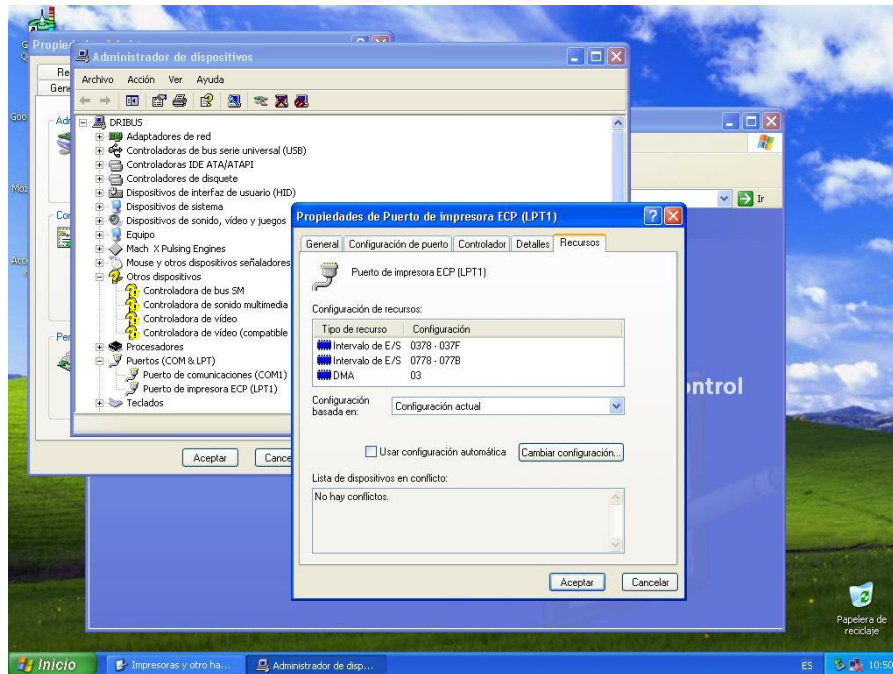


Figura 2. Propietats del port LPT1

2.2 Configuració Mach3

El Mach3 (Figura 3) és un programa capaç de convertir un ordinador típic en un controlador de màquina CNC, controlant el moviment dels motors (pas a pas i servos) mitjançant Gcode. Aquest programa té moltes característiques avançades i pot treballar en la majoria d'ordinadors amb sistema operatiu Windows, sent un dels programes més intuïtius disponibles.

Mach3 converteix un ordinador típic en un controlador de màquina CNC. És molt ric en funcions i ofereix un gran valor per a aquells que necessiten un paquet de control CNC, Mach3 funciona a la majoria de PC amb sistema operatiu Windows.

Tot i que inclou moltes funcions avançades, és el programa de control CNC més intuïtiu disponible. Mach3 és personalitzable i s'ha utilitzat per a moltes aplicacions amb nombrosos tipus de maquinaria. És capaç de controlar torns, freses, làsers, talladors de plasma, etc.

La funció principal del programa és convertir un computador convencional en un controlador CNC de sis eixos amb totes les funcions que pots necessitar. Permet importar directament arxius de tipus DXF, BMP, JPG i HPGL, així com la creació de Gcode a través de LazyCam o Wizards. A més l'interfície és completament personalitzable podent afegir macros amb l'ajuda de Vbscript.

Una altra funció molt interessant de la que disposa el programa són els Wizards, aquests són xicotets programes que amplien les capacitats del Mach3. Poden ser escrits per qualsevol i es dissenyen per tal d'ajudar als usuaris a realitzar rutines u operacions freqüents, sense la necessitat de escriure un nou Gcode cada vegada. Per defecte el programa porta alguns dels Wizards més comuns instal·lats per endavant com poden ser el tall d'engrenatges, el gravat de textos o la realització de forats. En aquest TFG no es tocarà el tema dels Wizards.

El Mach3 necessita uns requeriments mínims per funcionar correctament, en el nostre cas on utilitzem un ordinador amb un port paral·lel per al control de la màquina són els següents:

- PC amb un **port paral·lel** per controlar la màquina (En qualsevol altre PC que no dispose de port paral·lel, per exemple els portàtils, es necessitaria un adaptador USB a port paral·lel).
- Versió de 32bits de Windows 2000, Windows XP o Windows Vista (Les versions de 64 NO funcionen).
- 1 GHz de CPU.
- 512 MB de RAM.
- Targeta de vídeo amb 32MB de RAM (Gcode llargs, i especialment per a arxius 3D necessiten targetes de 512 MB o superiors).



Figura 3. Logo Mach3

2.2.1 Configuració dels pins

El primer que hem de comprovar és que la direcció del port el qual el programa rep la informació, sent aquest el Port#1 i la direcció física la 0x378 (Figura 4). Açò es troba en la opció "Ports & Pins" dins la pestanya de configuració.

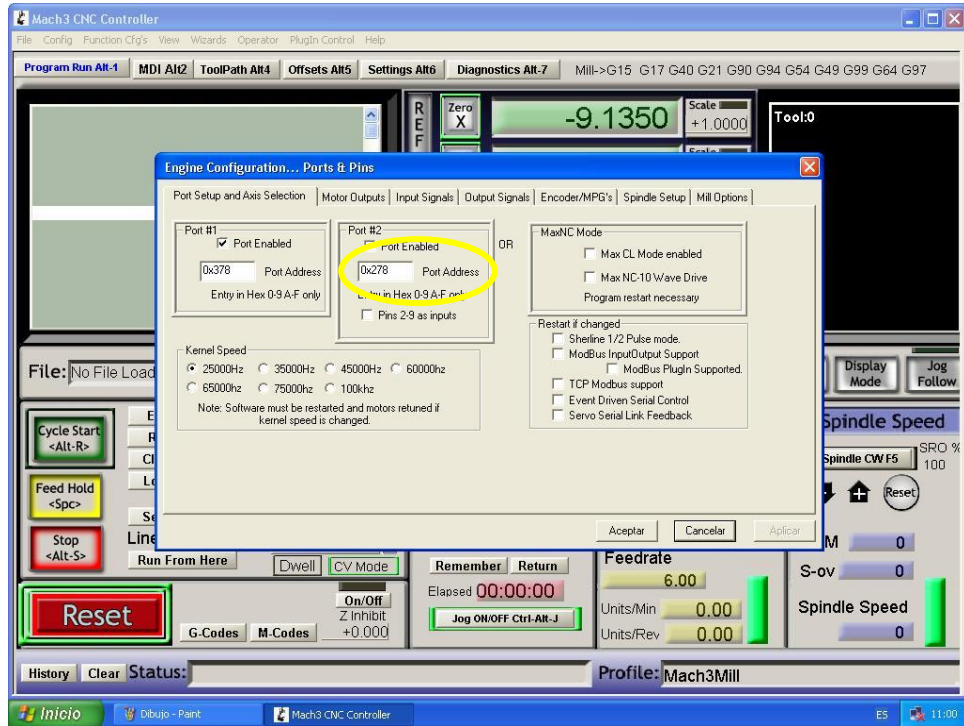


Figura 4. Direcció Port#1

En aquest mateix menú en l'apartat "Motor Outputs" (Figura 5) podem configurar quin pin del cable DB-25 controla cada acció, la columna "Step Pin#" serveix per a controlar el moviment dels servos mentre que "Dir Pin#" controla el sentit. S'utilitzarà la següent configuració.

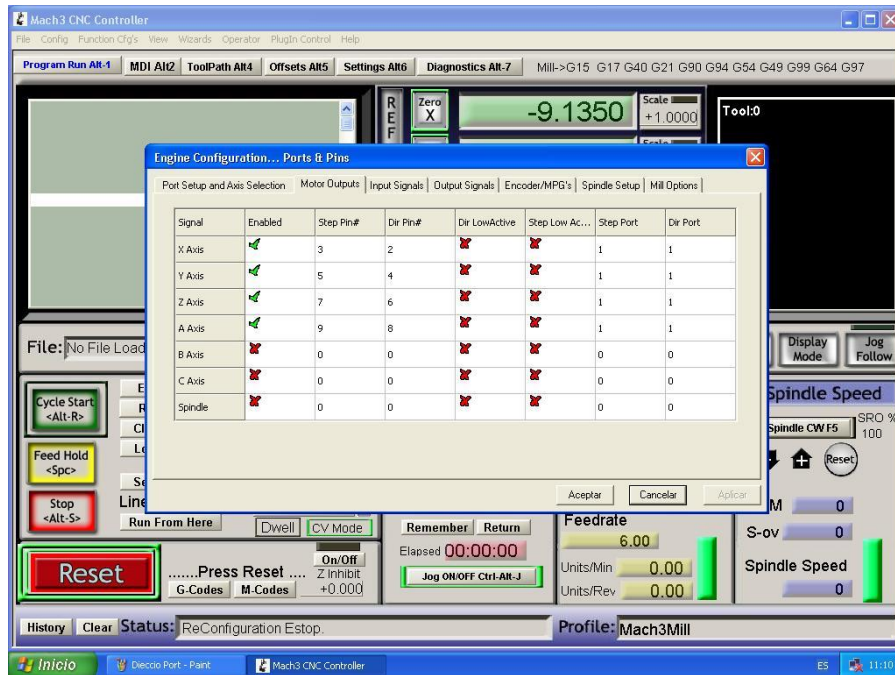


Figura 5. Motor Outputs

2.2.2 Configuració dels eixos

Primer hem d'assignar el sistema de coordenades als eixos que té la màquina. Per tal de seguir un conveni i que tots els programes de control numèric siguin capaços de funcionar en la màquina per a la qual s'han desenvolupat, independentment del element físic que es moga en cadascú dels eixos, la peça i/o la ferrament, seguirem la Norma UNE 116-001-88 (ISO 841) aquesta ens permetrà definir quins són els eixos X Y Z, així com el seu sentit. La norma es pot trobar en les referències bibliogràfiques.

- Eix Z
 - Per a l'eix Z generalment es selecciona l'eix paral·lel a la claveguera que genera el mecanitzat.
 - El sentit Z positiu és aquell que augmenta la distància de la ferrament a la peça (Figura 6).

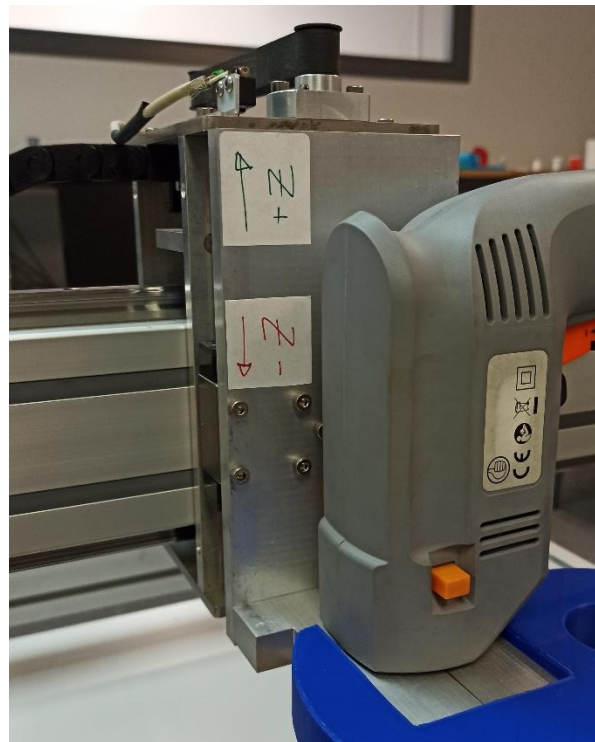


Figura 6. Sentit i direcció eix Z

- Eix X
 - Preferiblement l'eix X serà horitzontal i paral·lel a la superfície de subjecció de la peça. A ser possible l'eix principal del moviment de la peça o la ferrament.
 - Si existeix claveguera i l'eix Z és vertical en les màquines de pòrtic, com la nostra, es determina X+ a la dreta quan es mira des de la claveguera al muntant esquerre del pòrtic (Figura 7).



Figura 7. Direcció i sentit eix X

- Eix Y
 - Com el sistema de referència és un triedre, sentit directe, l'eix Y queda definit per el producte vectorial dels altres dos eixos, Z e X, (Figura 8).

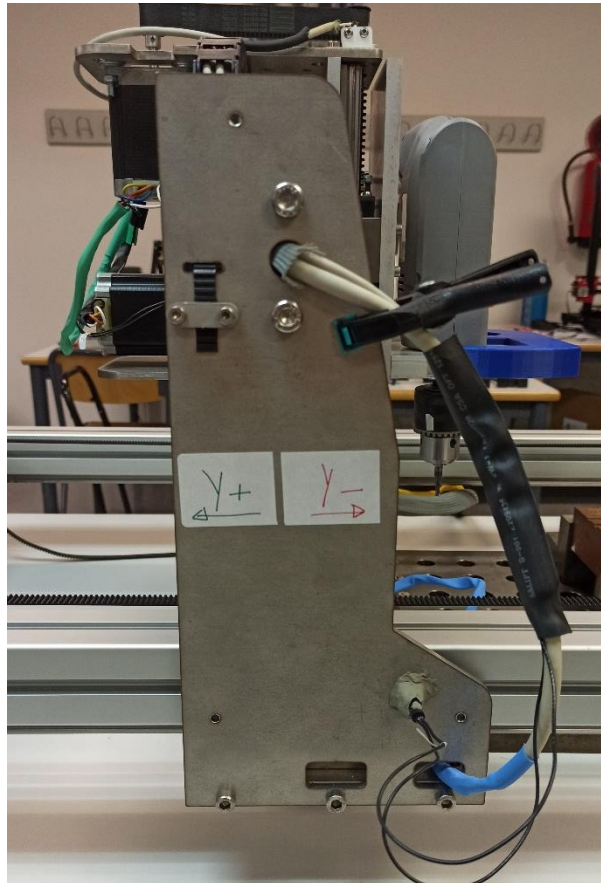


Figura 8. Direcció i sentit eix Y

Abans de configurar els eixos hem de comprovar que les unitats siguin les correctes, per tal de fer això obrirem el menú configuració i cliquem sobre "Select Native Units", en aquesta pestanya ens assegurem que les unitats seleccionades són mil·límetres.

La màquina treballa amb 4 motors, el Mach3 necessita un eix per cada motor així que assignarem un eix auxiliar A, a un dels motors. Aquest eix serà part del moviment en l'eix global Y, per tant necessitarem convertir l'eix A en esclau de l'eix Y, mitjançant la funció "Slave Axis Selection" (Figura 9) del menú configuració així aconseguirem que ambdós motors es moguin solidàriament. La màquina fa servir dos motors per a desplaçar tot el pòrtic a lo llarg de l'eix Y, un per cada columna.

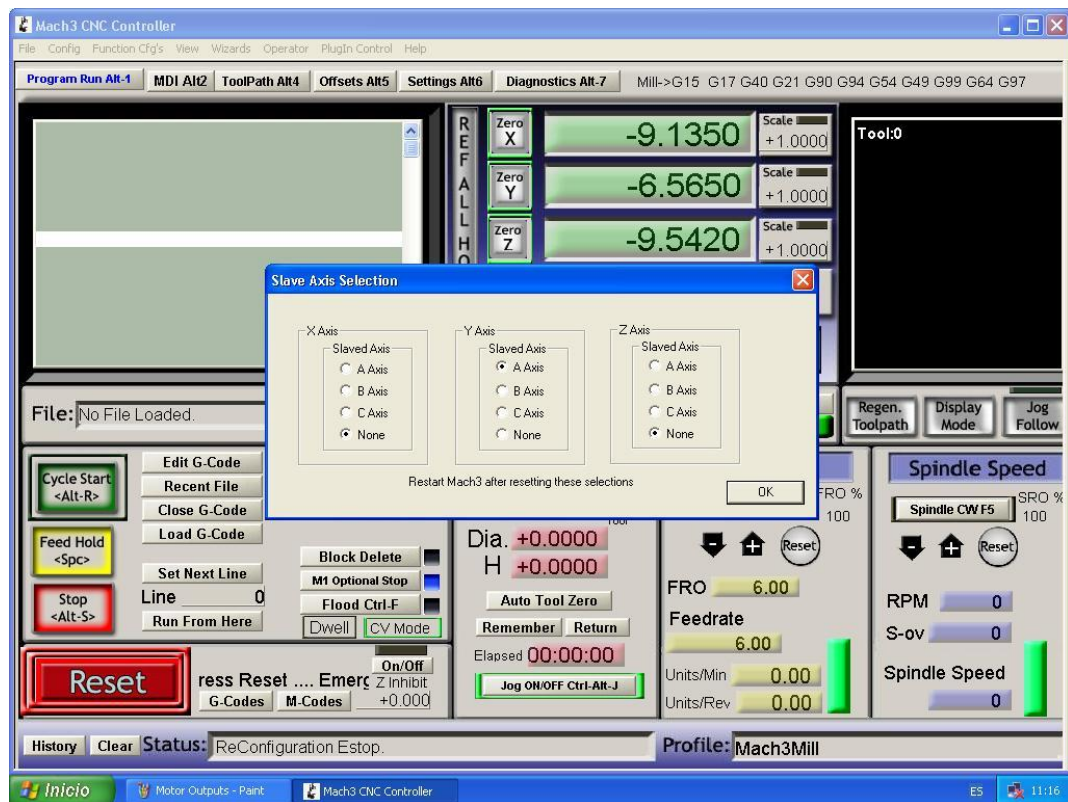


Figura 9. Slave Axis

A més hauré de activar l'opció "Home Slave with Master Axis" (Figura 10) en "General Config" dins del menú "Config". Activar aquesta opció ens permetrà sincronitzar el final de carrera, de l'eix A amb l'eix Y, més avant, quan configurem els finals de carrera.

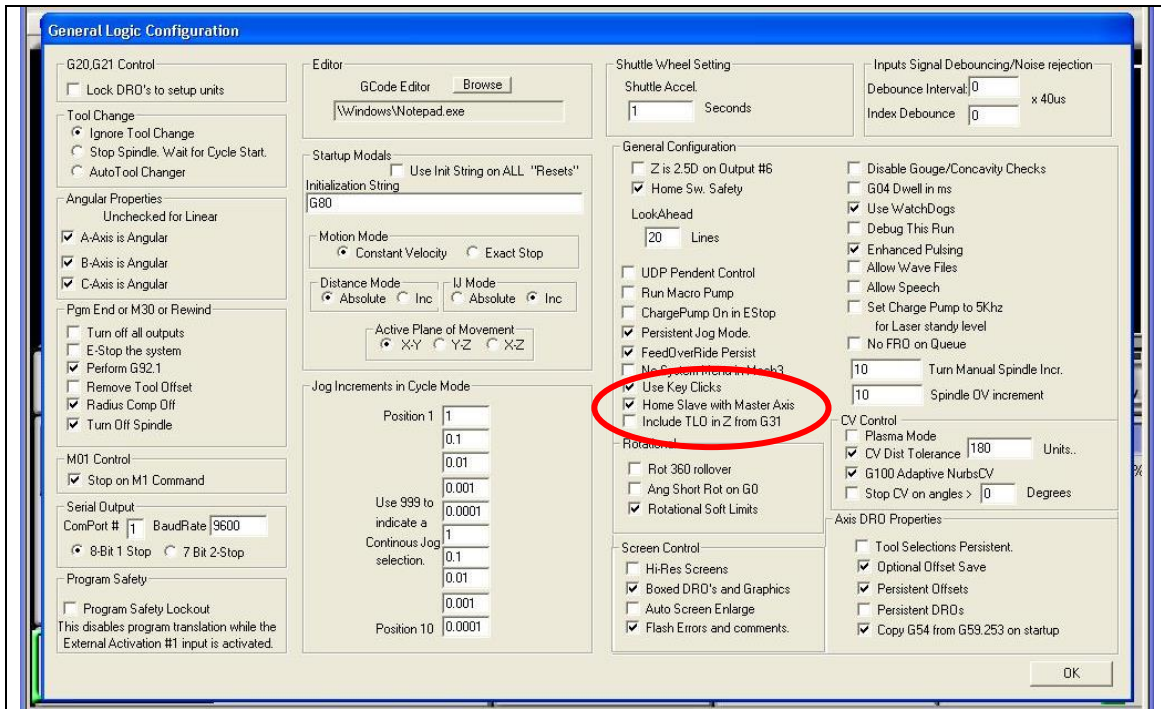


Figura 10. Slave Axis Master

2.2.3 Configuració dels motors.

Per a que el Mach3 controle de manera correcta la fresadora, hem d'indicar-li el tipus de motors amb els que es va a treballar en cada eix. Treballem amb motors pas a pas, són molt populars, ja que tenen un par de retenció acceptable par a este tipus de màquines de poca potència, a més de ser resistents i barats. Per contra tenen baixa velocitat i operen amb un bucle de control obert, per tant necessiten un controlador per funcionar i això és el que configurarem en el Mach3.



Figura 11. Motor pas a pas

Existeixen diferents sistemes de control per als motors, estos tenen en compte les limitacions físiques reals, com per exemple la impossibilitat d'aconseguir la velocitat

màxima de forma instantània. El sistema de control que s'utilitzarà per a aquest motors serà el trapezoïdal (Figura 12), és dels sistemes mes utilitzats en aquest tipus de motors. Per a més informació es pot consultar ARCHIU ATMEL AN 8017, l'enllaç del qual es troba en les referències bibliogràfiques.

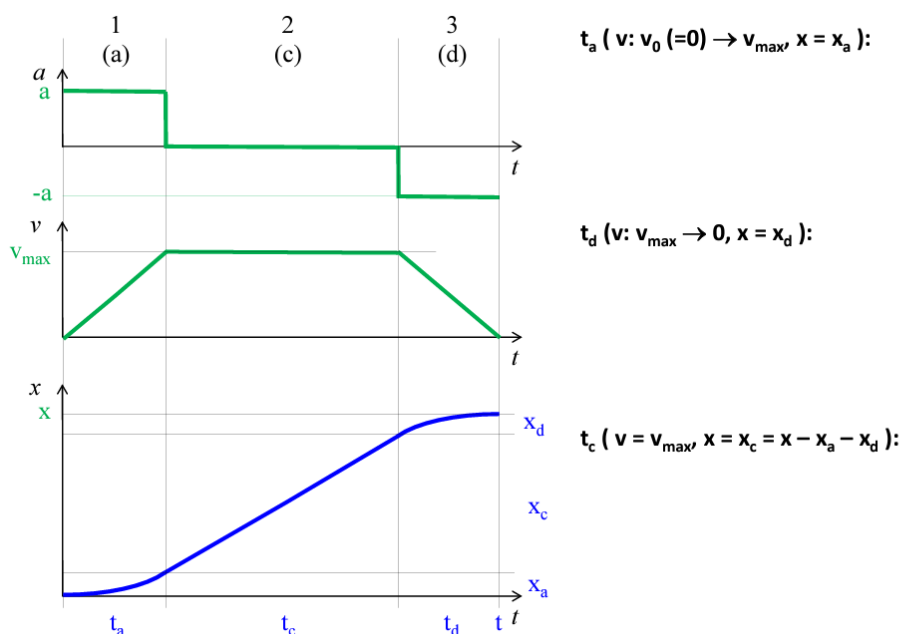


Figura 12. Perfil Trapezoïdal

Una de les dades necessàries per a configurar el perfil anteriorment mencionat en Mach3, és el nombre de passos que dona cada servomotor per a realitzar un gir complet de l'eix. En les característiques que es troben a l'etiqueta del motor ens trobem el pas en graus amb un valor de 1'8º, per convertir-lo a passos:

$$\frac{360^\circ \cdot 1pas}{1.8^\circ} = 200 pasos$$

Aquest valor és vàlid per als eixos X, Y i A, ja que disposen de transmissió per corretja. Amb l'eix Z existeix una transmissió per caragol sense fi, per tant, el nombre de passos es calcula de forma diferent. Adicionalment necessitem el valor de micropasos del driver i l'avanç per volta del caragol sense fi. Disposem d'un driver A4988 amb 16 micropasos per volta i el caragol sense fi de rosca mètrica 8 (M8) donant així un avanç per volta de 1'25mm. Al final la formula quedaria tal que:

$$\frac{200 pasos \cdot 16micropasos}{1.25mm} = 2560 pasos$$

Per a introduir els paràmetres correctes dels motors, utilitzarem la funció “Motor Turning” (Figura 13) del menú configuració. Per a cada eix s’ha de fer la configuració de forma individual i presionar el botó “Save axis settings” abans de canviar d’eix.

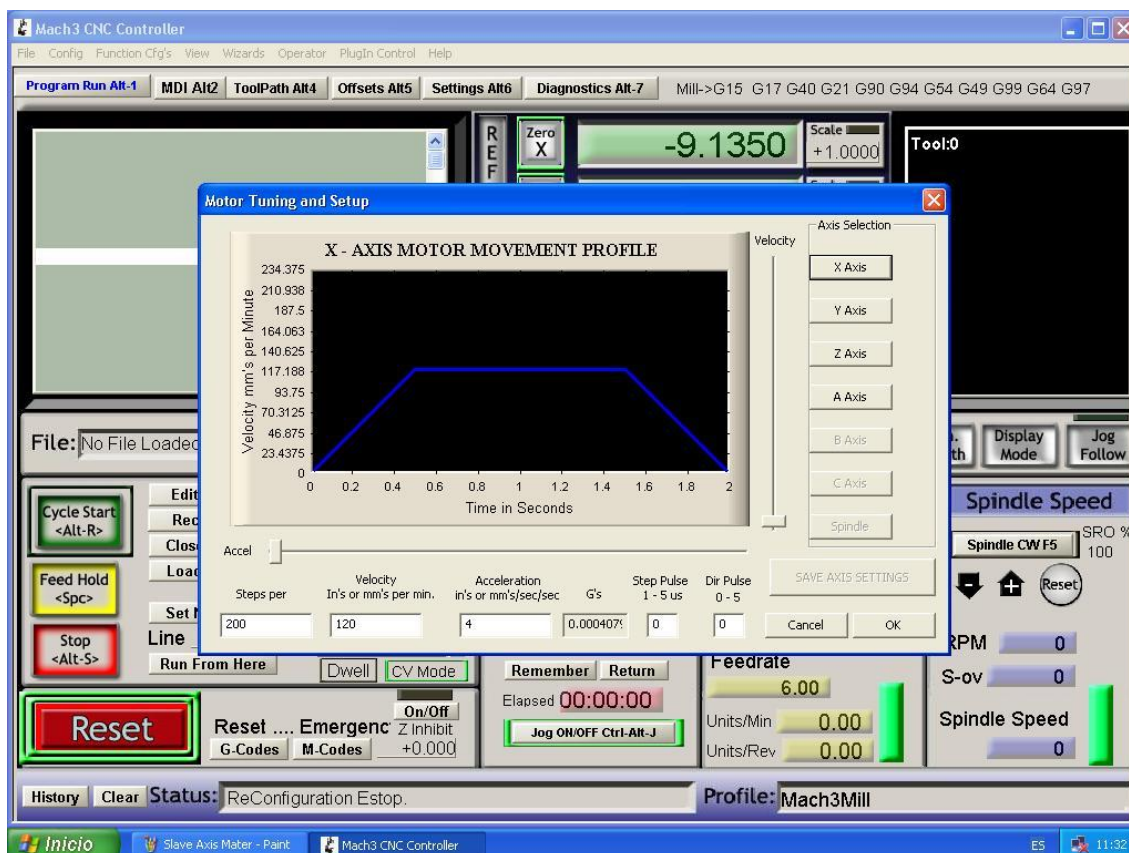


Figura 13. Motor Tuning

2.2.4 Configuració dels finals de carrera.

Per configurar els finals de carrera existeixen dos camins, analitzarem els dos i vorem quin ens convé més per a la nostra màquina.

La primera opció seria utilitzar els sensors dels que disposem, per a efectuar aquesta configuració entrem en el menú “Config”, “Ports ans Pins” (Figura 14), “Input signals”. Per als sensors disposem de dos capacitius situats en els pins 12 i 10 que s’utilitzaran per als eixos X e Y respectivament i un interruptor en el pin 13 que llimita l’eix Z.

- Problemes amb els sensors

El sensor de final de carrera de l’eix Z no funcionava correctament, el programa no era capaç de detectar quan es presionava a pesar de que l’interruptor es trobava en bon estat. Per a resoldre el problema es van descobrir les connexions amb el cablejat per tal de revisar-les, es va detectar que els cables no estaven soldats a l’interruptor, açò pot donar pas a errors ocasionals de falta de connexió però no explica la nul·la resposta del sensor. De totes formes, es va procedir a soldar amb estany les connexions i a catalogar

amb senyalitzadors de colors els cables que provenen dels sensors per poder diferenciar-los fàcilment. El problema persistia, per tant es va decidir obrir la placa base de la fresadora per veure si fallava alguna de les connexions dels pins. Efectivament, un dels connectors femella a l'interior de la placa estava desplaçat impedit així la connexió, amb un tornavís es va introduir de nou en el seu lloc. Després de comprovar amb el multímetre que ara tots els cables tenien continuïtat, passarem al Mach3 per a comprovar que els sensors envien senyal correctament.

En el menú "Port Setup & Axis Selection" cliquem en "Automated Setup of Inputs" ací podem activar de forma manual cada sensor i veure quin port s'activa. Després de fer les proves observem que els sensors X, Y i Z estan connectats als ports 12, 10 i 13 i no en els 10, 11 i 12 com estava en la configuració original. Canviant els pins en el menú i amb les connexions revisades i arreglades, els sensors ara funcionen de forma correcta.

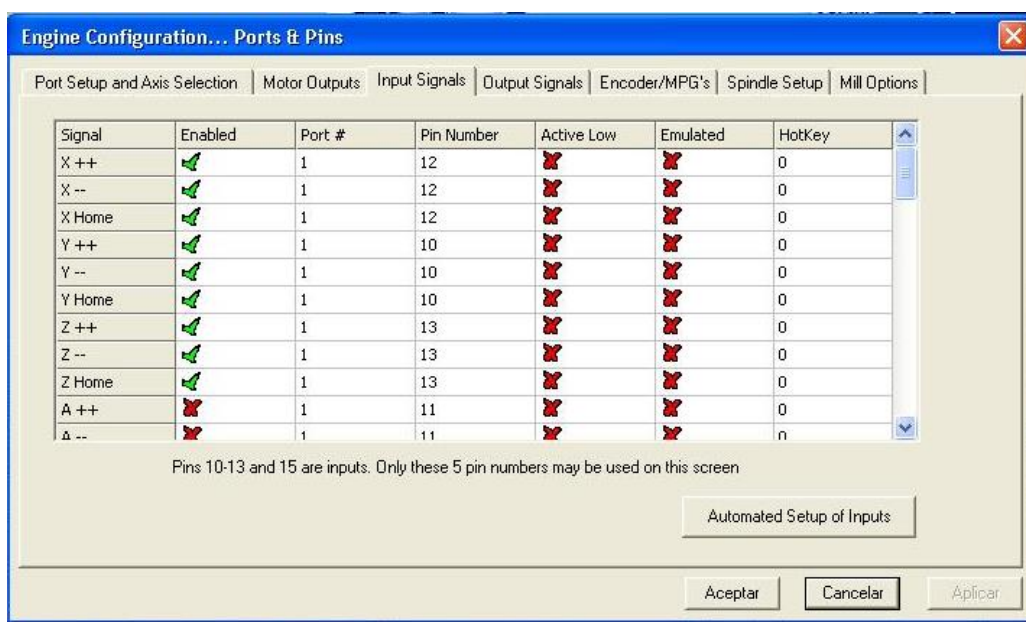


Figura 14. Configuració PIN Sensors

L'altra opció de la que disposem és crear uns límits de moviment, l'opció "Software Limits" o "Soft Limits" (Figura 15). En aquest cas limitarem la distància que es pot moure la màquina en cada eix amb el software, per a saber la distància haurem de moure manualment la fresa amb el "Manual Pulse Generator Mode", que vorem mes avant, fins els límits que nosaltres creguem adequats per a la bancada que construirem mes avant. Agafarem els valors de moviment dels eixos que apareixen en la pantalla del Mach3, per a després integrar-los en els paràmetres dels "Soft Limits". En la secció Config, Homing/Limits.

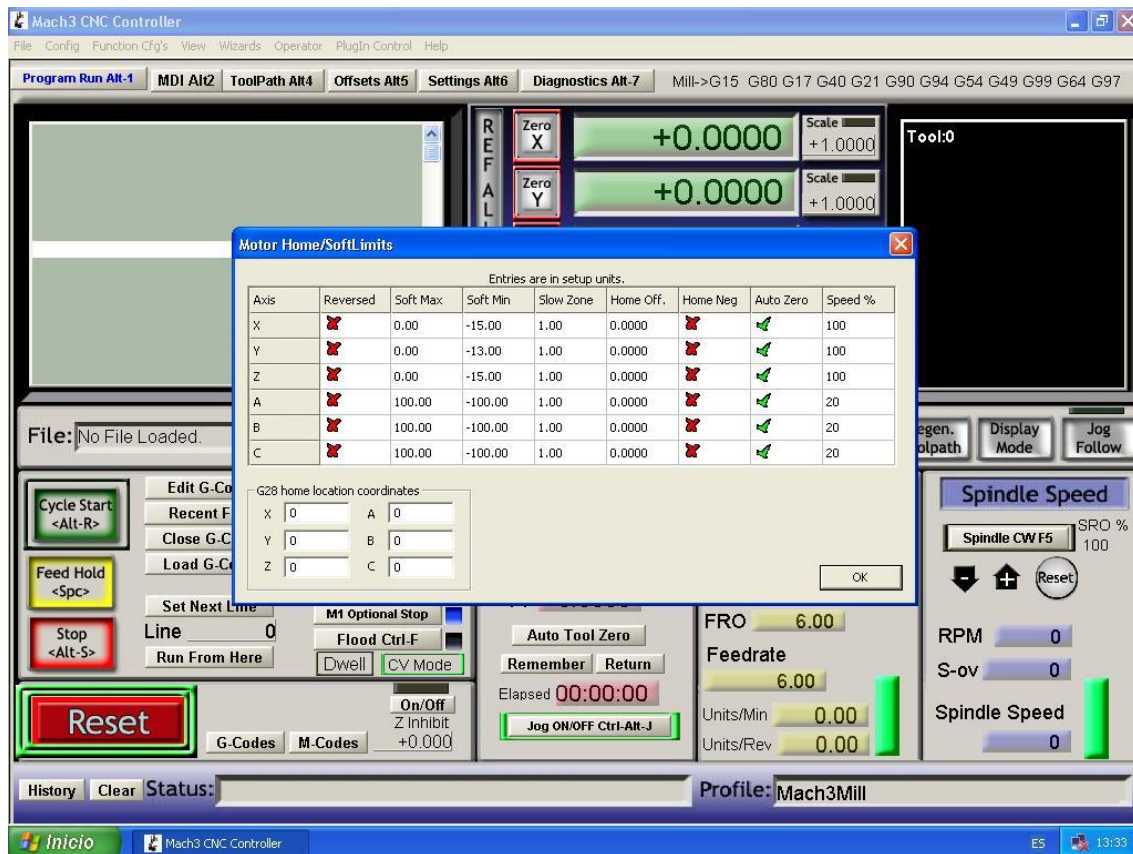


Figura 15. Configuració Soft Limits

La opció que escollim serà configurar els “Soft Limits” ja que al ser una parada electrònica es mes suau per als motors i és mes fàcil canviar la configuració en cas de que canvie l’espai de treball de la màquina, que accedir als sensors físics per a canviar-los de posició.

Amb els sensors dels que disposem, quan el programa detecta un final de carrera bloqueja la màquina, necessitaríem un sensor extra per eix per a referenciar un zero o punt d’inici per al punt “Home”. Sols amb un sensor per eix el programa imposa el punt “Home” en els finals de carrera.

- Proposta de millora

Amb la configuració actual no es pot afegir un sensor extra per eix, ja que no disposem de suficients pins, però es podria implementar un sistema amb lògica binària amb tres senyals de 0 o 1, així disposaríem de $2^3=8$ codis distints, podent configurar així un límit superior e inferior per a cada eix a més d’un per al punt zero o “Home”

En el Mach3, al arribar al final de carrera, el programa realitza una parada d’emergència, deixant els motors pas a pas amb corrent, sent impossible la seua recol·locació manual i per tant la màquina no es pot moure fins que no es talla la corrent i es desplacen els eixos de forma manual.

Podem sobrepassar els límits en una ocasió per a poder alliberar l’eix que haja arribat al final de carrera activant l’opció “Auto LimitOverRide”, aquesta funció ens permet

llevar la parada d'emergència des de el Mach3 per realitzar un moviment i així alliberar l'eix en qüestió. L'opció "Auto LimitOverride" es troba en el menú "Settings Alt6" (Figura 16). Després de realitzar aquest moviment, i per poder realitzar altres, haurem d'activar i desactivar la parada d'emergència, aleshores podrem realitzar moviments amb llibertat.

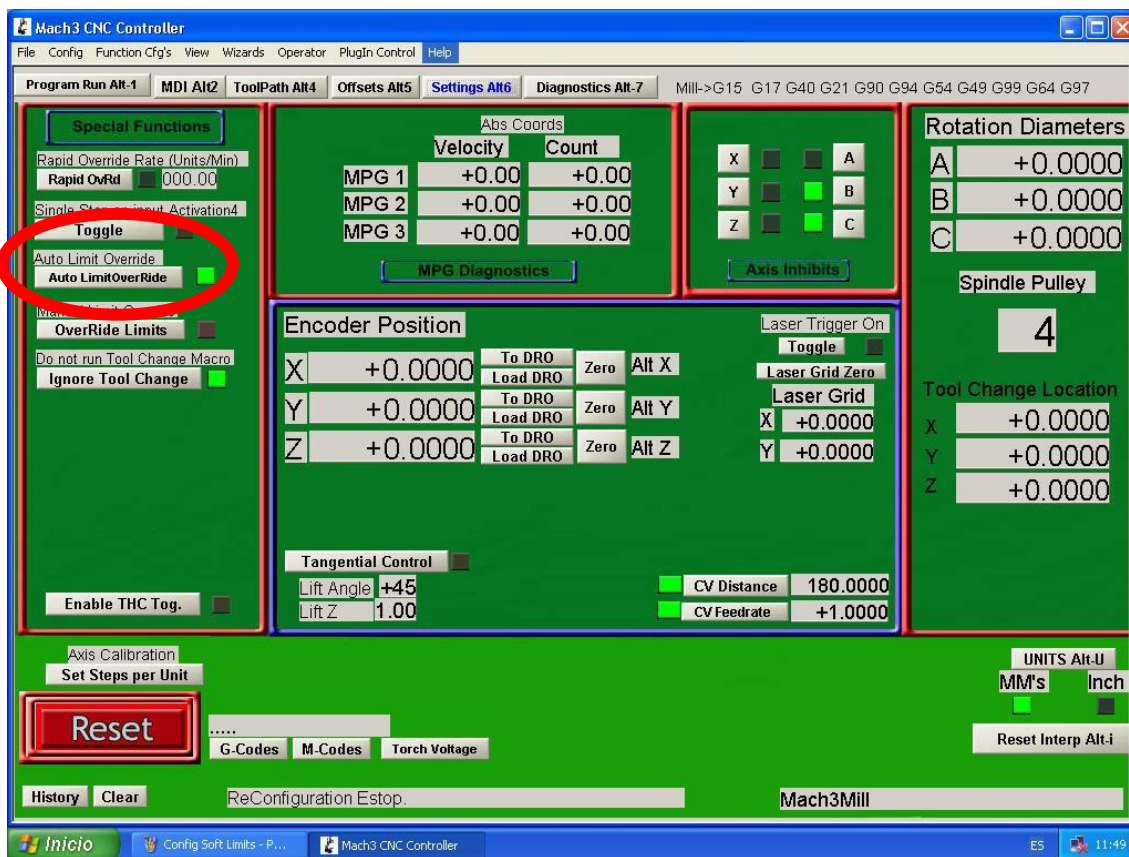


Figura 16. Autolimit Override

Farem servir els sensors físics per a mesura de seguretat hardware, per a que no es produeixen danys físics en els motors o les transmissions quan, per la raó que siga, la màquina es trobe en un límit real.

2.2.5 Comprovacions del correcte funcionament dels eixos

Per comprovar que els motors i els eixos estan configurats de manera correcta, mourem els motors de forma manual amb el MPG (Manual Pulse Generator Mode), aquest menú s'obri apretant el tabulador en el teclat de l'ordinador. Ens apareixerà un menú com en la Figura 17 des d'on podrem controlar manualment els diferents eixos amb els botons que apareixen en l'apartat "Button jog". També es possible controlar els eixos X i Y amb les feltxes del teclat i l'eix Z amb les tecles d'avançar i retrocedir de pàgina. Abans de moure els eixos hem de premer el botó de "Reset" per a sortir del mode de parada d'emergència.

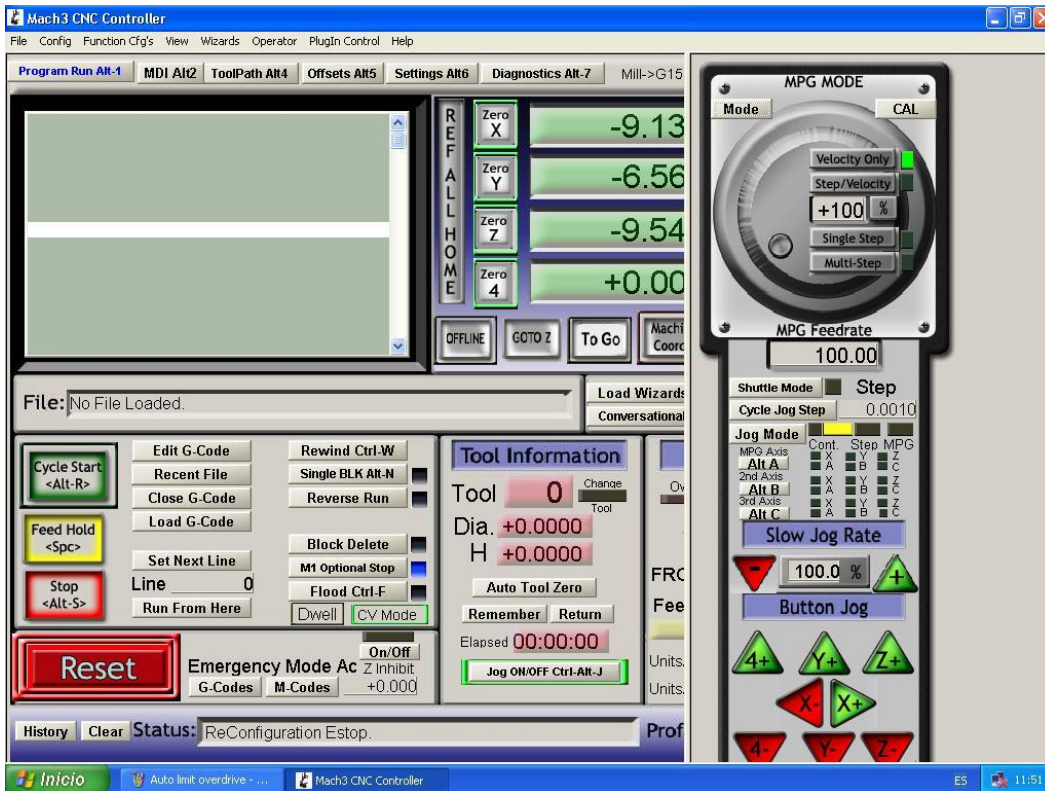


Figura 17. MPG Mode

Un altra forma de controlar el moviment és el la pestanya “Manual Data Input” o MDI (Figura 18), on es pot escriure un GCode per executar una serie de moviments específics.

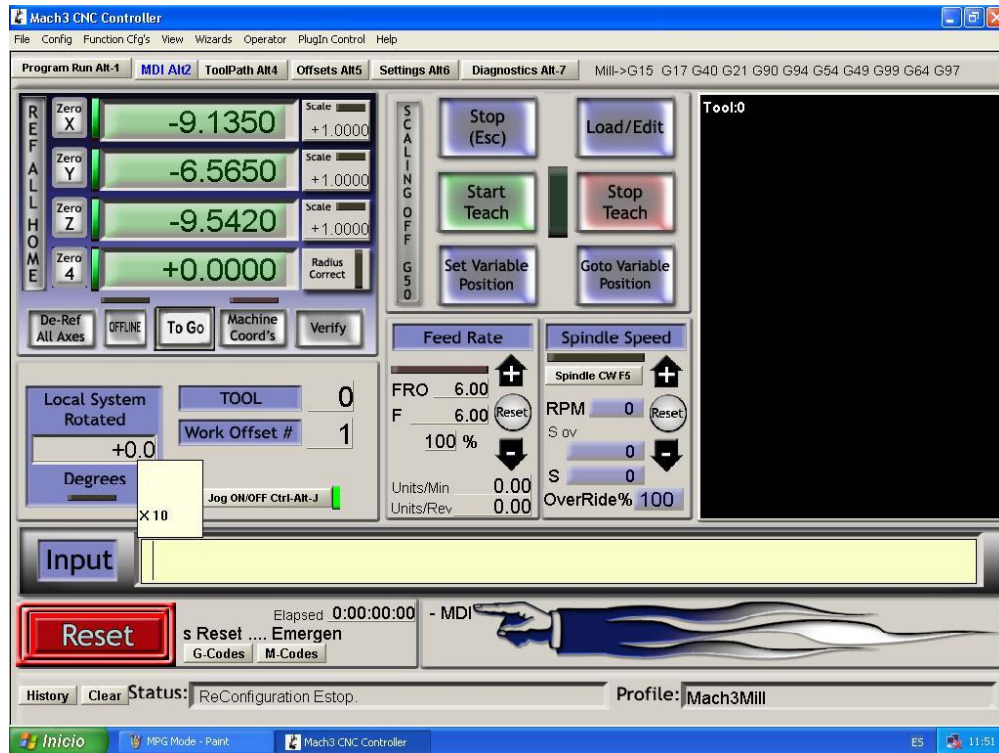


Figura 18. MDI Gcode

3 Disseny CAD de la fresadora

Tindre un model en tres dimensions de la màquina es necessari per a moltes coses com per exemple en el desenvolupament de noves millores per a la seva ràpida creació i adaptació a la maquinària, o per a disposar de les mesures adequades en tot moment sense haver de tindre la fresadora al abast.

El software CAD utilitzat per a crear el model complet de la màquina ha sigut l'Inventor 2023, Figura 19, propietat d' Autodesk. Existia la possibilitat d'utilitzar Solidworks o Catia, programes més potents a l'hora de realitzar simulacions dinàmiques, però pel que respecta al TFG només l'utilitzarem per dissenyar, en aquets apartat Inventor és més avançat respecte a plànols i assemblatges.



Figura 19. Logo Autodesk Inventor 2023

3.1 Perfils d'alumini

La base de la màquina esta formada per dos perfils d'alumini simples de longitud 100mm i dos perfils dobles de longitud 54mm, aquests perfils estan normalitzats. Els perfils simples disposen de guies en la part baixa per tal de subjectar els suports de l'eix A e Y. Els perfils s'han modelat des de zero per acoblar-los a la màquina, el resultat es mostra en la Figura 20.

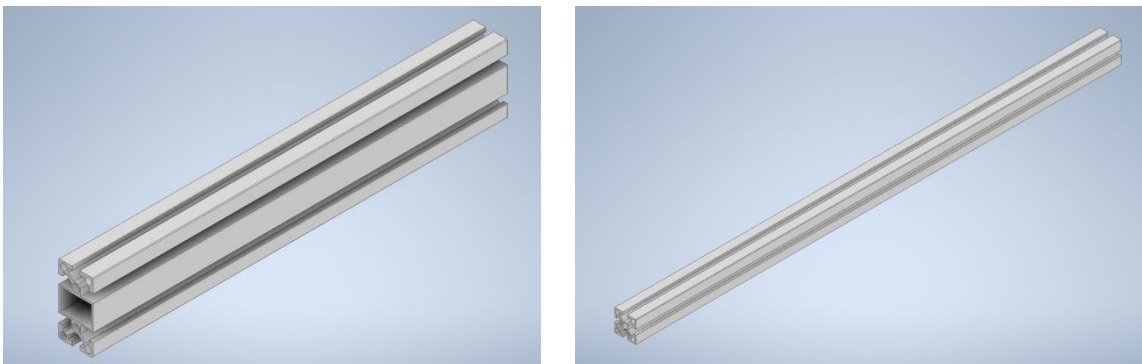


Figura 20. Arxius CAD dels perfils

3.2 Peus

La fresa esta suportada per uns caragols amb una base de goma de forma cònica (Figura 21) i amarrats als perfils mitjançant rosques. L'esquelet du quatre peus, un en cada cantó. Per anivellar els perfils es poden rosca més o menys depenent si volem pujar-lo o baixar-lo, nosaltres ens hem ajudat d'un nivell de bombolla per assegurar així una homogeneïtat en els eixos.

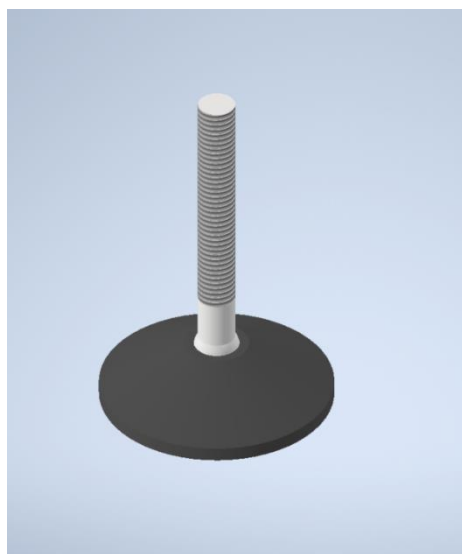


Figura 21. Arxiu CAD d'un peu.

3.3 Suports eixos X

L'eix X està format per un perfil doble d'alumini subjectat per dos suports, els quals també suporten els motors que fan accionar els eixos A e Y. Estos suports es connecten als laterals de la fresadora mitjançant guies en la part baixa dels mateixos, i subjecten l'eix X amb cargols roscats. Esta peça consta de dos parts, la base (peça gran, en forma de "L") que conté la ranura que permet el pas del cablejat i els forats per unir l'eix X. L'altra peça és el lateral (Peça menuda rectangular) amb els forats per el motor de l'eix Y i A (Figura 22).

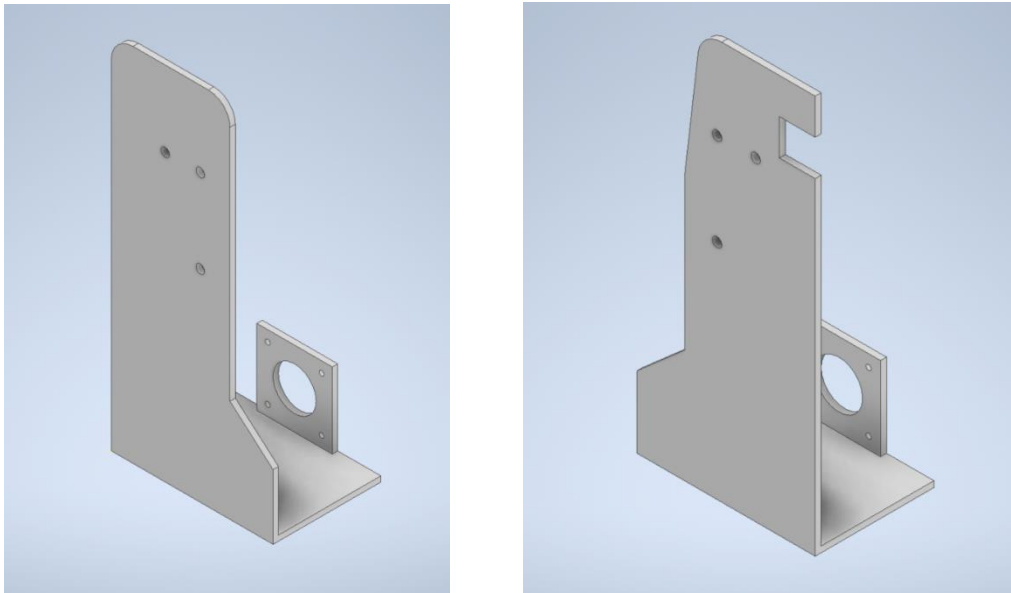


Figura 22. Suport Eix X

3.4 Suport eix Z

Per al moviment en l'eix Z s'utilitza un caragol sense fi, aquest està muntat en aquesta estructura (Figura 23) que a la volta està muntada sobre el perfil doble d'alumini que fa d'eix X. Aquest suport de l'eix Z també aguanta els motors que accionen el moviment tant en l'eix X com en el caragol sense fi que mou l'eix Z.

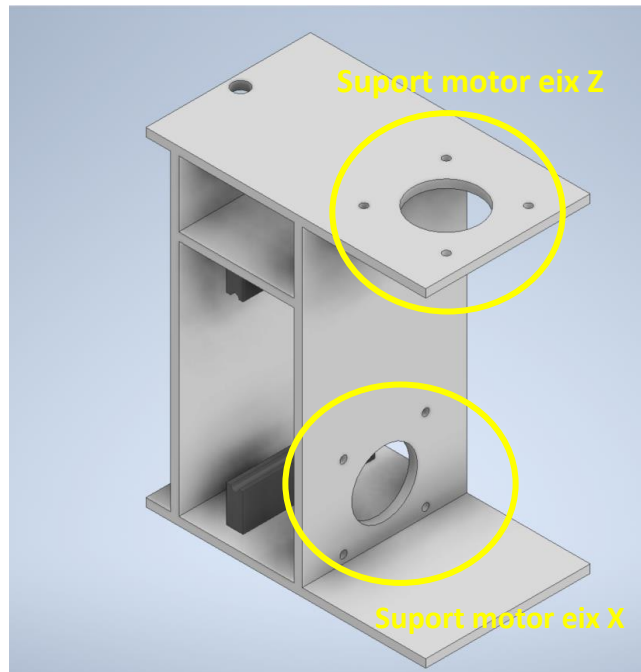


Figura 23. Suport eix Z

3.5 Acoble Taladre

El rotalí o taladre, ferramenta que s'utilitza per a realitzar les operacions de tall, es munta a la fresadora amb esta peça, Figura 24. En la part darrera de la peça trobem dos guies que la subjecten al suport de l'eix Z. En la part inferior trobem un forat roscat on s'introdueix un caragol per apretar la boca de la ferramenta al suport.

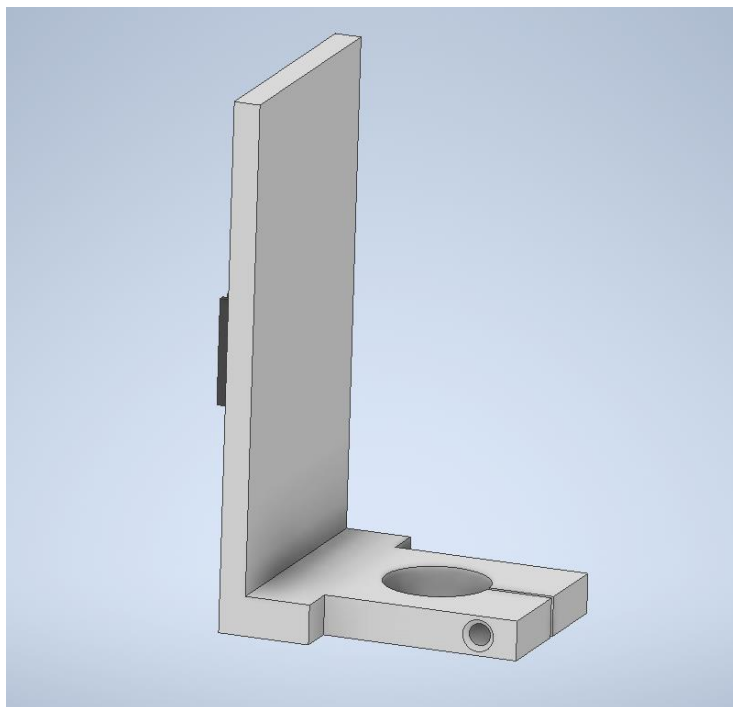


Figura 24. Arxiu CAD acoble taladre

3.6 Rotalí (Taladre)

Es va decidir realitzar un modelat complet de la ferramenta a utilitzar (Figura 25) per així tindre una millor referència de cara a les millores de hardware que es faran en un futur.

La ferramenta és un rotalí Kress 1050 FME, esta dotada d'una potència de 1050 W i es capaç de treballar entre 10000 i 29000 rpm. Es connecta a la red elèctrica mitjançant un cable, el motor te un pes de 1'7 Kg. Per subjectar diferents fresas utilitza un acoblament ER-16 amb pinces, el diàmetre de la brida son 43mm i el del mandril 8mm.

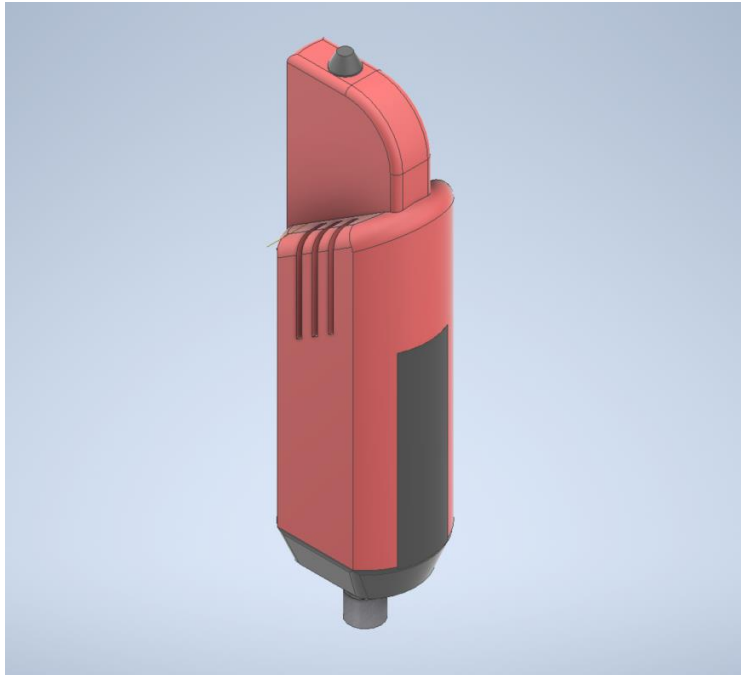


Figura 25. Arxiu CAD del rotalí

3.7 Motors

Els motors són un arxiu CAD descarregat d'un catàleg de motors pas a pas, Figura 26, l'enllaç es pot trobar en les referències bibliogràfiques. És un motor pas a pas amb corrent nominal 3A, una tensió d'alimentació de 24V i un par màxim de 2'5Nm.

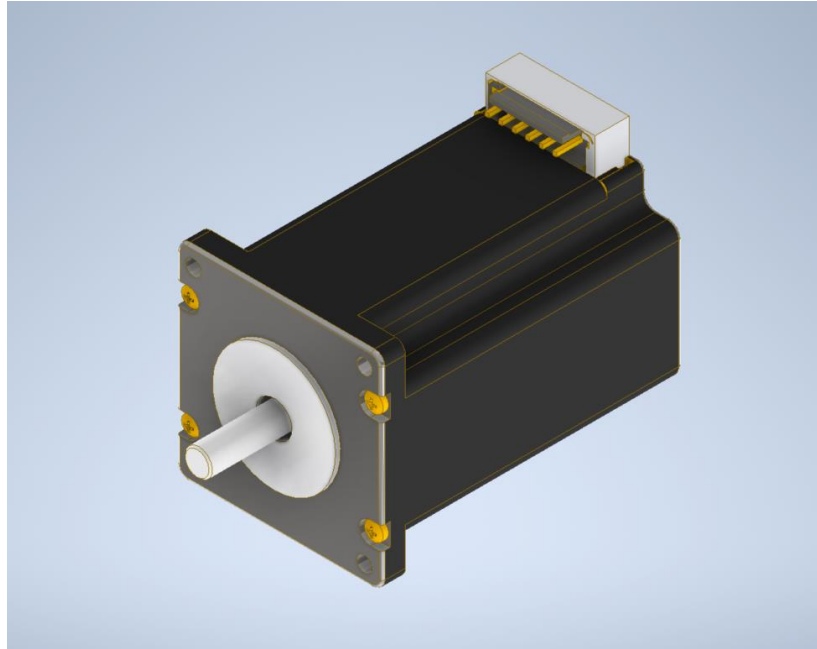


Figura 26. Arxiu CAD dels motors pas a pas

3.8 Assemblatge

Per a l'assemblatge s'han seguit els passos que es seguiren per muntar la màquina. Primerament es va muntar la base amb els quatre perfils d'alumini en forma de rectangle, de seguit s'incorporen els peus mitjançant rosques per ancorar-los als perfils i així poder regular l'altura de la base, Figura 27.



Figura 27. Assemblatge base

A continuació muntem, en el suport de l'eix Z, el motor que accionarà el moviment vertical de la ferramenta i el que mourà l'eix X (Figura 28). Una vegada els motors estan

correctament col·locats, i introduïm el suport de l'eix Z en el perfil doble d'alumini que és l'eix X mitjançant les guies.

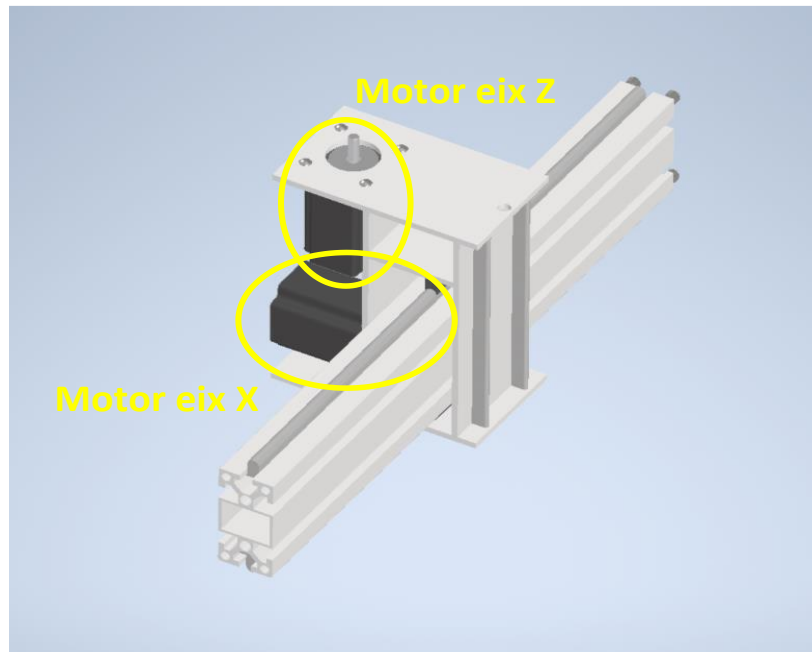


Figura 28. Assemblatge eix Z i X

Amb els eixos X i Z premuntats, passem als suports que aguantaran l'eix X i Z i els uniran a la base (Figura 29). En aquest cas són dos suports, però s'assemblen de forma anàloga, només s'han de cargolar els motors pas a pas en la ranura disposada per a aquesta funció. Després s'acoblaran als laterals de la base seguint les guies.

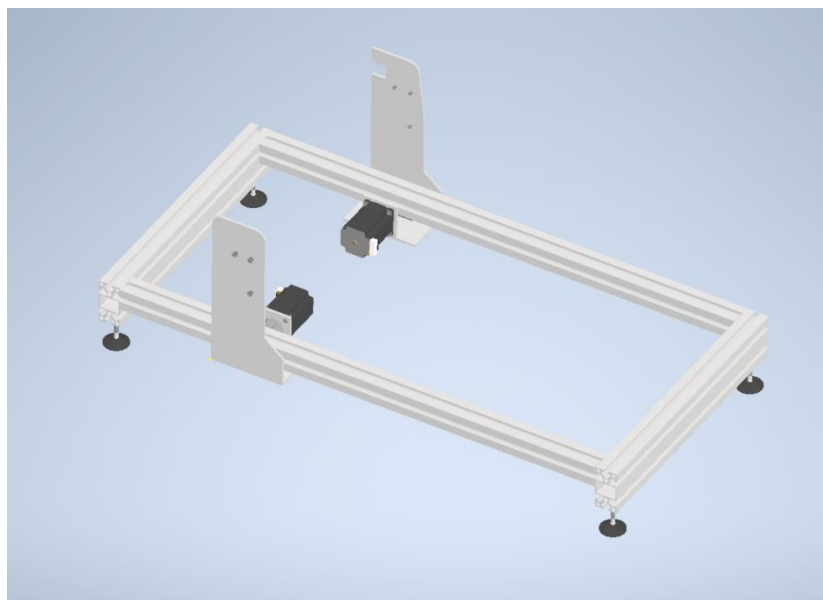


Figura 29. Assemblatges eixos Y i A

Seguidament muntarem l'eix X als suports que acabem de col·locar (Figura 30) aquest es cargola als suports per mitjà dels forats situats en la part superior dels suports.

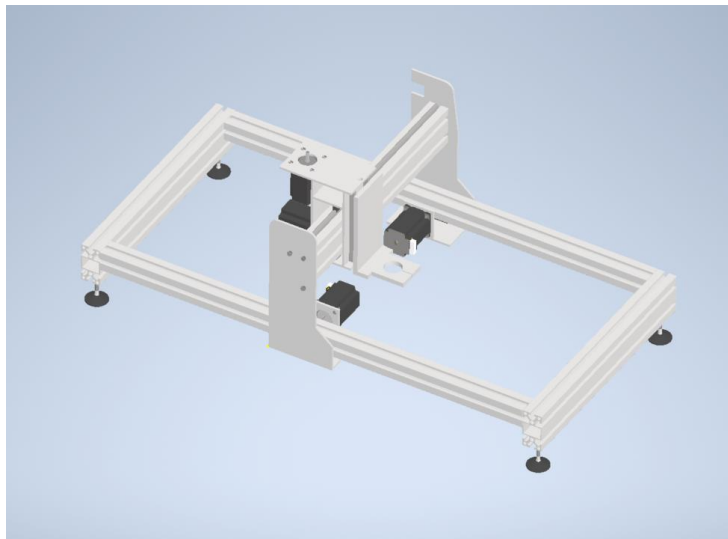


Figura 30. Assemblatge eix X

Per finalitzar acoblarem el suport de la ferramenta a l'eix Z, a través de les guies, i així tindrem la màquina completa, a falta de col·locar i assegurar el taladre en el seu lloc (Figura 31).

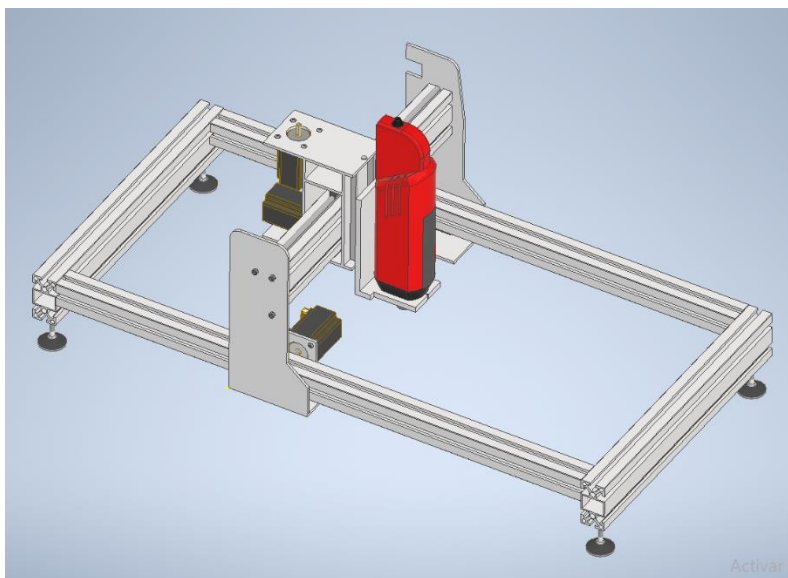


Figura 31. Assemblatge de la fresadora

4 Disseny de la bancada

La màquina no disposa de bancada, per tant un dels reptes d'aquest treball serà construir-ne una des de zero, controlant totes les fases del desenvolupament començant amb el disseny, passant per el muntatge i acabant amb la correcta implementació i ús de la mateixa.

Per a la bancada existeixen varies opcions però per a màquines menudes com podria ser aquesta amb la que estem treballant en necessitem una compacta que s'adapte a les dimensions de l'espai de treball. S'han barallat diverses alternatives, com per exemple utilitzar una base com les de les màquines de tall per plasma o una bancada convencional com podria ser una taula d'alumini. Despès d'estudiar cadascuna hem reduït el nombre a dos candidats que podrien servir per a aquest projecte.

4.1 Bancada de Melamina vs Bancada amb Norelem

Una de les opcions, la més econòmica, és construir una base amb un tauler de conglomerat de melamina i amb canals formats per perfils d'alumini per tal de cargolar el útils per les amarratges que es necessiten per fer les diferents operacions amb la fresa, Figura 32.

L'altra opció seria agafar una de les bases que ven l'empresa "Norelem" i acoblar-la al nostre espai de treball per a que complete la funció de bancada, Figura 33.

Bancada de Melamina

Avantatges	Inconvenients
<ul style="list-style-type: none"> • Material lleuger • Dimensions a mesura • Personalitzable • Simplicitat • Més econòmic 	<ul style="list-style-type: none"> • S'ha de construir • Existeixen opcions més resistents • Qualitat toleràncies baixa



Figura 32. Bancada amb melamina

Bancada Norelem

Avantatges	Inconvenients
<ul style="list-style-type: none"> • Resistent • Modular • Normalitzada • Qualitat toleràncies • Existència d'accessoris 	<ul style="list-style-type: none"> • Molt pesada • Dimensions fixes i molt precises • Més car



Figura 33. Base Norelem

Al final ens decantem per l'opció amb el Norelem, els factors decisius han sigut la qualitat del material i de fabricació, a més de l'existència de diferents accessoris que podem utilitzar. Un altre avantatge del Norelem és la disponibilitat, en el Laboratori de Control Numèric del DIMM, ja tenim varies bases amb una gran quantitat d'accessoris per al amarratge que podem fer servir, Figura 34.



Figura 34. Alguns dels accessoris Norelem

4.2 Modelat de la bancada.

Per a la bancada utilitzarem dos bases de Norelem que unirem amb una xapa d'acer mitjançant quatre caragols en la part inferior (Figura 35). Per a la funció de potes utilitzarem cargols de pressió del set de Norelem amb uns separadors cilíndrics per tal de tindre una longitud fixa i uniforme, Figura 36.

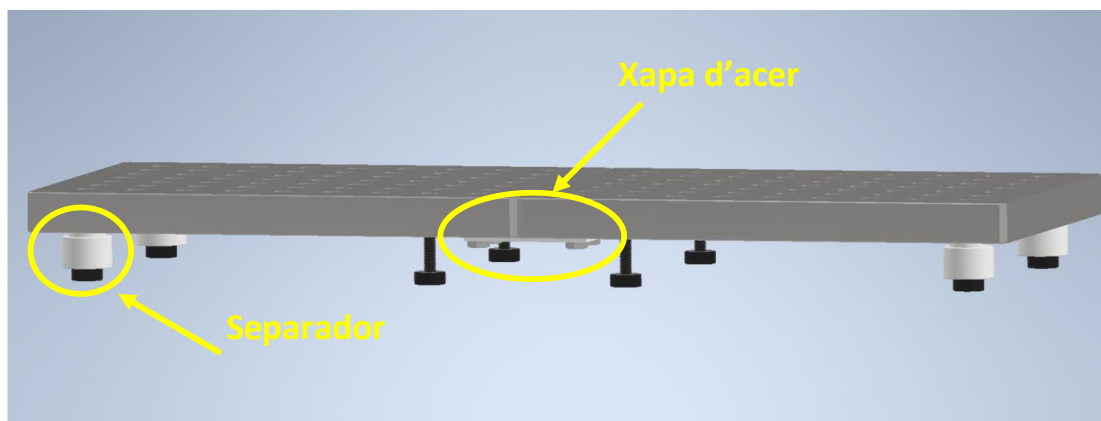


Figura 35. Base de Norelem per a la nova configuració

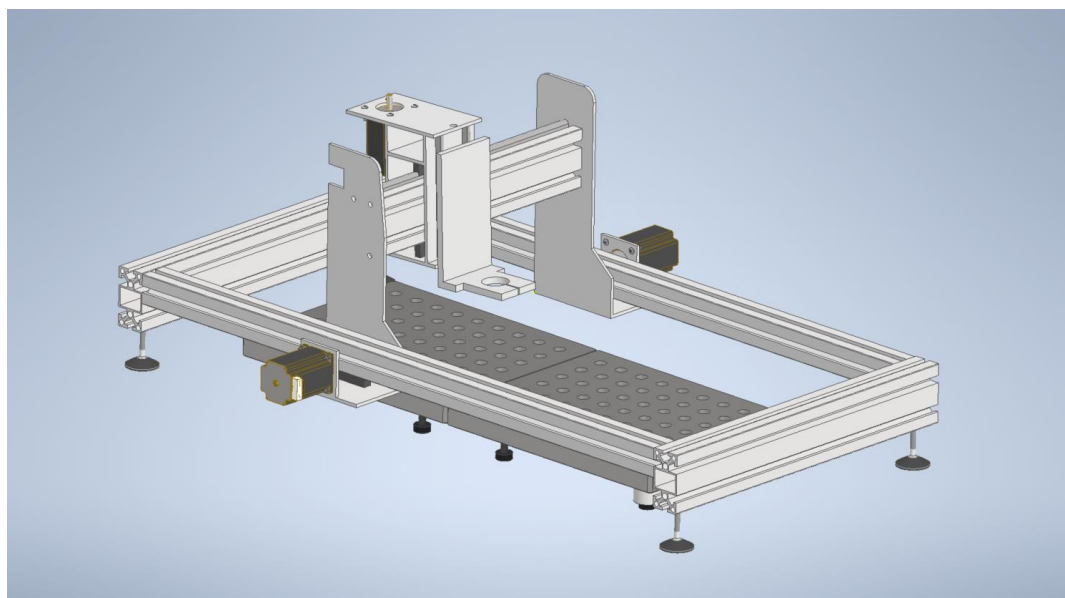


Figura 36. Nou disseny de la bancada

Per a posicionar i localitzar la bancada respecte a la màquina de manera única, s'afegiran dos peces de xapa doblada i taladrada, en forma de "L".

Eixes dos peces uniran la base de l'esquerra del Norelem amb el perfil d'alumini del lateral esquerre de l'estructura de la màquina. El mateix per a la part dreta base Norelem/estructura.

4.3 Opció de prova

De cara a comprovar el funcionament avanç de la construcció final, hem optat per una alternativa més rudimentària, sense les modificacions en l'esquelet de la fresa, que per a comprovar el correcte funcionament de la màquina ens serveix igualment. Per a construir la bancada hem agafat una base del Norelem de dimensions 315mm per 400mm a la que li rosquem en la part baixa, amb quatre cargols de 75mm de longitud, dos blocs de 160mm x

160mm, també disponibles en el conjunt de peces del Norelem, Figura 37. Estos es col·locaran en parts oposades de la base per aconseguir major estabilitat.

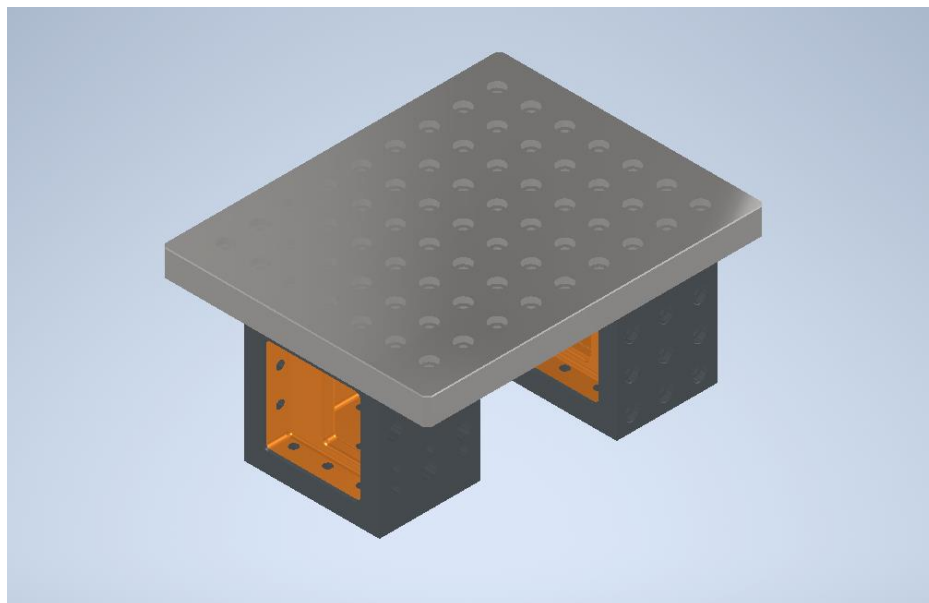


Figura 37. Modelat de la bancada

4.4 Implementació

Per a muntar la bancada de prova s'han salvat alguns obstacles com per exemple l'altura dels motors pas a pas. Aquesta es inamovible amb la configuració actual, per tant, es van haver de recol·locar les dos peces quadrades que subjecten la base. També haguérem de realitzar canvis en el Mach3 ja que les dimensions de treball han canviat respecte l'anterior proposta. Per alinear la placa de Norelem amb els eixos de la màquina vam fer servir una sonda de palpat, la mostrada en la Figura 38. Finalment el volum de treball queda en uns 20 litres, reduït però s'ajusta a les mesures de la peça de prova que volem mecanitzar. S'ha de tindre compte amb els motors ja que caben molt justets, per a evitar problemes reduïrem els límits de software deixant un marge de seguretat entre els motors i el límit. Finalment després del muntatge de les peces descrites anteriorment la bancada definitiva quedaria com la mostrada en la següent figura.

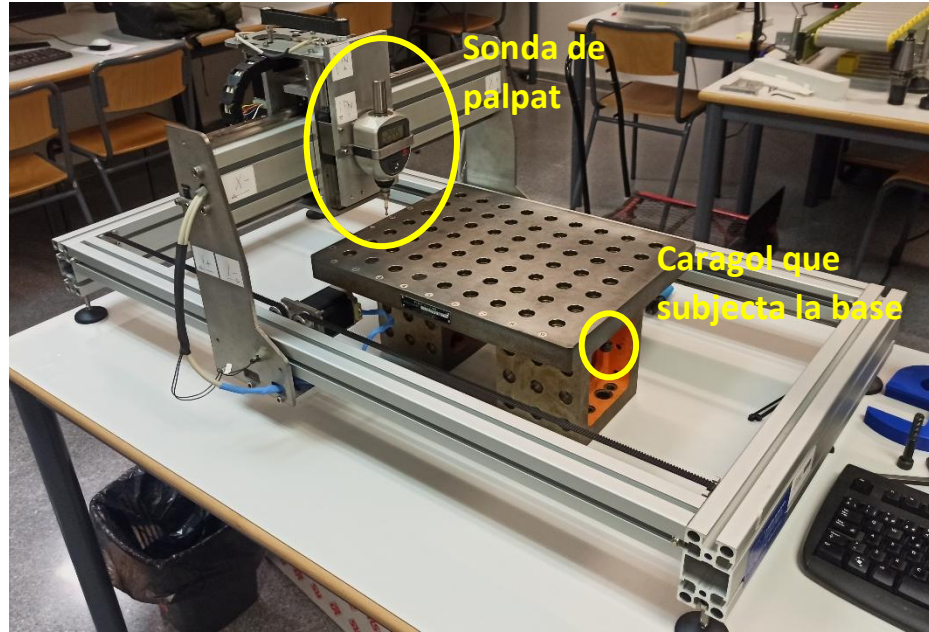


Figura 38. Implementació de la bancada

4.5 Calibració

S'ha d'estudiar l'error sistèmic que pot tindre la bancada degut a les irregularitats del material de la base, les irregularitats de la taula sobre la qual es recolza la màquina o la falta de precisió dels elements mòbils de la màquina.

Respecte al que fa a l'error de la base de Norelem, serà mínim ja que són elements de precisió. En les cares tractades (les brillants) tenim unes toleràncies inferiors a un IT7. També te unes toleràncies geomètriques de planitud, paral·lelisme i perpendicularitat molt bones. Els nivells d'error estan per baix de les centèsimes de mil·límetre.

Per a corregir aquest error en un futur, quan es tinga la base proposada completament muntada, ajustant les trajectòries de la ferramenta, farem un mapa de la superfície agafant una sèrie de punts en la bancada i realitzarem unes mesures amb una sonda per tal d'observar l'error de planitud i poder construir el mapa de error de la màquina. Mapa que es pot fer servir en un futur per ajustar les trajectòries programades en funció de la situació de la peça amarrada en la bancada, millorant d'aquesta manera la precisió del conjunt.

4.5.1 Presa de les mesures

Per realitzar aquestes mesures hem de retirar el suport del taladre i substituir-lo per una sonda digital de palpat. Farem servir una abraçadora per tal de subjectar-la al suport de l'eix Z (Figura 39) ja que el diàmetre d'amarratge de la sonda supera l'admès per un ER-16.



Figura 39. Col·locació de la sonda

Una vegada tenim la sonda i la bancada al seu lloc hem de calibrar la bancada, amb el Mach3 movem la sonda fins al centre de la bancada i allí desplaçem l'eix Z fins que la sonda ens mostre el valor -2.00, valor arbitrari que agafem per tal de tindre una referència. En la superfície de la bancada s'han distribuït 30 punts per realitzar les mesures, punts en groc en la Figura 40.

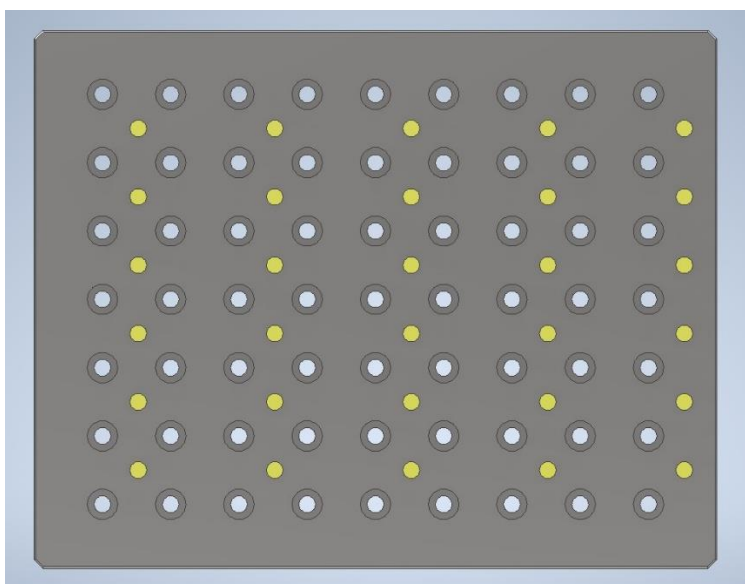


Figura 40. Cada punt groc és una mesura

En la Taula 1 es mostren els diferents valors obtinguts. Les diferències respecte a la referència de -2.00 mm ens indiquen les variacions que hi ha en cada un dels punts en groc.

Taula 1. Mesures

-2,045	-1,995	-1,96	-1,945	-1,965
-2,08	-2,015	-1,975	-1,96	-1,975
-2,105	-2,04	-1,995	-1,975	-1,98
-2,13	-2,06	-2,01	-1,98	-1,985
-2,155	-2,07	-2,01	-1,975	-1,98
-2,17	-2,075	-2,01	-1,97	-1,975

4.5.2 Estudi de les mesures

El resultat de les mesures el podem passar a Matlab per veure amb un gràfic de superfície com és en realitat el "pla de treball", Figura 41.

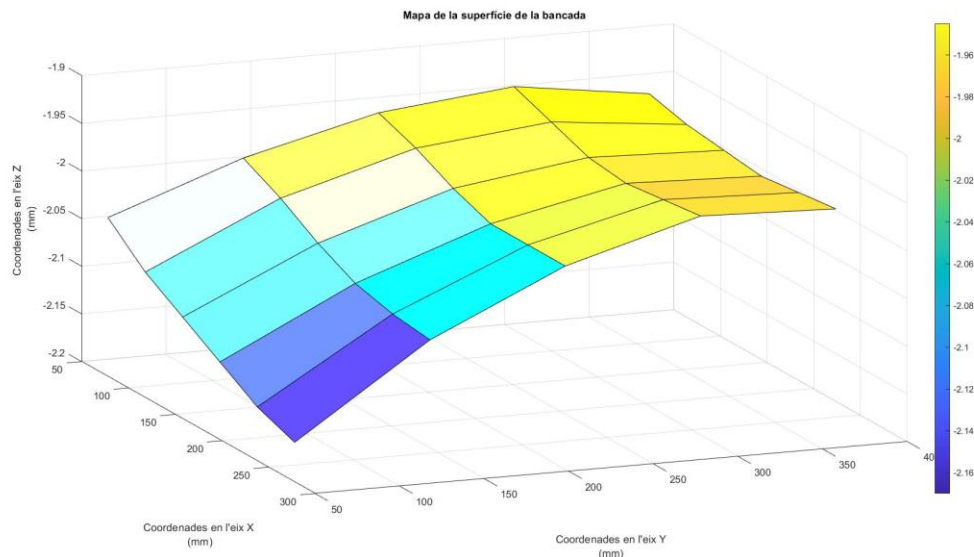


Figura 41. Mapa dels punts de la superfície

Després de veure la superfície passem a estudiar el núvol de punts que hem obtingut amb les mesures, en aquest cas hem ajustat un pla al núvol de punts amb el mètode d'ajust per mínims quadrats.

La tècnica de mínims quadrats és una tècnica d'anàlisi numèrica emmarcada dins de l'optimització matemàtica, què fa un anàlisi en un conjunt de parells ordenats i una família de funcions, s'intenta trobar la funció contínua, dins d'aquesta família, que s'aproximi millor a les dades (un "millor ajust"), d'acord amb el criteri de mínim error quadràtic. En la seva forma més simple, intenta minimitzar la suma dels quadrats de les diferències en les ordenades (anomenades residus) entre els punts generats per la funció escollida i els corresponents valors a les dades. Específicament, es fa servir el mètode de descens per gradient per minimitzar el residu quadrat. Es pot demostrar que el mètode minimitza el residu quadrat esperat, amb el mínim d'operacions (per iteració), però requereix un gran nombre d'iteracions per convergir. Sol ser el mètode que es fa servir habitualment en Metrologia per al càlcul d'una planitud.

Aplicant aquest mètode amb una funció de Matlab podem trobar el pla ajustat al núvol de punts, la distància màxima dels punts al pla i l'error de planitud per mínims quadrats, Figura 42.

```

Command Window
>> AjustePlanoMC
Ajuste de un plano a una nube de puntos por el método de mínimos cuadrados
-----
"\nLeyendo puntos del fichero " "puntos.csv"

Local minimum found.

Optimization completed because the size of the gradient is less than
the value of the optimality tolerance.

<stopping criteria details>
Coeficientes del plano Ax + By + Cz + D = 0
0.0003
-0.0004
1.0000
2.0712

\nDistancia Maxima respecto al plano
"Superior, Inferior: " "0.042141" ", " "-0.051637"

"Error de Planitud Minimos Cuadrados: " "0.093778"
  
```

Figura 42. Estudi per mínims quadrats

El pla quedaria tal que:

$$Ax + By + Cz + D = 0$$

Sent els coeficients de l'equació els mostrats en la Taula 2.

Taula 2. Coeficients del pla

A	B	C	D
<i>0.0003</i>	<i>-0.0004</i>	<i>1</i>	<i>2.0712</i>

Finalment l'error de planitud de mínims quadrats te un valor de **0.093778**, és a dir no arriba a la dècima de mil·límetre, el mapa queda prou ajustat, Figura 43, i podem utilitzar-lo per a corregir els errors que hem observat.

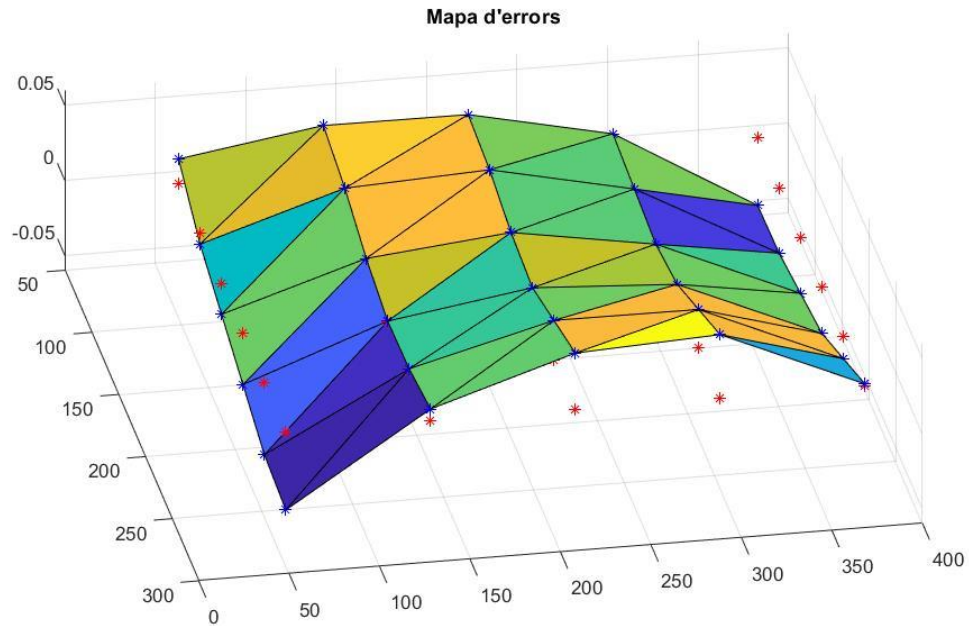


Figura 43. Mapa d'errors

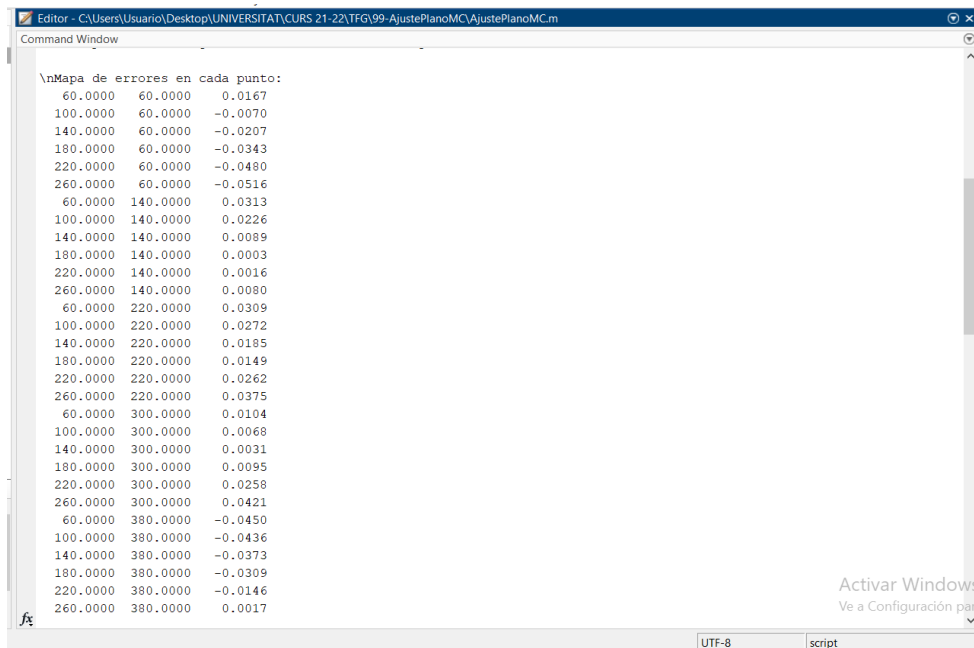


Figura 44. Punts del mapa d'errors

En el gràfic anterior vegem en els punts rojos la posició del pla per mínims quadrats en cadascuna de les posicions en les que s'han pres mesures i podem observar la diferència entre els punts mesurats i els del pla ideal.

Aquest mapa podria ser introduït per software en futures actualitzacions de la màquina per tal de corregir estos errors que poden generar peces de mala qualitat.

Per comparar aquest estudi s'ha realitzat també amb el software GOMInspect, Figura 45, programa utilitzat en la indústria per a realitzar mesures amb les dades procedents d'una màquina de mesura per coordenades. Introduïm el núvol de punts, havent creat amb ells una malla prèviament i realitzem un estudi de planitud mitjançant el mètode de Gauss en aquest cas.

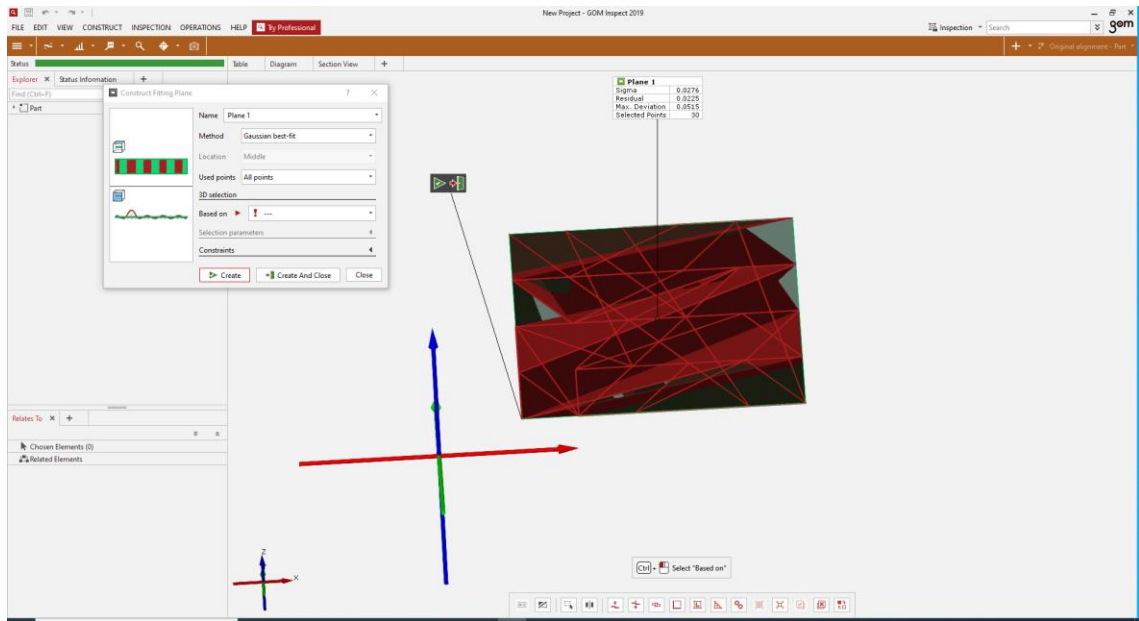


Figura 45. Estudi planitud GOMInspect

Els resultats del programa ens donen esperances de que el nostre estudi amb Matlab és correcte.

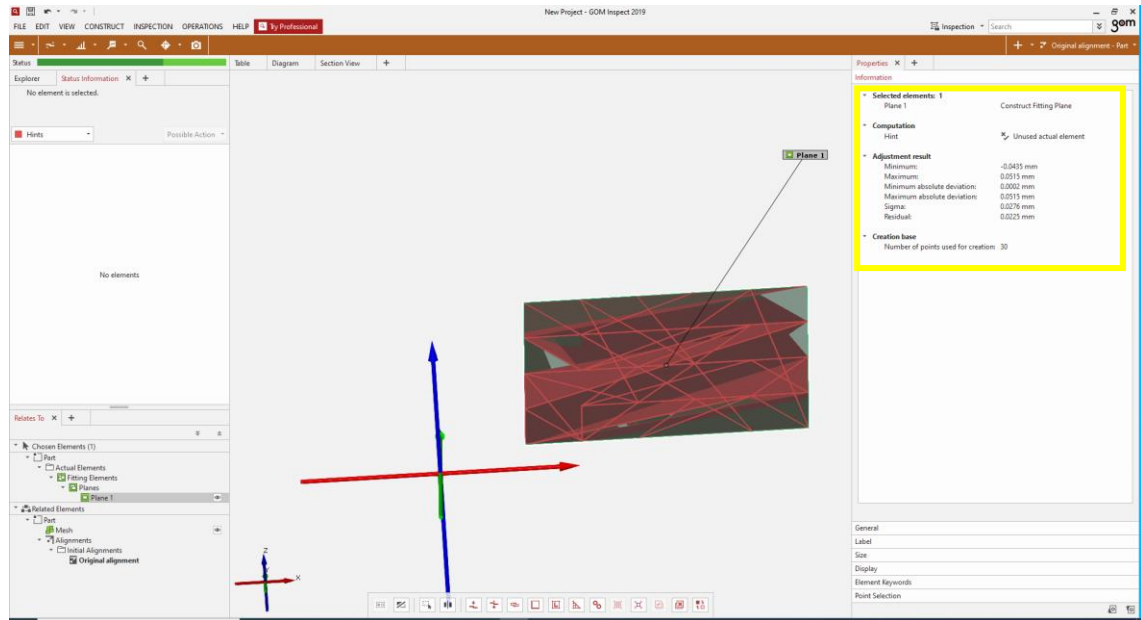


Figura 46. Resultats GOMInspect

Si observem els resultats, Figura 46, i calculem la diferència total que seria el màxim adjust menys el mínim adjust, la distància ens dona pràcticament el mateix que amb Matlab.

$$0.0515 - (-0.0435) = 0.095$$

Com podem observar l'estudi és correcte i el pla obtingut amb Matlab podria ser utilitzat en un futur per a la correcció d'errors per software.

5 Sistema de recollida de residus

En la fabricació per subtracció de material es produeix viruta i s'alliberen residus del material a mecanitzar per tant és necessari algun tipus de sistema per a recollir aquest material. En el laboratori disposem d'un aspirador industrial, Figura 47, per a realitzar aquesta funció i la nostra meta serà crear una peça per poder utilitzar aquest junt a la fresa. Crearem un suport que subjecte la boca de l'aspirador al suport del rotalí/taladre, aquesta part tindrà incorporada un raspall per a sellar amb la base i que no escapen les partícules de residus.



Figura 47. Aspiradora Industrial

En el mercat existeixen diferents opcions de compra (Figura 48) però nosaltres crearem la peça mitjançant impressió 3D i així poder fer-la a mesura per a la nostra màquina.



Figura 48. Sabata per a la pols

5.1 Modelat del col·lector

Per al modelatge s'ha utilitzat el mateix software CAD que per a la fresadora, així amb el model que hem creat abans podem agafar mesures i controlar que encaixe correctament. El resultat d'element creat es mostra en la Figura 49.



Figura 49. Arxiu CAD

5.2 Implementació

La peça s'ha imprès amb una de les impressores 3D del laboratori de prototipat e enginyeria inversa (Figura 50), mes concretament la Ultimaker 3 Extended. Després de processar l'arxiu CAD amb el programa Cura (Figura 51) per tal de donar-li les instruccions correctes a la impressora el temps d'impressió estava al voltant d'unes 6h. Es va utilitzar la següent configuració (Taula 3).

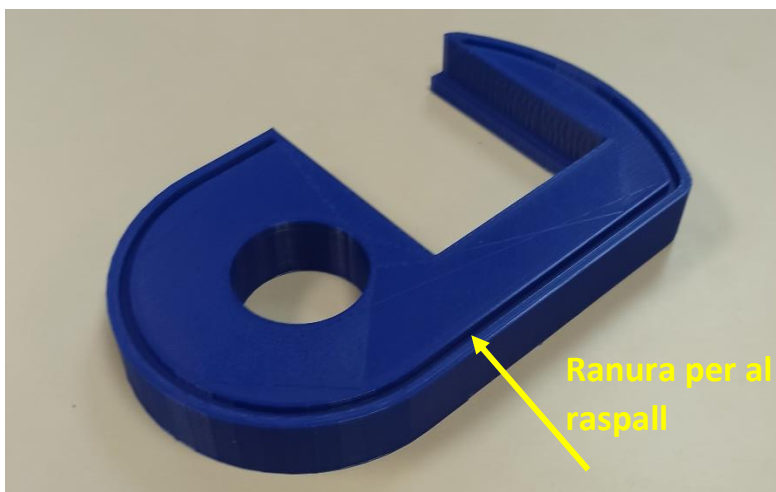


Figura 50. Peça recollida de pols impresa

Taula 3

Ajust	Valor
Altura de capa	0.2 mm
Densitat de la peça	20%
Temperatura de la base	60º C
Temperatura del material	195º C
Tipus de material	PLA

<i>Velocitat avanç</i>	70 mm/s
<i>Material de suport</i>	NO

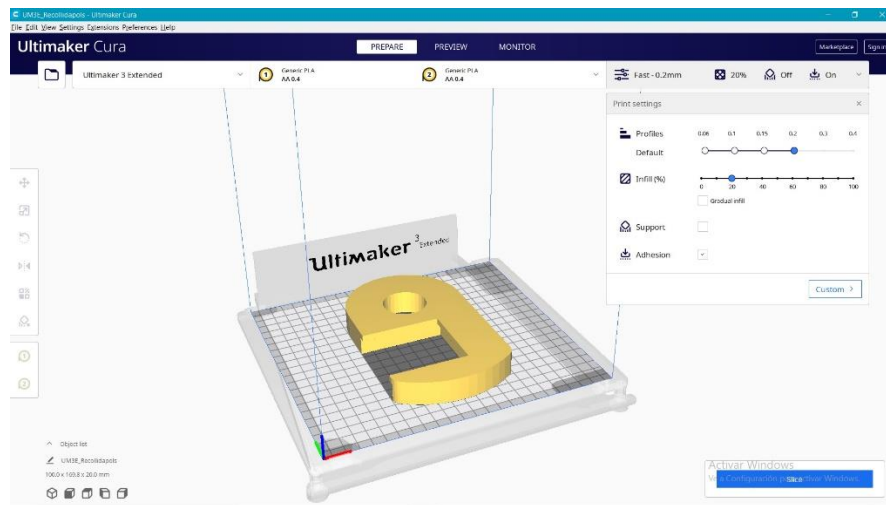


Figura 51. Configuració Cura

Una volta impresa ens disposem a instal·lar el raspall en les ranures, Figura 52, que es troben en la part inferior per tal de sellar amb la bancada. Ara només queda col·locar-la en la seua posició junt al suport del taladre.



Figura 52. Raspall per a la retenció i recollida de viruta

6 Sistema de parada d'emergència

Un botó polsador de parada d'emergència (Figura 53) és un interruptor de control a prova d'error que proporciona seguretat per a la maquinària i per al personal que utilitza la maquinària. El propòsit del botó polsador d'emergència és aturar la maquinària ràpidament quan hi ha un risc de lesions o quan cal parar el flux de treball. La seua missió es tallar l'alimentació a tots els motors i sistemes d'accionament de la màquina, deixar-la completament desconnectada.

Tota la maquinària requereix un botó de parada d'emergència, tret que no reduisca el risc o que la màquina siga d'accionament manual. Els botons són de color roig com a estàndard, sovint amb un fons groc. Els botons polsadors de parada d'emergència es poden trobar a qualsevol sector incloses instal·lacions industrials, comercials i públiques. És necessari que siguin clarament visibles per a qualsevol persona que necessiti fer-los servir. També és possible tenir diversos botons de parada d'emergència en una màquina en funció de la part de la màquina que cal parar.

En el nostre cas instal·larem un botó d'alliberació per gir, per accionar-lo es prem la part roja i per reiniciar el funcionament s'ha de girar en el sentit indicat en les fletxes, Figura 53. S'instal·larà directament en el cable d'alimentació per tallar tot tipus de procés que puga ser perjudicial. En el Mach3 existeix un botó de parada d'emergència software, però en cas de que l'ordinador tinguera algun problema durant el mecanitzat no es podria para la màquina, per tant, el botó d'emergència físic com a mesura de seguretat és bastant més fiable i segur que la parada per software.

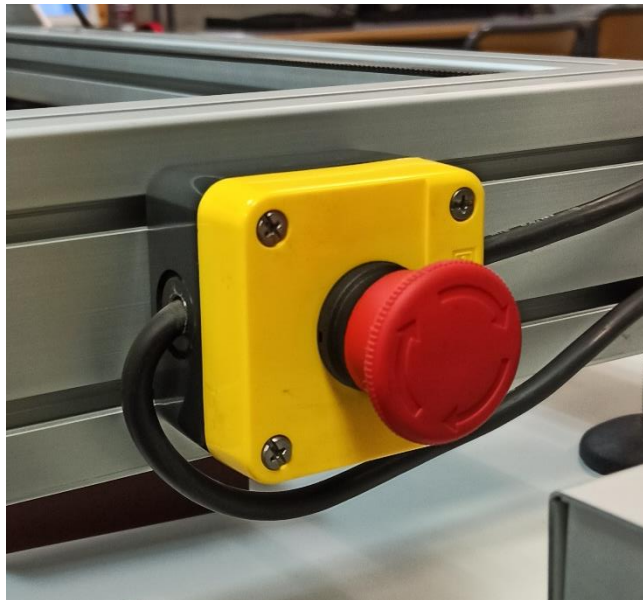


Figura 53. Botó de parada d'emergència

Instal·larem el botó en el lateral de la fresadora més pròxim a l'ordinador ja que és on estarà l'operari o persona que controle la màquina. Així, en cas de fallada o un mal funcionament es disposa de una mesura de seguretat addicional i de ràpida actuació.

7 Prototipat d'una peça

Per a comprovar que la màquina funciona correctament mecanitzarem la peça ISO-VDMA, ja que aquesta fresadora s'utilitzarà per a pràctiques de prototipat. Realitzarem el procés d'escaneig, processat i fabricació amb PyCAM (un programa específic per a fabricació de prototips per eliminació de material). El procés de fabricació es realitzarà amb una resina plàstica de fàcil mecanitzat.

7.1 Escaneig

El procés d'escaneig és molt útil i una ferramenta indispensable en molts sectors de la indústria. La possibilitat d'obtenir un model virtual fidel a la realitat, amb una acceptable resolució, obri una varietat de possibilitats enorme per a diferents disciplines.

L'escaneig de llum estructurada produeix un núvol que consta de milions de punts a l'espai 3D. Aquests punts 3D es poden convertir fàcilment en un fitxer STL per ser utilitzats en conservar les seves dades o per imprimir en 3D en qualsevol escala.

Es pot fer servir un escàner 3D per analitzar un objecte i així recopilar dades sobre la seva forma i la seva aparença (color i/o textura). Les dades recopilades es poden utilitzar per construir un model digital 3D.

Per tal de mecanitzar la peça serà necessari un post processament però ens centrarem mes avant en aquest aspecte.

Nosaltres utilitzarem l'escàner que es troba en el laboratori de prototipat e enginyeria inversa, amb el software HP 3D Scan Pro 5 (Figura 54).

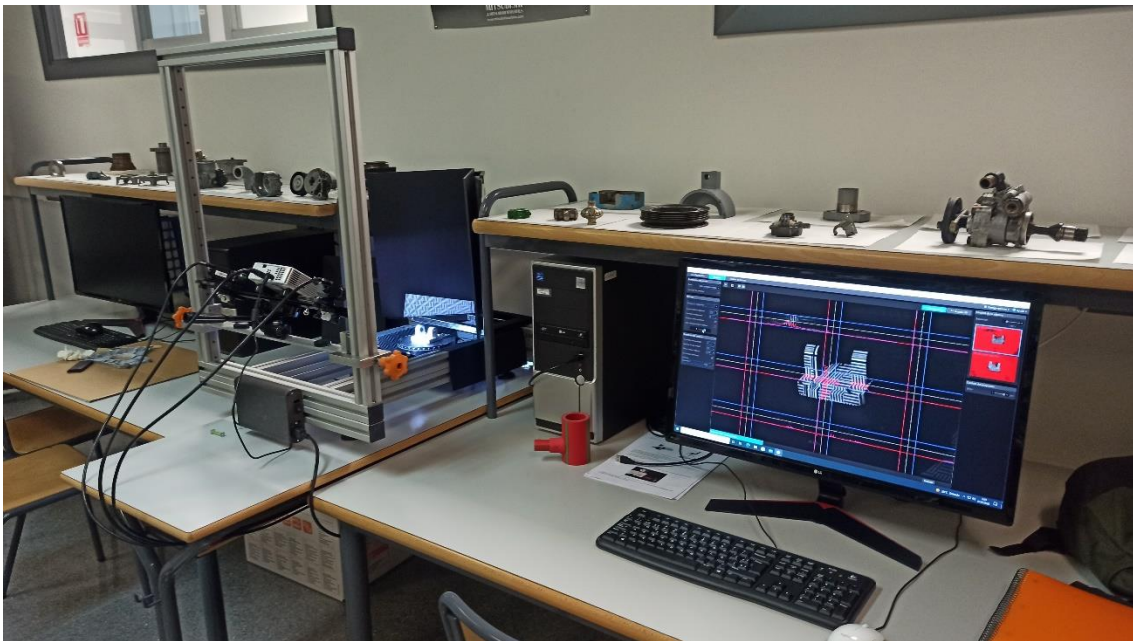


Figura 54. Escàner HP del laboratori

Primerament, per poder escanejar la peça seleccionada haurem d'aplicar-li un producte per tal d'eliminar la brillantor del material (Figura 55), així s'eviten reflexos en les càmeres, que provocarien l'aparició de discontinuïtats (forats) en el núvol de punts, i s'aconsegueix un arxiu de major qualitat.

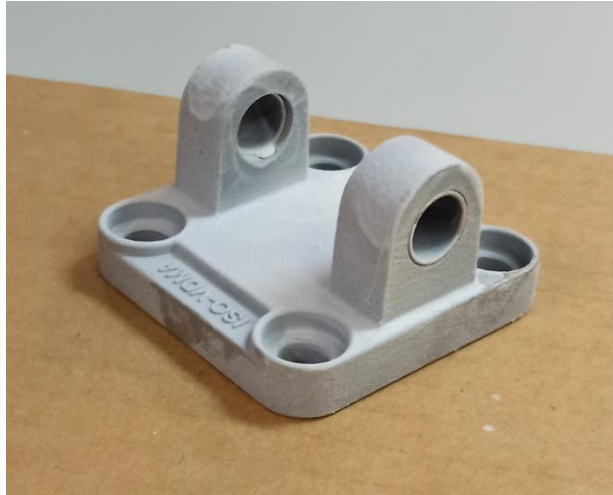


Figura 55. Peça tractada per a l'escàner

Seguidament col·locarem la peça en el centre de la base de l'escàner i ajustarem les càmeres i el focus de llum per poder observar de forma nítida i clara en la pantalla de l'ordinador, Figura 56.

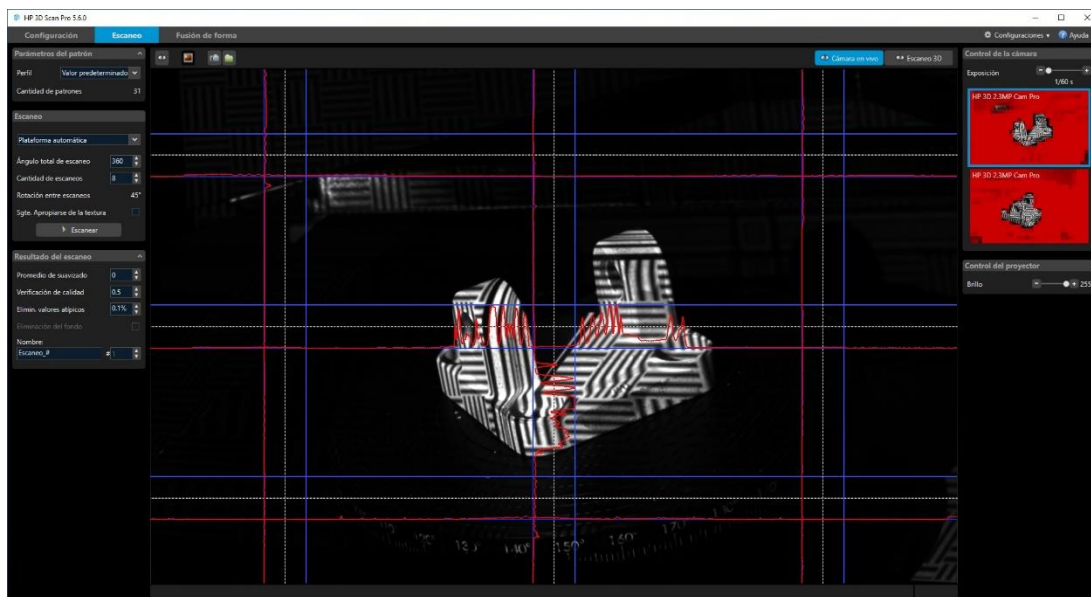


Figura 56. Pantalla del HP Scanner

Una volta les càmeres estan centrades i el focus ajustat retirem la peça de la base i procedim a la calibració de l'escàner segons la mida de la peça, aquest disposa de quatre patrons de calibració 30mm, 60mm, 120mm i 240mm, nosaltres calibrarem per a 60mm.

Amb l'escàner calibrat i encara sense posar la peça sobre la base, en el software seleccionarem l'opció d'escanejar el fons, així aconseguirem que el programa reconega els llocs amb brillantor o els punts que poden causar interferències i així eliminar-les per tindre un escanejat de major qualitat, Figura 57.

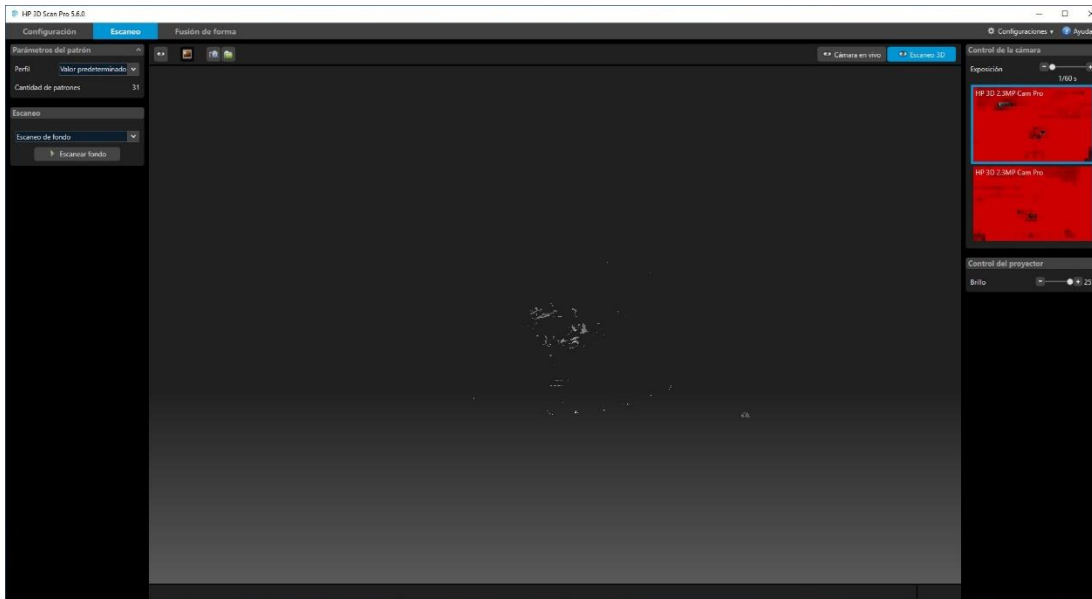


Figura 57. Escanejat del fons

Finalment amb tot preparat, augmentarem la brillantor de les càmeres al màxim en el programa de l'ordinador i li donem al escanejat. El procés dura uns cinc minuts i es basa en fer captures successives de la peça en diferents inclinacions i el software va reconstruint i combinant les diferents imatges per tal de crear el núvol de punts del que es crearà la peça, Figura 58.

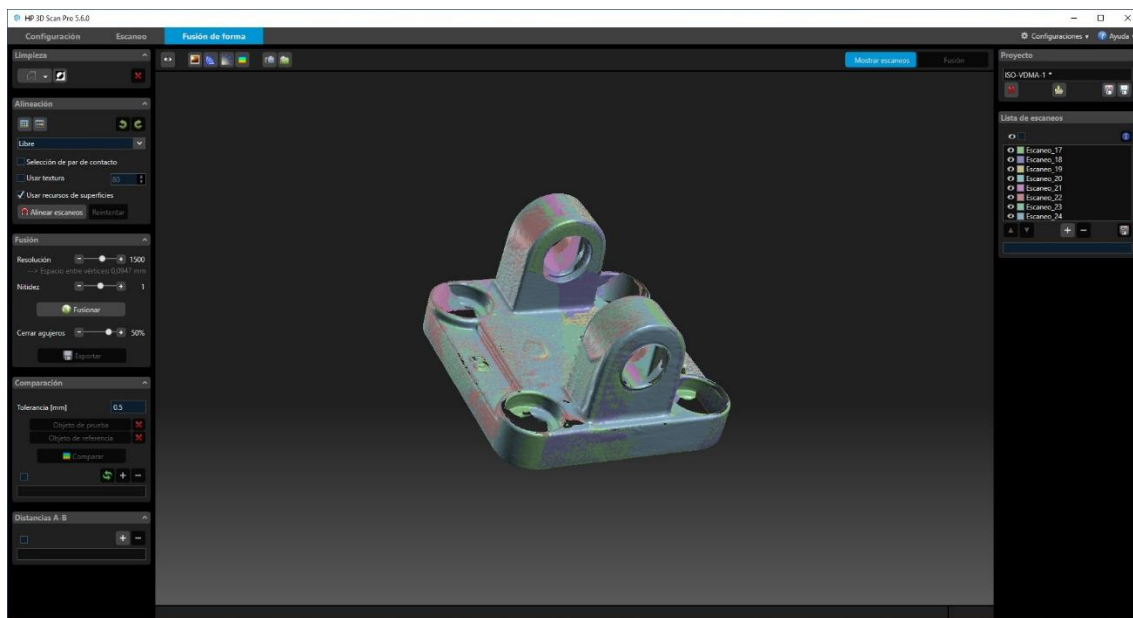


Figura 58. Superposició d'imatges de l'escaneig

Una vegada el procés ha acabat i tenim totes les captures, comprovant que no s'han produït errors en l'obtenció d'imatges, ni tenim ninguna part que no es relaciona correctament amb la peça, li donem al botó fusionar, Figura 59. Ací el programa transforma totes les captures en una única malla i tanca els distints forats que es puguem haver creat entre les diferents captures, si així ho especifiquem.

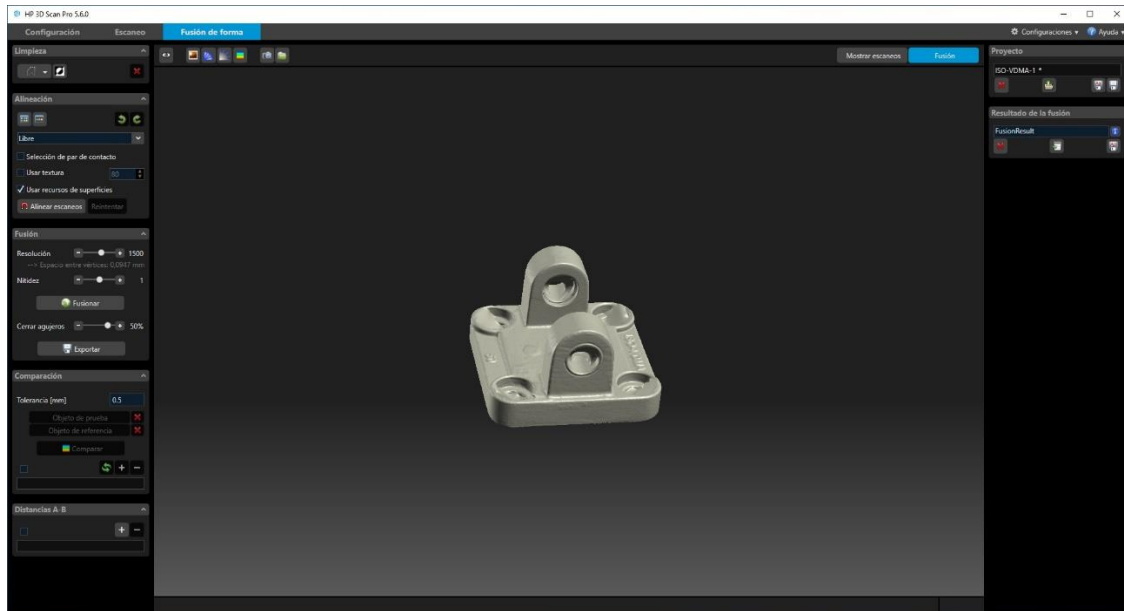


Figura 59. Peça fusionada

Ara ja podem guardar la peça en els diferents model CAD que ens permet el programa com podria ser .stl, .obj, o un arxiu de text amb les coordenades de cada punt.

7.2 Processat

Amb la peça escanejada i l'arxiu .stl corresponent passem al procés de processat, on passarem aquest arxiu per el PyCAM, un programa que transformarà l'objecte en una sèrie d'ordres en format Gcode per tal de que la fresadora siga capaç de mecanitzar la peça.

PyCAM és un generador de trajectes d'eina per a mecanitzat per control numèric de 3 eixos, Figura 60. Carrega models 3D en format STL o models de contorn 2D a partir de fitxers DXF o SVG. El codi G resultant es pot utilitzar amb LinuxCNC o qualsevol altre controlador de maquinària, com en Mach3 en el nostre cas. El PyCAM te opcions limitades però és molt senzill d'utilitzar i per realitzar una prova ens serveix, més avant compararem amb un software CAD, com és el Fusion 360, que te implementat un apartat de fabricació molt complet.

PyCAM admet una àmplia gamma d'estratègies de trajectòria per a models 3D i models de contorn 2D. PyCAM funciona amb Linux, Windows i MacOS. És programari lliure amb llicència GPL v3.

Algunes de les funcions de les que disposa el programa són molt útils com per exemple les operacions amb el model 3D, el programa pot escalar les figures, rotar-les al voltant d'un dels seus eixos, canviar els eixos i arreglar models amb errors en els polígons 2D que conformen l'arxiu. També ens permet realitzar diverses operacions de desbast, acabat o neteja. Podem seleccionar la ferrament i editar els paràmetres del seu funcionament per adequar-los a les nostres condicions.

En aquest treball vorem diverses d'aquestes funcions així com l'edició de funcions ja existents i la creació de ferramentes, que representen les que nosaltres tenim en la realitat.



Figura 60. PyCAM logo

Abans d'obrir el PyCAM necessitarem realitzar uns ajustos a l'arxiu .stl ja que aquest programa si l'arxiu te mes de 100.000 punts va molt espai, o directament no funciona. Amb el resultat de l'escaneig obrirem el MeshLab o qualsevol programa d'edició de malles que pugui reduir el nombre de punts a uns 50.000. Perdrem un poc de qualitat però segueix sent suficient per al prototipat.

En MeshLab guardarem l'arxiu amb la reducció de punts en .ascii. L'arxiu ascii pot ser obert per programes de CAD com l'Inventor o el Catia, açò ens serà útil ja que el núvol de punts de l'escaneig amb HP 3D Scan te el mateix sistema de coordenades i amb la mateixa inclinació que les càmeres i el feix de llum durant l'escaneig. Per tant haurèm d'utilitzar un d'aquest programes per tal de canviar el sistema de coordenades al de la peça a mecanitzar, Figura 61.

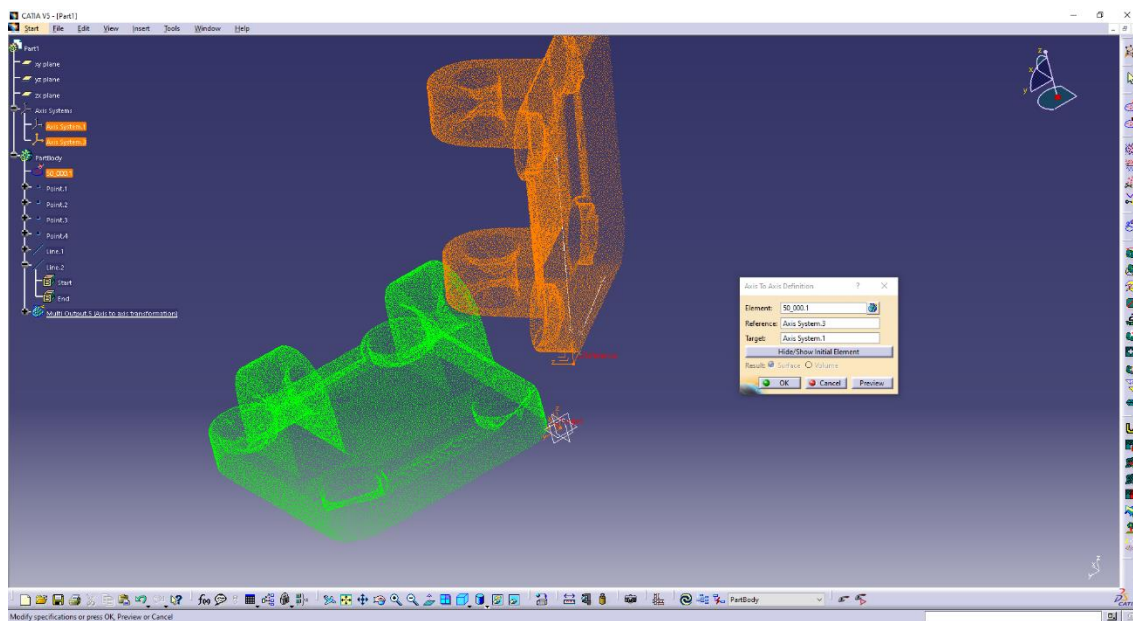


Figura 61. Canvi del sistema de coordenades amb Catia

Ara amb la nova peça, i el correcte sistema de coordenades, creem la malla de nou i guardem l'arxiu .stl, amb el nombre de punts reduïts a 50.000 i el sistema de coordenades en la posició de la peça desitjat.

Per començar, al obrir el PyCAM hem de carregar l'arxiu que volem mecanitzar. En la barra superior anem a File >>> Open Model i ací seleccionem l'arxiu que desitgem. Una vegada obert passarem a fer les transformacions de dimensionat necessàries en la pestanya "Model" (Figura 62). En el nostre cas no realitzarem ningun canvi a la peça ja que abans hem realitzat tots els necessaris amb els programes CAD.

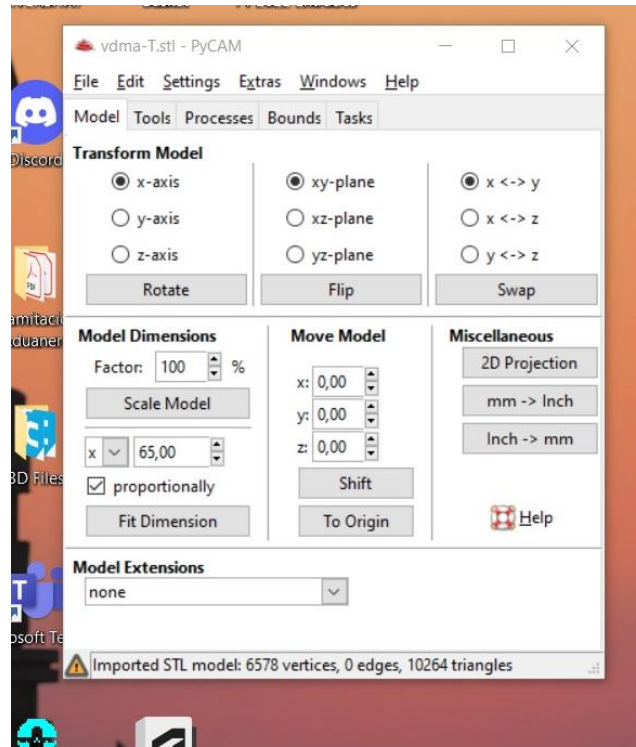


Figura 62. Configuració Model en PyCAM

Seguidament passem a la finestra "Tools", esta finestra serveix per seleccionar la ferramenta que anem a gastar per al mecanitzat. El programa disposa d'algunes freses predeterminades, però ninguna s'ajusta a la fresa que utilitzarem nosaltres, per tant crearem la nostra ferramenta al programa.

A l'hora d'escollir la fresa buscarem en el catàleg de un fabricant de ferramentes de tall (Mitsubishi, 2014). Anem a fer el prototipat amb una resina apta per arrencada de viruta, per tant buscarem una fresa per a desbast de materials blans (com son els materials no fèrrics, no es donen condicions per a materials plàstics), en el catàleg buscarem en l'apartat de freses integrals i buscarem una que adequada per a materials no fèrrics. Per a l'operació de desbast escollim una la fresa DLC2MA, una fresa de dos hèlixs amb alta resistència a la soldadura amb recobriment DLC (Diamond Like Carbon), Figura 63, ideal per al mecanitzat de materials no fèrrics.



Figura 63. Fresa de desbast

Les condicions de tall depenen del diàmetre, en el nostre cas ens trobem amb una fresa de 4mm de diàmetre. Així doncs segons el fabricant les condicions de tall recomanades seran unes 19000rpm i un avanç de 1000 mm/min, remarcat en groc en la Figura 64.

CONDICIONES DE CORTE RECOMENDADAS

Fresa de esquadrar

Material	Aleación de aluminio		Aluminio de fundición, Cobre • Aleación de cobre	
	Revoluciones (min ⁻¹)	Avance (mm/min)	Revoluciones (min ⁻¹)	Avance (mm/min)
1	40000	600	40000	460
2	40000	1100	38000	850
3	32000	1400	25000	950
4	24000	1500	19000	1000
5	19000	1600	15000	1000
6	16000	1900	13000	1100
8	12000	1900	9500	1200
10	9500	1900	7600	1200
12	8000	1900	6400	1200
16	6000	1900	4800	1200
20	4800	1500	3800	1000

Profundidad de corte: $\leq 0.2D$ ($D < \phi 3$)
 $\leq 0.5D$ ($D \geq \phi 3$)
D: Diámetro

Ranurar

Material	Aleación de aluminio		Aluminio de fundición, Cobre • Aleación de cobre	
	Revoluciones (min ⁻¹)	Avance (mm/min)	Revoluciones (min ⁻¹)	Avance (mm/min)
1	40000	460	40000	350
2	38000	850	32000	550
3	25000	950	21000	600
4	19000	1000	16000	650
5	15000	1000	13000	700
6	13000	1100	11000	750
8	9500	1200	8000	800
10	7600	1200	6400	800
12	6400	1200	5300	800
16	4800	1000	4000	720
20	3800	970	3200	660

Profundidad de corte: $\leq 1D$ (MAX. 12mm)
D: Diámetro

Figura 64. Condicions de tall recomanades

Per a crear la nova ferrament a PyCAM, cliquem en New i editem els paràmetres incloent els mencionats abans. Guardarem aquesta ferrament com a "Fresa metall dur desbast", Figura 65.

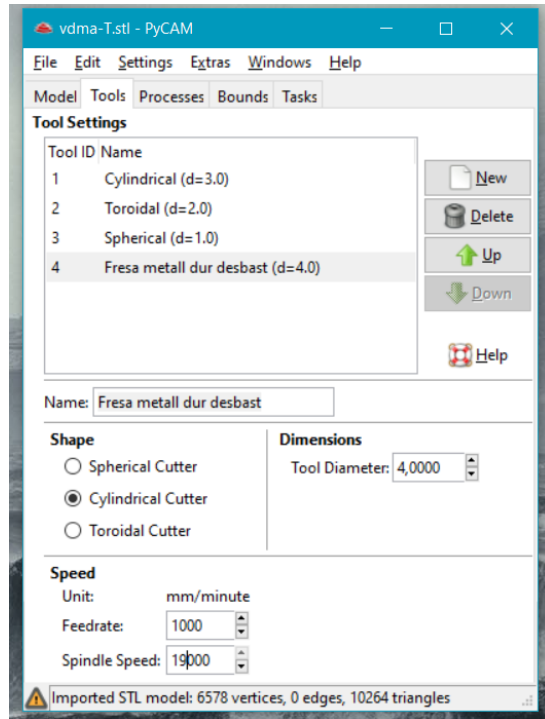


Figura 65. Configuració Tools en PyCAM

Ara passem a seleccionar l'operació en la pestanya "Processes", seleccionem l'opció "Remove Material" i canviem l'opció anomenada "Overlap" per a posar un 10%, Figura 66. L'overlap suposa el percentatge de solapament entre dos passades contigües en el plànol de treball.

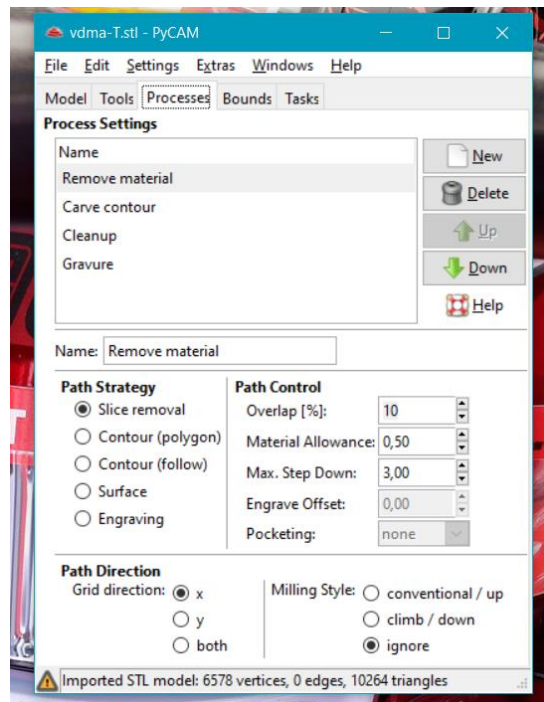


Figura 66. Configuració Processes PyCAM

Una vegada tenim definida l'operació a realitzar, passem a la secció "Bounds" (límits del mecanitzat, el que vindria a ser les dimensions del material de partida) i seleccionem l'opció del 10% de marge, Figura 67.

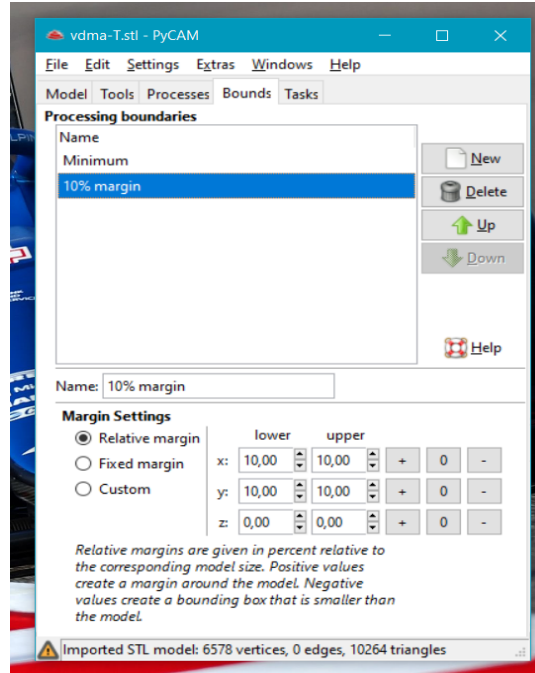


Figura 67. Configuració Bounds PyCAM

Finalment passem a la pestanya "Tasks" on seleccionarem el nom de l'operació a realitzar, en aquest cas "Rough" i li canviem el nom a Desbast. Després seleccionem la ferramenta, el procés i els marges que em definit en les pestanyes anteriors, i ja tindriem configurada l'operació. Per generar el Gcode haurem de prémer l'opció: "Generate Toolpath" o "Generate All", Figura 68.

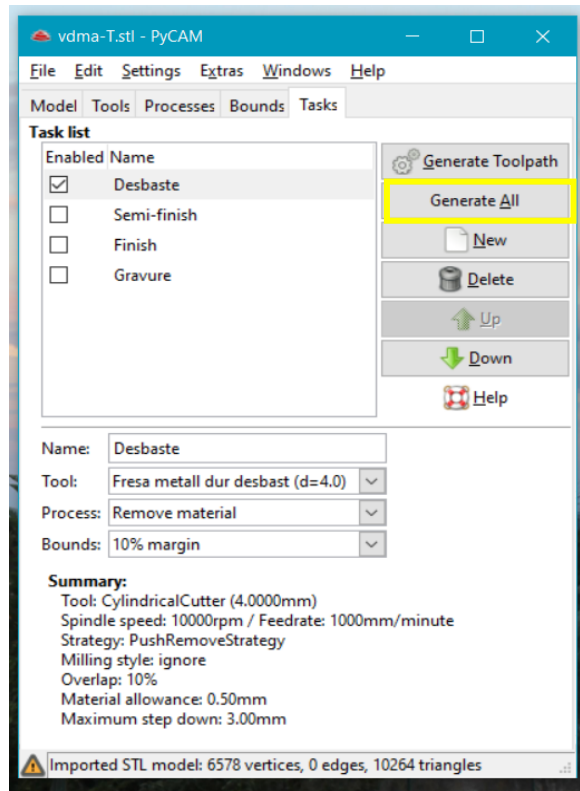


Figura 68. Configuració Tasks PyCAM

Una vegada generat el codi, trobem el programa guardat al disc dur i PyCAM ens mostra un resum de l'operació, Figura 69.

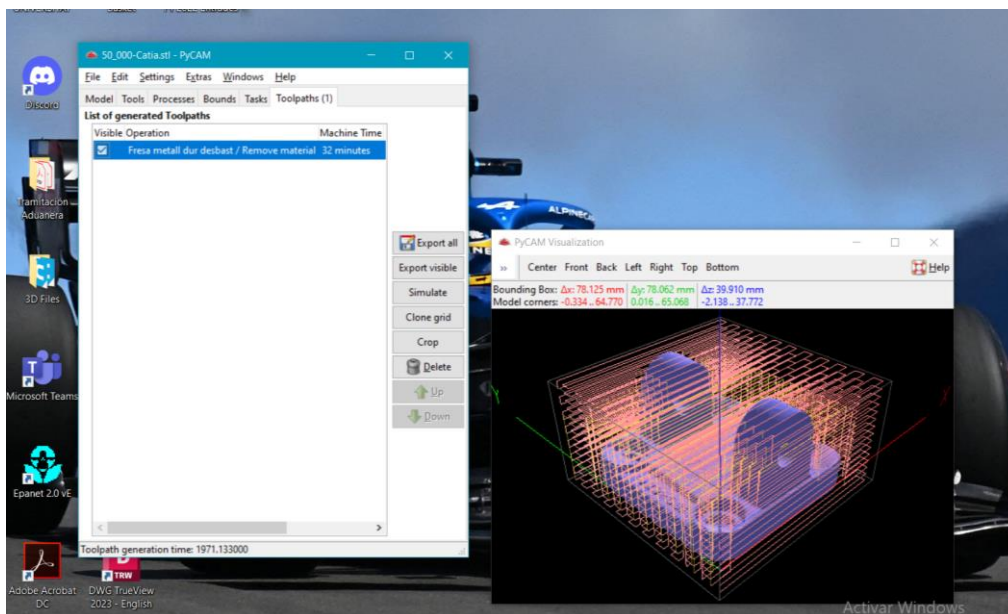
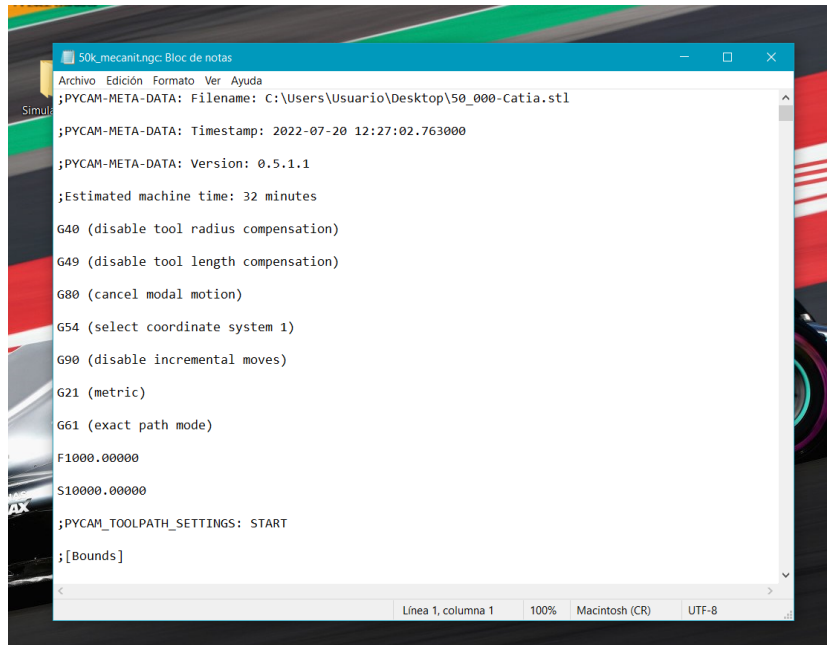


Figura 69. Toolpath PyCAM

Podem obrir el codi que ha generat el programa amb el bloc de text i veure el contingut. En la Figura 70 es mostra la capçalera del programa generat.



```
50k_mecanitngc: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
;PYCAM-META-DATA: Filename: C:\Users\Usuario\Desktop\50_000-Catia.stl
;PYCAM-META-DATA: Timestamp: 2022-07-20 12:27:02.763000
;PYCAM-META-DATA: Version: 0.5.1.1
;Estimated machine time: 32 minutes
G40 (disable tool radius compensation)
G49 (disable tool length compensation)
G80 (cancel modal motion)
G54 (select coordinate system 1)
G90 (disable incremental moves)
G21 (metric)
G61 (exact path mode)
F1000.00000
S10000.00000
;PYCAM_TOOLPATH_SETTINGS: START
;[Bounds]
```

Figura 70. Gcode de la trajectòria

Per comparar amb el que hem obtingut en PyCAM, i vore el comportament d'aquest programa gratuït comparant-lo amb el que es pot aconseguir amb un programa CAM complet, realitzarem el processat amb el Fusion360, Figura 71, propietat d'Autodesk. Fusion360 és una plataforma de modelatge 3D, CAD, CAM, CAE i PCB de treball en la red per al disseny i fabricació de productes.



Figura 71. Logo Fusion360

Per començar, en Fusion360 haurem de crear una capeta en línia, ja que el programa treballa amb arxius en la red. Ací carreguem la peça en la que varem reduir el nombre de punts i reordenar el sistema de coordenades mitjançant el Catia, Figura 72.

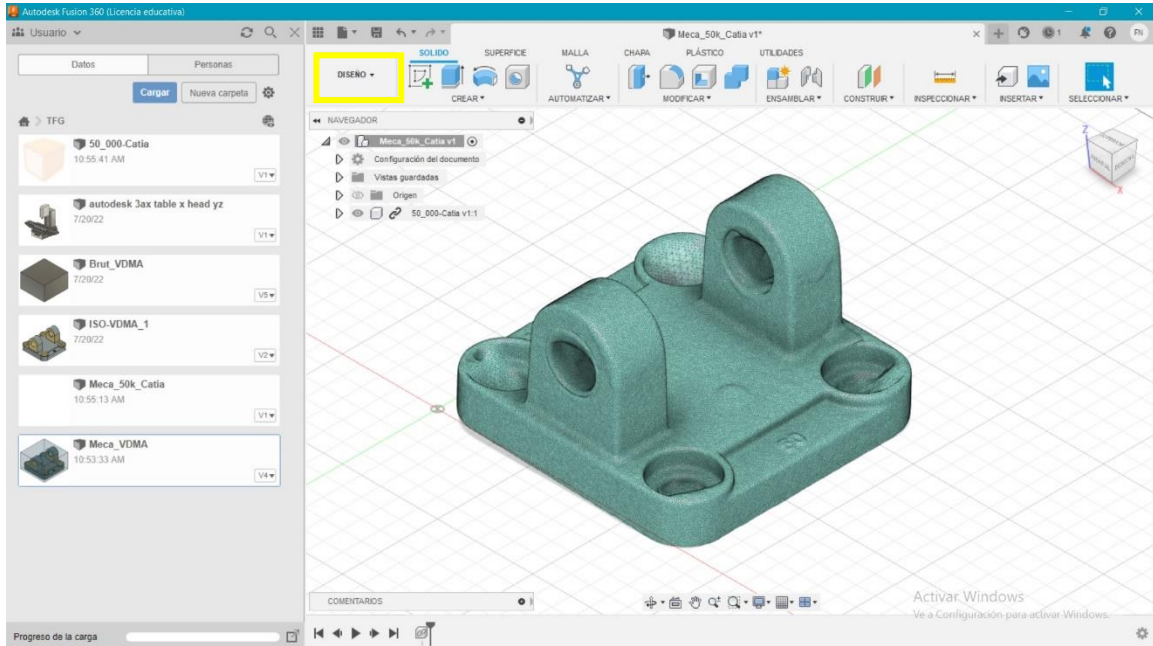


Figura 72. Peça en Fusion360

Una vegada la imatge està carregada en Fusion360 passem al apartat de fabricació clicant en la pestanya de "Diseño" i seleccionant l'opció "Fabricación". En aquest menú haurem de crear una nova configuració per indicar quina operació anem a realitzar. En la nova configuració seleccionarem el tipus d'operació "Fresado" i seleccionarem la màquina que realitzarà el treball, Figura 73. En aquest cas la màquina serà simplement per tindre una base en la que recolzar-nos (que tinga els mateixos graus de llibertat i moviments), Figura 74, ja que la nostra fresadora de sobretaula no es troba en la biblioteca d'Autodesk.

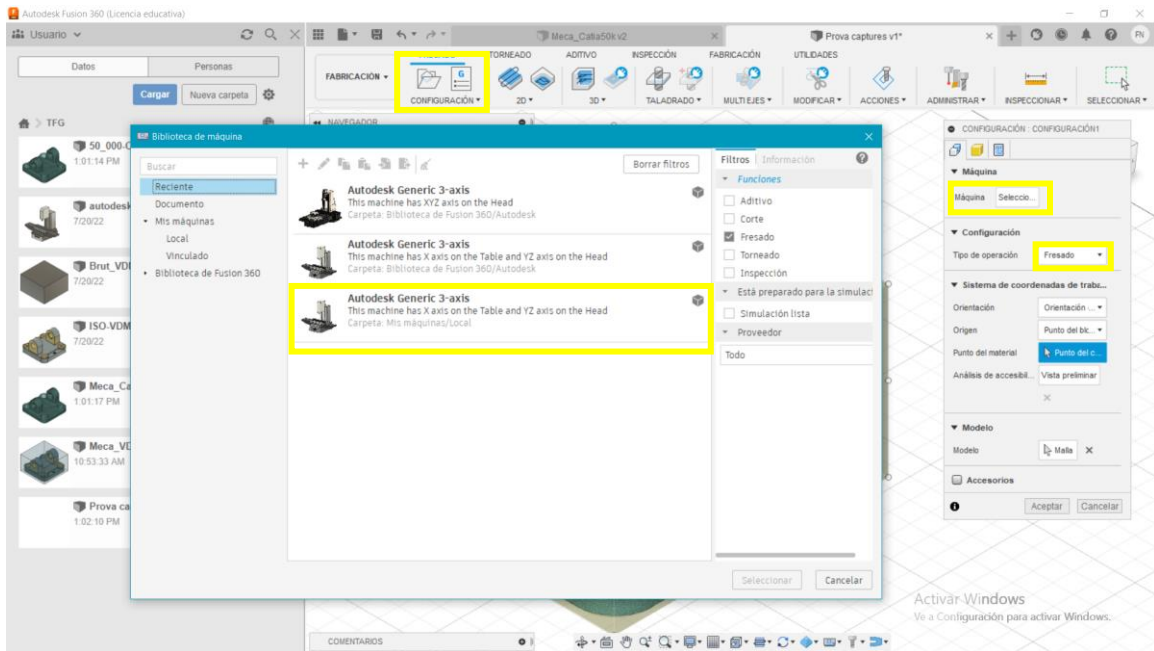


Figura 73. Selecció de la màquina, fresadora de 3 eixos, en Fusion360

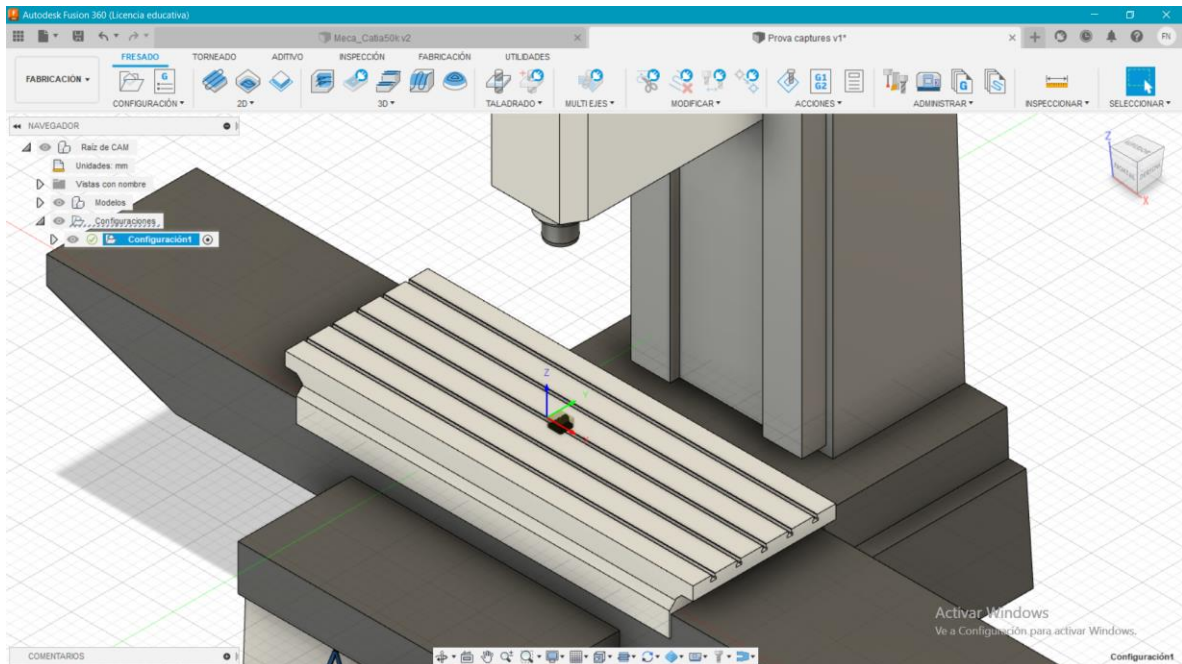


Figura 74. Màquina en Fusion360

Una vegada està la configuració inicial seleccionada hem de triar una operació a realitzar, en el nostre cas utilitzarem una funció nova anomenada “Desbaste Adaptativo”, en l’apartat d’operacions 3D, aquesta funció es capaç de remoure grans quantitats de material seguint el contorn de la peça. Un dels avantatges és que utilitza trajectòries trocoidals, Figura 75, que permeten major profunditat de passada amb major velocitat i menor desgast de la

fresa, ja que manté constant la secció de viruta arrancada, independentment de la geometria.

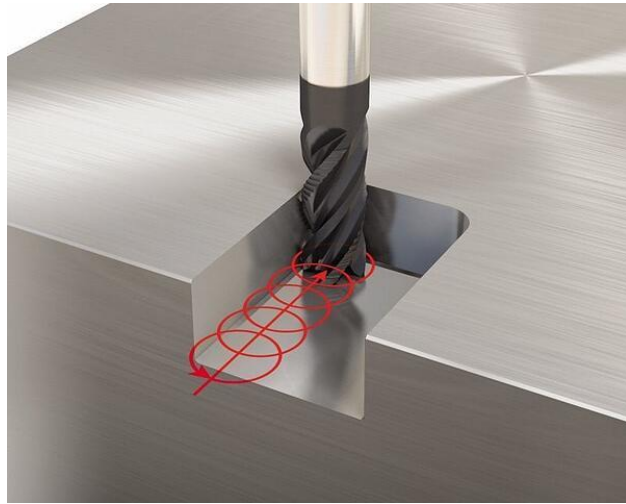


Figura 75. Mecanitzat troçoïdal

Una vegada seleccionada l'operació introduïrem els paràmetres de velocitat d'avanç i revolucions per minut de la fresa (els obtinguts del catàleg de Mitsubishi). També haurem d'escollir la ferramenta que utilitzarem per al mecanitzat. La ferramenta, al igual que **Va** (velocitat de avanç) i les **rpm** (velocitat de tall) seran les mateixes que hem escollit per al PyCAM, Figura 76.

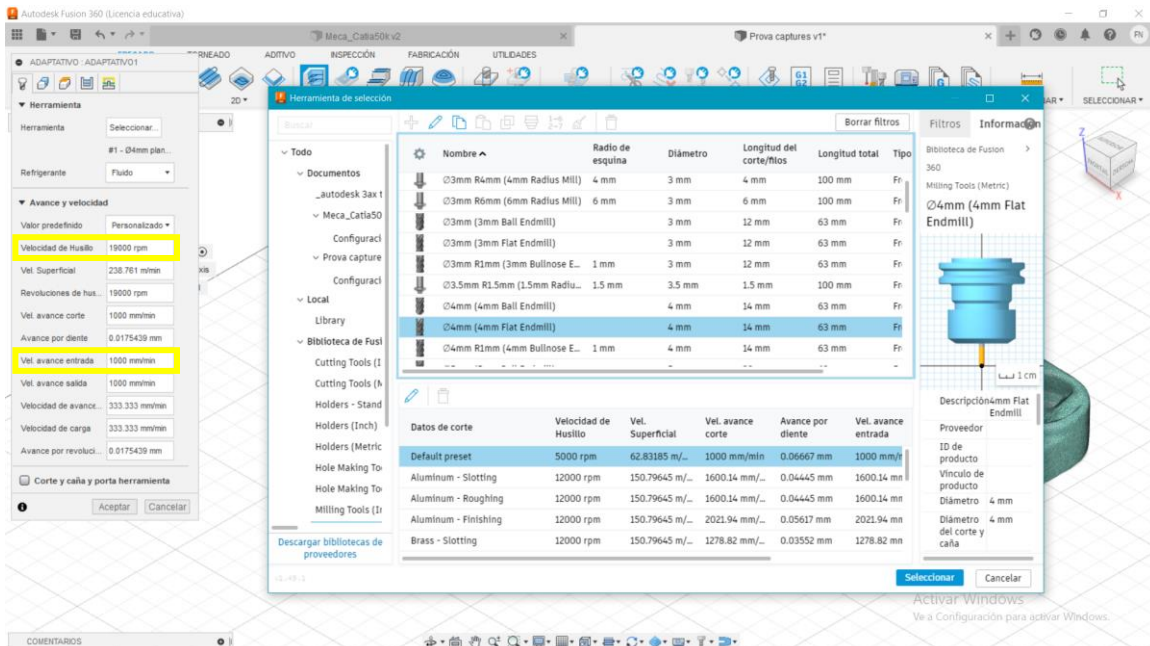


Figura 76. Operació Desbaste Adaptativo

Abans de seleccionar la ferramenta editarem els paràmetres d'aquesta per tal que no ocasioni col·lisions amb la peça durant el procés de mecanitzat. Botó dret del ratolí sobre

la ferramenta i seleccionem “Editar Herramienta”, ací canviarem algunes característiques per a que quede com en la Figura 77, ferramenta de coll llarg.

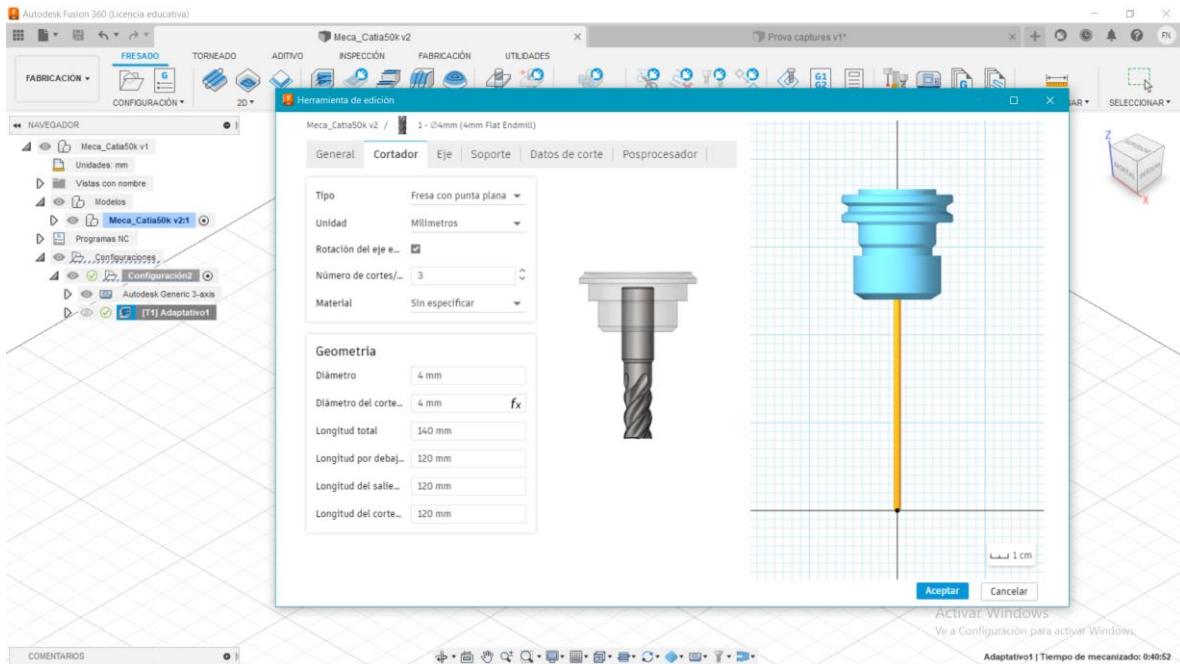


Figura 77. Edició de la ferramenta

Una volta li donem al botó “Aceptar”, després de seleccionar i definir la resta de paràmetres de l’operació, el programa començarà a calcular la trajectòria i obtindrem el mecanitzat de la peça, Figura 78. Les trajectòries de mecanitzat es corresponen amb les blaves, les grogues son moviments en buit, per recolocar la ferramenta, mentre que les trajectòries en verd representen l’extensió decidida per al tall (en la entra i eixida) així com la forma (tangencial, radial, inclinada...).

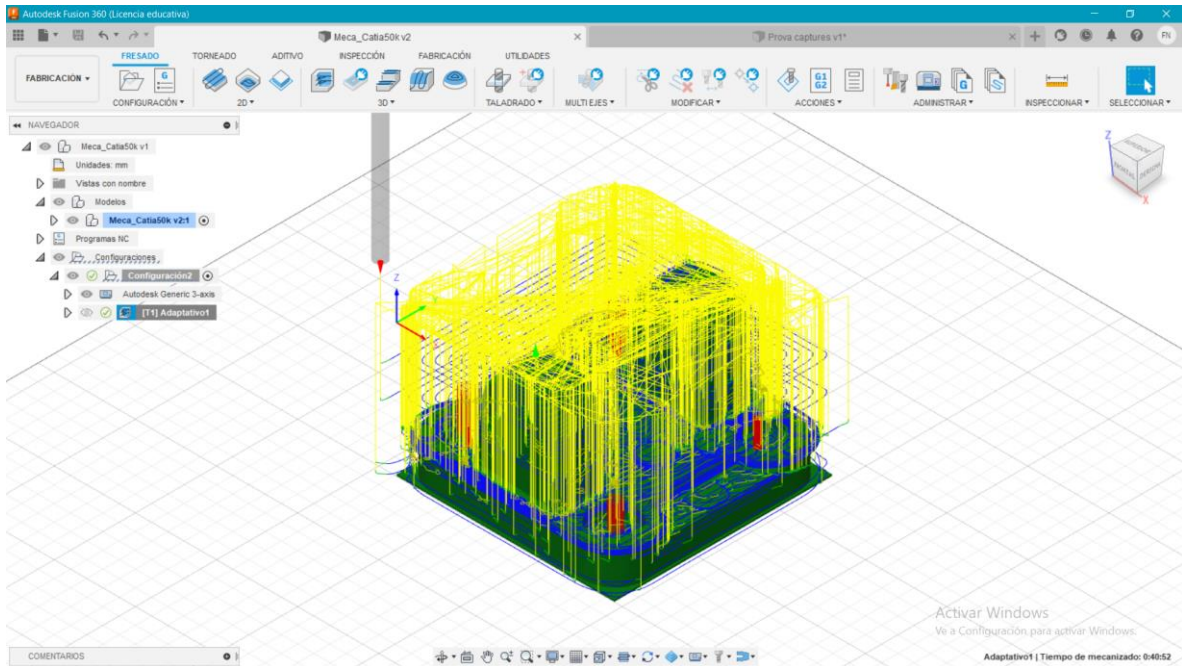


Figura 78. Mecanitzat de la peça en Fusion360

En aquest cas la peça tarda uns quaranta minuts, en comparació al PyCAM ens podria parèixer que tarda més, però aquest programa calcula els distintes velocitats, que tindrà la fresa segons el tipus de trajectòria, mentre que en el PyCAM sempre va a velocitat màxima, a banda hem aconseguit un mecanitzat de millor qualitat degut al tipus d'operació permès: "Desbaste Adaptativo".

Per a facilitar la faena de l'operari, de cara al mecanitzat físic en la màquina, es crea una fulla de ruta, Figura 79, un document on es resum les operacions així com les seues fases i subfases. En aquest document es troben les característiques generals de l'operació com l'amarratge, la ferrament i els principals valors de tall. En el nostre cas, sols hi ha una fase, una subfase i una operació, el desbaste adaptatiu de tota la peça.

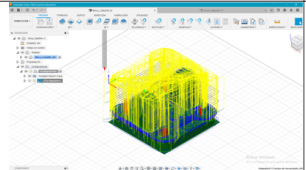
Fabricación: mecanizado y control																
Pieza: ISO_VDMA			Nº pieza:	Nº plano:	Operario: Ferran Nadal Mengual											Hoja: 1/1
F	S	O	Definición	Croquis	Amarre	Hta Plaquita	Porta-Hta	V _c m/min	N rpm	P mm	Sn mm/rev	V _a mm/min	t _c min	T min	Pot Kw	Instrumento de control
01	01	01	Desbaste adaptativo		Peces Norelem	Fresa DLC2MA	Pincas		19000	3		1000				
Nota 1:											Tiempos:			Costes:		
Nota 2:											Op 1	40:52 min				
Nota 3:																

Figura 79. Fulla de ruta

8 Prova de funcionament.

Finalment per a comprovar que la màquina funciona correctament ens dispoem a fer funcionar la màquina amb el model seleccionat anteriorment, però vàrem tindre un problema de hardware. La ferramenta que anàvem a utilitzar li faltava el porta pines ER-16 que uneix l'eix del motor amb les pines que subjecten la fresa. La peça per part del proveïdor se'n eixia del pressupost i decidirem comprar una rosca universal de diàmetre 8mm junt un joc de pines amb deu pines (Figura 80).

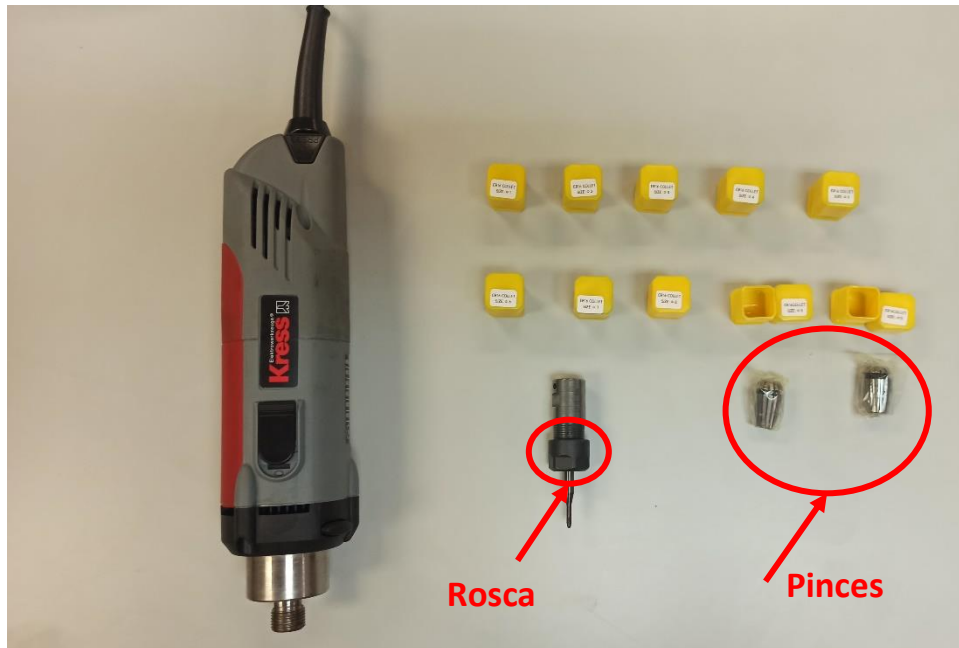


Figura 80. Sistema ER-16 i joc de pines

En el moment de muntar el sistema ER-16 a l'eix de la ferramenta ens vam adonar d'un problema, el fabricant (Kress) ha personalitzat el pas de la rosca, per el que no és el de mètrica 8 estàndard adquirit. Per lo tant no queda altra que demanar-la directament a Kress.

Per a poder fer una prova bàsica de funcionament, a la espera de que ens aproven el pressupost de Kress i es faci la comanda, decidirem canviar de ferramenta, enlloc d'utilitzar el rotalí de Kress, gastarem un taladre convencional amb control de velocitat (Figura 81).



Figura 81. Taladre convencional amb la fresa seleccionada muntada.

8.1 Canvis respecte al model

Al canviar la ferramenta de treball (rotalí per taladre) hem de realitzar uns canvis per poder treballar amb les noves condicions.

- **Canvis en la bancada**

El nou taladre té una boca molt més llarga, i amb la fresa roscada ens queda molt poca altura respecte a la taula. Per solucionar açò es decidí fer que la màquina treballara per baix de l'altura dels motors pas a pas, amb l'inconvenient que en l'eix X es reduïa l'espai de treball. Retirarem les peces quadrades que utilitzàvem per salvar l'altura dels motors i deixem la base de Norelem sobre la taula, Figura 82.

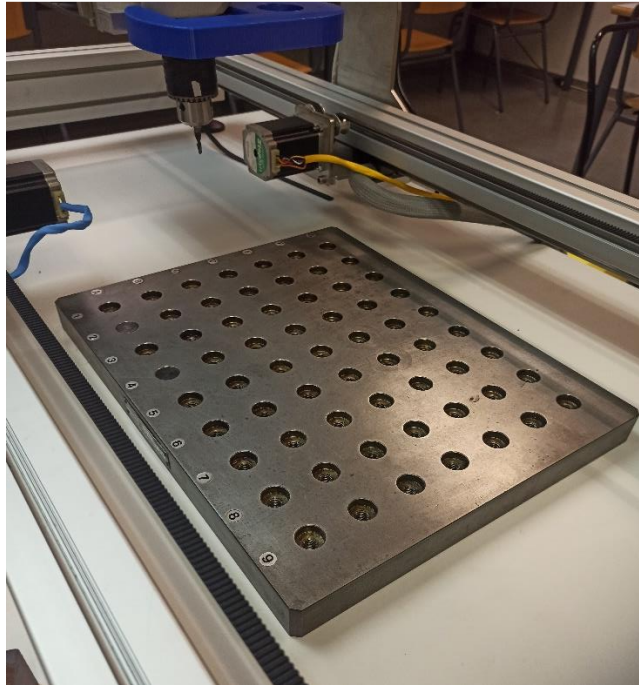


Figura 82. Nova bancada prova

En el Mach3 tindrem que reorganitzar els “Software Limits” per a que tant els motors com la nova posició de la fresa no col·lisionen amb les peces que utilitzarem com a amarrament del material a mecanitzar.

- **Selecció del material final**

Encara que esta fresadora menuda es capaç de treballar amb alumini, coure i els seus aliatges (metalls blans) Decidirem mecanitzar resina, per augmentar la seguretat en les proves inicials.. El material finalment elegit és una resina epoxi 460 (Figura 83).

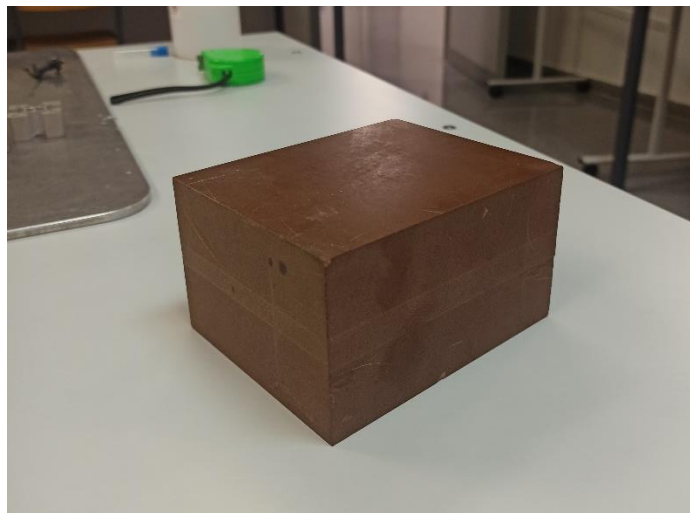


Figura 83. Bloc de resina epoxi 460

- **Canvis en la ferramenta**

Per al nou taladre no podem complir les condicions de tall que hem establert abans, per tant, calcularem unes noves. En aquest cas tenim unes rpm màximes donades pel taladre, on el màxim està sobre les 2000 rpm, amb aquesta dada i les especificacions de la fresa traurem la velocitat d'avanç a les que hem de col·locar el la màquina.

Açò es pot calcular amb la següent formula:

$$V_a = S_n \cdot N \quad ; \quad S_n = f_z \cdot Z$$

On **V_a** és la velocitat d'avanç en mm/min, **S_n** és el pas per revolució en mm/rev, **f_z** és l'avanç per dent (aquest valor ve donat per taules del fabricant i es troba entre 0'025mm i 0'3mm), **Z** és nombre de dents o de hèlix.

Nosaltres tenim unes 2000rpm i segons les taules de la pàgina [Tecnocorte](#), l'enllaç el podem trobar a les referències bibliogràfiques, per a plàstics i resines l'avanç per dent ha de ser de 0'075mm, amb estos valors anem a obtindre la velocitat d'avanç a les que posarem la nostra fresa de 2 hèlix i 4mm de diàmetre.

$$S_n = f_z \cdot Z = 0'075 \cdot 2 = 0'15 \text{ mm/rev}$$

$$V_a = S_n \cdot N = 0'15 \cdot 2000 = 300 \text{ mm/min}$$

Ara podem traure també la velocitat de tall de la fresa:

$$V_c = \pi \cdot D \cdot N = \pi \cdot 0'003 \cdot 2000 = 18'8496 \text{ m/min}$$

La velocitat d'avanç que ens recomanava el fabricant per a la ferramenta eren 1000 mm/min. La **V_a** que ens mostren els càlculs és bastant inferior però açò no vol dir que la ferramenta no es pugui fer servir, simplement que l'acabat que aconseguirem no serà l'esperat i que el desgast de la ferramenta no es te controlat. A més a més, podríem trobar altres problemes, ja que no treballem en les condicions recomanades pel fabricant, com l'embotiment de la ferramenta (es queda pegat el plàstic per dins de l'hèlix). Però aquesta resina te molt bon mecanitzat i per fer una prova ens servirà.

- **Canvis en el mecanitzat**

La màquina està configurada per al rotalí, però el nou taladre no funciona de la mateixa forma, restringint així la quantitat de moviments que podem realitzar. Per tant introduïrem els nous paràmetres de tall calculats anteriorment i escriurem un Gcode per a l'ocasió, farem una ranura en el bloc de resina abans mencionat. Per a escriure el Gcode haurem de tindre en compte les instruccions bàsiques per a fer que la màquina es moga segons volem, Taula 4..

Taula 4. Instruccions Gcode

Instrucció	Descripció
Xxx	Posició del punt xx de l'eix X
Yyy	Posició del punt yy de l'eix Y
Zzz	Posició del punt zz de l'eix Z
G28	La fresa es mou al punt designat com a "Home"
G04 Ps	La fresa fa una pausa de s segons
G1 Xxx Yyy	La fresa es mou al punt xx yy mitjançant interpolació lineal i a la velocitat d'avanç programada.

El Gcode es pot escriure en el bloc de text en format .txt i se li carrega al Mach3 per a que l'execute. En aquest cas anem a manar-li que la fresa vaja a la posició "Home", després es col·loqui davant el bloc de resina, s'espere un segon, baixi en l'eix Z fins una profunditat de passada de 2mm, s'espere dos segons, comence l'operació de tall amb un moviment lineal fins superar el bloc, seguidament espere un segon, torne l'eix Z al punt zero i que finalment torne a la posició "Home", Figura 84.

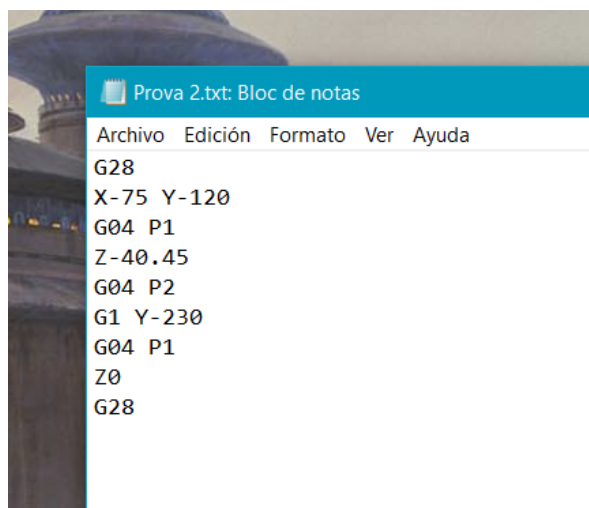


Figura 84. Gcode de tall

Una vegada introduït en Mach3 ens quedaria una pantalla com en la Figura 85, on podem observar a la part esquerra el Gcode i el seu ordre d'execució, i en la part dreta ens mostra la trajectòria que seguirà la fresa per realitzar l'operació que li hem manat.

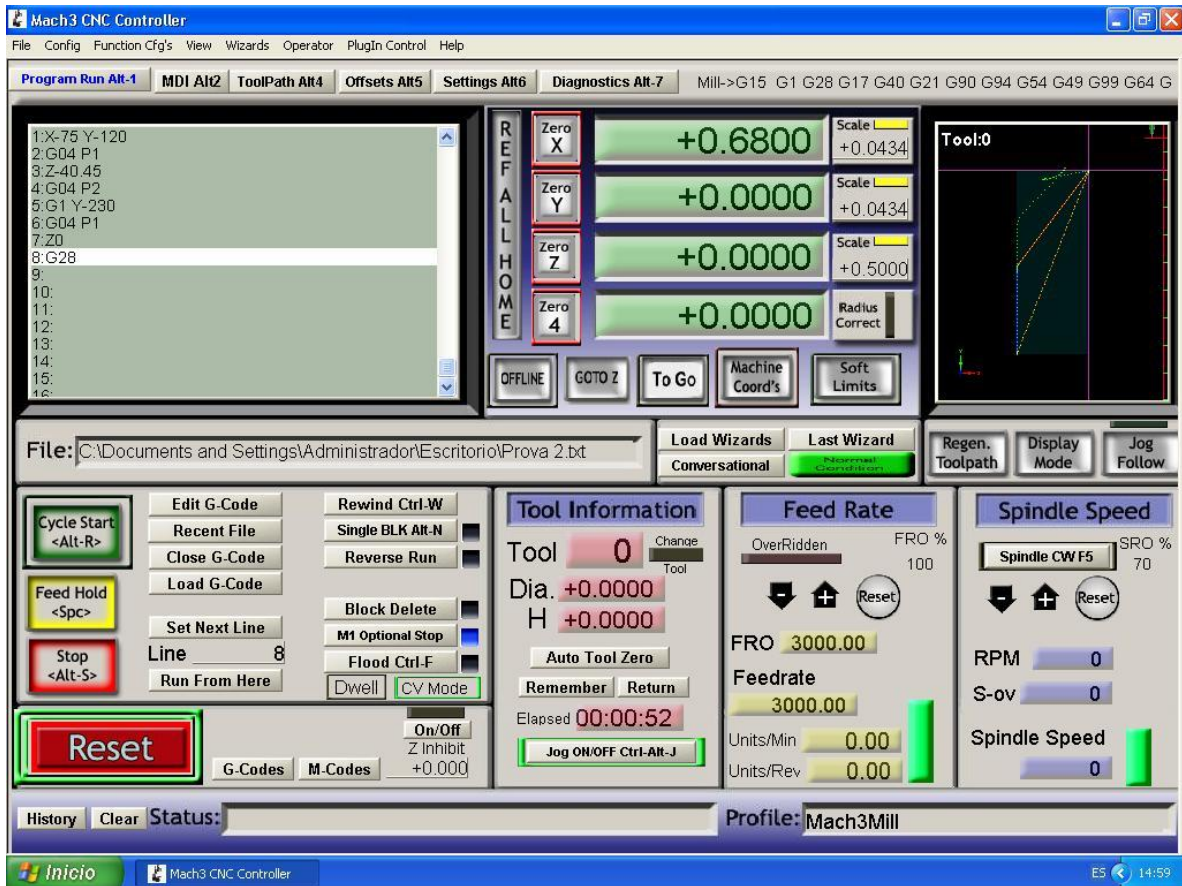


Figura 85. Gcode Mach3

Amb tot l'anterior realitzem el muntatge final i col·loquem totes les peces en posició per començar la prova, Figura 86.

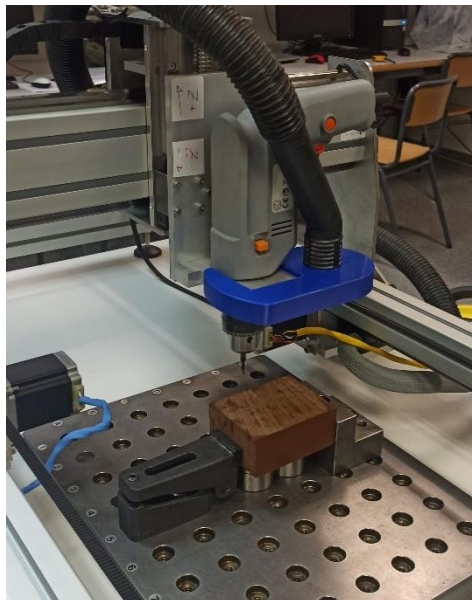


Figura 86. Muntatge final

Després d'executar el codi vegem que la màquina funciona correctament i que la ranura, encara que no és perfecta, és un primer pas.



Figura 87. Ranura de prova

En la Figura 87 podem observar la ranura de prova, a més de una xicoteta que es va fer de forma manual la primera vegada que la màquina es posava en marxa.

Ací trobem un vídeo amb el procés per realitzar la ranura, que es pot veure en el següent enllaç.

https://youtu.be/Mf_fi03PJdA

9 Proposta de millora. Redisseny de l'esquelet

La finalitat d'aquest nou disseny és la de guanyar el màxim volum possible per al mecanitzat, sobretot en l'eix Z. El major problema que trobem són els motors pas a pas que ens impedeixen posar la bancada a mínima altura, una solució per a aquest inconvenient és girar 180° els suports de l'eix X i canviar-los de costat, deixant així els motors en la part exterior de la fresa (Figura 88).

Aquesta opció es pot realitzar de dues maneres, però en ambdós s'han de modificar els perfils d'alumini que conformen l'esquelet de la màquina.

- Una alternativa és augmentar la longitud dels perfils dobles per tal de connectar les corretges a l'exterior dels perfils dobles.
- Un altra és reduir el perfil amb guies que conforma l'eix X ja que els perfils simples s'han de amarrar més centrats per tal de fer lloc als enganxes de les corretges.

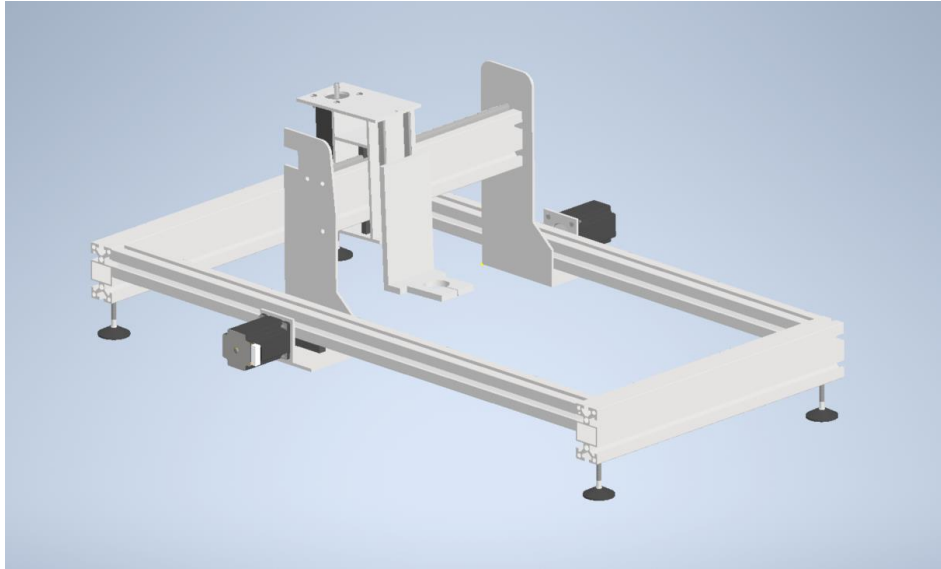


Figura 88. Nova configuració de l'esquelet

A més he creat unes peces, Figura 89, que uneixen la nova base de Norelem amb l'esquelet per tal de fixar la bancada als perfils d'alumini i que sempre es mantinga en la mateixa posició respecte el taladre independentment de si canviem la màquina de posició.

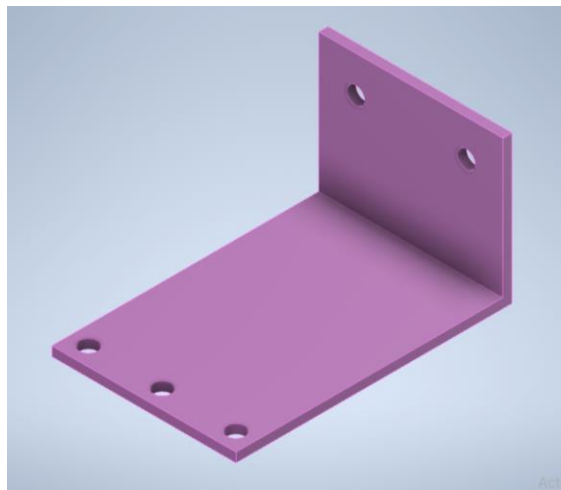


Figura 89. Peça alineació bancada

Aquestes peces es col·loquen en els laterals de la bancada de Norelem com podem veure en la següent vista seccionada, Figura 90.

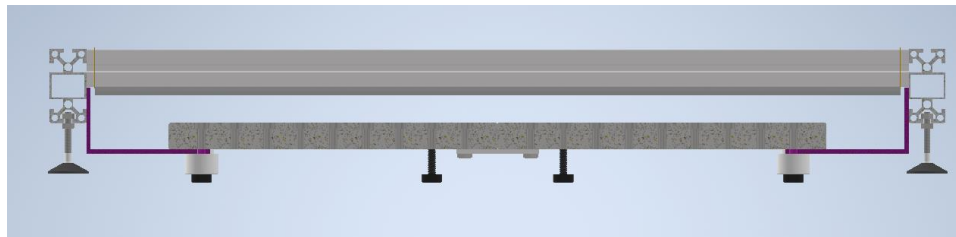


Figura 90. Vista seccionada

Per tal d'unir les peces amb la bancada utilitzarem cargols i rosques de la següent manera. La peça que uneix l'esquelet amb la bancada la podem vore en color morat i les rosques en color groc, la idea amb les rosques és que queden fixes en els perfils laterals.

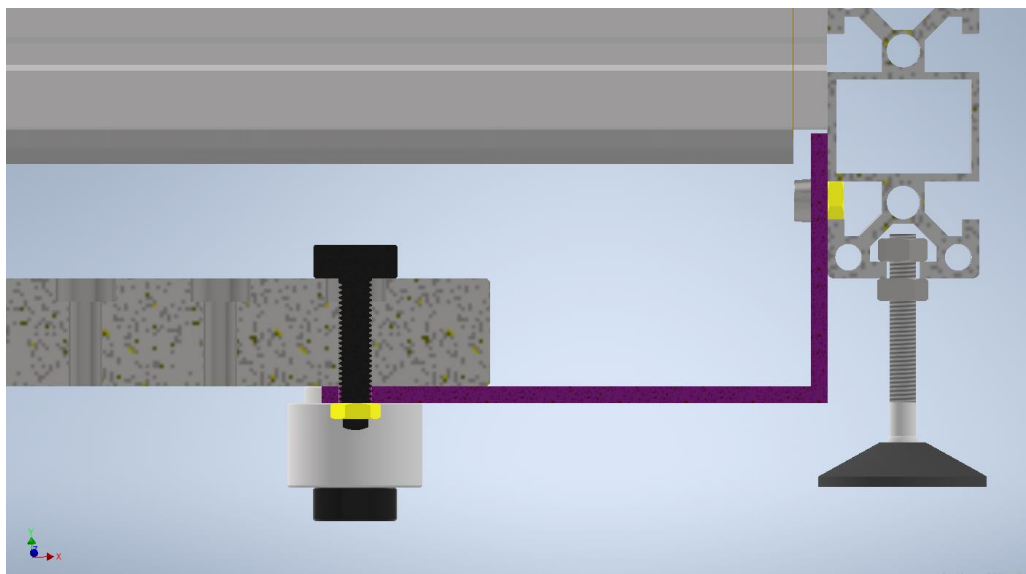


Figura 91. Sistema d'amarres

Com s'ha vist en els vídeos els motors mouen els eixos mitjançant corretges, per tal de no comprar un altre perfil podem fabricar unes peces, Figura 92, que suporten les corretges en la part exterior de l'esquelet.

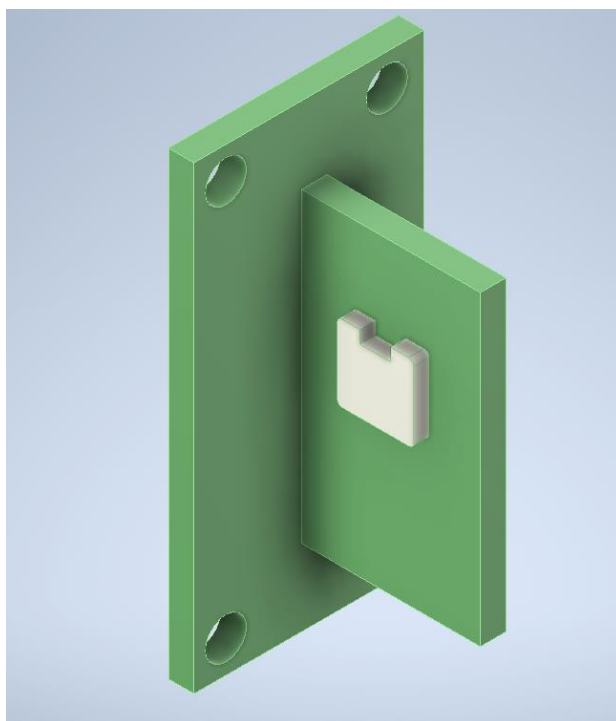


Figura 92. Suport corretges

Una volta implementada quedaria com en la següent imatge.

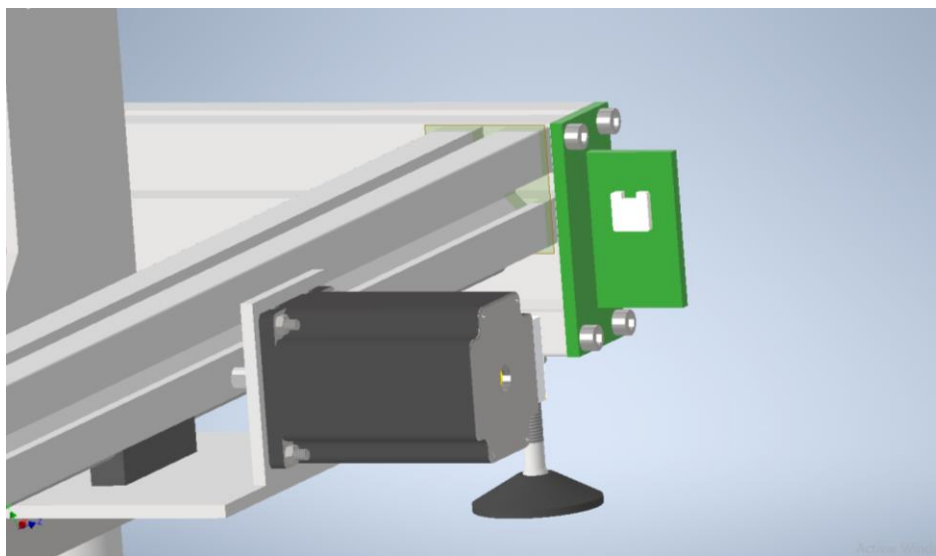


Figura 93. Implementació suport corretges

Una vegada combinem aquestes millores en la nova bancada dissenyada en l'apartat 4.2, el nou disseny de l'esquelet obté un nou espai de mecanitzat molt superior a l'anterior, Figura 94. Amb la configuració original disposem de 50mm en l'eix Z i amb aquesta tenim 160mm, si parlem de volum de treball disponible amb l'anterior tenim uns 21'25 litres i ara disposem de 68 litres, un increment del 320%.

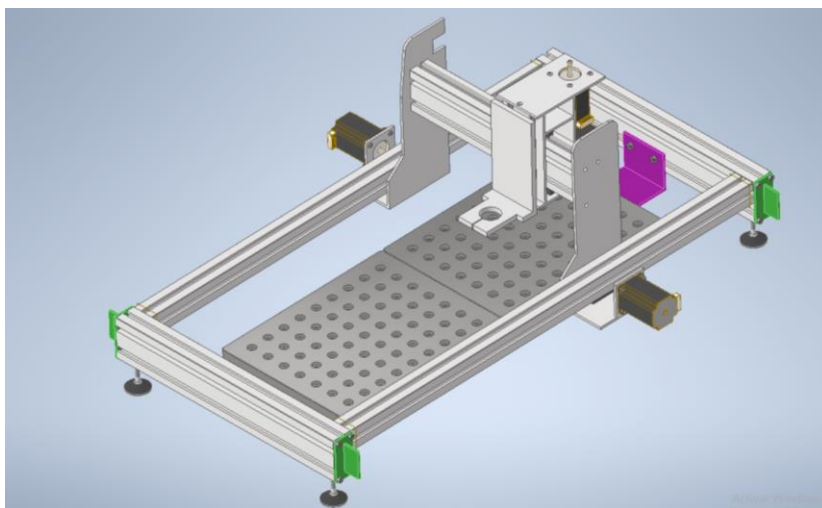


Figura 94. Nou esquelet i nova bancada

10 Conclusions

Tal i com hem pogut comprovar durant tot el procés, des de la configuració inicial, el muntatge i disseny de les diferents parts, les millores incorporades i la prova final, les fresadores de sobretaula són una ferramenta molt útil i capaces de fer moltes feines. Així i tot presenten complicacions i no sempre funcionen de la manera que desitjaríem.

Ja la configuració inicial amb el Mach3 va presentar problemes, un programa un poc antiquat ja que només funciona amb versions de Windows Vista o inferiors com Windows XP però necessàries ja que la màquina necessita un port paral·lel i només els ordinadors antics disposen de tal port. Hi ha una versió actualitzada, Mach 4, però decidirem fer servir el Mach 3, ja que la fresadora de sobretaula ho tenia com a software de control recomanat. Hi havia seriosos dubtes de que funcionés, mai no s'havia posat en marxa, però havent-ho aconseguit una clara proposta de millora es migrar-lo tot a Mach 4.

Per finalitzar, es fa una prova de funcionament on analitzem i escanegem una peça per a la seua mecanització. Al no disposar del sistema d'amarratge ER-16 per a la ferramenta, es va decidir realitzar una prova bàsica, una ranura amb un taladre, per vore que tot funcionava com era d'esperar. Així ha estat, doncs, es disposarà d'un equip apte per completar el cicle en un procés d'enginyeria inversa i prototipat de peces.

Seguidament vam realitzar el disseny de la màquina i vàrem haver de fer un redisseny de l'esquelet d'aquesta per tal de guanyar espai per a la bancada i un major volum de treball.

Amb tots estos contratemps i problemes trobats, hem invertit molt de temps, i tot he après moltes coses. Amb el Mach3 he hagut de treballar amb programes de control numèric, he après sobre motors pas a pas, connexions i senyals electròniques, sobre modelatge, configuració de màquines de control numèric, sobre ferramentes i condicions de tall, he treballat amb un escàner 3D i he profunditzat els meus coneixements amb programes CAD i CAM.

En general podríem dir que ha estat una gran experiència d'aprenentatge ,que era el meu objectiu des del principi, encara que no haja acabat amb una peça completament mecanitzada, per problemes amb els subministraments del sistema ER-16 per a amarrar la ferramenta. Però s'ha deixat tot preparat i provat.

Capítol 2

El Pressupost

Índex

1. Introducció al pressupost	69
2. Pressupost General	69
3. Desglossament del pressupost	69
4. Aclariments del pressupost	70

1. Introducció al pressupost

Durant la realització del treball hem consumit diversos recursos i bens, els quals han de ser comptabilitzats de forma correcta per tal de portar un control de les despeses. Per complir aquesta tasca he realitzat el pressupost complet del que he gastat durant la realització del projecte. En les següents taules es pot observar un resum amb les despeses generals, així com les diverses categories i apartats amb més detall. El raonament d'algun dels càlculs com l'amortització de l'escàner o l'aplicació de l'IVA es troben al final de les taules.

2. Pressupost general

Pressupost 1. General

Categoria	Valor	TOTAL
Software		178,84 €
Material		42,00 €
Compres		93,90 €
Mà d'obra		6.534,00 €
Imprevistos	2%	1.355,75 €
Benefici	15%	1.220,17 €
TOTAL		9.424,66 €

3. Desglossament del pressupost

Pressupost 2. Software

SOFTWARE	Unitats	Cost	TOTAL	Comentaris
Mach3	1	175,00 €	175,00 €	
Autodesk Fusion 360	1	0,00 €	0,00 €	Llicència educacional
Autodesk Inventor 2023	1	0,00 €	0,00 €	Llicència educacional
Matlab	1	0,00 €	0,00 €	Llicència educacional
Cura	1	0,00 €	0,00 €	Software gratuït Versió gratuïta
GOMInspect	1	0,00 €	0,00 €	estudiantil
HP 3D Scan Pro 5	2d	1,92€/dia	3,84 €	Càlcul amortitzat
PyCAM	1	0,00 €	0,00 €	Software gratuït
TOTAL			178,84 €	

Pressupost 3. Material

MATERIAL	Unitats	Cost	TOTAL	Comentaris
Pla HD Blue	1Kg	37	37	
Bloc de resina epoxi 460 (95mm x 75mm)	1	5,00	5,00 €	
TOTAL			42,00 €	

Pressupost 4. Compres

COMPRES	Unitats	Cost	TOTAL	Comentaris
Sistema ER-16	1	23,90	23,90 €	
Ferramenta diàmetre 4mm	1	70,00	70,00 €	
TOTAL			93,90 €	

Pressupost 5. Mà d'obra

Mà d'obra	Unitats	Cost	TOTAL	Comentaris
Hores enginyer industrial (encara no titulat)	270	20,00	5.400,00 €	
IVA		21%	6.534,00 €	
TOTAL			6.534,00 €	

4. Aclariments al pressupost

En aquest apartat comentarem el perquè d'alguns dels càlculs i dels valors del pressupost.

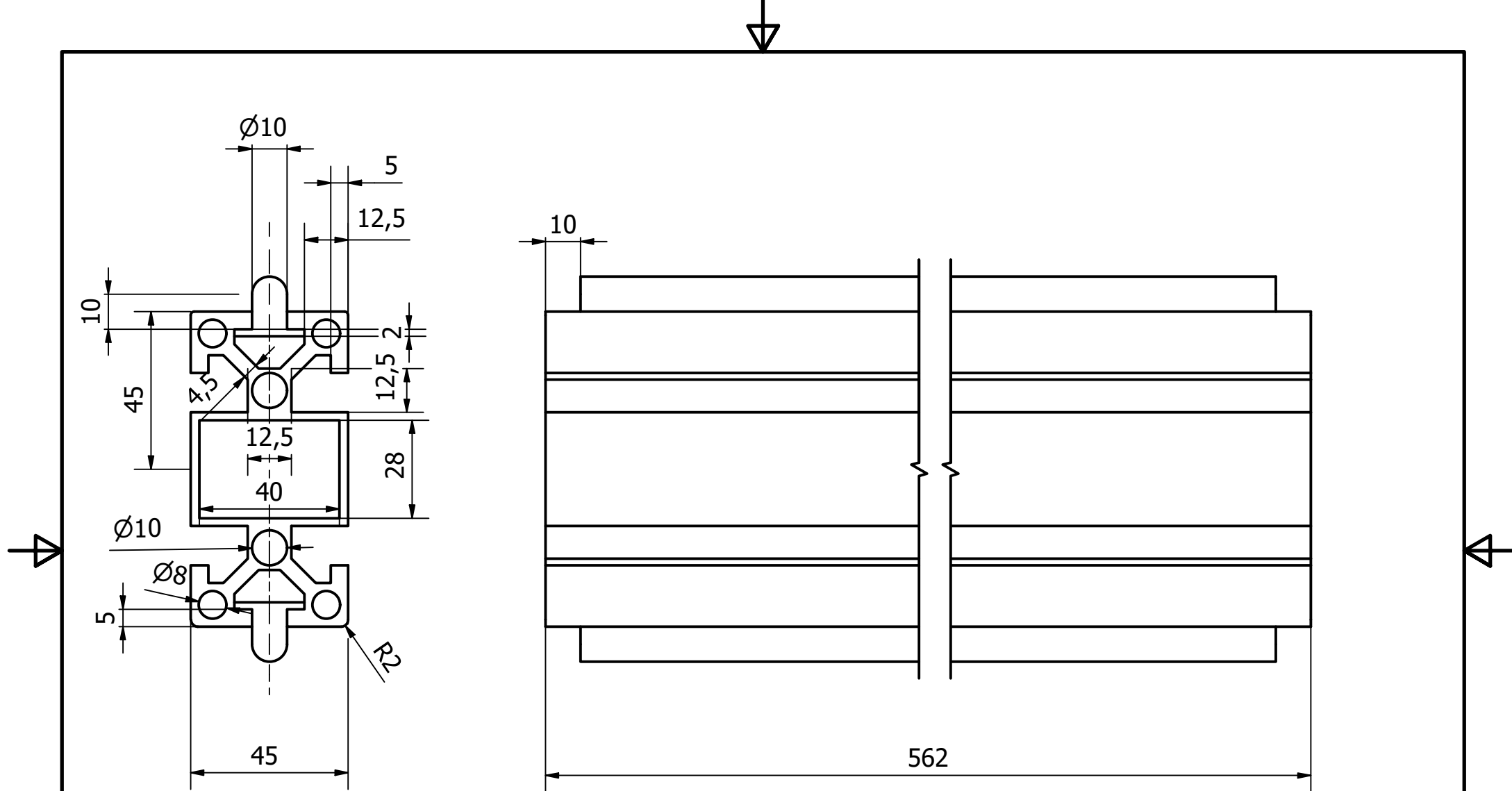
- **Llicències**
 - Moltes de les llicències són estudiantils degut al software UPV, en cas de no ser part de la UPV el preu augmentaria considerablement i cada empresa haurà d'adaptar-se al seu software. Altres programes són d'ús lliure com el Cura o el PyCAM.
- **Càlcul del cost de l'escàner**
 - L'escàner utilitzat per analitzar la peça va costar al departament uns 7.000€, el temps de vida útil es calcula que són uns 10 anys. El software i l'aparell no es venen per separat per tant farem un càlcul d'amortització del paquet complet a deu anys vista. Al final l'escàner amortitzat ix a 700€/any i treballar un dia amb ell comportaria un cost de 1,92€/dia.
- **Impostos**
 - Totes les compres s'han realitzat amb l'IVA inclòs, per això només s'ha comptabilitzat en les hores d'enginyeria.

- **Altres**

- S'ha comptat amb un percentatge per a imprevistos com pogueren ser les soldadures que es van realitzar per arreglar els finals de carrera, els sensors, la preparació de la peça per al escàner, la construcció de l'útil per a subjectar la sonda de palpat, la incorporació del botó d'emergència, la posta a punt de l'ordinador en el SOP de 32 bits, etc. També hem comptabilitzat un benefici al projecte del 15%, en cas de ser oferit a una altra empresa externa al Departament.

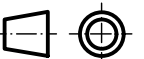
Capítol 3

Els Plànols

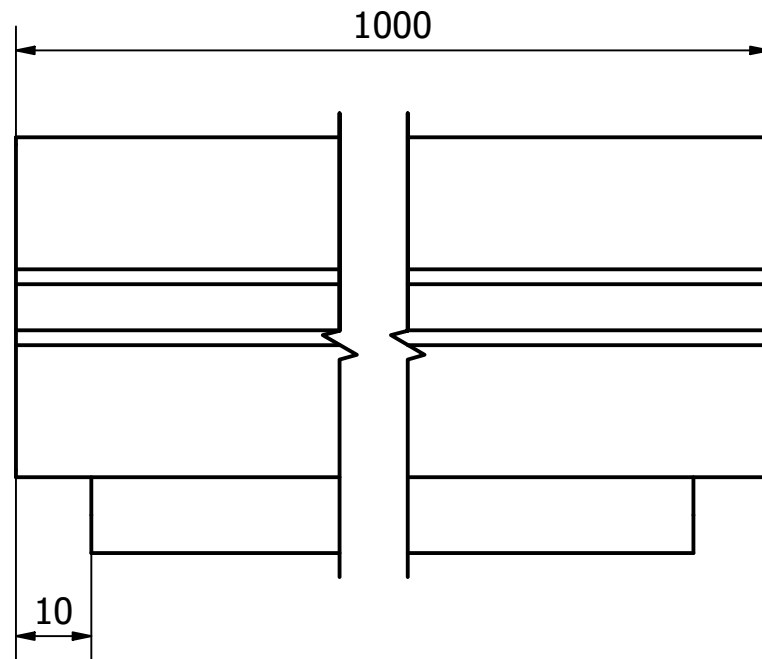
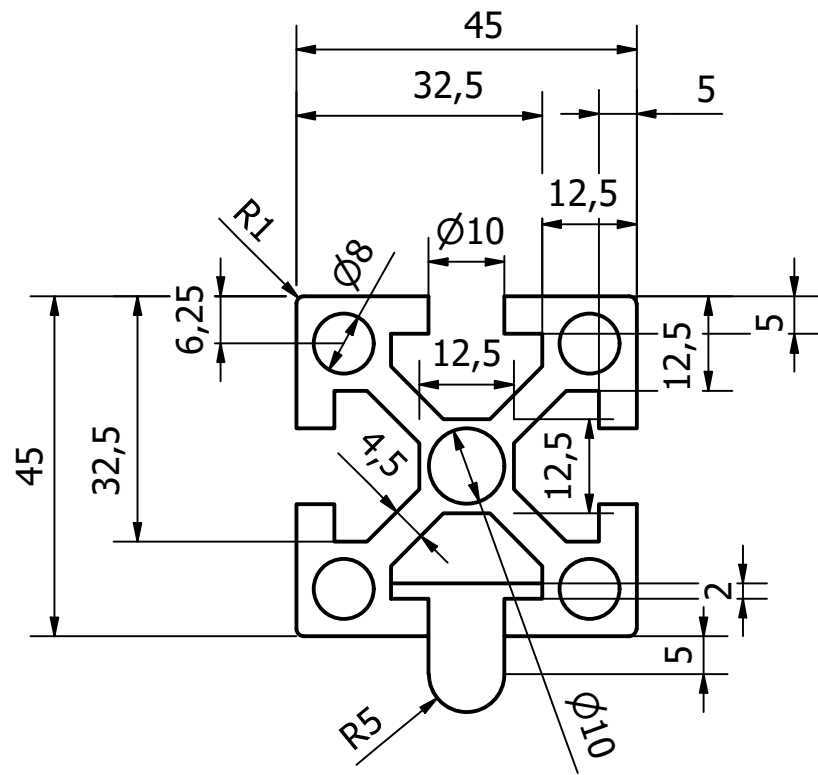


Resta de cotes i cotes extra al model CAD

Ra: Ra propi del procés d'extrusió Escala: 3:2




<p>TREBALL FINAL DE GRAU</p>  <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p>	Títol: Perfil doble amb guia	
	Unitats: Milímetres	Material Alumini
	Tolerància dimensional: ISO 2768-mK	
Autor: Ferran Nadal Mengual	Aprovat per: Santiago Carlos Gutiérrez Rubert	Pàgina: 1

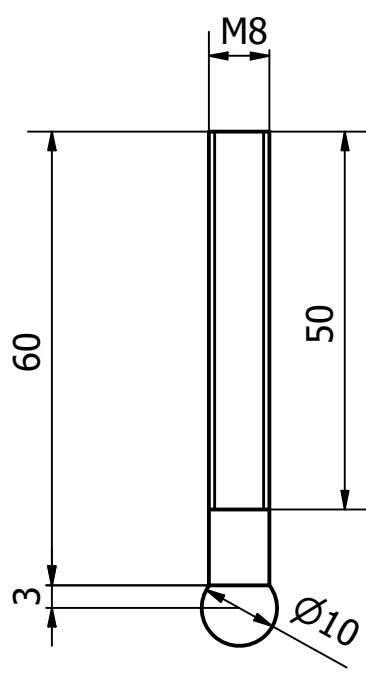


Resta de cotes i cotes extra al model CAD

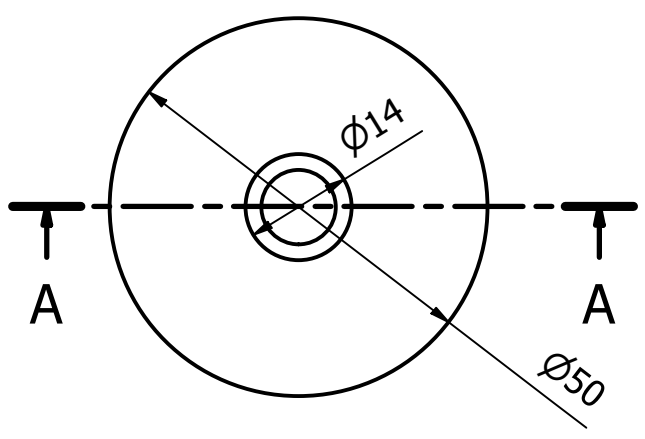
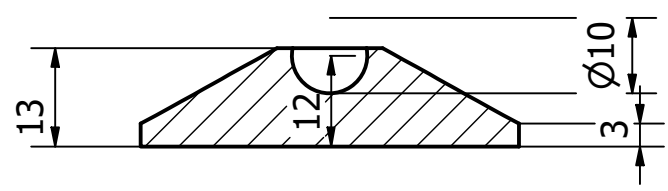
Ra: Ra propi del procés d'extrusió Escala: 1:1



<p>TREBALL FINAL DE GRAU</p>  <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p>	Títol: Perfil simple amb guia	
	Unitats: Milímetres	Material: Alumini
	Tolerància dimensional: ISO 2768-mK	
Autor: Ferran Nadal Mengual	Aprobat per: Santiago Carlos Gutiérrez Rubert	Pàgina: 2



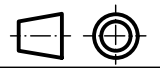
A-A (1 : 1)



Resta de cotes i cotes extra al model CAD

Ra: 6'3 micròmetres

Escala: 1:1



TREBALL FINAL DE GRAU



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA

Títol: Peus

Unitats: Milímetres

Material

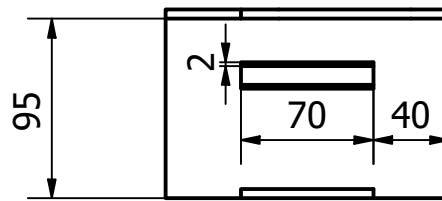
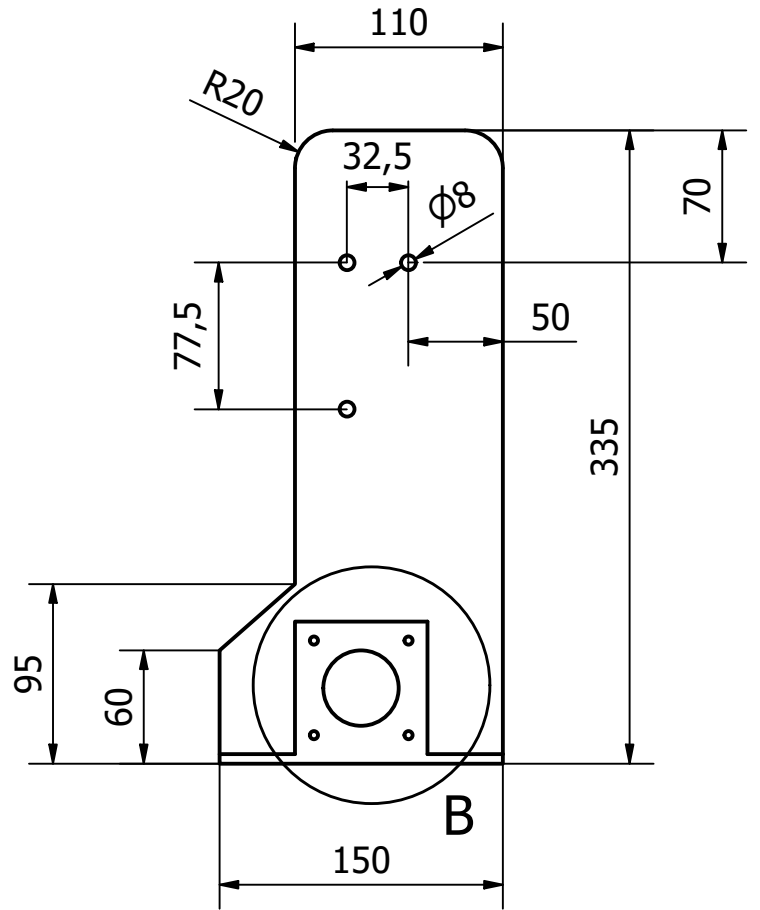
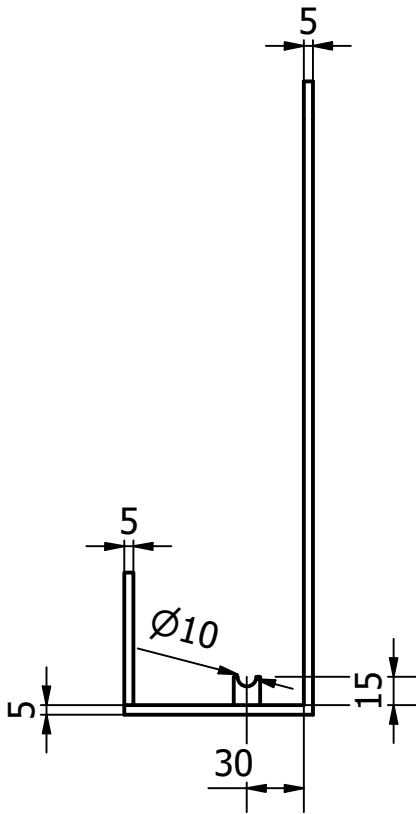
Tolerància dimensional: ISO 2658-mK

Ferro i Goma

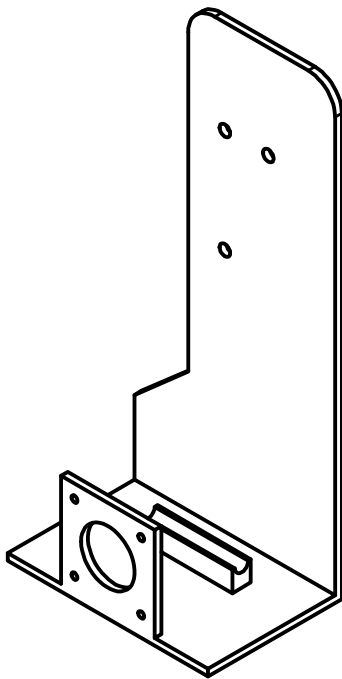
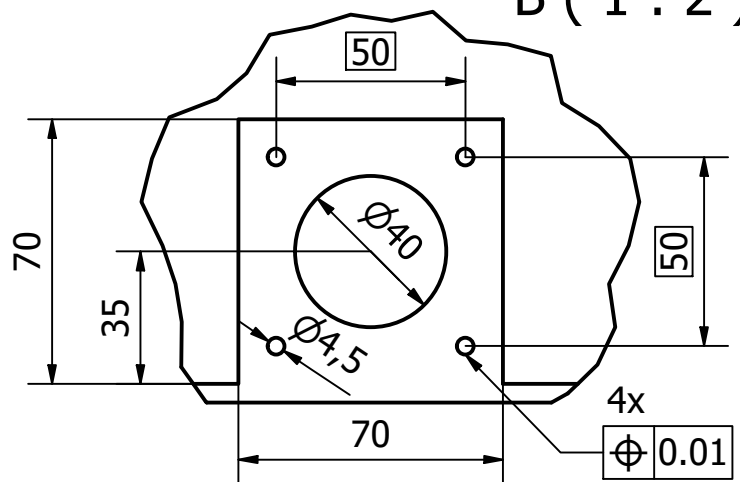
Autor: Ferran Nadal Mengual

Aprobat per: Santiago Carlos Gutiérrez Rubert

Pàgina: 3



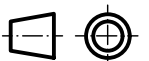
B (1 : 2)



Resta de cotes i cotes extra al model CAD

Ra: 6'3 micròmetres

Escala: 1:4



TREBALL FINAL DE GRAU



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA

Títol: Suport eix X

Unitats: Milímetres

Material

Tolerància dimensional: ISO 2768-mK

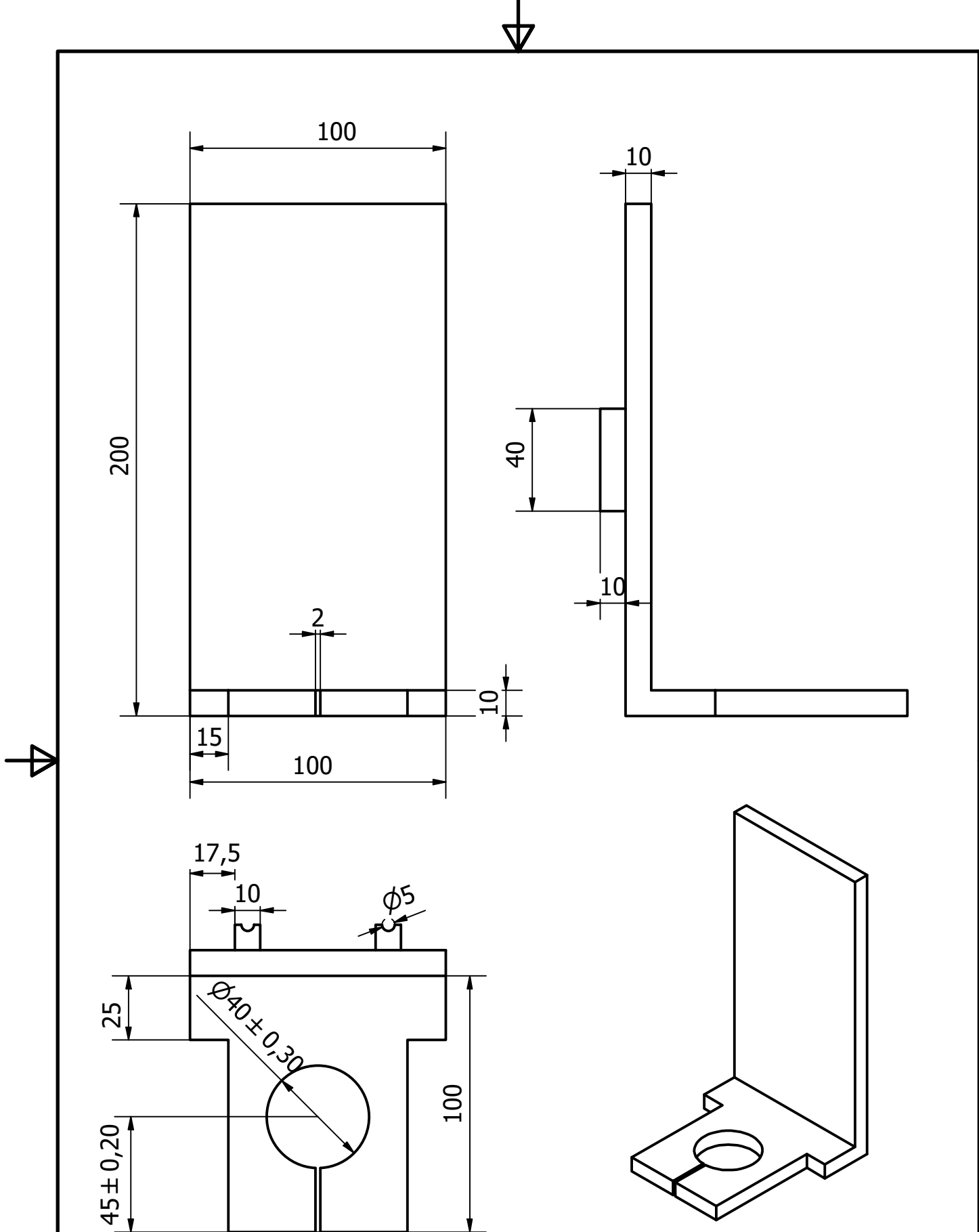
Acer

Autor: Ferran Nadal Mengual

Aprobat per: Santiago Carlos Gutiérrez Rubert

Pàgina:

4



Resta de cotes i cotes extra al model CAD

Ra: 6'3 micròmetres

Escala: 1:3



TREBALL FINAL DE GRAU



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA

Títol: Soport Taladre

Unitats: Milímetres

Material

Tolerància dimensional: ISO 2768-mK

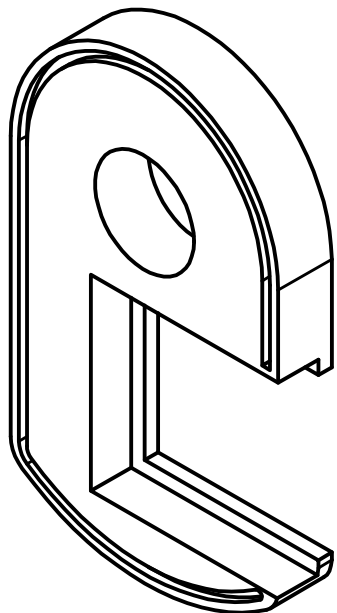
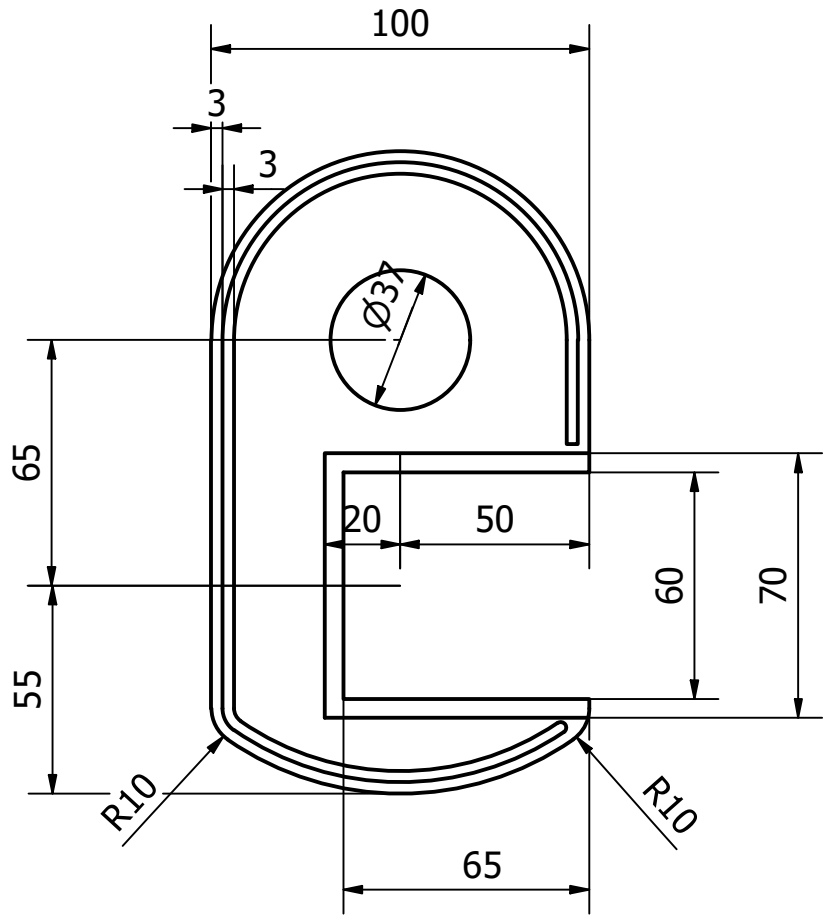
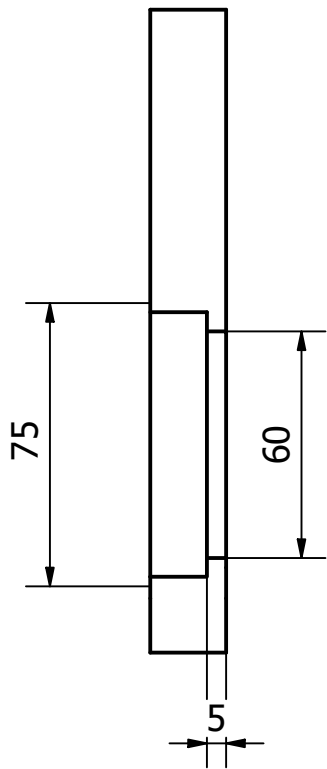
Acer

Autor: Ferran Nadal Mengual

Aprovat per: Santiago Carlos Guitierrez Rubert

Pàgina:

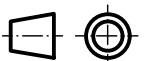
5



Resta de cotes i cotes extra al model CAD

Ra: -

Escala: 1:2



TREBALL FINAL DE GRAU



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Títol: Sistema recollida de pols

Unitats: Milímetres

Material

PLA

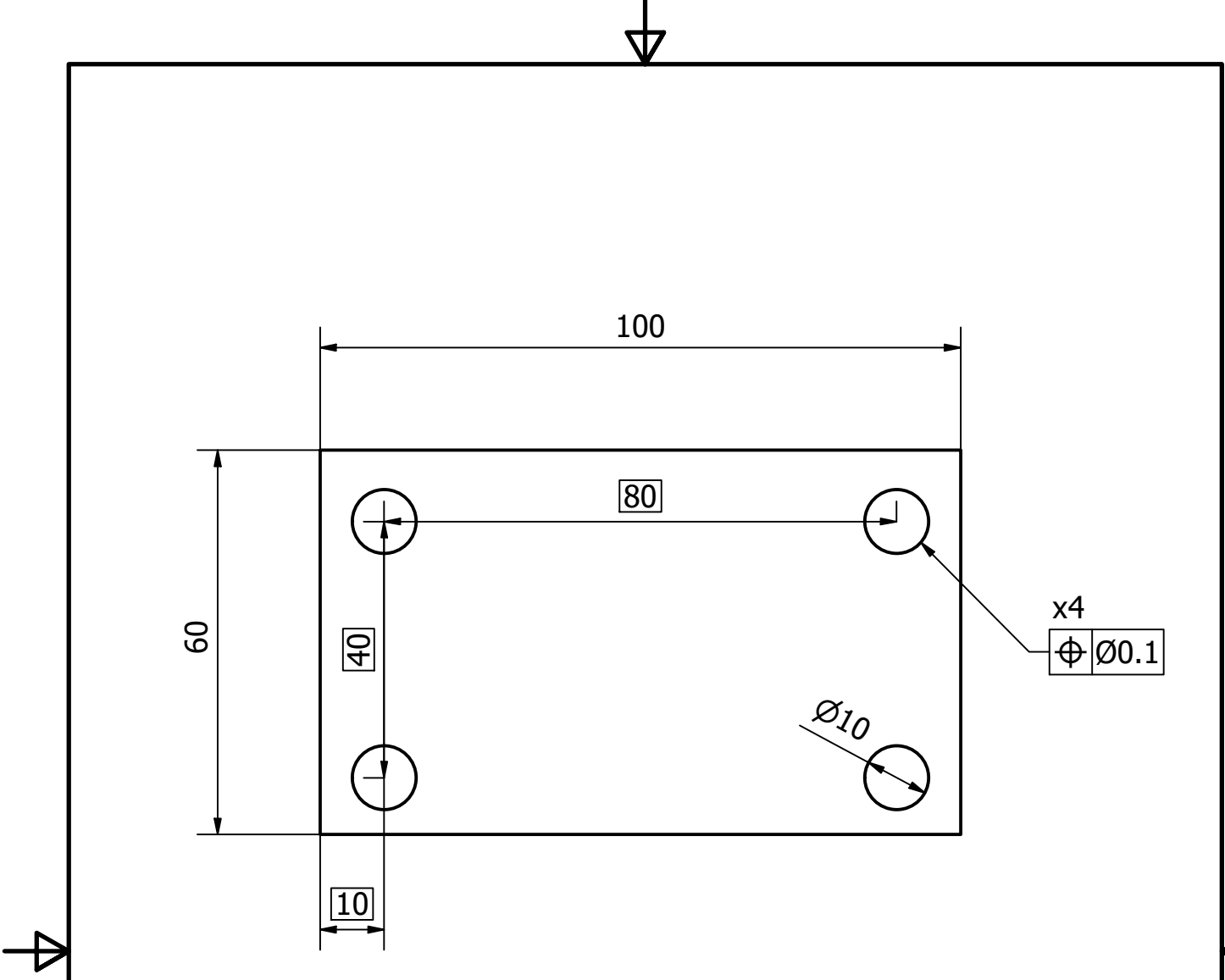
Tolerància dimensional: ISO 2768-mK

Autor: Ferran Nadal Mengual

Aprobat per: Santiago Carlos Guitierrez Rubert

Pàgina:

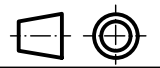
6



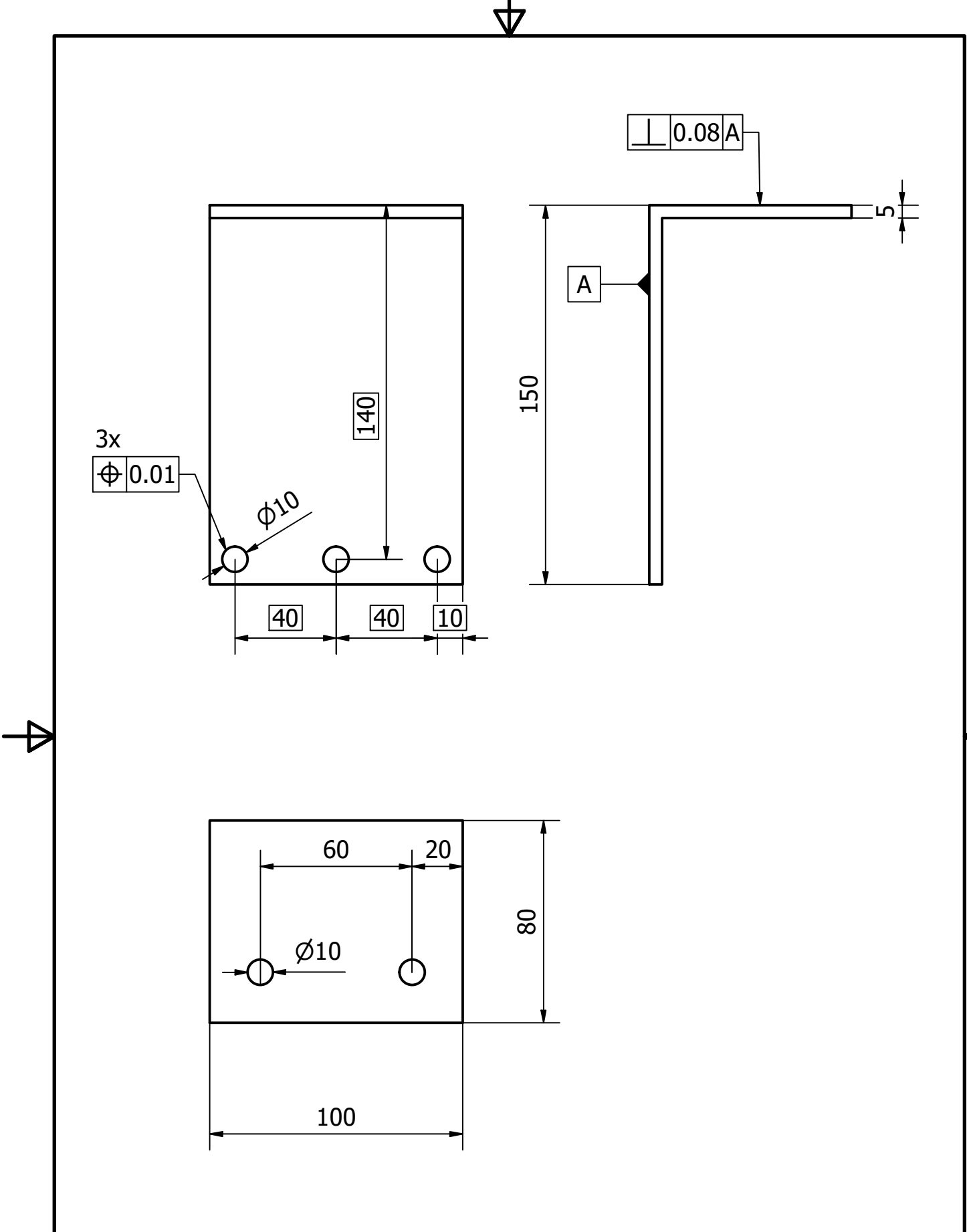
Resta de cotes i cotes extra al model CAD

Ra: 6'3 milímetros

Escala: 1:1



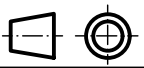
 <p>TREBALL FINAL DE GRAU UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p>	Títol: Pletina connectora bases	
	Unitats: Milímetros	Material: Acer
	Tolerància dimensional: ISO 2768-mK	
Autor: Ferran Nadal Mengual	Aprobat per: Santiago Carlos Guitiérrez Rubert	Pàgina: 7



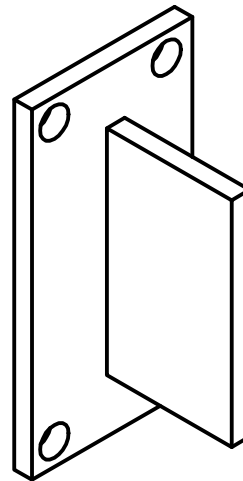
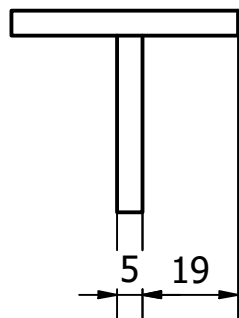
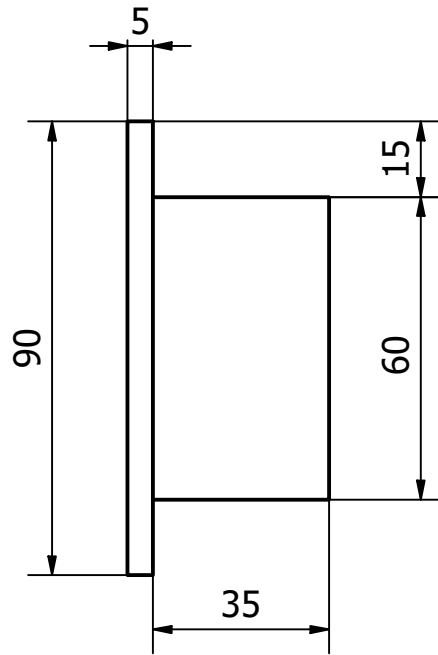
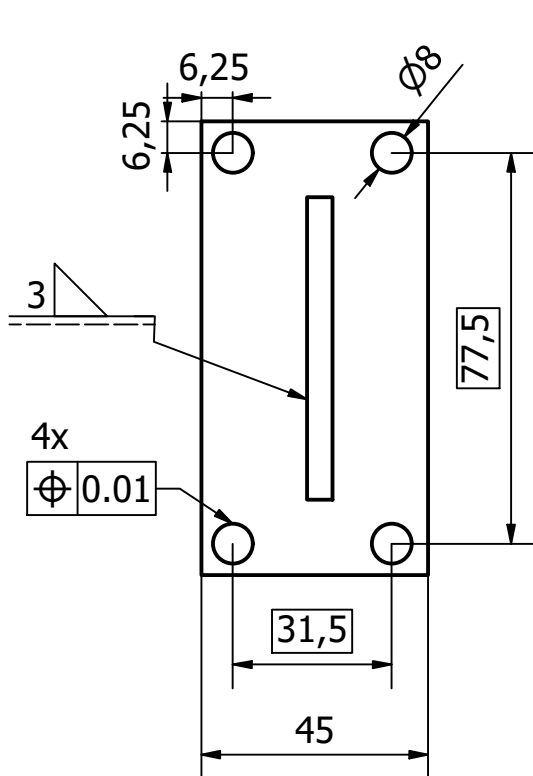
Resta de cotes i cotes extra al model CAD

Ra: 6'3 mil·límetres

Escala: 1:2



<p>TREBALL FINAL DE GRAU</p>  <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p>	<p>Títol: Pletina alineació</p>	
	<p>Unitats: Mil·límetres</p>	<p>Material: Acer</p>
	<p>Tolerància dimensional: ISO 2768-mK</p>	
<p>Autor: Ferran Nadal Mengual</p>	<p>Aprovat per: Santiago Carlos Gutiérrez Rubert</p>	<p>Pàgina: 8</p>



Resta de cotes i cotes extra al model CAD

Ra: 6'3 micròmetres

Escala: 2:3



TREBALL FINAL DE GRAU



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA

Títol: Suports corretges

Unitats: Plano

Material

Tolerància dimensional: ISO 2768-mK

Acer

Autor: Ferran Nadal Mengual

Aprobat per: Santiago Carlos Gutiérrez Rubert

Pàgina:

9

Referències bibliogràfiques

ATMEL® (2006). *ATMEL AN 8017*. 2325 Orchard Parkway, San Jose, USA.

Mitsubishi. (2014). *Catálogo General Herramientas de Corte de Metal Duro*. Mitsubishi.

Transmotec. (2022). *Stepping motor 1.8° 28Nm 8A 110x110mm Cable*. Recuperat el dia 30 de Juny de 2022. <https://www.transmotec.com/product/SHW110201-18-800/>

Tecnocorte2. (12 de abril de 2021). *Velocidad de corte y de avance en fresadora CNC: como calcularlas fácilmente*. Tecnocorte. <https://tecnocorte.com/blog/fresadora-cnc-calcul-velocidad-de-corte-y-de-avance/>