



Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología

GRADO EN INGENIERÍA
DE TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

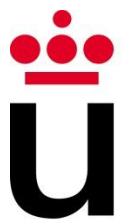
Trabajo de Fin de Grado

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO
DE FRESADORA CNC DE 3 EJES

Sheila Calvo Reviejo

Director: Felipe Machado Sánchez

Curso Académico 2018/2019



Universidad
Rey Juan Carlos

Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Trabajo de Fin de Grado

El presente trabajo, titulado ***DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE FRESADORA CNC DE 3 EJES***, constituye la memoria correspondiente a la asignatura Trabajo de Fin de Grado que presenta D./D^a. ***SHEILA CALVO REVIEJO*** como parte de su formación para aspirar al Título de Graduado/a en Ingeniería de Tecnologías Industriales. Este trabajo ha sido realizado en ***UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS*** en el ***DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA APLICADA, CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES Y TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA*** bajo la dirección de ***FELIPE MACHADO SÁNCHEZ***.

Móstoles, 6 de octubre de 2018.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer todo el apoyo y disponibilidad recibida por parte de mi tutor Felipe Machado Sánchez ya que sin él no se podría haber llevado a cabo el proyecto existente.

Por otro lado, agradecer la ayuda y disponibilidad de mi amigo y compañero Pedro Javier Calurano Cuello que ha hecho posible que en momentos en los que la Universidad no estaba disponible se pudiera seguir adelante con el TFG.

Mencionar también a todos los docentes que he tenido durante la realización del grado ya que gracias a ellos me he convertido en una persona más fuerte y he adquirido una serie de conocimientos que antes no tenía.

Especial agradecimiento a mi familia y amigos, en especial a mi madre, por apoyarme en este duro camino y a todos los compañeros del grado con lo que he aprendido a trabajar en equipo y a proporcionarnos ayuda en los momentos más complicados.

RESUMEN

El presente proyecto se realiza con el fin de facilitar un prototipo de fresadora CNC al Área de Tecnología Electrónica (ATE) de la Universidad Rey Juan Carlos y con el objetivo de adquirir los conocimientos necesarios para poder llevar a cabo la fabricación de una máquina CNC (control numérico computarizado).

En el presente proyecto se utiliza la corriente de trabajo colaborativo y de adquisición pública conocida como hardware libre, cuyo objetivo primordial es facilitar la obtención de los dispositivos que componen el trabajo y minimizar los costes que supone adquirirlos.

Se conoce como hardware libre a aquellos dispositivos cuyas características y diagramas esquemáticos son de acceso público.

También se utiliza la filosofía del software libre que es aplicable a la filosofía del hardware abierto y por lo tanto ambos forman parte de la cultura libre.

El presente TFG consiste en el diseño, fabricación y control de un prototipo de fresadora de tres ejes siendo válida para fresar materiales blandos.

Para poder llevarlo a cabo se realiza el trabajo ajustándose al máximo a la disponibilidad de materiales en el ATE por lo que se deben renunciar a aspectos de precisión, velocidad de desbaste y en consecuencia material a fresar.

En los siguientes apartados de esta memoria se exponen las diferentes etapas que se han llevado a cabo durante la realización del prototipo. Siendo mencionada en primer lugar la etapa de diseño de la máquina y seguidamente la etapa de fabricación que engloba la estructura y electrónica de la misma.

Una vez se haya diseñado y fabricado el prototipo, se procede a realizar un ejemplo de mecanizado basado en la realización de un trazado del logo de la Universidad Rey Juan Carlos.

Finalmente se comentan las conclusiones extraídas de la realización del proyecto, así como las líneas futuras que se deben llevar a cabo para mejorar el proyecto y la bibliografía utilizada.

Como conclusión se puede decir que el presente TFG cumple con los objetivos impuestos de manera satisfactoria.

Índice

1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1 Descripción de una fresadora convencional.....	10
1.2 Introducción a las fresadoras CNC.....	11
1.2.1 Aplicaciones	12
1.3 Estado del arte: Corrientes de fresadoras CNC.....	13
2. OBJETIVOS	16
3. SOLUCIÓN TÉCNICA.....	17
3.1 Diseño 3D	18
3.1.1 Diseño previo	18
3.1.2 Diseño final	19
3.1.2.1 Eje Y	20
3.1.2.2 Eje X	21
3.1.2.3 Eje Z	22
3.1.3 Diseño de piezas no disponibles en el ATE.....	22
3.2 Construcción	27
3.2.1 Estructura y Mecánica	27
3.2.1.1 Sistema de soporte	28
3.2.1.2 Sistema de transmisión.....	28
3.2.1.3 Sistema de deslizamiento.....	31
3.2.1.4 Ensamblaje final.....	31
3.2.2 Electrónica	36
3.2.2.1 Hardware.....	36
3.2.2.2 Software	44
3.2.2.3 Montaje electrónica	47
3.3 Resultados	51
3.3.1 Resultado prototipo construido	51
3.3.2 Ejemplo mecanizado	52
3.4 Presupuesto.....	58
3.5 Líneas futuras.....	59
4. CONCLUSIONES.....	61
5. BIBLIOGRAFÍA	62
6. ANEXOS	65

6.1 Configuración.....	65
6.2 Código de familiarización con los motores paso a paso.....	73

Figuras

Figura 1. Ejemplo mecanizado arranque de viruta.....	10
Figura 2. Fresadora convencional modelo WMD20V.	11
Figura 3. Esquema corrientes fresadoras.....	13
Figura 4. Fresadora Heller Follow MC850 [4].....	14
Figura 5. Fresadora X-Carve [5].	14
Figura 6. OX CNC Machine [6].	15
Figura 7. Esquema sistemas del proyecto.....	17
Figura 8. Diseño previo	18
Figura 9. Eje SBR12	19
Figura 10. Diseño previo eje z	19
Figura 11. Ensamblaje final y ejes de movimiento.	20
Figura 12. Diseño 3D eje Y.....	20
Figura 13. Diseño 3D eje X.....	21
Figura 14. Diseño 3D eje z	22
Figura 15. Soporte Nema 23 eje Y.	23
Figura 16. Soporte Nema 23 eje X.	23
Figura 17. Soporte rodamiento eje 12 mm	23
Figura 18. Unión eje x-eje Z.....	24
Figura 19. Soporte eje 8 mm.	24
Figura 20. Soporte herramienta	24
Figura 21. Soporte motor eje Z.....	24
Figura 22. Soporte herramienta Dremel 300	25
Figura 23. Soporte fin de carrera eje X.	25
Figura 24. Soporte fin de carrera eje Y.....	25
Figura 25. Eslabón de cadena para cables	26
Figura 26. Unión cadena superior -Eje Z	26
Figura 27.Unión cadena inferior-Eje Y	26
Figura 28. Unión extremos cadenas-perfiles.....	27
Figura 29. Caja electrónica	27
Figura 30.Husillo eje Z.....	29
Figura 31.Husillo eje Y.....	29
Figura 32.Husillo eje X.....	30

Figura 33.Acoplador motor eje Y	30
Figura 34.Acoplador motor eje X.....	30
Figura 35.Acoplador motor eje Z	31
Figura 36.Base del prototipo.	32
Figura 37.Puente del prototipo	32
Figura 38.Unión base-puente.....	33
Figura 39.Cabeza del prototipo	33
Figura 40.Unión puente-cabeza.....	34
Figura 41.Unión cabeza vista lateral.....	34
Figura 42.Unión cabeza vista frontal.	34
Figura 43. Ensamblaje estructura con mesa de fresado	35
Figura 44.Soporte herramienta Dremel 300	35
Figura 45.Esquema Componentes Hardware.....	36
Figura 46. Placa de Arduino UNO [17].	37
Figura 47. Pololu DRV8825[18].....	38
Figura 48.Esquema pines CNC Shield.....	39
Figura 49.Configuración micropasos CNC shield.	40
Figura 50. Conexiones fines de carrera.....	41
Figura 51.Configuración fines de carrera CNC Shield	41
Figura 52. Esquema tipo de software	44
Figura 53. Montaje CNC Shield- Arduino UNO	47
Figura 54. Conexión CNC Shield -Arduino-Drivers.....	48
Figura 55.Conexionado Motores paso a paso.	48
Figura 56. Conexión fuente de alimentación.	49
Figura 57. Ejemplo conexión fines de carrera.	50
Figura 58.Prototipo final	52
Figura 59.Ejemplo mecanizado contorno logo Universidad Rey Juan Carlos.....	53
Figura 60.Ejemplo mecanizado grabado del logo de la Universidad Rey Juan Carlos	54
Figura 61. Diferencias calidad acabado.....	57
Figura 62. Opción incluir librería Arduino	65
Figura 63. Subida GRBL	66
Figura 64. Universal Gcode Sender	67
Figura 65. Ventana de comandos Universal Gcode Sender	68

Figura 66. Opción importar Inkscape.....	69
Figura 67. Logo importado Inkscape.....	69
Figura 68. Opción vectorizar logo	70
Figura 69.Puntos de orientación.....	70
Figura 70. Selección de la herramienta.....	71
Figura 71. Selección de parámetros.....	71
Figura 72. Trayecto a Gcode	72
Figura 73. Imagen importada a Universal Gcode Sender.....	72
Figura 74. Señalización botón comenzar Universal Gcode Sender.	73

Tablas

Tabla 1. Diseños piezas prototipo.....	27
Tabla 2. Perfiles de aluminio en el sistema de soporte	28
Tabla 3. Tipos de husillos	29
Tabla 4. Acopladores motores.....	30
Tabla 5. Ejes de precisión de acero.....	31
Tabla 6. Configuración micropasos.....	40
Tabla 7.Especificaciones motor paso a paso.....	43
Tabla 8. Especificaciones fuente ATX LC-8460BTX	43
Tabla 9. Especificaciones Dremel 300.....	43
Tabla 10. Funciones de cada uno de los pines de Arduino Uno[19].....	47
Tabla 11. Presupuesto.....	59

1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto consiste en el diseño y la construcción de un prototipo de fresadora CNC de 3 ejes, empleando el material disponible en el Área de Tecnología Electrónica (ATE).

En este apartado se realiza una breve descripción de lo que es una fresadora convencional y la manera en la que se ha evolucionado a las máquinas de mecanizado a través de sistema CNC, además de una breve explicación de las corrientes de fabricación de este tipo de máquinas que existen hoy en día.

1.1 Descripción de una fresadora convencional

Una fresadora convencional es una máquina utilizada en varios sectores industriales para realizar mecanizados de manera manual. El mecanizado es un proceso de fabricación cuyo objetivo es transformar unas determinadas piezas de materia prima hasta darles la dimensión y la forma deseada, mediante la eliminación de material [1].

Existen dos tipos de mecanizado convencional:

- Mecanizado por abrasión: Proceso en el cual se arranca material mediante la fricción generada entre distintos tipos de abrasivos y la superficie de la pieza a mecanizar. Estos procesos se suelen utilizar para procesos de acabado ya que la cantidad de material sobrante es pequeña [1].
- Mecanizado por arranque de viruta: Proceso de arranque o corte de material de una pieza determinada a través de una herramienta que da lugar a material sobrante llamado viruta [1].

Este tipo de mecanizado es el que se da en el presente proyecto.

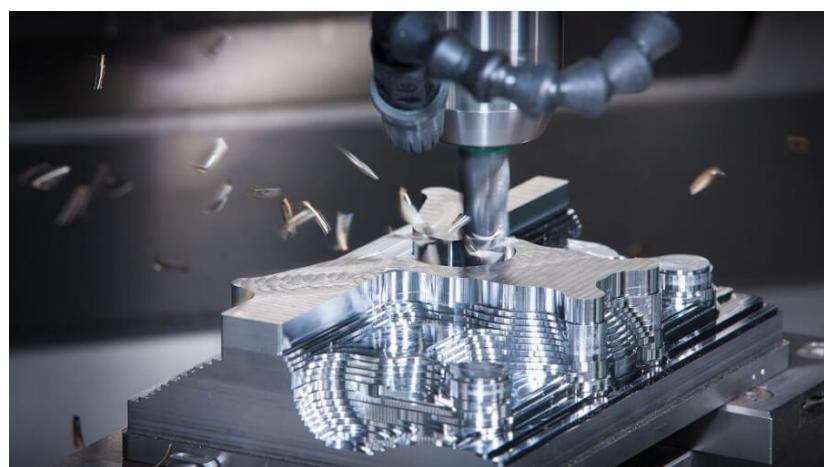


Figura 1. Ejemplo mecanizado arranque de viruta.



Figura 2. Fresadora convencional modelo WMD20V.

La [figura 2](#) muestra un modelo de fresadora convencional de metal. En este tipo de máquinas, las manivelas accionan las partes móviles de manera manual para que la herramienta de corte se desplace de forma lineal por los ejes que constituyen la máquina.

La necesidad de realizar mecanizados de mayor complejidad y que requieran mayores precisiones hace necesario la introducción del CNC (control numérico computarizado). También cabe destacar que para determinadas piezas cuyas geometrías lo necesiten, se requieren un mayor número de ejes los cuales no solo se desplacen de forma lineal sino también rotativa [2].

1.2 Introducción a las fresadoras CNC.

El control numérico computarizado (CNC) es una técnica cuya finalidad es dirigir el posicionamiento de un dispositivo mecánico móvil por medio de instrucciones realizadas en tiempo real basado en un modelo numérico [2].

Gracias a la introducción del CNC se ha producido una ampliación muy significativa en las aplicaciones de las máquinas industriales tales como la automatización completa de la producción y el beneficio de poder realizar movimientos difíciles de ejecutar manualmente. Esto hace posible la fabricación de piezas de perfiles altamente complejos.

Esto se traduce en la optimización de muchas variables como la flexibilidad, precisión y rapidez presentes en el proceso de fabricación [2].

Además, conlleva una reducción del coste de la elaboración de las piezas a fabricar.

Las fresadoras CNC combinan la idea de la fresadora convencional con el control numérico computarizado como base del funcionamiento de la misma.

Las fresadoras CNC están constituidas por los mismos ejes que las fresadoras convencionales por lo tanto se puede decir que existe una gran similitud entre ambas. La diferencia es que las fresadoras CNC están automatizadas y por lo tanto contienen unos componentes electrónicos que son responsables del movimiento de los ejes de la máquina sin necesidad de dispositivos mecánicos que requieran un aporte de control manual. Este movimiento viene determinado por unos motores controlados por esos componentes.

La función principal del CNC es controlar la posición y velocidad de los motores responsables del movimiento de las partes que constituyen la ejecución de las trayectorias tridimensionales que se llevan a cabo[3].

Para poder llevar a cabo una operación de fresado CNC es necesario la combinación de tres tipos de software:

1. CAD (Diseño asistido por computadora): Software que permite la realización del diseño de la pieza.
2. CAM (Fabricación asistida por computadora): Calcula los desplazamientos de los ejes para el mecanizado de la pieza, además de aportar las velocidades de giro y avance y los diferentes tipos de herramienta de corte.
3. Software de control: Es el encargado de recibir las instrucciones del CAM y ejecutar las instrucciones de desplazamiento de las partes móviles de la fresadora.

1.2.1 Aplicaciones

Las operaciones de fresado más habituales son el fresado de perfiles, cavidades, contornos de superficies y tallado entre otras, en las que se debe tener un control simultáneo de los ejes responsables del modelado de las mismas.

Entre las industrias que emplean habitualmente fresadoras CNC se encuentran la automovilística (diseño de bloques de motor, moldes y componentes diversos), la aeroespacial (turbinas de aviones) y la electrónica (elaboración prototipos) además de las dedicadas a la fabricación de maquinaria, instrumental y componentes eléctricos [3].

1.3 Estado del arte: Corrientes de fresadoras CNC.

Para poder entender en qué se basa este proyecto es necesario diferenciar entre varias corrientes en el mercado de fresadoras CNC.

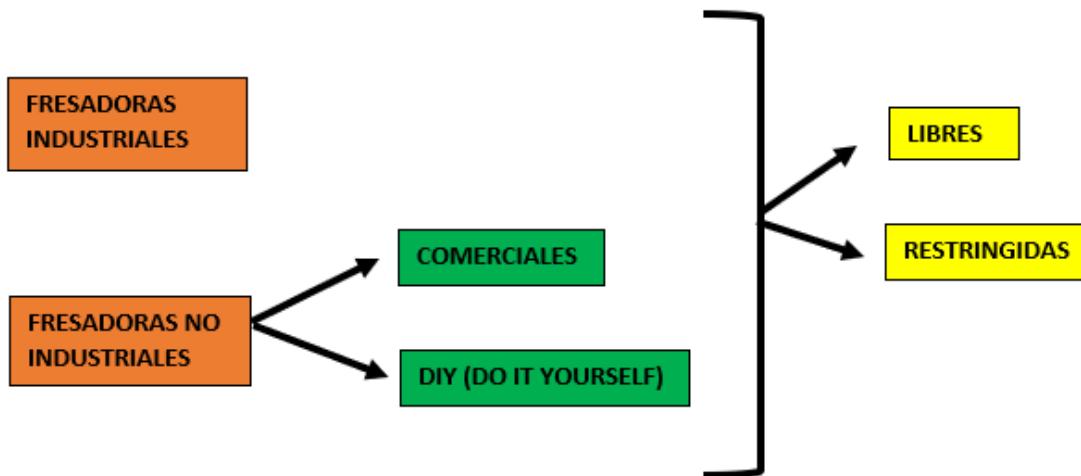


Figura 3. Esquema corrientes fresadoras.

Como primera clasificación se puede distinguir entre fresadoras industriales y las no industriales entre las que se encuentran las comerciales y la corriente DIY (Do it yourself) o más conocido como movimiento *maker*.

Pero también existe otra clasificación en las que se pueden dividir cada una de las corrientes mencionadas anteriormente y son las fresadoras libres y las restringidas. Con libre se refiere a cualquier tipo de máquina cuyos planos, esquemas, manuales y diseños son de acceso público y restringidas son aquellas cuyos archivos no están a disposición del usuario y por lo tanto no pueden ser replicadas fácilmente.

Fresadoras Industriales

Cuando se habla de fresadoras industriales se refiere a aquellas máquinas cuyas características son excelentes lo que conlleva unos componentes altamente costosos. Se suelen utilizar de manera industrial y para realizar piezas de mayor complejidad. Cuentan con unas garantías de calidad mayores que otro tipo de fresadoras CNC.

Como ejemplo de fresadora industrial es el modelo Heller Follow MC 850.



Figura 4. Fresadora Heller Follow MC850 [4].

Las características del modelo citado se pueden apreciar en las especificaciones del mismo [4].

Fresadoras No Industriales

Las fresadoras no industriales son aquellas que no presentan ni las características ni las garantías del otro tipo mencionado. Éstas se pueden dividir en varios tipos en los que se encuentran las fresadoras comerciales y la corriente DIY.

Comerciales

Las fresadoras comerciales son aquellas que están a disposición del usuario en el mercado. En las siguientes imágenes se pueden apreciar dos tipos de fresadoras comerciales y además teniendo en cuenta la segunda clasificación que se expone con anterioridad (libres y restringidas)

- Como ejemplo de fresadora comercial restringida podemos hablar del modelo X-Carve. Este modelo posee los pasos y manuales necesarios para poder ser fabricado ya que la venta de la máquina es por piezas, pero los planos y diseños de éstas no son de acceso público.
En la siguiente imagen podemos observar el modelo mencionado [5].

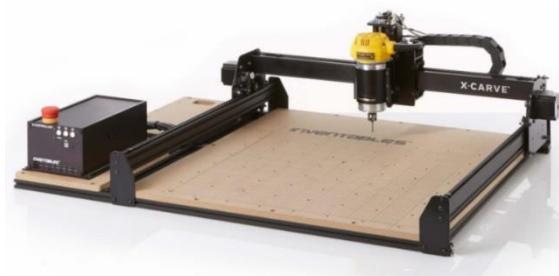


Figura 5. Fresadora X-Carve [5].

- Otro tipo de fresadora comercial es el modelo OX CNC MACHINE cuyos planos y esquemas son libres para que cualquier usuario pueda fabricar una réplica exacta [6].

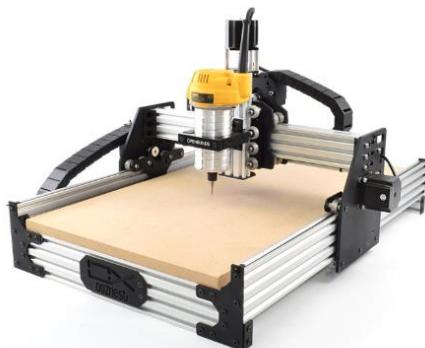


Figura 6. OX CNC Machine [6].

DIY o movimiento maker

Hoy en día existe un perfil de estudiantes, con inquietudes, que demandan una nueva forma de aprender. La manera de llevarlo a cabo es aprender experimentando y practicando.

Esto es la base del movimiento *maker* que constituye una de las ideas fundamentales en la que se basa el presente proyecto. Este movimiento consiste en crear objetos realizados por el propio usuario empleando técnicas tecnológicas como la impresión 3D, la robótica o técnicas de fresado [7].

El movimiento *maker* es una de las bases por las cuales la fabricación de una máquina CNC no supone una tarea tan complicada y costosa. Esto es debido a la posibilidad de utilizar software y hardware libre.

Software libre: También denominado *free software* y consiste en todo el conjunto de software que puede ser copiado, estudiado, modificado y utilizado libremente con cualquier fin [8].

Hardware libre: Consiste en los dispositivos de hardware cuyos diagramas, esquemas, diseños y especificaciones son de acceso público [9].

Este es un motivo por el cual se reducen tanto el coste de máquinas CNC en el mercado, ya que los diseños, códigos, diagramas y especificaciones del software y hardware con los que se consigue llegar al objetivo dado, son de fácil acceso. Por ello la máquina que se realiza en este trabajo forma parte del grupo DIY, ya que todas las características expuestas en las líneas anteriores se encuentran disponibles para cualquier usuario en una plataforma de acceso público.

2. OBJETIVOS

- El objetivo principal de este proyecto es el diseño y fabricación de un prototipo de fresadora CNC de tres ejes utilizando materiales proporcionados por el Área de Tecnología Electrónica (ATE) de la Universidad Rey Juan Carlos y reducir lo que sea posible el coste de dicha máquina.
- La realización de este prototipo pretende la adquisición de conocimiento de forma notoria en los campos de electrónica, programación, estructura de máquinas y diseño y fabricación de sólidos para demostrar que un alumno del grado en Ingeniería de Tecnologías industriales, utilizando las habilidades y aptitudes adquiridas en dicha formación, es capaz de diseñar y fabricar este tipo de máquina.
- Una de las ideas claras consiste en aprovechar todos los materiales disponibles en el Área de Tecnología Electrónica.
- Validar el prototipo descrito consiguiendo llevar a cabo operaciones de fresado en la máquina fabricada. Dichas operaciones se pretenden realizar sobre materiales blandos como madera o corcho.
- Para demostrar el funcionamiento de la máquina se quiere realizar un grabado del logo de la Universidad como muestra de las operaciones que es capaz de realizar el prototipo.
- El proyecto debe formar parte de la corriente DIY (*Do it yourself*) y estar en su totalidad publicado en una plataforma de acceso público.

3. SOLUCIÓN TÉCNICA

El prototipo que se lleva a cabo en este trabajo es una máquina CNC de tres ejes elaborada con el material disponible en el ATE.

En este capítulo se exponen las tareas que se realizan durante la fabricación del presente proyecto y la solución propuesta.

Antes de comenzar, es necesario nombrar las diferentes partes de la que se compone dicho trabajo y que se explican en detalle más adelante.

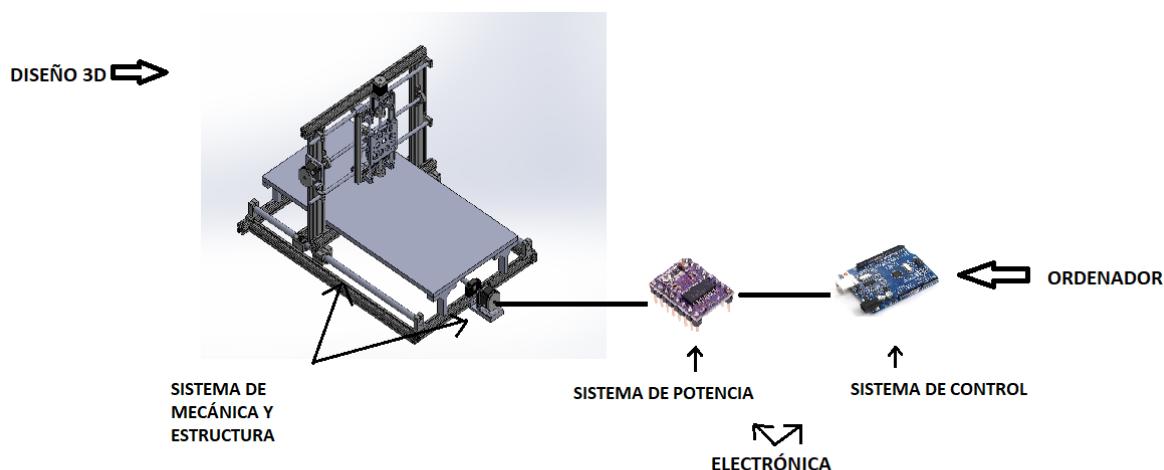


Figura 7. Esquema sistemas del proyecto.

El funcionamiento general del prototipo construido en dicho proyecto es el siguiente:

A través del software CAM del ordenador, convertimos nuestros diseños en instrucciones que pueda interpretar el sistema de control compuesto por Arduino y diferentes tipos de software de los que se hablan más adelante (Sistema de control). Arduino está conectado a unos controladores que son los encargados de suministrar la corriente necesaria a los motores para que éstos se muevan (Sistema de potencia). A través de estos motores y mediante los sistemas de transmisión y deslizamiento son posibles los movimientos de los ejes que componen el prototipo (Mecánica y Estructura) y de esta manera reproducir las órdenes enviadas en un primer momento por el ordenador.

Previamente a esto se diseñan en un software CAD los componentes que van a formar parte de la estructura.

El orden en el que se describen las diferentes etapas del proyecto es según la realización cronológica de las mismas.

En primer lugar, se realiza el diseño 3D de la estructura y una vez que se tiene el prototipo diseñado es necesario comenzar con la construcción que se divide en la parte de estructura y mecánica y la parte electrónica.

En el [apartado 3.3](#) se muestra un resultado de la construcción del prototipo y después una operación fresado con el fin de demostrar la validez de la máquina.

Y para finalizar se expone un presupuesto detallando el coste y los proveedores de los componentes que se utilizan en el TFG además de un listado de posibles mejoras que se le pueden realizar a dicha máquina.

3.1 Diseño 3D

En este apartado se detallan los diseños realizados en dicho proyecto.

Los diseños son realizados con el programa SOLIDWORKS 2018 [10] a escala 1:1.

3.1.1 Diseño previo

En un primer momento se realiza un boceto sencillo de lo que podría ser el prototipo del trabajo.

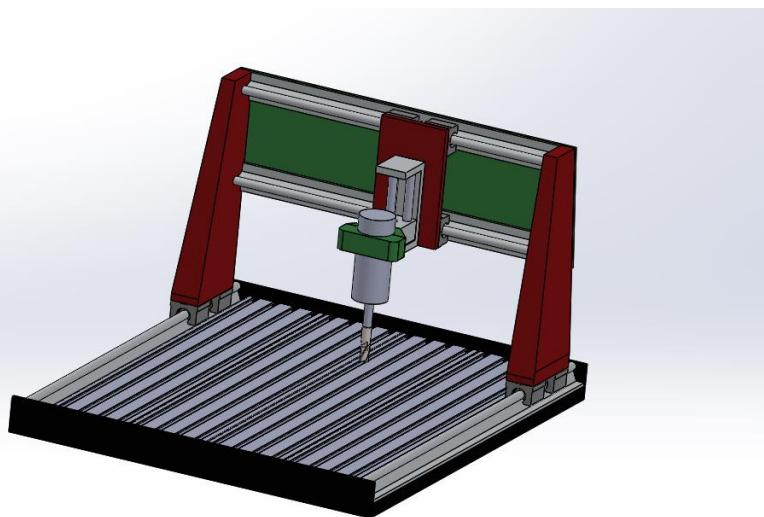


Figura 8. Diseño previo.

Para realizar la guía del movimiento lineal producido en cada uno de los ejes, en este modelo se escogieron ejes tipo SBR12 cuya estructura está compuesta por un soporte que evita que los mismos flecten a lo largo del eje longitudinal.



Figura 9. Eje SBR12.

También se puede apreciar la fabricación del eje Z, compuesto por un soporte formado por tres ejes para ganar estabilidad y un husillo que se sitúa en el orificio que se puede apreciar en la imagen.

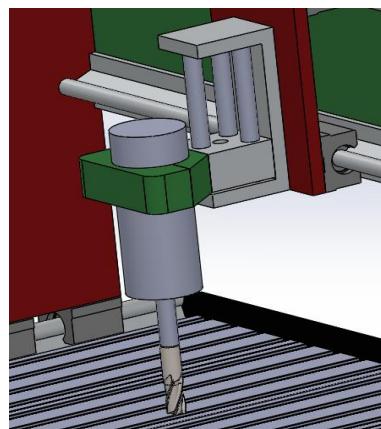


Figura 10. Diseño previo eje Z.

3.1.2 Diseño final

Debido a la disponibilidad de los materiales en el ATE y con el objetivo de realizar un prototipo más económico y que pueda finalizarse en menor tiempo, se opta por realizar un diseño diferente.

La estructura está formada por piezas y perfiles de aluminio y varias piezas impresas en 3D.

Antes de comenzar con el apartado, cabe destacar los diferentes ejes en los que se mueve el prototipo de fresadora, ya que durante toda la memoria se hace referencia a ellos. Además, se muestra el resultado del ensamblaje final.

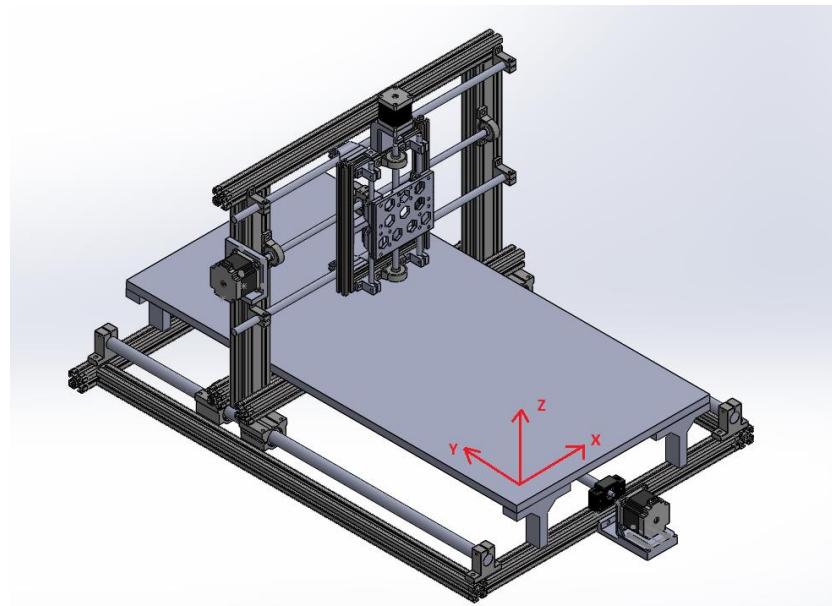


Figura 11. Ensamblaje final y ejes de movimiento.

A continuación, se muestra el diseño de cada uno de los ejes que componen el prototipo.

3.1.2.1 Eje Y

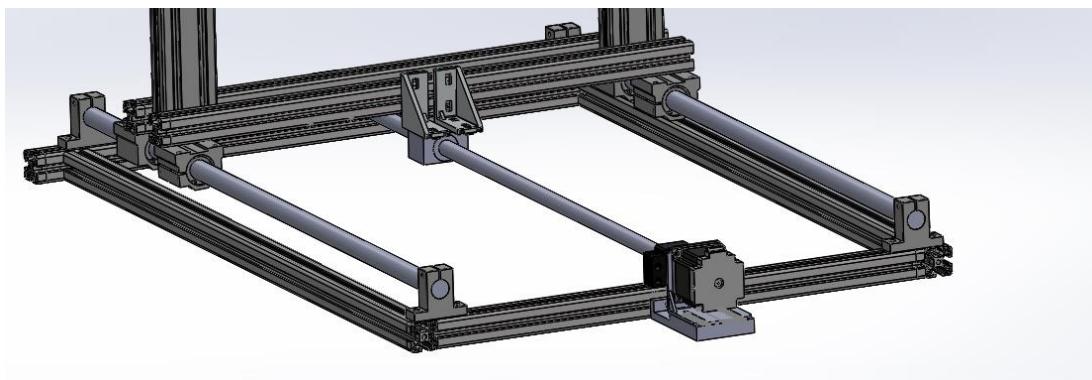


Figura 12. Diseño 3D eje Y.

El eje Y está construido con piezas y perfiles de aluminio además de otras de acero por lo que le proporcionan a la estructura estabilidad.

Se utiliza una base disponible en el ATE formada por ejes de acero de 20 mm de diámetro, un husillo de bolas de acero SFU1204 y perfiles de aluminio tipo ranurado de (30x 30) mm.

El hecho de no utilizar SBR12 no supone ningún problema a priori ya que los ejes están fabricados de acero y el diámetro es lo suficiente amplio como para evitar que flecten.

La mecánica utilizada para realizar la unión eje Y-eje X es la siguiente:

Los ejes contienen unos cojinetes lineales (rodamientos de tamaño del eje con carcasa específicas) que, unidos a través de tornillería, componen la base del eje X.

La tuerca del husillo va unida a la base de la estructura del eje X mediante dos escuadras de acero, que son mecanizadas para conseguir que las medidas coincidan con las aperturas de los perfiles.

3.1.2.2 Eje X

En la siguiente imagen se puede observar el diseño de eje X que se realiza para su posterior fabricación.

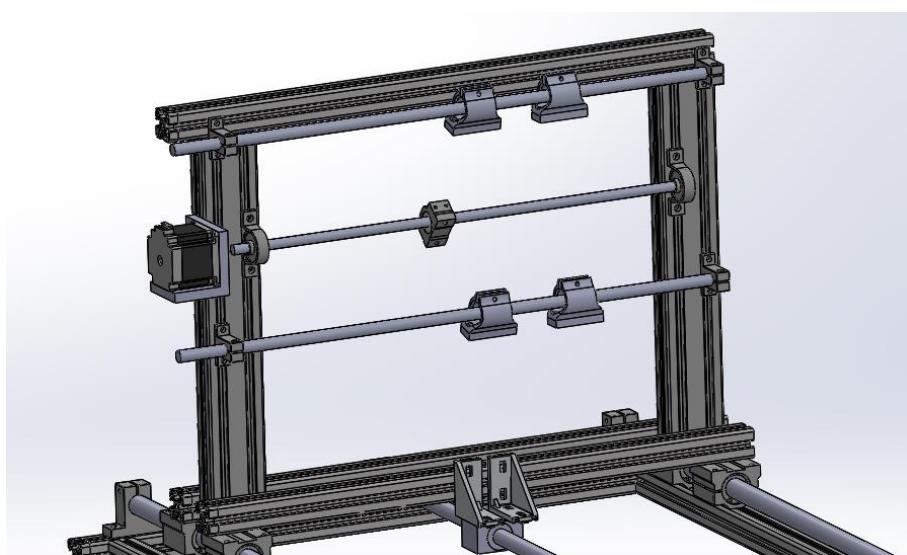


Figura 13. Diseño 3D eje X.

El eje X está constituido por un husillo trapezoidal de acero de 10 mm de diámetro y ejes de 12 mm.

3.1.2.3 Eje Z

En un principio se pensaba realizar el eje Z con tres ejes como se ha mencionado anteriormente, pero se tiene que renunciar a ciertos aspectos para poder ajustarse a los materiales proporcionados por la Universidad. Se diseña un eje compuesto por un husillo trapezoidal de 12 mm y dos ejes de acero de 8 mm de diámetro, que desempeñan una labor lo suficientemente buena como para fresar el material blando para lo que está diseñado dicho prototipo.

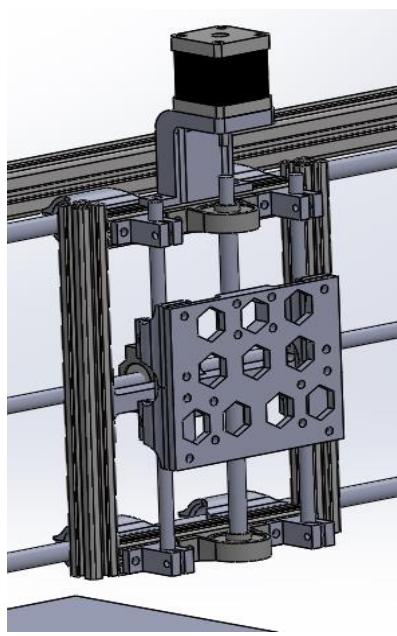


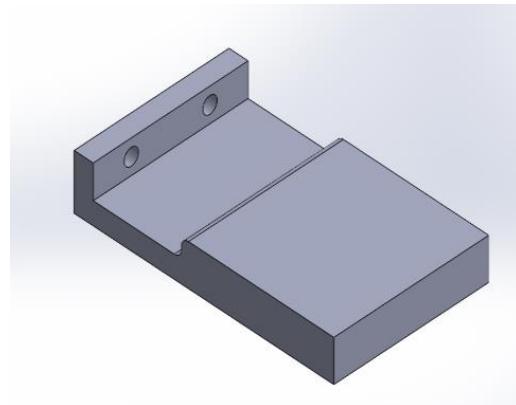
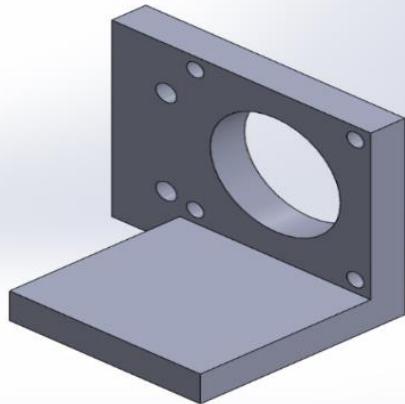
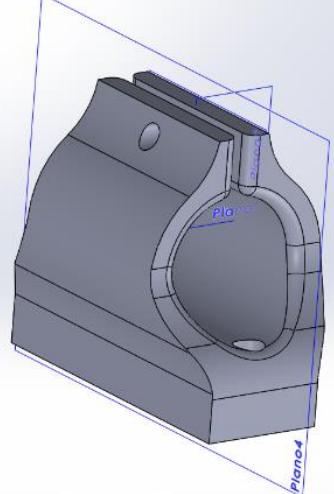
Figura 14. Diseño 3D eje Z.

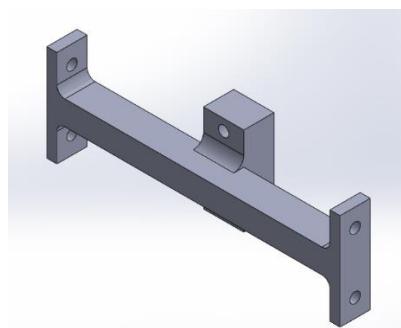
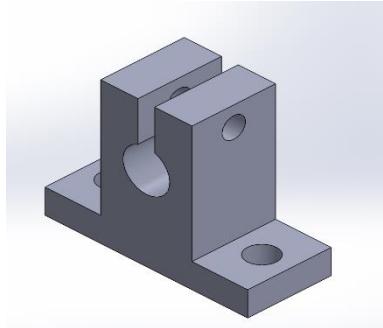
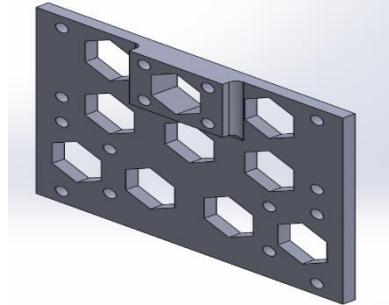
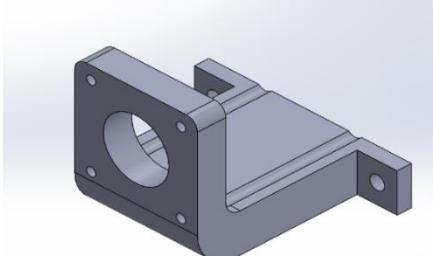
3.1.3 Diseño de piezas no disponibles en el ATE.

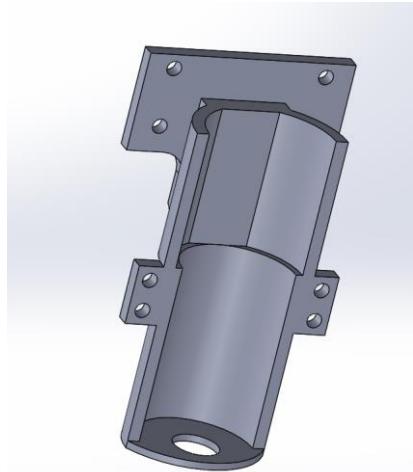
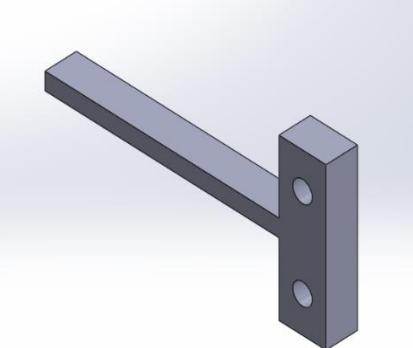
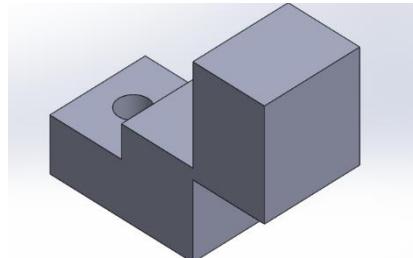
Debido a la falta de disponibilidad de algunas piezas necesarias para finalizar la construcción del prototipo es necesario el diseño de ellas para posteriormente imprimirlas en 3D. Además, si se imprimen dichas piezas el coste de la máquina disminuye de forma notoria.

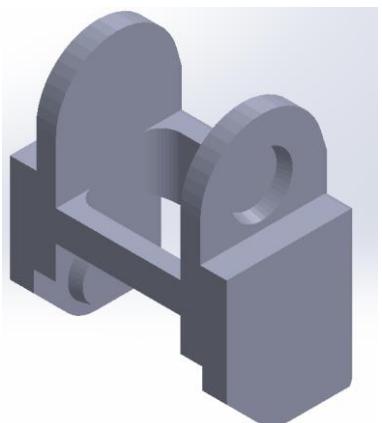
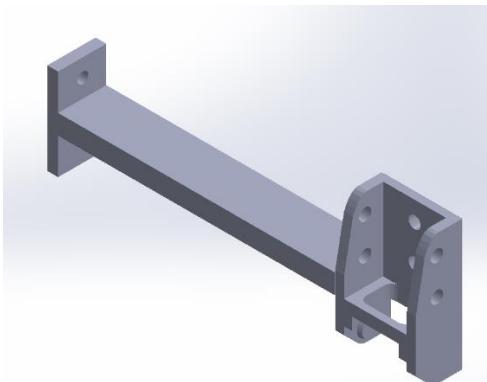
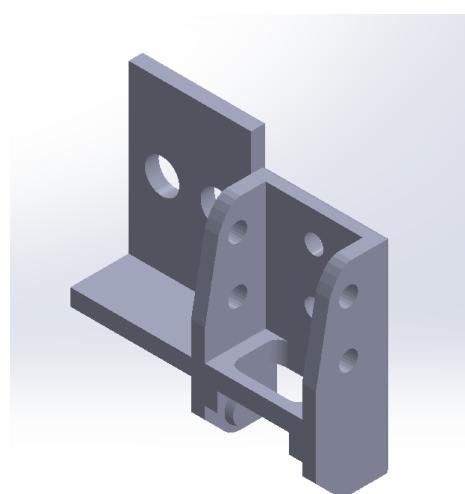
Las piezas son impresas en una impresora FDM (Fused Deposition Modeling) o (Modelado por deposición fundida) de marca ANET A8 y con el material PLA (ácido poliláctico).

En la siguiente tabla se muestran las piezas diseñadas respetando el orden en el que se han ido realizando y agrupándolas en diseños por eje.

EJES	PIEZA	IMAGEN	DESCRIPCIÓN
EJE Y	Soporte Nema 23 eje Y		La pieza diseñada corresponde con el motor responsable del movimiento del eje, el cual es un NEMA 23 y se explica más adelante en detalle.
EJE X	Soporte Nema23 eje X		Esta pieza es el soporte del motor que realiza el movimiento del eje X.
	Carcasa Rodamientos de los ejes de 12 mm		Es el diseño es la carcasa para los rodamientos de los ejes que componen el eje X

	Unión eje X-eje Z		Para poder facilitar la unión del husillo con el eje vertical es necesario el diseño de una pieza sencilla que une el cojinete lineal del eje X con los perfiles (20x20mm) que constituyen la parte vertical del eje Z.
EJE Z	Soportes ejes 8 mm		El diseño se corresponde con los soportes de los ejes del eje Z, cuyo diseño es el mismo que los soportes de los ejes de 12 mm del eje Y, exceptuando las medidas, que cambian al tratarse de ejes de 8 mm.
	Unión eje Z-herramienta		El objetivo de la pieza es unir los soportes de los rodamientos del eje Z con la tuerca del husillo del mismo eje. Esta pieza es la base donde se coloca el soporte de la herramienta de fresa.
	Soporte Nema 17 eje Z.		El soporte del motor del eje vertical es un diseño realizado para soportar el peso del motor y se coloca en la parte superior del eje Z.

	Soporte Dremel 300		El soporte de la herramienta responsable del fresado se realiza con la idea de sujetar lo máximo posible la estructura de la Dremel para evitar que flecte y sea seguro a la hora de realizar la operación de fresado.
Fines de carrera	Soporte fin de carrera eje X		La pieza expuesta se corresponde con el soporte de uno de los fines de carrera del eje X.
	Soporte fin de carrera eje Y		El diseño es el soporte de los fines de carrera del eje Y.

Cableado	Cadena para los cables	 Figura 25. Eslabón de cadena para cables	En la imagen se muestran las piezas que unidas unas con otras forman una cadena por la que se introducen los cables para evitar alteraciones en los movimientos de los ejes.
	Unión cadena superior- Eje Z	 Figura 26. Unión cadena superior -Eje Z	Para poder unir la cadena del cableado con el movimiento del eje x es necesario unirlo por medio de esta pieza al soporte del motor correspondiente con el eje Z.
	Unión cadena inferior- Eje Y	 Figura 27. Unión cadena inferior-Eje Y	De la misma manera es necesario unir la cadena de la parte inferior de la estructura con el eje de la base (Eje Y). Para ello se diseña esta pieza

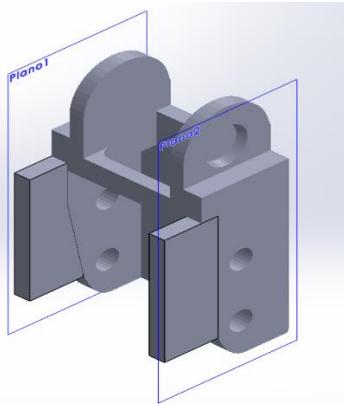
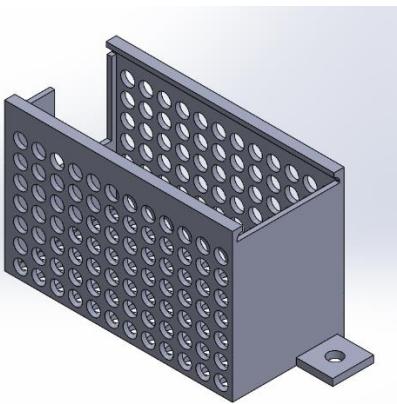
	Unión extremo cadenas-perfiles		Para unir los dos extremos restantes de ambas cadenas con los perfiles de aluminio en los que se encuentran es necesario diseñar esta pieza.
Electrónica	Caja de electrónica		Para conseguir un mejor transporte y con el fin de evitar la exposición de los componentes electrónicos, se realiza una caja donde se insertan todos ellos.

Tabla 1. Diseños piezas prototipo

3.2 Construcción

En el momento en el que se conoce la disponibilidad de materiales para la fabricación del prototipo y se tiene el diseño del mismo, se comienza con la construcción de la estructura a partir de los materiales proporcionados por la Universidad. Seguidamente se realiza la etapa de electrónica con la que se consigue poner en funcionamiento la máquina del proyecto.

3.2.1 Estructura y Mecánica

En este apartado se explica la forma de llevar a cabo la construcción del prototipo y se hace una descripción detallada de los diferentes materiales y piezas que componen su estructura.

Siguiendo al detalle el diseño final ([Figura 11](#)), realizado en SOLIDWORK 2018, se comienza con la fabricación de la máquina.

Las dimensiones del prototipo son (550 x 840 x 509) mm.

3.2.1.1 Sistema de soporte

El soporte de la estructura es el mismo para cada uno de los ejes y es el comienzo del proceso de fabricación.

En primer lugar, se realiza la unión de la base de la máquina utilizando perfiles de aluminio. Seguidamente se lleva a cabo la construcción del eje X y por último del eje Z.

La siguiente tabla enumera los diferentes tipos de perfiles utilizados para cada uno de los ejes con sus respectivas dimensiones y características.

Ejes	Tipo de perfil (Dimensiones mm)	Cantidad	Longitud (mm)
Eje Y	Ranurado 30x30 Tipo B ranura 8	1	550
		2	820
		1	640
Eje X	Ranurado 30x 30 Tipo B ranura 8	2	600
	Ranurado 30x60 Tipo B ranura 8	2	400
Eje Z	Ranurado 20x20 Tipo I ranura 5	2	145
		2	240

Tabla 2. Perfiles de aluminio en el sistema de soporte

3.2.1.2 Sistema de transmisión

El sistema de trasmisión es uno de los sistemas que compone el sistema mecánico del prototipo. El hecho de conseguir una trasmisión buena significa que la fluidez con la que se trasmite el movimiento de los ejes mejora de manera muy significativa.

Los componentes que conforman este apartado son varios, de modo que se divide en subapartados que ayuden a entender las diferentes piezas que componen la transmisión.

3.2.1.2.1 *Husillo*

El husillo es uno de los componentes responsables de la trasmisión del movimiento en la máquina, su función es convertir el movimiento rotativo del motor paso a paso al que esté conectado en movimiento lineal.

En un momento del proyecto se baraja la posibilidad de utilizar varillas roscadas en lugar de husillos, pero la disponibilidad de husillos que tiene la universidad y las características mejoradas de estos hacen definirse por los últimos expuestos.

Sin embargo, no existe un único modelo de husillo y se utilizan diferentes en función de las dimensiones de las que se dispone en el área y de las propias medidas del prototipo.

En la siguiente tabla se muestran los diferentes modelos de husillo utilizados en el proyecto y a continuación las diferencias entre los dispositivos manipulados.

Ejes	Tipo	Cantidad	Longitud (mm)
Eje Y	De bolas SFU1204—12 mm de diámetro y 4 mm de avance.	1	864
Eje X	Trapezoidal RTSTR 10 x 2 —10 mm de diámetro y 2 mm de avance	1	500
Eje Z	Trapezoidal MTWK12-255-S15 —12 mm de diámetro y 2 mm de avance	1	200

Tabla 3. Tipos de husillos

Como se puede apreciar en la tabla, se utilizan dos tipos diferentes de husillos, husillo de bolas y husillo trapezoidal.

Los husillos de bolas son un tipo de husillo con un avance eficiente en el que el contacto entre el filete del husillo y la rosca es rotativo mediante bolas, lo que conlleva a un movimiento sumamente suave [11]. Las características más importantes de este tipo de husillo son la alta precisión y eficiencia a parte de su baja fricción debido a que están fabricados mediante un proceso de laminación y sobre todo por el movimiento que realizan las bolas.

Los husillos trapezoidales están fabricados mediante rectificado, por lo que existen algunas diferencias en las tolerancias geométricas con el anterior tipo [12].

En general están ligados a buenos resultados y en ambos es muy importante un buen sistema de lubricación tuerca-husillo para evitar el desgaste entre los filetes de los mismos y así alcanzar una mayor precisión y suavidad en el movimiento [12].

En las siguientes imágenes podemos apreciar los diferentes husillos utilizados en el proyecto.

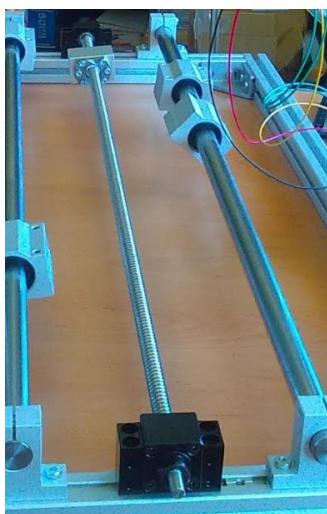


Figura 31.Husillo eje Y.



Figura 30.Husillo eje Z

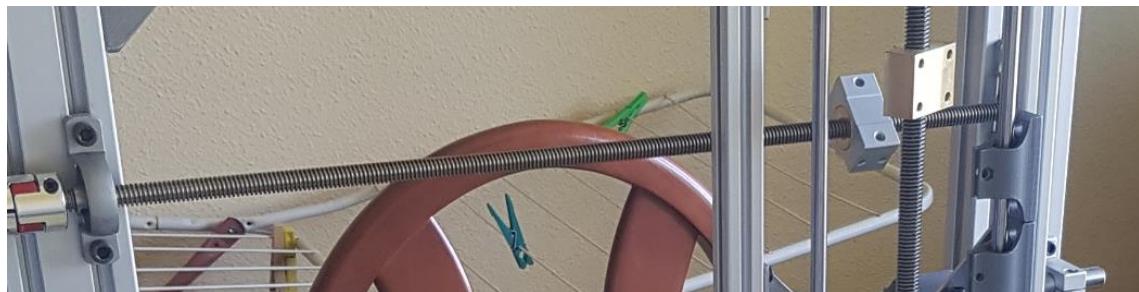


Figura 32.Husillo eje X.

3.2.1.2.2 Acopladores para motores paso a paso

Los acopladores son los responsables de transmitir el movimiento rotativo del motor paso a paso a los husillos.

Existen dos tipos en el presente trabajo, los acopladores de eje flexible tipo RB y los acopladores de eje flexible XB. La diferencia entre ambos es que los acopladores tipo XB soportan un par mayor que los tipos RB. [13]

Los acopladores XB se utilizan para los motores de mayor par.

En las siguientes líneas se expone una tabla con los tipos de acopladores utilizados y su imagen.

Ejes	Tipo	Cantidad	Diámetro 1-Diámetro 2 (mm)
Eje Y	XB	1	8-6,35
Eje X	XB	1	10-6,35
Eje Z	RB	1	8-5

Tabla 4. Acopladores motores



Figura 33.Acoplador motor eje Y

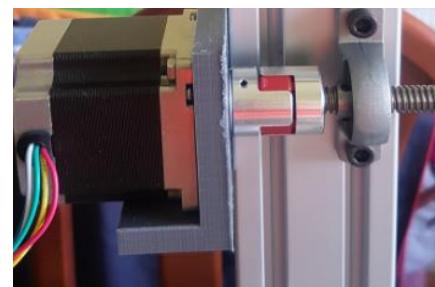


Figura 34.Acoplador motor eje X



Figura 35. Acoplador motor eje Z

3.2.1.3 Sistema de deslizamiento

Al igual que el sistema de transmisión, el sistema de deslizamiento influye en el movimiento suave y preciso que se pretende conseguir. Una de las opciones era usar ejes del tipo SBR12, pero como se ha explicado anteriormente se decide utilizar ejes disponibles en el ATE.

Los ejes están fabricados de acero endurecido CF53 de tolerancia h6 y dureza 60 HRC [14].

En la siguiente tabla se muestran los ejes utilizados para cada una de las partes del prototipo.

Ejes	Modelo	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Cantidad
Eje X	Eje de precisión acero	12	600	2
Eje Y	Eje de precisión acero	20	840	2
Eje Z	Eje de precisión acero	8	240	2

Tabla 5. Ejes de precisión de acero

3.2.1.4 Ensamblaje final

En cada uno de los apartados anteriores se han explicado los diferentes componentes de la máquina en función del eje y el sistema al que pertenecen.

El objetivo de este apartado es mostrar las imágenes de cómo es el ensamblaje de cada una de las partes.

3.2.1.4.1 Base

La base de la máquina corresponde al eje Y.

El sistema que se utiliza para el movimiento de este tiene que ser el más robusto, ya que la base de la fresadora es la que soporta las demás partes del prototipo.

En la siguiente imagen se puede observar la base del prototipo.



Figura 36. Base del prototipo.

3.2.1.4.2 *Puente*

El puente contiene la motorización del eje X además del soporte para el eje Z. Tiene el mismo sistema de movimiento que el eje Y.



Figura 37. Puente del prototipo.

En la siguiente imagen se muestra la unión entre puente y base. Se realiza mediante escuadras de acero que van unidas a la carcasa de la tuerca del husillo y de ahí a un perfil de aluminio que es el soporte del eje X.



Figura 38.Unión base-puente.

3.2.1.4.3 Cabeza

La cabeza es el sistema que corresponde al desplazamiento del eje Z.

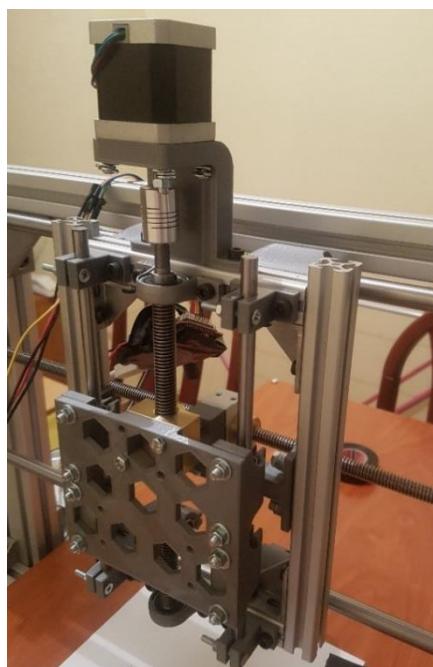


Figura 39.Cabeza del prototipo.

El sistema de movimiento es el mismo que los demás ejes y la unión entre la cabeza y el puente se fabrica con impresión 3D como se puede apreciar en la siguiente imagen.

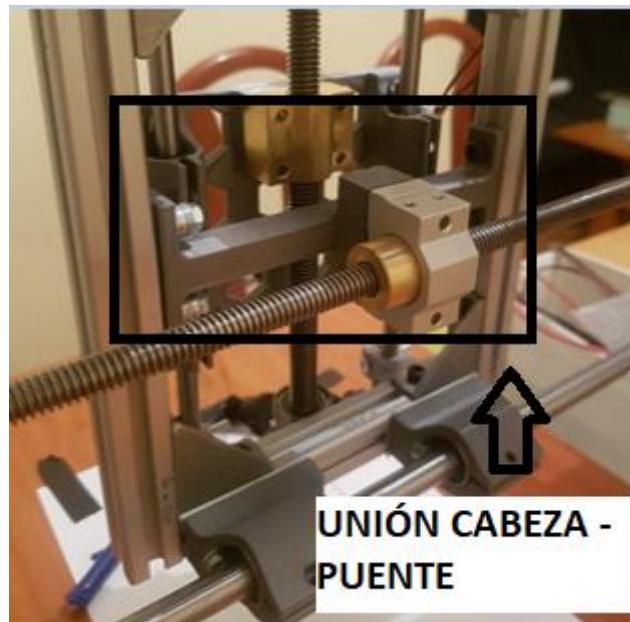


Figura 40.Unión puente-cabeza.

Para poder unir los componentes del sistema de trasmisión y deslizamiento de la cabeza es necesario imprimir otra pieza en 3D que se sostiene unida a las carcasa de los rodamientos de los ejes de precisión que componen el eje vertical.

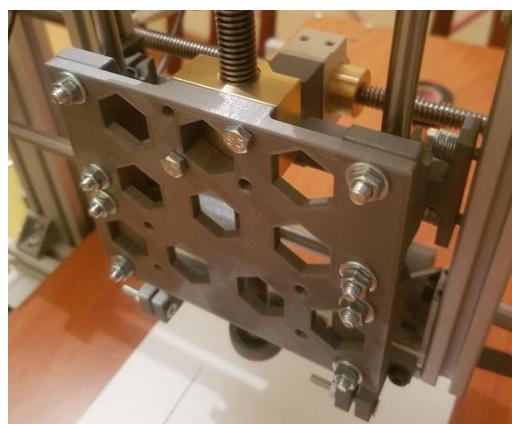


Figura 42.Unión cabeza vista frontal.



Figura 41.Unión cabeza vista lateral.

Una vez se fabrica esta pieza, se procede a la colocación de la mesa en la cual se fresan los materiales y las piezas que la soportan.



Figura 43. Ensamblaje estructura con mesa de fresado.

Por último, se pasa a la construcción del componente que unido a la pieza de la [figura 42](#) es el responsable de soportar la herramienta que se utiliza en el proyecto.



Figura 44. Soporte herramienta Dremel 300.

Concluidos todos los pasos mencionados se finaliza el proceso de construcción de la estructura.

3.2.2 Electrónica

En este apartado se explica el sistema electrónico del proyecto.

Se explican tanto los elementos de hardware como los de software utilizados en la construcción del prototipo.

3.2.2.1 Hardware

En la siguiente imagen se puede observar un esquema de los componentes de hardware que componen el proyecto.

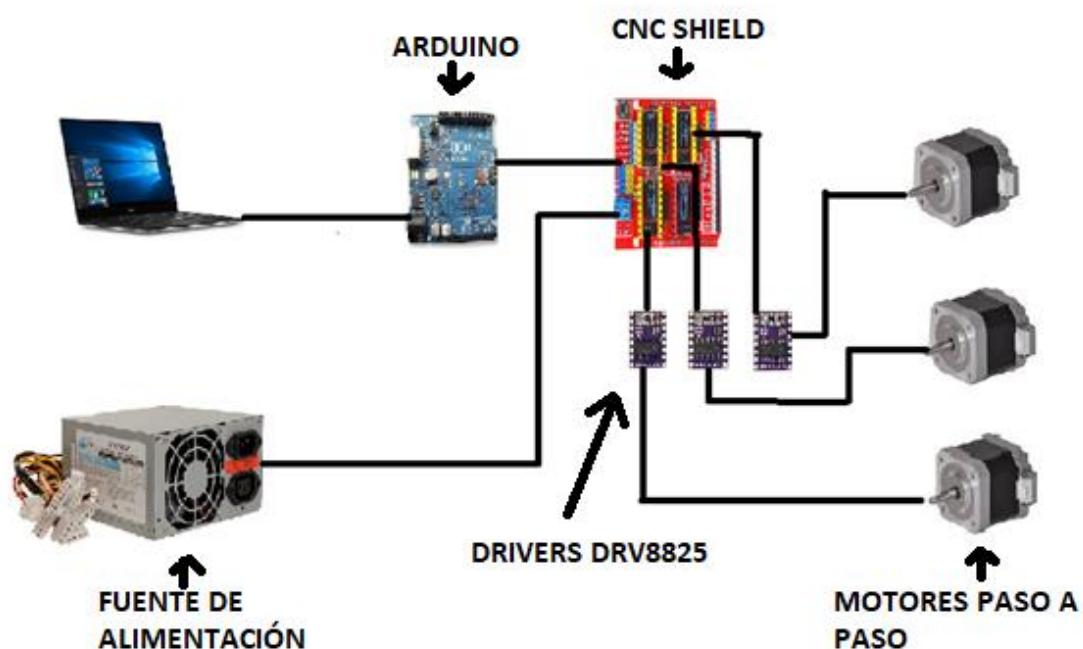


Figura 45. Esquema Componentes Hardware.

Como se ha comentado en el inicio de este capítulo, el ordenador envía al sistema de control (Arduino) el archivo de comandos Gcode (lenguaje de programación de control numérico) correspondiente con la operación de mecanizado que se quiere ejecutar. Este último interpreta los comandos y los convierte en señales interpretables por los drivers. Estos a su vez, conectados al Arduino y a la fuente de 12 V mediante la placa CNC Shield, envían las corrientes necesarias para mover los motores y reproducir las órdenes de movimiento correspondientes con el archivo generado por el ordenador en un primer momento.

3.2.2.1.1 Arduino UNO.

Arduino es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto, cuenta tanto con hardware como software abierto y un entorno de desarrollo llamado Arduino IDE [15]. Está basado en una placa que contiene un microcontrolador y un entorno de desarrollo específico para facilitar el uso de la electrónica en una gran variedad de proyectos tecnológicos y su objetivo es la creación de entornos y objetos interactivos [16].

La plataforma puede ser usada en diferentes sistemas operativos tales como Linux, Mac OSX y Windows.

El presente proyecto se desarrolla en el sistema Windows.

El hardware de Arduino que se utiliza en este trabajo es la placa de Arduino UNO.

Características [17]:

- Microcontrolador ATmega328
- Tensión de entrada (recomendada) 7-12 V
- Tensión de operación 5 V
- 14 pines digitales de Entrada/Salida (I/O) (6 salidas PWM)
- 6 entradas analógicas
- 32k de memoria Flash
- Reloj de 16 MHz de frecuencia



Figura 46. Placa de Arduino UNO [17].

3.2.2.1.2 Driver DRV8825.

Un driver es un controlador cuyo objetivo es manejar los motores paso a paso que componen la máquina. A partir de las órdenes recibidas por Arduino, envían las señales de potencia necesarias a las bobinas de los motores para conseguir su correcta activación.

Uno de los más conocidos es el Pololu A4988, pero debido a que éstos no aportaban la suficiente potencia para dos de los motores utilizados en el proyecto se opta por el modelo DRV8825.

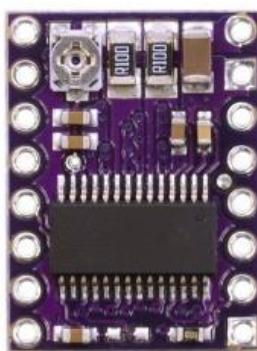


Figura 47. Pololu DRV8825[18].

Algunas de las características del driver DRV8825 son las siguientes [18]:

- Corriente máxima por bobina: 2,2 A
- Tensión: 3,3V-5,5V
- Interfaz de control de paso y dirección simple.
- Seis resoluciones de pasos: paso completo, medio paso, 1/4-paso, 1/8-paso, 1/16-paso y 1/32-paso.
- Tensión de alimentación máxima de 45 V.

3.2.2.1.3 CNC Shield.

La placa CNC Shield es un diseño de hardware libre elaborado por Bertus Kruger de Protoner [19].

Existen varias versiones, pero la que se utiliza en el proyecto es una CNC Shield V3.

En la siguiente imagen se puede observar el esquema de la placa.

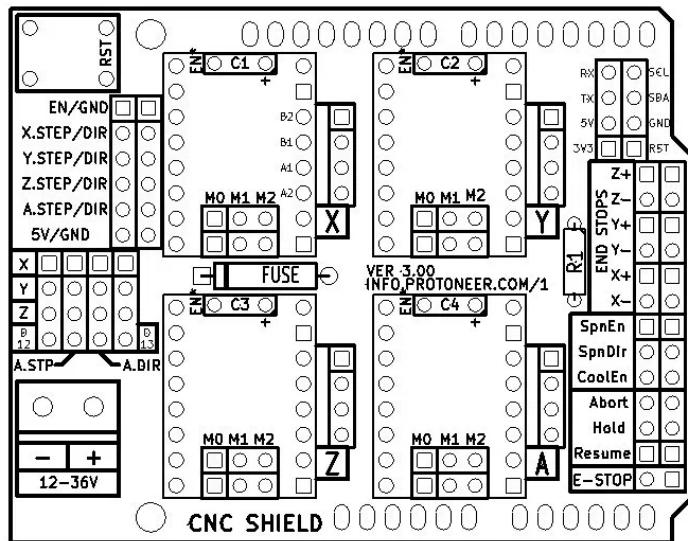


Figura 48.Esquema pines CNC Shield.

Su función es facilitar el uso de los motores paso a paso dentro de un proyecto CNC y está capacitada para albergar 4 controladores como máximo. Únicamente tres son los que se emplean para realizar el control numérico de los tres ejes de los que dispone el prototipo y el cuarto se puede utilizar para duplicar la fuerza motriz en un eje, es decir, poner dos motores en un mismo eje.

En el presente proyecto no se considera necesario el uso del cuarto eje, de modo que únicamente se emplean los tres restantes responsables de facilitar el movimiento de los ejes.

Principales características CNC shield V3:

- Compatible con GRBL 0.8c (Firmware Open Source para Arduino que convierte el G-code a instrucciones para motores paso a paso).
- Soporte para 4 ejes (X, Y, Z, A).
- Posibilidad de conectar 6 finales de carrera (2 en cada eje).
- Salida "Spindle enable" y "direction".
- Salida "Coolant enable".
- Alimentación 12-36V DC.

Para poder modificar el uso de la placa citada es necesario el uso de jumpers, que son conectores que se introducen en unos pines determinados de la placa con el fin de cambiar los micropasos de los drivers y los finales de carrera [19].

Configuración de los micropasos

La técnica de los micropasos consiste en modificar el movimiento del rotor para conseguir un paso más suave [20]. Un motor controlado con micropasos consigue ejecutar pasos más pequeños que con paso completo y en consecuencia hay menos vibraciones en la ejecución del movimiento.

Para poder llevar a cabo esta tarea es necesario conocer los pines en los cuales deben situarse los jumpers para poder modificar los micropasos para cada uno de los ejes.

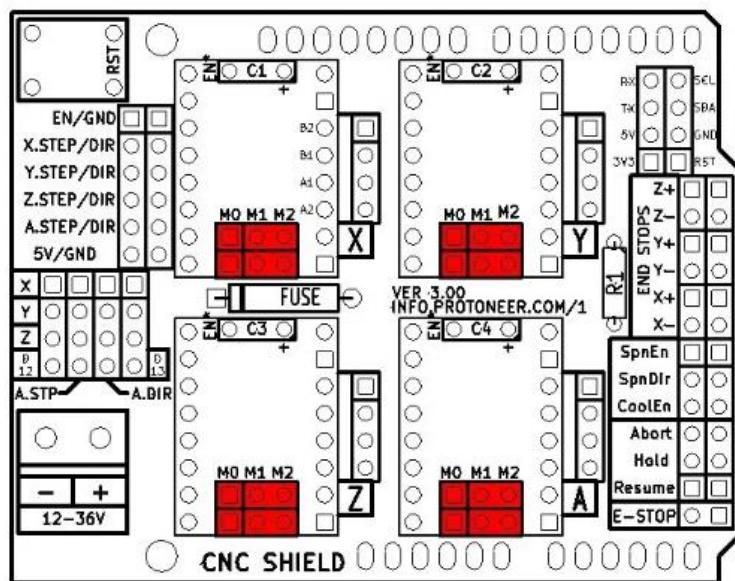


Figura 49. Configuración micropasos CNC shield.

La siguiente tabla muestra la configuración para el driver Pololu DRV8825 [19].

MS0	MS1	MS2	RESOLUCIÓN
BAJO	BAJO	BAJO	1
ALTO	BAJO	BAJO	1/2
BAJO	ALTO	BAJO	1/4
ALTO	ALTO	ALTO	1/8
BAJO	BAJO	ALTO	1/16
ALTO	BAJO	ALTO	1/32
BAJO	ALTO	ALTO	1/32
ALTO	ALTO	ALTO	1/32

Tabla 6. Configuración micropasos.

Siendo ALTO cuando se encuentran los jumpers conectados en las posiciones determinadas y BAJO en el caso contrario.

Configuración de los finales de carrera.

Los fines de carrera son interruptores que sirven para alertar sobre la llegada a un punto determinado de la parte que se encuentra en movimiento.

Existen diferentes posiciones en las que se encuentran normalmente abierto (NO) (*Normally Open*) o normalmente cerrado (NC) (*Normally Closed*). La diferencia entre las conexiones es el estado en el que se encuentre la posición de reposo de los dispositivos [21].

En NO se encuentra abierto y en NC cerrado, y se cierra y abren respectivamente cuando se activa el interruptor.

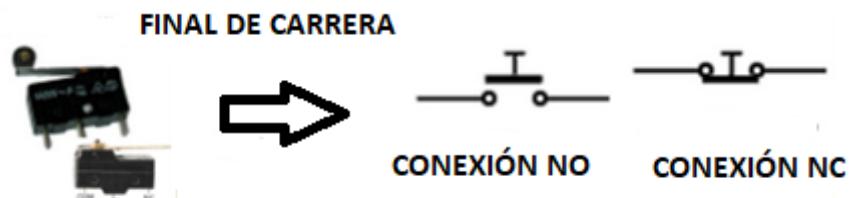


Figura 50. Conexiones fines de carrera.

En este proyecto se utilizan la conexión NO por lo que cuando el interruptor no está pulsado, el controlador recibe como señal 0 y cuando se encuentra pulsado la señal es 1.

Una vez se comenta el objetivo de estos interruptores se puede explicar la forma de configurarlos en la CNC Shield.

En la siguiente imagen se puede observar en qué pines de la placa se conectan.

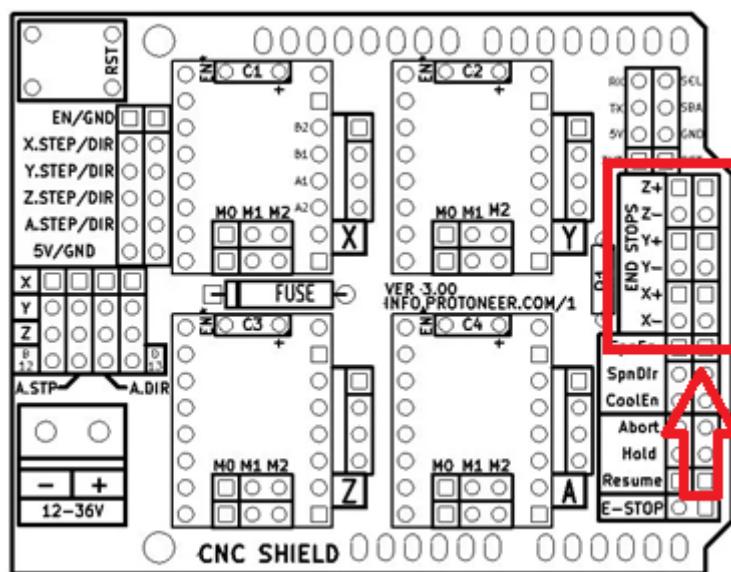


Figura 51. Configuración fines de carrera CNC Shield

Se conectan en los pines de END STOP situados en la parte superior derecha de la placa y para cada uno de los ejes para los que viene especificado.

En este proyecto se utilizan 6 fines de carrera, dos para cada eje.

3.2.2.1.4 Motores paso a paso

El siguiente componente de este apartado es aquel responsable del movimiento de todos los ejes de la estructura del prototipo, el motor paso a paso.

Existen diferentes tipos de motores en función de su construcción y se pueden dividir en:

- Imán permanente: El rotor de estos motores está ranurado y contiene un imán permanente, mientras que el estator está formado por unas bobinas dispuestas alrededor de un núcleo o polo [22].
- Reluctancia variable: Su rotor está fabricado por un cilindro de hierro dentado y el estator está formado por bobinas. Este tipo de motor trabaja a mayor velocidad que los de imán permanente [22].
- En el presente proyecto se utilizan los motores híbridos. Este tipo combina las características más destacables de los otros dos logrando un alto rendimiento con una buena velocidad [22].

A parte de los tipos de motores en función de su construcción existe una clasificación en función de la forma de conexión y excitación de las bobinas del estator. Existen 2 tipos: unipolares y bipolares.

La corriente que circula por las bobinas de los motores unipolares lo hace en un mismo sentido, principal diferencia de los bipolares. Este tipo de motores se componen de 6 cables [13].

En los motores bipolares la corriente que circula por las bobinas cambia de sentido en función de la tensión, de ahí su nombre, debido a que los extremos de una misma bobina pueden tener distintas polaridades. Otra de las características que los diferencian de los unipolares son que los bipolares llevan cuatro conexiones externas, dos para cada bobina [13].

Los dos modelos utilizados en el trabajo se utilizan como motores bipolares ya que, aunque el motor Nema 23 tiene la posibilidad de ser usado como motor unipolar, se emplea como el otro tipo dejando las tomas medias de las bobinas sin utilizar.

A continuación, se exponen ambos modelos de motores mencionados anteriormente y sus características.

MODELOS		
	57BXGH420 (NEMA 23)	42BYGHW811 (NEMA 17)
ÁNGULO POR PASO (°)	1,8	1,8
LONGITUD L (mm)	56	48
TENSIÓN NOMINAL (V)	3,6	3,1
CORRIENTE NOMINAL (A)	2	2,5
RESISTENCIA POR FASE (Ω)	1,8	1,25
INDUCTANCIA POR FASE (mH)	2,5	1,8
PAR DE RETENCIÓN (Kg·cm)	9	1,8
PAR DE DETENCIÓN (Kg·cm)	0,4	0,068
PESO DEL MOTOR (Kg)	0,7	0,34

Tabla 7. Especificaciones motor paso a paso.

Para los ejes que requieran soportar mayores componentes de la estructura (X e Y), se utiliza el motor Nema 23, expuesto en la tabla anterior, cuyo par motor es mayor que el del Nema 17. Este último se utiliza en el eje vertical.

3.2.2.1.5 Fuente de Alimentación

Para alimentar el conjunto de los componentes explicados anteriormente, es necesario el uso de una fuente de alimentación.

Como es necesario que la placa CNC Shield esté alimentada con 12 V se opta por una fuente de alimentación ATX de un ordenador convencional. En concreto el modelo LC-8460BTX.

Las características del modelo son las siguientes:

Tensión de alimentación	AC 100-120 / 200-240 V
Potencia	450 W
Frecuencia	50/60 Hz

Tabla 8. Especificaciones fuente ATX LC-8460BTX

3.2.2.1.6 Herramienta de corte: Dremel

Para poder cumplir el objetivo del proyecto es necesario añadir el último elemento físico, la herramienta de corte responsable de mecanizar el material que sea necesario.

En este caso se utiliza un modelo Dremel 300, cuyas especificaciones aparecen en la siguiente tabla.

Fuente de alimentación	Eléctrica con cable
Tensión de alimentación	230/240 voltios (V)
Potencia eléctrica	125 vatios (W)
Velocidad	10000-33000 revoluciones por minuto (RPM)

Tabla 9. Especificaciones Dremel 300.

3.2.2.2 Software

En este subapartado se explican cada uno de los programas que componen el software empleado en este trabajo.

Como clasificación general existen tres tipos de software, introducidos en el [apartado 1.2](#):

- Software de Diseño: Son aquellos programas utilizados para diseñar y modelar distintos elementos. En este trabajo se hace referencia al software CAD como los programas utilizados para diseñar las piezas que componen la estructura de la máquina.
- Software CAM: Son aquellos programas encargados de traducir cualquier diseño o imagen a Gcode (Lenguaje de programación de control numérico).
- Software de Control: Lo componen aquellos programas responsables de regular el correcto funcionamiento de la máquina y que también permite la comunicación con el hardware.

Además, en este proyecto se puede realizar una segunda clasificación en función de la aplicación a la que está destinada cada tipo de software.

- Software empleado en el diseño y fabricación de la estructura del prototipo y de las piezas para la impresión 3D.
- Software empleado en el correcto funcionamiento de la CNC.

En la siguiente imagen se puede apreciar un esquema de las distintas clasificaciones mencionadas:

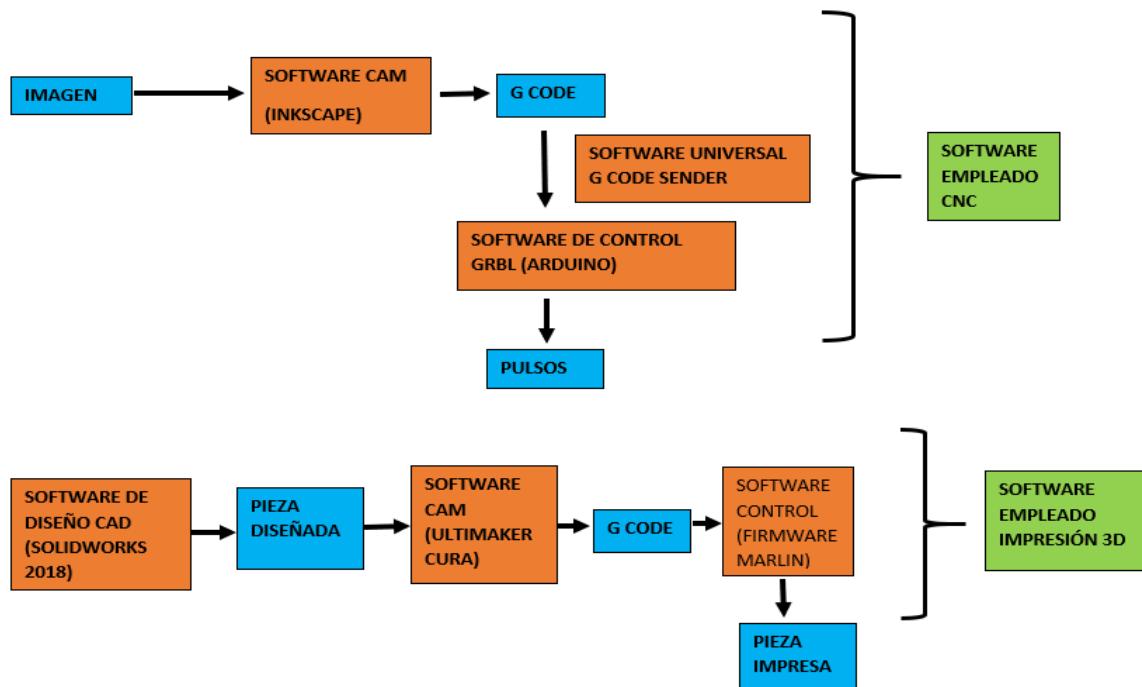


Figura 52. Esquema tipo de software.

Para poder mecanizar cualquier tipo de imagen o diseño es necesario o bien modelarla previamente o escogerla de cualquier plataforma. Una vez se tenga la imagen o diseño deseado, es necesario a través del software CAM crear las trayectorias y traducirlas al lenguaje de programación empleado en este tipo de sistemas (Gcode). El programa encargado de realizar dicha función es Inkscape y a través del software Universal Gcode Sender se conecta este tipo de archivo con el firmware GRBL que se encuentra descargado en la plataforma Arduino. Este es el encargado de enviar los pulsos a los drivers (hardware) para traducirlos en señales de corriente y en consecuencia en movimientos de los motores paso a paso del proyecto.

El sistema CAD en el presente proyecto se utiliza como herramienta de diseño previo a la fabricación de la estructura del prototipo y de las piezas necesarias para su posterior impresión 3D.

3.2.2.2.1 Software de diseño para la impresión 3D.

SOLIDWORKS

SolidWorks es el software CAD empleado para el diseño, tanto de las piezas que se han impreso en 3D, como de la estructura completa del prototipo.

Está programado para modelar piezas, ensamblajes en 3D y planos en 2D. Este software ofrece la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del producto de diseño[23].

Cubre todo tipo de necesidades relacionadas con el desarrollo de un producto.

Debido al abanico de posibilidades que ofrece y a su popularidad en las empresas industriales, se decide utilizar este programa.

ULTIMAKER CURA

Cura es un software CAM que permite convertir los archivos de formato de diseño 3D en archivos Gcode y enviarlos al controlador de la impresora (firmware Marlin) para posteriormente traducirlos en impulsos que hagan que los motores paso a paso se muevan con unas especificaciones determinadas para poder imprimir al detalle el diseño que se ha enviado previamente [24].

Es un software *open source* y a través de su interfaz se pueden modificar parámetros que condicionan la impresión.

El programa es compatible con los formatos STL,OBJ,X3D y 3MF [24].

3.2.2.2.2 Software Empleado en el prototipo de fresadora CNC.

Software CAM

INKSCAPE

Este software, también *open source*, tiene el objetivo de editar gráficos vectoriales. Usa como formato nativo SVG (*Scalable Vector Graphics*) para sus archivos, ampliamente compatible con software gráfico [25]. Mediante los parámetros del programa es posible convertir cualquier imagen que se desee utilizar en la máquina en Gcode. Además, es un programa que tiene la posibilidad de actuar como software CAD ya que permite el empleo de determinados comandos orientados al diseño de imágenes.

Software de control

UNIVERSAL GCODE SENDER

Una vez se crean los GCODES es necesario que un programa sea el conector entre el ordenador y la placa de Arduino.

El software que se utiliza es el Universal Gcode sender y cuenta con una interfaz en la que se modifican parámetros de las operaciones de fresado tales como los mm/paso o las velocidades de cada uno de los motores. Estos cambios son almacenados y actualizados en el firmware GRBL para su posterior uso.

ARDUINO Y GRBL

Arduino y GRBL son softwares que pueden ser explicados conjuntamente. Arduino es la plataforma de programación explicada en el [apartado 3.2.2.1.1](#) y GRBL es el firmware instalado en Arduino que es necesario para poder controlar los elementos de hardware de la electrónica del prototipo. Es un código que controla las instrucciones que se le deben dar a los componentes hardware del proyecto.

GRBL es un software que actúa como controlador de fresadora CNC de alto rendimiento, se encuentra bajo la Licencia pública General GNU y ha sido desarrollado por el programador Simen Svale Skogsrud [26].

Su objetivo es decodificar los GCODEs para convertirlos en pulsos que, a través del sistema de electrónica de potencia descrito en el [apartado 3.2.2.1.2](#), se transforman en señales de corriente suministradas para mover los motores y con ello los ejes de la máquina [26].

3.2.2.2.3 Github

Este software no pertenece a ninguna de las clasificaciones mencionadas anteriormente.

Github es una plataforma open source que sirve como herramienta para el desarrollo colaborativo de proyectos, así como para almacenar de forma segura cualquier código, utilizando el sistema de control Git. [27]

Git es una sistema de control de versiones en el que se registran todo tipo de cambios en un archivo o conjunto de éstos a lo largo del tiempo para poder disponer de ellos más tarde y poder recuperarlos [28].

Dicho software, a través del sistema explicado en el párrafo anterior, proporciona herramientas muy útiles para el trabajo en equipo [29].

Esta es la plataforma en la que se encuentran subidos todos los archivos relacionados con el actual proyecto.

3.2.2.3 Montaje electrónico

Una vez se explican todos los conceptos relacionados con las herramientas de hardware y software presentes en el proyecto, se procede a describir el montaje de los componentes electrónicos.

La CNC Shield y la placa de Arduino UNO están acopladas para facilitar las conexiones de los diferentes componentes de hardware detallados en el [apartado 3.2.2.1](#).

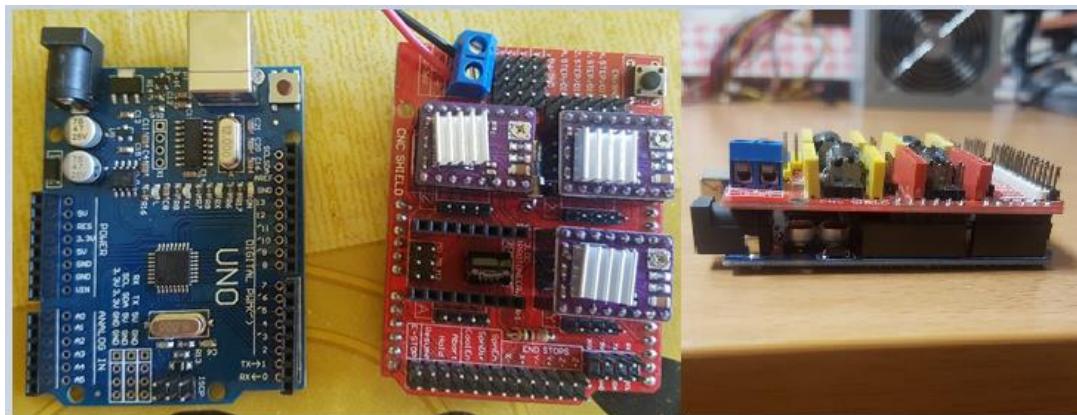


Figura 53. Montaje CNC Shield- Arduino UNO.

Las funciones de cada uno de los pines empleados correspondientes a la placa de Arduino Uno se exponen en la siguiente tabla.

Pines	Correspondiente función
Pin 8	Habilitación (<i>Enable</i>)
Pin 5	Dirección X
Pin 2	Paso de X
Pin 6	Dirección Y
Pin 3	Paso de Y
Pin 7	Dirección Z
Pin 4	Paso de Z

Tabla 10. Funciones de cada uno de los pines de Arduino Uno[19].

Una vez estén unidas las placas mencionadas anteriormente, se procede con la conexión de cada uno de los drivers con sus respectivos motores.

Con la siguiente Figura se muestra la conexión realizada Arduino UNO-CNC Shield-Drivers DRV8825.

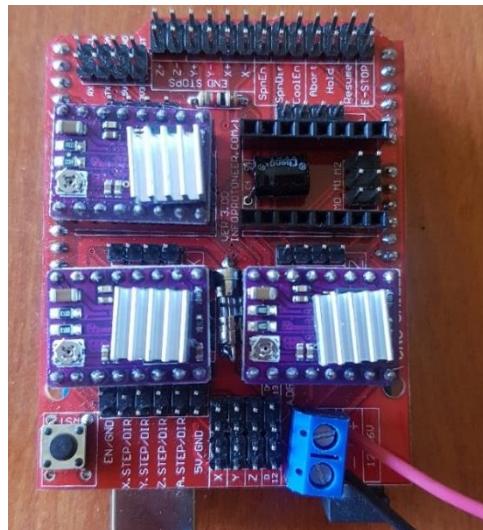


Figura 54. Conexión CNC Shield -Arduino-Drivers.

Cada uno de los ejes de la fresadora necesitan ser accionados por motores paso a pasos y por lo tanto cada uno de los motores utilizados para cada eje están conectados a la placa CNC Shield a través de los pines correspondientes.

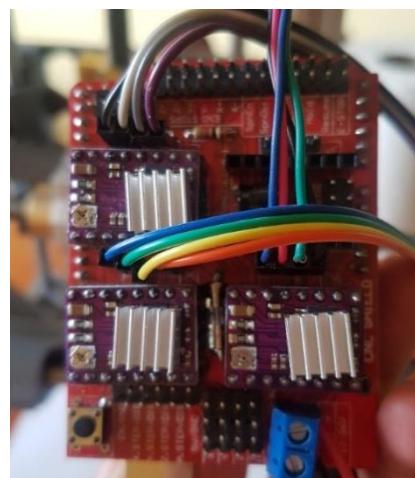


Figura 55.Conexionado Motores paso a paso.

Es necesario alimentar tanto los motores como la placa de Arduino, cada uno con diferentes valores de tensión.

Para alimentar los motores paso a paso es necesario una fuente de alimentación de 12 V, de la cual se habla en el [apartado 3.2.2.1.5.](#)

En la siguiente imagen se puede observar la conexión de la fuente de alimentación a la CNC Shield.

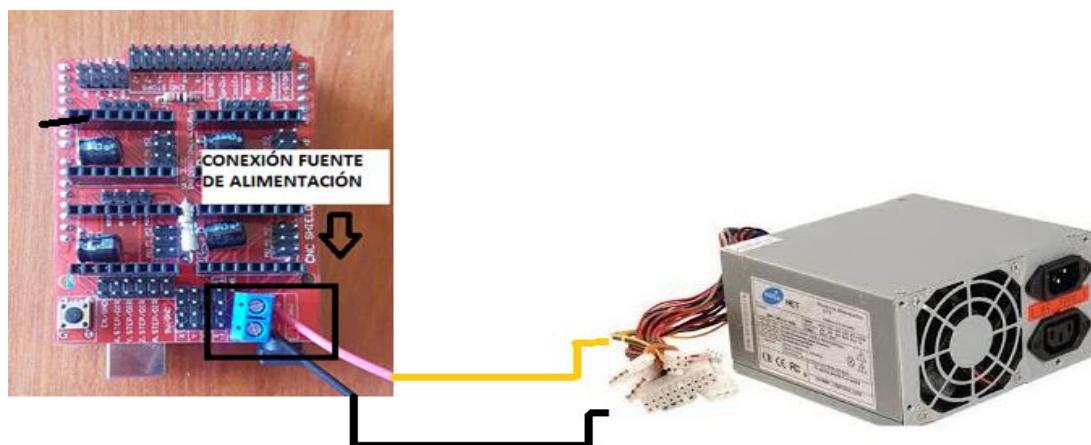


Figura 56. Conexión fuente de alimentación.

La conexión de la fuente de alimentación a la placa CNC Shield se realiza mediante los cables amarillo (12 V) y negro (GND o Tierra) de la fuente ATX al que se le unen dos cables auxiliares que se enganchan en la zona de alimentación de la placa CNC Shield. Previamente a esto es conveniente comprobar con un polímetro que entre esos dos cables existen los 12 V que se necesitan.

Para la placa de Arduino UNO es suficiente con la alimentación que aporta un ordenador convencional a través de USB.

El siguiente paso es realizar la conexión de los interruptores fines de carrera para cada uno de los ejes que componen el prototipo. Este paso es recomendable para que uno de los softwares explicados anteriormente (Universal Gcode Sender conectado con el GRBL) sepa las dimensiones de cada uno de los ejes y en qué posición se debe realizar la parada del movimiento.

En la siguiente imagen se puede observar la conexión de uno de los interruptores mencionados de los 6 empleados en el proyecto.



Figura 57. Ejemplo conexión fines de carrera.

Una vez se llega a este paso se finaliza con el montaje de la electrónica. Pero antes de poner en marcha el sistema electrónico es necesario la calibración de los drivers para su correcto funcionamiento.

Calibración del driver DRV8825

La calibración del driver es necesaria para suministrar la corriente adecuada a cada uno de los motores del prototipo.

Para poder cumplir el objetivo, los controladores poseen un potenciómetro que regula la intensidad del controlador.

Se obtiene la corriente límite para el motor Nema 17 (modelo 42BYGHW811) de su datasheet:

$$I_{\max} = 2,5 \text{ A}$$

La resistencia del driver DRV8825:

$$\text{Resistencia} = 0,1 \Omega$$

Con estos datos y mediante la siguiente ecuación [30] se obtiene:

$$V_{ref} = I_{\max} \times 5 \times R = 2,5 \text{ A} \times 5 \times 0,1 \Omega = 1,25 \text{ V}$$

De este modo se obtiene la tensión de referencia del motor que se está utilizando y para evitar que el driver opere al límite de su corriente se recomienda que se trabaje al 70 % de ese valor [30].

$$V_{ref} = 1.25 \text{ V} \times 0.7 = 0.875 \text{ V}$$

Del mismo modo se calibran los drivers para los dos motores restantes Nema 23 (modelo 57BXGH420) donde $I_{máx} = 2 \text{ A}$.

Siguiendo la misma fórmula se obtiene la tensión de referencia para el motor Nema 23:

$$V_{ref} = 2 \text{ A} \times 5 \times 0.1 \Omega = 1 \text{ V}$$

Teniendo en cuenta que debe trabajar al 70 % se obtiene:

$$V_{ref} = 1 \text{ V} \times 0.7 = 0.7 \text{ V}$$

En el momento en el que se finaliza con la calibración de los drivers se puede proceder con la configuración del software para poner en funcionamiento la electrónica del prototipo.

Previamente a poner en marcha todo el sistema se comprueba que todas las conexiones se han realizado correctamente mediante la realización de un código breve en el que se comprueba el buen funcionamiento de los motores y que se puede visualizar en los anexos, [apartado 6.2](#).

3.3 Resultados

En este apartado se exponen los resultados obtenidos llevando a cabo todas las etapas y procedimientos explicados. En primer lugar, se expone una imagen del prototipo de fresadora construido y seguidamente se muestran dos ejemplos de mecanizados realizados.

3.3.1 Resultado prototipo construido

En la siguiente imagen se muestra el resultado final después de seguir los pasos detallados en todos los apartados anteriores, teniendo en cuenta tanto la estructura como la electrónica y cableado.

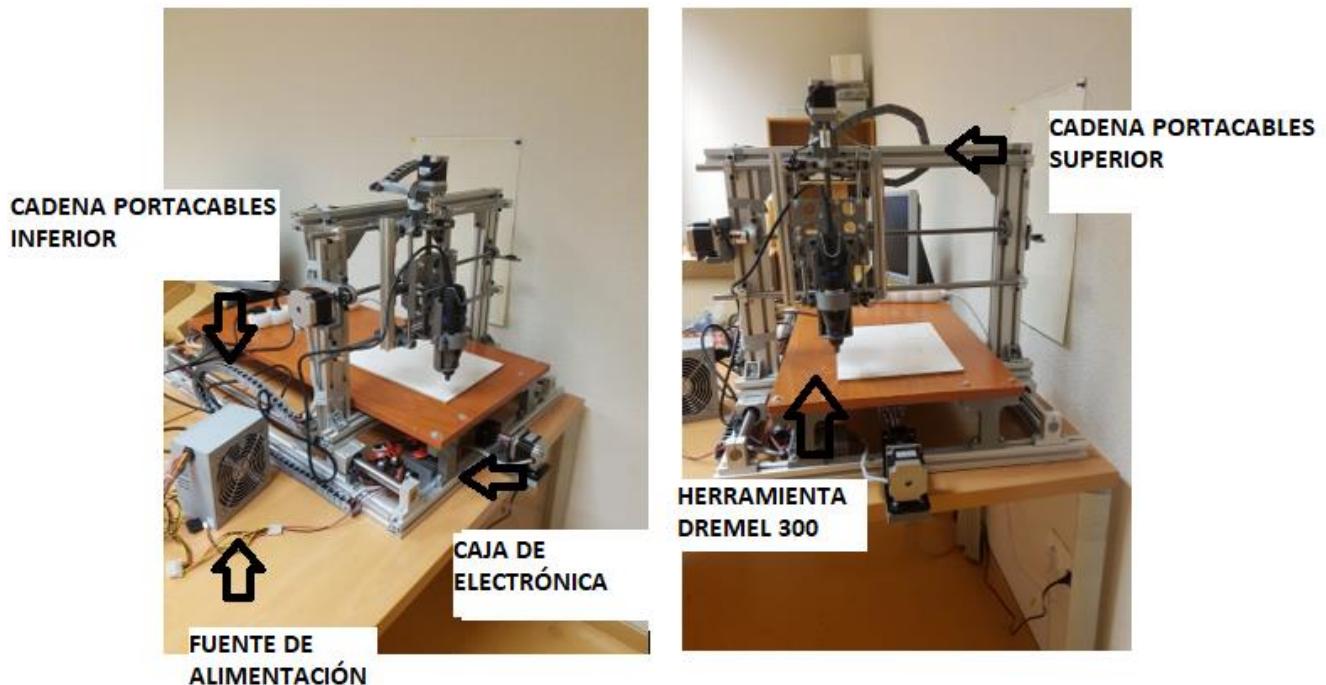


Figura 58. Prototipo final.

Como se puede observar y se ha comentado en el [apartado 3.1.3](#), se realiza un diseño de piezas que unidas entre sí forman una cadena por las que se introducen los cables para evitar que se enganchen y provoquen que la máquina se bloquee y rompa alguno de ellos. Estas cadenas se disponen en las zonas móviles del prototipo.

Además, en la parte inferior de la mesa de la máquina se insertan los componentes electrónicos para poder facilitar el transporte del prototipo sin necesidad de desconectar las conexiones.

La unión del material a fresar y la mesa se realiza con cinta de doble cara debido al poco espesor que posee la madera que se mecaniza.

3.3.2 Ejemplo mecanizado

Para cumplir con uno de los objetivos del presente proyecto es necesario la realización de un trazado con el fin de comprobar la calidad final que posee el prototipo realizado.

Se realiza el trazado del logo de la Universidad Rey Juan Carlos sobre un tablero de madera de densidad media (DM).

Para comenzar con la operación de fresado es necesario configurar los programas explicados en el [apartado 3.2.2.2.2.](#) Esta configuración se detalla en el apartado [anexos 6.1.](#)

El material elegido para realizar la operación es un tablero de DM y se escoge en base a los tipos de materiales que puede fresar las diferentes fresas de las que dispone el ATE correspondientes con la herramienta Dremel 300. En las descripciones de cada una de las fresas aparecen las especificaciones de las mismas y los materiales válidos para los que pueden ser empleadas.

Fresa de corte de 1 labio de acero rápido (HSS) [31]:

Con esta herramienta se realiza el tallado del contorno del logo de la Universidad Rey Juan Carlos:

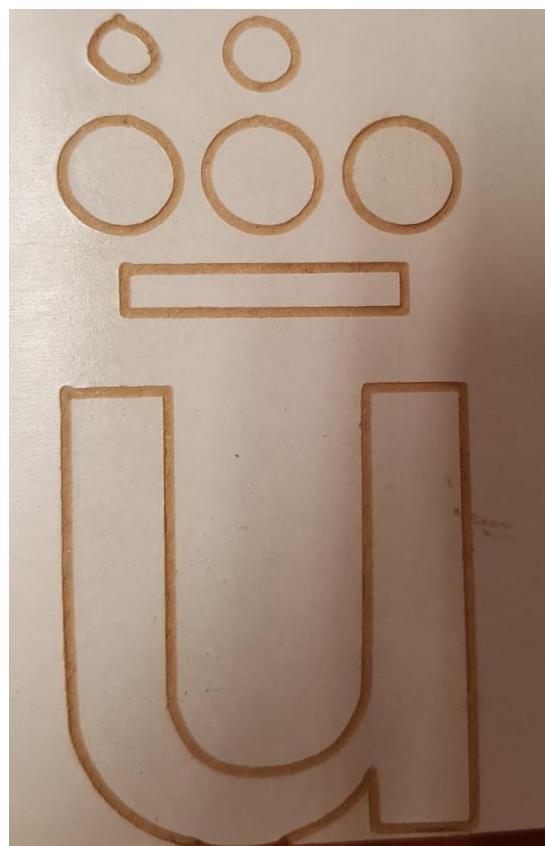


Figura 59. Ejemplo mecanizado contorno logo Universidad Rey Juan Carlos.

Fresa para grabar 2,4 mm [32]:

Con la herramienta mencionada se realiza el grabado del logo de la Universidad.



Figura 60.Ejemplo mecanizado grabado del logo de la Universidad Rey Juan Carlos.

Los diferentes parámetros de fresado son modificados en el programa Universal Gcode Sender. La velocidad de cada uno de los motores se modifica en base al sonido y suavidad del movimiento de los ejes del prototipo mientras que la resolución de los mismos se configura de forma general teniendo en cuenta el avance de los husillos, los pasos por vuelta del motor y los micropasos. Aunque se ha explicado cómo se configuran los micropasos no se ha considerado necesario su uso, ya que con pasos completos se han obtenido buenos resultados.

Teniendo en cuenta lo anterior se obtienen las características del sistema:

Resolución eje X:

- **Avance del husillo eje X:** 2 mm/ vuelta
- **Pasos /vuelta del motor:** 200 pasos/ vuelta
- **Resolución eje X:** $\frac{200 \text{ pasos/ vuelta}}{2 \text{ mm/ vuelta}} = 100 \text{ pasos/mm.}$

Resolución eje Y:

- **Avance del husillo eje Y:** 4 mm/ vuelta

- **Pasos / vuelta del motor:** 200 pasos/ vuelta
- **Resolución eje Y:** $\frac{200 \text{ pasos/ vuelta}}{4 \text{ mm/ vuelta}} = 50 \text{ pasos/mm.}$

Resolución eje Z:

- **Avance del husillo eje Z:** 2 mm/ vuelta
- **Pasos / vuelta del motor:** 200 pasos/ vuelta
- **Resolución eje Z:** $\frac{200 \text{ pasos/ vuelta}}{2 \text{ mm/ vuelta}} = 100 \text{ pasos/mm.}$

Velocidad motores

- **Velocidad eje X:** 320 mm/min
- **Velocidad eje Y:** 350 mm/min
- **Velocidad eje Z:** 350 mm/min

Velocidad de avance en la operación de fresado

Antes de realizar el mecanizado se considera la velocidad de avance que se debe programar en una de las opciones del software CAM.

La viruta que se genera en la pieza mecanizada es una de las responsables de la correcta ejecución de la operación de fresado [33]. Durante la operación de mecanizado se genera una fricción entre herramienta y material que se traduce en calor, este calor es disipado por el material arrancado durante el fresado (viruta) y una mala programación de la velocidad de avance y revoluciones (RPM) de la herramienta pueden ocasionar un destemple y posterior rotura de la fresa [34].

Una temperatura excesiva en la zona de corte reduce la resistencia, dureza y resistencia al desgaste de la herramienta [34] y en consecuencia una disminución de su vida útil.

Para obtener las velocidades de avance de manera aproximada en el fresado utilizando materiales blandos como maderas o plásticos, existe una relación entre tres variables que deben gestionarse con el fin de reducir la generación de calor en el filo de la herramienta.

$$V_{\text{avance}}(\text{mm/min}) = C_x \times N \times \text{RPM} \quad [35]$$

Siendo:

Cx= Carga de viruta. Es una medida del grosor del material arrancado por el filo de la herramienta en cada pasada durante el fresado. Se mide en milímetros [35].

N= Número de labios de la herramienta.

RPM= Revoluciones por minuto de la herramienta.

Existen unas tablas específicas con valores de carga de viruta en función del tipo de material mecanizado y el diámetro de la herramienta empleada.

Para un diámetro de fresa máximo de 3 mm correspondiente con el material DM empleado, se obtiene una carga de viruta Cx de 0,10 mm [35]. Operando a 10.000 RPM y para una fresa de 1 labio se obtiene:

V avance (mm/min) = 0,10 mm x 1 x 1000 RPM= 1000 mm/min.

Estas tablas son válidas para mecanizados de profundidad máxima igual al diámetro de la herramienta y para RPM de 10000-20000 [35]. En el caso de que la profundidad de mecanizado sea el doble o el triple del diámetro de la fresa es necesario reducir en un 25 % y 50 % el valor de la carga de viruta expuesta y en consecuencia la velocidad calculada [36]. Por lo tanto son recomendaciones y en función de las características del sistema y de la operación de fresado se tiene que variar la velocidad obtenida hasta encontrar el valor óptimo.

El problema de utilizar esta tabla como referencia es que se considera que el eslabón más débil del sistema es la fresa, es decir, se considera que los demás elementos tales como estructura, husillos, soportes y demás no tienen problemas a la hora de soportar las velocidades indicadas. En la mayoría de las fresadoras comerciales esto suele ser así, pero en este proyecto se emplea PLA como material de fabricación en algunas de las partes de esta máquina y por lo tanto esas piezas impresas no soportan igual la velocidad de avance impuesta. Un ejemplo de esto es el soporte de la herramienta Dremel, que al estar fabricado en PLA y al no tener una sujeción perfecta tiende a flectar para determinados valores de velocidades de avance.

Sabiendo esto, se parte desde una velocidad de avance máxima permitida de 1000mm/min. Por debajo de esta velocidad se puede fresar sin problemas, pero se debe ir bajando hasta encontrar una velocidad que permita al resto del sistema trabajar de forma correcta. Se calcula de forma empírica que una buena velocidad de trabajo se sitúa en los **100mm/min**. Este valor de velocidad es el utilizado en ambos ejemplos de mecanizado.

En la siguiente imagen se puede apreciar la diferencia de calidad en el mecanizado como consecuencia de utilizar una velocidad u otra de avance.

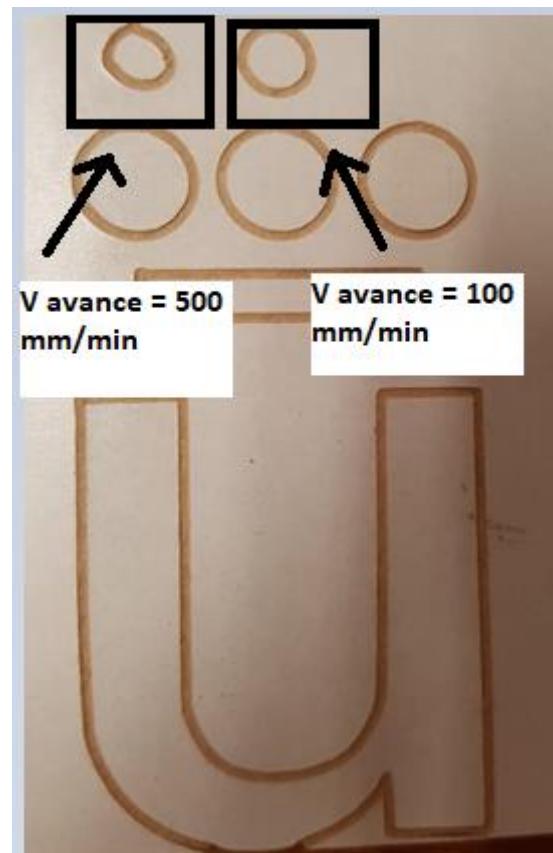


Figura 61. Diferencias calidad acabado.

3.4 Presupuesto

En la siguiente tabla se detalla el material que se utiliza en el presente trabajo y los costes de cada uno de los componentes que componen el prototipo.

Descripción	Unidades	Precio€/ Unidad	Precio total €	Proveedor
1. ESTRUCTURA				
1.1 Sistema Soporte				
Perfil Al (30x30) Tipo B Ranura 8-550mm de longitud	1	2,49	2,49	Motedis
Perfil Al (30x30) Tipo B Ranura 8-820mm de longitud	2	3,71	7,42	Motedis
Perfil Al (30x30) Tipo B Ranura 8-640mm de longitud	1	2,90	2,90	Motedis
Perfil Al (30x30) Tipo B Ranura 8-600mm de longitud	2	2,72	5,4	Motedis
Perfil Al (30x60) Tipo B Ranura 8-400mm de longitud	2	4,43	8,86	Motedis
Perfil Al (20x20) Tipo I Ranura 5-145mm de longitud	2	0,47	0,94	Motedis
Perfil Al (20x20) Tipo I Ranura 5-240mm de longitud	2	0,78	0,78	Motedis
TOTAL			47 €	
1.2 Sistema de transmisión				
Husillo trapezoidal 10x2	1	3,57	3,57	Dold
Tuerca trapezoidal para husillo 10x2 bloque	1	14,71	14,71	Dold
Rodamiento con brida 10 mm	2	2,58	5,16	Motedis
Husillo SFU1204	1	38,95	38,95	Aliexpress
BK10+BF10 (Soporte Husillo SFU1204)	1	17,57	17,57	Aliexpress
Tuerca con carcasa husillo 12 mm	1	3,72 + 2,77 Gastos de envío	6,49	Aliexpress
Husillo trapezoidal 12x02	1	40	40	Misumi
Tuerca trapezoidal husillo 12x02 (MTSFR12)	1	14	14	Misumi
Rodamiento con brida 12 mm	2	3,05	6,1	Motedis
Acoplador XB 8-6.35	1	9,28	9,28	Motedis
Acoplador XB 10-6,35	1	6,66	6,66	Dold
Acoplador RB 8-5	1	1,20	1,20	HTA3D
TOTAL			163,69	
1.3 Sistema de deslizamiento				
Eje de precisión de acero 12 mm de diámetro	2	3,50	7	Motedis
Soporte ejes 12 mm	4	2,68	10,72	Motedis
Eje de precisión de acero 20 mm de diámetro	2	7,11	14,22	Motedis
Soporte ejes 20 mm	4	2,86	10,72	Motedis

Rodamientos con carcasa ejes 20 mm	4	5,18	23,12	Motedis
Eje de precisión de acero 8 mm de diámetro	2	1,11	2,22	Motedis
TOTAL				57,28
1.4 Impresión 3D				
Bobina PLA 1 kg. Color gris	1	17,99	17,99	PC Componentes
TOTAL				17,99
TOTAL ESTRUCTURA				285,96
2. COMPONENTES ELECTRÓNICOS				
Placa Arduino UNO	1	7,11	7,11	HTA3D
CNC Shield	1	2,95	2,95	HTA3D
Motor paso a paso Nema 23	2	26,90	53,8	Bricogeek
Motor paso a paso Nema 17	1	13,50	13,50	Kitprinter3D
Fin de carrera	6	0,74	4,44	Mouser Electronics
Driver DRV8825	3	2,90	8,70	HTA3D
Herramienta Dremel 300	1			Herramienta empleada en el ATE.
Fuente ATX modelo LC-8460BTX	1			Componente reciclado de ordenador
TOTAL COMPONENTES ELECTRÓNICOS				90,50
COSTE TOTAL PROYECTO				
ESTRUCTURA				285,96 €
COMPONENTES ELECTRÓNICOS				90,50 €
TOTAL				376,46 €

Tabla 11. Presupuesto

El presupuesto del proyecto se realiza sin tener en cuenta las horas invertidas para poder hacerse una idea del coste que conlleva en el caso de que se quiera replicar, ya que el trabajo ha sido realizado basado en la corriente de hardware y software libre.

3.5 Líneas futuras

El prototipo del presente trabajo posee muchos campos en los que se pueden modificar aspectos o añadir mejoras para poder conseguir una fresadora que pueda fresar otro tipo de material y posea unas cualidades superiores.

A continuación, se detallan las posibles mejoras que se le pueden realizar en un futuro a este prototipo.

- Utilizar husillo de bolas en los ejes X y Z en lugar de trapezoidales ya que pueden ser uno de los responsables de la diferencia de precisión en los trazados. Además, sería conveniente utilizar en todos los ejes del prototipo husillos con mecanizado en los extremos, ya que el soporte de estos es ligeramente mejor y provoca que existan menor número de desviaciones.

- Cambiar el sistema de deslizamiento que sostiene la estructura, emplear ejes del tipo SBR12 en lugar de ejes sin apoyo, de modo que es posible utilizar materiales más pesados debido a su baja capacidad de flexión.
- En vez de utilizar las piezas impresas en 3D, sería recomendable utilizar piezas de aluminio ya que son más resistentes y rígidas que el material utilizado en la impresión. Uno de los ejemplos más significativos es el soporte de la herramienta de fresado Dremel 300, que debido al material del que está fabricado (PLA) es únicamente válido para materiales blandos ya que para fresar materiales con mayor dificultad de mecanizado tendería a flectar disminuyendo la precisión con la que se realiza la operación.
- Cambiar el sistema de sujeción del material a fresar a la mesa de mecanizado, utilizando tornillería u otro tipo de agarre más resistente para poder mecanizar materiales más duros y piezas de mayores dimensiones.
- Una de las mejoras claras que se puede realizar es la simulación del prototipo a la vez que se va realizando la fabricación. Por ejemplo, se puede realizar la simulación del análisis estructural para comprobar que los materiales elegidos para ello soportan los esfuerzos a los que van a ser sometidos. Esto supone la confirmación del cumplimiento con las especificaciones impuestas y la validación de que el diseño se ha realizado correctamente.
- Añadir un interruptor que se accione manualmente en la línea de alimentación de la máquina para conseguir la parada de emergencia de todo el sistema.
- Otra línea futura es prescindir del ordenador que se utiliza para la operación de fresado. Para ello es necesario el uso de una tarjeta micro SD y acoplar en la máquina una pantalla de visualización.

4. CONCLUSIONES

Como conclusión principal se puede decir que se han cumplido todos los objetivos impuestos en el [apartado 2](#) del presente TFG.

- ✓ Se ha diseñado y construido un prototipo de fresadora CNC de 3 ejes y además ha sido fabricada bajo un presupuesto inferior a 380 € ya que el hecho de utilizar piezas impresas en 3D abarata en gran medida el coste de la máquina.
- ✓ El proyecto se ha realizado aprovechando todos los materiales disponibles en el ATE evitando comprar material adicional, ya que así se realiza una máquina para la Universidad y puede ser un foco de futuros proyectos en los que diferentes alumnos, expongan sus ideas y mejoren el trabajo ya existente.
- ✓ Se ha conseguido adquirir conocimientos en los campos de diseño y modelado de sólidos, control del sistema CNC, estructura de máquinas y en el mundo de la impresión 3D.
- ✓ Se ha validado el prototipo a través de la realización de un ejemplo de mecanizado que constituye el trazado y grabado del logo de la Universidad Rey Juan Carlos comprobándose así la buena calidad y precisión de la máquina.
- ✓ Todos los diseños y pasos para poder replicar el prototipo se encuentran en la plataforma de acceso libre Github de modo que se cumple con el objetivo de crear un proyecto DIY libre.
- Las dimensiones del área de fresado (42 x 85) mm son lo suficientemente grandes como para realizar operaciones de fresado de piezas con una superficie amplia. Además, el hecho de utilizar el sistema CNC nos permiten realizar la operación de forma sencilla y práctica.
- Debido a la estructura que se ha elegido, la máquina está en capacidad de elaborar piezas de hasta 90 mm de espesor proporcionando una herramienta para poder realizar operaciones de fresado de una gran variedad de diseños y productos.
- La unión de las diferentes partes de la estructura se ha realizado con tornillería, evitando las soldaduras y remaches, de modo que hacen de ella una estructura con versatilidad para ser modificada, reconstruida y en consecuencia mejorada en todos los aspectos que se considere oportuno.
- Por último, cabe destacar que, aunque se ha realizado el desarrollo de un prototipo, resulta interesante continuar con futuras investigaciones y mejoras que permitan el desarrollo de un producto con el nivel de fresadoras comercializables.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] ¿Qué es el mecanizado? Origen y características. *Ferros Planes*. [En línea]. Octubre 2016 [Consulta: 27 septiembre 2018]. Disponible en: <https://ferrosplanes.com/que-es-mecanizado/>.
- [2] Funcionamiento de una fresadora CNC. *De Máquinas y Herramientas* [En línea]. Mayo 2013. [Consulta: 11 de junio 2018]. Disponible en: <http://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/fresadoras-cnc>.
- [3] Significado Control Numérico Computarizado. *Viwa* [En línea]. [Consulta: 11 de junio 2018]. Disponible en: <http://www.viacnc.com/index.php?seccion=queescnc>.
- [4] Fresadora Vertical CNC Folow MC850. *Heller Máquinas y Herramientas* [En línea] [Consulta: 12 septiembre 2018]. Disponible en: https://www.helleraquinaria.com/catalogo/prod_pdf.php?id_prod=3059&l=1.
- [5] X-Carve. *Inventables* [En línea]. [Consulta: 19 septiembre 2018]. Disponible en: <https://www.inventables.com/technologies/x-carve>.
- [6] OX CNC Machine. *Openbuilds* [En línea] agosto 2017. [Consulta 19 de septiembre 2018]. Disponible en: <https://openbuilds.com/builds/openbuilds-ox-cnc-machine.341/>.
- [7] G. NIETO, M., 2016. La nueva tendencia tecnológica se llama ‘Movimiento Maker’. *El País*. 23 septiembre [En línea]. [Consulta: 20 septiembre 2018]. Disponible en: https://elpais.com/tecnologia/2016/09/22/actualidad/1474560262_851948.html.
- [8] Free software. *F. software Fundation* [En línea]. [Consulta: 11 julio 2018] Disponible: <https://www.fsf.org/about/what-is-free-software>.
- [9] Open Source Hardware Association. *Oshwa* [En línea]. 5 agosto 2018 [Consulta: 11 julio 2018]. Disponible en: <https://www.oshwa.org/>.
- [10] Solidworks [En línea]. [Consultado 11 agosto 2018]. Disponible en: <https://www.solidworks.es>
- [11] Características del husillo de bolas. *THK* [En línea]. [Consulta: 24 agosto 2018] Disponible en: https://tech.thk.com/es/products/pdf/es_b15_006.pdf.
- [12] Información técnica de husillos laminados. *S. mecánicos Gaes* [En línea]. [Consulta 24 agosto 2018]. Disponible en: <http://www.rodalsa.net/wp-content/uploads/2015/07/hiwin-husillos-laminados.pdf>
- [13] Manual Sistema de motores paso a paso. *AutomationDirectcom* [En línea] 2007 [Consulta: 24 agosto 2018]. Disponible en:

<https://www.automationdirect.com/static/manuals/surestepmanualsp/surestepmanualsp.pdf>

- [14] Ejes de precisión de acero. *Motedis* [En línea]. [Consultado: 25 septiembre 2018]. Disponible en: https://www.motedis.es/shop/Dinamica-Unidad-lineal/Ejes-de-Precision-en-Acero:::99999213_99999295.html.
- [15] ¿Qué es Arduino? *Arduino* [En línea]. [Consultado: 15 agosto 2018]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/guide/introduction>.
- [16] ¿Qué es Arduino? *Linuxzone* [en línea]. [Consultado: 15 agosto 2018]. Disponible en: <https://linuxzone.es/2012/03/10/que-es-arduino-te-lo-mostramos-en-un-documental/>.
- [17] Arduino UNO. *Arduino* [En línea]. [Consulta: 15 agosto 2018]. Disponible en: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>.
- [18] Pololu DRV8825. *Pololu* [En línea]. 2018 [Consulta: 16 agosto 2018]. Disponible en: <https://www.pololu.com/product/2132>.
- [19] CNC Shield. *Electronic prototyping specialist (Protoneer)* [En línea]. [Consulta: 16 de agosto 2018]. Disponible en: <https://blog.protoneer.co.nz/arduino-cnc-shield/>.
- [20] J. VALVANO, J., 2015. Microstepping. p. 11. [En línea]. [Consulta: 16 agosto de 2016]. Disponible en: <http://users.ece.utexas.edu/~valvano/Datasheets/StepperMicrostep.pdf>.
- [21] Manual fines de carrera. Mouser *electronics* [En línea]. [Consulta: 15 agosto 2018]. Disponible en: https://www.mouser.es/datasheet/2/307/en-ss_p-230833.pdf.
- [22] Plotter Router Fresadora CNC (Proyecto). *Alciro Books Science Engineering & Information Technology* [En línea]. [consulta: 16 agosto 2018]. Disponible en: http://www.alciro.org/alciro/Plotter-Router-Fresadora-CNC_1/Motores-Paso-a-Paso-Step-Motor_37.htm
- [23] 3D experience. *D. Systemes* [En línea]. [Consulta: 16 agosto 2018]. Disponible en: <https://www.3ds.com/products-services/>.
- [24] Ultimaker Cura. *Ultimaker* [En línea] 2018. [Consulta: 16 agosto 2018]. Disponible en: <https://ultimaker.com/en/products/ultimaker-cura-software>.
- [25] Resumen. *Inkscape Draw Freely* [En línea]. [Consulta: 25 septiembre 2018]. Disponible en: <https://inkscape.org/es/acerca-de/resumen/>.
- [26] GRBL. *Github* [En línea]. [Consulta: 20 agosto de 2018]. Disponible en: <https://github.com/GRBL/GRBL>.
- [27] ¿Qué es Github y para qué sirve? *D. Formación* [En línea]. [Consulta: 21 agosto 2018]. Disponible en: <https://www.deustoformacion.com/blog/programacion-diseno-web/que-es-para-que-sirve-github%0D>.

- [28] S. CHACON, S. y STRAUB, B., 2014. *Pro-Git*. ISBN 978-1-4842-0077-3.
- [29] CASTILLO, L. Introducción a Github. *Github* [En línea] [Consulta: 17 agosto 2018]. Disponible en: <https://github.com/LuchoCastillo/Conociendo-GitHub/blob/master/tutorial/data/introduccion.rst%0D>.
- [30] Driver DRV8826 Datasheet. *Pololu* [Online]. Julio 2014 [Consulta: 13 agosto de 2018] Disponible en: <https://www.pololu.com/file/0J590/drv8825.pdf>.
- [31] Fresa de corte de 1 labio HSS. *Tiendaarfemaro* [En línea]. [Consulta: 27 septiembre 2018]. Disponible en: <http://www.tiendaarfemaro.com/p371258-fresa-hss-e-de-1-labio.html>
- [32] Fresa para grabar 2,4mm. *Dremel Europ* [En línea]. [Consulta: 27 de septiembre 2018]. Disponible en: <https://www.dremeleurope.com/es/es/fresaparagrabar2-4mm-106-ocs-p/>.
- [33] Schneiderfresas [En línea]. [Consulta: 28 septiembre 2018]. Disponible en: http://www.schneiderfresas.com/wp-content/uploads/2016/cat/sch_rout_cnc.pdf
- [34] S. KLAKJIAN, S.R.S., 2008. *Manufactura, ingeniería y tecnología*. ISBN 978-9-7026-1026-7.
- [35] Chio Load Chart. *Cutter-Shop* [En línea]. [Consulta: 1 octubre 2018]. Disponible en: <https://www.cutter-shop.com/information/chip-load-chart.html>
- [36] Guhdo. [En línea]. [Consulta: 1 octubre 2018]. Disponible en: <https://www.guhdo.com/chipload-calculator>
- [37] Configuring GRBL. *Github* [En línea]. 14 diciembre de 2017 [Consulta: 16 agosto 2018] Disponible en: <https://github.com/GRBL/GRBL/wiki/Configuring-GRBL-v0.9>

6. ANEXOS

6.1 Configuración

Para poder llevar a cabo las operaciones de fresado y cumplir con los objetivos mencionados anteriormente es necesario realizar una serie de pasos.

En primer lugar, el programa que hace posible que a los motores paso a paso le lleguen las señales adecuadas para poder interpretar la pieza a fresar es el GRBL. Dicho firmware se ha explicado en el subapartado de software del prototipo y a continuación se detalla el procedimiento para configurarlo.

El primer paso es la descarga del programa en Github para posteriormente incluirlo en la librería de Arduino.

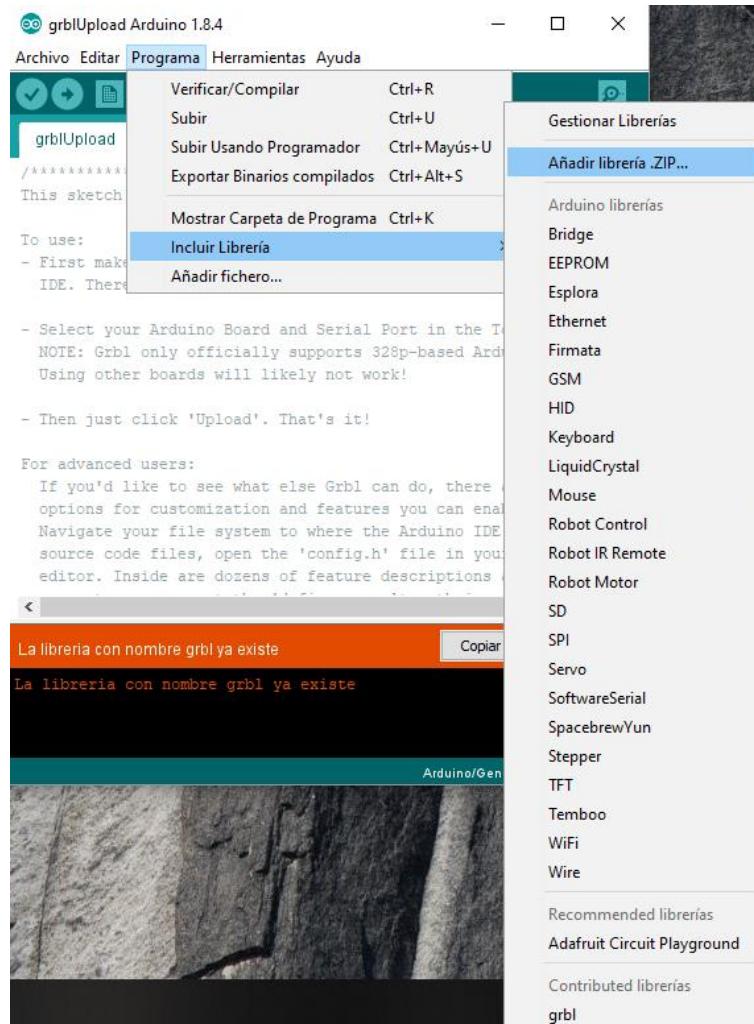


Figura 62. Opción incluir librería Arduino

Como se puede observar ya existe esa librería porque se incluye antes de realizar las capturas pertinentes pero esta imagen muestra cómo se debe incluir la carpeta descargada.

Después es necesario irse a la opción de ejemplos de Arduino y subir el código GRBL.

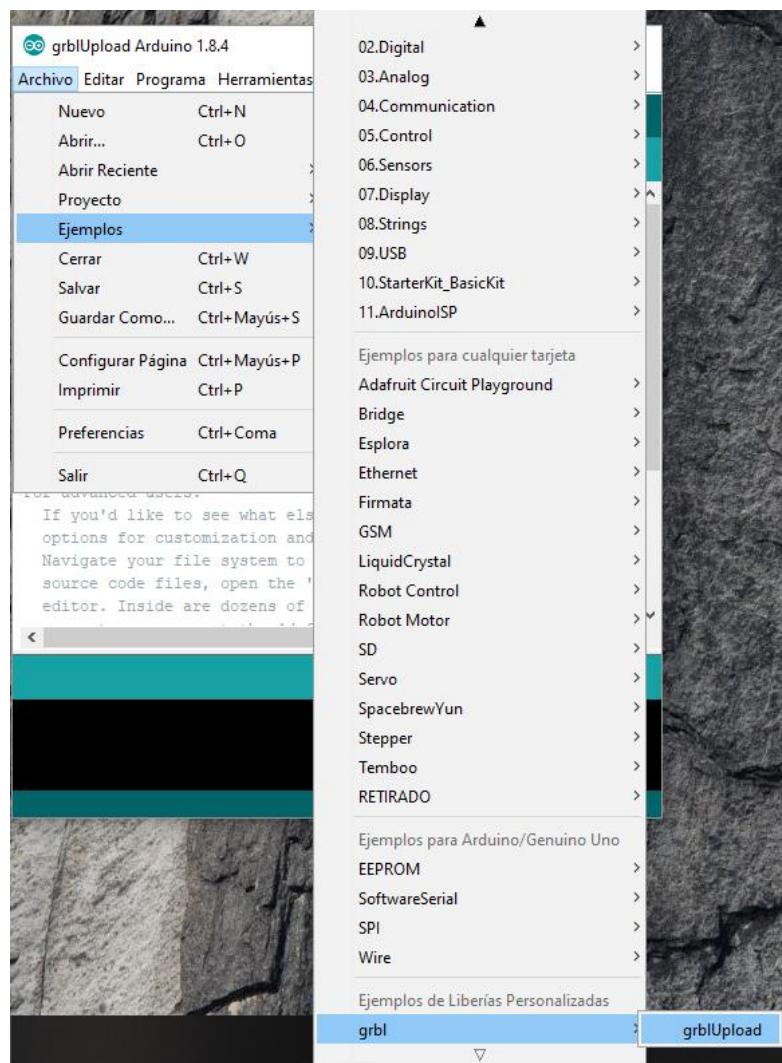


Figura 63. Subida GRBL

Una vez se realiza el anterior paso es necesario un programa que ejerza la función de conector entre la placa de Arduino y el prototipo del proyecto. Ese software es el Universal Gcode Sender.

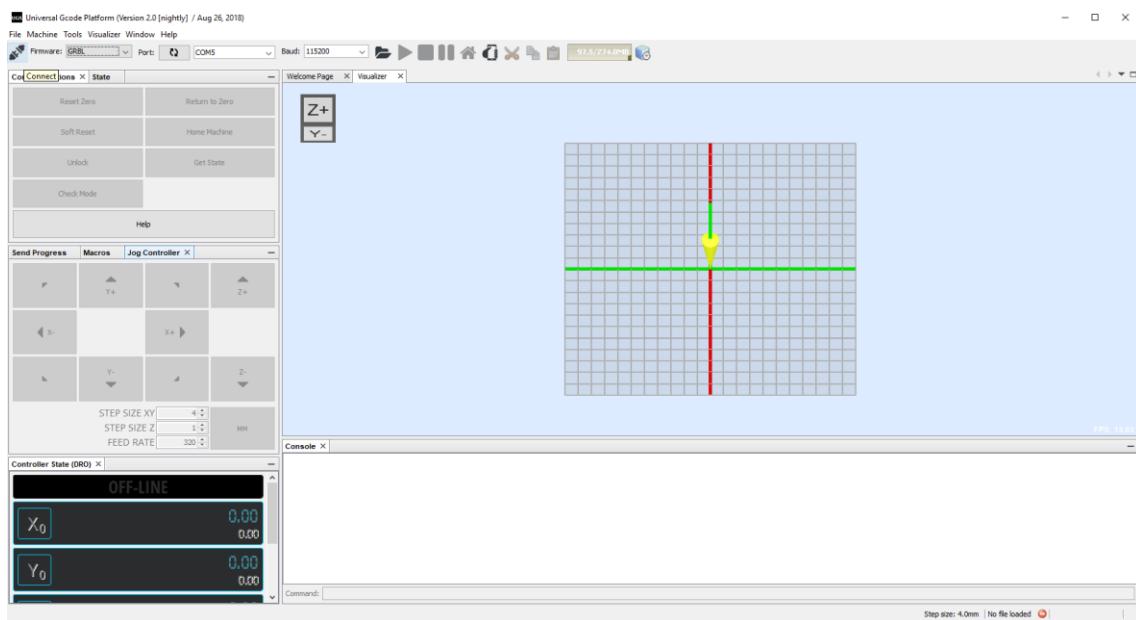
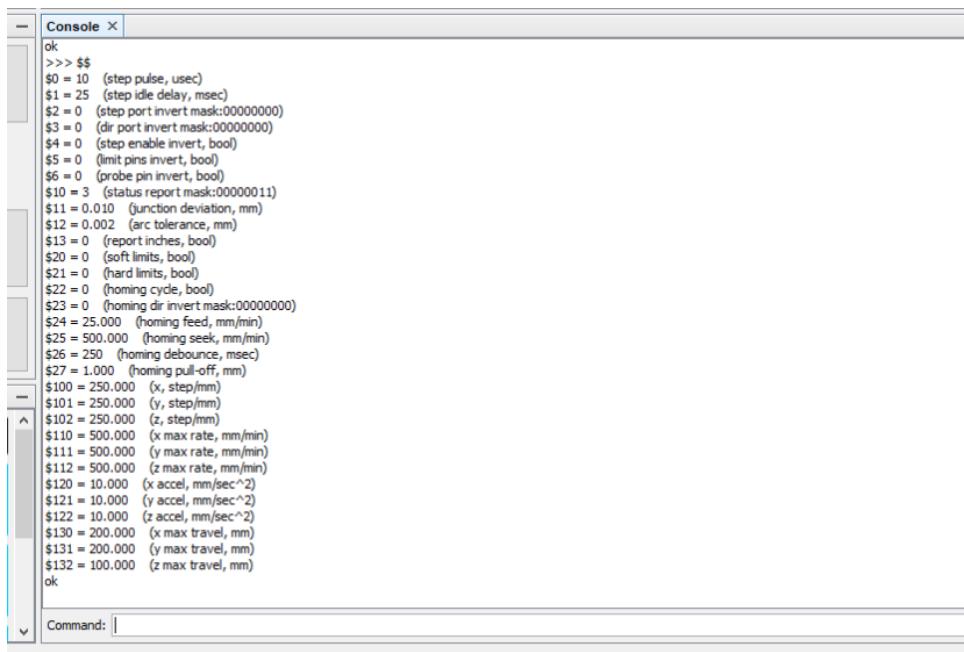


Figura 64. Universal Gcode Sender

En la imagen anterior se puede observar la pantalla de inicio de dicho programa. En él se realizan todas las configuraciones necesarias para conseguir un buen funcionamiento del prototipo.

En primer lugar y teniendo en cuenta que se ha conectado la placa de Arduino al ordenador con anterioridad, es necesario dar a la opción *connect* situada en la parte superior izquierda de la imagen.

Una vez se conecta el software se procede a realizar todos los cambios pertinentes en los parámetros del prototipo. Para ello es necesario escribir \$\$ en la ventana de comandos de la parte inferior de la imagen.



The screenshot shows a software interface titled "Console X". The main area displays a series of configuration commands for a GRBL controller. The commands include various parameters such as step pulse, idle delay, port invert mask, limit pins invert, probe pin invert, status report mask, junction deviation, arc tolerance, report inches, soft/hard limits, homing cycle, homing dir invert mask, homing feed, homing seek, homing debounce, homing pull-off, step/mm, max rate, and acceleration values for X, Y, and Z axes. The session ends with the "ok" command. At the bottom of the window, there is a "Command:" input field.

```
ok
>>> $$
$0 = 10  (step pulse, usec)
$1 = 25  (step idle delay, msec)
$2 = 0   (step port invert mask:00000000)
$3 = 0   (dir port invert mask:00000000)
$4 = 0   (step enable invert, bool)
$5 = 0   (limit pins invert, bool)
$6 = 0   (probe pin invert, bool)
$10 = 3  (status report mask:00000011)
$11 = 0.010 (junction deviation, mm)
$12 = 0.002 (arc tolerance, mm)
$13 = 0   (report inches, bool)
$20 = 0   (soft limits, bool)
$21 = 0   (hard limits, bool)
$22 = 0   (homing cycle, bool)
$23 = 0   (homing dir invert mask:00000000)
$24 = 25.000 (homing feed, mm/min)
$25 = 500.000 (homing seek, mm/min)
$26 = 250  (homing debounce, msec)
$27 = 1.000 (homing pull-off, mm)
$100 = 250.000 (x, step/mm)
$101 = 250.000 (y, step/mm)
$102 = 250.000 (z, step/mm)
$110 = 500.000 (x max rate, mm/min)
$111 = 500.000 (y max rate, mm/min)
$112 = 500.000 (z max rate, mm/min)
$120 = 10.000 (x accel, mm/sec^2)
$121 = 10.000 (y accel, mm/sec^2)
$122 = 10.000 (z accel, mm/sec^2)
$130 = 200.000 (x max travel, mm)
$131 = 200.000 (y max travel, mm)
$132 = 100.000 (z max travel, mm)
ok
Command: |
```

Figura 65. Ventana de comandos Universal Gcode Sender

Como se puede apreciar en la imagen aparecen una serie de comandos que corresponden con los diferentes parámetros del prototipo como por ejemplo velocidad de cada uno de los motores y los mm/ paso. El significado de los comandos se puede consultar en la página de Github GRBL [37].

Una vez se tenga la descarga de los programas y la configuración de los parámetros necesarios para que la máquina funcione correctamente es necesario la obtención de la imagen del logo de la Universidad en Gcode.

Para ello se tiene el programa Inkscape como se ha mencionado anteriormente.

En primer lugar, se abre el programa mencionado y se pincha en la opción importar.

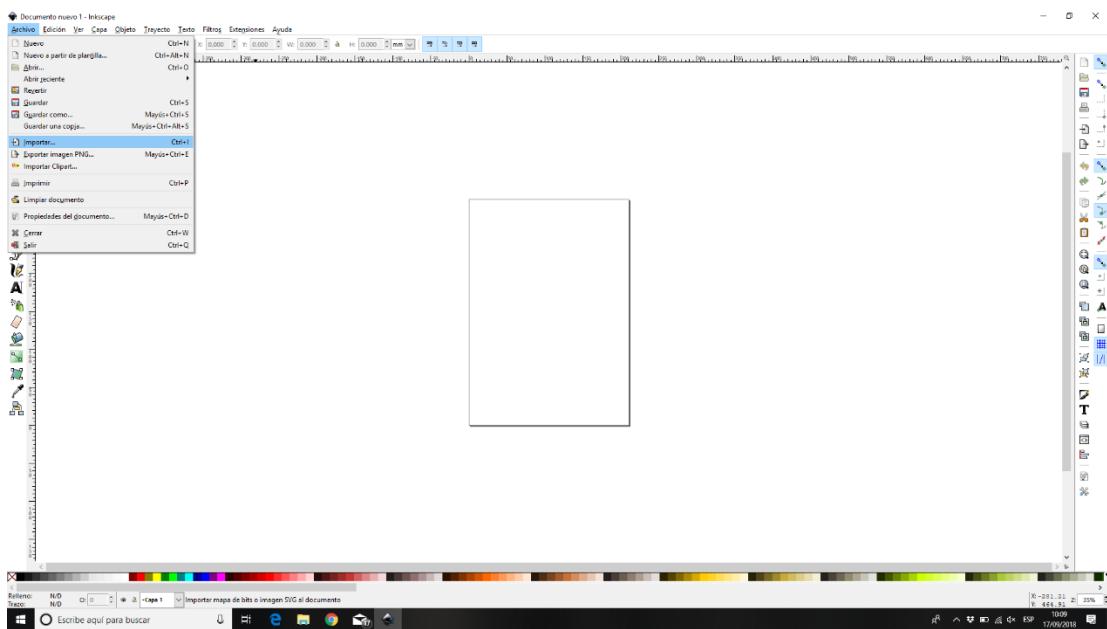


Figura 66. Opción importar Inkscape

Seguidamente se importa la imagen descargada previamente que en este caso es el logo de la Universidad Rey Juan Carlos.

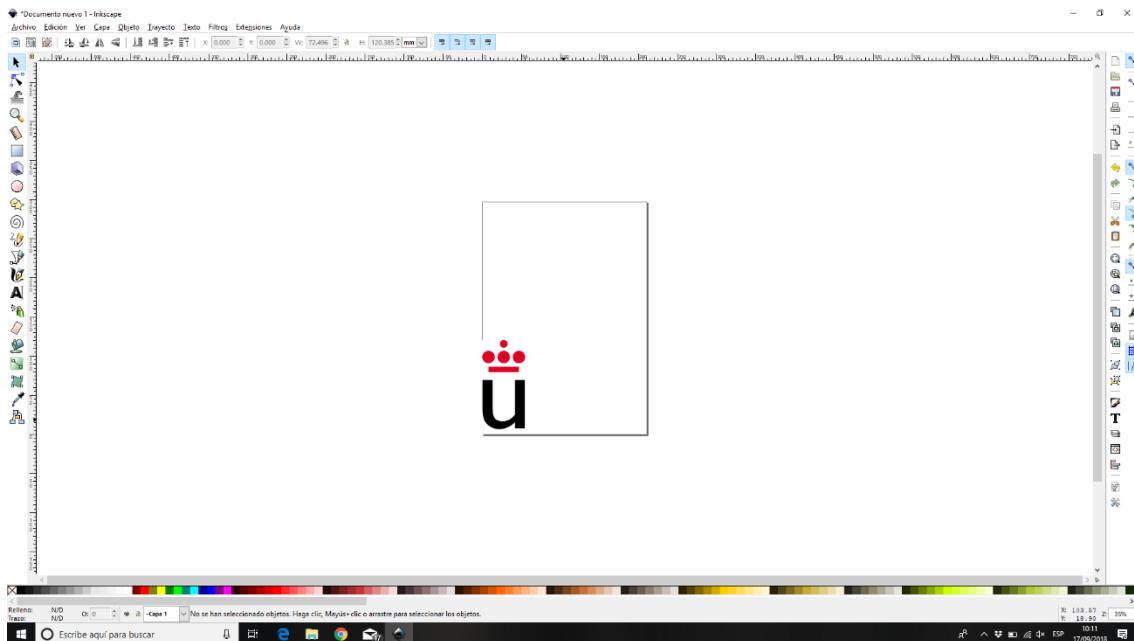


Figura 67. Logo importado Inkscape

El logo importado se configura en una posición determinada que en este caso es en la esquina inferior izquierda ya que se corresponde con la posición cero del programa responsable de poner en contacto el firmware GRBL con la imagen que se desea fresar a través del archivo generado por Inkscape en Gcode. Después se necesita vectorizar la imagen **Trayecto** → **Vectorizar mapa de bits**.

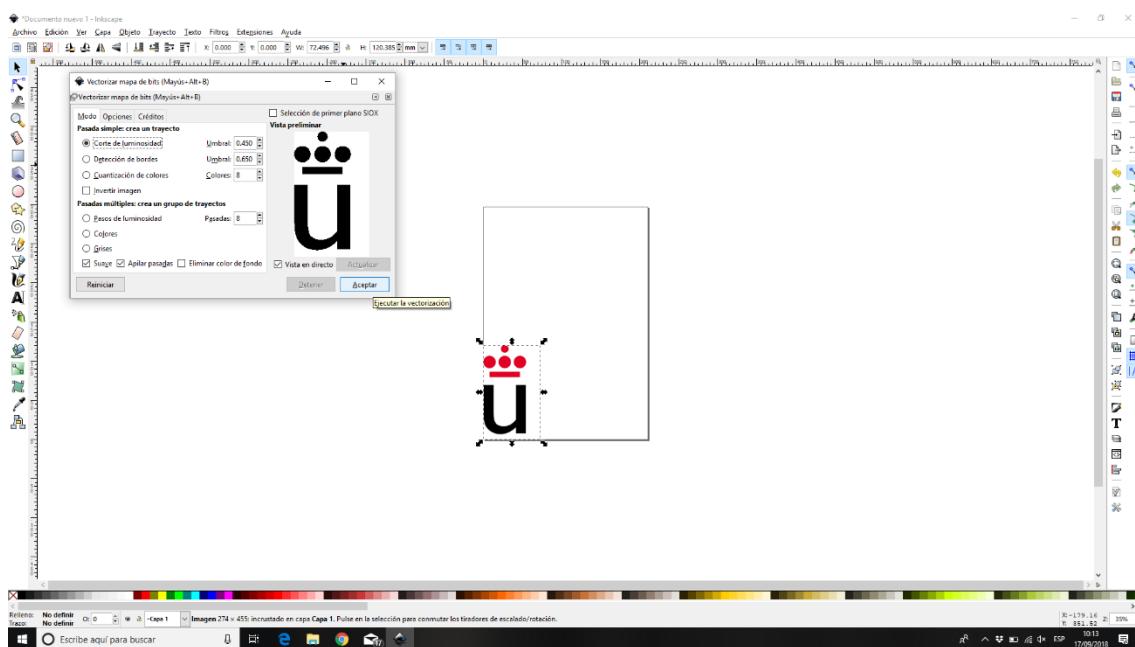


Figura 68. Opción vectorizar logo

Después se colocan los puntos de referencia de la imagen para que la máquina sepa en qué posición se encuentra y para configurar la profundidad a la que se quiere que se realice la operación de fresado.

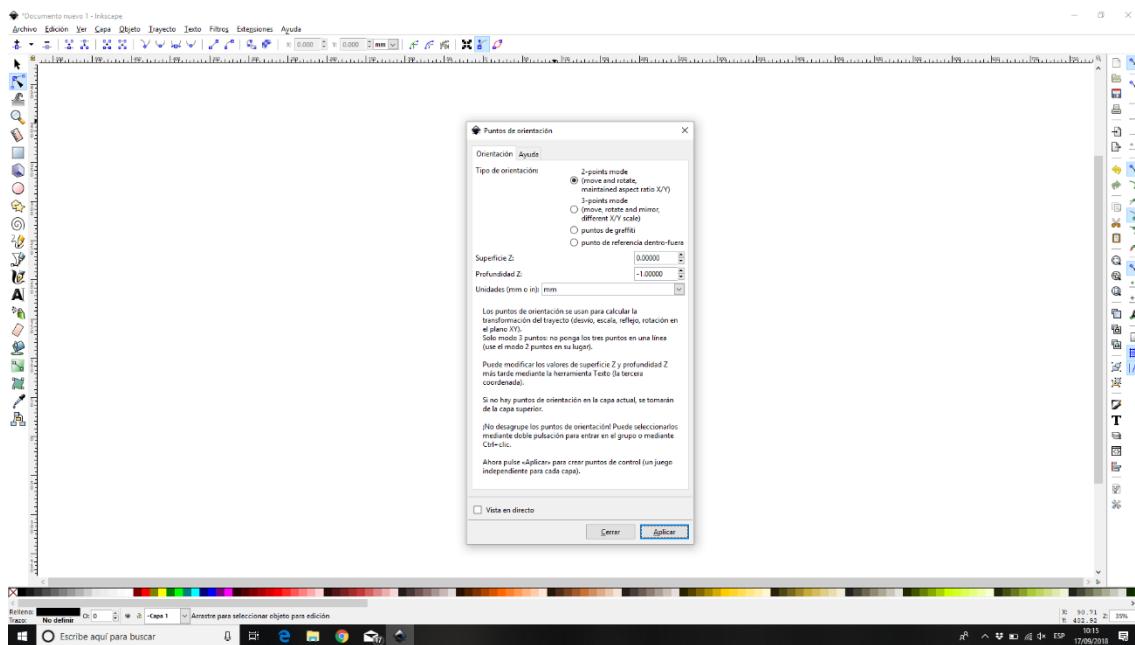


Figura 69. Puntos de orientación.

Seguidamente se procede a elegir la herramienta que es la responsable de realizar la operación.

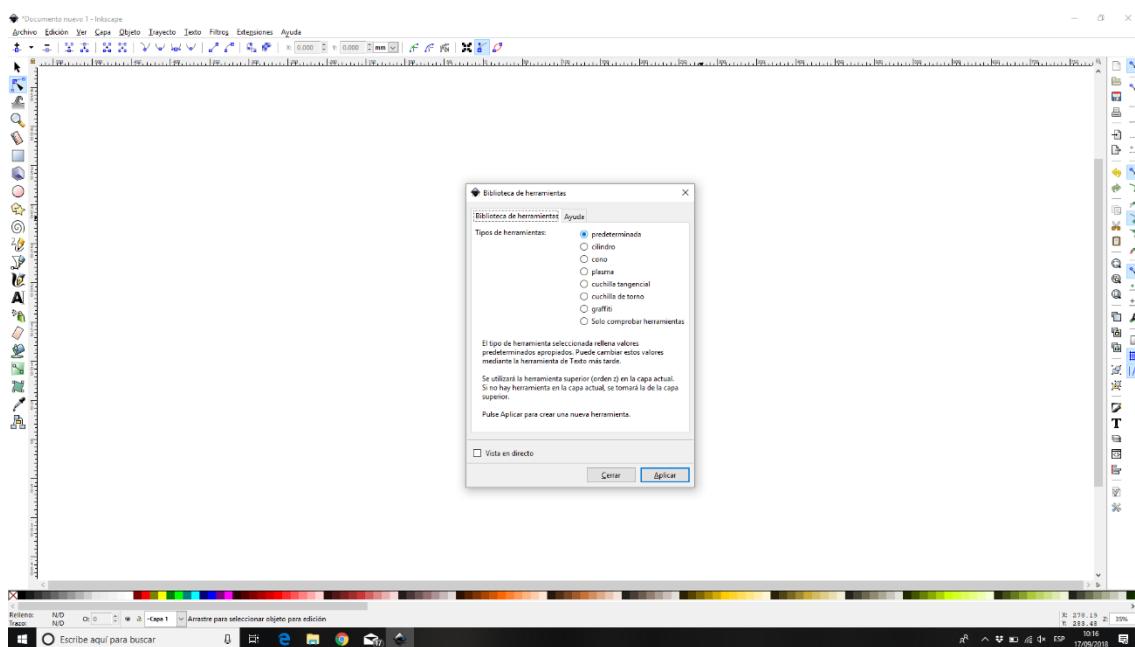


Figura 70. Selección de la herramienta

Como se puede observar en la imagen hay varias opciones de herramientas y en este caso se elige la circular que es lo que más se asemeja a la fresa.

El siguiente paso es seleccionar los parámetros de la operación, para ello **Extensiones → Gcode Tools → Biblioteca de herramientas.**

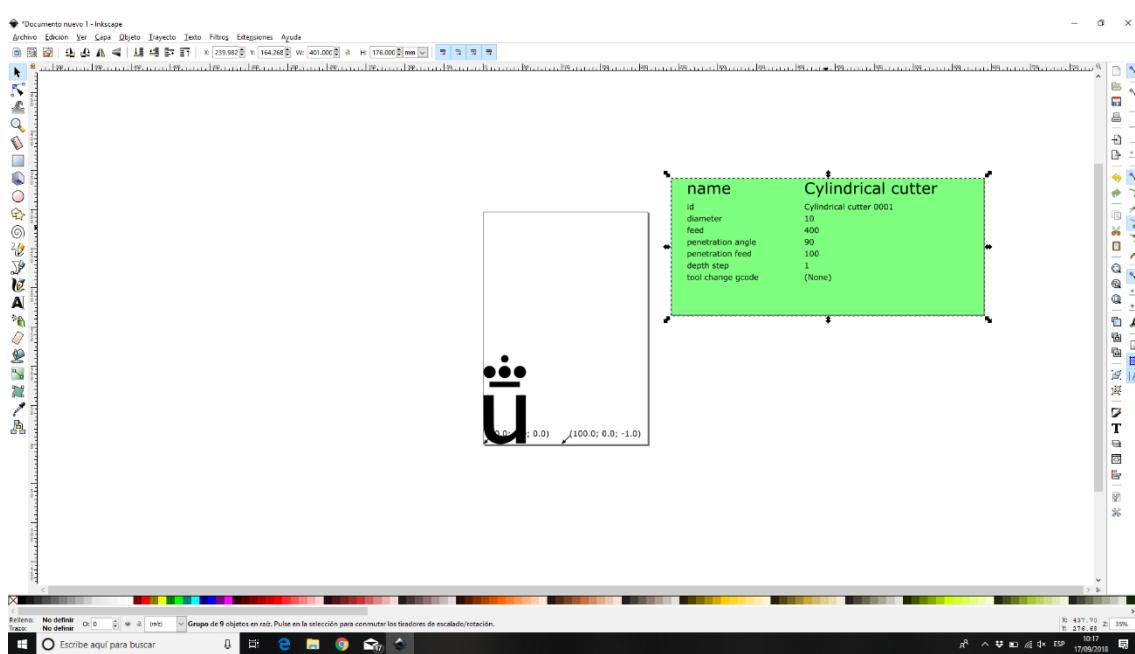


Figura 71. Selección de parámetros

Después es el momento de pasar la imagen a Gcode. Para ello se pincha en **Extensiones → Gcode tools → Trayecto a Gcode**

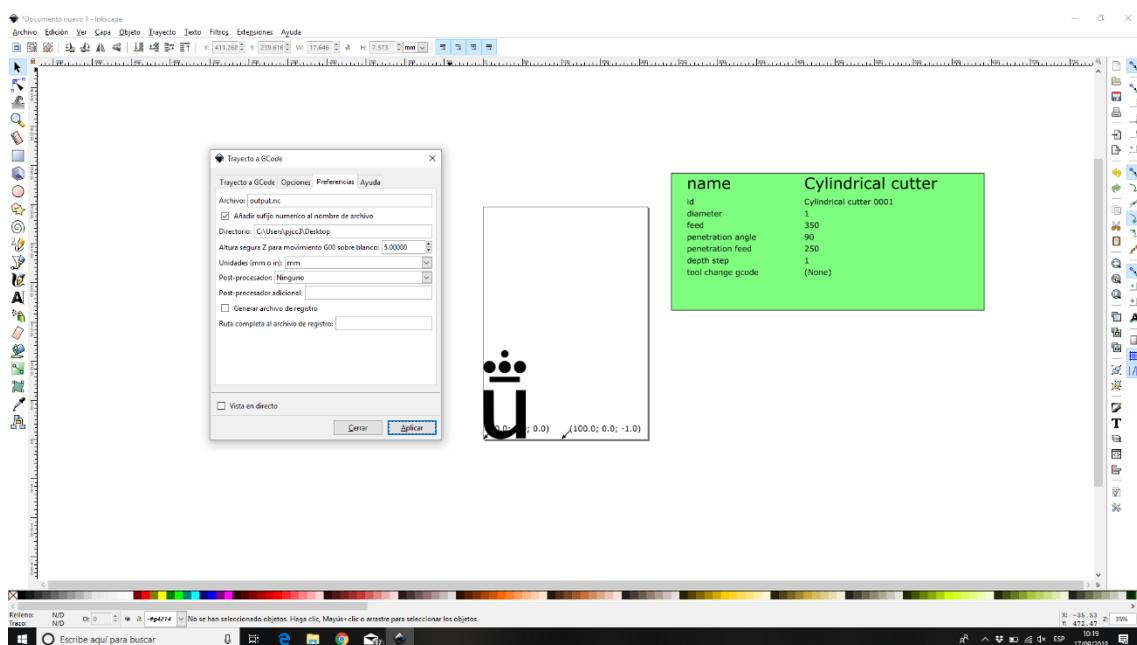


Figura 72. Trayecto a Gcode

El archivo que genera esta opción es ngc. Ese formato es entendido por el GRBL y por el Universal Gcode Sender que es el programa en el que se comienza la operación de fresado.

Para importar el archivo generado por el Inkscape al Universal Gcode Sender es necesario abrir el programa Universal Gcode Sender y pinchar en **File → Open Gcode file**.

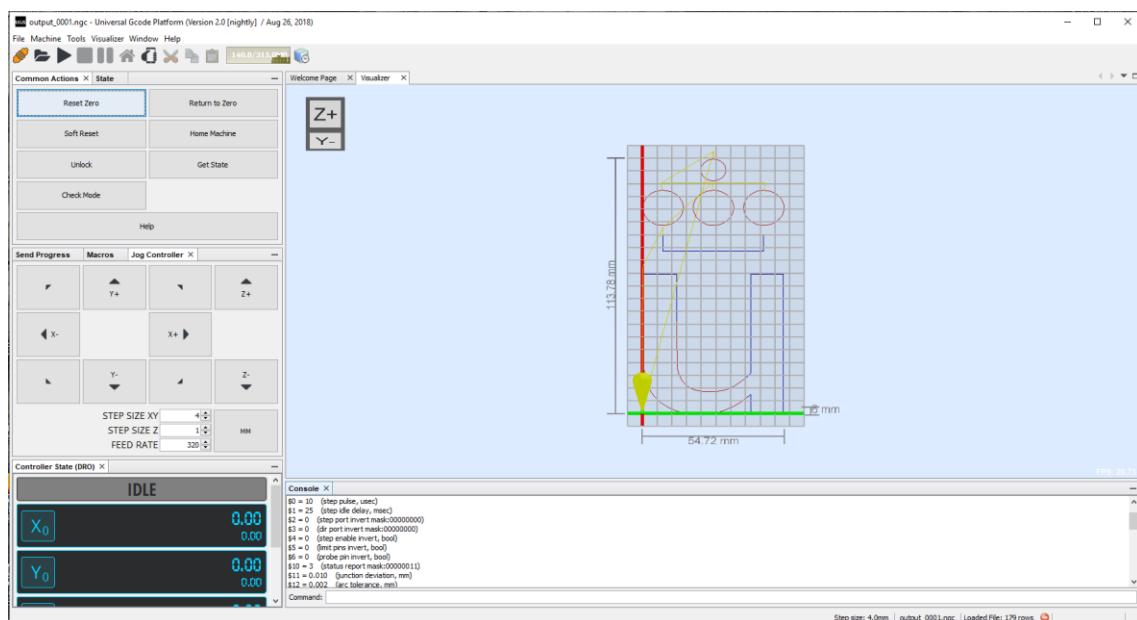


Figura 73. Imagen importada a Universal Gcode Sender

Una vez se abre el archivo de la imagen que se quiere fresar, es necesario colocar mediante este programa la herramienta en las coordenadas adecuadas para que comience a realizar la operación.

Para finalizar, en el Universal Gcode Sender se pincha en el botón de inicio situado en la parte superior izquierda y comienza la operación descrita.

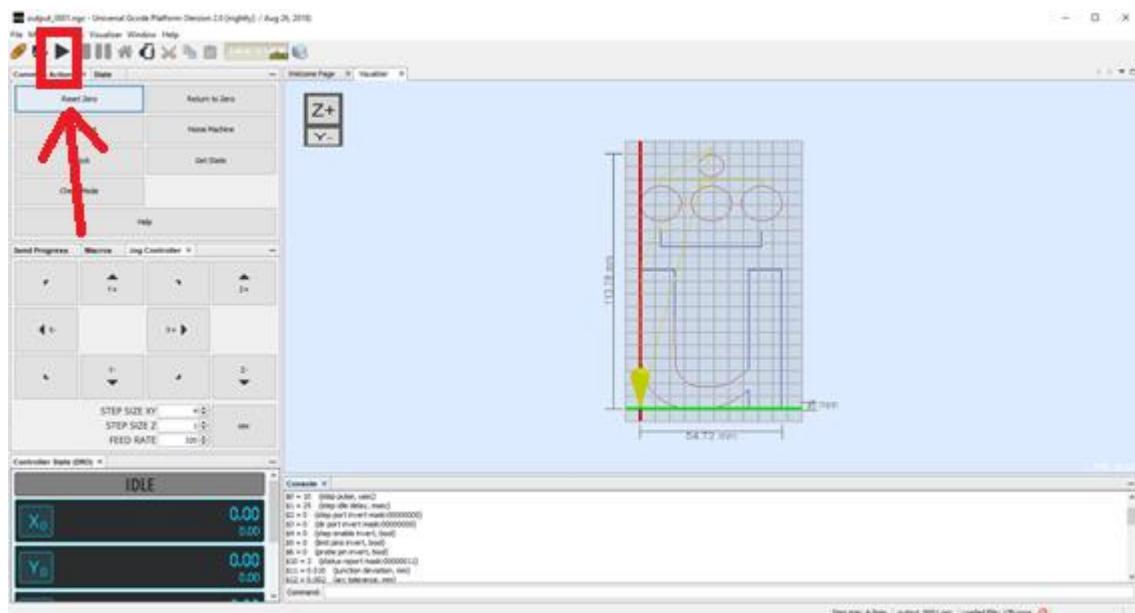


Figura 74. Señalización botón comenzar Universal Gcode Sender.

6.2 Código de familiarización con los motores paso a paso

En este apartado se muestra el código realizado para comprobar el correcto funcionamiento de los motores y con ello el de toda la electrónica montada y explicada en el [apartado 3.2.2.3](#).

```
int steps_x = 2;    //Posición del pin contador de pasos eje x
int direccion_x = 5; //Posición del pin dirección eje x
int enable = 8;     //Posición enable
int pasos = 200;   //Pasos de mi motor
```

```
void setup() {
  // Con esto me diferencia si el valor que he metido anteriormente pertenece a un pin o pertenece a
  // un valor dado
  pinMode(steps_x, OUTPUT);
  pinMode(direccion_x, OUTPUT);
  pinMode(enable, OUTPUT);

}
```

```
// La rutina que se repite cícicamente
void loop() {
    digitalWrite(enable,LOW); //el enable tiene lógica inversa, cuando está en LOW está activado

    digitalWrite(direccion_x, HIGH); //Direccion en un sentido
    //Se repite un bucle hasta final de carril.
    for (int i = 0; i<pasos; i++)    //Equivale al numero de vueltas (200 es 360º grados) o micropasos
    {
        digitalWrite(steps_x, HIGH);
        delay(1);
        digitalWrite(steps_x, LOW);//
        delay(1);

    }

    digitalWrite(direccion_x, LOW); //Direccion en otro sentido. Se repite el mismo procedimiento
    delay(1000);
    for (int i = 0; i<pasos; i++)
    {
        digitalWrite(steps_x, LOW);
        delay(1);
        digitalWrite(steps_x, HIGH);
        delay(1);

    }
}
```