

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE ELECTRICIDAD

IMPLEMENTACIÓN DE UNA CNC PARA LA FABRICACIÓN DE PROTOTIPOS PCB EN EL LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Trabajo de grado presentado ante la Universidad Técnica del Norte previo a la obtención
del título de grado de Ingeniero en Electricidad

AUTOR:

Lenin Andres Oliva Reinoso

Director:

Ing. Francisco Roberto Naranjo Cobo M.Sc

Ibarra – Ecuador

2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	040208894-2		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Lenin Andres Oliva Reinoso		
DIRECCIÓN:	Av. León Ruales y Gonzáles Suárez		
EMAIL:	laolivar@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0995325947

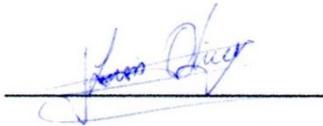
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	IMPLEMENTACIÓN DE UNA CNC PARA LA FABRICACIÓN DE PROTOTIPOS PCB EN EL LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
AUTOR (ES):	Lenin Andres Oliva Reinoso
FECHA: DD/MM/AAAA	04/07/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera en Electricidad
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Francisco Roberto Naranjo Cobo M.Sc

Constancia

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se desarrolló, sin violar derechos de autor a terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que se asume responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 13 días del mes de julio de 2023

EL AUTOR:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Lenin Andres Oliva Reinoso", is written over a horizontal line.

Lenin Andres Oliva Reinoso

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

Ing. Francisco Roberto Naranjo Cobo M.Sc

CERTIFICA

Que después de haber examinado el presente trabajo implementación elaborado por el señor estudiante: Oliva Reinoso Lenin Andres, certifico que se ha cumplido con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de implementación titulado "IMPLEMENTACIÓN DE UNA CNC PARA LA FABRICACIÓN DE PROTOTIPOS PCB EN EL LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE". Para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico: aprobado la defensa, impresión y empastado.


Ing. Francisco Roberto Naranjo Cobo M.Sc
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres y a mi esposa por todo su apoyo incondicional.

Agradecimiento

Agradezco de todo corazón a mis padres Luis Oliva y María Reinoso que con su amor y dedicación me apoyaron en todo momento tanto económicamente como emocionalmente.

Agradezco infinitamente a mi pareja que ha estado apoyándome incondicionalmente en todo momento durante esta etapa de formación académica. Finalmente, a mi amigo Lenin porque siempre estuvo ahí para darme su apoyo.

Tabla de Contenido

.....	4
Dedicatoria	5
Agradecimiento	6
INTRODUCCIÓN	17
A1. Contextualización	17
A2. Planteamiento del problema	19
A3. Justificación del problema	19
A4. Alcance del proyecto	20
A5. Objetivo General	21
A6. Objetivos Específicos	21
CAPÍTULO I	22
1.1 Circuito Impreso.....	22
1.1.1 Partes de un circuito impreso	22
1.1.2 Tipos de circuitos impresos	24
1.1.3 Métodos para la fabricación de circuitos impresos	25
1.2 Máquina CNC	26
1.2.1 Principio de funcionamiento.....	27
1.2.2 Tipos de sistemas computarizados de una máquina CNC.....	27
1.2.3 Sistema CAD/CAM.....	28
1.2.4 Software de control	29
1.2.5 Sistemas de transmisión de movimiento y sujeción.....	30
1.2.6 Actuadores y dispositivos de control.....	31
1.2.7 Ventajas y desventajas de un sistema CNC	33
1.2.8 Factores que favorecen la implementación de una máquina CNC.....	34

CAPITULO II	35
2.1 Metodología de desarrollo.....	35
2.2 Materiales	36
2.2.1 Motor Nema 17.....	36
2.2.2 Driver TB6560.....	37
2.2.3 Arduino Mega 2560	38
2.2.4 Conversor de PWM a Voltaje	38
2.2.5 Finales de Carrera.....	39
2.2.6 Fuente Conmutada.....	39
2.2.7 Motor Spindle de 500W	40
2.2.8 Perfil de aluminio 2040	40
2.2.9 Husillo de 4 hilos	41
2.2.10 Rodamientos lineales SCS8UU	41
2.2.11 Programas.....	42
2.3 Diseño Mecánico	42
2.3.1 Requerimientos	42
2.3.2 Parámetros técnicos para el cálculo de la potencia de corte	43
2.3.3 Diseño mecánico de los ejes	52
2.4 Diseño Eléctrico.....	72
2.4.1 Diagrama de bloques	72
2.4.2 Selección del motor Spindle	72
2.4.3 Selección del microcontrolador.....	73
2.4.4 Selección de motor paso a paso	75
2.4.5 Selección de Drivers.....	75
2.4.6 Esquema de conexiones eléctricas	76

2.5 Selección de programas	78
2.5.1 Código de control CNC.....	78
2.5.2 Software para la generación de código G.....	79
2.5.3 Selección del software de control	80
2.6 Modelación CAD.....	84
2.6.1 Diseño 3D del eje Z.....	84
2.6.2 Diseño 3D del eje X.....	85
2.6.3 Diseño 3D del eje Y.....	85
2.6.4 Diseño 3D del bastidor de la máquina	86
CAPÍTULO III	88
3.1 Construcción mecánica de los ejes.....	88
3.1.1 Construcción del eje Z.....	88
3.1.2 Construcción del eje X.....	90
3.1.3 Construcción del eje Y.....	91
3.2 Ensamble de la estructura	92
3.3 Montaje del sistema eléctrico.....	94
3.3.1 Conexión de drivers TB6560	94
3.3.2 Configuración de drivers.....	94
3.3.3 Conexión del Módulo Finales de Carrera.....	96
3.3.4 Montaje del sistema de control	98
3.3.5 Montaje de Protecciones	100
3.4 FlatCAM para la generación de código G	101
3.5 Software de control Candle.....	102
3.5.1 Autonivelado	102
3.5.2 Mapa de alturas.....	103

3.6 Pruebas y resultados	104
3.6.1 Pruebas de precisión.....	104
3.6.2 Pruebas de corte	106
3.6.3 Pruebas de fresado	107
3.6.4 Pruebas de perforado.....	112
3.7 Implementación del prototipo CNC	114
3.8 Análisis Económico.....	114
3.8.1 Costo de materiales para la estructura de la máquina CNC	114
3.8.2 Costo de materiales eléctricos del prototipo CNC.....	116
3.8.3 Costo total del prototipo CNC	118
CONCLUSIONES	119
RECOMENDACIONES	120
ANEXOS	121

Índice de Figuras

Figura 1. Islas de un circuito impreso.....	22
Figura 2. Pistas de un circuito impreso.	23
Figura 3. Textos de un circuito impreso.	24
Figura 4. Circuito impreso de una cara.	24
Figura 5. Circuito impreso de dos caras.....	25
Figura 6. Circuito impreso de multicapas.	25
Figura 7. Componentes de una máquina CNC.....	27
Figura 8. Ejes de una máquina CNC.....	30
Figura 9. Partes de un motor paso a paso.	31
Figura 10. Microcontrolador ABServo CNC – USB/RS232.....	33
Figura 11. Matriz espiral modificada.	35
Figura 12. Motor paso a paso Nema 17.....	37
Figura 13. Driver TB6560.....	37
Figura 14. Arduino Mega 2560 Rev3.	38
Figura 15. Convertidor de PWM a Voltaje Analógico 0-10V.	38
Figura 16. Final de carrera.....	39
Figura 17. Fuente Conmutada.	39
Figura 18. Motor Spindle.....	40
Figura 19. Perfil de aluminio 20x40mm.....	40
Figura 20. Husillo de 4 hilos para máquinas CNC.....	41
Figura 21. Rodamiento Lineal SCS8UU de 8mm.....	41
Figura 22. Sistemas de desplazamiento de una máquina CNC.	43
Figura 23. Diagrama de fuerzas del sistema de traslación vertical Z.....	53
Figura 24. Diagrama de momentos flectores y esfuerzos de corte de eje Z.	55
Figura 25. Sistema de traslación transversal X.	60
Figura 26. Diagrama de momentos flectores y esfuerzos de corte del eje X.	61
Figura 27. Sistema de traslación horizontal Y.	65
Figura 28. Diagrama de momentos flectores y esfuerzos de corte del eje Y.	67
Figura 29. Diagrama de conexiones eléctricas.....	77
Figura 30. Parámetros de calibración del firmware GRBL 1.1.....	79
Figura 31. Interfaz gráfica del software FlatCam.....	80
Figura 32. Interfaz gráfica del software Candle.....	81

Figura 33. Interfaz gráfica del software UGS.	82
Figura 34. Interfaz gráfica del software OpenCNC Pilot.	82
Figura 35. Modelo 3D del eje Z.	84
Figura 36. Modelo 3D del eje X.	85
Figura 37. Modelo 3D del eje Y.	86
Figura 38. Modelo 3D de los ejes de la máquina montados.	86
Figura 39. Base más rodamientos del eje Z.	88
Figura 40. Base del eje z con sus rodamientos y su tuerca.	89
Figura 41. Ensamble del eje Z.	89
Figura 42. Base del eje X más soportes del eje Z.	90
Figura 43. Soporte en L para tuerca T8.	91
Figura 44. Orificios para la sujeción de las placas PCB.	91
Figura 45. Ensamble del eje Y.	92
Figura 46. Perfil de aluminio tipo V 400x20x40.	92
Figura 47. Unión en L para perfiles de aluminio.	93
Figura 48. Ejes montados sobre bastidor.	93
Figura 49. Pines de conexión del driver TB6560.	94
Figura 50. Interruptores para configuración de corriente y pasos del driver TB6560.	95
Figura 51. Esquema del circuito para finales de carrera.	97
Figura 52. PCB para la conexión de finales de carrera.	97
Figura 53. Conexiones eléctricas del prototipo CNC.	98
Figura 54. Tablero de control del prototipo.	98
Figura 55. Shield de Arduino Nano.	99
Figura 56. Señal PWM 5V para control de velocidad del motor Spindle.	100
Figura 57. Protecciones eléctricas del prototipo CNC.	100
Figura 58. Menú de apertura de archivos del software FlatCAM.	101
Figura 59. Calculadora de diametro efectivo de corte.	101
Figura 60. Parámetros para el fresado de circuitos impresos.	102
Figura 61. Herramienta autonivelado del software Candle.	103
Figura 62. Herramienta Mapa de Alturas.	103
Figura 63. Corte de baquelita 1.3mm de espesor.	106
Figura 64. Resultado de corte a una velocidad de 45mm/min.	106
Figura 65. Resultado de corte a una velocidad de 40mm/min.	107

Figura 66. Resultado de fresado con broca de 0.1mm a 20°	108
Figura 67. Resultado de fresado con broca de 0.1mm a 30°	108
Figura 68. Prueba de fresado con pasos completos.	109
Figura 69. Prueba de fresado con medios pasos.	110
Figura 70. Prueba de fresado con octavos de paso.	110
Figura 71. Prueba de fresado con dieciseisavos de paso.	111
Figura 72. Prueba de fresado con varios anchos de pistas.	111
Figura 73. Prueba de fresado para componentes SMD.	112
Figura 74. Resultado de perforado con broca de 0.9mm de espesor.	112
Figura 75. Resultado de mecanizado de prototipo PCB.	113
Figura 76. Resultado del mecanizado de circuitos a 2 caras.	113
Figura 77. Prototipo CNC para la fabricación de prototipos PCB.	114

Índice de Tablas

Tabla 1 Velocidades de corte y avance	44
Tabla 2 Avance por diente.....	45
Tabla 3 Normalización de las profundidades de fresado	46
Tabla 4 Normalización de las presiones específicas de corte.....	48
Tabla 5 Cantidad admisible de viruta.....	49
Tabla 6 Características del motor Spindle	73
Tabla 7 Características de los microcontroladores	74
Tabla 8 Características del motor paso a paso Nema 17 SL42STH48-1504A.....	75
Tabla 9 Características del Driver TB6560	76
Tabla 10 Características de los microcontroladores	83
Tabla 11 Corrientes de trabajo del driver TB6560	95
Tabla 12 Micropasos del driver TB6560	96
Tabla 13 Resultados de precisión con un avance de 1mm.....	104
Tabla 14 Resultados de precisión con un avance de 10mm.....	105
Tabla 15 Costo de materiales para la estructura	115
Tabla 16 Coste de materiales eléctricos del prototipo CNC.....	116
Tabla 17 Coste total del prototipo CNC	118

RESUMEN

Los circuitos impresos tienen una gran cantidad de aplicaciones, permitiendo el funcionamiento óptimo de gran variedad de dispositivo eléctricos, por lo que su uso ha ido incrementando en los últimos años. Dentro de la Ingeniería, el diseño de los circuitos impresos ha representado todo un reto, ya que para su elaboración se usan métodos con una variedad de procesos físicos y químicos que resultan en muchas ocasiones peligrosos para la persona que los fabrica. Por lo que, en el presente trabajo se implementó una maquina CNC para la fabricación de prototipos PCB, en el laboratorio de Tecnología Eléctrica de la Universidad Técnica del Norte, con la finalidad de reducir el riesgo y tiempo de trabajo a la hora de producirlos. Para ello se utilizó el método en espiral donde se detallaron los requerimientos iniciales, se realizó el diseño de las partes tomando en cuenta los requerimientos iniciales, el cálculo de las fuerzas ejercidas sobre las partes de la máquina y la selección de materiales, de los cuales se seleccionó un microcontrolador ATmega 2560, drivers TBA6560 y para el apartado del software de control se usó Candle, ya que contiene buenas prestaciones y es de uso gratuito. Luego, se realizó la implementación del prototipo y pruebas de funcionamiento, donde se pudo obtener una resolución menor al 0.1mm, tanto para el fresado, perforado, corte y con la posibilidad de fabricar PCBs hasta de dos caras. Por lo tanto, se puede concluir que la implementación del prototipo permitió mejorar la fabricación de circuitos impresos en comparación a métodos tradicionales, con costos más bajos y con una buena precisión.

Palabras clave: Prototipo CNC, Mecanizado PCBs, ATmega 2560, Arduino, Candle.

ABSTRACT

Printed circuit boards have a large number of applications, allowing the optimal operation of a wide variety of electrical devices, so their use has been increasing in recent years. Within engineering, the design of printed circuits has represented a challenge, since for its elaboration methods are used with a variety of physical and chemical processes that are often dangerous for the person who manufactures them. Therefore, in the present work, a CNC machine was implemented for the manufacture of PCB prototypes in the Electrical Technology laboratory of the Universidad Técnica del Norte, in order to reduce the risk and work time when producing them. For this, the spiral method was used where the initial requirements were detailed, the design of the parts was made taking into account the initial requirements, the calculation of the forces exerted on the parts of the machine and the selection of materials, from which an ATmega 2560 microcontroller was selected, TBA6560 drivers and for the control software section Candle was used, since it contains good performance and free to use. Then, the prototype was implemented and tested, where it was possible to obtain a resolution of less than 0.1mm, both for milling, drilling, cutting and with the possibility of manufacturing PCBs up to two-sided. Therefore, it can be concluded that the implementation of the prototype allowed to improve the manufacture of printed circuit boards compared to traditional methods, with lower costs and good accuracy.

Keywords: CNC prototype, PCB machining, ATmega 2560, Arduino, Candle.

INTRODUCCIÓN

A1. Contextualización

Un fabricante de componentes para aviones en 1942 tenía algunos problemas con respecto al diseño de una pieza, por lo que calculó los puntos de trayectoria de la pieza y configuró una máquina automática para que sea capaz de resolver este problema. Algunos años más tarde un fabricante de hélices logró desarrollar un sistema que era capaz de leer las trayectorias en puntos y grabarlas en tarjetas para posteriormente mover los ejes de otra máquina, siendo estos personajes los precursores de las máquinas CNC. Más tarde, en 1953, se nombró a este método como "Control Numérico" por el MIT (Massachusetts Institute of Technology) (Burgos, F.; Michilena, 2015).

El control numérico por computador se hizo presente a finales de los años sesenta, donde este funcionaba gracias a programas almacenados en la memoria de un computador, además, permitía añadir funciones adicionales simplemente modificando el código base del programa, sin embargo, en aquellos tiempos el coste de los computadores era elevado así que se tenía un solo computador conectado a varias máquinas con un tiempo compartido para el funcionamiento de cada una, impidiendo la mejora en su eficiencia (García, Lagos, Urrego, & Delgado, 2009).

En los últimos años, la humanidad ha sido testigo del enorme cambio de las tecnologías y el avance que esto ha representado a la sociedad, con la construcción de máquinas y dispositivos inteligentes que ayudan a realizar tareas con una eficiencia superior, optimizando tiempo y recursos (Canga & Lamiña, 2016).

El circuito impreso o también conocido como PCB nació como respuesta a la necesidad de reducir los espacios que los cables y conexiones ocupaban dentro de un circuito, llegando de esta manera a remplazar los enormes espacios que estos provocaban, revolucionando drásticamente el área de la electrónica y acelerando aún más el avance tecnológico de nuestra civilización (Encalada Sotomayor, 2014).

La ventaja que ofrece una PCB es la gran cantidad de aplicaciones que se le puede dar y su capacidad para adaptarse al entorno ya sea en forma o tamaño, permitiendo un funcionamiento óptimo del dispositivo que las incorpore. Esta cualidad le ha permitido estar presente en todos los aparatos electrónicos de uso cotidiano, y de uso industrial (Encalada Sotomayor, 2014).

El diseño de los circuitos impresos ha representado todo un reto para la ingeniería, puesto que para su elaboración se usan una variedad de procesos físicos y químicos que resultan en cierto modo peligroso para el trabajador, y producen gran cantidad de desechos peligrosos para el medio ambiente, pero en la actualidad se opta por usar sistemas automatizados para este fin (Piquer, 2016).

Uno de estos sistemas, que ha sido de gran importancia estos últimos años, es el uso de una máquina de control numérico computarizado o más conocida como (CNC), que funciona básicamente controlando la posición del instrumento y su velocidad. Todo esto permite minimizar los trabajos manuales considerablemente, como es en el caso del diseño de circuitos impresos, otorgándonos una calidad y precisión que por otros métodos muy difícilmente se podría conseguir (Miranda, Alexander, Luces, & Kevin, 2019).

A2. Planteamiento del problema

Actualmente, los estudiantes encuentran muy complicado el automatizar el proceso de fabricación de circuitos impresos, los mismos que se usan para diferentes asignaturas de la carrera de Electricidad, ya que para fabricarlos se requiere equipos industriales que pueden llegar a alcanzar costos muy elevados, se ven forzados a usar un método alternativo como es el uso de ácido férrico para la eliminación del cobre sobrante de la baquelita, y de esta manera obtener las pistas que conformaran el circuito. Este método trae consigo varios problemas, uno de los más graves y que se presenta en la etapa final de su fabricación, es la poca presión y calidad de las pistas que se obtiene, demanda mucho tiempo y recursos ya que se debe repetir varias veces hasta obtener buenos resultados. Además, a la hora de realizar el perforado los orificios no siempre quedan bien centrados impidiendo el correcto montaje de los componentes electrónicos.

De igual forma, si este procedimiento no se lleva a cabo con extremo cuidado, este método de realizar circuitos impresos trae consigo riesgos para salud a largo plazo, como por ejemplo daños graves en la piel.

Formulación del problema

¿Cómo desarrollar un dispositivo que permita realizar circuitos impresos de una manera más eficiente, de tal manera que los estudiantes puedan fabricarlos con un alto grado de precisión reduciendo considerablemente el tiempo?

A3. Justificación del problema

Este tipo de máquinas que usan un sistema de control numérico para su funcionamiento, y que permiten automatizar el proceso que conlleva diseñar y construir PCBs, no son muy frecuentes encontrarlas en nuestro medio, debido a que se encuentran en el mercado a un elevado costo, por lo que las hace poco accesibles. Por lo general estos dispositivos vienen al mercado ecuatoriano desde China haciendo que la importación incremente su costo.

La implementación de una máquina CNC nace como respuesta a una necesidad específica que tienen los estudiantes, ya que necesitan un método que les ayude a optimizar la construcción de circuitos impresos con una gran versatilidad sin perder confiabilidad ni precisión en el resultado final del trabajo, este instrumento les permitirá

poner en práctica las ideas y proyectos eléctricos que estos se propongan, teniendo un bajo costo.

A medida que avanza la tecnología, en la automatización de procesos industriales, es necesario mejorar la calidad de los mismos con la ayuda de máquinas que sean capaces de usar un sistema de control numérico y reemplazar obsoletos y peligrosos métodos de fabricación, disminuyendo con ellas, casi por completo, los riegos y complicaciones que trae consigo la fabricación de una PCB con métodos tradicionales, además de contribuir al medio ambiente con la reducción de la contaminación ocasionada por los materiales resultantes de este proceso de fabricación

A4. Alcance del proyecto

El presente proyecto se basa en diseñar e implementar un prototipo de una máquina CNC mediante un sistema de control número para la fabricación de PCBs, que sea fácil de utilizar y que permita automatizar el proceso de fabricación que un circuito impreso trae consigo. La máquina estará diseñada para trabajar sobre baquelitas de 1 capa y con dimensiones de 200 x 200 mm, su estructura estará construida en aluminio y hierro para hacerla más económica, también tendrá una presión de 0,1mm y estará diseñada sobre un Arduino Mega 2560.

El cambio entre herramientas será de forma manual puesto que la cantidad de herramientas que se usan en el proceso de fresado es baja, haciendo que no sea necesario automatizar este proceso. Para el desplazamiento de los ejes utilizará motores paso a paso unipolares Nema 23, que cuentan con una resolución de 200 pasos por vuelta y un torque aproximando de 14 kg-cm razón por la cual, se instalará una fuente de voltaje de 12 V en corriente directa para su alimentación.

A5. Objetivo General

Implementar una CNC para la fabricación de prototipos PCB, utilizando microcontroladores para el control numérico, en el laboratorio de Tecnología Eléctrica de la Universidad Técnica del Norte.

A6. Objetivos Específicos

- Describir los fundamentos técnicos y tecnológicos del funcionamiento de una máquina CNC, así como las partes que la componen.
- Diseñar la máquina CNC para fresado y perforado de circuitos impresos.
- Implementar la máquina CNC en el laboratorio de Tecnología Eléctrica.

CAPÍTULO I

Fundamentos técnicos y tecnológicos

En este capítulo se presentarán conceptos básicos sobre: una máquina fresadora (CNC) y su funcionamiento, las partes que componen un PCB (Printed Circuit Board) y los métodos para su fabricación.

1.1 Circuito Impreso

En electrónica, el circuito impreso o por sus siglas en inglés (Printed Circuit Board, PCB), es un elemento que está compuesto por pistas o caminos de un material que conduce la electricidad, por ejemplo, el cobre. Estas pistas están construidas sobre una base no conductora de material aislante que se fabrica a base de resinas, fibra de vidrio reforzado, baquelita, teflón o polímeros.

1.1.1 Partes de un circuito impreso

Islas

Son el área de un circuito impreso generalmente de cobre, que permite la sujeción de los componentes electrónicos a la placa y pueden ser circulares o cuadradas. Existen dos tipos de islas: en primer lugar, están las que permiten introducir los componentes a través del PCB; de tal manera que los terminales de los componentes electrónicos sobresalgan por la cara opuesta y se pueda realizar una soldadura para fijarlos. Finalmente, están islas para componentes SMD (Surface Mount Device) que estas diseñadas de tal manera que los componentes electrónicos se suelden en la misma cara (Knack, 2020).

En la Figura 1 se muestra cómo se una isla de un circuito impreso a una cara.

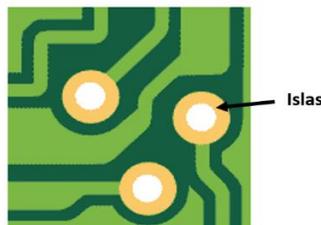


Figura 1. Islas de un circuito impreso.
Fuente: (Llamas, 2021)

Pistas de cobre

Se definen como caminos que permiten la conexión entre islas y componentes eléctricos que conforman un PCB como se muestra en la Figura 2. Generalmente el ancho de estas pistas puede ser variable dependiendo de la cantidad de corriente que pasará por ellas. Es importante tomar en cuenta que, cuando se trabaja en altas frecuencias, es necesario realizar un correcto dimensionamiento para que no cause problemas de impedancia en el recorrido (Mardiguian, 2014).

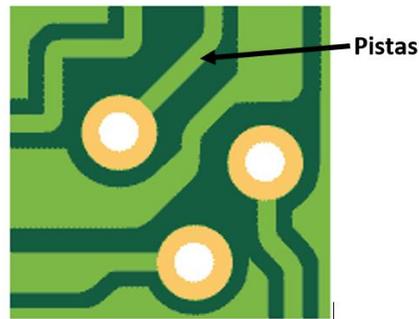


Figura 2. Pistas de un circuito impreso.
Fuente: (Llamas, 2021)

Lado de componentes

En un circuito impreso tradicional, la cara que no tiene material conductor se la conoce como *lado de componentes* y es donde se apoyan los componentes permitiendo que se sujeten por el lado opuesto.

Lado de soldaduras

Es la cara de un PCB donde se realizan las soldaduras de los componentes electrónicos con las islas, para que estos queden fijos.

Texto e inscripciones

En muchas ocasiones en circuitos de producción industrial se pueden encontrar ciertas inscripciones por el lado de los componentes. En la Figura 3 se muestra textos que contienen información sobre los componentes que se montarán y los valores que estos tendrán.

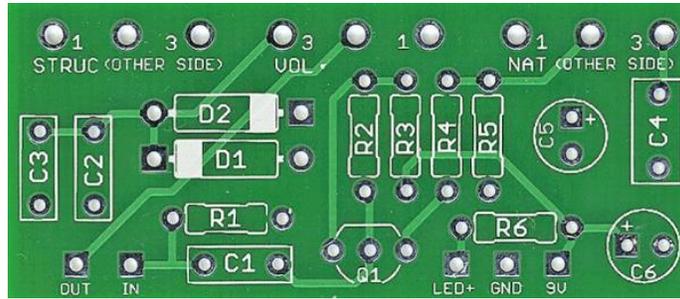


Figura 3. Textos de un circuito impreso.
Fuente: (Parejo, 2021)

1.1.2 Tipos de circuitos impresos

Circuito impreso de una cara

Se le conoce de esta manera porque solo tiene una capa conductora; este tipo de placas tienen sus limitaciones puesto que las pistas no se pueden cruzar entre sí y es necesario el uso de puentes. Esto da como resultado una producción de circuitos más simples y primitivos con mayor tamaño, como se observa en la Figura 4.

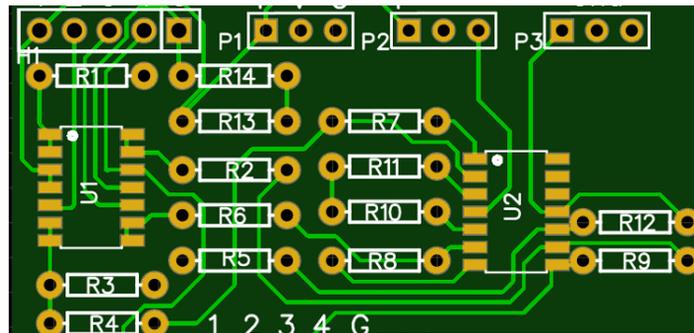


Figura 4. Circuito impreso de una cara.
Fuente: (Ashish, 2020)

Circuito impreso de dos caras

Se le llama así porque contiene pistas conductoras en ambos lados del circuito impreso, que puede o no tener una conexión física llamada "vía". La vía se define como un agujero recubierto con material conductor que generalmente es de cobre y será el medio para que las capas se conecten entre sí. Esta característica permite realizar tarjetas más complejas (Moko Technology, 2019).

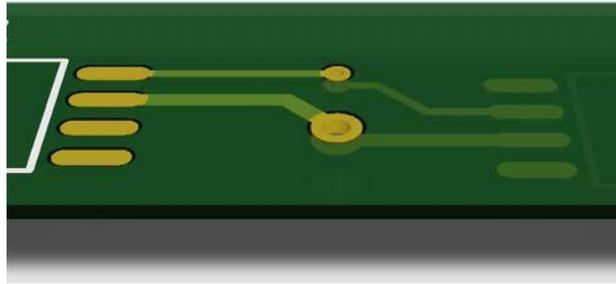


Figura 5. Circuito impreso de dos caras.
Fuente: (Cohen, 2021)

Circuito Impreso multicapas

Con el fin de optimizar espacio y recursos, se diseñan circuitos con varias láminas conductoras conectadas entre sí que normalmente suelen ser de 4 u 8 capas, pero pueden llegar hasta un máximo de 100. Sin embargo, el coste y complejidad en su fabricación es el principal motivo por el cual no se fabrican de forma casera. (Moko Technology, 2019).

Por lo general, todas las capas están conectadas entre sí, pero en ocasiones y dependiendo del diseño solo puede existir conexión entre algunas de ellas. Las placas PCB multicapas destinan dos de sus capas como entrada de alimentación y tierra como lo muestra la Figura 3. Además, pueden existir capas con diferentes niveles de voltaje.

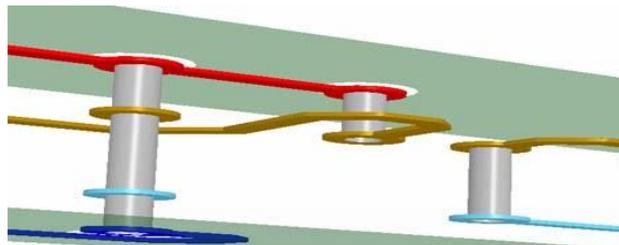


Figura 6. Circuito impreso de multicapas.
Fuente: (Cohen, 2021)

1.1.3 Métodos para la fabricación de circuitos impresos

La fabricación de circuitos impresos es realizada por un ingeniero eléctrico o electrónico que conozca del tema, ya sea de manera automatizada o artesanal. Es importante destacar que la producción automatizada permite una producción en masa y con grandes beneficios económicos (FADESA Ingenieros, S.L., 2022).

Serigrafía

Un método muy común cuya práctica perdura hasta la actualidad se trata del método basado en la serigrafía, el cual se caracteriza por la utilización de tinta para marcar las pistas sobre el cobre y el uso de ácidos para retirar el excedente de material conductor de la superficie de la placa. Existen tintas conductoras especiales que pueden ser aplicadas en placas no conductoras (ELATE, SA, 2019).

Fotograbado

El método de fotograbado hace uso de una técnica llamada fotomecánica que consiste en obtener plantillas en negativo y en conjunto con el grabado químico eliminan el cobre excedente de la tarjeta. La fotomecánica utiliza un dispositivo llamado fotoplotter para la fabricación de los negativos a partir de datos que son generados por programas de diseño y edición de circuitos impresos. En algunas ocasiones se imprimen transparencias sobre una lámina con impresoras láser para utilizarlas como foto-herramienta, sin embargo, este método tiene una baja calidad en el terminado (García, 2021).

Fresado de circuitos impresos

El fresado es una de las alternativas más viables a la hora de construir tarjetas electrónicas, ya que utiliza una máquina CNC de 2 o 3 ejes para retirar el cobre de la superficie del circuito que no se desea, para ello se emplea un cabezal de fresado con brocas especiales que realizan las pistas, el corte y perforado de las tarjetas. (InfoPLC, 2020).

1.2 Máquina CNC

Es un dispositivo que funciona mediante un control numérico por computadora creado con el propósito de trabajar diferentes tipos de materiales ya sea: madera, metal, MDF, plásticos, entre otros. Este dispositivo permite crear o modelar piezas a partir de modelos creados por un ordenador, alcanzando un nivel superior de precisión y calidad. Además, automatiza los procesos de producción y mejorar el rendimiento (Salvador, 2020).

El control numérico por computadora en un dispositivo CNC tiene la capacidad de dirigir el posicionamiento de un objeto físico móvil mediante órdenes preprogramadas y de manera automática, se basa en una entrada de datos numéricos en tiempo real. Para este

procedimiento se toman en cuenta los datos de entrada en coordenadas que especifican el movimiento que realizará la herramienta móvil (Centric, 2021).

1.2.1 Principio de funcionamiento

El funcionamiento de una máquina CNC se basa en el control de movimiento de la herramienta de trabajo con referencia a sus ejes de coordenadas; esto se logra mediante un programa informático que será ejecutado por un ordenador. En el caso de máquinas fresadoras para placas PCB se necesita un alto grado de precisión en el movimiento de la fresa.

Los movimientos que realiza el cabezal de trabajo son: longitudinales para el eje X, transversales para el eje Z y verticales para eje Y, los ejes son accionados por tornillos giratorios y estos a su vez están acoplados a motores paso a paso o servomotores como se observa en la Figura 7. Todo este conjunto de piezas móviles usa un control numérico computarizado y un microcontrolador para su funcionamiento (INTER 200, S.L.U, 2021).

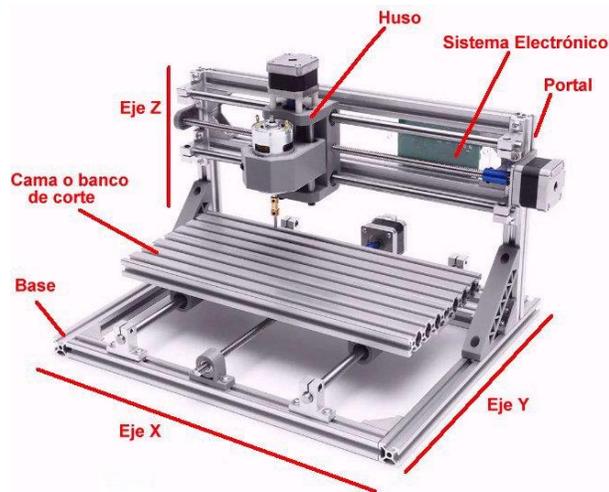


Figura 7. Componentes de una máquina CNC.
Fuente: (Garcia, 2020)

1.2.2 Tipos de sistemas computarizados de una máquina CNC

Control numérico directo

El control número directo (DNC) es un sistema que puede controlar varias máquinas de manera simultánea, ya que están conectadas directamente a un ordenador central. Sin embargo, algunos microcontroladores tienen poca memoria disponible y no permiten

almacenar el programa de mecanizado, por lo tanto; se debe almacenar de manera separada en el computador y enviar los comandos bloque por bloque directamente hacia la máquina (Grupo DESISA, 2022).

Control numérico computarizado

Se le conoce a este como un sistema en el cual una microcomputadora que forma parte de la máquina CNC. En este caso y a diferencia del anterior, el programa con el cual se trabaja puede ser previamente preparado desde un lugar remoto y puede tener incorporado la información del software, tanto de diseño como también de simulaciones anteriores (Autycom, 2020).

Una característica que tiene el control numérico computarizado es que el operador también puede de manera sencilla ingresar datos o programar la computadora que está integrada en la máquina. Además, este tiene la capacidad de modificar los programas previamente guardados por un sistema CAD/CAM.

1.2.3 Sistema CAD/CAM

Diseño Asistido por Computadora (CAD)

Se define como un sistema que facilita el diseño y modelamiento de objetos 2D y 3D, a través de un proceso donde se especifica a detalle las características técnicas que tendrá el objeto. Este sistema permite simular y estudiar el comportamiento del objeto previo a su construcción mientras se le realizan correcciones. Posteriormente, todos los planos resultantes son enviados a un sistema CAM para su desarrollo (Mallea, 2018).

Fabricación Asistida por Computadora (CAM)

El sistema CAM (Computer-Aided Manufacturing) fue creado con el propósito de controlar máquinas y herramientas de un torno o fresadora CNC mediante un sistema CAD que contenga las trayectorias e instrucciones del objeto a mecanizar, permitiendo de esta manera la automatización de procesos con un mejor índice de eficiencia (Mallea, 2018).

Ventajas y Desventajas de un sistema CAD/CAM

El uso del sistema CAD/CAM ha permitido simplificar procesos de producción en la manufactura de piezas, puesto que solo se necesita que la persona que está a cargo de

supervisar el proceso de fabricación especifique los parámetros de mecanizado y el software se encargará de transformar estos parámetros en un código de computadora que la máquina pueda comprender.

Entre las principales ventajas que ofrece trabajar con un sistema CAD/CAM, están:

- Costes en personal reducidos significativamente, ya que al tratarse de un sistema automatizado se requiere de una intervención mínima.
- El poco personal que interviene representa una ventaja adicional; representada por la disminución en el riesgo de accidentes haciendo que el ambiente de trabajo sea más seguro.
- La mayor precisión en la fabricación de una pieza permite crear objetos con un mayor grado de complejidad.
- Desperdicio de materia prima mucho menor en comparación a los métodos tradicionales de fabricación, puesto que cada vez que se realiza un objeto se usa la cantidad justa de material.
- Permite hacer cambios en el diseño simplemente modificando el archivo CAD sin la necesidad de empezar el proyecto desde cero.
- El uso de este sistema en la automatización incrementa la rentabilidad de los procesos de manufactura porque ofrece un mejor despiece en un tiempo más corto (Ferros Planes, 2019).

Sin embargo, este sistema también presenta las siguientes desventajas:

- Se necesita que el operador este preparado profesionalmente y tenga conocimientos sobre el uso correcto de la maquinaria.
- Tiene un costo de inversión considerablemente más alto en comparación a otro tipo de maquinaria o instrumentos.
- Los componentes del sistema pueden llegar a ser complejos de utilizar en una primera instancia.

1.2.4 Software de control

Es el programa que se encarga de transformar la información del CAD en código G, mismo que la computadora es capaz de comprender y transferir hacia las tarjetas

programables, permitiendo que los ejes se desplacen hacia las diferentes posiciones y de esta manera el cabezal de trabajo realice el mecanizado del objeto o del PCB.

Actualmente, existen varios softwares para este propósito como, por ejemplo: Universal G-Code, Inkscape, OpenBuilds CAM, FlatCam, por mencionar algunos (Caleb Favela, 2022).

1.2.5 Sistemas de transmisión de movimiento y sujeción

Los sistemas de transmisión de movimiento son partes imprescindibles de una máquina CNC, ya que son los encargados de transmitir el movimiento entre dos o más elementos dentro de la estructura móvil de la máquina. Todas las máquinas CNC tiene dos o más grados de libertad llamados ejes, cada eje o grado de libertad puede ser lineal o rotacional, entre más ejes tiene una máquina más compleja es o tiene mayor capacidad de realizar piezas complejas.

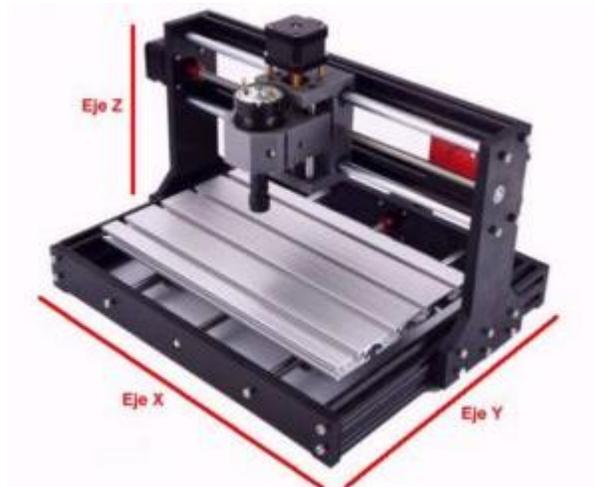


Figura 8. Ejes de una máquina CNC.
Fuente: (Garcia, 2020)

Los ejes de las máquinas CNC fundamentalmente se encargan principalmente del movimiento que hace la herramienta para realizar el proceso de manufactura. (Piquer, 2016) Tomando en cuenta el trabajo al que está destinada una máquina CNC para fabricación de prototipos PCB, necesitará contar con al menos tres ejes principales, los cuales estarán distribuidos de la siguiente manera: dos para el posicionamiento de la pieza y el tercer eje para la herramienta de frezado como se observa en la Figura 8 (Lynch, 2022).

A estos ejes se les asigna letras para identificarlos; a los ejes lineales se les asignan las letras X, Y y Z, y los ejes rotacionales tendrán letras asignadas A, B y C.

1.2.6 Actuadores y dispositivos de control

Son dispositivos encargados de generar movimiento para los diferentes mecanismos de una máquina CNC, como por ejemplo los motores. A continuación, se detalla el funcionamiento de un motor eléctrico paso a paso.

Motor paso a paso

Es un dispositivo electromecánico que se puede definir como un motor DC sin escobillas, son capaces de realizar un giro mediante un número determinado de pasos, normalmente una vuelta completa de 360° contiene un total de 200 pasos, convirtiendo a estos motores en ideales para trabajos donde se requiere mucha precisión.

Están constituidos principalmente de un estator, que es la parte que se queda inmóvil y contiene los devanados de referencia, un rotor con un gran número de polos que gira en función de los pasos que sean enviados por un microcontrolador.

Se caracterizan por que el movimiento de este motor es síncrono y la alimentación debe ser cíclica en sus fases para originar un cambio de posición en el rotor (ORIENTALMOTOR, 2021).

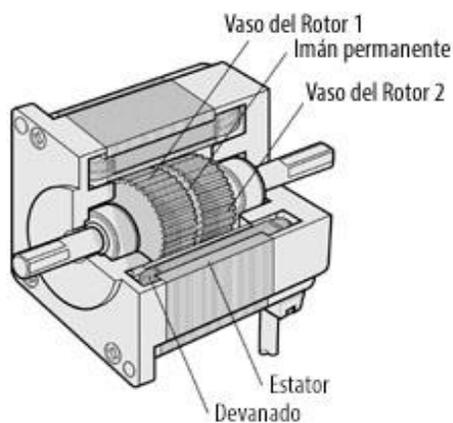


Figura 9. Partes de un motor paso a paso.

Fuente: (ORIENTALMOTOR, 2021)

El control de estos motores se realiza a través de circuitos digitales que envían las señales a los dispositivos de control y estos a su vez a los devanados del motor produciendo

movimiento. Se puede encontrar varias formas para operar estos motores mediante: pasos enteros, medios pasos y micro pasos.

El control mediante paso completos consiste en una variación de la corriente en las fases del estator, haciendo que este gire en pasos completos y disponga del torque nominal que es capaz de entregar el motor; como se mencionó anteriormente si un motor consta de 200 pasos para completar un giro de 360° un paso completo equivaldría a 1.8° de movimiento.

Cuando se habla de medios pasos, se refiere a que el motor realizará movimientos a la mitad de un paso normal, lo que significa que si un paso es 1.8° , entonces un medio paso sería 0.9° de movimiento, permitiendo tener una mayor resolución, pero disminuyendo el torque de trabajo (T.E.M, 2020).

Cuando un motor opera a micro pasos significa que se están alimentando a varias fases simultáneamente con leves variaciones en la corriente, con la finalidad de que la posición del entrehierro del rotor se puede fijar en cualquier lugar. Esto permite tener un aumento considerable de la resolución, pero el torque se reducirá considerablemente, por lo que es recomendable usarlo en aplicaciones donde el movimiento sea suave y no requiera de mucho esfuerzo.

Microcontrolador de una máquina CNC

Es un dispositivo electrónico programable con millones de transistores en su interior en arreglos muy complejos, que se encargan de procesar e interpretar los datos enviados por el computador y con esta información controlar los distintos dispositivos de movimiento acoplados a la máquina.

Los microcontroladores son capaces de realizar varias tareas simultáneamente y de manera eficaz para su programación, conexión con el computador y periféricos cuenta con diferentes puertos dependiendo del modelo y el fabricante, estos pueden ser: puerto serie, ethernet, I2C, SPI, entre otros.

En la Figura 10 se puede observar una tarjeta de control basada en un microcontrolador típico usado en máquinas CNC de uso industrial.



Figura 10. Microcontrolador ABServo CNC – USB/RS232.
Fuente: (Castro, 2021)

1.2.7 Ventajas y desventajas de un sistema CNC

Un sistema CNC tiene una gran variedad de ventajas y sumado al desarrollo de nuevas tecnologías ha hecho que su popularidad vaya incrementando en los últimos tiempos, sin embargo, existen ciertas desventajas a tomar en cuenta antes de implementarlo

Ventajas

- Mejor calidad en el terminado del producto, debido a la alta precisión de mecanizado con la que estos dispositivos cuentan.
- Al ser una máquina controlada por computadora existe la posibilidad de poder controlar varios equipos simultáneamente.
- Riesgo para el operador significativamente más bajo.
- Posibilidad de realizar simulaciones de los procesos antes de la mecanización definitiva (Hüseyin, 2019).

Desventajas

- Costo de adquisición de equipos considerablemente elevados.
- Costo de mantenimiento medianamente elevado.
- Para que exista un aprovechamiento de los recursos es necesario tener un personal con un nivel de preparación y conocimiento adecuado (Hüseyin, 2019).

1.2.8 Factores que favorecen la implementación de una máquina CNC.

- Bajo costo en el mecanizado de piezas complejas.
- Demanda de piezas con alto grado de precisión.
- Reducción de errores en el proceso de fabricación y menor pérdida de materia prima, hace que las piezas resultantes no encarezcan.

Una maquina CNC controlada por un microcontrolador, permite realizar gran variedad de trabajos, entre los cuales destaca la elaboración de circuitos impresos mediante un proceso de mecanizado, donde se puede realizar tanto las pistas, corte y perforado de un prototipo PCB con resultados de gran calidad, además permite una producción rápida y segura en comparación a otros métodos previamente descritos y sus ventajas la hacen una opción muy viable a para ser implementada.

CAPITULO II

Diseño del prototipo de una máquina CNC para placas PCB

En este capítulo se describen los diseños: mecánico, electrónico y de software, además se detallan los materiales utilizados, el software de control y el firmware que incorpora el microcontrolador.

2.1 Metodología de desarrollo

El presente proyecto se basa en la metodología espiral modificada que consiste en 4 pasos bien delimitados.

1. Análisis de necesidades y requerimientos.
2. Diseño.
3. Implementación.
4. Pruebas.



Figura 11. Matriz espiral modificada.
Fuente: Autor

Como se puede apreciar en la Figura 11, el primer paso es el análisis de necesidades y restricciones del dispositivo tomando en consideración aspectos como: el tipo de trabajo, el material, las caras a mecanizar y la resolución mínima. Además, es necesario tomar en cuenta las necesidades del usuario como, por ejemplo: que sea fácil de usar, que tenga un software intuitivo y sea de uso gratuito.

El segundo paso de la espiral modificada es el diseño mecánico, eléctrico y de software en función de restricciones previamente definidas, donde se determinan parámetros como: cálculos de fuerzas, dimensionamiento de los diferentes ejes, bosquejo de la máquina, selección del software y firmware que incorporará el microcontrolador.

Posteriormente en la implementación: se lleva a cabo la construcción y ensamble de los diferentes componentes del prototipo CNC a partir de materiales con las mejores prestaciones y calidades. Con los cálculos que se obtendrán y una vez seleccionado el firmware del microcontrolador, se montarán los motores en el bastidor, se coloca la electrónica de la máquina y la calibración de los ejes.

Una vez realizado el ensamble y como último paso, se tiene la comprobación de funcionamiento del dispositivo y verificación del cumplimiento de las especificaciones iniciales, tanto en precisión, fresado, perforación de las placas PCB y de la correcta compatibilidad con el software de control. Al no cumplirse, se deberá evaluar nuevamente las necesidades y repetir el ciclo hasta que los resultados sean satisfactorios.

2.2 Materiales

A continuación, se detallan los materiales utilizados para la construcción del prototipo CNC.

2.2.1 Motor Nema 17

Es un motor paso a paso usado comúnmente en la construcción de máquinas CNC de tres o más ejes, donde su principal función es permitir el desplazamiento de los ejes, transformando la energía eléctrica en movimiento rotacional. Una característica que tiene este motor es una resolución de 200 pasos por revolución, permitiendo tener una gran precisión, con un consumo máximo de 1.7 amperios y un torque nominal de 5.6kg*cm.

A continuación, en la Figura 12 se muestra el motor Nema 17 usado.



Figura 12. Motor paso a paso Nema 17.
Fuente: (VISTRONICA S.A.S, 2022)

2.2.2 Driver TB6560.

Es un dispositivo electrónico que permite la comunicación entre el microcontrolador y los motores, convirtiendo la señal de entrada en pulsos eléctricos hacia los devanados del motor. En el caso del controlador TB6560 este posee un disipador que permite que el circuito integrado mantenga una temperatura adecuada sin que su funcionamiento se vea afectado.

El controlador que se muestra en la Figura 13 es compatible con dispositivos de la familia Arduino, tiene un voltaje de operación de entre 10-35 V y puede entregar hasta 3 amperios de corriente en su salida. (Electronics U. , 2022).

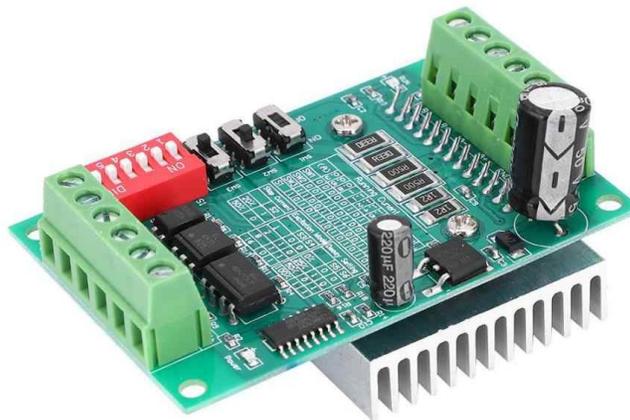


Figura 13. Driver TB6560.
Fuente: (Electrostore, 2019)

2.2.3 Arduino Mega 2560

Es una placa de desarrollo que incorpora un microcontrolador ATmega2560, el cual dispone de 54 entradas y salidas digitales, de las cuales 16 se pueden usar como entradas analógicas, 15 como salidas PWM y 4 puertos seriales de hardware. Dispone de comunicación ICSP, un oscilador de cristal de 16 MHz, y un puerto de conexión USB para la comunicación con el computador que se puede usar también como entrada de alimentación.



Figura 14. Arduino Mega 2560 Rev3.
Fuente: (Arduino, 2021)

2.2.4 Conversor de PWM a Voltaje

Es un dispositivo que es capaz de convertir la señal de pulsos en una señal de voltaje analógico. Puede convertir una señal con una frecuencia de entre 0-1 KHz en una señal de salida de voltaje de entre 0-10V en corriente continua. La variación del ancho de pulso en la entrada puede cambiar el voltaje de salida.

En el caso de máquinas fresadoras se utiliza para variar la velocidad de rotación del motor Spindle mediante la interfaz digital o el computador.

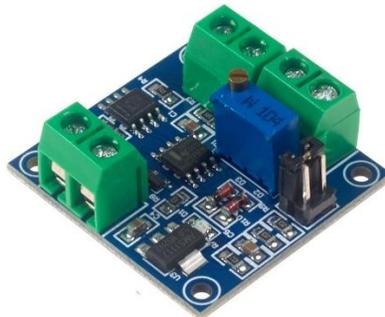


Figura 15. Convertidor de PWM a Voltaje Analógico 0-10V.
Fuente: (UNIT Electronics, 2022)

2.2.5 Finales de Carrera

Son interruptores que por lo general son utilizados para identificar el límite de movimiento que tiene el eje de una máquina, impidiendo que se haga daño a la estructura cuando choque en los extremos. Estos dispositivos poseen dos estados: normalmente abierto o (NO) y el normalmente cerrado o (NC).



Figura 16. Final de carrera.
Fuente: (Perdido, 2022)

2.2.6 Fuente Conmutada

Es un dispositivo que permite la conversión de la energía eléctrica a través de componentes eléctricos de conmutación llamados transistores, los cuales se apagan y se encienden a altas frecuencias en conjunto con elementos de almacenamiento como los capacitores, permiten tener diferentes salidas de voltaje para las distintas aplicaciones que se requiera (Peñafiel Danny, 2013).

La fuente conmutada usada para el proyecto puede entregar en sus salidas un voltaje de 12VDC a una corriente máxima de 10A, suficiente para alimentar todos los componentes electrónicos del prototipo CNC.



Figura 17. Fuente Conmutada.
Fuente: (Box, 2022)

2.2.7 Motor Spindle de 500W

Es un motor de altas revoluciones que se usa para el mecanizado de piezas en diversos materiales como: vidrio, metal, madera, entre otros. Una de sus cualidades más importantes es que puede trabajar en un rango muy amplio de revoluciones manteniendo un gran torque. En la Figura 18, se muestra un motor Spindle de 500W de potencia en corriente directa que trabaja a un voltaje de 110VDC, se caracteriza por soportar desniveles de aceleración y desaceleración muy bruscas o exigentes de entre 0-12000 RPM en un periodo reducido de tiempo. (General Driver Motor, 2021).



Figura 18. Motor Spindle.
Fuente: (General Driver Motor, 2021)

2.2.8 Perfil de aluminio 2040

Es un material construido a base de aluminio que se usa para la construcción de estructuras por su alta resistencia a torceduras y su bajo peso. El perfil que se muestra en la Figura 19 tiene unas dimensiones de 20x40mm en su sección transversal.



Figura 19. Perfil de aluminio 20x40mm.
Fuente: (Seteco, 2022)

2.2.9 Husillo de 4 hilos

También conocido como tornillo, es un elemento que se usa para transformar el movimiento circular a lineal, este es capaz de dirigir elementos de una máquina a lo largo de una trayectoria, que por lo general forman parte de la mesa de coordenadas en una máquina CNC.

Para este proyecto se usó un tornillo de 4 hilos con un paso de 8mm como se observa en la Figura 20.



Figura 20. Husillo de 4 hilos para máquinas CNC.
Fuente: (Roydisa, 2021)

2.2.10 Rodamientos lineales SCS8UU

Se definen como dispositivos mecánicos que reduce la fricción entre el eje y las varillas de metal, otorgando una mayor precisión y un desplazamiento más suave. Generalmente son usados en la construcción de máquinas CNC, porque son una parte muy importante del sistema de desplazamiento de los ejes.

En la Figura 21 se observa un rodamiento lineal SCS8UU para varillas aceradas de 8mm, usado en la construcción del prototipo CNC.



Figura 21. Rodamiento Lineal SCS8UU de 8mm.
Fuente: (Novatronic, 2020)

2.2.11 Programas

Para tener un correcto control de la máquina y aprovechar al máximo las prestaciones, se usaron dos softwares; uno para el control de la máquina y el otro para la generación de código G.

FlatCam

FlatCam es software gratuito que se usa para generar y editar archivos de tipo G-Code de prototipos PCB, los cuales contienen las trayectorias de frezado, corte y perforado que la máquina deberá seguir para mecanizar el circuito. Este programa es compatible con la mayoría de los sistemas operativos y tiene una interfaz muy intuitiva para el usuario.

Candle

Es un programa gratuito y de software libre que permite controlar y enviar código G hacia el microcontrolador de una máquina CNC que use un firmware basado en GRBL, este cuenta con una gran cantidad de herramientas que permiten mecanizar circuitos impresos con una gran eficiencia.

2.3 Diseño Mecánico

Para el desarrollo del prototipo CNC es necesario tomar en cuenta los requerimientos iniciales, de tal manera que el prototipo pueda cumplir con el trabajo al que está destinado.

2.3.1 Requerimientos

Puesto que los prototipos PCBs que los estudiantes fabrican por lo general no exceden un tamaño mayor a 200x200mm y en su mayoría usan componentes electrónicos para placas perforadas, se ha propuesto las siguientes características:

- Recorrido del Sistema Transversal (Eje X) = 200 mm
- Recorrido del Sistema Horizontal (Eje Y) = 200 mm
- Recorrido del Sistema Vertical (Eje Z) = 60 mm
- Resolución máxima = ± 0.1 mm
- Máximo de caras a mecanizar = 2

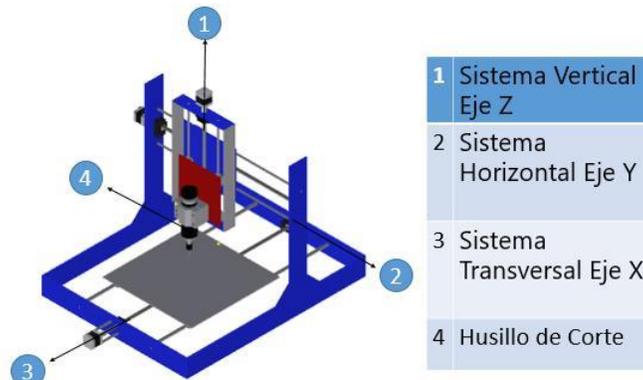


Figura 22. Sistemas de desplazamiento de una máquina CNC.
Fuente: (Andrés et al., 2016.)

2.3.2 Parámetros técnicos para el cálculo de la potencia de corte

Tomando en cuenta el material del que están compuestas las baquelitas, se ha seleccionado como herramienta de corte una fresa vertical de dos dientes, de 3mm de diámetro y fabricada en carburo por la empresa Vinil Shop.

Velocidad de Corte

Es la velocidad lineal de la periferia de la fresa mientras esta se encuentra en rotación. Esta será seleccionada en base a las características de la herramienta y el material a trabajar.

$$N = \frac{1000 * Vc}{\pi * D} \quad (1)$$

Donde:

Vc = Velocidad de corte superficial [m/min]

N = Velocidad de rotación de la herramienta [rpm]

π = 3.1416

D = 3 mm [Diámetro de la fresa]

1000 = Constante de la ecuación (1)

Tabla 1*Velocidades de corte y avance*

Materiales	Velocidad de corte (m/min)	Velocidad de avance (mm/min)	Observaciones
Aluminio	200/400	0.03/0.10	Petróleo o RGV-Copos suaves
Latones	150/300	0.02/0.10	Emulsión de Aceite de corte
Plásticos/ Baquelitas	50/100	0.04/0.20	Aire
Termoplásticos	100/50	0.04/0.20	Agua Vaporizada
Madera	60/100	0.02/0.12	Aire

Nota: El fabricante de fresas recomienda estas velocidades de fresado para los distintos materiales. Fuente: (VinilShop, 2017)

De acuerdo con la broca seleccionada, se usa la Tabla 1 para seleccionar la velocidad de corte, siendo esta de 100 m/min para el caso de Plásticos/ Baquelitas.

Avance por diente

Se define como la cantidad de material que desgasta cada diente, si el valor es muy alto las virutas se fundirán con los dientes, pero si es muy bajo los dientes se desgastarán prematuramente, se debe seleccionar en función de la fresa y el material ya que de esto dependerá su vida útil, además permitirá calcular el avance que tendrá la mesa de trabajo.

A continuación, en la Tabla 2 se muestran los valores correspondientes al avance para cada material.

Tabla 2*Avance por diente*

Diámetro Fresa	Madera Blanda /Contrachapado	DM/Tablero partículas	Metacrilato/Acrílicos
3 mm	0,1 - 0,15	0,09 - 0,18	0,08 - 0,13
6 mm	0,20 - 0,33	0,18 - 0,41	0,20 - 0,25
9-1mm	0,40 - 0,51	0,35 - 0,59	0,25 - 0,30
> o= 12 mm	0,53 - 0,59	0,50 - 0,69	0,30 - 0,38

Nota. Para realizar los cálculos dentro de los parámetros técnicos del corte se necesita la información sobre el avance por diente del fabricante. Fuente: (Tecnocorte, 2022).

De la Tabla 2 se escoge el valor de avance por diente de 0.14mm para materiales semiduros y de esta manera garantizar un correcto mecanizado de los PCBS.

Velocidad de Avance

Es la velocidad de la fresa al momento de realizar el corte sobre el material de trabajo, se mide en función del tiempo, está ligada a las características de la herramienta y la profundidad que se desea cortar.

Se puede calcular con la siguiente expresión:

$$Va = Sz * z * N \quad (2)$$

Donde:

Va = Velocidad de Avance [mm/min]

Sz = Avance por diete [mm]

z = 2 [Número de dientes de la fresa]

N = Velocidad de rotación de la herramienta [rpm]

Sección de viruta

Se define como la relación entre la profundidad de corte y el avance por diente, se puede calcular con la ecuación (3). Sin embargo, para el cálculo se debe tomar en cuenta el valor de la profundidad de corte de la Tabla 3.

$$Sv = a * Sz \quad (3)$$

Donde:

Sv = Sección de viruta [mm^2]

a = Profundidad de corte [mm]

Sz = Avance por diete [mm]

Tabla 3

Normalización de las profundidades de fresado

Profundidad de Fresado (a) y ancho de corte			
	Fresado a una pasada	Fresado con desbaste	Fresado con terminación fina
Fresas Cilíndricas	a=3mm, Todo el ancho de la fresa	a=5-8mm, Todo el ancho de la fresa	a=1mm, Todo el ancho de la fresa
Fresas frontales	a=3mm, Todo el diámetro de la fresa	a=5mm, Mitad del diámetro de la fresa	a=1mm, Igual al diámetro de la fresa
Fresas frontales de mango	a=2mm, Todo el diámetro de la fresa	a=4mm, Mitad del diámetro de la fresa	a=0.5mm, Igual al diámetro de la fresa
Fresas de disco	a= ancho de la fresa como máximo	a= Mitad del ancho de la fresa como máximo	a= 5% del ancho de la fresa como máximo

Nota: Profundidad de fresado y ancho de corte para los diferentes tipos de brocas. Fuente. (Criollo, 2019)

Según la Tabla 3, se selecciona una profundidad de desbaste de 3mm para fresas cilíndricas, ya que las baquelitas más comunes no exceden este espesor.

Fuerza de corte

Es la fuerza necesaria que se debe aplicar al objeto para cortarlo o perfilarlo con una fresadora CNC; esta fuerza depende de la presión de corte, de la sección de viruta y se calcula con la siguiente ecuación.

$$F_c = K_s * S_v \quad (4)$$

Donde:

F_c = Fuerza de corte [N]

K_s = Constante de proporcionalidad

S_v = Sección de viruta [mm²]

Previamente se debe calcular la constante de proporcionalidad con la siguiente fórmula:

$$K_s = K_{s0} * e^{-b'} \quad (5)$$

Donde:

K_s = Constante de proporcionalidad

K_{s0} = Presión específica de corte [N/mm²]

e = Espesor de viruta [mm]

b' = Factor de corrección [mm]

Tabla 4*Normalización de las presiones específicas de corte*

Material	Presión específica de corte (Kso) N/mm²	b'
Cobre	78	0.3
Bronce	124	0.3
Latón	54	0.3
Plásticos	19	0.3

Nota: Fuente: (Criollo, 2019)

Ya que la fresa se usará para corte de plásticos, de la Tabla 4 se selecciona la presión de corte específica correspondiente a 19 N/mm².

Para calcular el espesor medio de viruta (*e*) se usa la expresión:

$$e = \left(\frac{Va}{z * N} \right) * \left(\sqrt{\frac{a}{b}} \right) \quad (6)$$

Donde:

Va = Velocidad de corte (mm/min)

z = 2 [Número de dientes de la fresa]

N = Velocidad de rotación de la herramienta [rpm]

a = Profundidad de corte [mm]

b = Ancho de corte [mm]

Volumen de viruta

Es la cantidad de viruta desprendida de la pieza a la hora de realizar el corte y se puede obtener con la siguiente fórmula:

$$V = \frac{Va * b * a}{100} \quad (7)$$

Donde:

V = Volumen de viruta [cm^3/min]

Va = Velocidad de avance [mm/min]

a = Profundidad de corte [mm]

b = Ancho de corte [mm]

Potencia neta del motor

Se define como la potencia que tiene el motor Spindle y que puede transferir a las diferentes brocas de trabajo, para realizar el mecanizado de los prototipos PCB.

$$Pn = \frac{V}{V'} \quad (8)$$

Donde:

Pn = Potencia neta del motor [KW]

V = Volumen de viruta [cm^3/min]

V' = Cantidad admisible de viruta [cm^3/KW]

Tabla 5

Cantidad admisible de viruta

Tipo de fresa	Acero >80 kg/mm ²	Fundición gris	Latón y bronce rojo	Metales ligeros
Fresa cilíndrica	8 cm^3/KW	22 cm^3/KW	30 cm^3/KW	60 cm^3/KW
Fresa frontal	10 cm^3/KW	28 cm^3/KW	40 cm^3/KW	75 cm^3/KW

Nota: Fuente: (Criollo, 2019)

La cantidad admisible de viruta se selecciona a partir de la Tabla 5 dependiendo del tipo de fresa y el material, siendo para este caso de $75 \text{ cm}^3/\text{KW}$.

Cálculos

Cálculo de la velocidad de corte

Datos

$V_c = 100 \text{ m/min}$ [dato obtenido de la **Tabla 1**]

$\pi = 3.1416$

$D = 3 \text{ mm}$ [Diámetro de la fresa]

$$N = \frac{1000 * V_c}{\pi * D} = \frac{1000 * 100}{\pi * 3} = 10610 \text{ RPM}$$

Cálculo de la velocidad de avance

Datos:

$S_z = 0.14 \text{ mm}$ [Avance por diente]

$z = 2$ [Número de dientes de la fresa]

$N = 10610 \text{ rpm}$ [Velocidad de rotación de la herramienta]

$$V_a = S_z * z * N = 0.14 * 2 * 10610 = 2970.9 \left(\frac{\text{mm}}{\text{min}} \right)$$

Cálculo de la sección de viruta

Datos:

$a = 3 \text{ mm}$ [Profundidad de corte]

$S_z = 0.14 \text{ mm}$ [Avande por diente]

$$S_v = a * S_z = 3 * 0.14 = 0.42 \text{ mm}^2$$

Cálculo de la fuerza de corte

Datos:

$V_a = 2970.8 \text{ mm/min}$ [Velocidad de corte]

$z = 2$ [Número de dientes de la fresa]

$N = 10610 \text{ rpm}$ [Velocidad de rotación de la herramienta]

$a = 3 \text{ mm}$ [Profundidad de corte]

$b = 3 \text{ mm}$ [Ancho de corte]

$K_{so} = 19 \text{ N/mm}^2$ [Presión específica de corte]

$b' = 0.3 \text{ mm}$ [Factor de corrección]

$$e = \left(\frac{Va}{z * N} \right) * \left(\sqrt{\frac{a}{b}} \right) = \left(\frac{2970.8}{2 * 10610} \right) * \left(\sqrt{\frac{3}{3}} \right) = 0.14 \text{ mm}$$

$$K_s = K_{so} * e^{-b'} = 19 * 0.14^{-0.3} = 34.27 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$F_c = K_s * S_v = 34.27 * 0.42 = 14.39 \text{ N}$$

Cálculo del volumen de viruta

Datos:

$V_a = 2970.8 \text{ mm/min}$ [Velocidad de corte]

$a = 3 \text{ mm}$ [Profundidad de corte]

$b = 3 \text{ mm}$ [Ancho de corte]

$$V = \frac{V_a * b * a}{100} = \frac{2970.8 * 3 * 3}{100} = 26.737 \left(\frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \right)$$

Cálculo de la potencia del motor

Datos:

$V = 26.737 \text{ cm}^3/\text{min}$ [Volumen de viruta]

$V' = 75 \text{ cm}^3/\text{KW}$ [Cantidad admisible de viruta]

$$P_n = \frac{V}{V'} = \frac{26.737}{75} = 0.356 \text{ KW}$$

2.3.3 Diseño mecánico de los ejes

Para el diseño mecánico de los ejes se debe tomar en cuenta las fuerzas que actúan sobre los sistemas de traslación y el peso que el motor deberá arrastrar a lo largo de cada eje.

Dimensionamiento del eje Z

Este sistema consta de una pequeña plataforma que se encuentra encaminada por dos guías en sentido vertical; en esta dirección se desplazará la herramienta de corte para realizar la PCB.

Fuerza resultante del eje z

Para determinar las diferentes fuerzas que actúan sobre el sistema de traslación vertical, se debe conocer la fuerza resultante que ejercen la masa del motor y la fuerza de corte con la siguiente ecuación.

$$\mathbf{Fz} = \mathbf{Fc} + \mathbf{Wz} \quad (9)$$

Donde:

\mathbf{Fz} = Fuerza resultante del eje z [N]

\mathbf{Wz} = Fuerza ejercida por el peso de motor Spindle y su soporte [N]

\mathbf{Fc} = Fuerza de corte o empuje [N]

Para determinar la fuerza que ejerce el motor y su base se usa la ecuación (10).

$$\mathbf{Wz} = \mathbf{mz} * \mathbf{g} \quad (10)$$

Donde:

\mathbf{Wz} = Fuerza ejercida por el peso de motor Spindle y su soporte [N]

\mathbf{mz} = Masa resultante de motor mas soporte [Kg]

\mathbf{g} = Constante de la gravedad [m/s^2]

Sistema de translación vertical

Si las cargas están en la misma dirección de movimiento que la herramienta de fresado, se debe calcular la carga para cada bloque guía. A continuación, en la Figura 23 se muestra el diagrama de fuerzas.

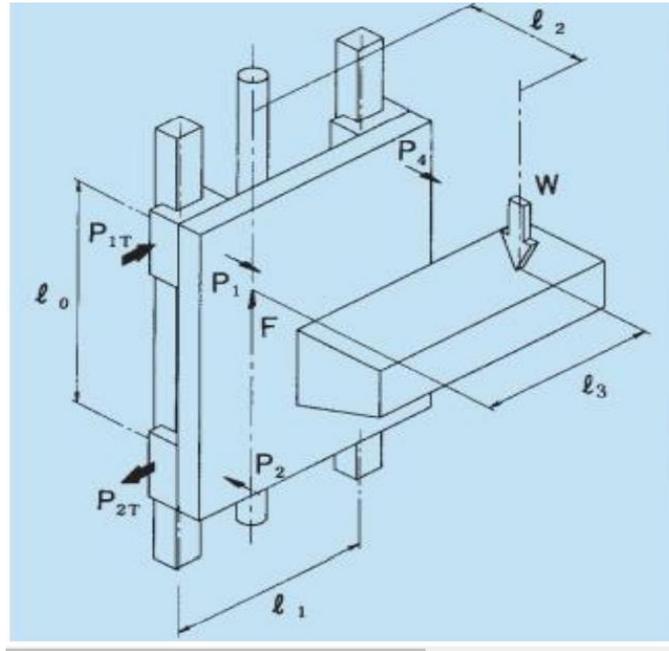


Figura 23. Diagrama de fuerzas del sistema de translación vertical Z.
Fuente: (Piña, 2015)

Para el caso de la longitud l_3 se considera un valor de 0 puesto que el motor está ubicado en el centro del eje.

A continuación, se presenta el análisis de las fuerzas de carga con las siguientes ecuaciones.

$$P_1 = P_4 = \left(\frac{F_z}{2}\right) * \left(\frac{l_2}{l_0}\right) \quad (11)$$

$$P_2 = P_3 = -\left(\frac{F_z}{2}\right) * \left(\frac{l_2}{l_0}\right) \quad (12)$$

$$P_{1T} = P_{4T} = \left(\frac{F_z}{2}\right) * \left(\frac{l_3}{l_1}\right) \quad (13)$$

$$P_{2T} = P_{3T} = -\left(\frac{F_z}{2}\right) * \left(\frac{l_3}{l_1}\right) \quad (14)$$

Donde:

F_z = Fuerza resultante del eje z [N]

P_1 = Fuerza perpendicular a el rodamiento [N]

P_{1T} = Fuerza horizontal del sistema [N]

l_0 = Longitud entre los rodamientos laterales [mm]

l_1 = Longitud entre las guías del eje z [mm]

l_2 = Longitud entre el tornillo y el centro del motor [mm]

Ejes guías de la coordenada Z

Para obtener los diagramas de esfuerzos de corte y momentos flectores, se usa un software llamado MDSolids que permite realizar la simulación de las fuerzas sobre las guías. Las distancias se determinan en función de los puntos de apoyo en cada rodamiento y en el centro de la guía, ya que es el lugar donde se genera más torque. Para este caso serán de $d_1=40\text{mm}$ y $d_2=85\text{mm}$ como lo muestra la Figura 24.

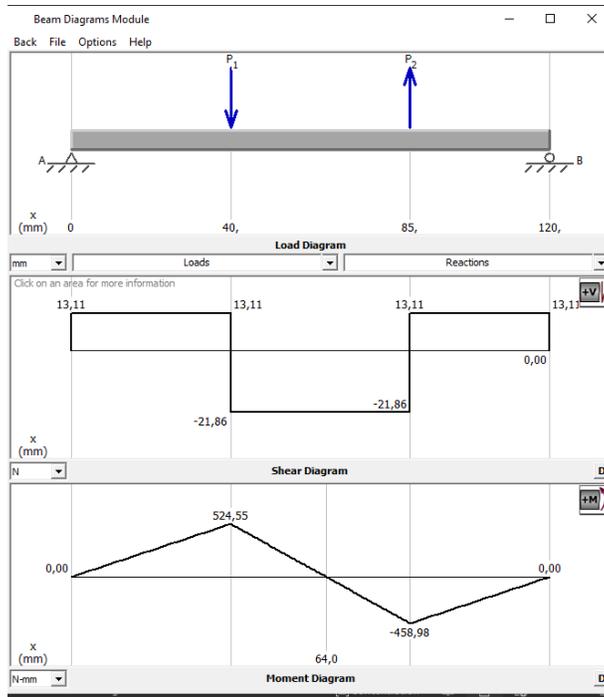


Figura 24. Diagrama de momentos flectores y esfuerzos de corte de eje Z.
Fuente: Autor

Para encontrar el diámetro adecuado para la guía del eje Z se usan las ecuaciones (15),(16),(17) y un factor de seguridad el cual debe ser mayor a 1,5 y menor a 2.5, para el cálculo de las guías se ha considerado un factor de seguridad de 2 (Kumar, 2023).

Esfuerzo máximo

$$\sigma_{max} = \left(\frac{S_y}{n} \right) \quad (15)$$

Donde:

σ_{max} = Esfuerzo normal máximo [N/mm^2]

n = Factor de seguridad

S_y = Resistencia a la fluencia del material [N/mm^2]

Como las guías están fabricadas de acero inoxidable AISI 304 con gran resistencia a la deformación, se tiene que el valor de resistencia a la fluencia es de $230 N/mm^2$ según datos del fabricante (KUZU, 2021).

Cabe mencionar que para el mecanizado se consideró también un factor de seguridad de 2 (Kumar, 2023).

Módulo de resistencia

$$S = \left(\frac{M}{\sigma_{max}} \right) \quad (16)$$

Donde:

S = Módulo de resistencia por la sección transversal de un cilindro [mm^3]

σ_{max} = Esfuerzo normal máximo [N/mm^2]

M = Momento flector máximo [$N * mm$]

Para determinar el monto flector máximo, se utiliza la Figura 24 donde se observa que el punto más alto de la gráfica marca un valor de 524.55 [$N * mm$].

Diámetro de la guía

Es el diámetro que tendrá la guía del eje Z en su sección transversal y se obtiene con la ecuación (17).

$$S = \left(\frac{\pi * d^3}{32} \right) \quad (17)$$

Despejando el diámetro mínimo de la ecuación (17) se obtiene la ecuación (18), la cual permite calcular el diámetro mínimo que debe tener la flecha o guía del eje Z.

$$dz = \sqrt[3]{\left(\frac{32 * S}{\pi} \right)} \quad (18)$$

Donde:

dz = Diámetro mínimo de la guía del eje z [mm]

S = Esfuerzo normal máximo [mm^3]

32 = Constante de la ecuación (18)

Cálculos

Cálculo de la fuerza ejercida por el peso del motor Spindle y su soporte

Datos

$$mz = 2.1 \text{ Kg [Masa resultante de motor mas soporte]}$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2 \text{ [Constante de la gravedad]}$$

$$Wz = mz * g = 2.1 * 9.8 = 20.58N$$

Cálculo de la fuerza resultante del eje Z

Datos:

$$Wz = 20.58N \text{ [Fuerza ejercida por el peso de motor Spindle y su soporte]}$$

$$Fc = 14.39N \text{ [Fuerza de corte o empuje]}$$

$$Fz = Fc + Wz = 20.58 * 14.39 = 34.97N$$

Cálculo de las fuerzas del sistema de traslación vertical

Datos:

$$Fz = 34.97N \text{ [Fuerza resultante del eje Z]}$$

$$l_0 = 45mm \text{ [Longitud entre los rodamientos laterales]}$$

$$l_1 = 52mm \text{ [Longitud entre las guías del eje Z]}$$

$$l_2 = 50mm \text{ [Longitud entre el tornillo y el centro del motor]}$$

$$l_3 = 0mm$$

Entonces:

$$P1 = P4 = \left(\frac{Fz}{2}\right) * \left(\frac{l_2}{l_0}\right) = \left(\frac{34.97}{2}\right) * \left(\frac{50}{45}\right) = 19.43N$$

$$P2 = P3 = -\left(\frac{Fz}{2}\right) * \left(\frac{l_2}{l_0}\right) = -\left(\frac{34.97}{2}\right) * \left(\frac{50}{45}\right) = -19.43N$$

$$P_{1T} = P_{4T} = \left(\frac{F_z}{2}\right) * \left(\frac{l_3}{l_1}\right) = \left(\frac{34.97}{2}\right) * \left(\frac{0}{52}\right) = 0N$$

$$P_{2T} = P_{3T} = -\left(\frac{F_z}{2}\right) * \left(\frac{l_3}{l_1}\right) = -\left(\frac{34.97}{2}\right) * \left(\frac{0}{52}\right) = 0N$$

Cálculo del esfuerzo máximo

Datos:

$$n = 2 \text{ [Factor de seguridad]}$$

$$S_y = 230 \text{ N/mm}^2 \text{ [Resistencia a la fluencia del material]}$$

$$\sigma_{max} = \left(\frac{S_y}{n}\right) = \left(\frac{230}{2}\right) = 115 \text{ N/mm}^2$$

Cálculo del módulo de resistencia

Datos:

$$\sigma_{max} = 115 \text{ N/mm}^2 \text{ [Esfuerzo normal máximo]}$$

$$M = 524.55 \text{ N * mm [Momento flector máximo]}$$

$$S = \left(\frac{M}{\sigma_{max}}\right) = \left(\frac{524.55}{115}\right) = 4.561 \text{ mm}^3$$

Cálculo del diámetro mínimo de las guías

Datos:

$$S = 4.561 \text{ mm}^3 \text{ [Esfuerzo normal máximo]}$$

$$dz = \sqrt[3]{\left(\frac{32 * S}{\pi}\right)} = \sqrt[3]{\left(\frac{32 * 4.561}{\pi}\right)} = 3.59 \text{ mm}$$

Para el ensamble se usa una varilla de 8mm lisa de acero AISI 304, debido a que es la varilla comercial más cercana al diámetro obtenido mediante los cálculos.

2.3.3.2 Dimensionamiento del eje X

El mecanismo de este sistema se desplaza por el eje de las abscisas (X) por medio de un par de varillas lisas que generalmente son de acero. Cabe mencionar que para el

correcto dimensionamiento se toma en cuenta que el eje Z se acopla a este sistema haciendo que el peso del conjunto sea mayor.

Fuerza resultante del eje X.

Para determinar las diferentes fuerzas que actúan sobre el sistema de traslación transversal, se debe conocer cuál es la fuerza resultante que recae sobre este eje, para ello se toma en cuenta la masa del sistema de traslación vertical Z, la base a la que este se acopla y se la obtiene con la siguiente ecuación.

$$\mathbf{Fx} = \mathbf{Fc} + \mathbf{Wx} \quad (19)$$

Donde:

\mathbf{Fx} = Fuerza resultante del eje x [N]

\mathbf{Wx} = Fuerza ejercida por el peso del eje z y la mesa de coordenadas del eje x [N]

\mathbf{Fc} = Fuerza de corte o empuje [N]

Para determinar la fuerza que ejerce el peso sobre el eje X se realiza la suma de todas las masas que conforman el eje Z, los elementos del sistema de traslación transversal y se usa la ecuación (20).

$$\mathbf{Wx} = (\mathbf{mz} + \mathbf{m}_{motor\ z} + \mathbf{m}_{mesa\ x}) * \mathbf{g} \quad (20)$$

Donde:

\mathbf{Wx} = Fuerza ejercida por el peso del eje z y la mesa de coordenadas del eje x [N]

\mathbf{mz} = Masa resultante del eje z [Kg]

$\mathbf{m}_{motor\ z}$ = Masa del motor del eje Z [Kg]

$\mathbf{m}_{mesa\ x}$ = Masa resultante de la mesa del eje x y elementos adicionales [Kg]

\mathbf{g} = Constante de la gravedad [m/s^2]

Sistema de traslación transversal X

Como las cargas de este sistema se presentan de forma perpendicular a la dirección de movimiento, se calcula la carga para cada bloque guía. A continuación, en la Figura 25 se muestra el diagrama de fuerzas.

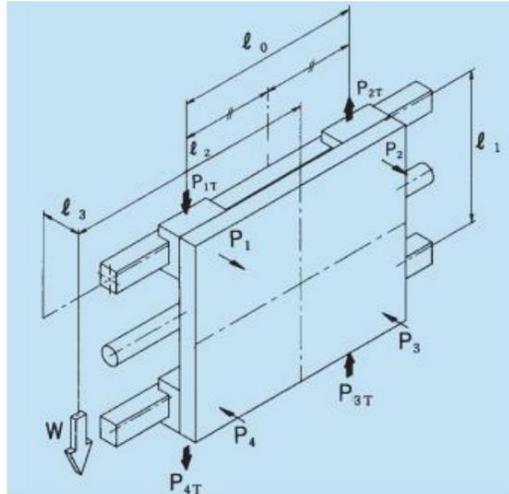


Figura 25. Sistema de traslación transversal X.
Fuente: (Piña, 2015)

Para el análisis de las fuerzas de carga se usan las siguientes ecuaciones como se muestra a continuación.

$$P1 = P2 = \left(\frac{F_x}{2}\right) * \left(\frac{l_3}{l_1}\right) \quad (21)$$

$$P3 = P4 = -\left(\frac{F_x}{2}\right) * \left(\frac{l_3}{l_1}\right) \quad (22)$$

$$P_{1T} = P_{4T} = \left(\frac{F_z}{4}\right) + \left(\frac{F_z}{2}\right) * \left(\frac{l_2}{l_0}\right) \quad (23)$$

$$P_{2T} = P_{3T} = \left(\frac{F_z}{4}\right) - \left(\frac{F_z}{2}\right) * \left(\frac{l_2}{l_0}\right) \quad (24)$$

Donde:

F_x = Fuerza resultante del eje X [N]

$P1$ = Fuerza perpendicular a el rodamiento [N]

P_{1T} = Fuerza horizontal del sistema [N]

l_0 = Longitud entre los rodamientos laterales [mm]

l_1 = Longitud entre las guías del eje X [mm]

l_3 = Longitud entre el centro del motor y las guías de eje Z [mm]

Para la longitud l_2 se consideró un valor de 0 puesto que toda la fuerza del eje Z está ubicada en el centro.

Ejes guías de la coordenada X

Con la ayuda del software MDSolids se obtiene los diagramas de esfuerzos de corte y momentos flectores. Las distancias se determinan en función de los puntos de apoyo del rodamiento y del centro de la guía, para este caso las distancias fueron de $d_1=115\text{mm}$ y $d_2=245\text{mm}$ como se puede observar en la Figura 26.

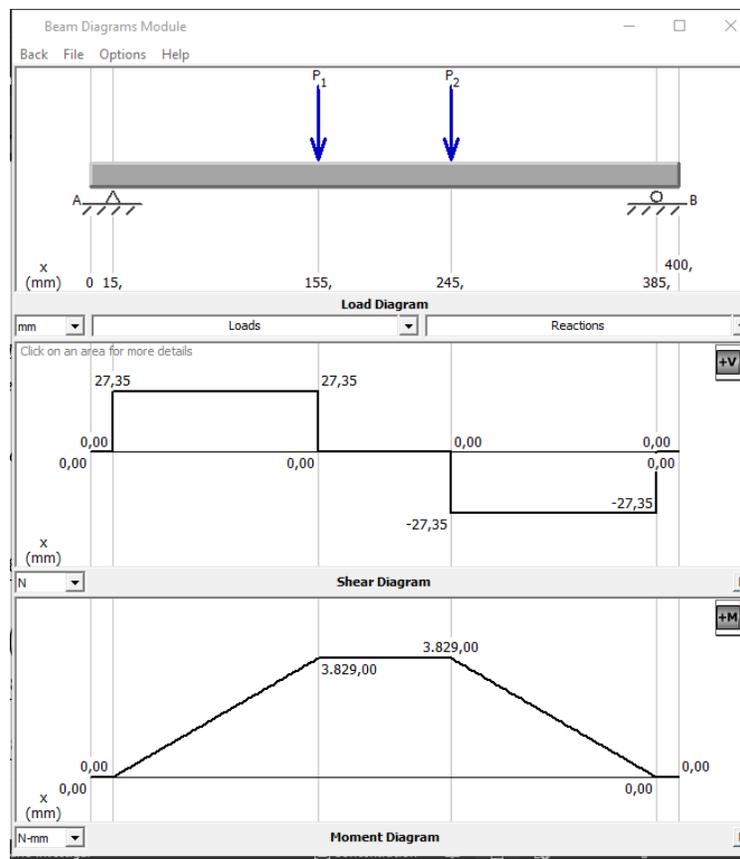


Figura 26. Diagrama de momentos flectores y esfuerzos de corte del eje X.
Fuente: Autor

Esfuerzo máximo

Para el cálculo del esfuerzo máximo del eje X se usa la ecuación (15) y para el factor de seguridad un valor de 2. Como se usarán guías del mismo material que en el sistema anterior (acero inoxidable AISI 304), el valor de resistencia a la fluencia es de 230 N/mm^2 según datos del fabricante.

Módulo de resistencia

Para el cálculo del módulo de resistencia se utilizó la ecuación (16) y para determinar el monto flector máximo se utiliza la Figura 26, donde se observa que el punto más alto de la gráfica marca un valor de 3829 [N * mm] .

Diámetro de la guía

Con los datos que obtiene del módulo de resistencia y con la ecuación (17) puede encontrar el diámetro mínimo para el eje X en función de las fuerzas que esta debe soportar.

Cálculos

Cálculo de la fuerza resultante ejercida por el peso del eje X

Datos

$$m_z = 2.5 \text{ Kg [Masa resultante del eje Z]}$$

$$m_{motor\ z} = 1.10 \text{ Kg [Masa del motor del eje Z]}$$

$$m_{mesa\ x} = 3.8 \text{ Kg [Masa resultante de la mesa del eje X y elementos adiconanles]}$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2 \text{ [Constante de la gravedad]}$$

$$W_x = (m_z + m_{motor\ z} + m_{mesa\ x}) * g = (2.5 + 1.10 + 3.8) * 9.8 = 72.52 \text{ N}$$

Cálculo de la fuerza resultante del eje X

Datos:

$$W_x = 72.52 \text{ N [Fuerza ejercida por el peso del eje X]}$$

$$F_c = 14.39 \text{ N [Fuerza de corte o empuje]}$$

$$F_x = F_c + W_z = 72.52 + 14.39 = 86.91N$$

Cálculo de las fuerzas del sistema de traslación vertical

Datos:

$$F_x = 86.91 N \text{ [Fuerza resultante del eje X]}$$

$$l_0 = 90mm \text{ [Longitud entre los rodamientos laterales]}$$

$$l_1 = 143mm \text{ [Longitud entre las guías del eje X]}$$

$$l_2 = 0mm$$

$$l_3 = 90mm \text{ [Longitud entre el centro del motor y las guías del eje Z]}$$

Entonces:

$$P_1 = P_2 = \left(\frac{F_x}{2}\right) * \left(\frac{l_3}{l_1}\right) = \left(\frac{86.91}{2}\right) * \left(\frac{90}{143}\right) = 27.35N$$

$$P_3 = P_4 = -\left(\frac{F_z}{2}\right) * \left(\frac{l_2}{l_0}\right) = -\left(\frac{86.91}{2}\right) * \left(\frac{90}{143}\right) = -27.35N$$

$$P_{1T} = P_{4T} = \left(\frac{F_z}{4}\right) + \left(\frac{F_z}{2}\right) * \left(\frac{l_2}{l_0}\right) = \left(\frac{86.91}{4}\right) + \left(\frac{86.91}{2}\right) * \left(\frac{0}{90}\right) = 21.72$$

$$P_{2T} = P_{3T} = \left(\frac{F_z}{4}\right) - \left(\frac{F_z}{2}\right) * \left(\frac{l_2}{l_0}\right) = \left(\frac{86.91}{4}\right) - \left(\frac{86.91}{2}\right) * \left(\frac{0}{90}\right) = 21.72$$

Cálculo del esfuerzo máximo

Datos:

$$n = 2 \text{ [Factor de seguridad]}$$

$$S_y = 230 N/mm^2 \text{ [Resistencia a la fluencia del material]}$$

$$\sigma_{max} = \left(\frac{S_y}{n}\right) = \left(\frac{230}{2}\right) = 115 N/mm^2$$

Cálculo del módulo de resistencia

Datos:

$$\sigma_{max} = 115 N/mm^2 \text{ [Esfuerzo normal máximo]}$$

$M = 3829 \text{ N} * \text{mm}$ [Momento flector máximo]

$$S = \left(\frac{M}{\sigma_{max}} \right) = \left(\frac{3829}{115} \right) = 33.30 \text{ mm}^3$$

Cálculo del diámetro mínimo de las guías

Datos:

$S = 4.561 \text{ mm}^3$ [Esfuerzo normal máximo]

$$dz = \sqrt[3]{\left(\frac{32 * S}{\pi} \right)} = \sqrt[3]{\left(\frac{32 * 33.30}{\pi} \right)} = 6.974 \text{ mm}$$

Para el ensamble se usa una varilla de 8mm lisa de acero AISI 304, debido a que es la varilla comercial con el diámetro más cercano al obtenido mediante los cálculos.

Dimensionamiento del eje Y

El mecanismo de este sistema se desplaza por el eje de las ordenadas (Y) por medio de un par de varillas lisas, que generalmente son de acero, además este eje lleva la mesa de coordenadas donde se apoyará el material a mecanizar.

Fuerza resultante del eje Y.

Para determinar las diferentes fuerzas que actúan sobre el sistema de traslación horizontal se debe conocer la fuerza resultante que recae sobre este eje.

$$\mathbf{Fy} = \mathbf{Fc} + \mathbf{Wy} \quad (25)$$

Donde:

\mathbf{Fy} = Fuerza resultante del eje Y [N]

\mathbf{Wy} = Fuerza ejercida por el peso del eje Y [N]

\mathbf{Fc} = Fuerza de corte o empuje [N]

Para determinar la fuerza que ejerce el peso sobre el eje se tomó en cuenta la masa de la mesa, los rodamientos lineales y se aplicó la siguiente ecuación.

$$W_y = m_y * g \quad (26)$$

Donde:

W_y = Fuerza ejercida por el peso del eje Y [N]

m_y = Masa resultante del eje Y [Kg]

g = Constante de la gravedad [m/s^2]

Sistema de translación horizontal Y

Como las cargas de este sistema se presentan de forma perpendicular a la dirección de movimiento como se observa en la Figura 27, se calcula la carga para cada bloque guía de tal manera que la mesa ni las guías sufran deformación.

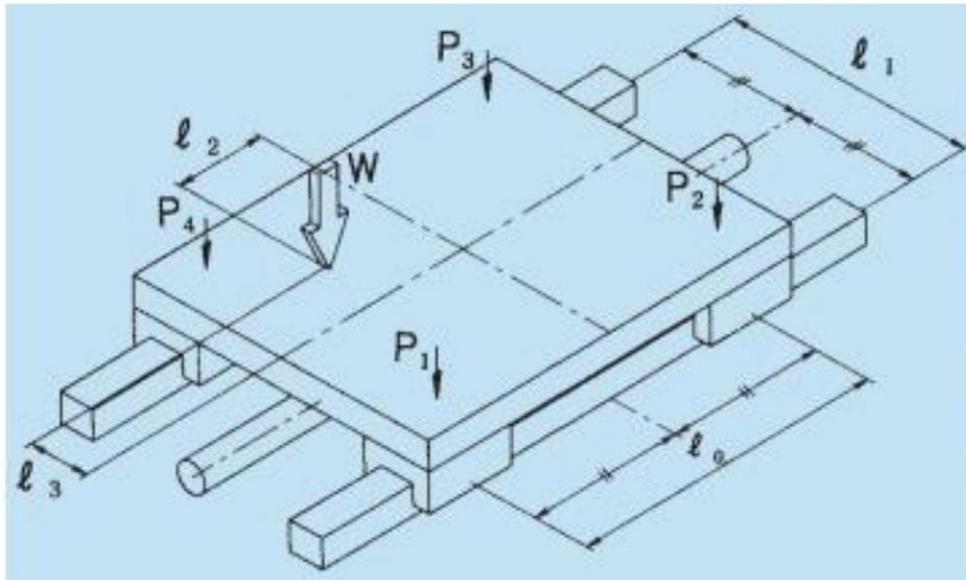


Figura 27. Sistema de translación horizontal Y.
Fuente: (Piña, 2015)

Para el análisis de las fuerzas del sistema de translación se emplean las siguientes ecuaciones.

$$P_1 = \left(\frac{F_y}{4}\right) + \left(\frac{F_y}{2}\right) * \left(\frac{l_2}{l_0}\right) - \left(\frac{F_y}{2}\right) * \left(\frac{l_3}{l_1}\right) \quad (27)$$

$$P2 = \left(\frac{F_y}{4}\right) - \left(\frac{F_y}{2}\right) * \left(\frac{l_2}{l_0}\right) - \left(\frac{F_y}{2}\right) * \left(\frac{l_3}{l_1}\right) \quad (28)$$

$$P3 = \left(\frac{F_y}{4}\right) - \left(\frac{F_y}{2}\right) * \left(\frac{l_2}{l_0}\right) + \left(\frac{F_y}{2}\right) * \left(\frac{l_3}{l_1}\right) \quad (29)$$

$$P4 = \left(\frac{F_y}{4}\right) + \left(\frac{F_y}{2}\right) * \left(\frac{l_2}{l_0}\right) + \left(\frac{F_y}{2}\right) * \left(\frac{l_3}{l_1}\right) \quad (30)$$

Donde:

F_x = Fuerza resultante del eje Y [N]

$P1$ = Fuerza perpendicular a la mesa de trabajo [N]

l_0 = Longitud entre los rodamientos laterales [mm]

l_1 = Longitud entre las guías del eje Y [mm]

Para la longitud l_2 y l_3 se considera un valor de 0 puesto que todo peso recae en el centro de la mesa de trabajo.

Ejes guías de la coordenada Y

Con la ayuda del software MDSolids, obtuvo los diagramas de esfuerzos de corte y momentos flectores. Las distancias se determinan en función de los puntos de apoyo del rodamiento y del centro de la guía, para este caso las distancias fueron de $d1=115\text{mm}$ y $d2=285\text{mm}$ como se puede observar en la Figura 28.

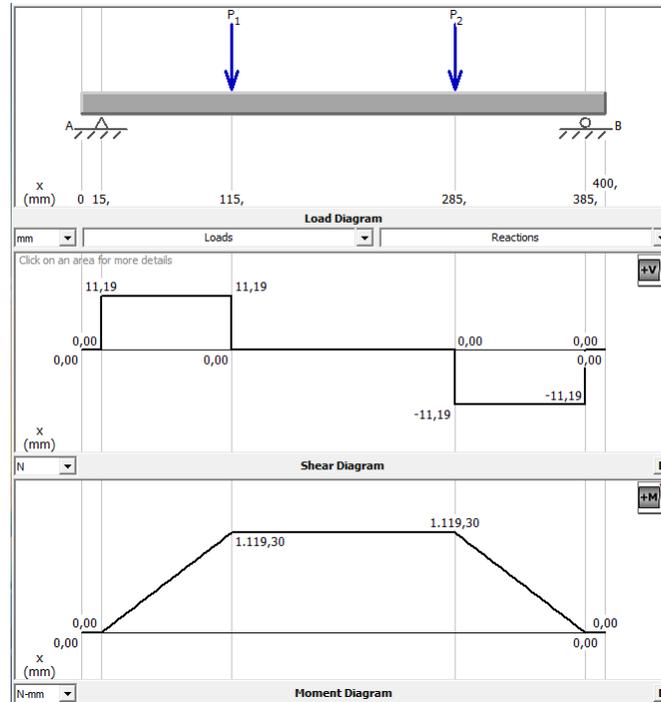


Figura 28. Diagrama de momentos flectores y esfuerzos de corte del eje Y.
Fuente: Autor

Esfuerzo máximo

Para el cálculo del esfuerzo máximo del eje Y, se utiliza la ecuación (15) y para el factor de seguridad un valor de 2. Como usan guías del mismo material (acero inoxidable AISI 304), el valor de resistencia a la fluencia es de 230 N/mm^2 según datos del fabricante.

Módulo de resistencia

Para el cálculo del módulo de resistencia, se utiliza la ecuación (16) y para determinar el monto flector máximo, se emplean los datos de la Figura 28, donde se observa que el punto más alto de la gráfica marca un valor de 1119.30 [N * mm] .

Diámetro de la guía

Con los datos obtenidos del módulo de resistencia y con la ecuación (17), encuentra el diámetro mínimo para el eje Y en función de las fuerzas que esta debe soportar.

Cálculos

Cálculo de la fuerza resultante ejercida por el peso del eje Y

Datos

$$m_y = 3.1 \text{ Kg [Masa resultante del eje Y]}$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2 \text{ [Constante de la gravedad]}$$

$$W_y = m_y * g = 3.1 * 9.8 = 30.38 \text{ N}$$

Cálculo de la fuerza resultante del eje Y

Datos:

$$W_y = 30.38 \text{ N [Fuerza ejercida por el peso del eje Y]}$$

$$F_c = 14.39 \text{ N [Fuerza de corte o empuje]}$$

$$F_y = F_c + W_y = 30.38 + 14.39 = 44.77 \text{ N}$$

Cálculo de las fuerzas del sistema de traslación vertical

Datos:

$$F_y = 44.77 \text{ N [Fuerza resultante del eje Y]}$$

$$l_0 = 170 \text{ mm [Longitud entre los rodamientos laterales]}$$

$$l_1 = 185 \text{ mm [Longitud entre las guías del eje Y]}$$

$$l_2 = 0 \text{ mm}$$

$$l_3 = 0 \text{ mm}$$

Entonces:

$$P1 = \left(\frac{F_y}{4}\right) + \left(\frac{F_y}{2}\right) * \left(\frac{l_2}{l_0}\right) - \left(\frac{F_y}{2}\right) * \left(\frac{l_3}{l_1}\right) = \left(\frac{44.77}{4}\right) + \left(\frac{44.77}{2}\right) * \left(\frac{0}{170}\right) - \left(\frac{44.77}{2}\right) * \left(\frac{0}{185}\right)$$

$$P1 = 11.193 \text{ N}$$

$$P2 = \left(\frac{F_y}{4}\right) - \left(\frac{F_y}{2}\right) * \left(\frac{l_2}{l_0}\right) - \left(\frac{F_y}{2}\right) * \left(\frac{l_3}{l_1}\right) = \left(\frac{44.77}{4}\right) - \left(\frac{44.77}{2}\right) * \left(\frac{0}{170}\right) - \left(\frac{44.77}{2}\right) * \left(\frac{0}{185}\right)$$

$$P2 = 11.193 \text{ N}$$

$$P3 = \left(\frac{F_y}{4}\right) - \left(\frac{F_y}{2}\right) * \left(\frac{l_2}{l_0}\right) + \left(\frac{F_y}{2}\right) * \left(\frac{l_3}{l_1}\right) = \left(\frac{44.77}{4}\right) - \left(\frac{44.77}{2}\right) * \left(\frac{0}{170}\right) + \left(\frac{44.77}{2}\right) * \left(\frac{0}{185}\right)$$

$$P3 = 11.193 \text{ N}$$

$$P4 = \left(\frac{F_y}{4}\right) + \left(\frac{F_y}{2}\right) * \left(\frac{l_2}{l_0}\right) + \left(\frac{F_y}{2}\right) * \left(\frac{l_3}{l_1}\right) = \left(\frac{44.77}{4}\right) + \left(\frac{44.77}{2}\right) * \left(\frac{0}{170}\right) + \left(\frac{44.77}{2}\right) * \left(\frac{0}{185}\right)$$

$$P4 = 11.193 \text{ N}$$

Cálculo del esfuerzo máximo

Datos:

$$n = 2 \text{ [Factor de seguridad]}$$

$$S_y = 230 \text{ N/mm}^2 \text{ [Resistencia a la fluencia del material]}$$

$$\sigma_{max} = \left(\frac{S_y}{n}\right) = \left(\frac{230}{2}\right) = 115 \text{ N/mm}^2$$

Cálculo del módulo de resistencia

Datos:

$$\sigma_{max} = 115 \text{ N/mm}^2 \text{ [Esfuerzo normal máximo]}$$

$$M = 1119.30 \text{ N} * \text{mm} \text{ [Momento flector máximo]}$$

$$S = \left(\frac{M}{\sigma_{max}}\right) = \left(\frac{1119.30}{115}\right) = 9.733 \text{ mm}^3$$

Cálculo del diámetro mínimo de las guías

Datos:

$$S = 9.733 \text{ mm}^3 \text{ [Esfuerzo normal máximo]}$$

$$dy = \sqrt[3]{\left(\frac{32 * S}{\pi}\right)} = \sqrt[3]{\left(\frac{32 * 9.733}{\pi}\right)} = 4.628 \text{ mm}$$

Para el ensamble se usa una varilla de 8mm lisa de acero AISI 304, debido a que es la varilla comercial más cercana a el diámetro obtenido mediante los cálculos.

Cálculo del torque de los ejes X, Y y Z

Para este cálculo, se toma como referencia a el eje X puesto que es el eje que lleva más peso, por tanto, requiere mayor torque y se calcula con la siguiente ecuación.

$$Tx = \left(\frac{dm * Fx}{2} \right) * \left(\frac{\mu + \tan \alpha}{1 - \mu \tan \alpha} \right) \quad (31)$$

Donde:

Tx = Torque necesario para mover ele eje X [N.mm]

Fx = Fuerza resultante del eje X [N]

dm = Diámetro de paso [mm]

μ = Coeficiente de fricción de la tuerca

α = Ángulo de hélice [grados]

Para determinar el torque necesario para mover el eje z, primero se debe encontrar el diámetro de paso en función del avance de la tuerca con la expresión (32).

$$dm = dext - \left(\frac{P}{2} \right) \quad (32)$$

Donde:

dm = Diámetro de paso [mm]

P = Paso de la rosaca [mm]

$dext$ = Diámetro de la rosca [mm]

Para encontrar el ángulo de hélice se usa la siguiente ecuación.

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{avan}{\pi * dm} \right) \quad (33)$$

Donde:

α = Ángulo de hélice [grados]

$avan$ = Avance de la tuerca [mm]

$dm = \text{Diámetro de paso [mm]}$

Cálculos

Para los cálculos se considera que la tuerca T8 de 4 hilos antideslizante tiene un coeficiente de fricción de $\mu=0.08$ y un paso de $P=2\text{mm}$ según datos del fabricante y necesita mover una fuerza de $F_x = 86.91\text{ N}$

Cálculo de diámetro de paso

Datos:

$P = 2\text{mm}$ [Paso de la rosca]

$d_{ext} = 8\text{ mm}$ [Diámetro de la rosca]

$$dm = d_{ext} - \left(\frac{P}{2}\right) = 8 - \left(\frac{2}{2}\right) = 8\text{mm}$$

Cálculo del Ángulo de hélice

Datos

$avan = 8\text{mm}$ [Avance de la tuerca]

$dm = 8\text{mm}$ [Diámetro de paso]

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{avan}{\pi * dm}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{8}{\pi * 8}\right) = 17.657^\circ$$

Cálculo del torque

Datos:

$F_x = 86.91\text{ N}$ [Fuerza resultante del eje X]

$dm = 8\text{mm}$ [Diámetro de paso]

$\alpha = 17.657^\circ$ [Ángulo de hélice]

$\mu = 0.08$ Coeficiente de fricción de la tuerca

$$T_x = \left(\frac{dm * F_x}{2}\right) * \left(\frac{\mu + \tan \alpha}{1 - \mu \tan \alpha}\right) = \left(\frac{8 * 86.91}{2}\right) * \left(\frac{0.08 + \tan 17.657}{1 - (0.08) \tan 17.657}\right) = 142\text{ N} * \text{mm}$$

$$T_x = 142\text{ N} * \text{mm} = 1.448\text{ Kgfcmm}$$

2.4 Diseño Eléctrico

Para el apartado eléctrico de la máquina se seleccionaron los elementos eléctricos que accionaran los ejes y las herramientas para el fresado como lo son los motores y los dispositivos de control.

2.4.1 Diagrama de bloques

El funcionamiento de la máquina CNC se desarrolla mediante un proceso de tres niveles, iniciando por el computador que es el elemento que pasa la información al microcontrolador, el mismo que se encarga de interpretar las señales, para luego seguir con el nivel de control de los ejes mediante los drivers hacia los equipos de potencia como lo son los motores Nema y el motor Spindle, teniendo así todo el sistema alimentado por una fuente de potencia.

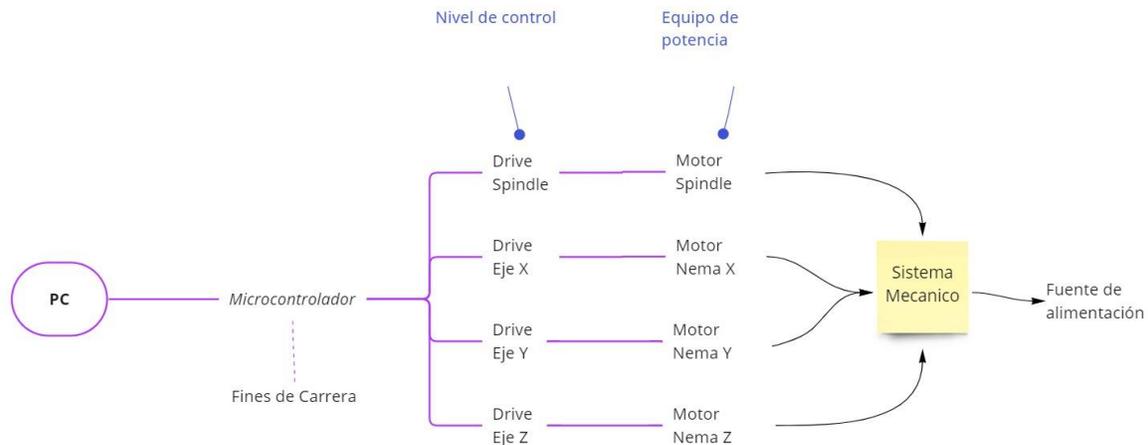


Figura 25: Diagrama de bloques.
Fuente: El autor

2.4.2 Selección del motor Spindle

En función de los datos obtenidos a partir de los cálculos de potencia, se ha seleccionado un motor de 500W ya que no se encuentra en el mercado un motor con 356W. A continuación, en la Tabla 6 se muestran las características del motor Spindle seleccionado.

Tabla 6*Características del motor Spindle*

Especificaciones	Valor	Unidad
Voltaje de operación	100	VDC
Potencia de entrada	500	W
Velocidad máxima	12000	RPM
Par de giro	5000	g/cm
Diámetro	52	mm
Longitud del motor	200	mm
Diámetro del portabrocas	16	mm
Longitud del portabrocas	45	mm
Portabrocas	1/8	in

Nota: Fuente: (General Driver Motor, 2021)

2.4.3 Selección del microcontrolador

Para la selección del microcontrolador se tomó como referencia a tres microcontroladores que comúnmente se usan en el diseño de máquinas CNC con firmware GRBL: Arduino Mega, Arduino Uno y ESP 32, para demostrar cuál es el más apropiado se utiliza una tabla comparativa.

Tabla 7*Características de los microcontroladores*

Microcontrolador	Arduino UNO	Arduino Mega 2560	ESP 32
Precio	\$20 – \$23	\$36,61 – \$39	\$12.25
Procesador	ATmega328p	ATmega2560	Tensilica Xtensa 32bits LX6
Velocidad de reloj	16MHz	16MHz	80MHz - 240MHz
Memoria flash	32kB	256kB	4MB
EEPROM	1kB	4kB	448kB
SRAM	2kB	8kB	520kB
Voltaje de operación	5VDC	5VDC	3.3VDC
Pines	14	54	30
Pines PWM	6	15	16
Pines Analógicos	6	16	20
Conexión USB	Estándar A/B USB	Estándar A/B USB	Micro-USB
Compatibilidad con Shield	Si	Si	SI
Compatibilidad con GRBL1.1	No	Si	NO

Nota: Fuente: (Gudino, ARROW, 2017)

Como se muestra en la Tabla 7, el mejor microcontrolador que cumple con las necesidades del proyecto es el Arduino ATmega 2560, ya que por la cantidad de pines que este posee se puede conectar todos los periféricos que la CNC necesita para funcionar, es compatible con la versión más reciente del firmware GRBL que lleva el circuito integrado, conteniendo a todo el programa sin ningún problema gracias su capacidad de almacenamiento, tiene un software amigable, fácil de programar y de uso gratuito.

2.4.4 Selección de motor paso a paso

A partir de los cálculos realizados se escogió un motor nema 17 de 5.6 Kgfc/cm para los ejes X, Y y Z, este cuenta con un torque mayor al obtenido que resistirá sin problemas todos los esfuerzos. Si se usara un motor nema 23 se estaría sobredimensionando este elemento y encareciendo el precio final del prototipo. A continuación, en la Tabla 8 se muestran las características del motor paso a paso seleccionado.

Tabla 8

Características del motor paso a paso Nema 17 SL42STH48-1504A

Especificaciones	Valor	Unidad
Voltaje nominal (por bobina)	2.8	V
Voltaje de alimentación	12	VDC
Corriente nominal	1.68	A
Inductancia de fase	2.8	mH
Torque	5.6	Kgf.cm
Cables de conexión	4	
Angulo de paso	1.8°	Grados
Pasos por revolución	200	

Nota: Fuente: (VISTRONICA S.A.S, 2022)

2.4.5 Selección de Drivers

En función de los motores seleccionados y de la corriente máxima a la que estos trabajan (1,68A), se optó por utilizar drivers TB6560 para todos los ejes del prototipo CNC ya que en comparación a otros drivers usados en máquinas similares que limitan la capacidad del motor, este es capaz de entregar por su salida hasta una corriente máxima de 3A sin sobrecalentarse y cuenta con la capacidad de trabajar con micropasos de hasta 1/16 de paso, permitiendo un buen control del motor sin casi pérdida de torque. A

continuación, en la Tabla 9 se muestran las características del driver utilizado para el control de los motores Nema 17.

Tabla 9

Características del Driver TB6560

Especificaciones	Valor	Unidad
Voltaje de alimentación	10-35	VDC
Controlador	TB6560 AHQ	
Corriente nominal	3	A
Resolución máxima micro pasos	1/16	
Frecuencia Interna	640-20000	Hz
Frecuencia de Entrada	0-16000	Hz

Nota: Fuente: (Tecneu, 2023)

2.4.6 Esquema de conexiones eléctricas

Para representar el esquemático eléctrico se usó un software llamado Fritzing que se especializa en el diseño y emulación de circuitos eléctricos. Permite emular conexiones eléctricas de los diferentes componentes que conforman la máquina y se puedan identificar de una manera más clara y sirva de guía para el operador, ya sea para su armado, mantenimiento o reemplazar algún componente dañado de ser necesario.

En la parte central de la Figura 29, se observa el microcontrolador ATMEGA 2560 y las conexiones hacia los diferentes dispositivos eléctricos que conforman el esquema eléctrico, además en la parte inferior derecha se puede apreciar las conexiones en corriente alterna que alimentan las fuentes y sus protecciones.

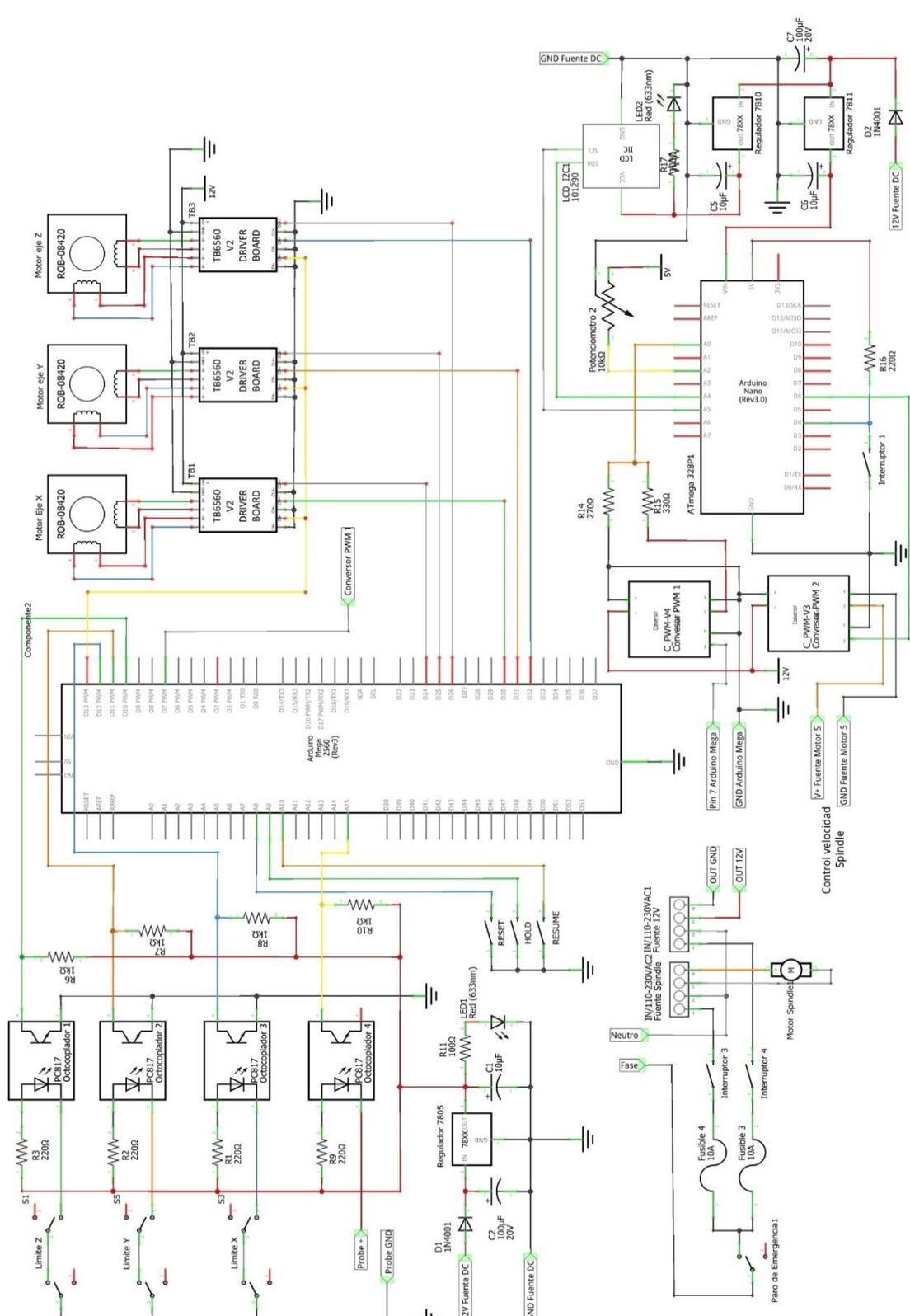


Figura 29. Diagrama de conexiones eléctricas.
Fuente: Autor.

2.5 Selección de programas

El prototipo CNC necesita de ciertos softwares para el control y generación de Código G para que este funcione correctamente, los usados en este proyecto se detallan a continuación.

2.5.1 Código de control CNC

2.5.1.1 GRBL 1.1

El firmware que incorpora este proyecto está basado en lenguaje C llamado GRBL en su versión más reciente 1.1, fue diseñado específicamente para el microcontrolador ATmega2560, es un sistema gratuito, de código abierto que permite el control de máquinas fresadoras, es capaz de interpretar el Código G y enviarlo en forma de señales a los diferentes ejes (Angel, 2019).

Sin embargo, es necesario configurarlo con la ayuda de la interfaz de usuario del software de control o con el monitor serial del IDE de Arduino, de tal manera que los ejes se desplacen sin perder pasos y en las escalas correctas, para ello es necesario realizar el cálculo de pasos con la siguiente ecuación.

$$P = \left(\frac{Pm}{p} \right) \quad (34)$$

Donde:

P = Pasos necesarios para desplazarse un milímetro [*step/mm*]

Pm = Pasos del motor para completar una vuelta [*step/rev*]

p = Paso del eje roscado de los ejes X, Y y Z [*mm/rev*]

Como se está usando una varilla roscada con un avance de 8 mm/rev y un motor de 200 pasos por revolución se obtuvo que el valor que se debe configurar en el firmware es de 25 step/mm con configuración de pasos completos en el driver, de tal manera que los diferentes ejes se desplacen 1mm en cualquier dirección.

Sin embargo, puesto que los drivers TB6560 permite el uso de micro pasos de hasta 1/16 se puede configurar el software hasta un máximo de 200 step/mm para una mayor presión en los motores, adicionalmente se debe activar los finales de carrera, el ciclo

homing, entre otras configuraciones. En la siguiente figura se puede observar los parámetros básicos de configuración del firmware GRBL en su versión 1.1.

```
**** Connected to COM3 @ 115200 baud ****
Grbl 1.1g ['$ for help]
>>> $$
$0 = 10 (Step pulse time, microseconds)
$1 = 255 (Step idle delay, milliseconds)
$2 = 0 (Step pulse invert, mask)
$3 = 0 (Step direction invert, mask)
$4 = 0 (Invert step enable pin, boolean)
$5 = 1 (Invert limit pins, boolean)
$6 = 0 (Invert probe pin, boolean)
$10 = 1 (Status report options, mask)
$11 = 0.010 (Junction deviation, millimeters)
$12 = 0.002 (Arc tolerance, millimeters)
$13 = 0 (Report in inches, boolean)
$20 = 0 (Soft limits enable, boolean)
$21 = 1 (Hard limits enable, boolean)
$22 = 1 (Homing cycle enable, boolean)
$23 = 3 (Homing direction invert, mask)
$24 = 100.000 (Homing locate feed rate, mm/min)
$25 = 500.000 (Homing search seek rate, mm/min)
$26 = 150 (Homing switch debounce delay, milliseconds)
$27 = 5.000 (Homing switch pull-off distance, millimeters)
$30 = 10800 (Maximum spindle speed, RPM)
$31 = 0 (Minimum spindle speed, RPM)
$32 = 0 (Laser-mode enable, boolean)
$100 = 200.000 (X-axis travel resolution, step/mm)
$101 = 200.000 (Y-axis travel resolution, step/mm)
$102 = 200.000 (Z-axis travel resolution, step/mm)
$110 = 500.000 (X-axis maximum rate, mm/min)
$111 = 500.000 (Y-axis maximum rate, mm/min)
$112 = 500.000 (Z-axis maximum rate, mm/min)
$120 = 50.000 (X-axis acceleration, mm/sec^2)
$121 = 50.000 (Y-axis acceleration, mm/sec^2)
$122 = 50.000 (Z-axis acceleration, mm/sec^2)
$130 = 800.000 (X-axis maximum travel, millimeters)
$131 = 800.000 (Y-axis maximum travel, millimeters)
$132 = 800.000 (Z-axis maximum travel, millimeters)
```

Figura 30. Parámetros de calibración del firmware GRBL 1.1.
Fuente: Autor

2.5.2 Software para la generación de código G

2.5.2.1 FlatCam

Es un programa diseñado para la fabricación de placas PCB para ser mecanizados por una máquina CNC. Es un software de código abierto que fue desarrollado en el lenguaje de programación Python, es capaz de abrir y editar archivos de tipo Gerber y Excellon para crear archivos de tipo G-Code con toda la información que la máquina fresadora necesita para realizar el fresado. (Caram, 2019)

Los Archivos de tipo Geber son archivos que contiene información sobre las pistas del circuito y los archivos de tipo Excellon contienen la información sobre los diámetros y las ubicaciones de los orificios.

De entre sus cualidades más importantes resalta la que permite la configuración de los parámetros básicos del mecanizado como por ejemplo: la profundidad de corte, la velocidad de movimiento de los ejes, el tipo de herramienta que se usará en el grabado y perforado, así como la velocidad que el motor Spindle tendrá en cada uno de los procesos de fabricación.

En la siguiente figura se muestra la interfaz de usuario del software.

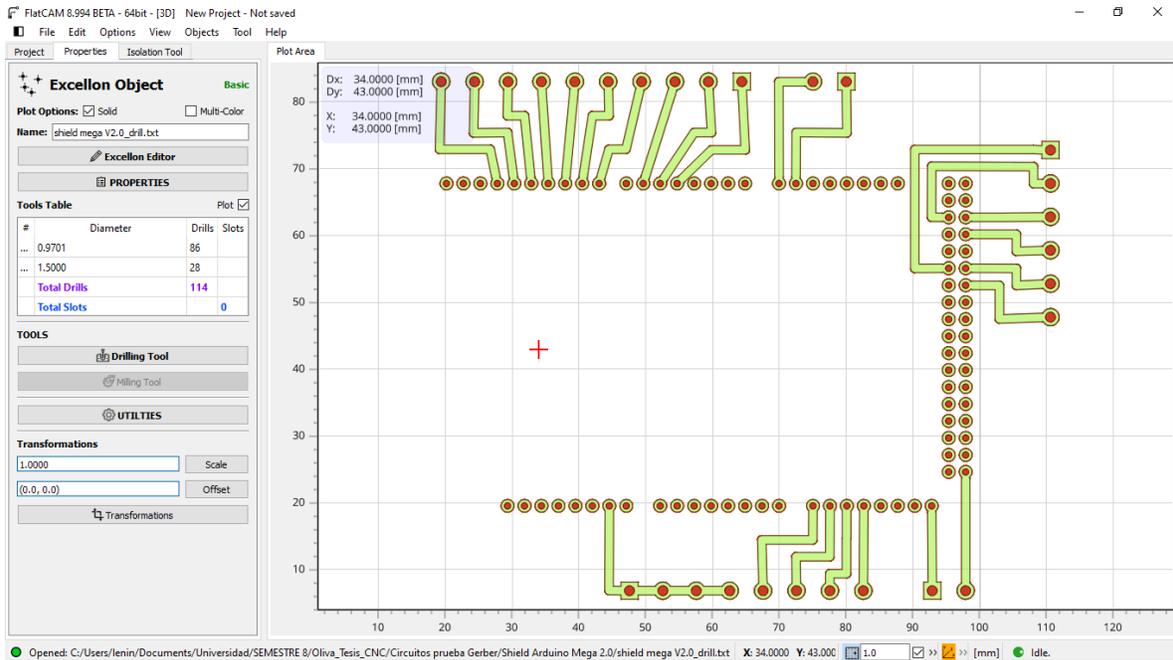


Figura 31. Interfaz gráfica del software FlatCam.

Fuente: Autor

2.5.3 Selección del software de control

Es importante determinar el mejor sistema de control para la máquina CNC, ya que este software debe permitir aprovechar al máximo las prestaciones del prototipo, además de no presentar mayor dificultad para el usuario al momento de adquirirlo o de usarlo.

Candle

Es un software gratuito para el control de máquinas CNC de no más de 3 ejes que incorpore en su microcontrolador un firmware basado en GRBL. Incorpora un visualizador de código y de posicionamiento de fresa en tiempo real que permite saber el estado del mecanizado, además cuenta con un control de velocidad para el husillo desde la misma

interfaz y un sistema de auto nivelado por matriz de puntos, pudiendo configurar el tamaño de la matriz a voluntad para una mayor precisión (Mellowpine, 2022).

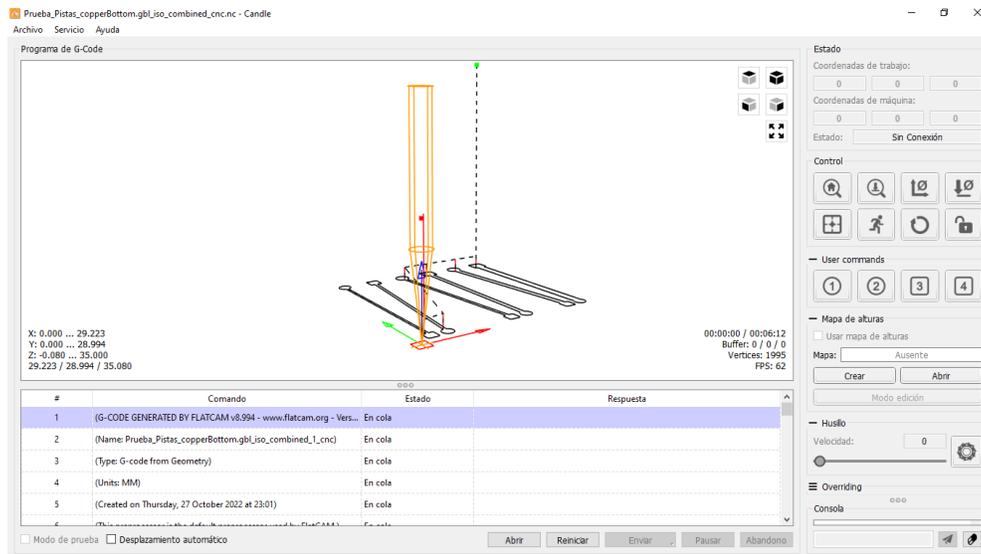


Figura 32. Interfaz gráfica del software Candle.
Fuente: Autor

Universal G-Code Sender

Es un software gratuito y de código libre creado para el control de máquinas CNC; este requiere una versión de java instalada en el computador para ser ejecutado, sin embargo, el software como tal no necesita ser instalado ya que cuenta con su versión portable, permite visualizar la posición de la herramienta en tiempo real, el control de los ejes mediante teclado o botones y permite enviar líneas de código directamente hacia el microcontrolador (UGS, 2022).

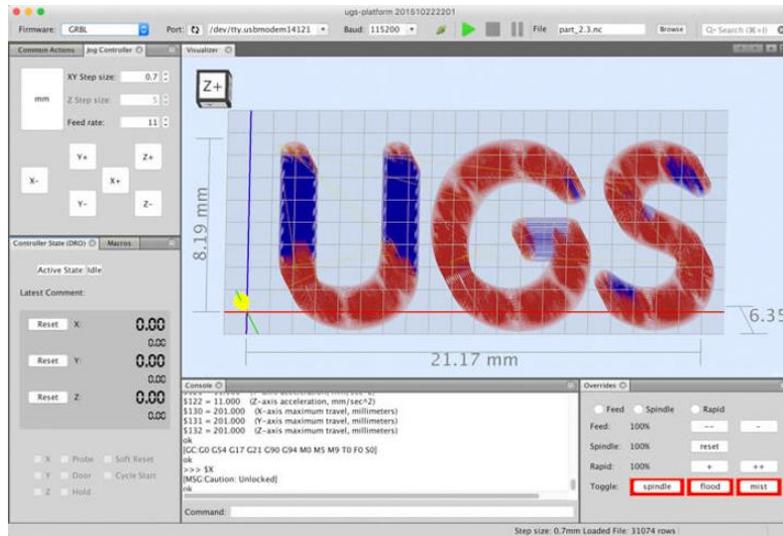


Figura 33. Interfaz gráfica del software UGS.
Fuente: (Mellowpine, 2022)

OpenCNC Pilot

Es un programa gratuito y de código abierto creado específicamente para el mecanizado de prototipos PCB con máquinas CNC que incorporen GRBL. Este programa cuenta con un sistema de auto nivelado por matriz que permite mapear la profundidad de la superficie a fresar y dependiendo de este mapeo ajustará la altura de la fresa para un acabado homogéneo (Mellowpine, 2022).

Este software está diseñado en lenguaje C# por lo que su uso está limitado a ejecutarse únicamente en computadores con Windows.

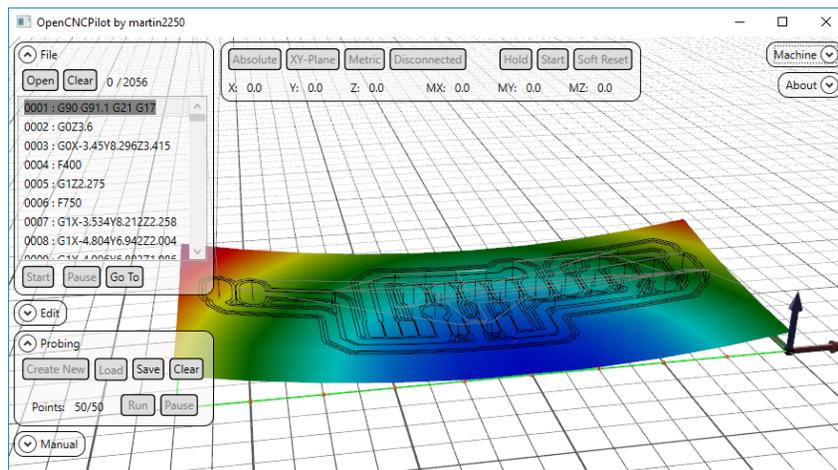


Figura 34. Interfaz gráfica del software OpenCNC Pilot.
Fuente: (Mellowpine, 2022)

Matriz comparativa de softwares de control

Con el fin de determinar el software más adecuado para este proyecto, se optó por utilizar una matriz comparativa resaltando las mejores cualidades de cada software y considerando las cualidades que deben cumplir, para que la fabricación de circuitos impresos sea más eficiente.

Tabla 10

Características de los microcontroladores

Características/Software	Candle	Universal G-Code Sender	OpenCNCPilot
Visualización en tiempo real	Si	Si	Si
Gratuidad	Si	Si	Si
Compatibilidad con diferentes sistemas operativos	Si	No	Si
Control de los ejes por botones	Si	Si	No
Auto nivelado	Si	No	Si
Control de velocidad de Husillo	Si	No	No
Requiere instalación	Si	No	Si
Ciclo Homing	Si	No	No
Mapa de Alturas	Si	No	Si

Nota: Esta tabla se realizó tomando en cuenta las mejores cualidades de cada software.

A partir de la Tabla 9, se puede concluir que el software de control más apropiado para el mecanizado de prototipos PCB es Candle; ya que este cuenta con la opción de controlar el motor Spindle desde la propia interfaz gráfica, la posibilidad de realizar mapas

de alturas para que el resultado del mecanizado sea uniforme, además de que su interfaz gráfica es muy intuitiva permitiendo que la fabricación de circuitos impresos sea fácil y eficiente.

2.6 Modelación CAD

Para la modelación 3D de las diferentes partes que componen el prototipo CNC, se utilizó un software llamado AutoCAD que permite el modelado 2D y 3D de objetos. Se lo usó con la finalidad de que la construcción de los partes sea más dinámica y se pueda tener una previsualización del prototipo previa a la implementación.

2.6.1 Diseño 3D del eje Z

Para el modelado de las partes que conforman el eje Z, se tomó en consideración que el motor tiene un desplazamiento vertical con un recorrido suficiente para que la herramienta de trabajo alcance la profundidad suficiente en el material y permita su cambio cómodamente. Además, debe incorporar el sistema de sujeción del motor Spindle de tal manera que permita instalarlo y extraerlo fácilmente como se muestra en la Figura 35.

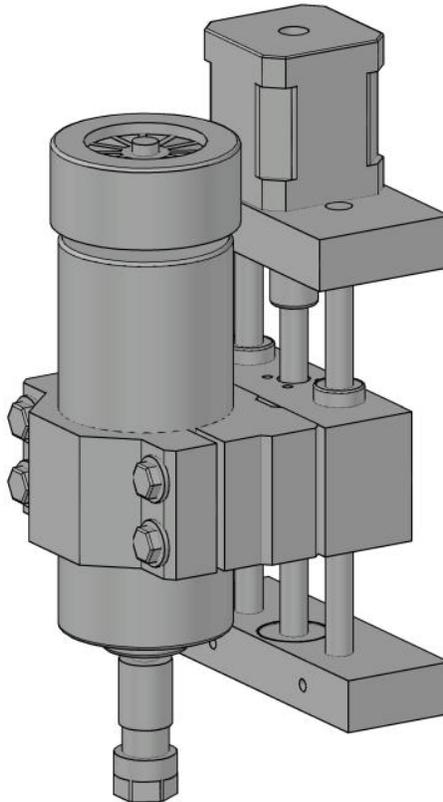


Figura 35. Modelo 3D del eje Z.
Fuente: Autor

2.6.2 Diseño 3D del eje X

Puesto que el eje Z va montado sobre el eje X, este lleva un mayor peso en comparación a los demás, por lo tanto el eje x debe ser capaz de moverlo de forma horizontal sin que exista ningún tipo de deformación o pérdida de precisión, para ello se optó por poner una plancha de aluminio lo suficientemente gruesa para soportar todo el peso, también cuatro rodamientos lineales ubicados uno en cada esquina para mejorar el desplazamiento del sistema como se puede apreciar en la Figura 36.

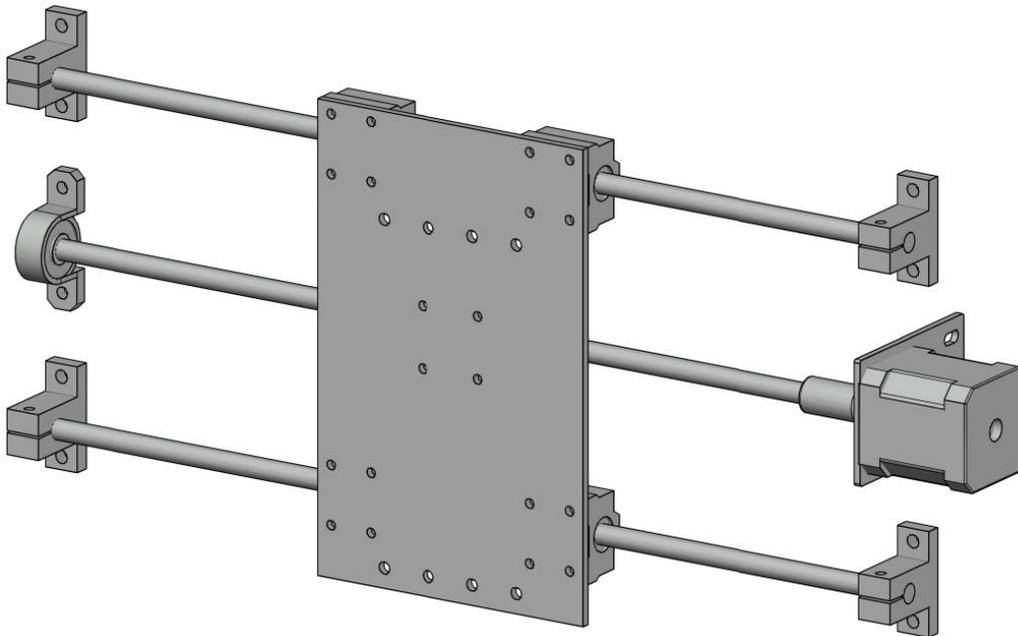


Figura 36. Modelo 3D del eje X.
Fuente: Autor

2.6.3 Diseño 3D del eje Y

Para el modelado del sistema de traslación horizontal se tomó en cuenta que la mesa de trabajo va montada sobre cuatro rodamientos lineales y que se desplazará libremente por varillas lisas de acero a lo largo de todo el recorrido cumpliendo con el área de trabajo previamente delimitada.

En la siguiente figura se muestra el modelo 3D del eje Y, incluido la mesa de trabajo y sus respectivos soportes.

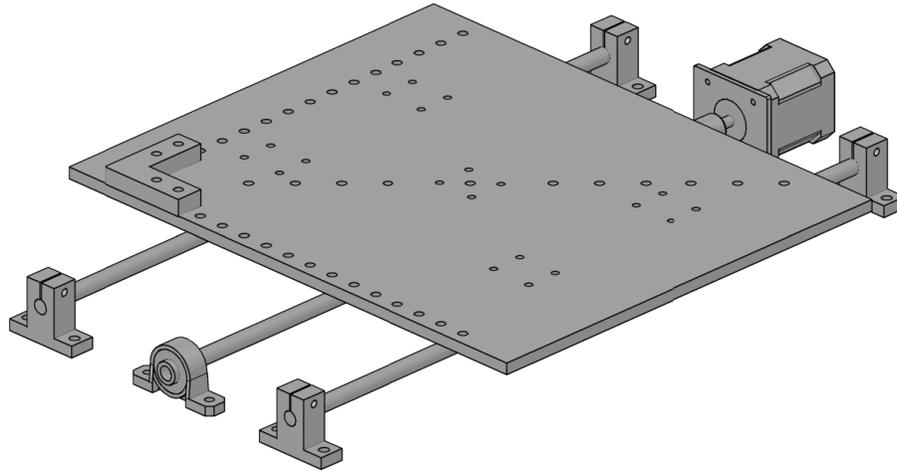


Figura 37. Modelo 3D del eje Y.
Fuente: Autor

2.6.4 Diseño 3D del bastidor de la máquina

A continuación se presenta los ejes montados sobre el bastidor de la máquina CNC, modelada con perfiles de aluminio 2040 tipo V y simulado en el software AutoCAD.

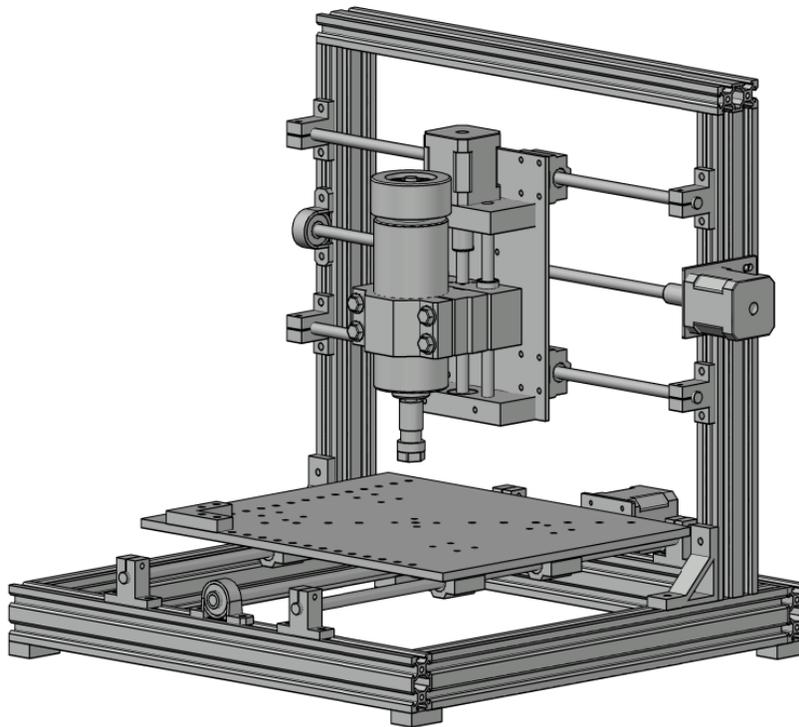


Figura 38. Modelo 3D de los ejes de la máquina montados.
Fuente: Autor

Para la selección de los materiales se tomó en consideración la aplicación del prototipo y se escogieron materiales que tengan un largo tiempo de vida útil, como es el caso del aluminio usado para toda la estructura de la máquina. Además, mediante los cálculos de las diferentes fuerzas se seleccionaron los motores y las guías, siendo para este caso unos motores Nema 17 de 1,68 A y unas guías fabricadas en acero con un diámetro de 8mm para el desplazamiento de los ejes, suficientes para soportar los esfuerzos del mecanizado de prototipos PCB.

En función de la corriente de los motore se seleccionó los drives TB6560 para los tres ejes, los cuales están distribuidos de tal manera que se optimice espacio y recursos. El motor Spindle está sujeto al eje Z y este a su vez montado sobre el eje X, la mesa de trabajo se encuentra sobre el eje Y.

Para el control de la máquina CNC se consideró únicamente softwares gratuitos que cumplan con todos los requisitos para el correcto funcionamiento del prototipo, siendo para este caso el más adecuado, el software de control Candle. Como microcontrolador se usó un ATmega 2560 de la familia de Arduino que incorpora el firmware gratuito GRBL en su versión más reciente 1.1.

CAPÍTULO III

Implementación del prototipo CNC y pruebas de funcionamiento

En esta sección, se realizó la construcción de las diferentes partes que componen la máquina CNC y las distintas pruebas de fresado, corte y perforado.

3.1 Construcción mecánica de los ejes

Para la construcción de los diferentes ejes del prototipo se ha usado aluminio fundido en planchas, debido a que es un material muy ligero y con gran resistencia a la deformación.

3.1.1 Construcción del eje Z

En el eje Z se ha usado un bloque de aluminio fundido de 100mm x 50mm x 40mm, al cual se le realizó tres agujeros, dos de ellos se usaron para sujetar los rodamientos lineales LM8LUU de 15mm x 45mm y el orificio central para albergar la tuerca T8 antideslizante.

Cómo se puede observar en la Figura 39, los rodamientos se colocaron a presión en los orificios, para otorgar al conjunto mayor firmeza y precisión.

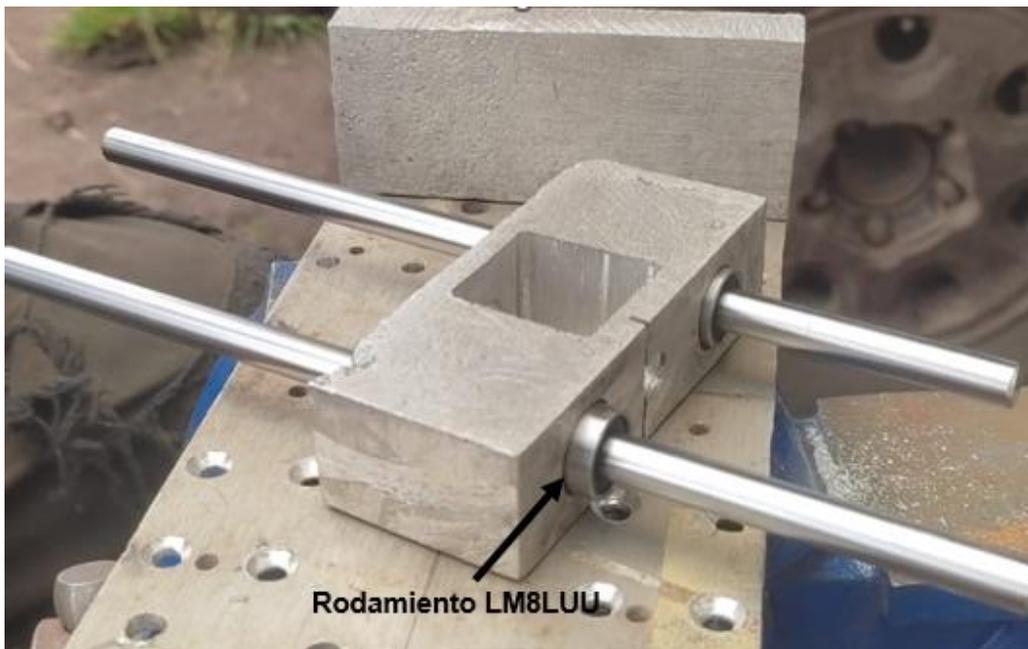


Figura 39. Base más rodamientos del eje Z.
Fuente: Autor.

Una vez montados los rodamientos lineales se procedió a la sujeción de la tuerca T8 en la abertura respectiva del bloque, con sus respectivos pernos como se muestra en la Figura 40.

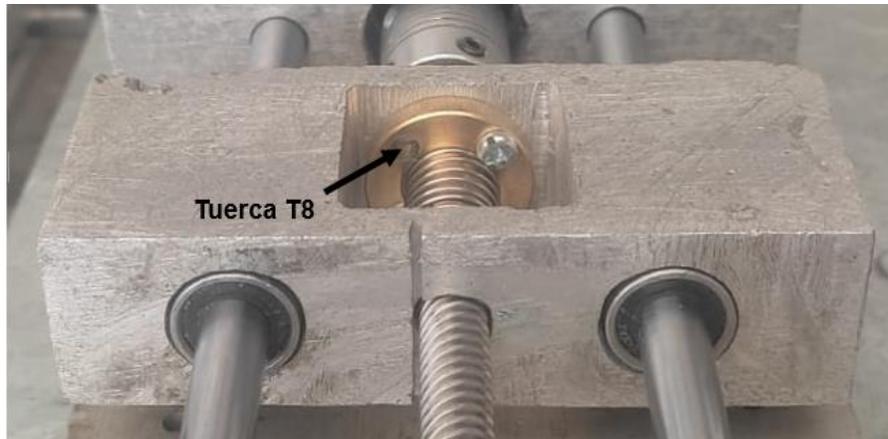


Figura 40. Base del eje z con sus rodamientos y su tuerca.
Fuente: Autor

Posteriormente se acopló el soporte del motor Spindle con el sistema de traslación vertical, permitiendo posicionarlo paralelamente a el movimiento del eje y sujetarlo con firmeza como se puede visualizar en la Figura 41.



Figura 41. Ensamble del eje Z.
Fuente: Autor

Para el eje Z se obtuvo un desplazamiento final de 55mm que es inferior al propuesto inicialmente, pero resulto ser suficiente para despejar el área de trabajo y realizar el cambio de brocas de una manera cómoda. La longitud de las guías es de 160mm y un tornillo de 4 hilos con una longitud máxima de 140mm.

3.1.2 Construcción del eje X

Para la construcción de este eje se optó por utilizar una plancha de aluminio con unas dimensiones de 190mm x 12mm x 3mm, donde se colocaron los soportes para el eje Z y los rodamientos lineales SC8UU para el desplazamiento del conjunto por el eje de las ordenadas. En la Figura 42, los soportes del eje Z están contruidos a partir de bloques de aluminio fundido con unas dimensiones de 100mm x 35mm x 15mm.

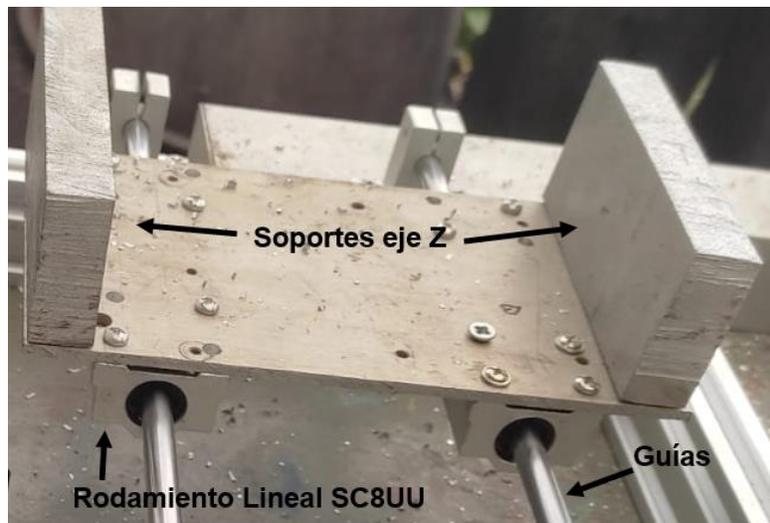


Figura 42. Base del eje X más soportes del eje Z.
Fuente: Autor

El recorrido final del eje X es de 200mm y una longitud de las guías de 400mm, con los rodamientos lineales en su lugar se procedió a fabricar el soporte de la tuerca antideslizante partiendo de un ángulo de aluminio templado, el cual se acopla a la base del eje con tornillos milimetrados como se observa en la Figura 43.

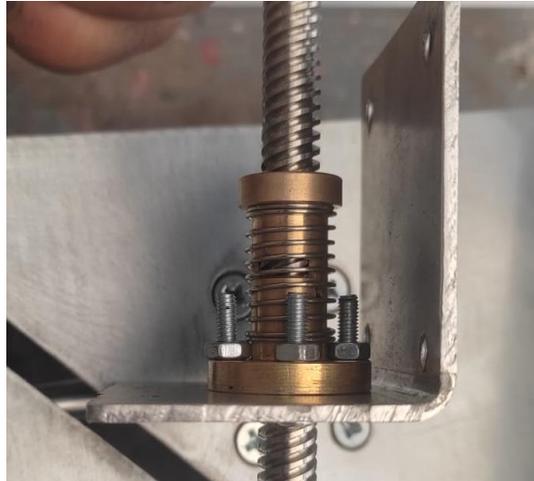


Figura 43. Soporte en L para tuerca T8.
Fuente: Autor

3.1.3 Construcción del eje Y

En primera instancia se optó por utilizar una plancha de hierro recubierta de Zinc con un espesor de 3mm que sirvió como mesa de trabajo, pero no cumplió con las pruebas de deformación, así que se recurrió a utilizar una plancha de aluminio de 6mm de espesor donde irán anclados los rodamientos del eje, además se realizó perforaciones a lo largo y ancho de la plancha para sujetar las baquelitas, como se muestra en la Figura 44.

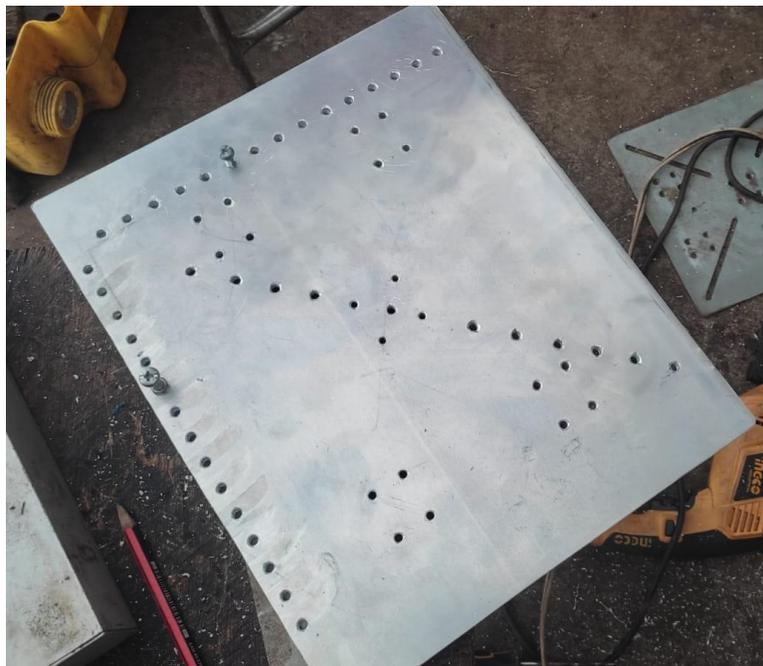


Figura 44. Orificios para la sujeción de las placas PCB.
Fuente: Autor.

Una vez realizados los orificios para la sujeción de las baquelitas, se colocó una L de aluminio con una altura aproximada de 15mm en una de las esquinas de la plancha, con el objetivo de mejorar el posicionamiento del material a fresar. Por último se colocó los rodamientos lineales, guías de 400mm y la tuerca antideslizante obteniendo un desplazamiento máximo de 200mm, como se observa a continuación.

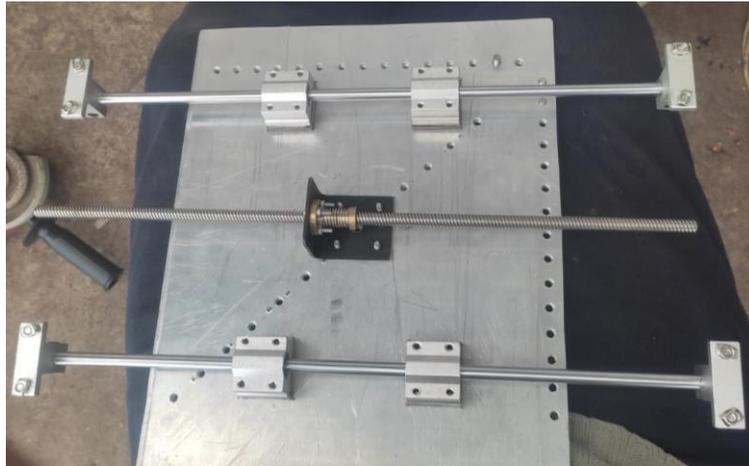


Figura 45. Ensamble del eje Y.
Fuente: Autor

3.2 Ensamble de la estructura

Para la construcción del bastidor de la máquina se optó por utilizar perfiles de aluminio tipo V con unas dimensiones de 400mm x 20mm x 40mm, ya que es un material muy fuerte, resistente a la corrosión, permite un rápido ensamble y con gran precisión. En la Figura 46, se puede observar el aluminio utilizado para la construcción del bastidor



Figura 46. Perfil de aluminio tipo V 400x20x40.
Fuente: (Perfiles CNC, 2023)

Para la unión de los perfiles se utilizó uniones en L específicamente diseñadas para este tipo de material ya que aportan gran firmeza a la construcción y son de acero inoxidable, en la siguiente figura se puede apreciar la unión en L usada.



Figura 47. Unión en L para perfiles de aluminio.
Fuente: Autor

Con la ayuda de chumaseras para husillos de 8mm y soportes de aluminio a 90° se montó los diferentes ejes sobre el bastidor de la máquina y el motor Spindle de tal manera que queden alineados, centrados y que tengan un correcto desplazamiento.

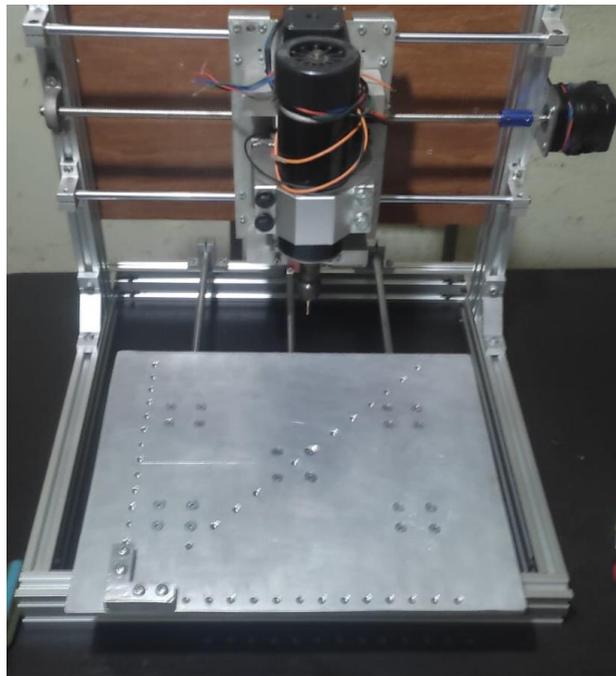


Figura 48. Ejes montados sobre bastidor.
Fuente: Autor

3.3 Montaje del sistema eléctrico

Siguiendo el diagrama eléctrico de conexiones de la Figura 29 y respetando el código de colores, se procedió a cablear todos los componentes electrónicos del prototipo CNC.

3.3.1 Conexión de drivers TB6560

Primero se debe conectar la alimentación de los drivers desde la fuente conmutada de 12V hasta los bornes de entrada, luego se cablea los motores paso a paso respetando la polaridad de los devanados y tomando en cuenta el sentido de giro de cada eje. Por último, se coloca los cables hacia los respectivos pines del Arduino Mega.

A continuación, en la Figura 49 se muestran los pines de conexión del driver TB6560.

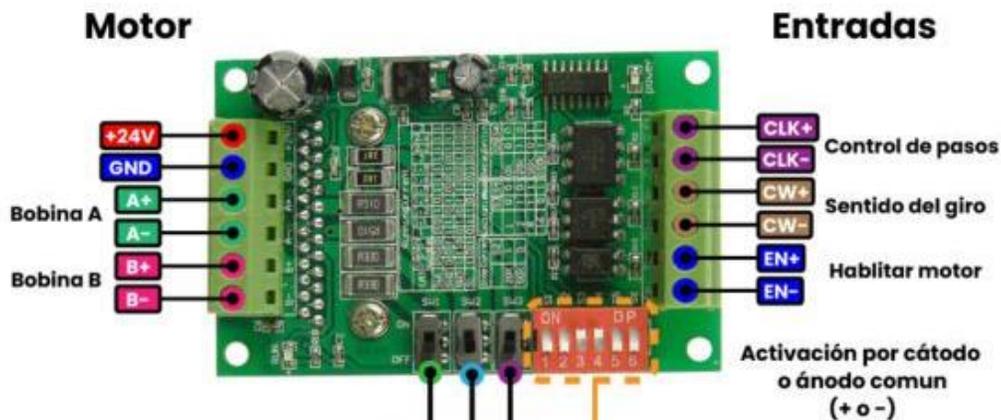


Figura 49. Pines de conexión del driver TB6560.
Fuente: (UNIT Electronics, 2022)

3.3.2 Configuración de drivers

Configuración de corriente de trabajo

Los drivers usados cuentan con la posibilidad de limitar el consumo de corriente hacia los motores paso a paso, por lo que se deben configurar de tal manera que los motores no excedan su límite de corriente y tengan un mayor tiempo de vida útil.

Para esto el controlador cuenta con 9 interruptores ubicados en la parte inferior que permite elegir entre las diferentes configuraciones de corriente que este soporta y los diferentes tipos de paso, como se muestra a en la Figura 50.

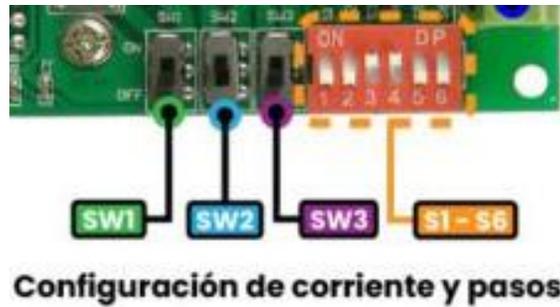


Figura 50. Interruptores para configuración de corriente y pasos del driver TB6560.
Fuente: (UNIT Electronics, 2022)

Puesto que los motores Nema 17 seleccionados tienen un consumo máximo de 1.68A, se usó la Tabla 11 para escoger una corriente que sea ligeramente inferior de 1.6A para que el motor no trabaje a su máxima capacidad constantemente y se sobrecaliente.

Tabla 11

Corrientes de trabajo del driver TB6560

Corriente (A)	SW1	SW2	SW3	S1
0.3	OFF	OFF	ON	ON
0.5	OFF	OFF	ON	OFF
0.8	OFF	ON	OFF	ON
1	OFF	ON	OFF	OFF
1.1	OFF	ON	ON	ON
1.2	ON	OFF	OFF	ON
1.4	OFF	ON	ON	OFF
1.5	ON	OFF	ON	ON
1.6	ON	OFF	OFF	OFF
1.9	ON	ON	OFF	ON
2	ON	OFF	ON	OFF
2.2	ON	ON	ON	ON
2.6	ON	ON	OFF	OFF

3.0 ON ON ON OF

Nota: Fuente: (Mirza, 2020)

Adicional a la configuración de la corriente, es necesario activar el porcentaje de corriente máxima que el driver tolerará antes de parar el motor en caso sea necesario, para ello se activa el interruptor S2.

Configuración de pasos

Puesto que los drivers son capaces de trabajar con varias configuraciones de micro pasos con el fin de aumentar la precisión de la máquina se debe escoger la configuración más adecuada para que no exista una excesiva perdida de torque.

A partir de la Tabla 12, con los interruptores S3 y S4 se puede configurar hasta un máximo de 1/16 de paso, sin embargo, para este proyecto se seleccionó 1/8 de paso por que con esa configuración se obtuvieron los mejores resultados.

Tabla 12

Micropasos del driver TB6560

S3	S4	Resolución de micropasos
OFF	OFF	Paso completo
ON	OFF	1/2 de paso
ON	ON	1/8 de paso
OFF	ON	1/16 de paso

Nota: Fuente: (Benne, 2022)

3.3.3 Conexión del Módulo Finales de Carrera

Posteriormente se interconectó el microcontrolador con los finales de carrera, para lo cual fue necesario fabricar un circuito con el uso de optoacopladores que permita eliminar

la electricidad estática que genera el puerto que habilita los drivers y produce falsas alarmas, como se muestra en la Figura 51.

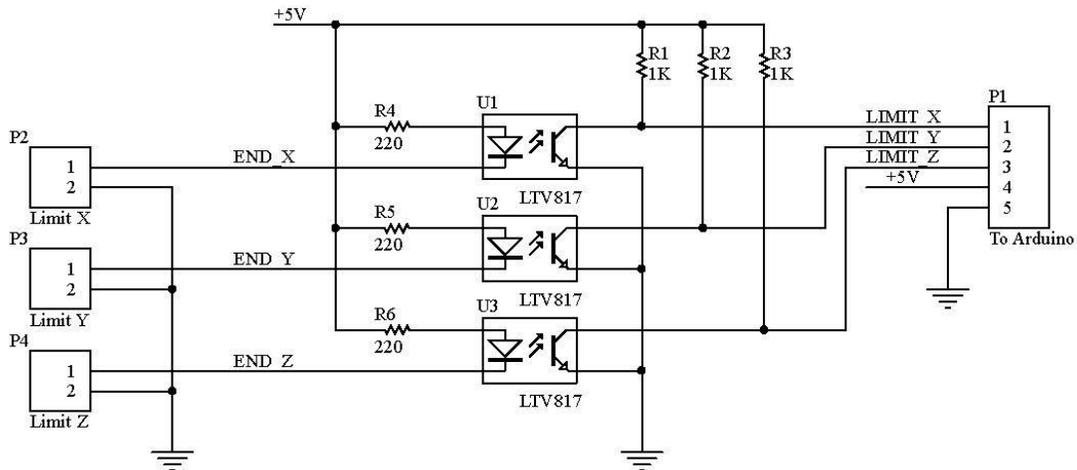


Figura 51. Esquema del circuito para finales de carrera.
Fuente: (Calcote, 2020)

Basándose en el esquema del circuito para finales de carrera de la Figura 51, se procedió a fabricar un PCB con optoacopladores PC817, agregando uno extra para la punta Probe, se incluyó un regulador de voltaje LM7805 a fin de garantizar el nivel de voltaje necesario para el módulo, se conectó los pines de entrada a los finales de carrera y los pines de salida al Arduino Mega, como se muestra a continuación.

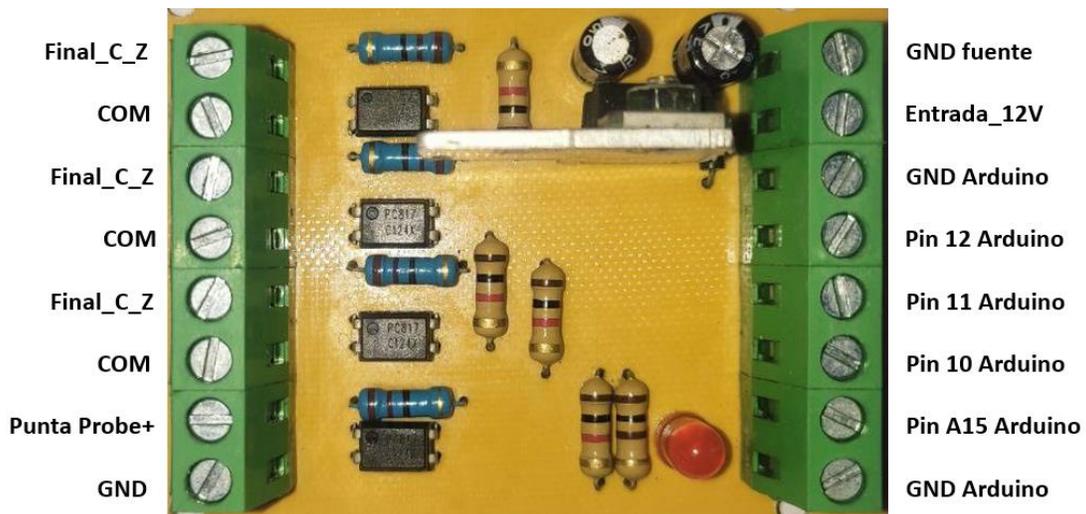


Figura 52. PCB para la conexión de finales de carrera.
Fuente: Autor

Por último, se conectaron los cables de alimentación provenientes desde las fuentes, que alimentan al Arduino Nano, el módulo de finales de carrera, los drivers TB6560 y los convertidores PWM-Voltaje como se muestra en Figura 53.

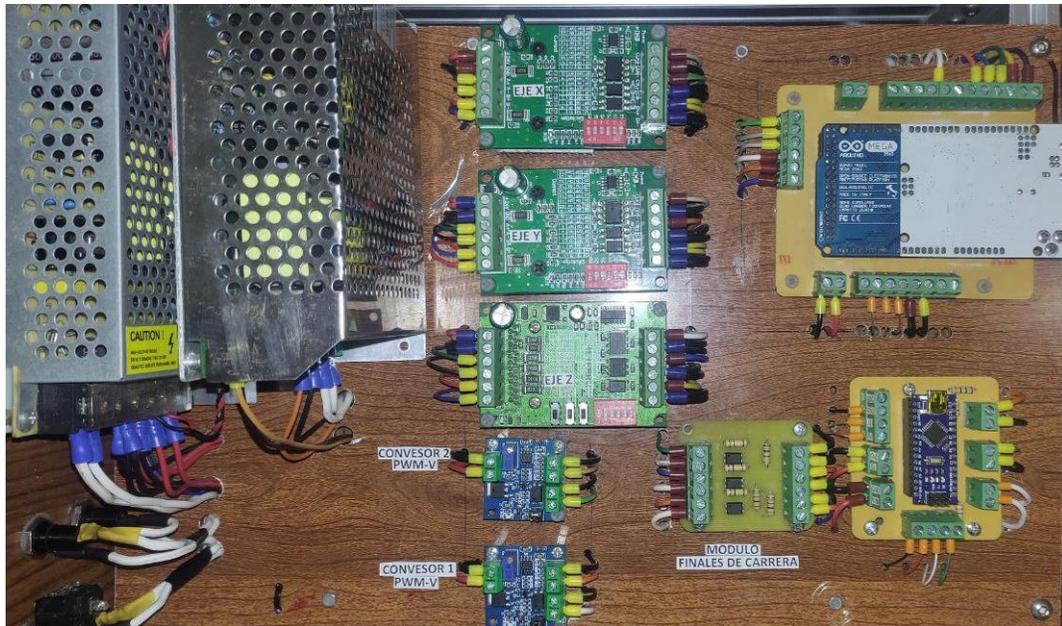


Figura 53. Conexiones eléctricas del prototipo CNC.
Fuente: Autor

3.3.4 Montaje del sistema de control

Para el tablero de control se optó por utilizar una lámina de Alucubond, donde se incorporó: los botones de control GRBL, la pantalla LCD que imprimirá el valor de velocidad del motor Spindle y el modo de control de velocidad en el que se encuentre, además, se instaló los interruptores que habilitan las fuentes de alimentación y el botón de paro de emergencia, como lo muestra la Figura 54.



Figura 54. Tablero de control del prototipo.
Fuente: Autor

Para el control del motor Spindle se consideró el uso de un Arduino Nano y una shield hecha a medida que permita el control de velocidad mediante una señal PWM, además de procesar las señales de entrada desde el Arduino Mega y el potenciómetro, por último, también se encarga del control del LCD e incorpora dos reguladores de voltaje para los componentes.

En la Figura 55 se puede observar los pines de conexión de la shield.

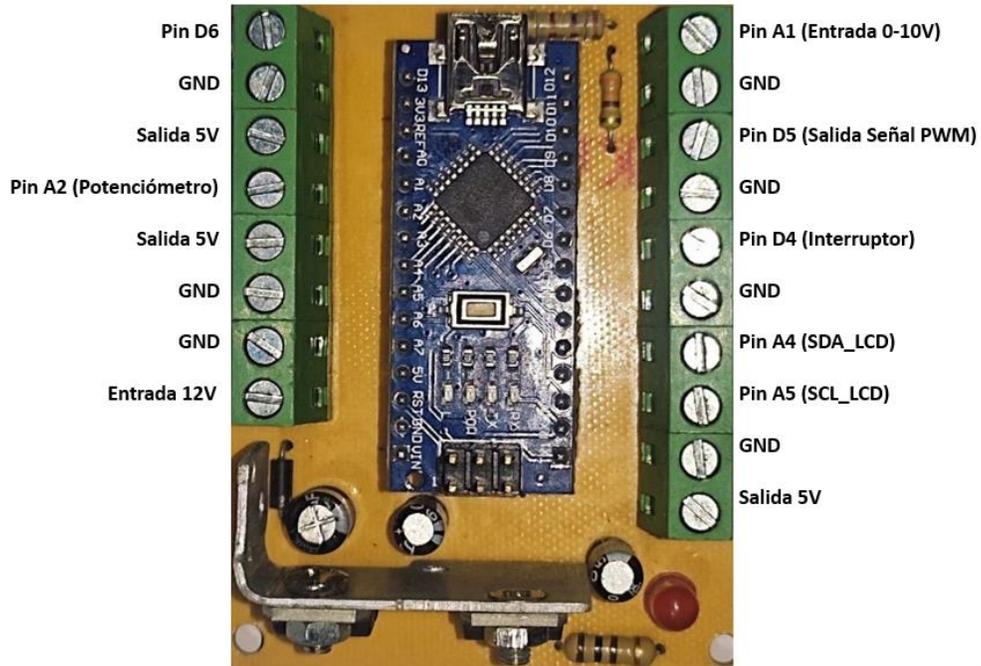


Figura 55. Shield de Arduino Nano.
Fuente: Autor

Con la ayuda de un interruptor se puede cambiar entre 2 modos de operación, ya sea automático desde el software de control o manual desde el potenciómetro ubicado en el tablero. En la Figura 56 se puede observar la señal PWM generada para el control de velocidad.

Fecha = 07-02-2023 Hora = 1:56:16

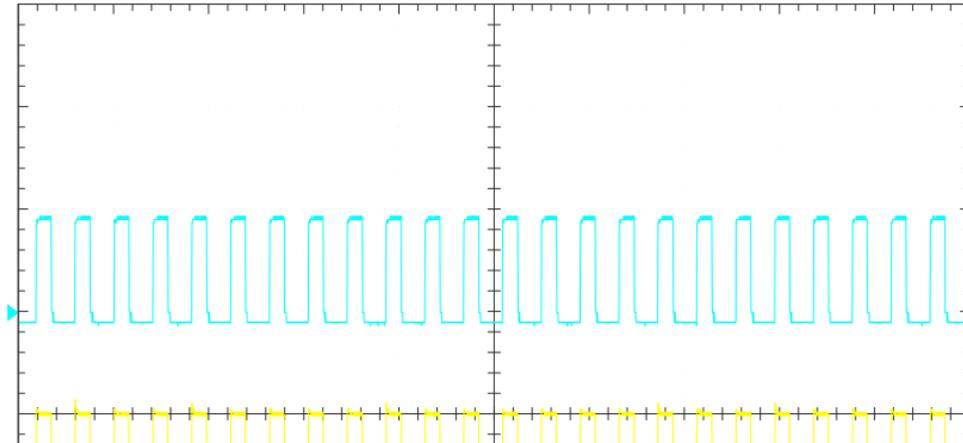


Figura 56. Señal PWM 5V para control de velocidad del motor Spindle.
Fuente: Autor

3.3.5 Montaje de Protecciones

Para las protecciones de las fuentes se usó fusibles tipo capsula que fueron colocados de manera independiente con una capacidad máxima de corriente de 10A según cálculos previos; estos se ubicaron en la parte posterior de la máquina y se usó portafusibles para que el remplazo sea más cómodo.



Figura 57. Protecciones eléctricas del prototipo CNC.
Fuente: Autor

3.4 FlatCAM para la generación de código G

Una vez que se obtienen los archivos Gerber del programa usado para crear el prototipo PCB, se procedió a procesarlos con el software FlatCAM donde se puede configurar distintos parámetros del mecanizado dependiendo el circuito a realizar como, por ejemplo, la velocidad de avance, la profundidad de fresado y corte.

Para editar los archivos que contienen las pistas del circuito desde la pestaña Archivo/Abierto se debe abrir los tipos Gerber, mientras que para abrir las perforaciones se debe escoger el archivo tipo Excellon, como se muestra en la Figura 58.

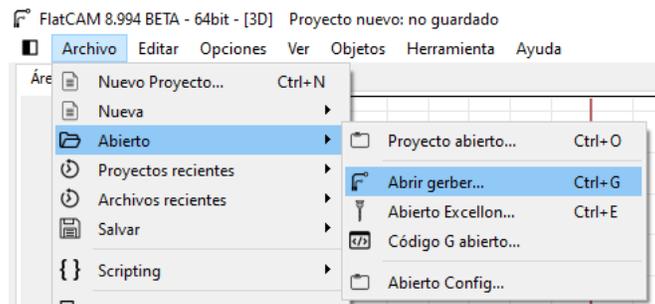


Figura 58. Menú de apertura de archivos del software FlatCAM.
Fuente: Autor

Para el trasado de las pistas se debe seleccionar el diámetro efectivo de corte de la broca a utilizar, puesto que este dependerá de la profundidad a la que se desea realizar las pistas, para ello se usa la herramienta calculadora que incorpora FlatCAM,

Para el ejemplo de la Figura 59, se colocó una profundidad de corte en Z de 0.04mm y se usó una broca de 30° obteniendo un diámetro efectivo de corte de 0.1214mm.

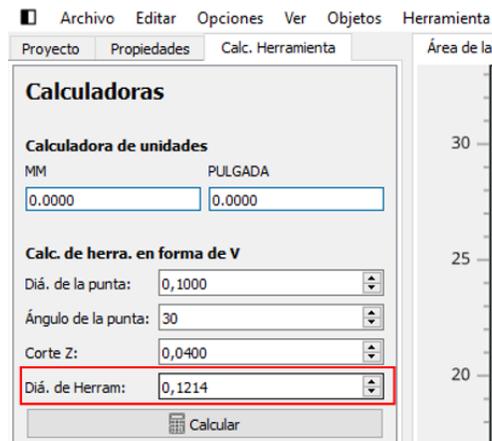


Figura 59. Calculadora de diámetro efectivo de corte.
Fuente Autor

A continuación, se debe generar una geometría con el diámetro de la broca, configurar los parámetros de velocidad de fresado del circuito dentro de la interfaz del software y por último guardar el código G para ser enviado a la máquina por el software Candle.

En la Figura 60 se muestran los parámetros a configurar dentro del software FlatCAM de la herramienta para el fresado.

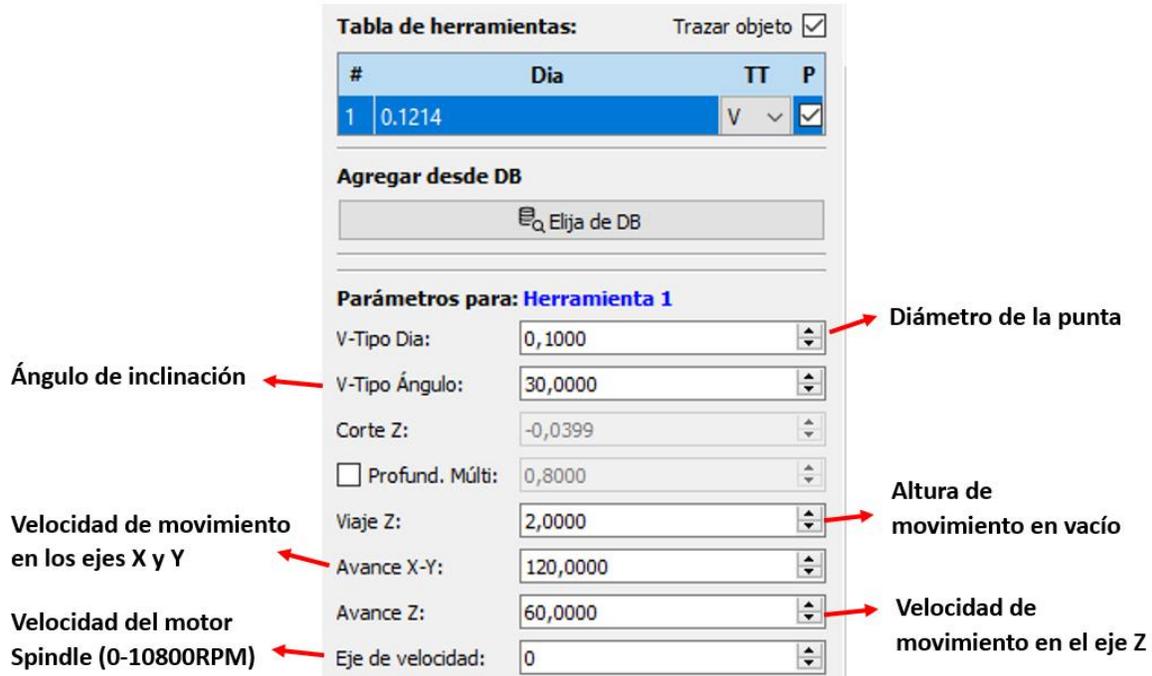


Figura 60. Parámetros para el fresado de circuitos impresos.
Fuente: Autor

3.5 Software de control Candle

3.5.1 Autonivelado

Mediante el uso de la herramienta autonivelado, podemos determinar el punto cero en el eje Z de la máquina, colocando una pinza de la punta Probe en la broca y la otra en la baquelita, se realiza un sondeo para determinar la altura a la que se encuentra el material de trabajo.

Cabe mencionar que hay que aproximar la broca a una altura estimada de entre 5mm a 10mm respecto a la baquelita, ya que es el rango en el que trabaja el autonivelado. A continuación, se muestra la herramienta dentro de la interfaz del software Candle.

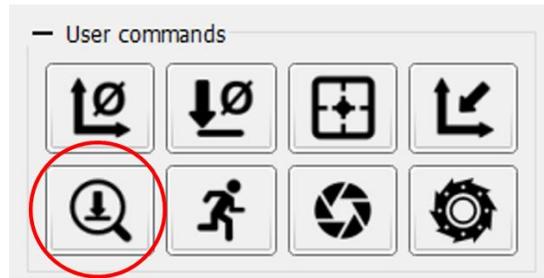


Figura 61. Herramienta autonivelado del software Candle.
Fuente: Autor

3.5.2 Mapa de alturas

Antes de empezar con el mecanizado cualquier circuito impreso se debe realizar un mapa de alturas de la baquelita con el fin de tener un mapeo de la superficie y tener mecanizado más uniforme, garantizando que el cobre no deseado sea removido.

Para realizar el mapa de alturas se utiliza la punta probe y la herramienta Mapa de Alturas del software, como se puede observar en la Figura 62. Aquí se configura las dimensiones del circuito y la cantidad de puntos de referencia que la máquina tomará los cuales deben ser de al menos uno por cada centímetro con el fin de tener una lectura más fiable.

Una vez completado el mapa se procede con el mecanizado de los circuitos impresos.

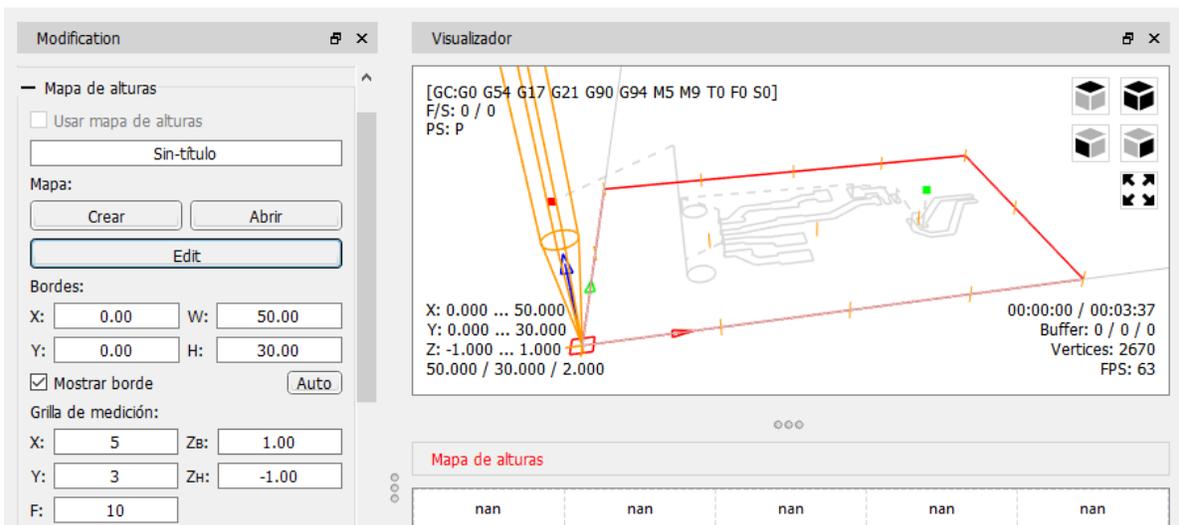


Figura 62. Herramienta Mapa de Alturas.
Fuente: Autor

3.6 Pruebas y resultados

3.6.1 Pruebas de precisión

Con la ayuda de un calibrador digital se hicieron pruebas de precisión en vacío con el fin para comprobar que el prototipo cumpla con el porcentaje máximo de tolerancia (0.1mm), para ello se realizaron varias mediciones con un avance 1mm para el eje X ya que este arrastra más peso, además se usó una configuración 1/8 de paso, donde se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 13

Resultados de precisión con un avance de 1mm

Avance	Paso	Error
1mm	1/8 de paso	0.01mm
2mm	1/8 de paso	0.03mm
3mm	1/8 de paso	0.02mm
4mm	1/8 de paso	0.00mm
5mm	1/8 de paso	-0.02mm
6mm	1/8 de paso	0.02mm
7mm	1/8 de paso	0.04mm
8mm	1/8 de paso	-0.02mm
9mm	1/8 de paso	0.03mm
10mm	1/8 de paso	0.05mm
	Promedio	0.015mm

Como se puede observar en la Tabla 13, para desplazamientos pequeños el promedio de error no supera los 0.015mm, así que se encuentra dentro de los parámetros

establecidos. Para desplazamientos más largos se realizó mediciones con un avance de 10mm y con una configuración de 1/8 de paso para el eje X, donde se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 14

Resultados de precisión con un avance de 10mm

Avance	Paso	Error
10mm	1/8 de paso	0.04mm
20mm	1/8 de paso	0.03mm
30mm	1/8 de paso	0.04mm
40mm	1/8 de paso	0.00mm
50mm	1/8 de paso	-0.02mm
60mm	1/8 de paso	0.02mm
70mm	1/8 de paso	0.05mm
80mm	1/8 de paso	-0.02mm
90mm	1/8 de paso	0.03mm
100mm	1/8 de paso	0.05mm
	Promedio	0.03mm

Con desplazamiento más largos se observa un incremento en el error a la hora de desplazar el eje de hasta 0.03mm, pero sigue estado por debajo de los parámetros iniciales así que la precisión del prototipo es más que satisfactoria.

3.6.2 Pruebas de corte

Para las pruebas de corte se usó una baquelita de 1.3mm de espesor, se realizó pruebas con brocas de corte cilíndricas de hasta un diámetro de 1.7mm con resultados excelentes.

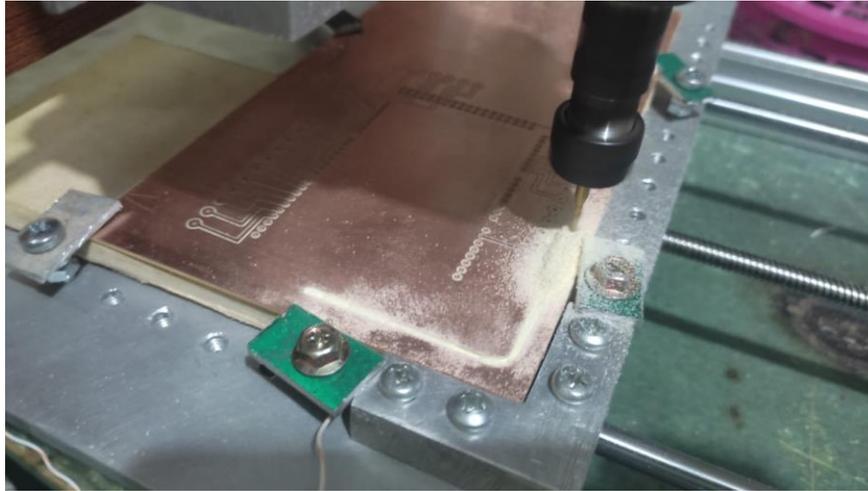


Figura 63. Corte de baquelita 1.3mm de espesor.
Fuente: Autor

Para el ejemplo de la Figura 64 se usó una configuración en la velocidad de corte máxima de 45mm/min y en una pasada con un tiempo estimado de corte de 10 min, se pudo observar una rebaba de cobre que queda en la baquelita resultado del corte, sin embargo, no representa algo negativo en el resultado final del prototipo PCB, pero si aumenta el esfuerzo en los motores y reduce su tiempo de vida útil.



Figura 64. Resultado de corte a una velocidad de 45mm/min.
Fuente: Autor

Por otro lado, con una configuración en la velocidad de corte máxima de 40mm/min, con al menos 2 pasadas y con la misma broca, el resultado de corte es más limpio, pero con un aumento de tiempo poco más del doble con respecto a el corte en una sola pasada de 20 minutos.

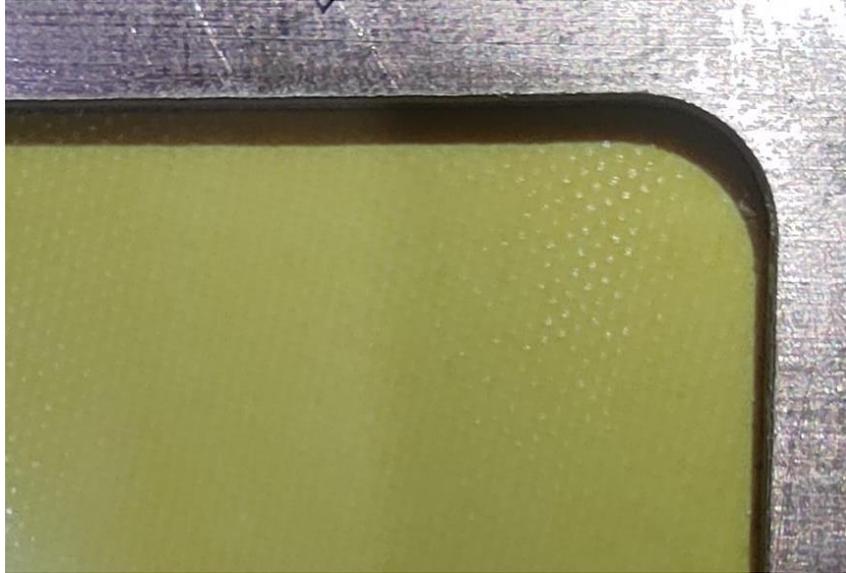


Figura 65. Resultado de corte a una velocidad de 40mm/min.
Fuente: Autor

3.6.3 Pruebas de fresado

Para las pruebas de fresado se usaron brocas tipo lanza con una punta de 0.1mm de diámetro, un ángulo de 30° y 20° con velocidades de corte de entre 40mm/min y 100mm/min. Cabe mencionar que en todas las pruebas se usó la velocidad máxima del motor Spindle.

Pruebas con brocas de 0.1mm de diámetro a 20°

Con este tipo de brocas se pudo observar que si no se realizan las pistas con una profundidad mayor a 0.04mm la distancia entre las pistas y el excedente de cobre no es suficiente para aislar el circuito y se dificulta la soldadura de los componentes electrónicos.

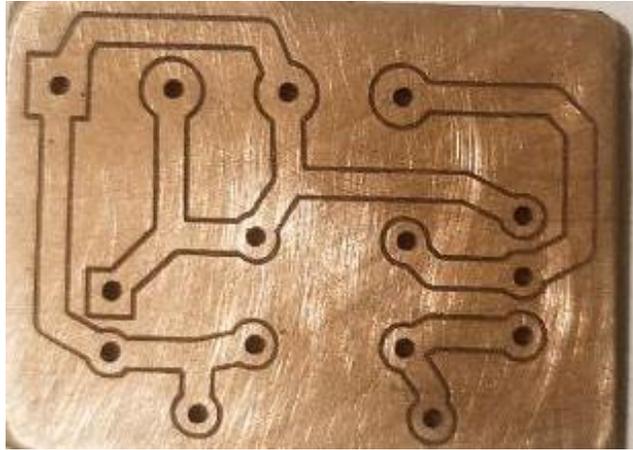


Figura 66. Resultado de fresado con broca de 0.1mm a 20°.
Fuente: Autor

Pruebas con brocas de 0.1mm de diámetro a 30°

En las pruebas con brocas de ángulo 30° y una velocidad máxima de avance de 45mm/min y a partir de una profundidad de 0.03mm se observó que la distancia entre las pistas es suficiente para que no exista continuidad entre ellas, resultando en un acabado muy limpio y preciso.

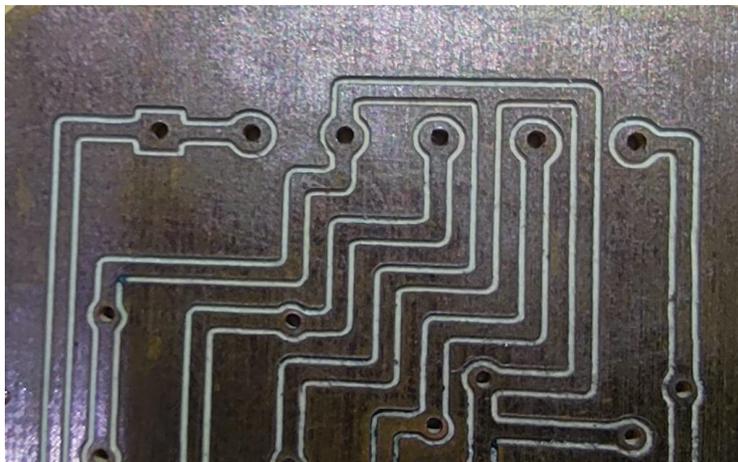


Figura 67. Resultado de fresado con broca de 0.1mm a 30°.
Fuente: Autor

Con las pruebas se pudo determinar que entre más fina es la broca se debe realizar el mecanizado a menor velocidad para evitar romperlas, para el caso de la broca con un ángulo de 20° se debe usar una velocidad máxima de 40mm/min, mientras que para la broca con un ángulo de 30° se puede usar hasta una velocidad máxima de 45mm/min.

Pruebas con micro pasos

Para las pruebas de fresado con micro pasos se usó una broca de 30° y una velocidad avance de 40mm/min y se realizó pruebas con una configuración de pasos completos, medios pasos, octavos de pasos y dieciseisavos de pasos.

Para la prueba con pasos completos se pudo apreciar una presión aceptable, en los ejes X y Y, sin embargo, en ocasiones en el eje Z al realizar el sondeo de altura tiende a romper la punta de las brocas para fresado por que el movimiento es más brusco, los motores presentan una vibración moderada y un incremento de temperatura en fresados que superen los 50 minutos. En la siguiente figura se muestran el resultado de fresado usando pasos completos.

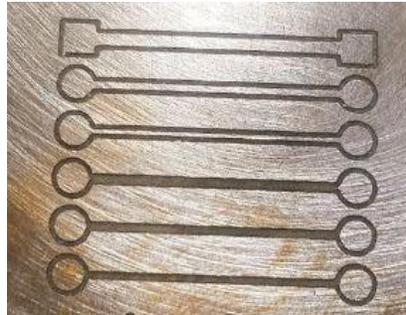


Figura 68. Prueba de fresado con pasos completos.
Fuente: Autor

Usando una configuración en el driver de medios pasos, no se logró observar un gran cambio con respecto a las pruebas realizadas con pasos completos, pero se logró identificar una leve mejora en precisión en el eje Z como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, donde se logró fresar una pista más fina con respecto a la prueba anterior.

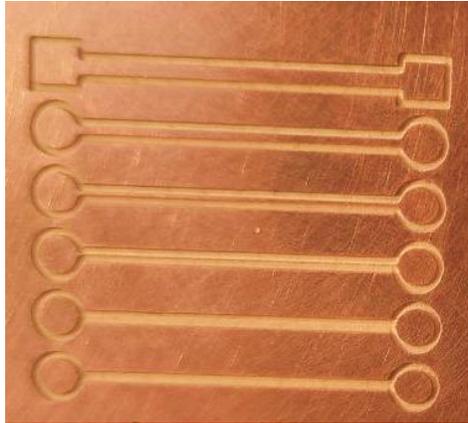


Figura 69. Prueba de fresado con medios pasos.
Fuente: Autor

En las pruebas con octavos de pasos se obtuvieron los mejores resultados, se apreció una mejora considerable de precisión en todos los ejes, un giro más sube de los motores manteniendo una temperatura baja y sin casi perdida de torque, permitiendo una mejor calidad de fresado y largos tiempos de trabajo.

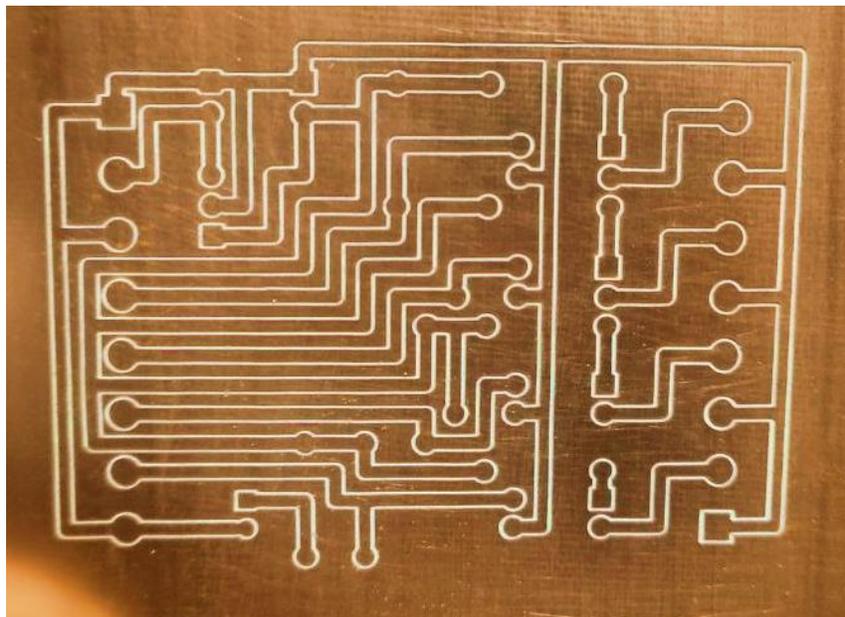


Figura 70. Prueba de fresado con octavos de paso.
Fuente: Autor

Para el caso de dieciseisavos de paso y con la misma configuración de velocidad, los motores empiezan a perder pasos provocando una deformación en las pistas e islas de los prototipos PCB como lo muestra la Figura 71 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

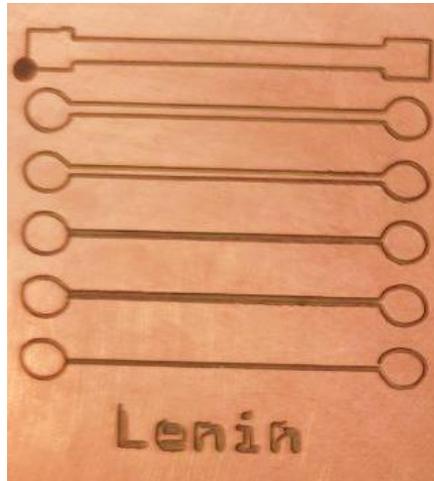


Figura 71. Prueba de fresado con dieciseisavos de paso.
Fuente: Autor

Pruebas con varios anchos de pistas

Con la configuración de octavos de paso, una velocidad de 40mm/min y usando una profundidad de 0,03mm, se pudo observar que es viable fresar pistas hasta de un ancho mínimo de 0.30mm, puesto que al ser más finas la broca termina desbastando la parte de cobre de la pista que es conductiva como se muestra en la siguiente figura.

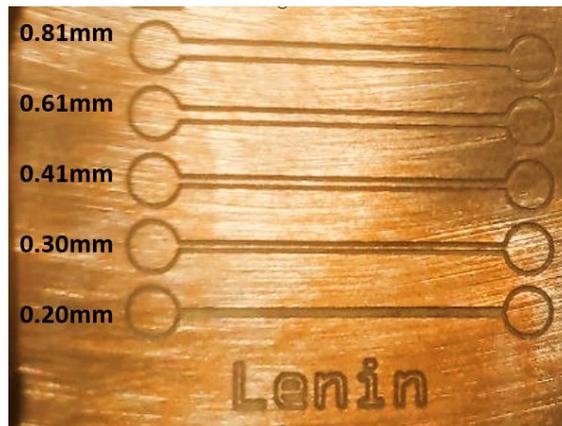


Figura 72. Prueba de fresado con varios anchos de pistas.
Fuente: Autor

Pruebas con circuitos SMD

Los mejores resultados se obtuvieron al configurar el fresado a una profundidad de 0.03 mm y usando una broca de 0.1mm de diámetro a un ángulo de 20° donde se pudo

observar que las pistas e islas tienen una buena definición y sin continuidad como lo muestra la Figura 73, sin embargo, para soldar correctamente los componentes electrónicos se debe usar una máscara antisolder UV.

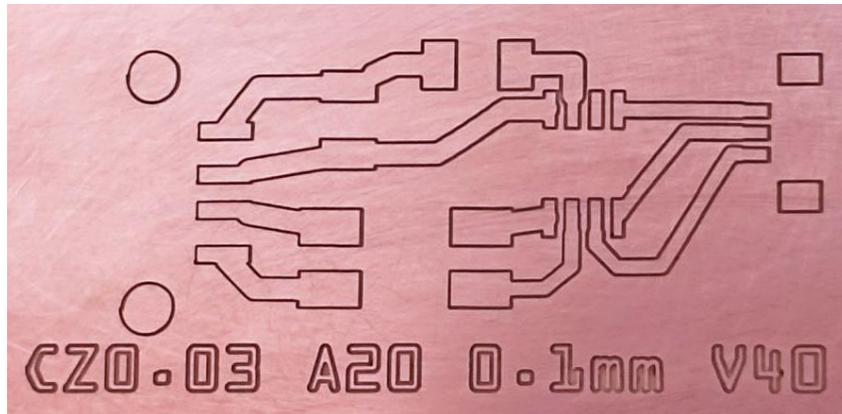


Figura 73. Prueba de fresado para componentes SMD.
Fuente: Autor

3.6.4 Pruebas de perforado

Con una velocidad de perforación de 40mm/min para el eje Z, la distancia entre los orificios es muy buena para los diferentes diámetros de brocas, permitiendo que los componentes se coloquen sin dificultad y queden correctamente alineados, como se puede observar en la Figura 74.

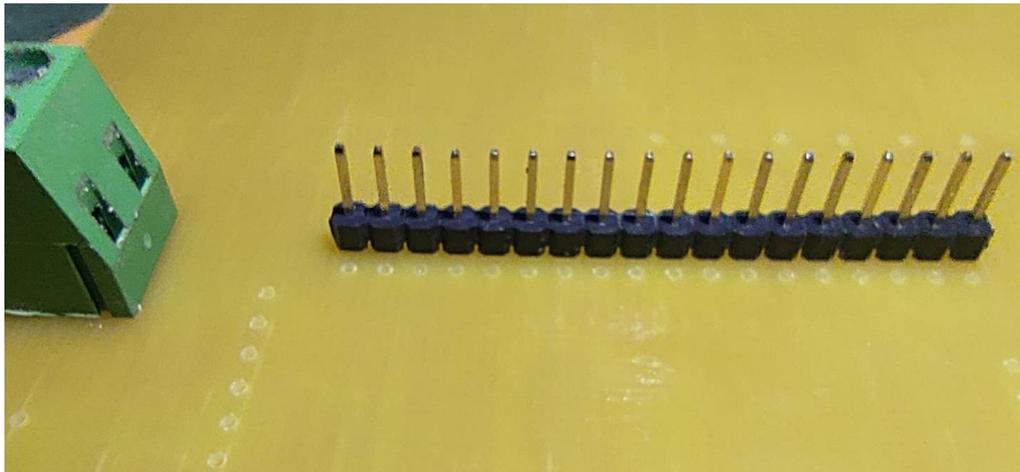


Figura 74. Resultado de perforado con broca de 0.9mm de espesor.
Fuente: Autor

En la Figura 75, se puede observar el resultado final del mecanizado de un PCB usando el prototipo CNC.

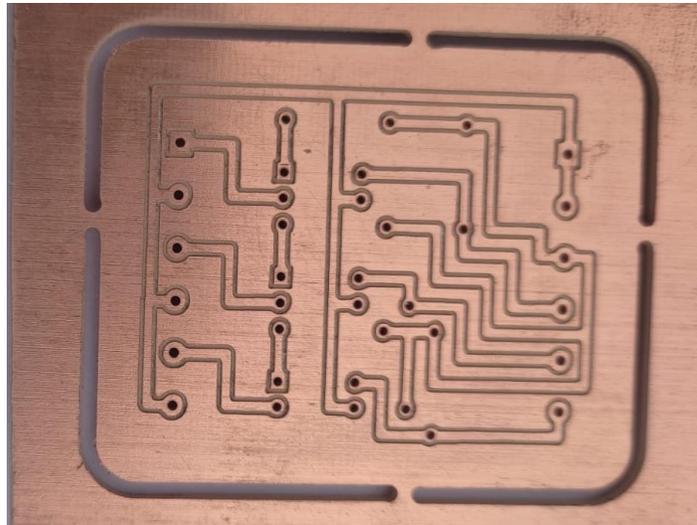


Figura 75. Resultado de mecanizado de prototipo PCB.
Fuente: Autor

Prueba con circuitos a doble cara

Con la ayuda de la guía en la mesa de trabajo se logró mecanizar circuitos con doble cara totalmente funcionales, para ellos se realizó el mapa de alturas en cada una de las caras y dejando las perforaciones para el final, la alineación de las pistas es más que satisfactoria, pero la perforación de los orificios queda ligeramente desplazada al momento de girar la baquelita y alinear las caras.

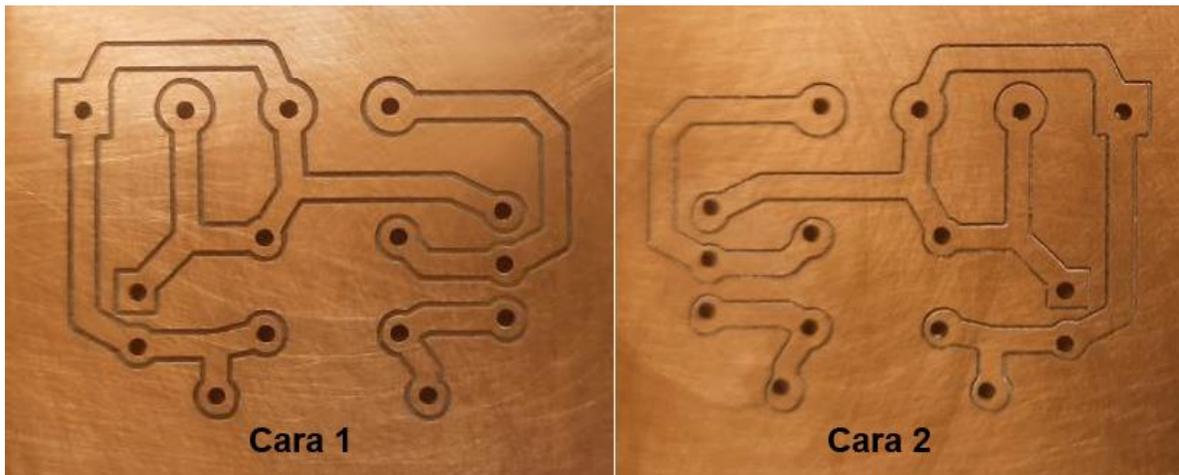


Figura 76. Resultado del mecanizado de circuitos a 2 caras.
Fuente: Autor

3.7 Implementación del prototipo CNC

El prototipo CNC para la fabricación de prototipos PCB, se encuentra en el Laboratorio de Tecnología Eléctrica de la Universidad Técnica del Norte ubicada en la ciudad de Ibarra, disponible para el uso de todos los estudiantes de la Carrera de Electricidad, como se puede observar en la Figura 77.



Figura 77. Prototipo CNC para la fabricación de prototipos PCB.
Fuente: Autor

3.8 Análisis Económico

Para el análisis económico se tomó en cuenta los materiales de la estructura de la máquina y el de costo de los componentes eléctricos, con respecto a el costo de softwares no se tomó en cuenta puesto que se usó softwares gratuitos y no representan un gasto adicional.

3.8.1 Costo de materiales para la estructura de la máquina CNC

Se consideró como costo de estructura a todos los materiales que forman parte del bastidor y de los ejes móviles que no sean eléctricos, a continuación, en la Tabla 15 se detallan los precios y los materiales usados.

Tabla 15*Costo de materiales para la estructura*

Cantidad	Material	V. unitario	Subtotal
4	Perfil de aluminio 1000x20x40mm	\$14,66	\$58,64
12	Unión en L para perfil de aluminio	\$1,87	\$22.44
2	Soporte a 90° en aluminio para perfil 20x20mm	\$2.03	\$4.06
1	Plancha de aluminio 300x250x6mm	\$45.00	\$45.00
70	Tuerca M5 para soporte de esquina	\$0.19	\$13.30
70	Tornillo M5 para soporte de perfil de aluminio	\$0.21	\$14.70
8	Rodamiento SC8UU para eje lineal	\$4.93	\$39.44
2	Tuerca T8 antideslizante de 4 hilos	\$1.93	\$3.86
1	Tuerca T8 para varilla trapezoidal de 2 hilos	\$1.25	\$1.25
2	Varilla roscada trapezoidal 8x400mm de 4 hilos	\$9.87	\$19.74
1	Varilla roscada trapezoidal 8x200mm de 2 hilos	\$9.80	\$9.80
5	Varilla liza de acero inoxidable 400x8mm	\$1.00	\$5.00
2	Chumacera con rodamiento 8mm KP008	\$2.06	\$4.12
1	Rodamiento F608ZZ	\$1.64	\$1.64
2	Rodamientos lineales LM8LUU 15mmx45mm	\$2.18	\$4.36
3	Acople rígido azules 5mmx8mm	\$2.50	\$7.50
4	Alucobond acabado en madera 3mm,1m ²	\$9.00	\$36.00
2	Bloque de aluminio fundido 45mmx90mmx15mm	\$5.00	\$10.00
1	Bloque de aluminio de 80x450x250 mm	\$4.00	\$4.00

1	Plancha de aluminio 120x190x30mm	\$10.00	\$10.00
1	Plancha de Acrílico 3mm	\$40.00	40.00
16	Perno cabeza cónica 3mm	\$0.60	\$9.60
	Total		389.30

Nota: Todos los precios de los diferentes componentes fueron extraídos de sus páginas oficiales de venta.

3.8.2 Costo de materiales eléctricos del prototipo CNC

A continuación, en la Tabla 16 se detallan los precios de los materiales eléctricos usados.

Tabla 16

Coste de materiales eléctricos del prototipo CNC

Cantidad	Material	V. unitario	Subtotal
1	Motor spindle 500W + fuente	\$102.50	\$102.50
3	Motores Nema 17 a 1.6 A	\$25.00.	\$75.00
3	Drivers TB6560	\$12.50	\$37.50
2	Módulo conversores PWM-Voltaje	\$6.70	\$13.40
1	Arduino Nano	\$13.00	\$13.00
1	Arduino Mega 2560	\$40.00	\$40.00
1	Pantalla LCD16x2	\$7.50	\$7.50
1	Modulo I2C para pantalla LCD	\$2.50	\$2.50
2	Portafusibles de 10A	\$1.20	\$2.40

2	Fusible de 10A	\$1.00	\$2.00
1	Potenciómetro de 10K	\$0.90	\$0.90
3	Mini interruptor rocket	\$0.60	\$1.80
1	Botón para emergencia	\$5.50	\$5.50
6	Finales de carrera	\$1.15	\$6.90
1	Fuente conmutada de 10A a 12V	\$17.00	\$17.00
3	Pulsador de acción rápida 12mm	\$0.50	\$1.50
1	Ventilador de 12V	\$5.65	\$5.65
1	Conector de 2 pines	\$1.50	\$1.50
2	Pinza lagarto pequeña	\$1	\$2
3	Octocoplador PC817	\$1.20	\$3.60
54	Conector de bloque 5mm	\$0.25	\$13.50
1	Aspiradora	\$30.00	\$30.00
1	Relé de 12V a 8A	\$1.56	\$1.56
		Total	387.21

Nota: Todos los precios de los diferentes componentes fueron extraídos de sus páginas oficiales de venta.

3.8.3 Costo total del prototipo CNC

Para determinar el coste total de la maquina se consideró todos los costes de material y gastos adicionales en el proceso de fabricación.

Tabla 17

Coste total del prototipo CNC

Detalle	Subtotal
<i>Coste de materiales para la estructura</i>	\$389.30
<i>Coste de materiales eléctricos</i>	\$387.21
Gastos adicionales	\$100.00
Total	876.51

A partir de las pruebas realizadas se pudo determinar que le prototipo CNC es capaz de realizar circuitos impresos de hasta 2 caras con una precisión y calidad más que aceptables, además, cabe acotar que el costo de la máquina está dentro del presupuesto inicial y en comparación con máquinas CNC de características similares, que pueden alcanzar valores de hasta 3200 dólares más gastos de envío, es significadamente más económica (Wegster, 2023).

CONCLUSIONES

En base a la información recopilada de los métodos de fabricación de prototipos PCB, se pudo determinar que el sistema de mecanizado con máquinas CNC es el método que cumple con todas las características necesarias para una óptima fabricación. Además, permitió conocer los componentes que conforman una maquina CNC y su funcionamiento.

Con la finalidad de obtener un prototipo más compacto y optimizar recurso se realizó el cálculo de fuerzas, con las cuales se logró determinar los mejores componentes que se ajusten a los requerimientos técnicos, que sean fáciles de adquirir, tengan un bajo costo y cuenten con un largo tiempo de vida útil.

Una vez implementada la máquina CNC se logró cumplir con todos los requerimientos establecidos, tanto en el área de trabajo como la de precisión, donde se obtuvo una precisión mayor a la propuesta de 0.03mm, además de la posibilidad de mecanizar circuitos de 2 caras, por último, el prototipo utiliza softwares gratuitos, de fácil manejo y con las herramientas necesarias para que la producción de PCBs sea eficiente.

RECOMENDACIONES

Profundizar la investigación sobre máquinas CNC y de nuevas tecnologías que se puedan aplicar, como por ejemplo el cambio automático de herramienta a fin de optimizar la producción de prototipos PCB y disminuir la intervención humana.

Implementar un sistema offline con ayuda de una pantalla Nextion de tal manera que no sea necesario utilizar un computador para enviar el código de los PCBs y que permita unificar todos los componentes con una sola placa, para ello se recomienda cambiar el microcontrolador y fabricar una placa a medida.

Para el desarrollo de circuitos con componentes de montaje superficial es recomendable cambiar la broca por una cónica de 2 flautas, remplazar las varillas roscadas por unas de menor paso, de tal manera que se pueda usar los motores a una mayor velocidad sin perder precisión y usar el menor ancho de pista que sea posible para que el desbaste de cobre sea el necesario.

ANEXOS

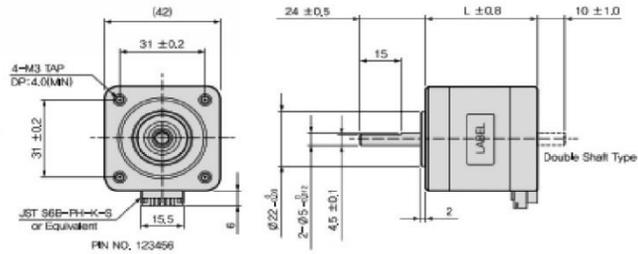
FICHAS TÉCNICAS

1.8° Hybrid Stepper Motors

42Q Series | NEMA 17 (42 mm)



Dimension Specification



Wiring Diagram



SPECIFICATIONS

U n i p o l a r	Model No.	Holding Torque (N · cm)	Motor Length (L=mm)	Rotor Inertia (g · cm ²)	Rated Voltage (V/Phase)	Rated Current (A/Phase)	Winding Resistance (Ω/Phase)	Inductance (mH/Phase)
	4S42Q-H09634S	17.65	34	38	9.6	0.4	24.0	15.0
	4S42Q-H04334S	21.57	34	38	4.3	1.0	4.3	3.2
	4S42Q-H03434S	21.57	34	38	3.4	1.2	2.8	1.9
	4S42Q-H12040S	29.42	40	57	12.0	0.4	30.0	20.0
	4S42Q-H07240S	32.36	40	57	7.2	0.6	12.0	11.5
	4S42Q-H05940S	32.36	40	57	5.9	0.8	7.4	6.2
	4S42Q-H04840S	32.36	40	57	4.8	1.0	4.8	4.2
	4S42Q-H04140S	32.36	40	57	4.1	1.2	3.4	3.2
	4S42Q-H04648S	39.23	48	81	4.6	1.2	3.8	3.0

B i p o l a r	Model No.	Holding Torque (N · cm)	Motor Length (L=mm)	Rotor Inertia (g · cm ²)	Rated Voltage (V/Phase)	Rated Current (A/Phase)	Winding Resistance (Ω/Phase)	Inductance (mH/Phase)
	2S42Q-H07234S	24.52	34	38	7.2	0.6	12.0	15.0
	2S42Q-H03134S	29.42	34	38	3.1	1.4	2.2	3.2
	2S42Q-H02434S	29.42	34	38	2.4	1.7	1.4	1.9
	2S42Q-H09040S	39.23	40	57	9.0	0.6	15.0	20.0
	2S42Q-H04840S	39.23	40	57	4.8	0.8	6.0	11.5
	2S42Q-H04140S	39.23	40	57	4.1	1.1	3.7	6.2
	2S42Q-H03440S	39.23	40	57	3.4	1.4	2.4	4.2
	2S42Q-H02940S	39.23	40	57	2.9	1.7	1.7	3.2
	2S42Q-H03248S	49.03	48	81	3.2	1.7	1.9	3.0

Contact us at: +1 416-423-5590 | info@jprglobal.com

<https://www.uskoreahotlink.com/products/manufacturing/2-phase-rotary-hybrid-stepper-motor>

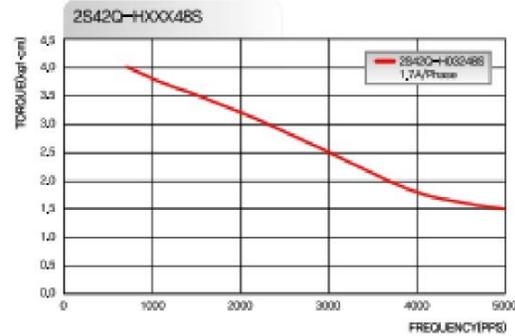
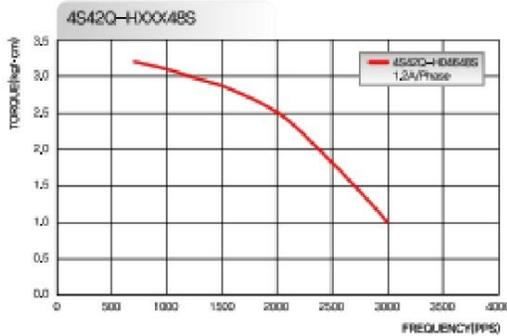
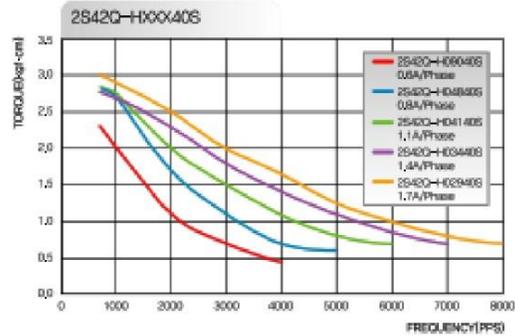
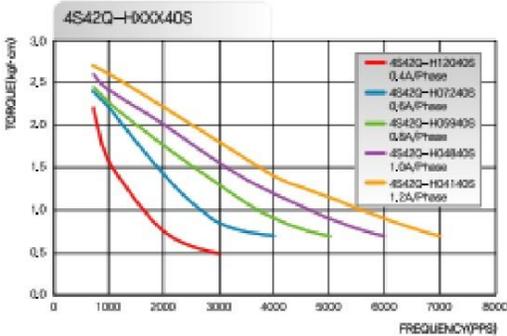
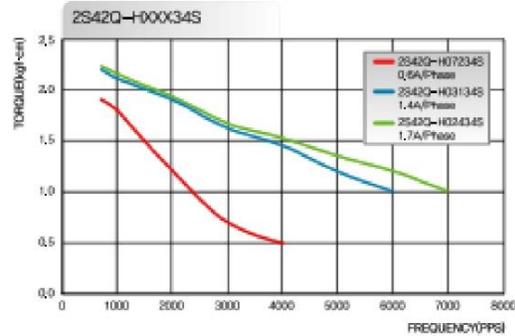
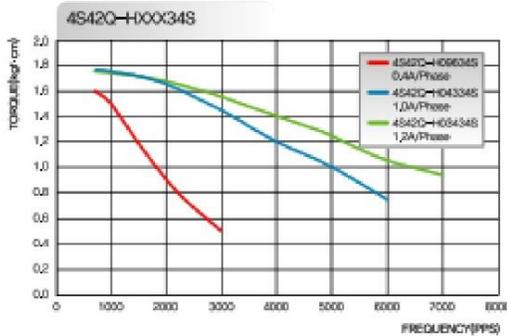
1.8° Hybrid Stepper Motors Performance Data



42Q Series | NEMA 17 (42 mm)

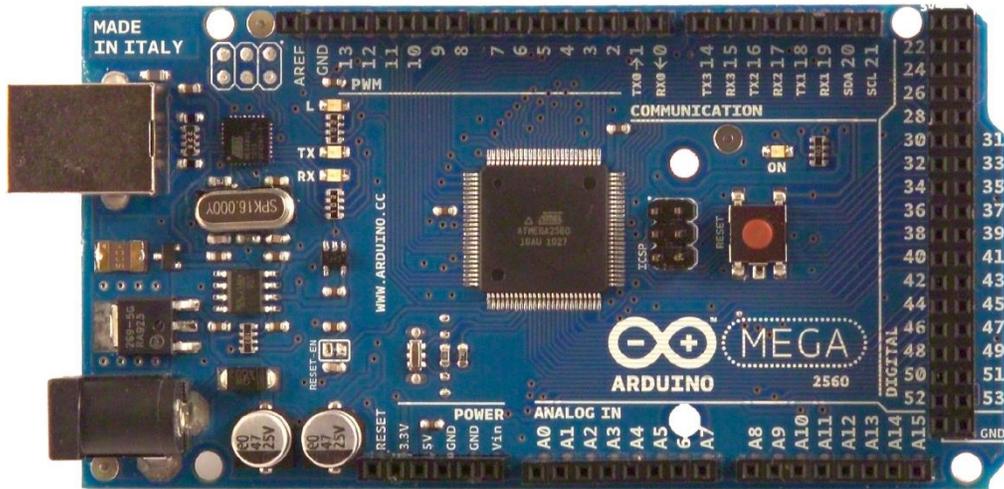
Torque/Speed Curve

- DRIVER CHOPPER
- SUPPLY VOLTAGE: DC 24.0V
- 2 PHASE EXCITING
- MOUNTING WITH RUBBER DAMPER



Contact us at: +1 416-423-5590 | info@lprglobal.com
<https://www.uskoreahotlink.com/products/manufacturing/2-phase-rotary-hybrid-stepper-motor>

Arduino MEGA 2560



Product Overview

The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560 ([datasheet](#)). It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila.

Index

Technical Specifications

Page 2

How to use Arduino
Programming Enviroment, Basic Tutorials

Page 6

Terms & Conditions

Page 7

Enviromental Policies
half sqm of green via Impatto Zero®

Page 7



radiospares

RADIONICS



Technical Specification

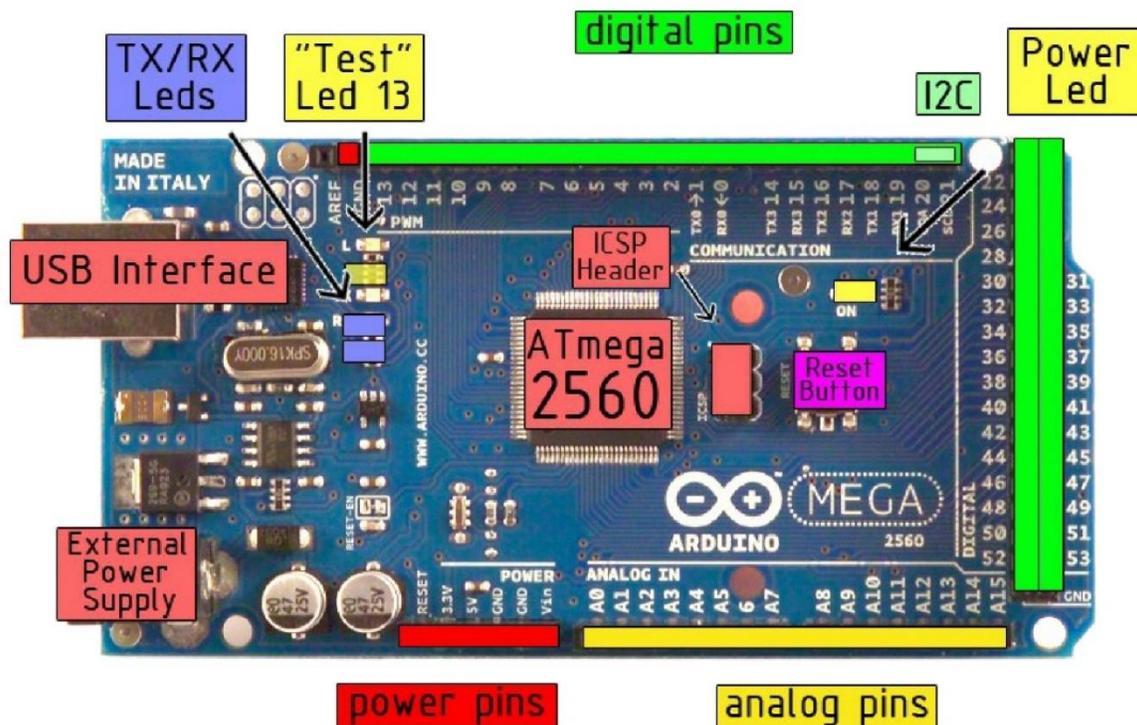


EAGLE files: [arduino-mega2560-reference-design.zip](#) Schematic: [arduino-mega2560-schematic.pdf](#)

Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

the board



radiospares

RADIONICS



Power

The Arduino Mega2560 can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically. External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

Memory

The ATmega2560 has 256 KB of flash memory for storing code (of which 8 KB is used for the bootloader), 8 KB of SRAM and 4 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 54 digital pins on the Mega can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. Pins 0 and 1 are also connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip .
- **External Interrupts: 2 (interrupt 0), 3 (interrupt 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), and 21 (interrupt 2).** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 0 to 13.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- **SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS).** These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language. The SPI pins are also broken out on the ICSP header, which is physically compatible with the Duemilanove and Diecimila.
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.
- **I²C: 20 (SDA) and 21 (SCL).** Support I²C (TWI) communication using the [Wire library](#) (documentation on the Wiring website). Note that these pins are not in the same location as the I²C pins on the Duemilanove.

The Mega2560 has 16 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though is it possible to change the upper end of their range using the AREF pin and [analogReference\(\)](#) function.

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.



radiospares

RADIONICS



Communication

The Arduino Mega2560 has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega2560 provides four hardware UARTs for TTL (5V) serial communication. An ATmega8U2 on the board channels one of these over USB and provides a virtual com port to software on the computer (Windows machines will need a .inf file, but OSX and Linux machines will recognize the board as a COM port automatically). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the ATmega8U2 chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Mega's digital pins.

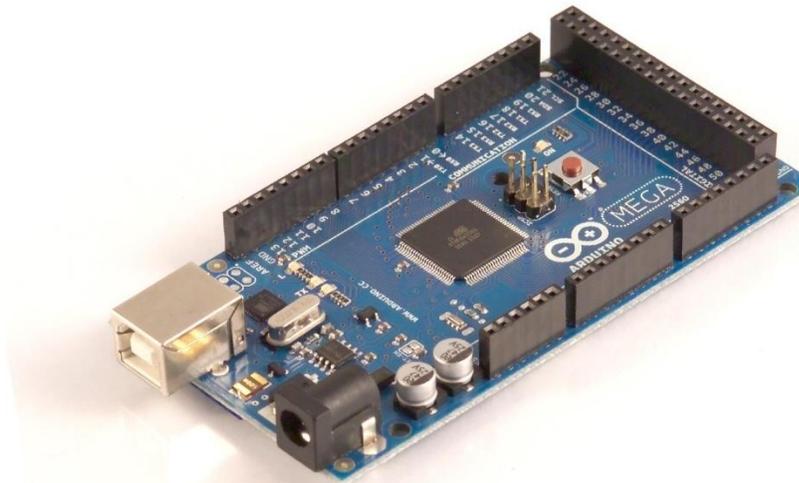
The ATmega2560 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation on the Wiring website](#) for details. To use the SPI communication, please see the ATmega2560 datasheet.

Programming

The Arduino Mega2560 can be programmed with the Arduino software ([download](#)). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The Atmega2560 on the Arduino Mega comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.



radiospares

RADIONICS



Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Mega2560 is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2 is connected to the reset line of the ATmega2560 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Mega2560 is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Mega2560. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Mega contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

USB Overcurrent Protection

The Arduino Mega has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics and Shield Compatibility

The maximum length and width of the Mega PCB are 4 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Three screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

The Mega is designed to be compatible with most shields designed for the Diecimila or Duemilanove. Digital pins 0 to 13 (and the adjacent AREF and GND pins), analog inputs 0 to 5, the power header, and ICSP header are all in equivalent locations. Further the main UART (serial port) is located on the same pins (0 and 1), as are external interrupts 0 and 1 (pins 2 and 3 respectively). SPI is available through the ICSP header on both the Mega and Duemilanove / Diecimila. **Please note that I²C is not located on the same pins on the Mega (20 and 21) as the Duemilanove / Diecimila (analog inputs 4 and 5).**

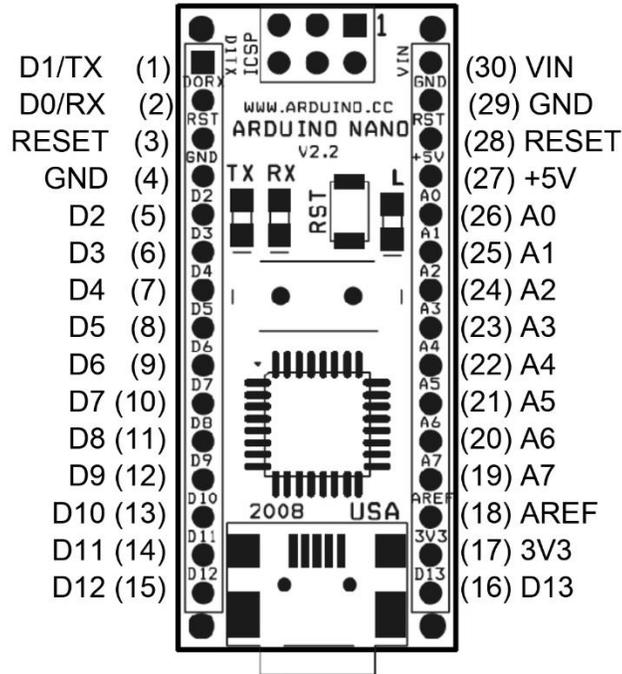


radiospares

RADIONICS

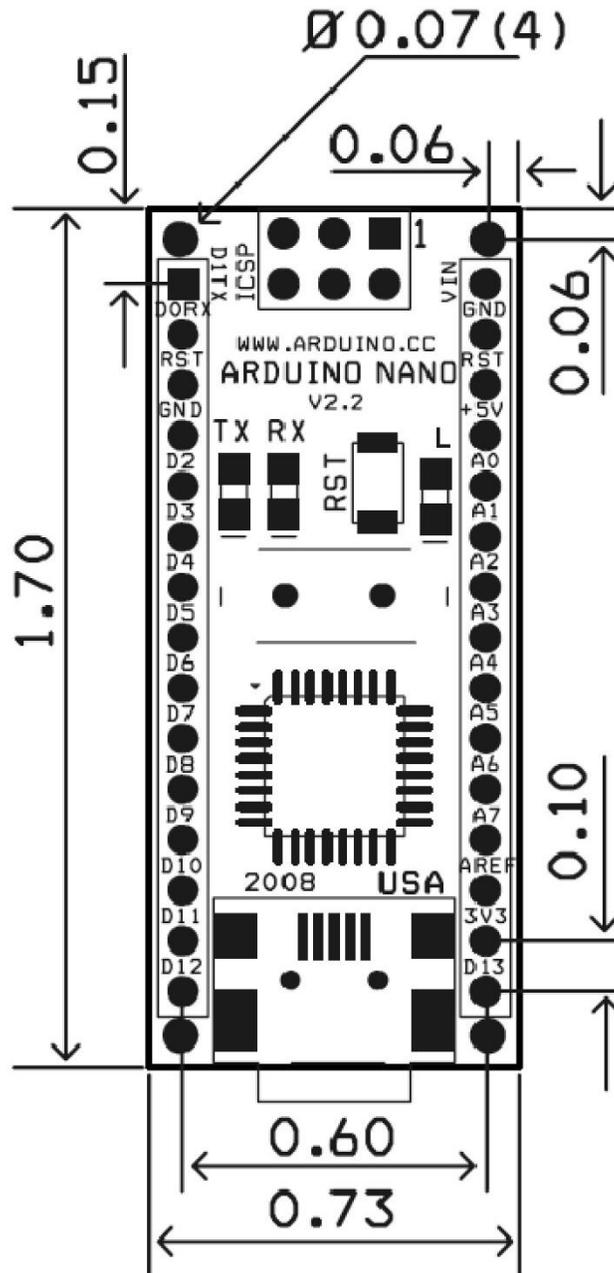


Arduino Nano Pin Layout



Pin No.	Name	Type	Description
1-2, 5-16	D0-D13	I/O	Digital input/output port 0 to 13
3, 28	RESET	Input	Reset (active low)
4, 29	GND	PWR	Supply ground
17	3V3	Output	+3.3V output (from FTDI)
18	AREF	Input	ADC reference
19-26	A7-A0	Input	Analog input channel 0 to 7
27	+5V	Output or Input	+5V output (from on-board regulator) or +5V (input from external power supply)
30	VIN	PWR	Supply voltage

Arduino Nano Mechanical Drawing



ALL DIMENTIONS ARE IN INCHES

Arduino Nano Bill of Material

Item Number	Qty.	Ref. Dest.	Description	Mfg. P/N	MFG	Vendor P/N	Vendor
1	5	C1,C3,C4,C7,C9	Capacitor, 0.1uF 50V 10% Ceramic X7R 0805	C0805C104K5RACTU	Kemet	80-C0805C104K5R	Mouser
2	3	C2,C8,C10	Capacitor, 4.7uF 10V 10% Tantalum Case A	T491A475K010AT	Kemet	80-T491A475K010	Mouser
3	2	C5,C6	Capacitor, 18pF 50V 5% Ceramic NOP/COG 0805	C0805C180J5GACTU	Kemet	80-C0805C180J5G	Mouser
4	1	D1	Diode, Schottky 0.5A 20V	MBR0520LT1G	ONsemi	863-MBR0520LT1G	Mouser
5	1	J1,J2	Headers, 36PS 1 Row	68000-136HLF	FCI	649-68000-136HLF	Mouser
6	1	J4	Connector, Mini-B Recept Rt. Angle	67503-1020	Molex	538-67503-1020	Mouser
7	1	J5	Headers, 72PS 2 Rows	67996-272HLF	FCI	649-67996-272HLF	Mouser
8	1	LD1	LED, Super Bright RED 100mcd 640nm 120degree 0805	APT2012SRCPRV	Kingbright	604-APT2012SRCPRV	Mouser
9	1	LD2	LED, Super Bright GREEN 50mcd 570nm 110degree 0805	APHCM2012CGCK-F01	Kingbright	604-APHCM2012CGCK	Mouser
10	1	LD3	LED, Super Bright ORANGE 160mcd 601nm 110degree 0805	APHCM2012SECK-F01	Kingbright	04-APHCM2012SECK	Mouser
11	1	LD4	LED, Super Bright BLUE 80mcd 470nm 110degree 0805	LTST-C170TBKT	Lite-On Inc	160-1579-1-ND	Digikey
12	1	R1	Resistor Pack, 1K +/-5% 62.5mW 4RES SMD	YC164-JR-071KL	Yageo	YC164J-1.0KCT-ND	Digikey
13	1	R2	Resistor Pack, 680 +/-5% 62.5mW 4RES SMD	YC164-JR-07680RL	Yageo	YC164J-680CT-ND	Digikey
14	1	SW1	Switch, Momentary Tact SPST 150gf 3.0x2.5mm	B3U-1000P	Omron	SW1020CT-ND	Digikey
15	1	U1	IC, Microcontroller RISC 16kB Flash, 0.5kB EEPROM, 23 I/O Pins	ATmega168-20AU	Atmel	556-ATMEGA168-20AU	Mouser
16	1	U2	IC, USB to SERIAL UART 28 Pins SSOP	FT232RL	FTDI	895-FT232RL	Mouser
17	1	U3	IC, Voltage regulator 5V, 500mA SOT-223	UA78M05CDCYRG3	TI	595-UA78M05CDCYRG3	Mouser
18	1	Y1	Cystal, 16MHz +/-20ppm HC-49/US Low Profile	ABL-16.000MHZ-B2	Abracon	815-ABL-16-B2	Mouser



FICHA TÉCNICA

Código: 12V/10A/P

FUENTE CONMUTADA **12V/10A/P**

Fuente de alimentación de dos pares de terminales de salida.

¡Atención! Si la fuente de alimentación está diseñada para un funcionamiento continuo (las 24 horas), la corriente nominal de la fuente de alimentación no debe exceder el 80% de la corriente máxima. ¡Preste especial atención a las condiciones de refrigeración adecuadas de la fuente de alimentación durante el trabajo! Dentro de los armarios Rack y en lugares con poca ventilación es recomendable usar junto con la fuente de alimentación los siguientes elementos: ventilador A19-W12 y controlador de rotación FR-1.

¡Nota! Ambos terminales -V están físicamente en cortocircuito, tal como ambos terminales +V de la fuente de alimentación.



Tipo de fuente de alimentación:	Conmutada
Tensión de alimentación:	230 V AC
Voltaje de salida:	12 V DC
Ajuste de la tensión de salida:	10.2 ... 15 V
Carga máxima de la fuente de alimentación:	10 A
Potencia de la fuente de alimentación:	120 W
Número de salidas:	2 uds.
Protecciones:	<ul style="list-style-type: none">• Contra cortocircuitos• Contra sobrecargas
Temperatura de funcionamiento / humedad relativa:	-10 °C ... 50 °C / 20 % ... 90 %
Peso:	0.452 kg
Dimensiones:	200 x 98 x 42 mm
Garantía:	2 años



31306-MS

3A FULL BRIDGE STEPMOTOR DRIVER

INPUT: 10-35VDC (24 Nominal)

OUTPUT: Selectable up to 3A max.

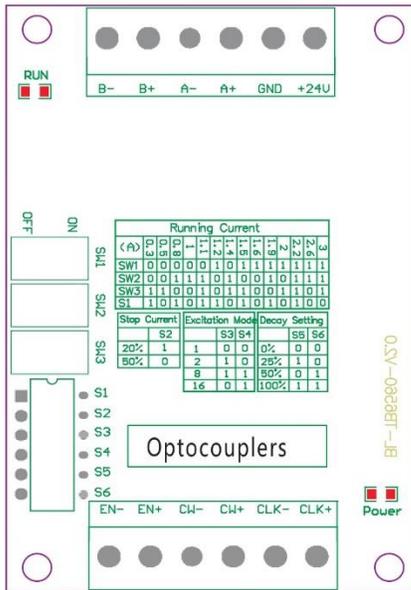
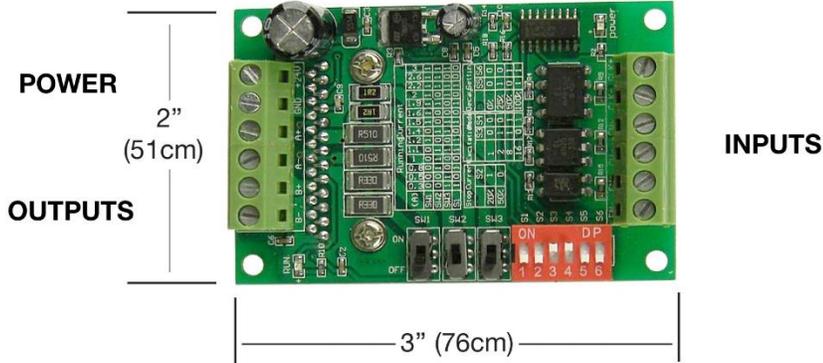
STEP: Full & 1/2-1/8-1/16 Microstep

Full bridge driver for 4 or 6 wire hybrid steppermotors. Automatic drop to Hold current with no step Input. Switch Selectable output current. .3A-3A

Over temperature & current Protected. Under Voltage Shutdown

Opto isolated Step, Direction & Enable Inputs. (+5V Level) Terminal strips in/out.

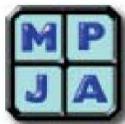
Power and Run LEDs



Wiring Terminal symbol	Description
+24V, GND	Power positive and negative
A+, A-	Motor phase A
B+, B-	Motor phase B
CLK+, CLK-	Pulse positive and negative
CW+, CW-	Direction positive and negative
EN+, EN-	Enable positive and negative

Warning:

- 1: Check the connection twice!
The6560 chipset can be damaged if the motor or the power supply are not connected properly.
- 2: Don't connect a motor with a rated current in excess of 3A to this driver.
- 3: Do not set the current higher than the motor rated current!



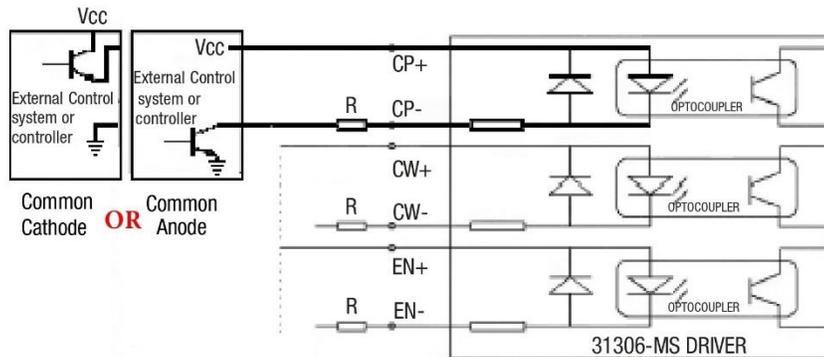
MARLIN P. JONES & Assoc., INC.

P.O. Box 530400 Lake Park, FL 33403

800-652-6733 FAX 561-844-8764

WWW.MPJA.COM

31306-MS



Note:

- 1: 6 input terminals can be connected as common anode or cathode.
- 2: The normal input voltage is 5V. If more than 5V, then a series resistor **R** is needed. For 12V this resistance is 1K, For 24V the resistance is 2.4K..
- 3: When pulses are applied to **CP**, the motor will rotate.
Motor will stop when there is no **CP** pulse, and the driver will change to a holding current of 50% or 20% of the Running Current & S2 setting
- 4: Motor will rotate clockwise when **CW** is low level and counter clockwise when **CW** is a High level
- 5: Motor is enable when **EN** is low level and disable when **EN** is high level.

Running Current														
(A)	0.3	0.5	0.8	1	1.1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.9	2	2.2	2.6	3
SW1	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	ON						
SW2	OFF	OFF	ON	ON	ON	OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON	ON
SW3	ON	ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF	ON
S1	ON	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	OFF

Stop Current	
	S2
20%	ON
50%	OFF

Excitation Mode		
Step	S3	S4
whole	OFF	OFF
half	ON	OFF
1/8	ON	ON
1/16	OFF	ON

Decay Setting		
	S5	S6
0%	OFF	OFF
25%	ON	OFF
50%	OFF	ON
100%	ON	ON



MARLIN P. JONES & Assoc., INC.

P.O. Box 530400 Lake Park, FL 33403

800-652-6733 FAX 561-844-8764

WWW.MPJA.COM

MODULE CONVERTISSEUR PWM - TENSION ANALOGIQUE 0-10V / 0-100 %



Description:

- 1>. The PWM transfer voltage module LC-LM358-PWM2V converts the PWM digital signals into 0 to 10V analog signals.
- 2>. It can be used as signal interface switching for PLC or other industrial control boards. The output voltage is regulated by adjusting the duty ratio of the PWM.
The modules are small in size and easy to use in different places.

Features:

- 1>. MCU embedded technology
- 2>. Easy to operate, fine tuned by potentiometer
- 3>. Select the PWM signal input level range through short-circuit
- 4>. The module is smaller, easy to carry and use

Parameter:

- 1>. Work Voltage:DC 12V-30V; (> 100MA)
- 2>. PWM Receiver Frequency:1KHZ-3KHZ
- 3>. PWM signal input level range:
The peak of 4.5V to 10V level. The short cap install in '5V'. This level is used for normal controller or 5V MCU
The peak of 12V to 24V level, so inserted in 24V. The short cap install in '24V'. This level is used for normal PLC controller
- 4>. Conversion range:0%-100% PWM to 0-10V
- 5>. Allowable error:5%

Hardware Interface:

VCC	DC 12V-30V
GND	Ground
PWM	Positive of PWM input signal
GND	Negative of input signal
VOU	Output Voltage 0-10V

GND	Output Voltage Ground
-----	-----------------------

Operation instructions:

After power on, without input signal, the output is 0V, so only input can output.

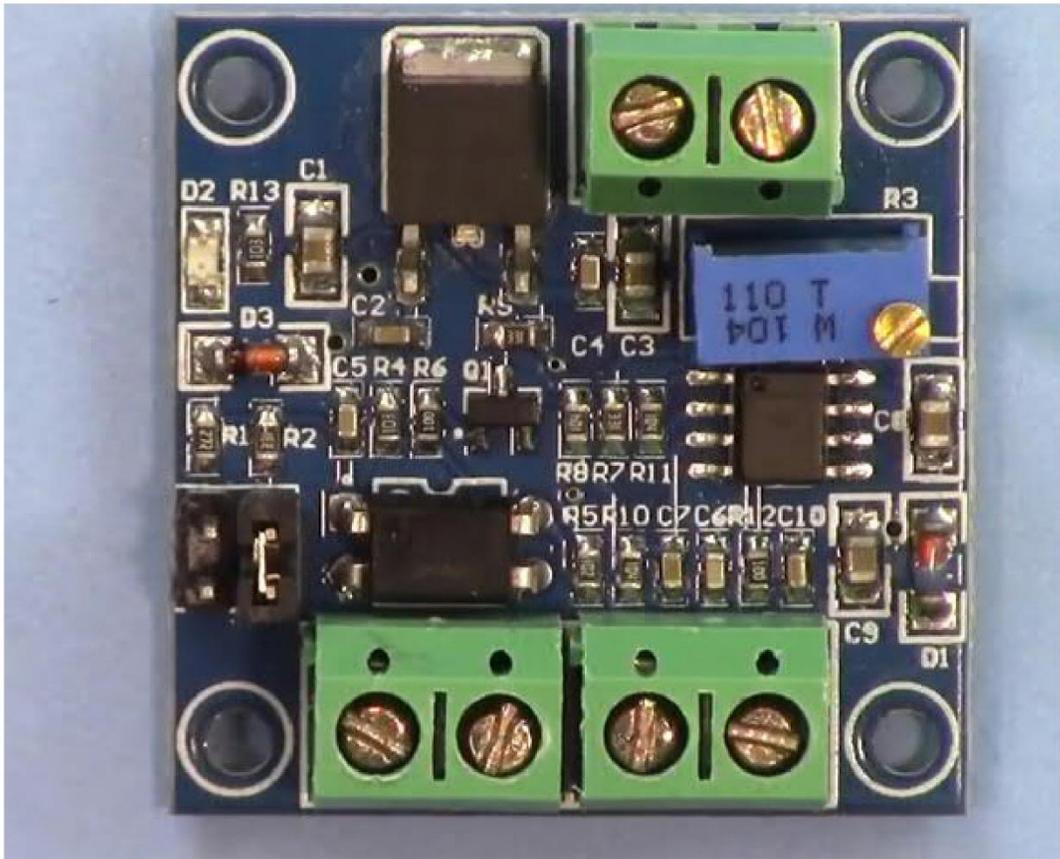
The first time when the power is on, it is best to do a calibration debugging: Input a 50% duty ratio signal to PWM/GND and adjust the relative amplitude short cap.

The frequency is 1KHZ-3KHZ, Measured VOUT and GND with a multimeter and it will display 5V.

Adjust potentiometer to make sure display 5.00V on multimeter. This will calibrate your pulse signal to this module.

When the frequency changes, the correspondences may be offset and need to be re calibrated.
 The output voltage can be adjusted by adjusting the duty ratio.
 The accuracy can be controlled by adjusting the potentiometer.

1. Tested by ICStation's Outstanding Partner Robojax:



SPINDLE MOTOR ER11 500W 12,000RPM

ER11-180194 / JM52-500W

Description:

DC 24-100V 500W Spindle Motor ER11 CNC Router Air Cooled Engraver Spindle Motor

Spindle parameters:

Operating voltage: DC 24-100V
Power: 500W
Speed: idling up to 12,000 rpm
Torque: 5000G/CM
Insulation resistance: >2 Mohm
Insulation dielectric strength: 400V
Motor Diameter: 52mm
Body Length 155mm

Chuck part length: 45MM
The diameter of the chuck part is: 16mm
Total length of motor: 200MM
Spindle radial runout 0.01-0.03MM

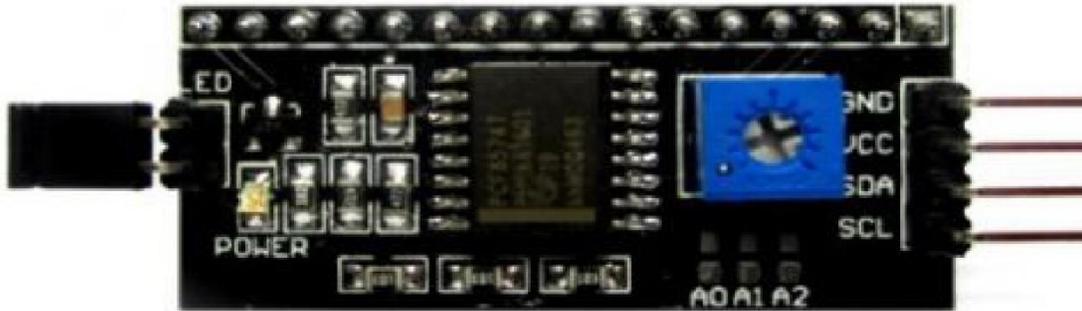
Features:

Applies to DC 24-100V low voltage permanent magnet brushed DC motor.
Can be used for solid wood PCB engraving drilling etc.
The spindle with air cooling, can work long hours.
The motor is suitable for DIY, high speed, low noise, suitable for carving PCB, acrylic, drilling, etc.





I2C interface for LCD



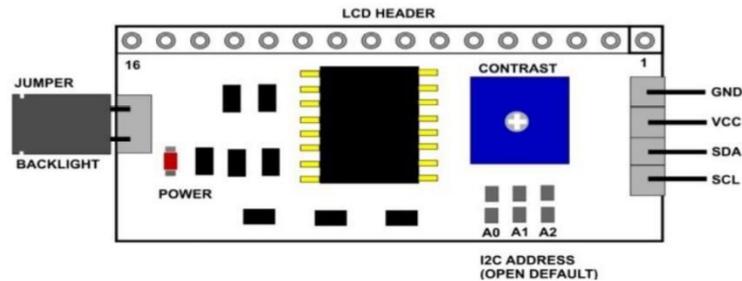
Discription:

This LCD2004 is a great I2C interface for 2x16 and 4x20 LCD displays. With the limited pin resources, your project may be out of resources using normal LCD shield. With this I2C interface LCD module, you only need 2 lines (I2C) to display the information. If you already has I2C devices in your project, this LCD module actually cost no more resources at all. Fantastic for Arduino based projects.

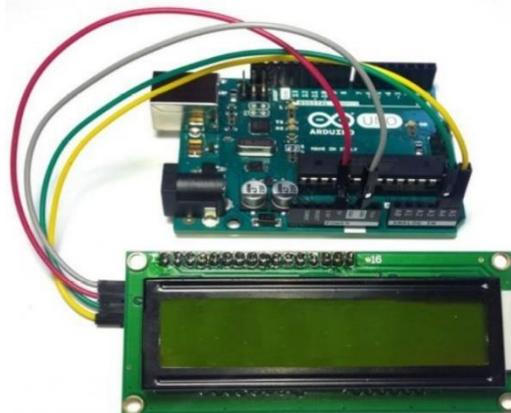
Specification:

Compatible with 16x2 and 20x4 LCD's
Default I2C Address = 0X27
Address selectable - Range 0x20 to 0x27

Board Layout:



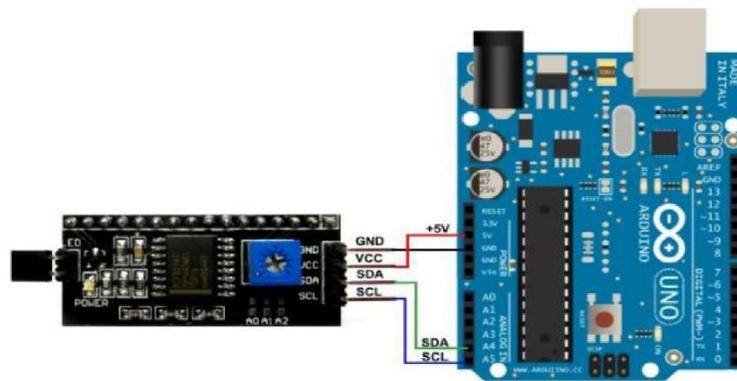
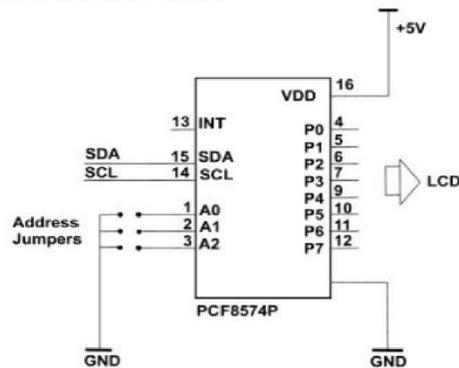
I2C Address Setup:



The LCD2004 board utilized the PCF8574 I/O expander. This nifty little chip provides eight bits of parallel I/O addressable by a I2C bus address – 0x00 to 0x27. SainSmart tied all address leads to Vcc, so the LCD2004 board's I2C address is permanently fixed at hex 27. This is rather limiting since no additional LCD2004s can be added to the bus. Anyway, you simply address the board and write an eight bit value which is then presented on the output pins of the PCF8574, which, in this case, are connected to the HD44780 based LCD screen.

INPUTS			I2C SLAVE ADDRESS
A2	A1	A0	
L	L	L	0x20
L	L	H	0x21
L	H	L	0x22
L	H	H	0x23
H	L	L	0x24
H	L	H	0x25
H	H	L	0x26
H	H	H	0x27

H = Open Jumper L = Close Jumper



```
// Arduino Code
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,2,1,0,4,5,6,7,3, POSITIVE); // Initialize LCD Display at address 0x27
// unmodified backpack

void setup() {
  // activate LCD module
  lcd.begin (16,2); // for 16 x 2 LCD module
  lcd.setBacklightPin(3,POSITIVE);
  lcd.setBacklight(HIGH);
}

void loop() {
  lcd.home (); // set cursor to 0,0
  lcd.print(" Hello, world!");
  lcd.setCursor (0,1); // go to start of 2nd line
  lcd.print(millis());
  delay(1000);
  lcd.setBacklight(LOW); // Backlight off
  delay(500);
  lcd.setBacklight(HIGH); // Backlight on

  delay(1000);
} // END
```

Check for more info at <https://arduino-info.wikispaces.com/LCD-Blue-I2C>

Código Arduino Nano

```
#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#define MOTOR 5 // pin al que se ha conectado el Conversor.
#define RELE 6 // pin al que se ha conectado el RELE.

int ContA = 0;

int raw_pot; // almacenar el valor del potenciómetro

int duty; // ciclo util de la PWM

int velocidad;

int estado;

float pot = 0;

float pot2 = 0;

int pota = 0;

int pota2 = 0;

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);

void setup() {

  pinMode(MOTOR, OUTPUT);

  pinMode(RELE, OUTPUT);

  digitalWrite( MOTOR, LOW );

  pinMode(A1, INPUT);

  pinMode(A2, INPUT);

  pinMode(4, INPUT);

  lcd.init();

  lcd.backlight();

  lcd.print("-> Bienvenido <-");
```

```

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print("  CNC V1.0");

delay(2000);

lcd.clear();

lcd.print("Creado por:");

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print("  Lenin Oliva");

delay(2000);

lcd.clear();

}

void loop()

{

estado= digitalRead(4);//lectura de interruptor

if (estado==HIGH){

    pot = analogRead(A1);// Lectura de señal de voltaje desde conversor

        if(ContA>15){

            ContA=0;

            }

            if (pot > 100){

                if (ContA>0 && ContA<=10){

                    digitalWrite (RELE,HIGH);

                }

            }

            else{

                if (ContA>10 && ContA<=15){

```

```

        digitalWrite (RELE,LOW);
    }
}
}
else{
    digitalWrite (RELE,LOW);
}

duty = map(pot, 0, 1023, 0, 255); // mapeo el valor de la lectura al rango 0-255
analogWrite( MOTOR, duty ); // actualizar ciclo de trabajo
velocidad = (pot * 11360)/1023;
if (pot<=3){
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Modo Automatico");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Motor:");
    lcd.setCursor(6, 1);
    lcd.print("0");
    lcd.setCursor(12, 1);
    lcd.print("RPM");
    delay(1000);
}
else{
    if(pot != pota || pot == pota){
        lcd.clear();

```

```

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Modo Automatico");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Motor:");
    lcd.setCursor(6, 1);
    delay(500);
    lcd.print(velocidad);
    lcd.setCursor(12, 1);
    lcd.print("RPM");
    pota = pot;
  }
  delay(500);
  ContA=(ContA + 1);
}
}
else{
  if (estado==LOW){
    pot2 = analogRead(A2);// lectura de potenciómetro
    if(ContA>15){
      ContA=0;
    }
    if (pot2 > 100){
      if (ContA>0 && ContA<=10){
        digitalWrite (RELE,HIGH);
      }
    }
  }
}

```

```

else{
  if (ContA>10 && ContA<=15){
    digitalWrite (RELE,LOW);
  }
}
}
else{
  digitalWrite (RELE,LOW);
}

```

```
duty = map(pot2, 0, 1023, 0, 255); // mapeo el valor de la lectura al rango 0-
```

255

```
analogWrite( MOTOR, duty ); // actualizar ciclo de trabajo
```

```
velocidad = (pot2 * 10800)/1023;
```

```
if(pot2 != pota2 || pot2 == pota2 ){
```

```
  lcd.clear();
```

```
  lcd.setCursor(0, 0);
```

```
  lcd.print("->Modo Manual <-");
```

```
  lcd.setCursor(0, 1);
```

```
  lcd.print("Motor:");
```

```
  lcd.setCursor(6, 1);
```

```
  delay(500);
```

```
  lcd.print(velocidad);
```

```
  lcd.setCursor(12, 1);
```

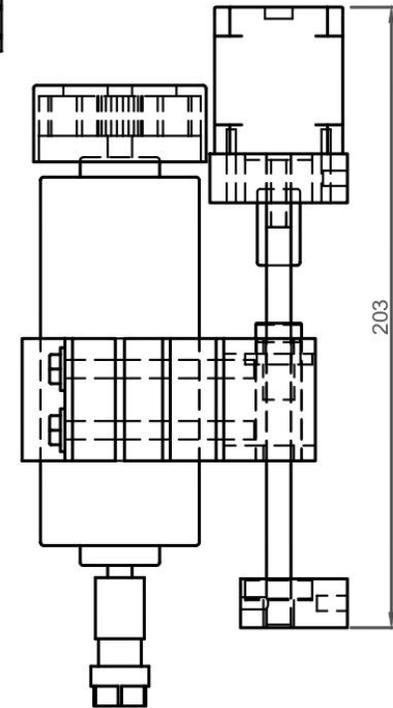
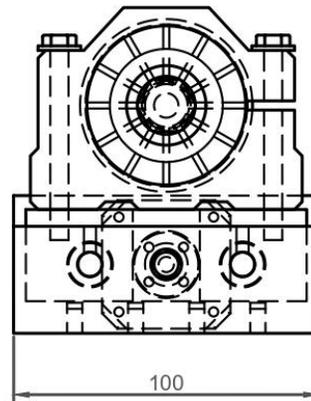
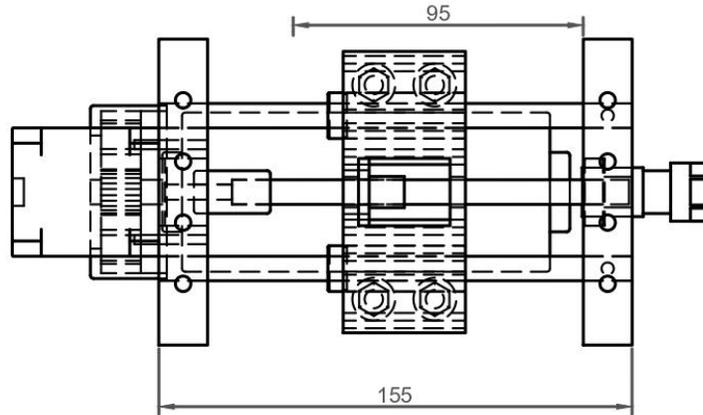
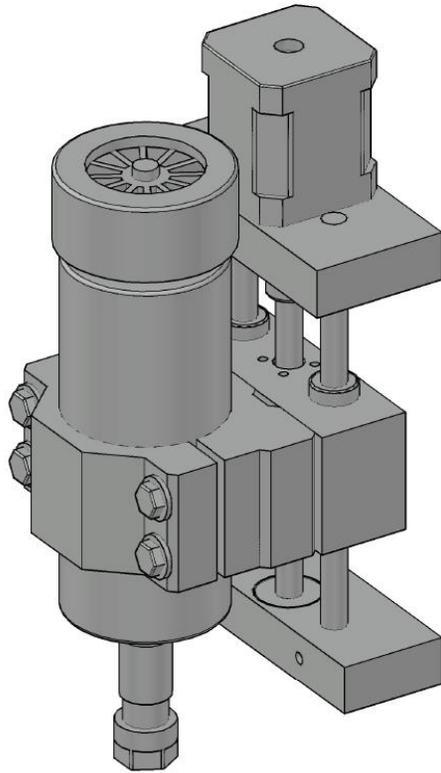
```
  lcd.print("RPM");
```

```
  pota2 = pot2;
```

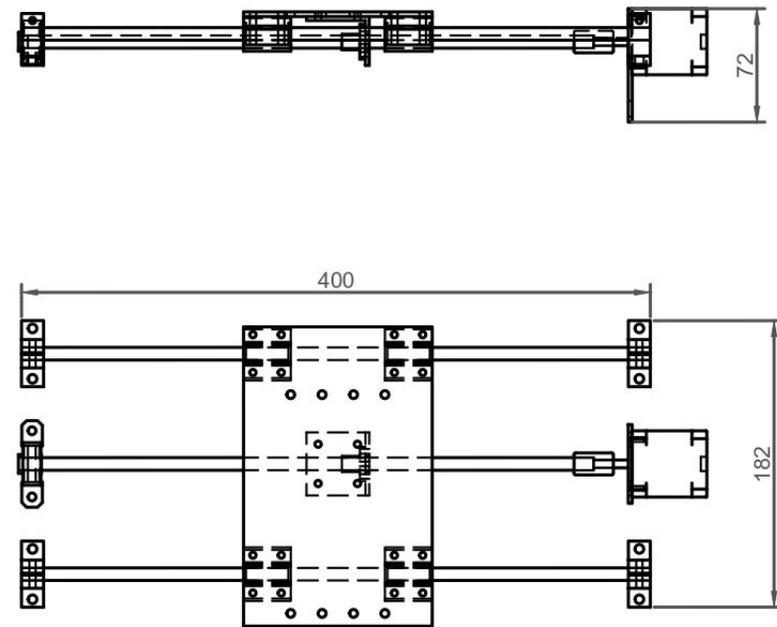
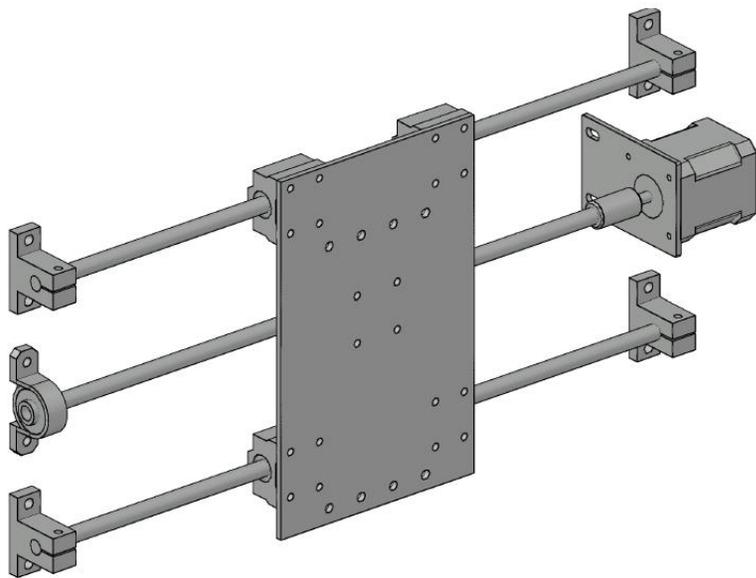
```
}
```

```
delay(500);  
ContA=(ContA + 1);  
}  
}  
}
```

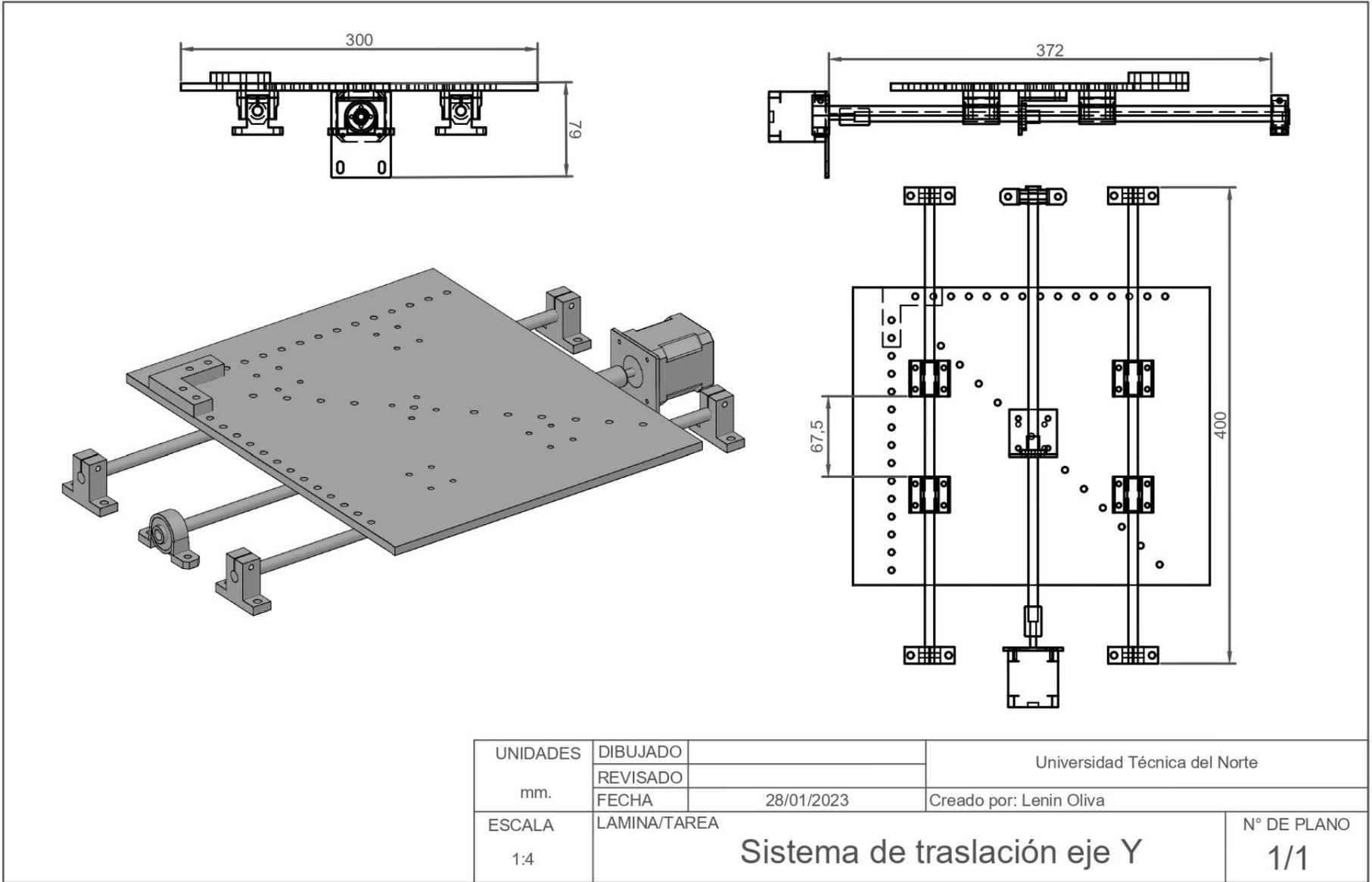
Planos 3D



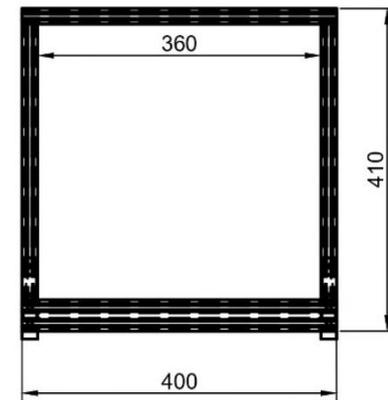
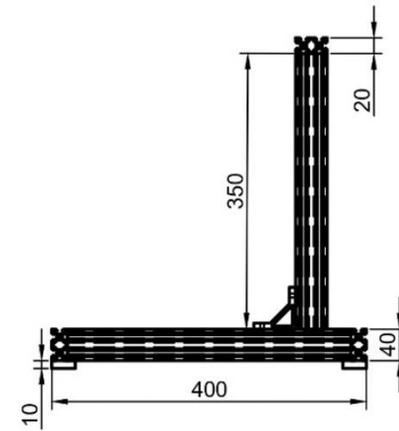
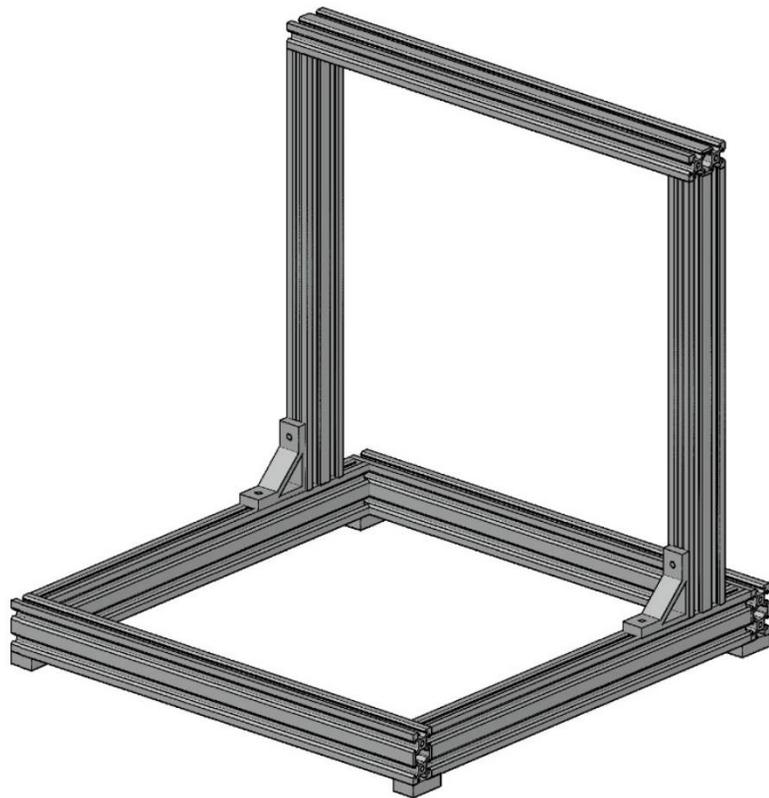
UNIDADES	DIBUJADO		Universidad Técnica del Norte
mm.	REVISADO		
ESCALA	FECHA	16/11/2022	Creado por: Lenin Oliva
1:2	LAMINA/TAREA	Sistema de traslación vertical Z	
			N° DE PLANO 1/1



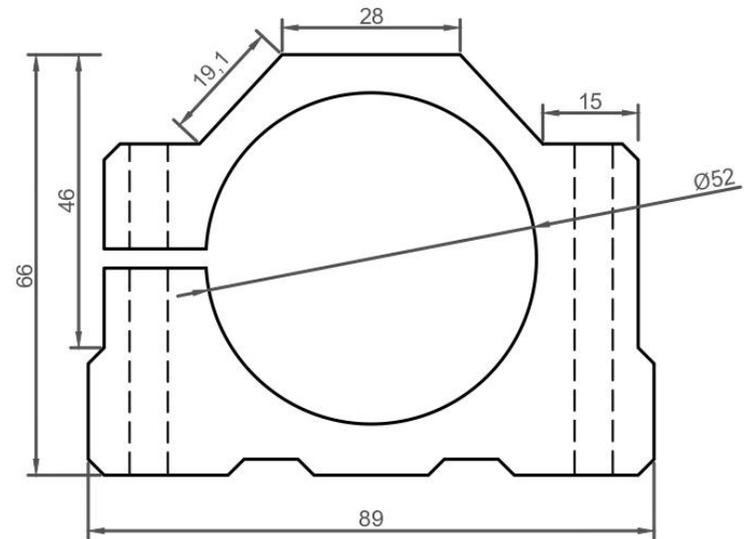
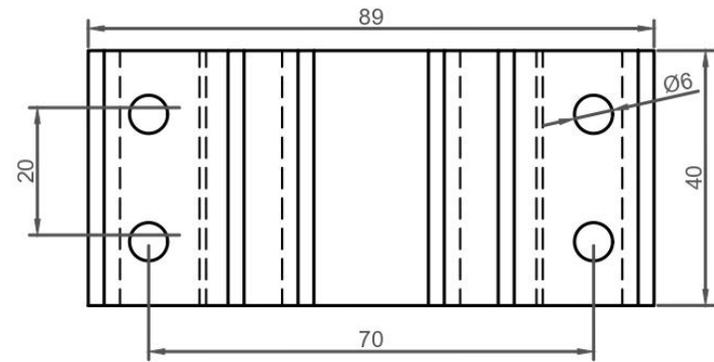
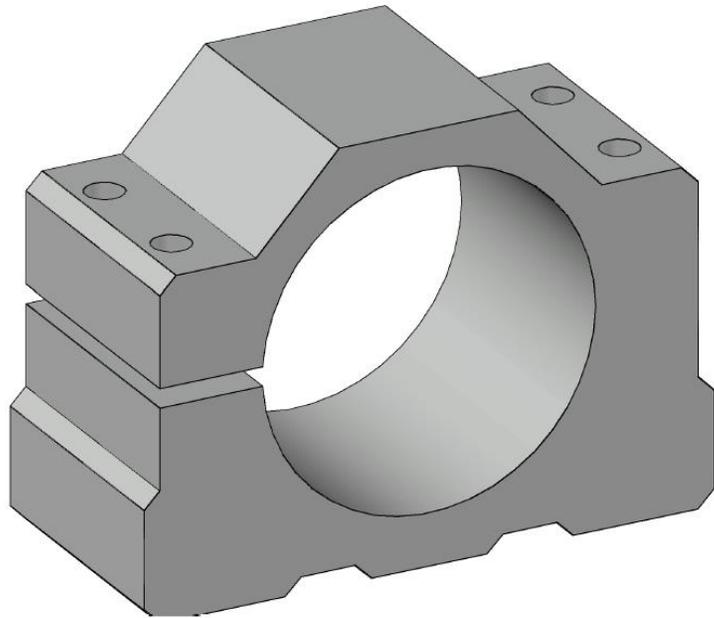
UNIDADES mm.	DIBUJADO		Universidad Técnica del Norte
	REVISADO		
	FECHA	5/02/2023	Creado por: Lenin Oliva
ESCALA 1:4	LAMINA/TAREA	Sistema de traslación eje X	
			N° DE PLANO 1/1



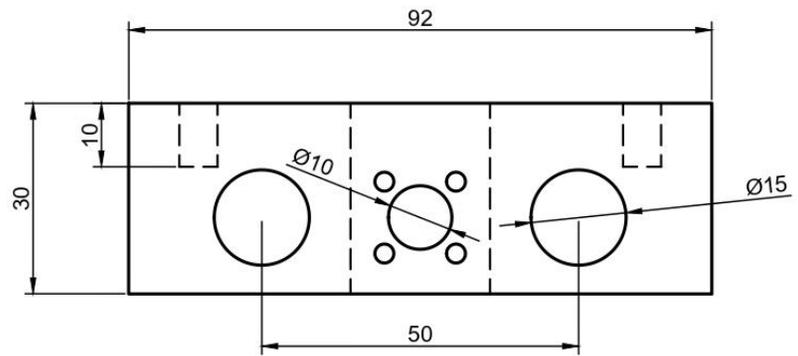
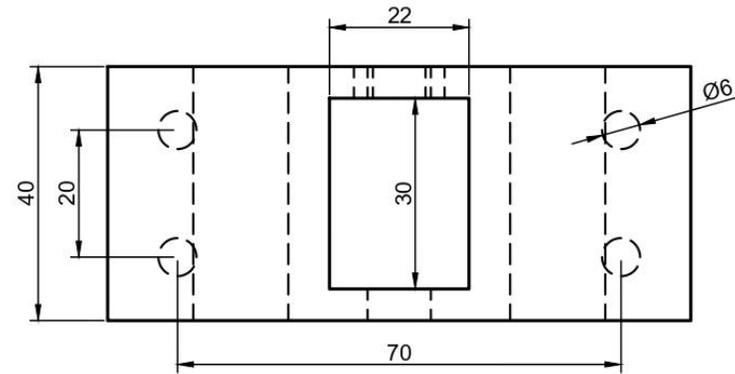
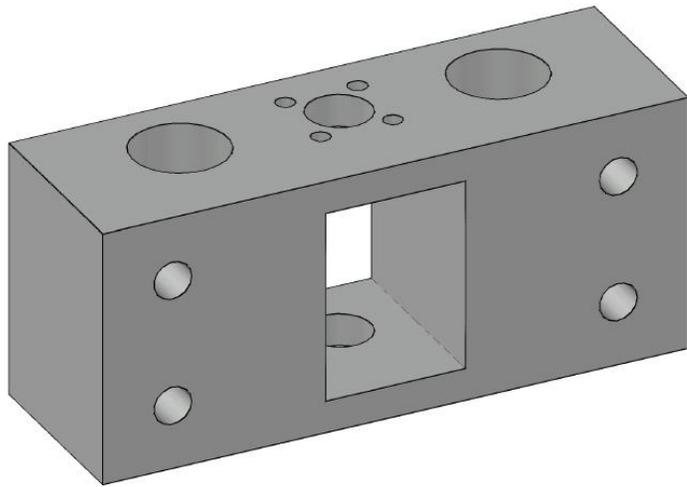
UNIDADES mm.	DIBUJADO	Universidad Técnica del Norte	
	REVISADO		
ESCALA 1:4	FECHA	28/01/2023	Creado por: Lenin Oliva
	LAMINA/TAREA	Sistema de traslación eje Y	
			N° DE PLANO 1/1



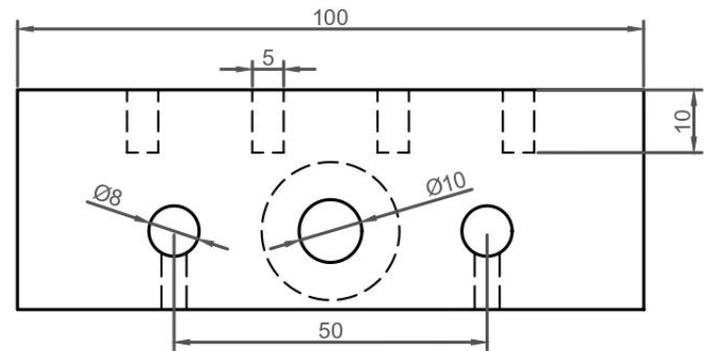
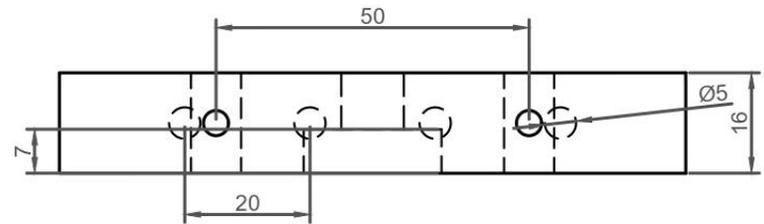
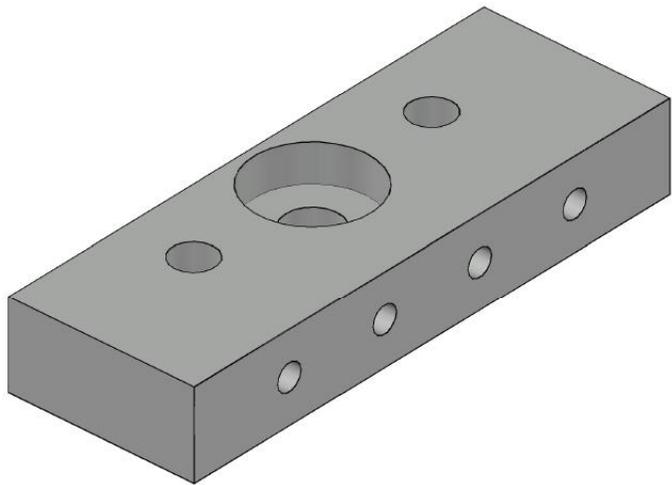
UNIDADES	DIBUJADO		Universidad Técnica del Norte
mm.	REVISADO		
ESCALA	FECHA	15/03/2023	Creado por: Lenin Oliva
1:8	LAMINA/TAREA	Bastidor Máquina CNC	
			N° DE PLANO 1/1



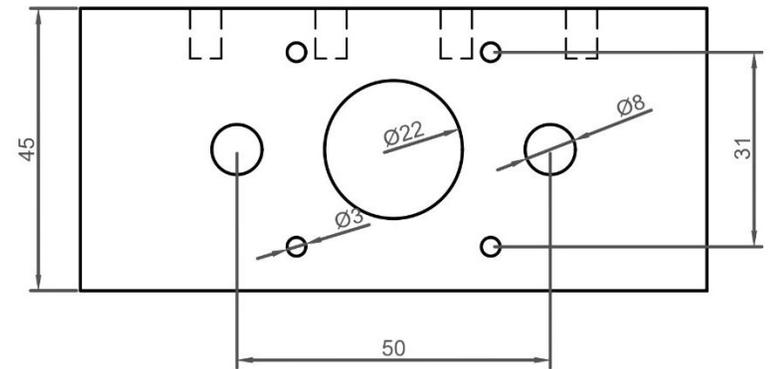
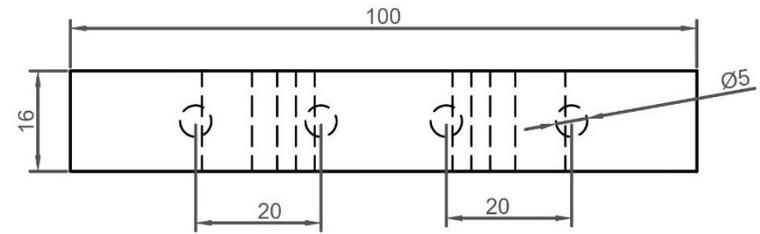
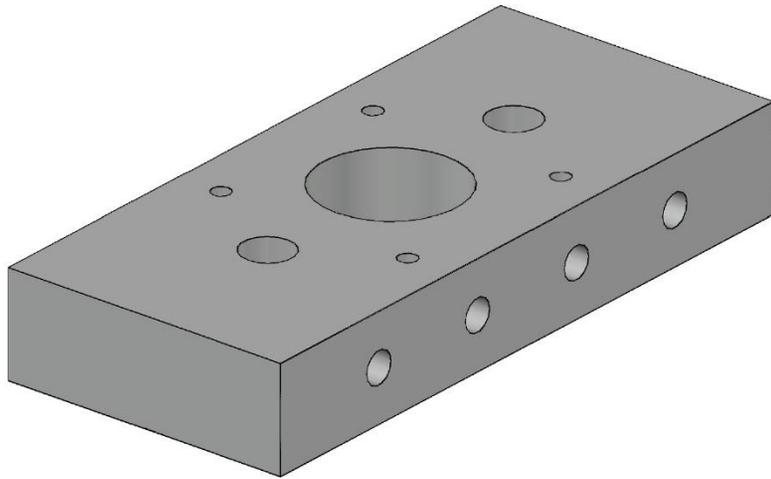
UNIDADES mm.	DIBUJADO		Universidad Técnica del Norte
	REVISADO		
	FECHA	15/03/2023	Creado por: Lenin Oliva
ESCALA 1:1	LAMINA/TAREA	Soporte Motor Spindle 52mm	
			N° DE PLANO 1/1



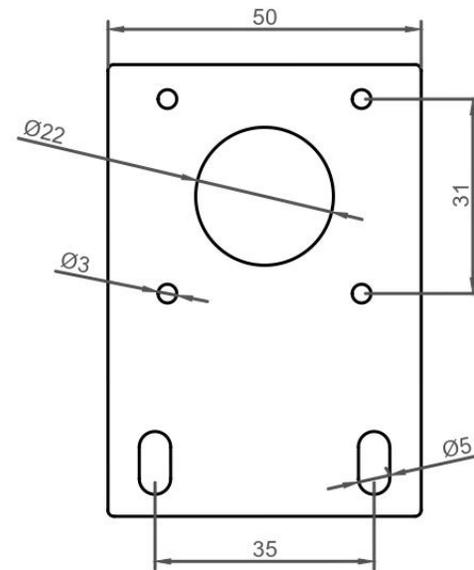
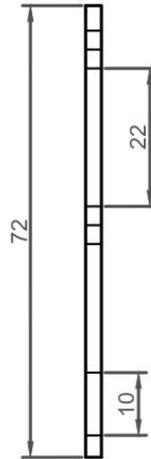
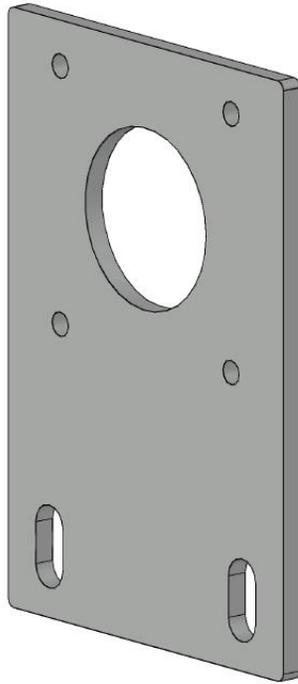
UNIDADES mm.	DIBUJADO		Universidad Técnica del Norte
	REVISADO		
ESCALA 1:1	FECHA	13/01/2023	Creado por: Lenin Oliva
	LAMINA/TAREA	Soporte rodamientos eje Z	



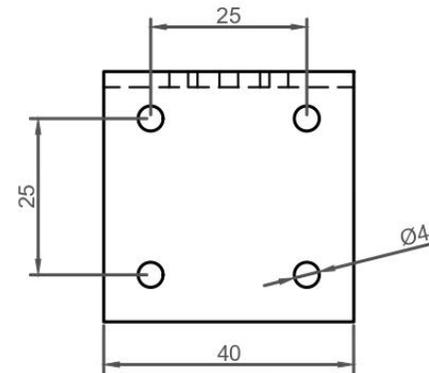
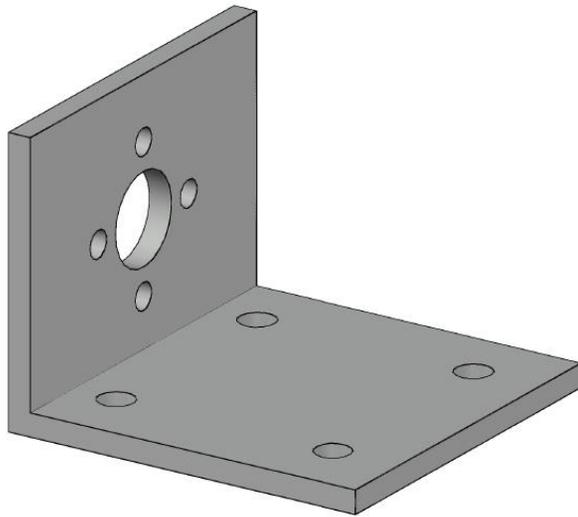
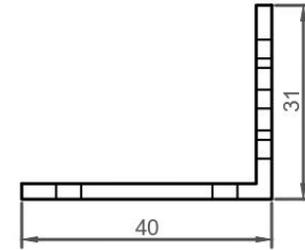
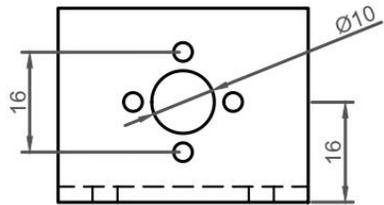
UNIDADES mm.	DIBUJADO	Universidad Técnica del Norte	
	REVISADO		
ESCALA 1:1	FECHA	28/9/2022	Creado por: Lenin Oliva
	LAMINA/TAREA	Soporte inferior del eje Z	
			N° DE PLANO 1/1



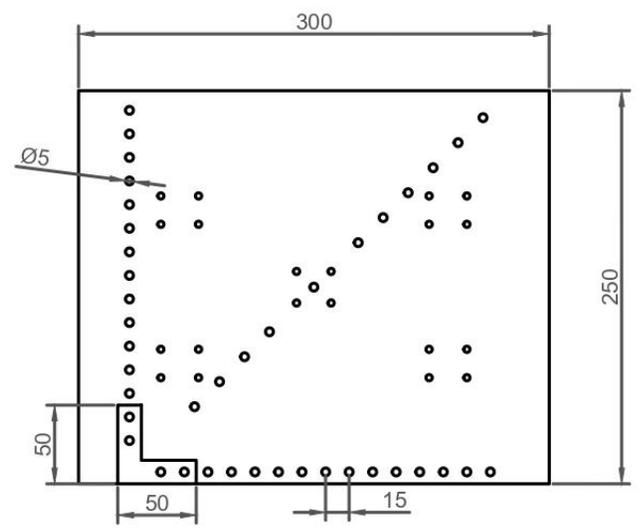
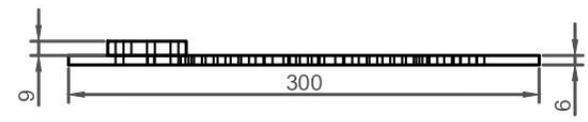
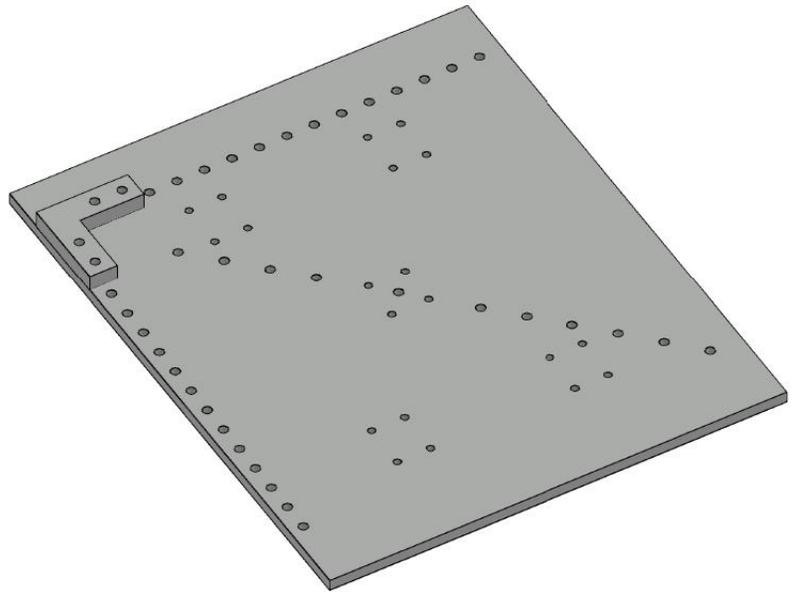
UNIDADES	DIBUJADO		Universidad Técnica del Norte
mm.	REVISADO		
ESCALA	FECHA	22/10/2021	Creado por: Lenin Oliva
1:1	LAMINA/TAREA	Soporte superior del eje Z	
			N° DE PLANO 1/1



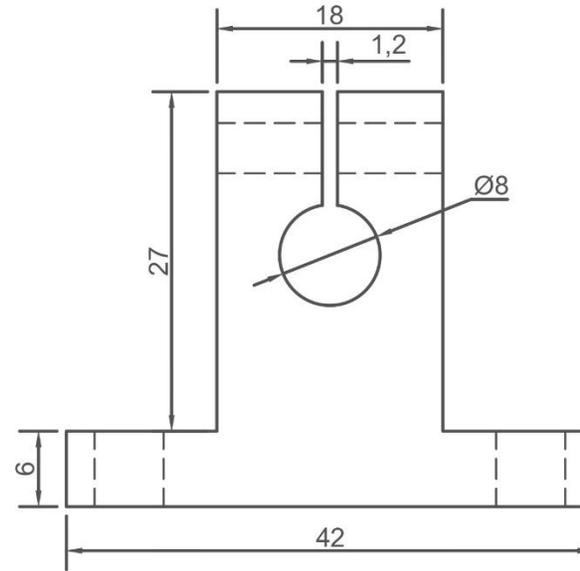
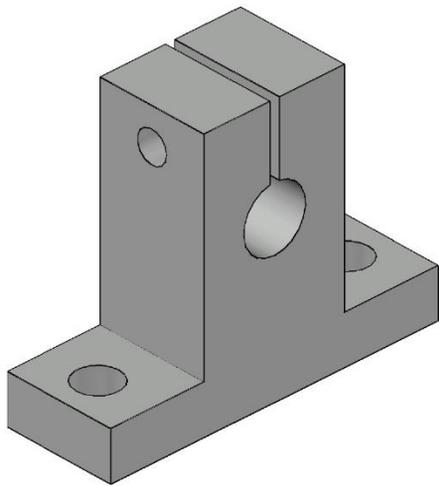
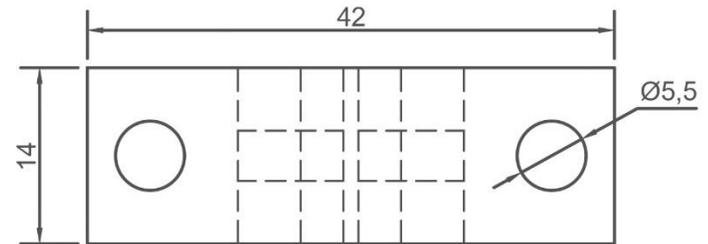
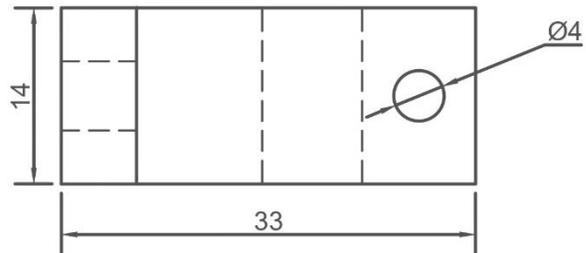
UNIDADES	DIBUJADO	Universidad Técnica del Norte	
	REVISADO		
mm.	FECHA	15/12/2022	Creado por: Lenin Oliva
ESCALA	LAMINA/TAREA	Soporte para motor NEMA17	
1:1			
			N° DE PLANO 1/1



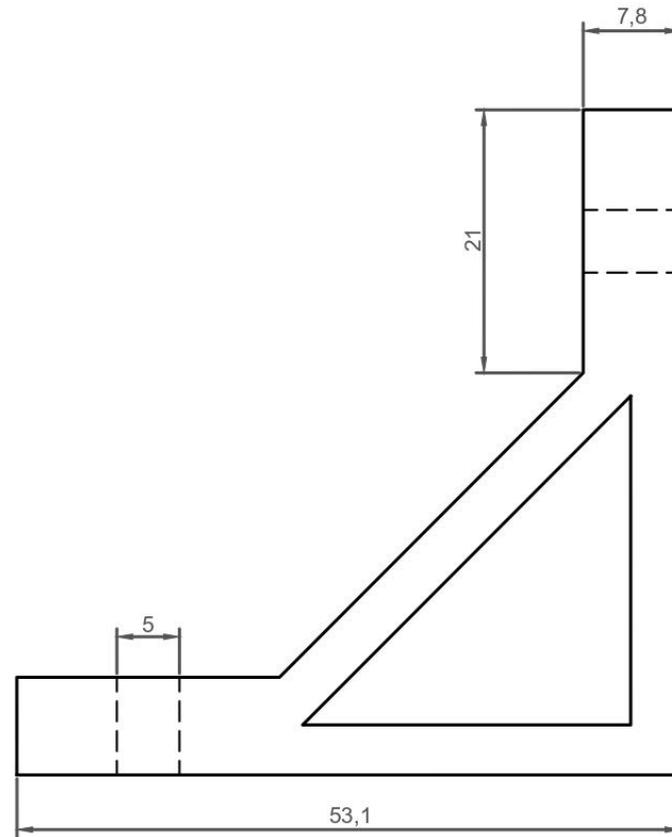
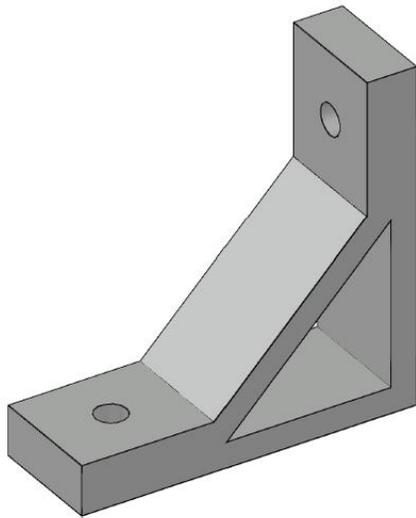
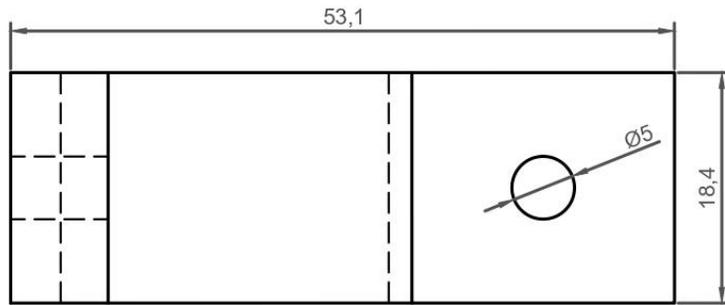
UNIDADES	DIBUJADO	Universidad Técnica del Norte	
	REVISADO		
mm.	FECHA	16/03/2023	Creado por: Lenin Oliva
ESCALA	LAMINA/TAREA	Soporte en L para tuerca T8	
1:1			
			N° DE PLANO 1/1



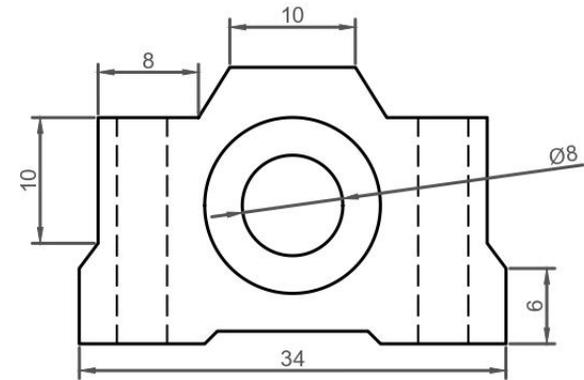
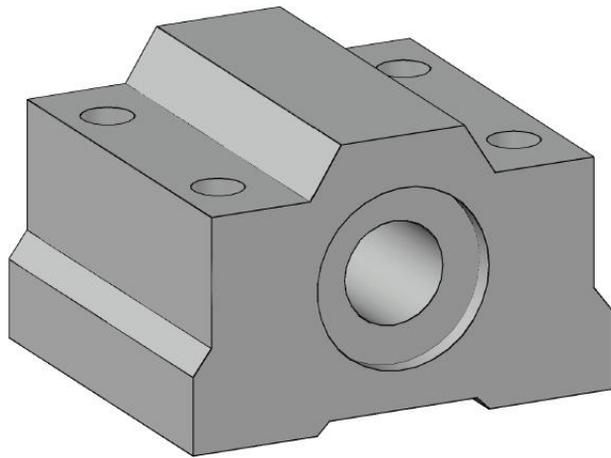
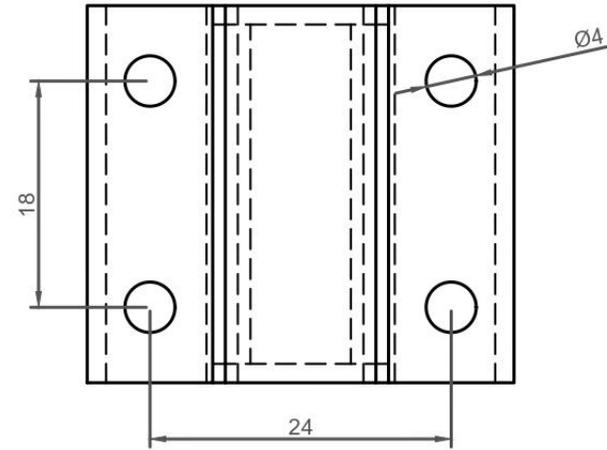
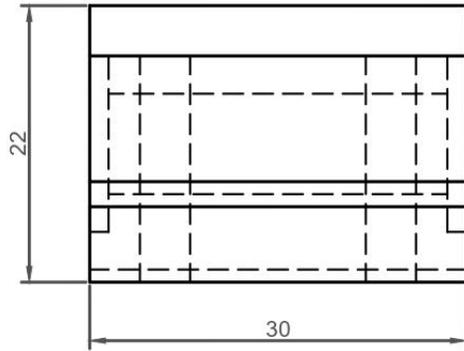
UNIDADES mm.	DIBUJADO	Universidad Técnica del Norte	
	REVISADO		
ESCALA 1:4	FECHA	04/02/2023	Creado por: Lenin Oliva
	LAMINA/TAREA	Mesa de trabajo aluminio 6mm	N° DE PLANO 1/1



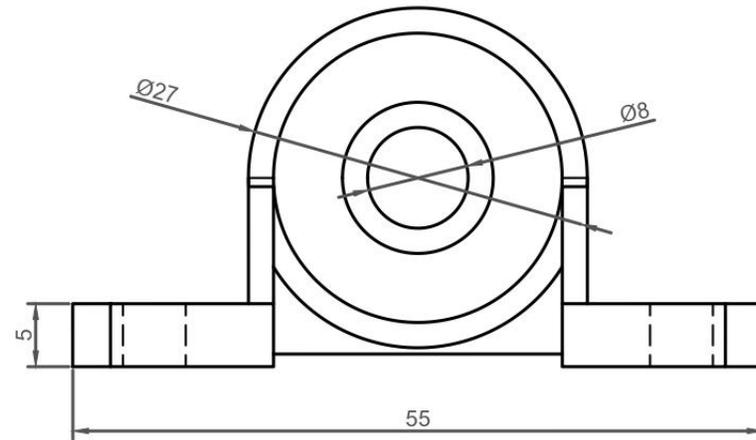
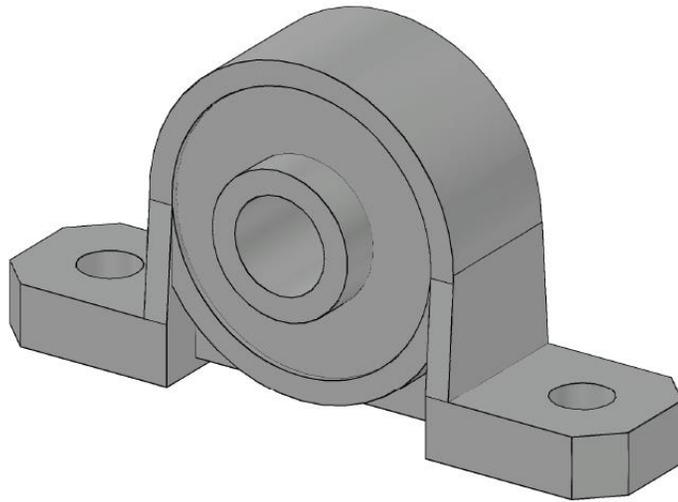
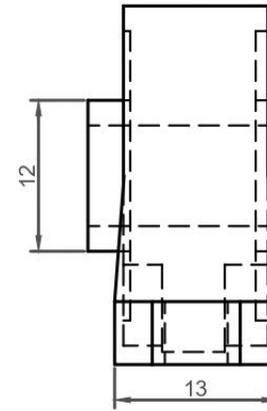
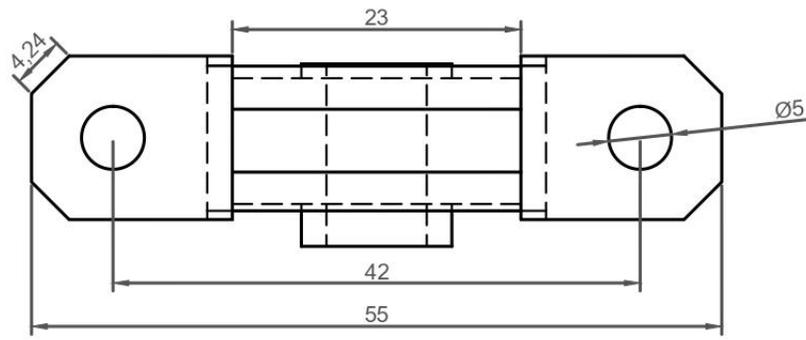
UNIDADES mm.	DIBUJADO	Universidad Técnica del Norte	
	REVISADO		
ESCALA 2:1	FECHA	15/03/2023	Creado por: Lenin Oliva
	LAMINA/TAREA	Soporte de Aluminio 8mm	
			N° DE PLANO 1/1



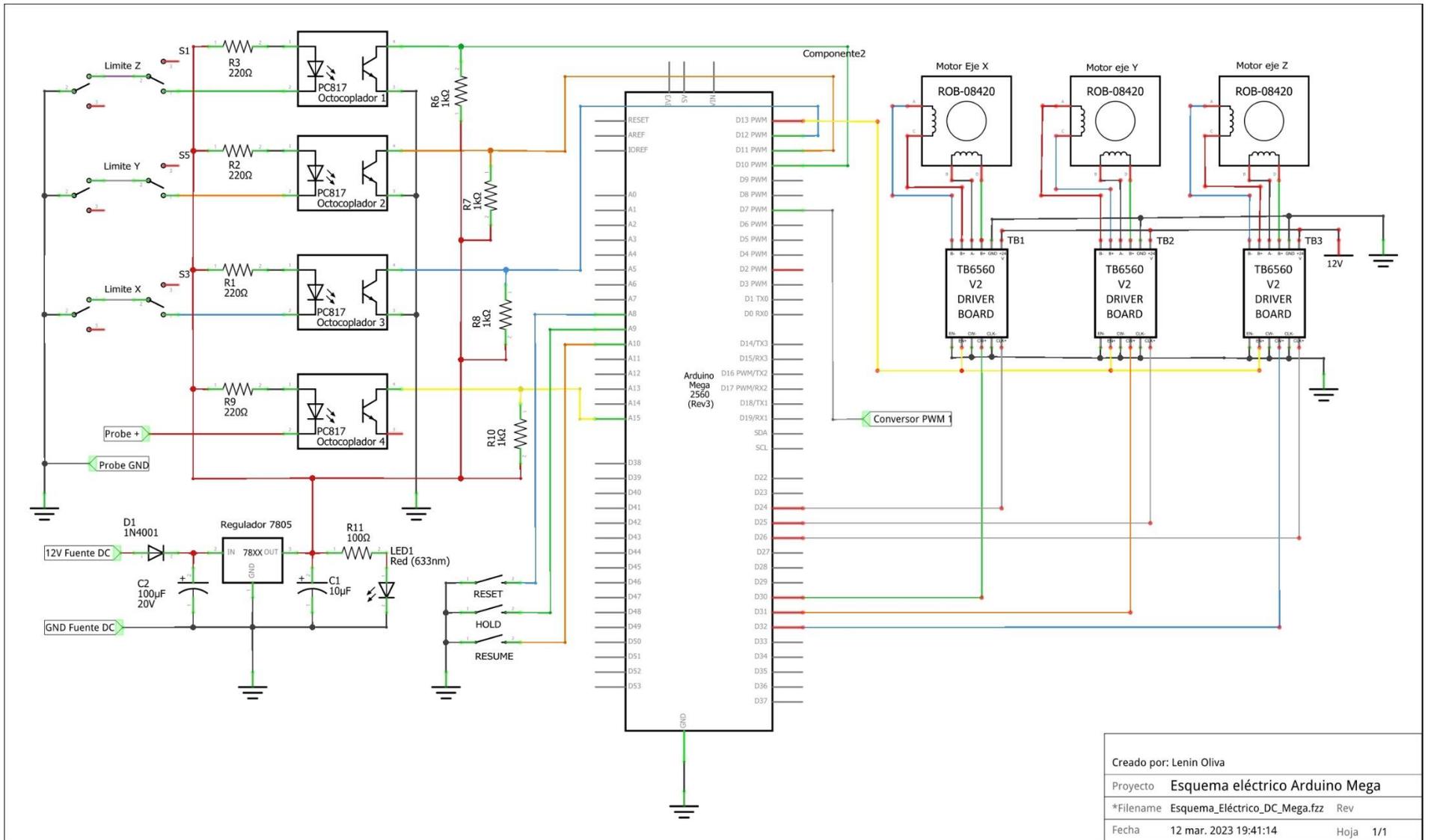
UNIDADES mm.	DIBUJADO	Universidad Técnica del Norte	
	REVISADO		
ESCALA 2:1	FECHA	15/03/2023	Creado por: Lenin Oliva
	LAMINA/TAREA	Soporte 90 grados Aluminio	
			N° DE PLANO 1/1



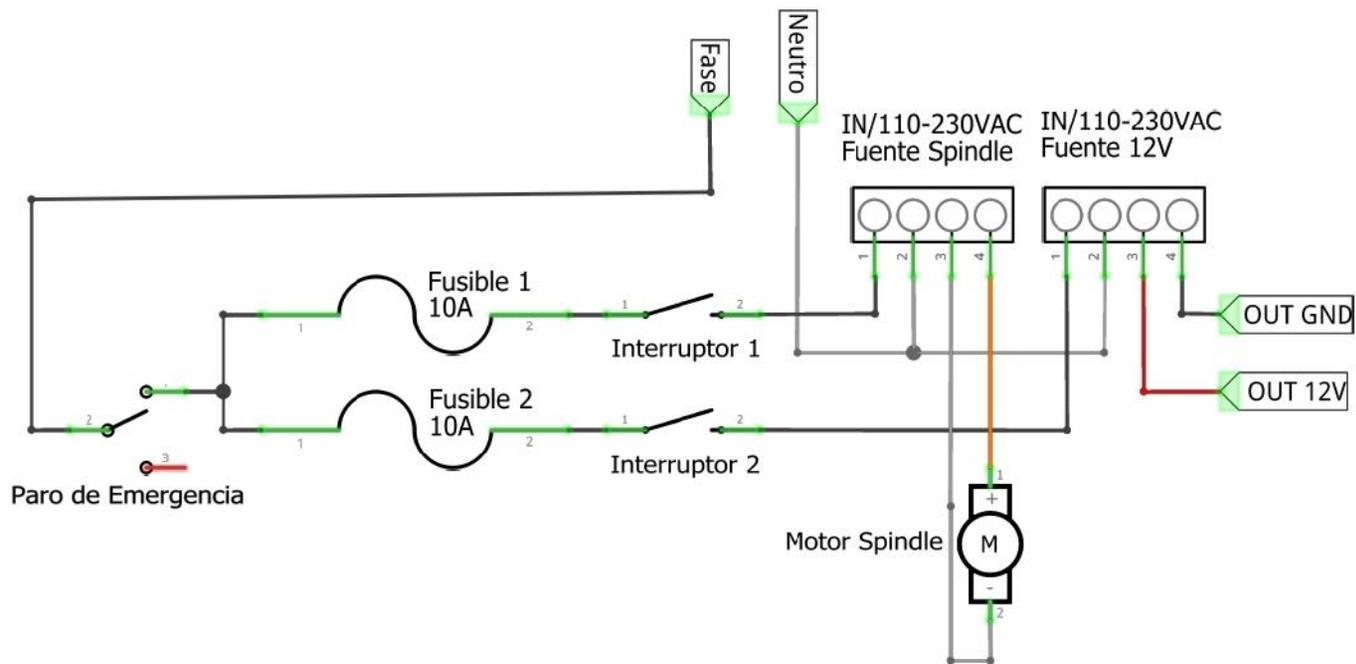
UNIDADES	DIBUJADO	Universidad Técnica del Norte	
mm.	REVISADO		
ESCALA	FECHA	16/03/2023	Creado por: Lenin Oliva
1:1	LAMINA/TAREA	Rodamiento Lineal 8mm	
			N° DE PLANO 1/1



UNIDADES mm.	DIBUJADO		Universidad Técnica del Norte
	REVISADO		
ESCALA 2:1	FECHA	27/07/2022	Creado por: Lenin Oliva
	LAMINA/TAREA	Chumacera de 8mm KP08	
			N° DE PLANO 1/1



Creado por: Lenin Oliva		
Proyecto	Esquema eléctrico Arduino Mega	
*Filename	Esquema_Elctrico_DC_Mega.fzz	Rev
Fecha	12 mar. 2023 19:41:14	Hoja 1/1



Creado por: Lenin Oliva

Proyecto Esquema eléctrico de CNC en AC

*Filename Esquema_Elctrico_AC.fzz Rev V1.0

Fecha 12 mar. 2023 18:34:58 Hoja 1/1

REFERENCIAS

- AFEL. (2022). *Modulo conversor de PWM a Voltaje LC_F2V*. Obtido de https://afel.cl/producto/modulo-conversor-pwm-a-voltaje-lc_f2v/#:~:text=LC_F2V%20es%20un%20m%C3%B3dulo%20que,de%20voltaje%20de%200%2D10V.
- ALFREDO, C. P. (2016). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CNC DE 3 EJES PARA EL RUTEO DE PISTAS Y TALADRADO DE CIRCUITOS IMPRESOS (PCBs) POR EMC2, APLICABLE EN TARJETAS DE RECUPERACIÓN DE PLCs*. Obtido de TRABAJO DE TITULACIÓN: FACULTAD DE MECÁNICA
- AliExpress. (06 de Abril de 2022). *AliExpress.com*. Obtido de <https://es.aliexpress.com/item/1352760682.html>
- Amazon. (3 de Diciembre de 2017). *600 W DC Spindle Motor 12000rpm CNC*. Obtido de <https://www.amazon.com/-/es/Spindle-12000rpm-refrigeraci%C3%B3n-ER16-Collet-perforaci%C3%B3n/dp/B077WW7R2B>
- Amazon.com. (2022). *BOJACK F5AL125V 5 x 20 mm 10 A 125*. Obtido de https://www.amazon.com/dp/B07V4M2DC4/ref=sspa_dk_detail_1?pd_rd_i=B07V4M2DC4&pd_rd_w=VARsO&content-id=amzn1.sym.3481f441-61ac-4028-9c1a-7f9ce8ec50c5&pf_rd_p=3481f441-61ac-4028-9c1a-7f9ce8ec50c5&pf_rd_r=DSXG0VNMWX3BK7FE84K&pd_rd_wg=Yu6wA&pd_rd_r=0b7e361d-
- Angel, M. (06 de 03 de 2019). Obtido de MBROBOTICS: <https://mbrobotics.es/blog/grbl-configuracion/>
- Arduino. (05 de Febrero de 2021). *Store.Arduino*. Obtido de Arduino Mega 2560 Rev3: <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>
- Ashish. (07 de 01 de 2020). *PCBDesignWorld*. Obtido de PCB Track Width and Track Resistance – Importance, Calculation, and Design Tips: <https://pcbdesignworld.com/article/pcb-track-width-and-track-resistance-importance-calculation-and-design-tips>

- Autycom. (03 de 09 de 2020). *Autycom ¡Innovación Inteligente!* Obtido de ¿Qué es el Control Numérico Computarizado o CNC?: <https://www.autycom.com/que-es-el-control-numerico-computarizado-o-cnc/>
- Benchimol, D. (2011). *Microcontroladores*. Buenos Aires : Fox Andina S.A.
- Benne. (22 de Marzo de 2022). *Makerguides*. Obtido de Tutorial de TB6560 Stepper Motor Driver con Arduino: <https://www.makerguides.com/es/tb6560-stepper-motor-driver-arduino-tutorial/>
- Box, L. (2022). *Fuente Conmuda*. Obtido de <https://www.ledbox.es/generar-pdf-5800~fuente-de-alimentacion-conmutada-dc12v-60w-5a>
- Calcote, J. (14 de 12 de 2020). *Github*. Obtido de Wiring Limit Switches: <https://github.com/gnea/grbl/wiki/Wiring-Limit-Switches>
- Caleb Favela, A. A. (09 de 09 de 2022). *ALL3DP*. Obtido de Los mejores programas CNC de 2022 (11 son gratuitos): <https://all3dp.com/es/2/mejor-programa-cnc-gratuito/>
- Caram, J. P. (14 de Abril de 2019). *FlatCAM: Free and Open-source PCB CAM*. Obtido de <http://flatcam.org/>
- Castro, A. B. (01 de 05 de 2021). *www.microcontrolador.net*. Obtido de ABServo Systems CNC-Serial / Sistema servo mecanismo.: <http://www.microcontrolador.net/2021/05/01/bienvenida/>
- Centric. (12 de 12 de 2021). *Centric*. Obtido de ¿Qué es una máquina CNC y cómo ayuda en los procesos industriales?: <https://centricdemexico.com/maquina-cnc/#:~:text=Las%20máquinas%20CNC%20son%20aquellas,y%20controlar%20sus%20propios%20procesos.>
- CNCControl. (2013). *CNC Control*. Obtido de cnccontrolapp.com/maquinaCNC.html
- Cohen, M. P. (11 de 11 de 2021). *ELECTROSOFT INGENIERIA*. Obtido de <http://www.pcb.electrosoft.cl/04-articulos-circuitos-impresos-desarrollo-sistemas/01-conceptos-circuitos-impresos/conceptos-circuitos-impresos-pcb.html>
- DatasheetsPDF.com. (2022). *ATmega2560*. Obtido de <https://datasheetspdf.com/>

- Denvi FUNDACIÓN. (2022). *Github*. Obtido de "Candle": <https://github.com/Denvi/Candle>
- ELATE, SA. (21 de 02 de 2019). *ELATE, SA Circuitos Impresos*. Obtido de Tipos de elaboraciones de un circuito impreso: <https://elatesa.com/tipos-de-elaboraciones-de-un-circuito-impreso/>
- Electronics, A. (2022). *Pantalla Nextion 5*. Obtido de <https://avelectronics.cc/producto/pantalla-nextion-5/>
- Electronics, U. (2022). *Driver TB6560 Controlador Motor A Pasos*. Obtido de <https://uelectronics.com/producto/driver-tb6560-controlador-motor-a-pasos/>
- Electrostore. (2019). *MÓDULO CONTROLADOR DE MOTOR A PASOS TB6560 3A*. Obtido de <https://grupoelectrostore.com/shop/modulos-y-shields/controladores-de-motores/modulo-controlador-de-motor-paso-a-paso-tb6560-3a/>
- FADESA Ingenieros, S.L. (15 de 10 de 2022). *Fadesa Ingenieros*. Obtido de ¿Qué son los circuitos impresos?: <https://www.consumoteca.com/electronica/circuito-impreso/>
- Ferros Planes. (03 de 06 de 2019). *Planes*. Obtido de El mecanizado CAM: qué es y qué ventajas aporta: <https://ferrosplanes.com/mecanizado-cam/>
- freepng. (2022). *Modelo en espiral*. Obtido de freepng.es: <https://www.freepng.es/png-ia4z7p/>
- García, J. M. (15 de 09 de 2021). *Apuntes de Electrónica*. Obtido de Fabricación de circuitos impresos: <https://www.apuntesdeelectronica.com/componentes/fabricacion-circuitos-impresos.htm>
- Garcia, V. (16 de 10 de 2020). *Electrónica Práctica Aplicada*. Obtido de CÓMO CONSTRUI MI CNC -parte 1: <https://www.diarioelectronicohoy.com/blog/como-construi-mi-cnc-parte1>
- General Driver Motor. (11 de junio de 2021). *MOTOR SPINDLE, EXPLICACIÓN DEL CONCEPTO*. Obtido de <https://www.generaldrivermotor.com/motores/motor-spindle-explicacion-del-concepto/>

- Grupo DESISA. (13 de 05 de 2022). *Desarrollo de Sistemas, Soluciones y Aplicaciones*.
Obtido de Sistemas Computarizados Comunes y GMP's: Escenario Regulatorio Actual: <https://grupodesisa.mx/blog/sistemas-computarizados-comunes-y-gmps-escenario-regulatorio-actual/#>
- Gudino, M. (22 de 12 de 2017). *ARROW*. Obtido de Arduino Uno vs. Mega vs. Micro: <https://www.arrow.com/es-mx/research-and-events/articles/arduino-uno-vs-mega-vs-micro>
- Gudino, M. (2022). *Arduino Uno vs. Mega vs. Micro*. Obtido de <https://www.arrow.com/es-mx/research-and-events/articles/arduino-uno-vs-mega-vs-micro#:~:text=Las%20placas%20Arduino%20utilizan%20SRAM%20%28memoria%20de%20acceso,para%20crear%20y%20manipular%20variables%20cuando%20se%20ejecuta>.
- Inc, T. (2015). *Linear Motion Catalog*. Obtido de www.technisel.com
- InfoPLC. (08 de 02 de 2020). *infoPLC.net*. Obtido de Fresado seguro de circuitos impresos gracias a las ventosas de Schmalz: <https://www.infopl.net/historias-exito/item/107311-fresado-seguro-circuitos-impresos-ventosas-schmalz>
- Informer Technologies. (2022). *GrbI Controller*. Obtido de <https://grbl-controller.software.informer.com/Descargar-gratis/>
- INTER 200, S.L.U. (15 de 02 de 2021). *INTER 200, S.L.U Mecanizados*. Obtido de Principios de funcionamiento de las máquinas CNC: <https://www.inter2000mecanizados.com/post/principios-de-funcionamiento-de-las-maquinas-cnc>
- Knack, K. (10 de 09 de 2020). *Altium*. Obtido de Diseño de pads apilados y el proceso de fabricación — Parte 1: <https://resources.altium.com/es/p/pad-stack-design-and-fabrication-process-part-1>
- Kumar, A. (2 de Abril de 2023). *Whatispiping* . Obtido de Factor de seguridad: definición, ecuación, ejemplos.: <https://whatispiping.com/factor-de-seguridad/>
- KUZU. (10 de 12 de 2021). *KUZU S.L*. Obtido de Acero Inoxidable AISI 304: Propiedades y características: <https://kuzudecoletaje.es/acero-inoxidable-aisi-304-propiedades-y-caracteristicas/>

- Llamas, L. (2 de 1 de 2021). *LUIS LLAMAS*. Obtido de TUTORIALES DE DISEÑO DE PCB. PARTES DE UNA PCB: <https://www.luisllamas.es>
- Lynch, M. (31 de 08 de 2022). *Modern Machine Shop*. Obtido de CNC o control numérico por computadora: qué es y cómo funciona: <https://www.mms-mexico.com/articulos/cnc-o-control-numericopor-computadora-que-es-y-como-funciona>
- MakeltFrom.com. (2022). *Metal AISI 1050 Hot Rolled*. Obtido de <https://matmatch.com/es/materials/mitf980-aisi-1050-hot-rolled>
- Mallea, I. J. (12 de 07 de 2018). *Apttperu*. Obtido de ¿Qué es un sistema CAD y para qué sirve?: <https://aptperu.com/que-es-un-sistema-cad-y-para-que-sirve/>
- Mellowpine. (21 de 6 de 2022). *Mellowpine*. Obtido de Best GRBL Software [2022]-UGS,Candle: <https://mellowpine.com/cnc/best-grbl-software/>
- Mirza, K. (24 de 08 de 2020). *ProjectIOT123*. Obtido de Introduction to TB6560: <https://projectiot123.com/2020/08/24/introduction-to-tb6560/>
- MitsubishiCarbide. (10 de 11 de 2022). *CATÁLOGO GENERAL C006S : FRESAS INTEGRALES*. Obtido de https://www.mitsubishicarbide.com/EU/es/product/pdf/c_n_other/c006s_i.pdf
- Moko Technology. (23 de 12 de 2019). *Moko Technology Your Trusted EMS Partner*. Obtido de ¿Cuántos tipos de PCB hay?: <https://www.mokotechnology.com/es/how-many-types-of-pcb-are-there/>
- Novatronic. (21 de 11 de 2020). *NOVAtronic*. Obtido de Rodamiento lineal SC8UU SCS8UU: <https://novatronic.com/index.php/product/rodamiento-lineal-sc8uu-scs8uu/>
- ORIENTALMOTOR. (21 de 7 de 2021). *ORIENTALMOTOR*. Obtido de Comparación de Motores paso a paso de 2-fases (0.9°/1.8°) y 5-fases (0.36°/0.72°): https://www.orientalmotor.com.mx/tecnica/2-fase_vs_5-fase.html
- Pablo, J. (21 de 08 de 2019). *FlatCam*. Obtido de Bienvenido a la documentacion de FlatCAM!: <http://flatcam.org/manual/es/introduction.html>
- Parejo, J. (4 de 10 de 2021). *Tecnología Informática*. Obtido de <https://www.tecnologia-informatica.es/practica-placa-PCB/>

- Peñañiel Danny, R. P. (4 de Enero de 2013). *DISEÑO Y MONTAJE DE FUENTE CONMUTADA PARA ALIMENTACIÓN*. Obtido de UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4287/1/UPS-CT002620.pdf>
- Perdido, E. (9 de Mayo de 2022). *Final De Carrera Mecánico ZW11-N (Ref: 0365)*. Obtido de <https://electronperdido.com/shop/sensores/movimiento/final-de-carrera-mecanico-con-rodillo-zw11-n/>
- Perfiles CNC. (1 de 2 de 2023). *PERFILES| CNC IMPORTADORES*. Obtido de Perfil de aluminio tipo V 20x40: <https://perfilesncnc.com/?product=perfil-de-aluminio-tipo-v-20x40>
- Piña, J. F. (2015). *Máquina (CNC) de Control Numérico Computarizado de 3 ejes*. Ibarra.
- Rambal. (24 de 03 de 2021). *Rambal Automatización y Robótica*. Obtido de CNC Shield Arduino GRBL V3: <https://rambal.com/shields-arduino/20-cnc-shield-para-arduino.html>
- Rossano, V. (2010). *Electronica y microcontroladores pic*. Obtido de Google Books : https://books.google.com.ec/books?id=fnTvx-_qwucC&lpg=PA12&hl=es&pg=PA12#v=onepage&q&f=false
- Roydisa. (20 de 10 de 2021). *Roydisa*. Obtido de Husillos y tuercas: <https://www.roydisa.es/archivos/productos/690>
- S.A, G. (2022). *Botón de Presión de Paro de Emergencia, Tamaño: 22mm, Acción: Mantener Presionado/Gire para Liberar*. Obtido de <https://www.grainger.com.mx/producto/DAYTON-Bot%C3%B3n-de-Presi%C3%B3n-de-Paro-de-Emergencia,-Tipo-de-Operador:-Cabeza-Tipo-Hongo-40mm,-Tama%C3%B1o:-22mm,-Acci%C3%B3n:-Mantener-Presionado-Gire-para-Liberar/p/30G254>
- Salvador, J. (7 de 9 de 2020). *Stanser*. Obtido de MÁQUINAS CNC: TODO LO QUE NECESITAS SABER: <https://www.stanser.com/como-funciona-una-maquina-cnc-maquinas-cnc/>

- Sancho, J. R. (13 de marzo de 2019). *Automatismo Industrial*. Obtido de Motores Síncronos: <https://automatismoindustrial.com/curso-carnet-instalador-baja-tension/motores/motores-sincronos/>
- Servotronix. (2022). *NEMA17 Datasheet, Equivalent, Stepper Motor*. Obtido de Integrated Closed Loop Stepper Motor: <https://datasheetspdf.com/pdf/1380133/Servotronix/NEMA17/1>
- Seteco, E. (2022). *Perfil de aluminio*. Obtido de <https://www.setecoecuador.com/perfiles-de-aluminio.html>
- Siemens. (2010).
- T.E.M. (08 de 09 de 2020). *TEM Electronic Components*. Obtido de MOTOR PASO A PASO – TIPOS Y EJEMPLOS DEL USO DE MOTORES PASO A PASO: <https://www.tme.eu/es/news/library-articles/page/41861/Motor-paso-a-paso-tipos-y-ejemplos-del-uso-de-motores-paso-a-paso/>
- TECmikro. (5 de Abril de 2022). *TECmikro*. Obtido de TECmikro: <https://tecmikro.com/componentes-electromecanicos/518-acople-acoplamiento-flexible.html>
- Tecneu. (15 de Enero de 2023). *tecneu.com*. Obtido de Driver Motor A Pasos Tb6560 Controlador: <https://www.tecneu.com/pages/terminos-del-servicio>
- TECNITOOL. (2002). *Fórmula para calcular la potencia de corte*. Obtido de <https://tecnitool.es/tag/potencia-de-corte/#:~:text=La%20potencia%20de%20corte%20permite,herramienta%20en%20un%20periodo%20dado.>
- Tecnocorte. (2022). *Velocidad de corte y de avance en fresadora CNC: como calcularlas fácilmente*. Obtido de <https://tecnocorte.com/blog/fresadora-cnc-calculiar-velocidad-de-corte-y-de-avance/>
- Teruel, F. C. (2009). *Control Numérico y Programación*. Marcombo S.S.
- UGS. (2022). *Universal Gcode Sender*. Obtido de https://winder.github.io/ugs_website/
- UNIT Electronics. (21 de 11 de 2022). *UNIT Electronics*. Obtido de Convertidor de PWM a Voltaje Analógico 0-10V PLC:

<https://uelectronics.com/producto/convertidor-de-pwm-a-voltaje-analogico-0-10v-plc/>

VinilShop. (2017). *Herramientas de corte y grabado*. Burgos.

VISTRONICA S.A.S. (30 de 12 de 2022). *Vistronica* . Obtido de MOTOR PASO A PASO 5.6KGCM NEMA 17 PARA IMPRESORA 3D:
<https://www.vistronica.com/contactenos>

Wegster. (10 de Junio de 2023). *Wegster.com*. Obtido de CNC Wegstr (Español):
[https://wegstr.com/CNC-Wegstr-\(Español\)](https://wegstr.com/CNC-Wegstr-(Español))

Andrés, Á., López, L., Roberto, P., & Santos, P. (n.d.). *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN Materia Integradora Previo la obtención del Título de: INGENIERO MECÁNICO*.

Hüseyin, K. (2019). *OPTIMIZATION OF WOOD MACHINING PARAMETERS IN CNC ROUTERS: TAGUCHI ORTHOGONAL ARRAY BASED SIMULATED*. 21(4), 493–510. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2019005000406>

Jorge Criollo. (2019). *“MÁQUINA CNC PARA PLACAS ELECTRÓNICAS, PROCESO DE FRESADO Y TALADRADO*. 26.

Mardiguian, M. (2014). ERRATUM: Chapter 6 Printed Circuit Board Design. *Controlling Radiated Emissions by Design*, E1–E1. https://doi.org/10.1007/978-3-319-04771-3_14

Piquer, I. (2016). *Diseño e Implementación de una Máquina CNC con Funcionalidad de Taladradora*. 97.