



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos

Naturales no Renovables

Carrera de ingeniería Electromecánica

Implementación de una CNC para realizar circuitos impresos

Trabajo de Integración Curricular,
previo a la obtención del título de
Ingenieros Electromecánico

AUTOR:

Franklin Jonathan Guillen Chalco

DIRECTOR:

Ing. Julio Roberto Gómez Peña. Mg. Sc.

Loja - Ecuador

2024

Educamos para **Transformar**

Certificación

Loja, 31 de julio de 2024

Ing. Julio Roberto Gómez Peña, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

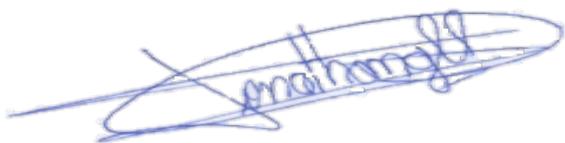
Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del trabajo de Integración Curricular denominado: **Implementación de una CNC para realizar circuitos impresos**, de autoría del estudiante **Franklin Jonathan Guillen Chalco**, con cédula de identidad **Nro. 1104865702** previo a la obtención del título de **Ingeniero Electromecánico**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Ing. Julio Roberto Gómez Peña Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Franklin Jonathan Guillen Chalco**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mí del Trabajo de Integración Curricular en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.



.....
Firma:

Cédula: 1104865702

Fecha: 31 de julio de 2024

Correo electrónico: franklin.guillen@unl.edu.ec

Teléfono: 0985272857

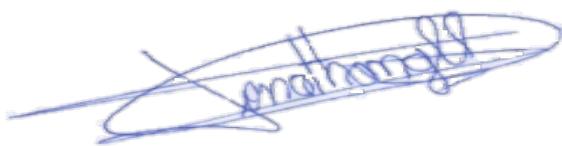
Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo del Trabajo de Integración Curricular.

Yo **Franklin Jonathan Guillen Chalco** declaro ser autor del Trabajo de Integración denominado: **Implementación de una CNC para realizar circuitos impresos**, como requisito para optar el grado de: **Ingeniero Electromecánico**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los treinta y un días del mes de julio de dos mil veinticuatro.



.....
Firma:

Cédula: 1104865702

Dirección: Loja, Barrio Zamora Huayco

Correo electrónico: franklin.guillen@unl.edu.ec

Teléfono: 0985272857

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Integración Curricular: Ing. Julio Roberto Gómez Peña Mg. Sc.

Dedicatoria

Esta investigación está dedicada primordialmente a Dios, quien ha sido mi guía constante en los momentos más difíciles de la vida y me ha sostenido en los tiempos de desánimo. También quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis padres Franklin Hernan Guillen y María Augusta Chalco cuyo amor incondicional me han respaldado toda la vida y en el proceso de mi carrera, a mis hermanos Adriana, Michael, Josue y Mateo quienes son mi motivación y fuerza impulsándome a perseverar en el camino. Por último, pero no menos importante dedico a cada persona que ha formado parte de mi proceso de aprendizaje, ya que este éxito también les pertenece.

Franklin Jonathan Guillen Chalco

Agradecimientos

Agradezco a Dios por brindarme un propósito significativo en mi vida. A mis padres por inculcarme valores que han servido como cimiento para cada logro alcanzado. A mis hermanos por confiar en mí y motivarme.

Agradezco a mi director del Integración Curricular el Ing. Julio Roberto Gómez Peña por brindarme sus conocimientos y enseñanzas en el proceso y culminación de esta investigación.

Agradezco a la Universidad Nacional de Loja (UNL), a la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables por formarme como profesional de una forma ética y con grandes valores de igual manera a toda la planta de docentes que estuvo predispuesto a solventar dudas e inquietudes.

Franklin Jonathan Guillen Chalco

Índice de contenidos

Portada.....	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimientos.....	vi
Índice de contenidos.....	vii
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras	xi
Índice de anexos	xiii
Simbología:	xiv
1 Título	1
2 Resumen.....	2
Abstract.....	3
3 Introducción	4
4 Marco teórico	6
4.1 Capítulo I: Máquina CNC.....	6
4.1.1 Aplicaciones de una máquina CNC	6
4.1.2 Máquina CNC para circuitos impresos	6
4.2 Capítulo II: Movimientos básicos de una CNC.....	6
4.2.1 Coordenadas absolutas e incremental	7
4.3 Capítulo III: Componentes electromecánicos para el movimiento de una CNC	
7	
4.3.1 Fuente de alimentación	7
4.3.2 Grbl	8
4.3.3 Arduino UNO.....	8
4.3.4 Shell CNC	9

4.3.5	Driver A4988	9
4.3.6	Motores nema 17.....	10
4.4	Capítulo IV: Componentes electrónicos de una máquina CNC	11
4.4.1	Módulo PWM	11
4.4.2	Motor de husillo o spindle	12
4.5	Capítulo V: lenguaje de programación de la máquina CNC.....	12
4.5.1	Código G.....	12
4.5.2	Código G de un diagrama electrónico	13
4.5.3	Universal G-Code Sender	13
4.6	Capítulo VI: Obtención del código G mediante software	14
4.6.1	FlatCAM	14
4.6.2	ArtCAM Pro.....	14
4.6.3	Dxf e imagen.....	14
4.7	Capítulo VII: Verificación del circuito impreso	14
4.7.1	Continuidad.....	14
5	Metodología	15
5.1	Área de trabajo	15
5.2	Equipos y materiales.....	15
5.2.1	Equipos	15
5.2.2	Materiales.....	15
5.3	Procedimiento.....	16
5.3.1	Primero objetivo: Determinar el sistema mecánico de movimiento.....	16
5.3.2	Segundo objetivo: Utilizar un código abierto para controlar la CNC.....	17
5.3.3	Tercer objetivo: Validar el funcionamiento de la máquina CNC	19
6	Resultados.....	20
6.1	Primero objetivo: Determinar el sistema mecánico de movimiento	20
6.1.1	Analizar el sistema mecánico de movimiento	20
6.1.2	Análisis de movilidad	20
6.1.2.1	Caso 1. Desplazamiento y giro alrededor del eje Z.....	21
6.1.2.2	Caso 2. Desplazamiento y giro alrededor del eje Z y deslazamiento en el eje X...22	
6.1.2.3	Caso 3. Desplazamiento y giro alrededor del eje Z y deslazamiento en el eje Y...23	

6.1.2.4	Caso 4. Desplazamiento y giro alrededor del eje Z, desplazamiento en el eje X y en el eje Y.	24
6.1.3	Fórmula para encontrar los pasos reales de un motor nema 17	26
6.1.4	Introducción de los valores encontrados para el software Universal G-Code Sender	28
6.2	Segundo objetivo: Utilizar un código abierto para controlar la CNC	30
6.2.1	Primera fase: utilización del software Proteus 8 Professional	30
6.2.2	Segunda fase: utilización del software ArtCAM Pro 9.1.....	33
6.2.2.1	Obtención del código G para las pistas del circuito electrónico.....	34
6.2.2.2	Obtención del código G para el taladrado del circuito electrónico.....	36
6.2.2.3	Obtención del código G para el corte del perfil de la baquelita.	37
6.2.3	Tercera fase: utilización del software OpenCNCPilot para la ejecución del código G	39
6.3	Tercer objetivo: Validar el funcionamiento de la máquina CNC	42
7	Discusión	44
8	Conclusiones	47
9	Recomendaciones	48
10	Bibliografía	49
11	Anexos	53

Índice de tablas

Tabla 1. Micropasos.....	10
Tabla 2. Movimiento de una CNC.....	16
Tabla 3. Software para el diseño de PCB.....	17
Tabla 4. Giro completo en función de los grados del motor.....	25

Índice de figuras

Figura 1: Sistema de coordenadas Absolutas e Incrementales	7
Figura 2: Fuente de alimentación 12V, 10A.....	8
Figura 3: Arduino UNO.....	9
Figura 4: Shell CNC	9
Figura 5: Componentes del circuito A4988.....	10
Figura 6: Motor paso a paso	11
Figura 7: Módulo PWM	11
Figura 8: Motor de husillo CNC Genmitsu GS-775M	12
Figura 9: Interfaz del Universal G-Code Sender	13
Figura 10: Vivienda donde se realizó la implementación	15
Figura 11: Sistema isométrico de movimiento	20
Figura 12: Sistema isométrico de movimiento	21
Figura 13: Perforación de la baquelita.....	21
Figura 14: Ruteo de la pista en el eje X.....	23
Figura 15: Ruteo de la pista en el eje Y.....	23
Figura 16: Ruteo de la pista en el eje X y en el eje Y	24
Figura 17: Representación de los ejes de mecanizado	25
Figura 18: Tornillo CNC de cuatro hilos.....	27
Figura 19: Colocación de los jumpers en la Shield CNC	28
Figura 20: Grbl Modificado para el correcto funcionamiento de la máquina CNC.....	29
Figura 21: Encendido de tres leds en Proteus.....	31
Figura 22: Cambio de fuente de alimentación por Bornera.....	31
Figura 23: Ruteado de pista del circuito electrónico	32
Figura 24: Componentes del circuito en 3D	32
Figura 25: Ruteado de la pista en 3D	32
Figura 26: Exportación del diseño en formato bitmap	33
Figura 27: Configuración del archivo en formato bitmap	33
Figura 28: Vectorización del circuito	34
Figura 29: Guardado del archivo de la pista.....	35
Figura 30: Código G de la pista del circuito.....	35
Figura 31: Selección de los agujeros del circuito electrónico	36

Figura 32: Guardado del archivo del taladrado	36
Figura 33: Código G del taladrado del circuito	37
Figura 34: Selección del perfil del circuito electrónico.....	38
Figura 35: Código G del corte de la baquelita.....	38
Figura 36: Simulación en software ArtCAM Pro 9.1 del circuito electrónico	39
Figura 37: Mapa de altura del circuito electrónico.....	40
Figura 38: Ruteado de las pistas del circuito	40
Figura 39: Taladrado del circuito electrónico.....	41
Figura 40: Corte del contorno del circuito electrónico.....	41
Figura 41: Circuito impreso terminado	42
Figura 42: Verificación de continuidad del circuito impreso	42
Figura 43: Encendido de los LEDs.....	43

Índice de anexos

Anexo 1. Características del Motor NEMA 23	53
Anexo 2. Características del Motor NEMA 17	54
Anexo 3. Diagrama de conexión eléctrica	55
Anexo 4. Comandos del código G	56
Anexo 5. Estructura de la máquina CNC	57
Anexo 6. Tapa lateral derecha	58
Anexo 7. Tapa inferior	59
Anexo 8. Tapa superior trasera	60
Anexo 9. Tapa inferior trasera	61
Anexo 10. Tapa lateral izquierda	62
Anexo 11. Tapa frontal	63
Anexo 12. Plataforma	64
Anexo 13. Bancada	65
Anexo 14. Tapa superior	66
Anexo 15. Certificado de traducción del Abstract	67

Simbología:

2D	Dos dimensiones
3D	Tres dimensiones
A	Amperios
At	Avance del tornillo
CA	Corriente alterna
CC	Corriente continua
CD	Corriente directa
CNC	Control numérico computarizado
Gp	Grados en cada paso
Grbl	Firmware para el control de máquinas CNC
k Ω	Kilohmios
Led	Diodo emisor de luz
mm	Milímetros
Mp	Micropasos
p.p.p	Puntos por pulgada
Pcb	Placa de circuito impreso
Pr	Pasos reales
Ps	Pasos
Pst	Paso total
Pwm	Modulación de ancho de pulso
Rpm	Revoluciones por minuto
USD	Dólar estadounidense
V	Voltios

1 Título

Implementación de una CNC para realizar circuitos impresos

2 Resumen

El presente trabajo de titulación tiene como propósito la implementación de una máquina CNC para la fabricación de circuitos impresos dado que, mejora la precisión y eficiencia en la producción de dispositivos electrónicos. Este tipo de máquina automatiza el proceso de montaje, reduciendo errores humanos. El objetivo principal fue implementar una máquina CNC para elaborar circuitos impresos. Para cumplir con el objetivo se comenzó con la determinación del sistema de movimiento, para ello se realizó una búsqueda y comparación de los distintos sistemas disponibles, esto permitió seleccionar la opción más adecuada para este proyecto. Para controlar el movimiento se empleó softwares para generar código G, dicho código proporciona instrucciones precisas sobre los movimientos que debe realizar la máquina, finalmente se realizaron pruebas para comprobar su funcionamiento. Los resultados incluyen el uso de motores paso a paso configurados correctamente para lograr un desplazamiento preciso de la fresa al mecanizar el circuito, asimismo se obtuvo un código para controlar la CNC mediante un diagrama electrónico que sirve de base para la generación del código G de fresado, taladrado y el corte de la PCB (Placa de circuito impreso), igualmente se realizó pruebas de funcionalidad del circuito impreso por tal motivo se empleó un multímetro para comprobar la continuidad de cada pista mecanizada y finalmente se hizo el debido montaje de los componentes electrónicos necesarios para llevar a cabo el correcto funcionamiento del circuito obtenido. Una vez corroborado el correcto movimiento de CNC se pudo demostrar que puede desplazarse en los tres ejes de coordenadas de una forma correcta y precisa, de igual forma se logró la vectorización de un diagrama electrónico para realizar el mecanizado del circuito propuesto, por último, se obtuvo la continuidad adecuada en cada pista del circuito y su correcto funcionamiento.

Palabras Clave: ArtCAM Pro, Código G, Máquina CNC, OpenCNCPilot, PCB.

Abstract

The present degree work focuses on the implementation of a CNC machine for the manufacture of printed circuits, since it improves precision and efficiency in the production of electronic devices. This type of machine automates the assembly process, reducing human errors. The main objective was to implement a CNC machine to elaborate printed circuits. To meet the objective, it started with the determination of the motion system, for which a search and comparison of the different systems available was carried out, which allowed it to select the most suitable option for this project. To control the movement, software were employed to generate G-code, which provides precise instructions on the movements to be performed by the machine, finally, tests were performed to verify its operation. The results include the use of stepper motors configured correctly to achieve a precise displacement of the milling cutter when machining the circuit, also a code was obtained to control the CNC through an electronic diagram which serves as the basis for the generation of the G code of milling, drilling and cutting of the PCB (Printed circuit board), also tests of functionality of the printed circuit were performed for this reason a multimeter was used to check the continuity of each machined track and finally, the proper assembly of the electronic components necessary to carry out the correct operation of the circuit obtained was done. Once the correct movement of CNC was corroborated, it was possible to demonstrate that it can move in the three coordinate axes in a correct and precise way, in the same way, the vectorisation of an electronic diagram was achieved in order to carry out the machining of the proposed circuit, finally, the correct continuity was obtained in each track of the circuit and its correct operation.

Keywords: ArtCAM Pro, G code, CNC machine, OpenCNCPilot, PCB.

3 Introducción

Una máquina CNC (Control numérico computarizado) para la fabricación de circuitos impresos contribuye como un componente esencial en el proceso de producción de placas de circuito impreso (PCB). Su función fundamental se basa en la creación eficiente y precisa de estos elementos vitales para la funcionalidad de varios dispositivos electrónicos consolidándose como una pieza indispensable en la producción.

La implementación de una máquina CNC para la fabricación de circuitos impresos fue de vital importancia, ya que simplificó significativamente el proceso de montaje de los componentes electrónicos. Este enfoque innovador en la producción de las placas de circuitos ofreció numerosas ventajas que contribuyen a la eficiencia y precisión en la fabricación de dispositivos electrónicos. Esto favorece que los circuitos impresos para que sean más compactos y funcionales, minimizando la probabilidad de errores y mejorando la calidad general del producto final, además de la automatización, una máquina CNC agiliza el proceso de producción al eliminar la intervención manual, esto acelera el tiempo de fabricación y reduce los riesgos asociados con posibles errores humanos.

La incorporación de una máquina CNC para la fabricación de circuitos impresos emerge como un elemento clave para enfrentar desafíos locales, facilitando una serie de ventajas como costos, producción, empleo y fomento de la innovación. La introducción de esta tecnología no solo se traduce en una mejora en la producción, sino también contribuye al desarrollo y fortalecimiento de la fuerza laboral local, además la implementación de una CNC de circuitos impresos ayuda para que el prototipado sea más rápido al momento de montar los componentes al circuito impreso.

El aporte que se quiere brindar para la realización de circuitos impresos implica una contribución significativa mediante la utilización de diversos softwares de libre acceso para la creación del código G. La singularidad de nuestro enfoque radica en la integración del software ArtCAM Pro, el cual requiere de la exportación del circuito desde el software Proteus en formato bitmap, para posteriormente proceder a la realización del mapa de alturas en la placa PCB. Alvarado Hidalgo(2023) plantea el uso del software FlatCAM en donde hace la exportación del circuito desde el software Proteus en una extensión Gerber, para posteriormente, realizar el mapa de altura en la placa PCB. Este cambio en la metodología subraya la versatilidad y adaptabilidad del proceso, brindando a los usuarios una variedad de opciones según sus necesidades y preferencias.

El presente trabajo de titulación plantea como objetivo general el implementar una máquina CNC para elaborar circuitos impresos. El primer objetivo específico hace referencia al determinar el sistema mecánico de movimiento, a su vez el segundo objetivo específico se basa en utilizar un código abierto para controlar la CNC, así mismo el tercer objetivo específico se refiere a validar el funcionamiento de la máquina CNC. Por último, la hipótesis general en el presente trabajo de titulación determinará si la implementación de una máquina CNC nos permite elaborar impresiones de circuitos eléctricos, aumentando la facilidad en el montaje de componentes electrónicos.

4 Marco teórico

4.1 Capítulo I: Máquina CNC

La máquina CNC (Control Numérico Computarizado) posee la capacidad de orientar la localización de una pieza mecánica móvil, mediante de forma automática empezando de información numérica determinada a través de un programa, la máquina CNC sirve como un elemento determinante en la asistencia de diversos bocetos al momento de mecanizar, ya que puede realizar movimientos complicados como líneas angulares, círculos y bocetos en 3D con una gran precisión con un excelente tiempo de mecanizado el cual puede carecer el proceso manualmente (Garcí et al., 2009).

4.1.1 Aplicaciones de una máquina CNC

Una máquina de control numérico por computadora puede realizar corte, grabado y taladrado, el cual utiliza distintos tipos de fresas dependiendo lo que va a realizar, logra devastar con exactitud en sus tres ejes o más. La máquina CNC es capaz de adaptarse con facilidad y rapidez al momento de trabajar sobre distintos tipos de superficies que pueden ser deformadas o rayadas (Cortez et al., 2019).

4.1.2 Máquina CNC para circuitos impresos

La fabricación de una máquina CNC para circuitos impresos ha sido un asunto de estudio e investigaciones para todo tipo de personas profesionales en distintas áreas, así como también para algunas empresas y algunos centros de enseñanza. El desarrollo de este tipo de prototipos ha incorporado grandes avances tecnológicos, otro aspecto esencial se encuentra en el sistema de control para máquinas con control numérico computarizado (Alonso et al., 2015).

4.2 Capítulo II: Movimientos básicos de una CNC

Dentro del análisis de los tipos de movimientos de las máquinas CNC debemos destacar la existencia de coordenadas de movimiento, los cuales no solo se encuentran dentro de tipos de máquinas como las CNC, sino también en máquinas industrializables y tecnológicas; donde este tipo de movimientos se encuentran representados por ejes, siendo estos de tres tipos de direccionamiento: El eje real abarcan máquinas con unidireccionamiento; teniendo coordenadas x, y. Por otro lado, los ejes interpolables los cuales se encuentran dentro de las máquinas CNC tienen tres tipos de ejes x, y, z. Por último, tenemos los pseudo ejes los cuales aparte de contar con tres tipos de ejes principales como son x, y, z; cuentan con otro tipo de ejes como auxiliares y rotativos (Massaia, 2019).

En ese sentido los movimientos básicos de la CNC la cual cuenta con un sistema de coordenadas x, y, z; siendo movimientos como largo ancho y profundidad respectivamente, estará ligado a las magnitudes proporcionales de la pieza que se utilizará o en otras palabras tendrá una relación con las irregularidades de la pieza a trabajar, esto con el objetivo de alcanzar las medidas reales que serán obtenidas por medio de las cotas (Rivadeneira, 2020).

4.2.1 Coordenadas absolutas e incremental

Existen dos formas de posicionar la herramienta de fresado de una CNC en el sistema de coordenadas absolutas (G90) y en el sistema de coordenadas incrementales (G91), como se observa en la **Figura 1** el primero hace referencia al punto de partida que define al origen o punto cero de las coordenadas, es decir cualquier movimiento al origen no cambia, por lo contrario y cuando se habla de coordenadas incrementales el punto cero cambia según la posición de cada herramienta con respecto al último punto alcanzado (Rivadeneira, 2020).

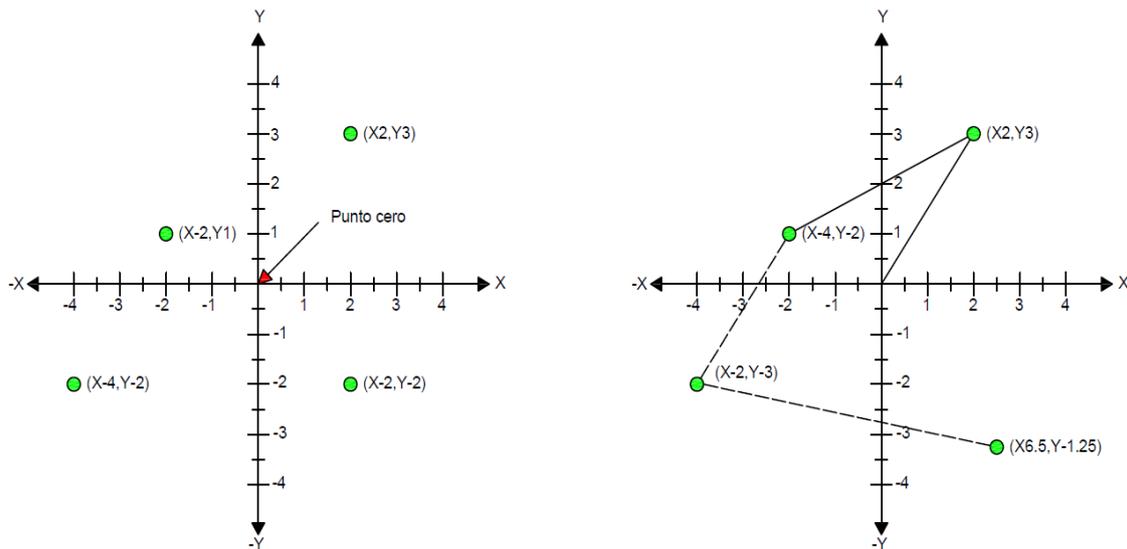


Figura 1: Sistema de coordenadas Absolutas e Incrementales

Fuente: (Rivadeneira, 2020)

4.3 Capítulo III: Componentes electromecánicos para el movimiento de una CNC

4.3.1 Fuente de alimentación

Una fuente de alimentación como se observa en la **Figura 2** es un dispositivo llamado también fuente de poder o fuente conmutada en el campo de la electrónica, se define como un dispositivo que tiene la capacidad de transformar corriente alterna (CA) en corriente continua (CC) en una o varias salidas. Este dispositivo desempeña un papel

fundamental en el suministro de energía a varios componentes electrónicos: motor CD, leds de potencia, tira leds, cámaras, módulos PWM, tarjetas o módulos Arduino y sensores (Novatronic, 2020).



Figura 2: Fuente de alimentación 12V, 10A

Fuente: (Novatronic, 2020)

4.3.2 Grbl

Es un firmware configurado para verificar el desplazamiento de los ejes de las máquinas CNC es un código gratis, que permite la transformación del código G en señales eléctricas para que de este modo pueda girar el eje de los motores paso a paso (Ricón et al., 2020).

4.3.3 Arduino UNO

Es una placa de microcontrolador como se observa en la **Figura 3** de código abierto que consta con una serie de pines los cuales nos permiten decretar órdenes desde una computadora hacia los distintos sensores mediante su entorno de programación llamado Arduino IDE (López & Parra, 2016).



Figura 3: Arduino UNO

Fuente: (MCI electronics, 2023)

4.3.4 *Shell CNC*

Es una placa creada para las máquinas CNC de forma fácil y económica que puede ser vinculadas, a diferentes arduinos que hay en el mercado, como se observa en la **Figura 4** así como también a sensores y finales de carrera. Puede funcionar sin ningún impedimento con el firmware Grbl (Rivadeneira, 2020).

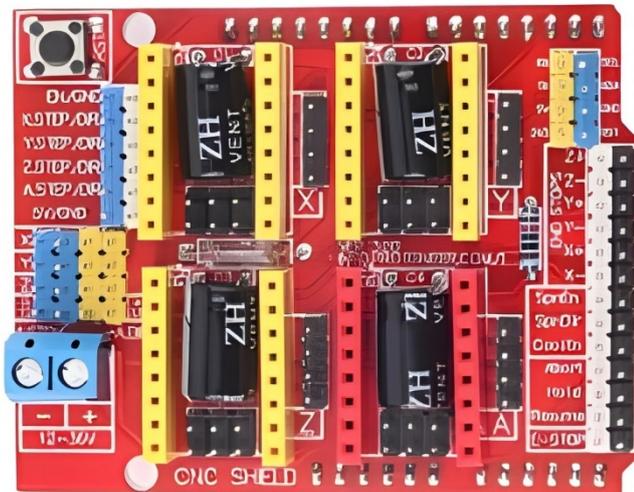


Figura 4: Shell CNC

Fuente: (Rivadeneira, 2020)

4.3.5 *Driver A4988*

El driver A4988 es un reductor de corriente hacia los motores paso a paso como se observa la **Figura 5** limitan los voltajes altos como la corriente necesaria para estos motores permitiendo la debida protección para que no exista daños a los elementos de la electrónica (Orellana, 2022).

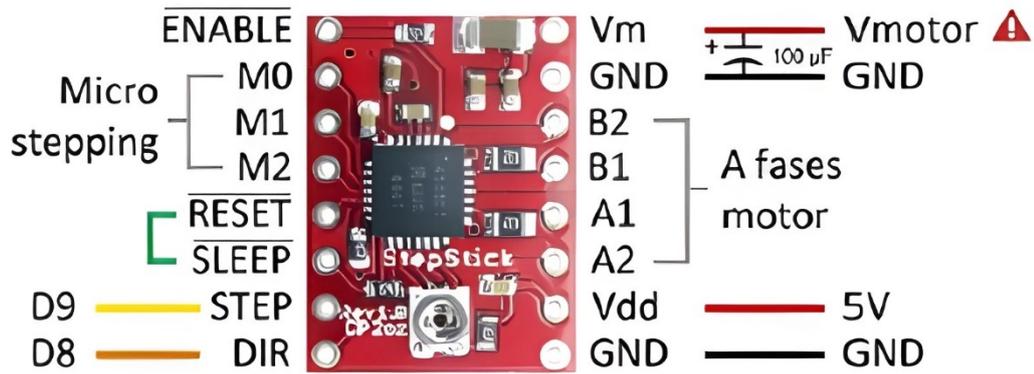


Figura 5: Componentes del circuito A4988

Fuente: (Rivadeneira, 2020)

En los pines (M0, M1 y M2) se podrá escoger unos de los cinco pasos para los motores en la **Tabla 1** se presenta una comparativa de cada uno de ellos, M0 y M1 poseen una resistencia de 100k Ω y M2 posee una resistencia de 50k Ω por ende dejando los pines desconectados micro stepping desconectados obtendremos el modo de paso completo (García, 2020).

Tabla 1. Micropasos

M0	M1	M2	Resolución de micropasos		Valor de un paso
Bajo	Bajo	Bajo	Paso completo	(1)	14.4°
Alto	Bajo	Bajo	Medio paso	(1/2)	7.2°
Bajo	Alto	Bajo	Cuarto de paso	(1/4)	3.6°
Alto	Alto	Bajo	Octavo de paso	(1/8)	1.8°
Alto	Alto	Alto	Dieciseisavo de paso	(1/16)	0.9°

Fuente: (García, 2020)

4.3.6 Motores nema 17

Los motores nema 17 es un modelo de motor paso a paso son muy utilizados en las máquinas de CNC como se observa en la **Figura 6** y máquinas láser esto se debe por su tamaño, fuerza y su precisión al momento de mover los ejes de una CNC.



Figura 6: Motor paso a paso

Fuente: (Rivadeneira, 2020)

Un motor paso a paso es un componente electromecánico que permite cambiar distintos impulsos al momento que reciben los movimientos angulares del motor, a estos se los denomina pasos. Nos permiten trasladar movimientos exactos debido a que no rotan de manera libremente como actúan otros motores (Rivadeneira, 2020).

4.4 Capítulo IV: Componentes electrónicos de una máquina CNC

4.4.1 Módulo PWM

El módulo PWM es un controlador de velocidad del Husillo, mediante una perilla se puede modular el ancho de pulso (PWM) necesita una fuente de alimentación que este en los rangos entre 10-60v con una intensidad hasta de 20A como se observa en la **Figura 7**. Este módulo trabaja con corriente continua los cuales se conectarán en los terminales del controlador (Electrostore, 2019).

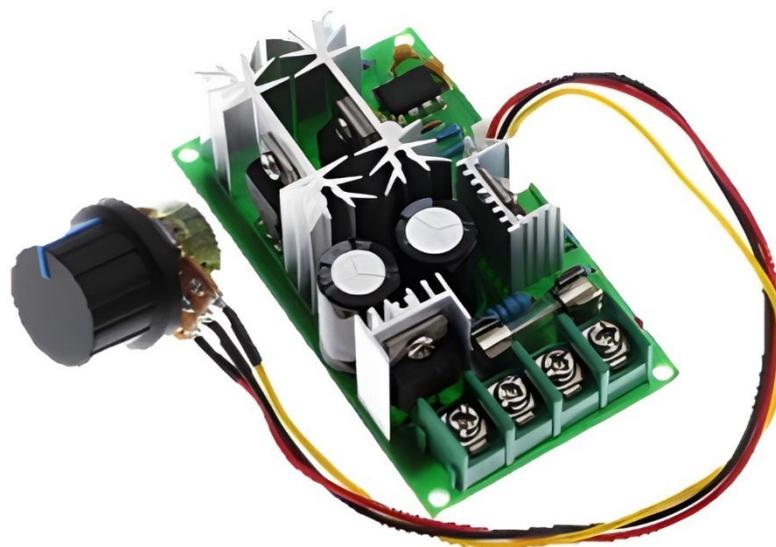


Figura 7: Módulo PWM

Fuente: (Electrostore, 2019)

4.4.2 Motor de husillo o spindle

Es un motor diseñado para trabajar con las CNC router una de las principales características es su capacidad de girar esto varía dependiendo la alimentación de voltaje a 24v puede alcanzar hasta 20.000 rpm como se observa en la **Figura 8**. Este motor trabaja con corriente continua con una intensidad de 5A con un bajo nivel de ruido al accionarlo y posee un cepillo con doble rodamiento de bolas (Sain smart power to the makers , 2023).



Figura 8: Motor de husillo CNC Genmitsu GS-775M

Fuente: (Sain smart power to the makers , 2023)

4.5 Capítulo V: lenguaje de programación de la máquina CNC

4.5.1 Código G

El código G es el lenguaje de programación utilizado en sistemas de control numérico computarizado (CNC, por sus siglas en inglés). Por lo general, los comandos del código G se presentan en formato alfanumérico y comienzan con la letra “G”, que representa la palabra “geometría”. Este código es fundamental para controlar los movimientos de la máquina CNC, indicando dónde comenzar, cómo desplazarse y cuando detenerse durante la fabricación de una pieza. Si embargo, el código G puede resultar un tanto complejo para los operadores debido a que diferentes máquinas interpretan el código G en diversos formatos. Por ejemplo, una máquina CNC puede utilizar la notación “G3”, mientras que otra puede emplear “G03”. Por lo tanto, es importante que los operadores estén familiarizados con el tipo de máquina CNC que están

utilizando, ya que la falta de conocimiento al respecto podría llevar a errores durante el proceso de mecanizados de una pieza (DIRECT, 2023).

4.5.2 Código G de un diagrama electrónico

Una máquina CNC permite la automatización de procesos de mecanizado y corte mediante la interpretación de instrucciones codificadas en un formato específico conocido como código G. La mayoría de programas de diseño electrónico nos dan códigos Gerber, bitmap, dxf y como imagen cualquiera de estas salidas se podrá utilizar para poder crear un código G esto dependerá del software que se utilice, la calidad del software disponible (pagado, gratis o que tenga muchas prestaciones).

El código Gerber se procesa utilizando programas como FlatCAM, para bitmap se suele utilizar ArtCAM Pro y finalmente para dxf e imagen se utiliza inkscape, todos estos programas ayudan a generar un código G.

4.5.3 Universal G-Code Sender

Es un software que sirve para controlar una CNC mediante el GRBL está basado en Java. Permite más de 3000 líneas de código y otras 1000 líneas de comentarios como se observa en la **Figura 9**. Además, permite modificar los comandos del GRBL para que la máquina CNC trabaje de manera eficiente (UGS, 2008).

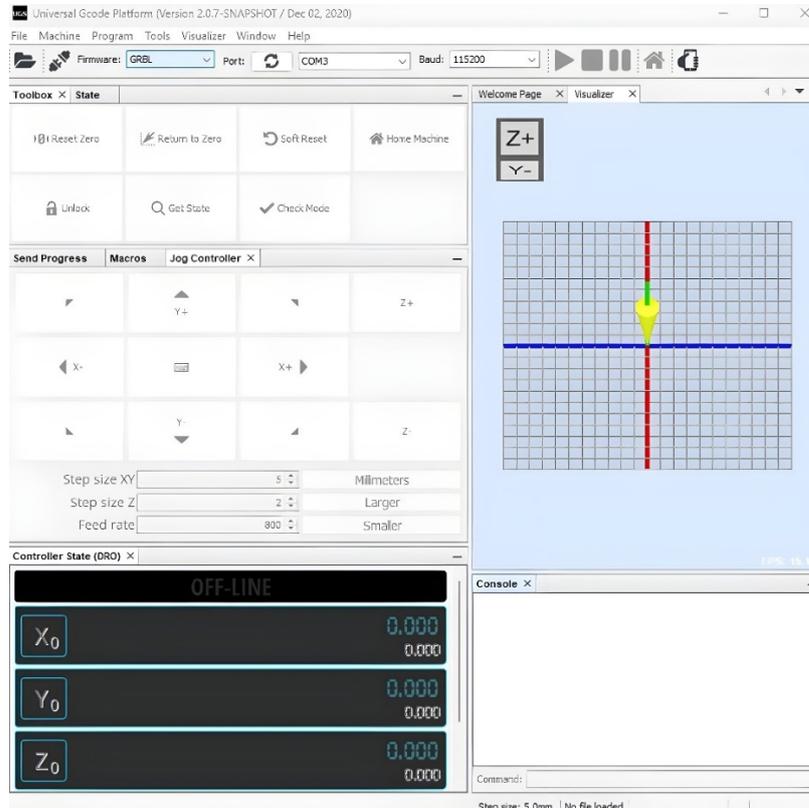


Figura 9: Interfaz del Universal G-Code Sender

Fuente: (UGS, 2008)

4.6 Capítulo VI: Obtención del código G mediante software

4.6.1 FlatCAM

El software FlatCAM ayuda a organizar el boceto de un circuito impreso para realizarlos en una máquina CNC o máquina láser. Puede crear G Code para el direccionamiento de separación a partir de ficheros Gerber producidos en distintas aplicaciones CAD para circuitos impresos (Caram, 2019).

4.6.2 ArtCAM Pro

El software ArtCAM Pro lleva a cabo grabados artísticos en 3D, a partir de archivos bitmaps o bocetos en 2D creados con vectores. Hace uso de herramientas vectoriales de modelado de uso sencillo, el control numérico se produce automáticamente de los bocetos en 3D (Autodesk, 2019).

4.6.3 Dxf e imagen

Los ficheros Dxf e imagen al trabajar con este tipo de ficheros se deberá exportar al programa Inkscape (se trata de un software de libre acceso) donde se podrá difundir datos en el que se vectorizan las posibles curvas del boceto (López Navarro, 2015).

4.7 Capítulo VII: Verificación del circuito impreso

4.7.1 Continuidad

En el mundo de la electrónica unos de los trabajos más frecuentes es la verificación que exista continuidad en los circuitos de corriente continua, este método es muy importante para identificar inconvenientes en los circuitos electrónicos, conexiones, componentes y cables (Polaridad.es, 2023).

5 Metodología

5.1 Área de trabajo

El presente trabajo de implementación de una CNC de circuitos impresos se llevó a cabo en el barrio Zamora Huayco que se encuentra ubicado al suroeste de la ciudad de Loja en las calles río Orinoco y río Ucayali como se observa en la **Figura 10**, cuyas características de la vivienda son casa de un piso color verde y sus coordenadas geográficas son 4°00'40.3"S 79°11'01.5"W.



Figura 10: Vivienda donde se realizó la implementación

Fuente: (Google maps, 2023)

5.2 Equipos y materiales

5.2.1 Equipos

Fase de implementación

- Computadora

Herramientas

- Destornilladores
- Llaves hexagonales
- Multímetro
- Cautín
- Estaño
- Pie de rey o calibrador

5.2.2 Materiales

Recursos tecnológicos

- Autodesk inventor professional 2023
- Proteus 8 profesional
- Arduino IDE

- Universal Gcode Sender
- OpenCNC Pilot
- ArtCAM Pro 9.1

Recursos educativos

- Tesis
- Recursos audiovisuales

5.3 Procedimiento

Durante el desarrollo del presente trabajo, se requirió la implementación de una máquina CNC, para lo cual se creó un circuito impreso mediante el uso de un software especializado. Por tal razón, la investigación fue de enfoque cuantitativo debido a que se procedió a someterlo a pruebas de funcionalidad.

Además de ello, el tipo de investigación es de ingeniería aplicada, dado que el propósito fue detallar los componentes involucrados en la implementación de una máquina CNC para la fabricación de circuitos impresos.

Por otra parte, el diseño de esta investigación adoptó un enfoque experimental para la elaboración de la metodología, dado que la implementación tiene como objetivo principal facilitar la creación del circuito impreso a partir de un diagrama electrónico.

5.3.1 Primero objetivo: Determinar el sistema mecánico de movimiento

Para determinar el sistema mecánico de la máquina CNC de circuitos impresos se seleccionó los motores paso a paso disponibles en el mercado. Dos opciones para la selección son los motores NEMA 17 Y NEMA 23. Ambos motores presentan características técnicas además del precio como de sus dimensiones.

La máquina CNC puede tener diversas movilidades, cada una es controlada de manera precisa para ejecutar operaciones específicas en la **Tabla 2** se presentan los ejes de movimientos que definen su versatilidad.

Tabla 2. Movimiento de una CNC

Ejes de movimientos	Características
2 ejes de movimiento	Este tipo de máquina bien la bancada o el husillo se puede desplazar.
3 ejes de movimiento	El tipo de movimiento se puede hacer en los tres ejes de coordenadas.
4 ejes de movimiento	El tipo de movimiento lo podrá realizar para superficies cilíndricas.

Ejes de movimientos	Características
5 ejes de movimiento	Los movimientos lo podrán hacer a diferentes lados de la pieza sin cambiar la posición de la misma en la mesa de trabajo.

Fuente: (Romagoza, 2017).

La movilidad de la máquina CNC está influenciada por los pasos de los motores. Se presentó especial atención al ángulo en grados de cada paso de los motores, ya que esto determina la precisión y la resolución de movimientos. Además, se incorporó el avance del tornillo seleccionado de acuerdo con las especificaciones proporcionadas por el fabricante. La elección adecuada de los motores y los tornillos CNC fue fundamental para garantizar un desplazamiento preciso y eficiente de la máquina CNC. En el proceso se llevó a cabo la determinación del paso total del motor que será utilizado para garantizar el desplazamiento adecuado de la máquina.

La operación eficiente de los motores de una máquina CNC requiere la incorporación de un módulo de control encargado de regular los pasos. Este módulo, debidamente conectado y configurado a la Shield CNC juega un papel importante en la determinación de los pasos reales necesarios para el funcionamiento de un motor paso a paso.

Una vez que se identificaron los pasos reales de los motores paso a paso, se debe ingresar estos valores en el software Universal G-Code Sender. Este software establece la comunicación esencial entre la computadora y la máquina CNC. La introducción correcta de los datos garantiza una sincronización eficiente y una operación coherente de los motores paso a paso durante el proceso de funcionamiento de la máquina CNC.

5.3.2 Segundo objetivo: Utilizar un código abierto para controlar la CNC

Existen diversos tipos de softwares para la creación del diseño una PCB tanto pagados como de uso libre en la **Tabla 3** se presentan los más utilizados.

Tabla 3. Software para el diseño de PCB

Software	Características	Precio de la licencia
Eagle	➤ Registro de las modificaciones entre el diagrama electrónico y el circuito impreso.	500 USD al año.

Software	Características	Precio de la licencia
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Estructuración de niveles de diseño. ➤ Modificación de diagramas. 	
Altium	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Transferencia sencilla de datos mediante herramientas de conversión. ➤ Diseño de circuito impreso. ➤ Salida de archivos de fabricación. 	380 USD al mes.
Proteus	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Proteus ISIS: creación de esquemas y simulación eléctrica. ➤ Proteus PCB diseño software. ➤ Simulación. 	15 USD al mes. Posee suscripción gratuita para el diseño de PCB.
KiCad	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Gerbview: Visualizador de archivos Gerber. ➤ Pcbnew: Editor de circuitos impresos. 	Posee suscripción gratuita.

Fuente: (Proto-electronics, 2020).

(Proto-electronics.com, 2020)

A la hora de seleccionar el software para el diseño de circuitos impresos, la elección se fundamenta en los conocimientos específicos del diseñador y en la capacidad del software para satisfacer las necesidades necesarias para el diseño.

Para el proceso de adquisición de un software de código abierto destinado al control de una máquina CNC se debe organizar por fases. La finalidad primordial de este enfoque es facilitar un avance ordenado y eficiente a lo largo de todo el proceso.

La primera fase consistió en el diseño y simulación del circuito. Este proceso implicó realizar las conexiones de los componentes electrónicos, además se llevó a cabo la exportación del archivo resultante en un formato compatible.

Para la segunda fase del proceso, se requirió la adquisición de un software compatible con los datos previamente exportados. Este software debía poseer la capacidad de vectorizar el diseño, lo que permite realizar el ruteo de la pista del circuito. Además de esta función se tiene que llevar a cabo el taladrado de los agujeros necesarios en la placa del circuito y el corte de la placa PCB.

Finalmente, se importó el código G de cada uno de los procesos previamente ejecutados. Este código G está destinado para su implementación en el software encargado de la comunicación con la máquina CNC. Fue esencial que dicho software posea la capacidad de verificar la alineación óptima de la profundidad de la placa PCB, asegurando así la precisión y correcta ejecución de los comandos para el mecanizado.

5.3.3 Tercer objetivo: Validar el funcionamiento de la máquina CNC

Una vez que se haya obtenido el circuito impreso, se procedió a realizar pruebas de funcionamiento para verificar su correcta implementación.

Estas pruebas consistieron en evaluar la continuidad de cada pista impresa, asegurando que exista un buen ruteado del circuito impreso.

Además, se llevó a cabo el montaje de todos los componentes electrónicos en sus respectivas ubicaciones. En este proceso se realizó la verificación del funcionamiento del circuito impreso.

6 Resultados

6.1 Primero objetivo: Determinar el sistema mecánico de movimiento

Para dar cumplimiento con el objetivo se inició con la determinación de los grados de libertad de la máquina.

6.1.1 Analizar el sistema mecánico de movimiento

En un sistema movimiento, la traslación puede ocurrir a lo largo de los ejes X, Y y Z. Cada eje representa una dirección distinta en el espacio tridimensional. El eje X generalmente se orienta de manera horizontal, permitiendo el movimiento hacia la izquierda y derecha. El eje Z, por su parte, se extiende en la dirección vertical, permitiendo el desplazamiento hacia arriba y hacia abajo. Por último, el eje Y está orientado en profundidad como se observa en la **Figura 11**, estos tres ejes permiten una representación completa y precisa de la posición y el movimiento en un entorno tridimensional.

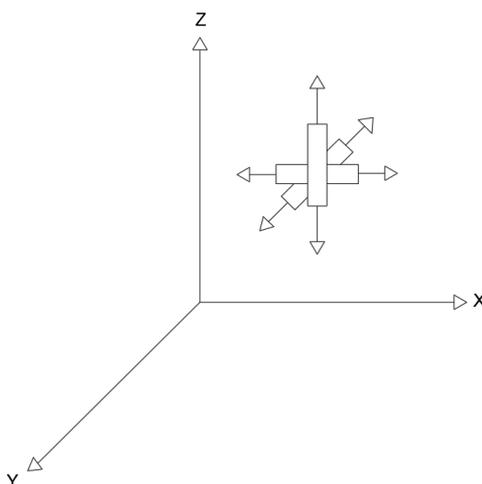


Figura 11: Sistema isométrico de movimiento

6.1.2 Análisis de movilidad

La movilidad de la máquina CNC pudo permitir un control preciso a lo largo de sus tres ejes principales: el eje X, el eje Y y el eje Z. Estos ejes permitieron el desplazamiento en direcciones horizontales, verticales y de profundidad, respectivamente. Además de estos movimientos lineales, la máquina CNC consta de un sistema de rotación en su eje Z, que proporcionó un cuarto mecanismo de movimiento como se observa en la **Figura 12**, cada eje puede tener movimientos de avance, retroceso. Adicional de ello en el eje Z se tiene un movimiento de giro que permite la perforación en la PCB. A continuación, se presenta el análisis de movilidad considerando cuatro casos:

Caso 1. Desplazamiento y giro en alrededor del eje Z. La máquina se comporta como un taladro para perforar la baquelita para la inserción de los pines de los componentes.

Caso 2. Desplazamiento y giro alrededor del eje Z y desplazamiento en el eje X. esta acción permite hacer el ruteo de la pista en forma horizontal.

Caso 3. Desplazamiento y giro alrededor del eje Z y desplazamiento en el eje Y. esta acción permite hacer el ruteo de la pista de profundidad.

Caso 4. Desplazamiento y giro alrededor del eje Z, desplazamiento en el eje X y en el eje Y. Esta acción permite hacer el ruteo de la pista de forma semicircular.

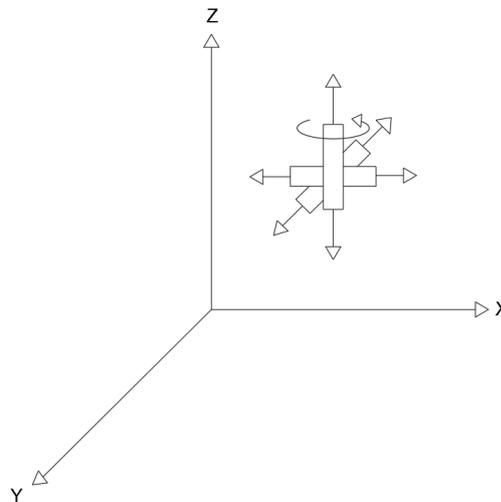


Figura 12: Sistema isométrico de movimiento

6.1.2.1 Caso 1. Desplazamiento y giro alrededor del eje Z.

El movimiento de penetración y giro se lo realiza en la dirección del eje Z, como se observa en la **Figura 13**, lo que permite la perforación de la baquelita para colocar los pines de los componentes en cada pista. Para determinar los grados de libertad se emplea la **Ecuación (1)** de Kutzbach, misma que evalúa la movilidad del mecanismo.

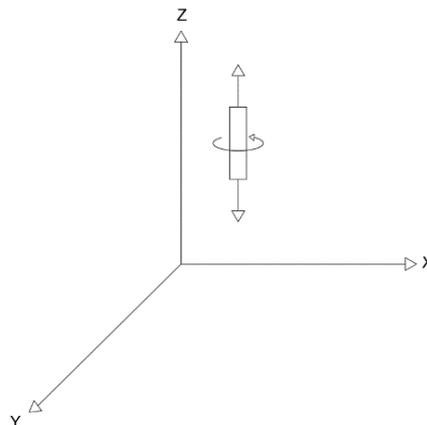


Figura 13: Perforación de la baquelita

$$W = 3(n - 1) - 2p_1 - 1p_2 \quad (1)$$

Donde:

W = número de grados de libertad o movilidad del mecanismo

n = número de todos los elementos de un mecanismo.

p₁ = número de pares cinemáticos de un movimiento.

p₂ = número de pares cinemáticos de dos movimientos

$$W = 3(n - 1) - 2p_1 - p_2$$

$$W = 3(2 - 1) - 2(0) - 1$$

$$W = 3 - 1$$

$$W = 2$$

En este caso se tiene dos grados de libertad, por lo tanto, la máquina requiere de dos motores: uno para el movimiento longitudinal y el otro para el movimiento de giro. El desplazamiento vertical se logra mediante el giro de un tornillo CNC acoplado a un motor. El cálculo del paso total del motor nema 17 se emplea mediante la **Ecuación (4)**, tomando como referencia el avance del tornillo CNC.

6.1.2.2 Caso 2. Desplazamiento y giro alrededor del eje Z y desplazamiento en el eje X.

Para determinar la perforación en el eje Z, rotación y avance en el eje X se considera los planos X y Z como se observa **Figura 14**, se emplea el siguiente caso el cual consta de tres grados de movimiento. El desplazamiento horizontal se logra mediante el giro de un tornillo CNC acoplado a un motor. El desplazamiento horizontal se logra mediante el giro de un tornillo CNC acoplado a un motor. El procedimiento de cálculo para determinar el paso total es similar a lo desarrollado en el caso 1.

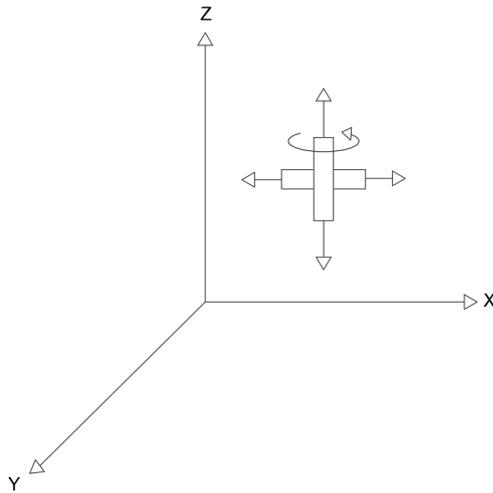


Figura 14: Ruteo de la pista en el eje X

$$W = 3(3 - 1) - 2p_1 - p_2$$

$$W = 3(3 - 1) - 2(1) - 1$$

$$W = 6 - 2 - 1$$

$$W = 3$$

6.1.2.3 Caso 3. Desplazamiento y giro alrededor del eje Z y desplazamiento en el eje Y.

Para determinar la perforación en el eje Z, rotación y avance en el eje Y, se considera el plano Y y Z como se observa **Figura 15**, se emplea el siguiente caso el cual consta de tres grados de movimiento. El desplazamiento de profundidad se logra mediante el giro de un tornillo CNC acoplado a un motor. El procedimiento de cálculo para determinar el paso total es similar a lo desarrollado en el caso 1.

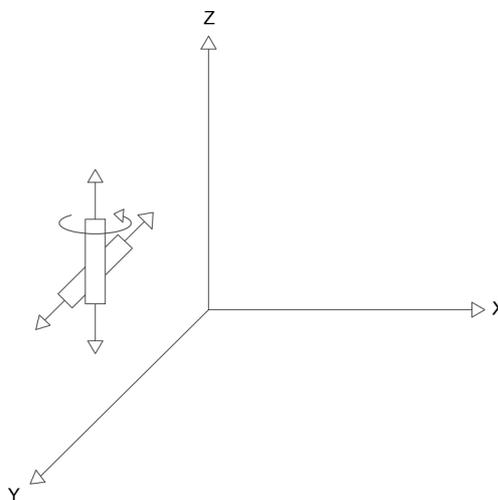


Figura 15: Ruteo de la pista en el eje Y

$$W = 3(3 - 1) - 2p_1 - p_2$$

$$W = 3(3 - 1) - 2(1) - 1$$

$$W = 6 - 2 - 1$$

$$W = 3$$

6.1.2.4 Caso 4. Desplazamiento y giro alrededor del eje Z, desplazamiento en el eje X y en el eje Y.

Para determinar la perforación en el eje Z, rotación, avance en el eje X y avance en el Y, se considera que se encuentra representado en un plano tridimensional como se observa **Figura 16**, se emplea el siguiente caso el cual consta de cuatro grados de movimiento se emplea la **Ecuación (2)**, el cual hace referencia a los mecanismos espaciales

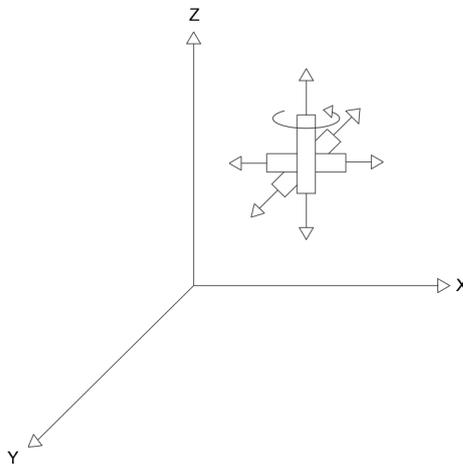


Figura 16: Ruteo de la pista en el eje X y en el eje Y

$$W = 6(n - 1) - 5p_1 - 4p_2 - 3p_3 - 2p_4 - p_5 \quad (2)$$

Donde:

W = número de grados de libertad o movilidad del mecanismo

n = número de todos los elementos de un mecanismo.

p_1 = número de pares cinemáticos de un movimiento.

p_2 = número de pares cinemáticos de dos movimientos.

p_3 = número de pares cinemáticos de tres movimientos.

p_4 = número de pares cinemáticos de cuatro movimientos.

p_5 = número de pares cinemáticos de dos movimientos.

$$F = 6(n - 1) - 5p_1 - 4p_2 - 3p_3 - 2p_4 - p_5$$

$$F = 6(4 - 1) - 5(2) - 4(1) - 0 - 0 - 0$$

$$F = 18 - 10 - 4$$

$$F = 4$$

La determinación del sistema mecánico de la máquina CNC de circuitos impresos comprende la evaluación cuidadosa de los motores paso a paso seleccionados. En este caso particular, se optado por utilizar los motores Nema 17 debido a que poseen un torque de 0.4 Nm y una velocidad que oscila entre 100 y 500 rpm, con un consumo de corriente 1.5 A. En comparación, al motor Nema 23, este ofrece un torque de 2.5 Nm y una velocidad de 100 a 500 rpm, similar al motor nema referido, pero con un consumo de corriente de 3 A (ver **Anexo 1**). La selección del motor Nema 17 se ha realizado considerando el consumo de corriente, específicamente el modelo 42HD4027-01 (ver **Anexo 2**) donde se detallan sus características.

La máquina CNC para la elaboración de circuitos impresos ha reflejado la capacidad de movilidad en los tres ejes de coordenadas como se observa en la **Figura 17**, la dirección de los movimientos a lo largo de cada eje puede ser tanto positiva como negativa.

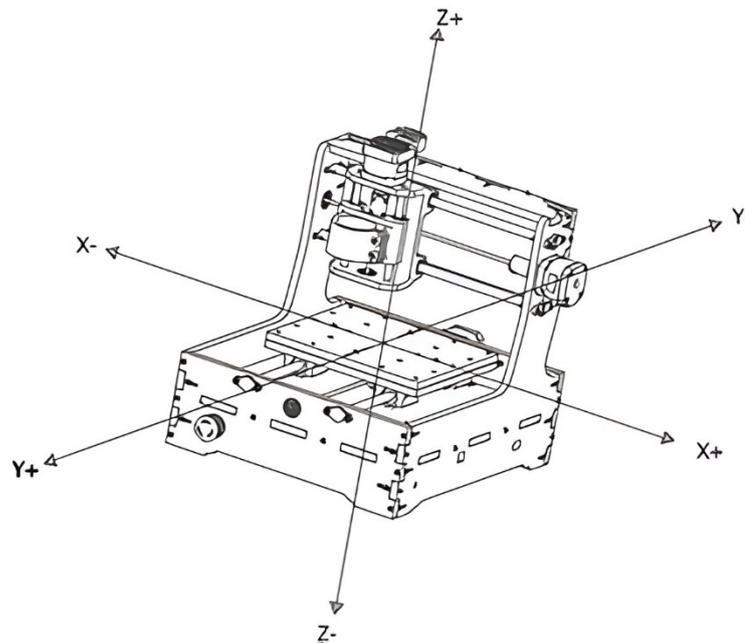


Figura 17: Representación de los ejes de mecanizado

Para encontrar el número de pasos para el giro del motor nema 17 en la **Tabla 4** se presenta el número de pasos necesarios para alcanzar un giro completo.

Tabla 4. Giro completo en función de los grados del motor

Valor de un paso	Número de pasos para un giro
18°	20

Valor de un paso	Número de pasos para un giro
15°	24
9°	40
7.5°	48
3.6°	100
1.8°	200

Fuente: (Paguayo, 2019).

En este caso particular del motor paso a paso se ha resaltado que posee un ángulo de 1.8 grados. Esto significa que para girar 360 grados se requiere un total de 200 pasos.

6.1.3 *Fórmula para encontrar los pasos reales de un motor nema 17*

Para encontrar los pasos de un motor nema 17 se emplea la **Ecuación (3)** se obtiene:

$$Ps = \frac{360^\circ}{Gp} \quad (3)$$

Donde:

Ps = Pasos

Gp = Grados en cada paso

$$Ps = \frac{360^\circ}{Gp}$$

$$Ps = \frac{360^\circ}{1.8^\circ}$$

$$Ps = 200$$

A continuación, se ha llevado a cabo la verificación del tornillo CNC, determinando el número de hilos presentes. En este caso específico, se ha constatado que el tornillo está compuesto por cuatro hilos como se observa en la **Figura 18**, cuyas características distintivas de este componente, según las especificaciones proporcionadas por el fabricante, indican que por cada vuelta completa se obtiene un avance de 8mm. Este detalle ha sido fundamental para el correcto funcionamiento de la máquina CNC.



Figura 18: Tornillo CNC de cuatro hilos

Fuente: (Tecnológica, 2016)

Seguidamente, una vez que se ha verificado el avance de tornillo CNC, es posible determinar el paso total del motor nema 17, para ello se emplea la **Ecuación (4)** donde se obtiene:

$$Pst = \frac{Ps}{At} \quad (4)$$

Donde:

Pst = Paso total

Ps = Pasos

At = Avance del tornillo

$$Pst = \frac{Ps}{At}$$

$$Pst = \frac{200}{8}$$

$$Pst = 25 \frac{step}{mm}$$

El sistema mecánico de movimiento

Una vez empleada la fórmula, se refleja el resultado deseado, permitiendo cuantificar de manera precisa la distancia total recorrida por el motor en cada ciclo.

Finalmente se recurre al uso de la **Tabla 1** para la selección de los micropasos del driver A4988. En este caso particular, se ha optado por trabajar con un dieciseisavo de paso como se observa en la **Figura 19**, esta configuración se logró mediante la colocación

de tres jumpers en la Shield CNC. Esta elección se fundamenta en pruebas previas que han demostrado que a este nivel de micropasos los motores generan un menor nivel de ruido al activarse, contribuyendo así a un rendimiento óptimo de la máquina CNC.

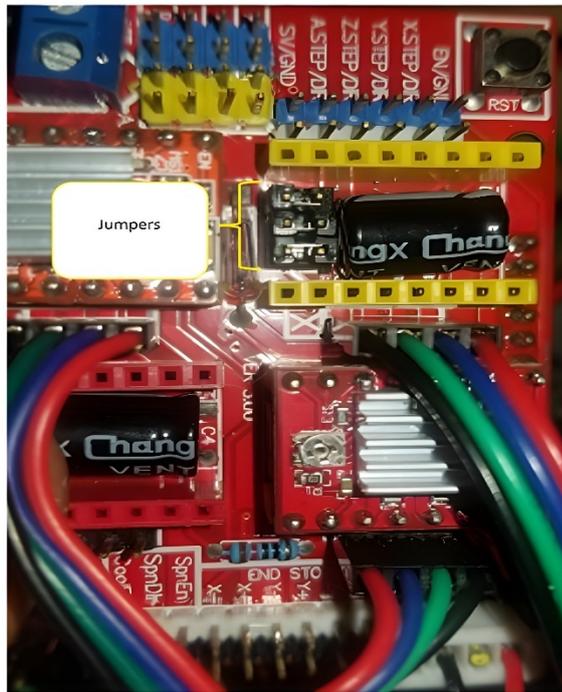


Figura 19: Colocación de los jumpers en la Shield CNC

Ahora se ha procedido a encontrar los pasos reales del motor nema 17, se emplea la **Ecuación (5)** donde se obtiene:

$$Pr = Pst * Mp \quad (5)$$

Donde:

Pr = Pasos reales

Pst = Paso total

Mp = Micropasos

$$Pr = Pst * Mp$$

$$Pr = 25 \frac{step}{min} * 16$$

$$Pr = 400 \frac{step}{mm}$$

6.1.4 Introducción de los valores encontrados para el software Universal G-Code Sender

Una vez establecido los pasos reales, el siguiente procedimiento permitió utilizar el software Universal G-Code Sender. En este punto se ha introducido los valores obtenidos en los tres ejes (x, y, z) dentro de la interfaz del programa. Es importante

destacar que en el software Grbl solo se han realizado modificaciones en los pasos de los tres ejes como se observa en la **Figura 20**, además se ajustó la velocidad a prueba y error manteniendo el resto del código sin alteraciones respecto a la descarga inicial.

```

$0 = 10 (Step pulse time, microseconds)
$1 = 25 (Step idle delay, microseconds)
$2 = 0 (Step pulse invert, mask)
$3 = 0 (Step direction invert, mask)
$4 = 0 (Invert step enable pin, boolean)
$5 = 0 (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 = 0 (Hard limits enable, boolean)
$22 = 0 (Homing cycle enable, boolean)
$23 = 0 (Homing direction invert, mask)
$24 = 100.000 (Homing locate feed rate, mm/min)
$25 = 300.000 (Homing search seek rate, mm/min)
$26 = 250 (Homing switch debounce delay, milliseconds)
$27 = 2.000 (Homing switch pull-off distance, millimeters)
$30 = 1000 (Maximum spindle speed, RPM)
$31 = 0 (Minimum spindle speed, RPM)
$32 = 0 (Laser-mode enable, boolean)
$100 = 400.000 (X-axis travel resolution, step/mm)
$101 = 400.000 (Y-axis travel resolution, step/mm)
$102 = 400.000 (Z-axis travel resolution, step/mm)
$110 = 800.000 (X-axis maximum rate, mm/min)
$111 = 800.000 (Y-axis maximum rate, mm/min)
$112 = 800.000 (Z-axis maximum rate, mm/min)
$120 = 10.000 (X-axis acceleration, mm/sec^2)
$121 = 10.000 (Y-axis acceleration, mm/sec^2)
$122 = 10.000 (Z-axis acceleration, mm/sec^2)
$130 = 200.000 (X-axis maximum travel, millimeters)
$131 = 200.000 (Y-axis maximum travel, millimeters)
$132 = 100.000 (Z-axis maximum travel, millimeters)

```

Figura 20: Grbl Modificado para el correcto funcionamiento de la máquina CNC

Fuente: (Sugeon y Simen, 2011)

En el contexto de actualización de valores en el código de comandos es esencial tener en cuenta el numeral específico que se desea modificar. Una vez determinado el numeral objetivo se procedió a la introducción de los valores correspondientes. A modo de ejemplo se llevó a introducir un nuevo valor al numeral **100**, para llevar a cabo esta modificación se deberá introducir de la siguiente manera **\$100 = 400**. Posteriormente para reflejar los cambios en el código de comando es conveniente actualizar mediante la inserción de los símbolos **\$\$**.

6.2 Segundo objetivo: Utilizar un código abierto para controlar la CNC

Una vez configurado el sistema mecánico de movimiento de la máquina CNC de circuitos impresos el siguiente paso crítico fue la utilización de diversos softwares especializados, ya que juega un papel crucial debido a que deben ser capaces de interpretar el diseño electrónico y traducirlo en instrucciones específicas para la máquina CNC. Entre las funciones clave de estos softwares se incluye la conversión de archivos de diseño electrónico en un formato compatible con la máquina, así como la generación de trayectorias de los movimientos que optimicen la precisión y eficiencia del proceso. Estos programas son indispensables para generar un código G que, a su vez, controla de manera precisa el funcionamiento de la máquina durante el proceso de elaboración de circuitos impresos.

En el proceso de adquisición de un código abierto y su funcionamiento para el control de una máquina CNC, se ha estructurado un enfoque por fases con el objetivo de facilitar una progresión eficiente y efectiva.

6.2.1 Primera fase: utilización del software Proteus 8 Professional

En la primera fase del proyecto se utilizó Proteus 8 Professional como herramienta principal para el diseño de diversos diagramas electrónicos. La plataforma ha reflejado un entorno técnico que facilita la creación y visualización de circuitos electrónicos.

A continuación, se ha presentado la simulación del diseño del diagrama electrónico correspondiente al encendido de tres LEDs como se observa en la **Figura 21**, el circuito ha sido concebido con el propósito de proporcionar una representación visual clara y concisa de la conexión y disposición de los componentes electrónicos necesarios para lograr la iluminación de los LEDs.

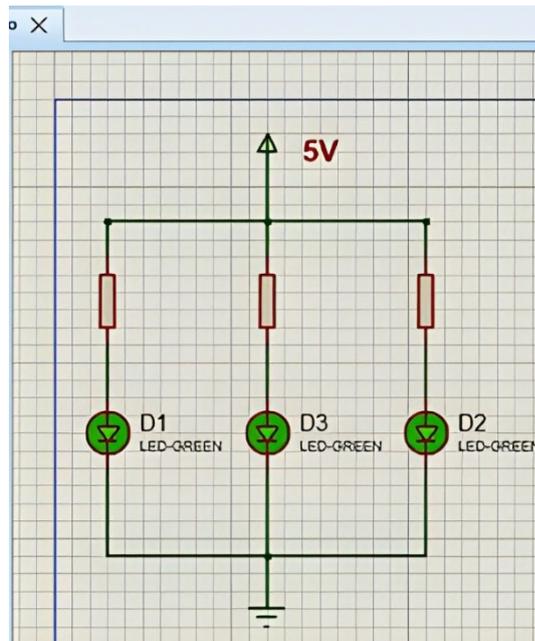


Figura 21: Encendido de tres leds en Proteus

Ahora se llevó a cabo la modificación del diseño, específicamente en la ubicación de la fuente de alimentación, mediante la sustitución por una bornera como se observa en la **Figura 22**, en este caso la encontraremos en el programa con el nombre de TBLOCK-I2.

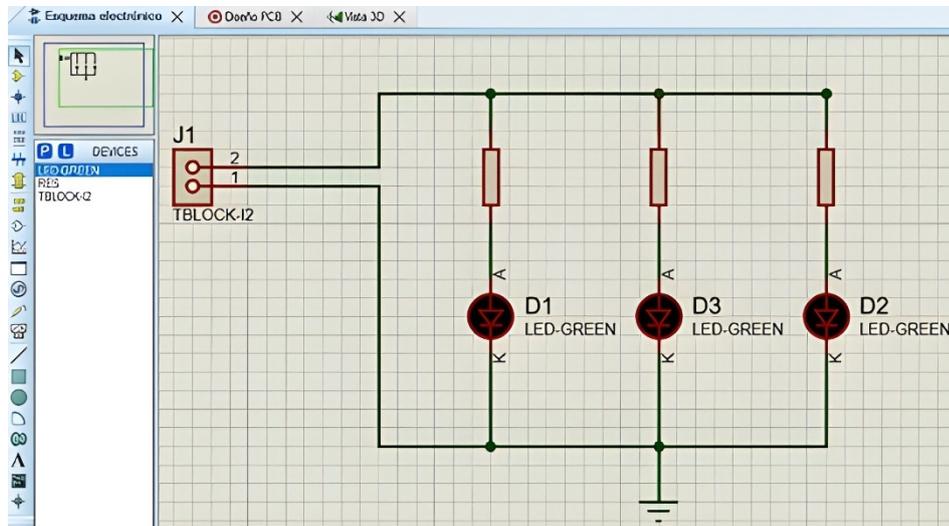


Figura 22: Cambio de fuente de alimentación por Bornera

A continuación, en la sección superior de las herramientas, se debe acceder al apartado de PCB con el objetivo de diseñar la disposición de cada componente según nuestra perspectiva, así como establecer la ruta precisa del ruteado de las pistas del circuito como se observa en la **Figura 23**, este proceso permitió una cuidadosa planificación y ubicación estratégica de los elementos, garantizando una configuración eficiente y funcional del circuito electrónico.

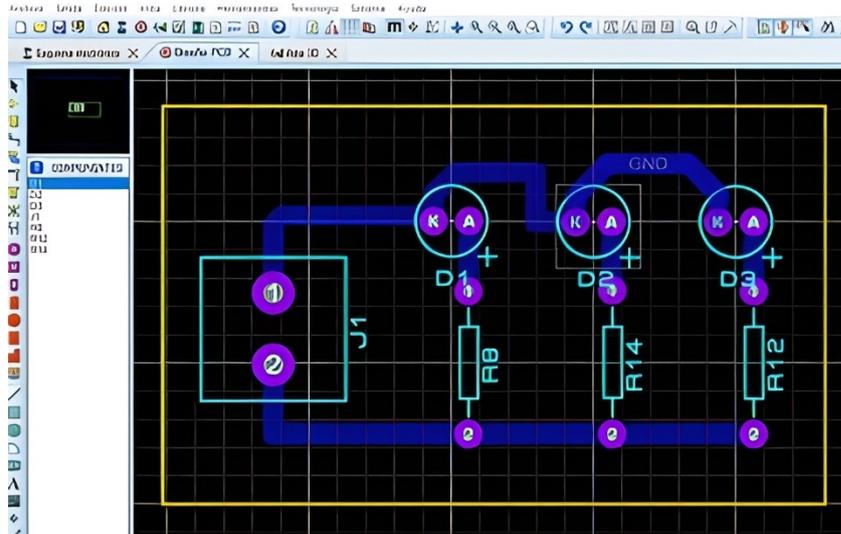


Figura 23: Ruteado de pista del circuito electrónico

Continuando se ha procedido hacer la visualización del circuito electrónico de sus componentes como se observa en la **Figura 24**, así como al diseño final de la pista en 3D como se observa en la **Figura 25**, con el propósito de tener en cuenta cómo quedará el circuito.

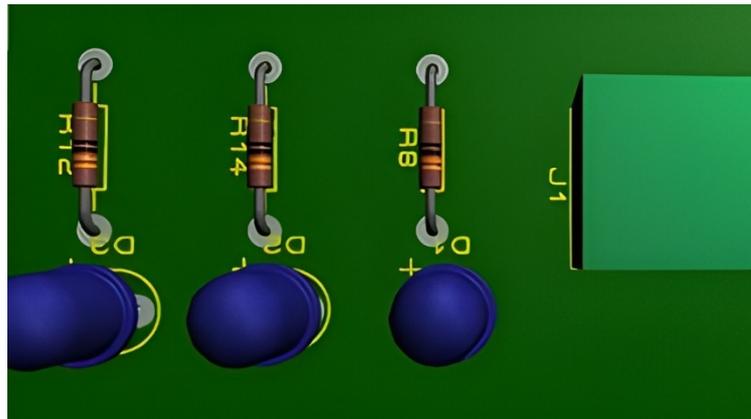


Figura 24: Componentes del circuito en 3D

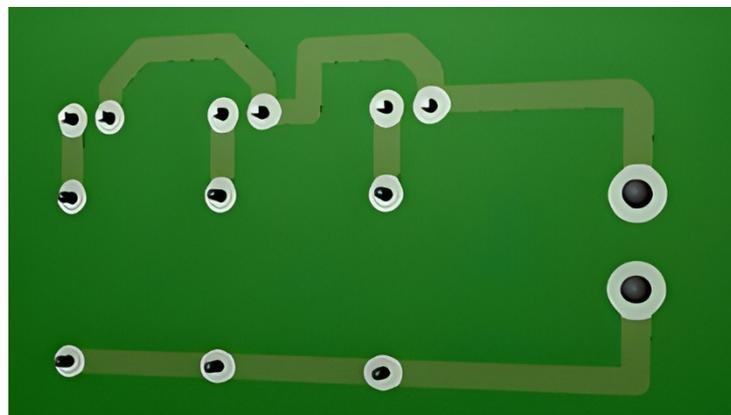


Figura 25: Ruteado de la pista en 3D

Posteriormente, se llevó a cabo la exportación como gráficos en formato Bitmap como se observa en la **Figura 26**, esto se ha realizado con el propósito de aplicar la siguiente configuración.

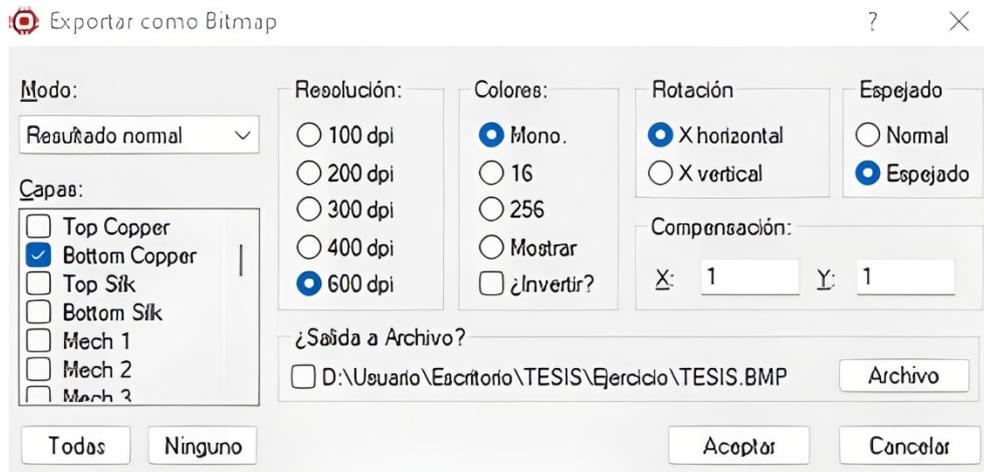


Figura 26: Exportación del diseño en formato bitmap

6.2.2 Segunda fase: utilización del software ArtCAM Pro 9.1

En esta etapa, se ha llevado a cabo la utilización del software ArtCAM pro con el propósito de facilitar la vectorización de los gráficos exportados previamente en formato bitmap. La finalidad principal de este proceso ha sido obtener el código G que ha controlado la máquina CNC, siendo necesario para la ejecución de las operaciones de fresado o mecanizado del circuito impreso.

Al abrir el archivo previamente guardado, fue crucial establecer la misma resolución que se utilizó al exportar, como se observa en la **Figura 27**, en este caso específico la resolución es de 600 pixeles por pulgada (p. p. p).

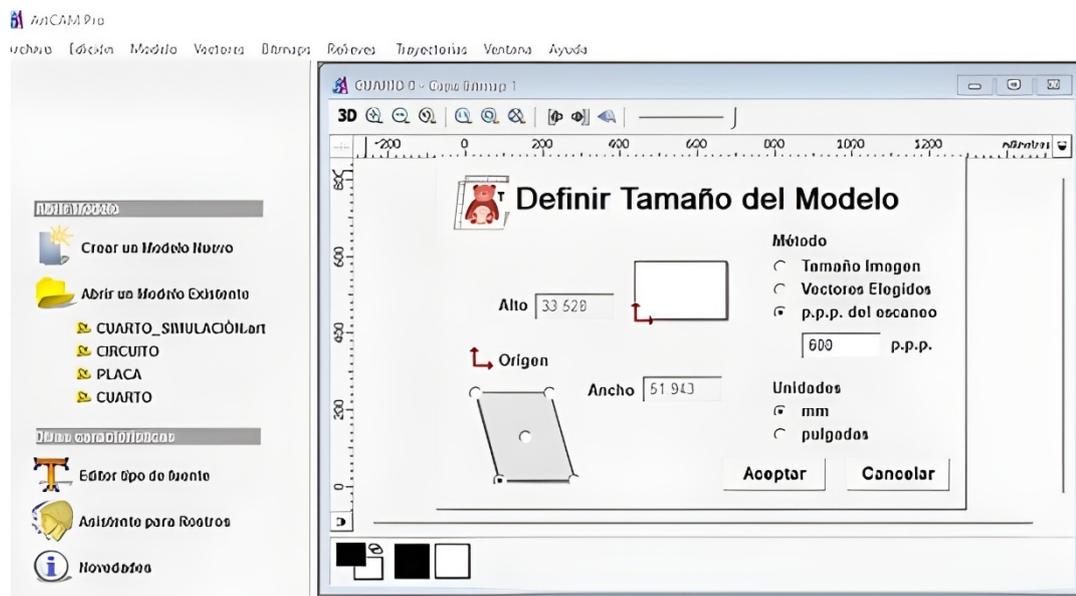


Figura 27: Configuración del archivo en formato bitmap

Para realizar la vectorización del archivo ha sido necesario seleccionar “Bitmap en vectores” una configuración que se ubica en el lado izquierdo de la interfaz como se observa en la **Figura 28**, específicamente en herramientas de vectores.



Figura 28: Vectorización del circuito

A continuación, se detalla el procedimiento necesario para obtener los códigos correspondientes a las diferentes partes del circuito. Se debe realizar este proceso de manera individual para cada caso, lo que ha implicado la generación de tres clases de código G distintos.

En primer lugar, se ha procedido a obtener el código G destinado a la pista del circuito. Este código ha obtenido las instrucciones específicas para que la máquina CNC realice el fresado o grabado de la pista.

Seguidamente, se llevó a cabo la generación del código G destinado a los agujeros del circuito. Este conjunto de instrucciones ha indicado a la máquina CNC las coordenadas y dimensiones precisas de cada agujero que debía perforar en la placa.

Finalmente, se ha generado un código G adicional para el perfil de la baquelita que conforma la placa del circuito. Este código ha obtenido las instrucciones necesarias para que la máquina CNC corte el contorno de la placa según las especificaciones del diseño.

6.2.2.1 Obtención del código G para las pistas del circuito electrónico.

En el proceso de vectorización del circuito, una vez completada esta etapa, se ha procedido a la selección exclusivamente de las pistas. Posteriormente, se ha hecho clic en la opción de “Trayectoria” para acceder a otro menú. En este nuevo menú, se ha realizado un segundo clic, esta vez en “Perfilado 2D” aquí se ha reflejado una nueva ventana de configuración del perfilado, donde ha sido necesario ajustar los parámetros de profundidad y de sobreespesor. Dentro de la ventana de configuración, se ha elegido la herramienta adecuada para la trayectoria de las pistas en este caso particular, se está

utilizando una fresa en V de 30°. Una vez completada la configuración se ha procedido a guardar la trayectoria del circuito como se observa en la **Figura 29**, al guardar la trayectoria se ha generado un archivo G-Code Arcs (mm) (*.tap). Este archivo ayudó a las instrucciones necesarias para que la máquina CNC interprete y ejecute el perfilado en 2D de las pistas del circuito.

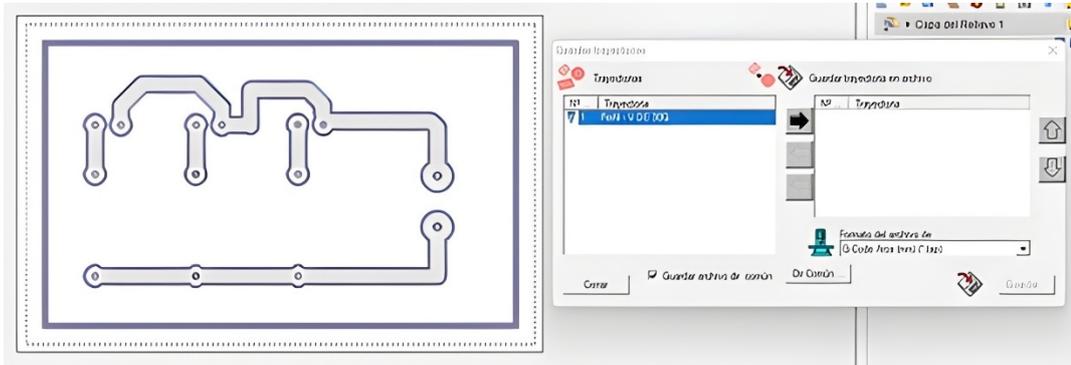


Figura 29: Guardado del archivo de la pista

En la última etapa del proceso, el archivo TAP fue guardado con los diferentes tipos de movimientos que debe realizar la máquina CNC como se observa en la **Figura 30**, al abrirlo se refleja el código G de la pista del circuito.

```

pista
Archivo  Editar  Ver

T1M6
G17
G0Z2.000
G0X0.000Y0.000S1000M3
G0X41.487Y12.729Z2.000
G1Z-0.200F100.0
G1X41.338Y12.680
G3Y12.382I0.208J-0.149
G3X41.636Y12.382I0.149J0.208
G3X41.636Y12.680I-0.208J0.149
G1X41.487Y12.729
G0Z2.000
G0X27.728Y7.734
G1Z-0.200F100.0
G3X27.627Y7.696I-0.007J-0.139
G3X27.652Y7.518I0.158J-0.068
G3X27.830Y7.544I0.068J0.158
G3X27.728Y7.734I-0.107J0.065
G0Z2.000
G0X17.611
G1Z-0.200F100.0
G3X17.509Y7.696I-0.007J-0.139
G3X17.534Y7.518I0.158J-0.068
G3X17.712Y7.544I0.068J0.158
G3X17.611Y7.734I-0.107J0.065
G0Z2.000
G0X7.662
-----

```

Figura 30: Código G de la pista del circuito

6.2.2.2 Obtención del código G para el taladrado del circuito electrónico.

En el proceso de taladrado, se ha requerido seleccionar la totalidad de los agujeros presentes en el diseño. Una vez completada la selección, se procedió hacer clic en la opción de taladrado, ubicada dentro en la interfaz del programa como se observa en la **Figura 31**, al hacerlo se ha reflejado un menú de configuración necesario para llevar a cabo la perforación de los agujeros de manera precisa. Este menú de configuración permitió ajustar parámetros de profundidad del taladrado.

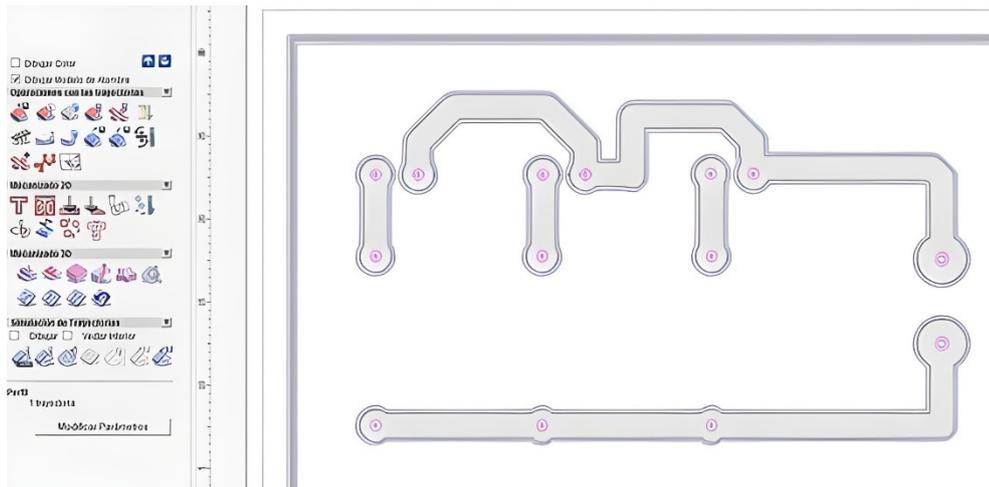


Figura 31: Selección de los agujeros del circuito electrónico

En el proceso de selección de una broca para el taladrado, ha reflejado tener en cuenta diversos factores como el diámetro del agujero deseado. Una vez seleccionada la broca adecuada el siguiente paso fue guardar el archivo en formato G-Code Arcs (mm) (*.tap) como se observa en la **Figura 32**, para poder visualizar el código creado.

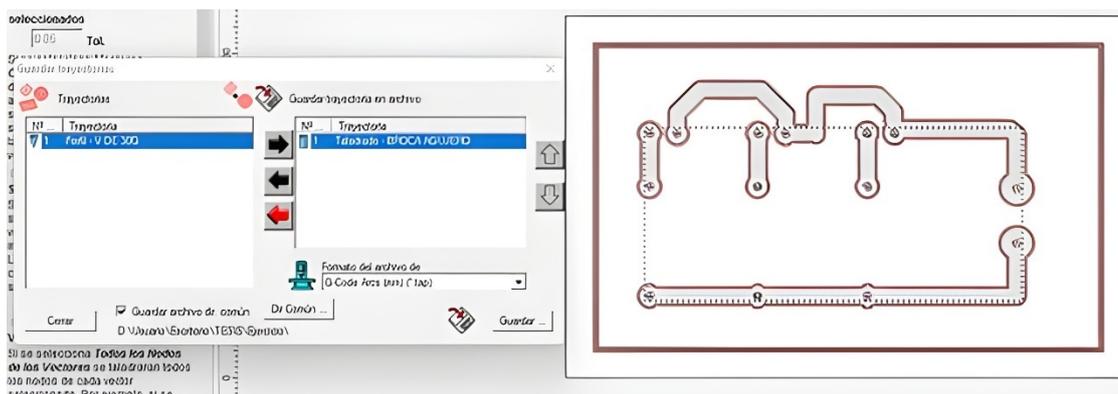


Figura 32: Guardado del archivo del taladrado

A continuación, se detalla el procedimiento para verificar la creación del código G correspondiente al taladrado. Este proceso implicó la apertura del archivo TAP, como se observa en la **Figura 33**, esta verificación fue esencial para garantizar que la máquina CNC ejecute con precisión los movimientos necesarios durante la operación de taladrado.

```
T1106
G17
G0Z2.000
G0X0.000Y0.000S1000M3
G0X7.662Y7.620Z2.000
G0Z1.000
G1Z-1.500F100.0
G0Z2.000
G0X17.611
G0Z1.000
G1Z-1.500F100.0
G0Z2.000
G0X27.728
G0Z1.000
G1Z-1.500F100.0
G0Z2.000
G0Y17.700
G0Z1.000
G1Z-1.500F100.0
G0Z2.000
G0X27.686Y22.733
G0Z1.000
G1Z-1.500F100.0
G0Z2.000
G0X0.226
G0Z1.000
G1Z-1.500F100.0
G0Z2.000
G0X20.193Y22.691
G0Z1.000
G1Z-1.500F100.0
G0Z2.000
G0X17.653
G0Z1.000
G1Z-1.500F100.0
```

Figura 33: Código G del taladrado del circuito

6.2.2.3 Obtención del código G para el corte del perfil de la baquelita.

La obtención de este último código ha proporcionado una significativa facilitación y apoyo durante la fase de corte del circuito, gracias a la capacidad de la máquina CNC para llevar a cabo dicho proceso. Este código, específicamente diseñado, ha optimizado la ejecución de la tarea permitiendo una mayor eficiencia y precisión en el proceso de corte.

En el proceso de corte, se requiere seleccionar el perfil del circuito, una vez seleccionado se ha procedido hacer clic en la opción de perfil 2D ubicada dentro de la interfaz del software como se observa en la **Figura 34**, al hacerlo se ha reflejado un menú de configuración necesario para llevar a cabo el perfilado de la baquelita de manera precisa utilizando la fresa de corte.

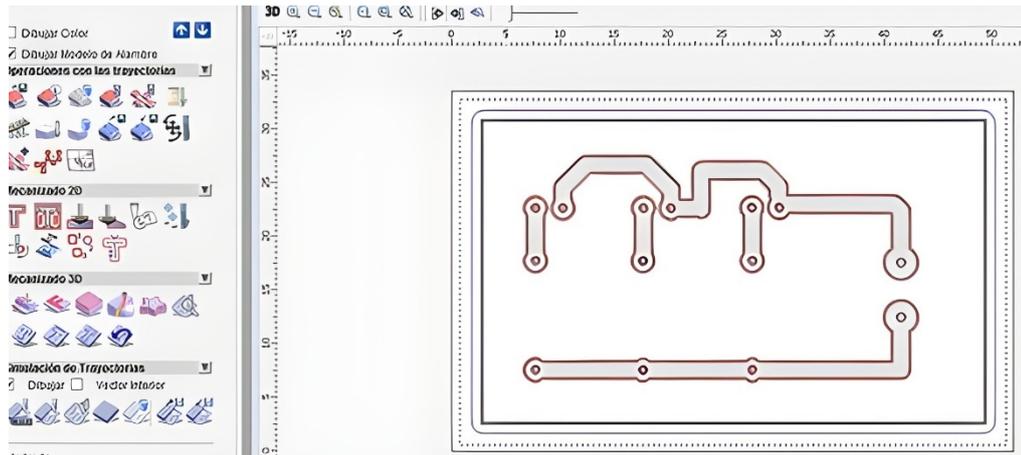


Figura 34: Selección del perfil del circuito electrónico

En el proceso de guardar el archivo en formato G-Code Arcs (mm) (*.tap), se llevó a cabo una verificación adecuada para asegurar el funcionamiento de la máquina CNC. Este proceso ha garantizado la precisión y coherencia del código de corte antes de la implementación práctica. La visualización del código generado como se observa en la **Figura 35**, ha reflejado el correcto movimiento de la máquina CNC.

```

Corte
-----
Archivo  Editar  Ver

T1M6
G17
G0Z2.000
G0X0.000Y0.000S1000M3
G0X50.170Y30.713Z2.000
G1Z-1.500F100.0
G1Y2.773F80.0
G2X49.128Y1.731I-1.060J0.017
G1X2.815
G2X1.773Y2.773I0.017J1.060
G1Y30.713
G2X2.815Y31.755I1.060J-0.017
G1X49.128
G2X50.170Y30.713I-0.017J-1.060
G0Z2.000
G0X0.000Y0.000
G0Z2.000
G0X0.000Y0.000
M30

```

Figura 35: Código G del corte de la baquelita

Finalmente, el software nos ha proporcionado una visualización en 3D que representa la representación prevista de nuestro circuito impreso, como se observa en la

Figura 36, esta herramienta ha ofrecido identificar posibles errores en el diseño del circuito impreso, permitiendo una evaluación detallada antes de la producción.

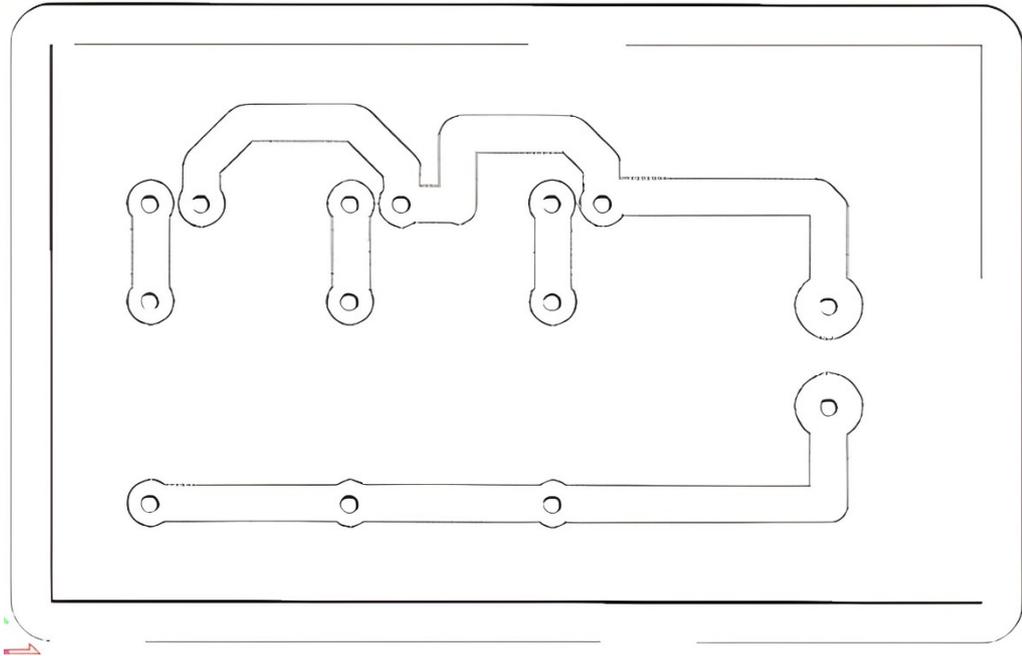


Figura 36: Simulación en software ArtCAM Pro 9.1 del circuito electrónico

6.2.3 Tercera fase: utilización del software OpenCNCPilot para la ejecución del código G

En la fase final del proceso, los códigos generados durante la etapa anterior fueron importados al software OpenCNCPilot. Este software fue diseñado para el control de la máquina CNC, facilitando la ejecución del circuito previamente creado. Al importar los códigos se estableció la comunicación entre el diseño digital y la máquina CNC permitiendo que interprete y ejecute las instrucciones necesarias para materializar el circuito con precisión.

En el primer paso del proceso se importó el código correspondiente a la pista del circuito. Este procedimiento fue esencial para posteriormente llevar a cabo la generación del mapa de alturas, tal como se observa en la **Figura 37**, la utilización de esta herramienta ha reflejado fundamental, ya que asegurado que toda la pista se ubique en un mismo nivel de profundidad.

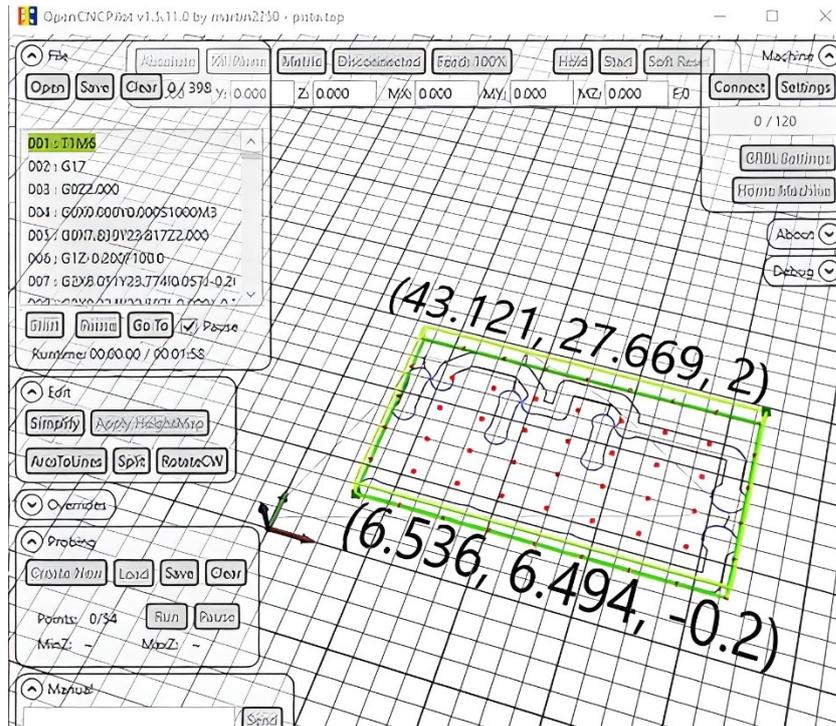


Figura 37: Mapa de altura del circuito electrónico

Una vez completada la elaboración del mapa de alturas, el siguiente paso implicó poner en marcha la máquina CNC para llevar a cabo el ruteado del circuito electrónico como se observa en la **Figura 38**, la máquina CNC se desplazó de acuerdo con el código generado, ejecutando con precisión las instrucciones programadas para diseñar el circuito con la máxima exactitud.

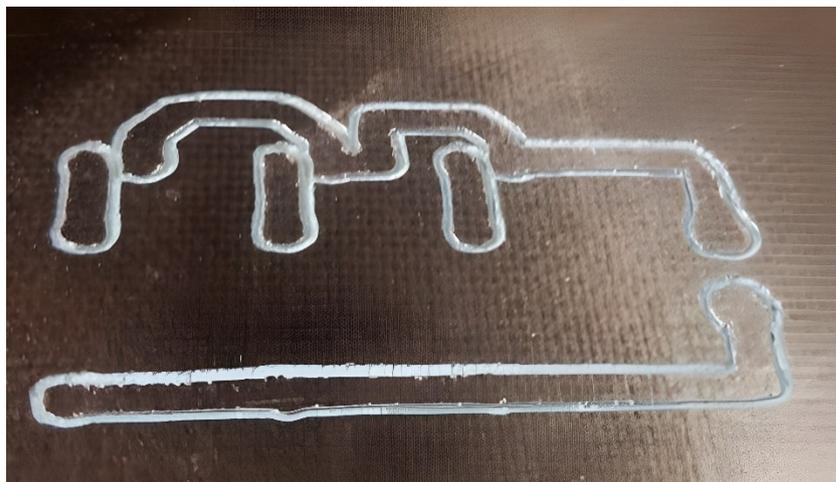


Figura 38: Ruteado de las pistas del circuito

A continuación, se ha llevado a cabo la perforación del circuito siguiendo el recorrido establecido en el código generado, tal como se observa en la **Figura 39**, el diámetro del agujero se adoptó de acuerdo con el diámetro de la fresa de taladrado utilizada.

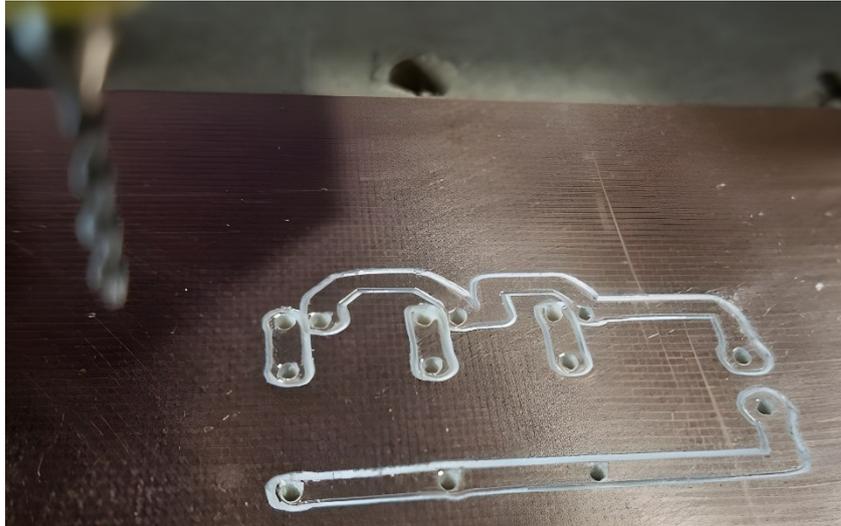


Figura 39: Taladrado del circuito electrónico

En la etapa final del proceso, se llevó a cabo el corte del contorno del circuito electrónico como se observa en la **Figura 40**, la profundidad de este corte se ha establecido en 1.6mm, ajustándose al grosor específico de la baquelita utilizada.

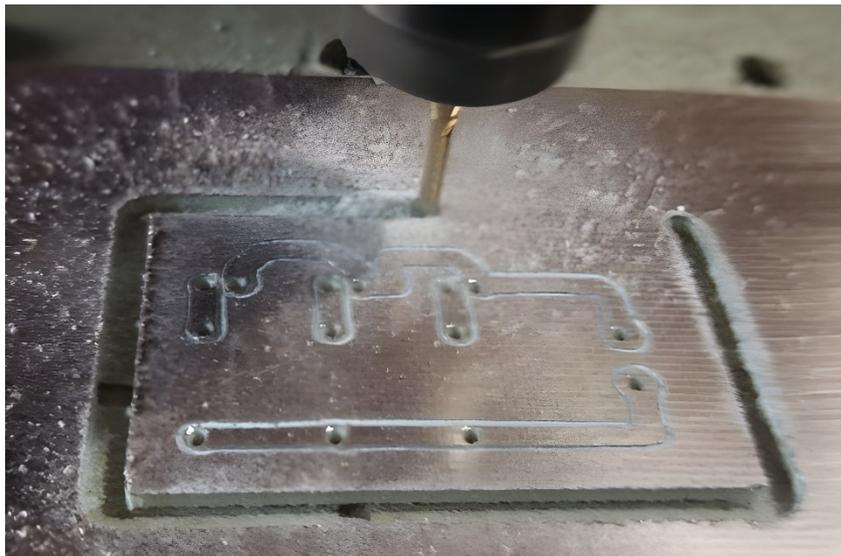


Figura 40: Corte del contorno del circuito electrónico

En el último paso del proceso se presenta el circuito impreso conforme se observa en la **Figura 41**, a partir de este punto se llevó a cabo una evaluación del funcionamiento.

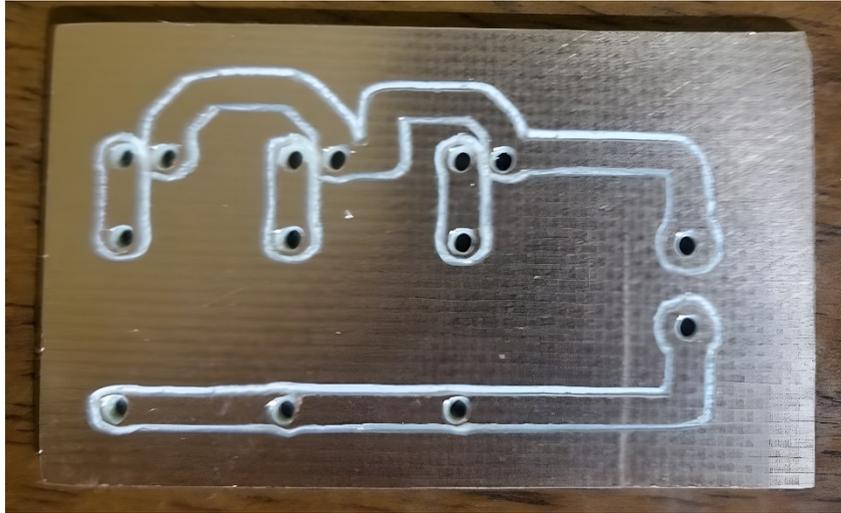


Figura 41: Circuito impreso terminado

6.3 Tercer objetivo: Validar el funcionamiento de la máquina CNC

Con el fin de validar el correcto funcionamiento de la máquina CNC, se ha llevado a cabo la funcionalidad del circuito final impreso. En este proceso fue mediante la adecuada continuidad de las pistas del circuito como se observa en la **Figura 42**, esta validación se llevó mediante un multímetro.



Figura 42: Verificación de continuidad del circuito impreso

La validación del correcto funcionamiento de la máquina CNC fue mediante la ejecución del circuito diseñado para cumplir con su propósito específico. Esta metodología ha asegurado que la máquina está funcionando de forma correcta a las instrucciones programadas, validando así su capacidad para realizar tareas de mecanizado de acuerdo con los parámetros establecidos.

Para llevar a cabo la comprobación, es necesario disponer de todos los elementos del diseño previamente creado, incluyendo los LEDs, resistencias y la bornera. Este proceso se ha realizado con el propósito de lograr la activación de los tres LEDs como se

puede observar en la **Figura 43**, la alimentación de corriente para este proceso se efectuó mediante un adaptador de corriente alterna a corriente continua.

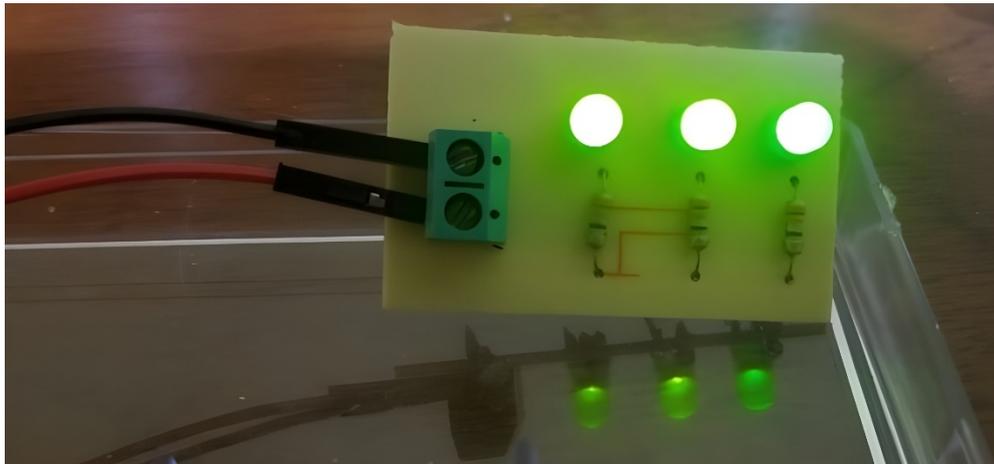


Figura 43: Encendido de los LEDs

7 Discusión

La versatilidad de una máquina CNC se destaca por su capacidad para realizar diversas funciones de mecanizado mediante movimientos sincronizados y precisos. Pueden ser construidas desde la manera básica hasta la más sofisticada, estas máquinas ofrecen una amplia gama de posibilidades.

El sistema mecánico de movimiento contempló los pasos reales de los motores nema 17, esto implica que al momento del fresado no existiera la pérdida de pasos en el desplazamiento de sus ejes, asimismo la errónea configuración de los pasos puede ocasionar movimientos involuntarios de la máquina CNC. Para la restricción del movimiento en la máquina CNC se implementó un botón de parada de emergencia. Sin embargo, se identificó una limitación en el sistema actual: el botón de parada requiere que el usuario esté pendiente durante todo el proceso de mecanizado para activarlo en caso de algún funcionamiento no deseado. Diferente a Ayala Gordillo (2019), quien planteó una mejora en el mecanismo de movimiento de los ejes de la CNC mediante la implementación de finales de carrera. Estos sensores limitan el mecanismo de movimiento en el área de trabajo permitiendo que si hay algún contacto indebido al momento de mecanizar este se detenga. En cuanto a la propuesta de utilización de finales de carrera, la limitación de estos son la velocidad de detección, la posibilidad de rebotes en el contacto y la dependencia de la fuerza de actuación (Lizcano et al., 2017). Ambas propuestas fueron planteadas con el objetivo de disminuir el riesgo al momento del mecanizado de un circuito, reduciendo así los riesgos asociados. Se optimizó la ejecución del mecanizado para garantizar una mayor seguridad y eficiencia en la operación de la máquina.

Acorde a la metodología propuesta, se corrobora que la fabricación de un circuito impreso fue factible a partir del diseño de un diagrama electrónico realizado en un software especializado. Este proceso confirmó la validez de la implementación de una máquina CNC para circuitos impresos. Existiendo diversos softwares para obtener un código abierto que controle la máquina CNC. El software utilizado en este trabajo es el ArtCAM Pro, mismo que no presentó problemas de compatibilidad ni limitaciones cuando lee archivos Bitmap del software Proteus, que permitió elaborar diagramas electrónicos; además, no se requirió de condiciones adicionales para garantizar el correcto funcionamiento del software en la generación de un código abierto para controlar una máquina CNC. Disímiles al software utilizado por Gaibor & Carrión (2015) propone la utilización del Software FlatCAM. Este programa facilitó la vectorización de diagramas

electrónicos para generar un código abierto que pueda controlar la máquina CNC. Sin embargo, presentó algunas limitaciones como la incompatibilidad con el software utilizado para diseñar circuitos electrónicos en el software Proteus al generar un archivo Gerber y ejecutarlo en FlatCAM, detectando algunos símbolos no compatibles, lo que implica la necesidad de modificar el código G. Otro factor al considerar el software FlatCAM requirió de ciertos requisitos para su funcionamiento óptimo, tales como la instalación de Python 2.7 y diversas librerías, como PyQt4, Matplotlib 1.3.1 y Numpy 1.8, entre otras. Se corrobora, que ambos programas FlatCAM y ArtCAM Pro fueron apropiados para la obtención de un código G para controlar una máquina CNC; sin embargo, en este trabajo de integración curricular se destaca el uso de ArtCAM Pro como la opción óptima, debido a su compatibilidad y facilidad de integración con un diagrama electrónico.

El procedimiento para verificar el correcto funcionamiento de una máquina CNC para la obtención de un circuito impreso se llevó a cabo de diversas maneras. En este caso, se optó por verificar el correcto fresado del circuito impreso mediante la comprobación de la continuidad de cada pista construida. Este proceso garantizó que el circuito impreso esté libre de fallos, asegurando un correcto funcionamiento. Además, se realizó el montaje de todos los componentes electrónicos del circuito impreso, con el propósito de evaluar su desempeño y verificar su correcto funcionamiento en condiciones reales. A diferencia, Maldonado (2015) planteó la comparación de dos circuitos impresos para validar el correcto funcionamiento de la máquina CNC. La primera obtención la realizó de forma manual, lo que implicó el control del circuito mediante botones, el segundo método se ejecutó de manera automática, utilizando un software que generó un código G. El procedimiento seleccionado para este trabajo de integración curricular se consideró el más efectivo y completo para garantizar la funcionalidad del circuito impreso obtenido mediante la máquina CNC.

La implementación de la máquina de circuitos impresos se la realizó utilizando MDF para su estructura. Sin embargo, esta elección presentó la limitación que dicha estructura pueda deteriorarse con el pasar del tiempo. Para la fabricación de circuitos impresos, se consideró importante la profundidad de cada pista. Por lo tanto, se utilizó una sonda conectada a la Shield CNC para verificar el punto de contacto entre la PCB y la fresa. Además, se emplearon motores nema 17, diseñados para funcionar durante varios minutos sin inconvenientes. La velocidad del fresado de la máquina CNC se estableció

en un rango comprendido entre 50 y 100 $\frac{mm}{min}$ respectivamente. Además, la máquina posee de una mesa de trabajo de 200x180 mm. Diferente a Carrión (2015), que utilizó una máquina CNC en serie 3020T con una estructura de aluminio, que proporcionó una mayor resistencia y durabilidad. Para encontrar el punto de contacto entre la baquelita y la fresa propuso la utilización de un multímetro. En cuanto a los motores utilizados fueron los Anchuan, los cuales tuvieron una limitación de tiempo de fresado, no deben superar los 20 minutos de operación debido al calentamiento excesivo. La máquina de orgien chino posee una velocidad de un máximo de 80 $\frac{mm}{min}$. Además, cuenta con una mesa de trabajo de 300x200 mm.

8 Conclusiones

- El sistema mecánico de movimiento de la máquina CNC mostró el correcto funcionamiento al desplazarse en los ejes X, Y, Z, permitiendo la ejecución del mecanizado del circuito impreso. La bancada o mesa de trabajo, con un área de operación de 200 x 180 mm, estuvo vinculada a la precisión y resolución de los pasos de sus motores, así como el tornillo seleccionado de 4 hilos que presentó un avance de 8 mm en cada vuelta. La elección cuidadosa de los componentes fue esencial para asegurar un desplazamiento eficiente y preciso en el proceso de mecanizado. La integración del driver A4988 en la Shield CNC desempeñó un papel importante al regular los pasos de los motores. Además, la entrada correcta de los valores de los pasos reales en el software Universal G-Code Sender, estableció una comunicación efectiva entre la computadora y la máquina CNC, facilitando una sincronización fluida y una operación coherente.
- La utilización de un código abierto para controlar la máquina CNC se logró gracias a la selección de los softwares Proteus el cual permitió la creación de un diseño electrónico y el software ArtCAM Pro en donde se pudo vectorizar un diagrama importado. Es importante destacar que estos programas sobresalen por su capacidad para ejecutarse sin requerir condiciones adicionales. Además, se hizo uso del software OpenCNCPilot para llevar a cabo el proceso de mecanizado de la pista, el taladrado de los agujeros necesarios en la placa del circuito y finalmente realizar el corte de la PCB. La utilización de estos programas fue capaz de abordar todas estas fases de manera eficiente, contribuyó significativamente al éxito y la funcionalidad del control de la máquina CNC.
- El proceso de validación del funcionamiento de la máquina CNC, se logró con éxito gracias a la continuidad adecuada en cada pista del circuito, y al funcionamiento correcto del circuito impreso, mismo que fue diseñado mediante la colocación de los componentes electrónicos diseñados en Proteus. Estas pruebas constituyeron una etapa esencial para garantizar el correcto funcionamiento de la máquina CNC.

9 Recomendaciones

- Para futuros trabajos tener en consideración la evaluación de todos los esfuerzos mecánicos y de diseño de la máquina CNC.
- Para proyectos venideros llevar a cabo los cálculos necesarios para las diferentes velocidades de fresado.
- Para garantizar un correcto fresado de un circuito impreso se sugiere mantener una buena estabilidad de la máquina CNC al momento de realizar el mapa de alturas y también al realizar el circuito electrónico.
- Al culminar la elaboración del circuito electrónico se debe realizar el mantenimiento de la máquina CNC para que el residuo del mecanizado no afecte ningún componente electrónico.

10 Bibliografía

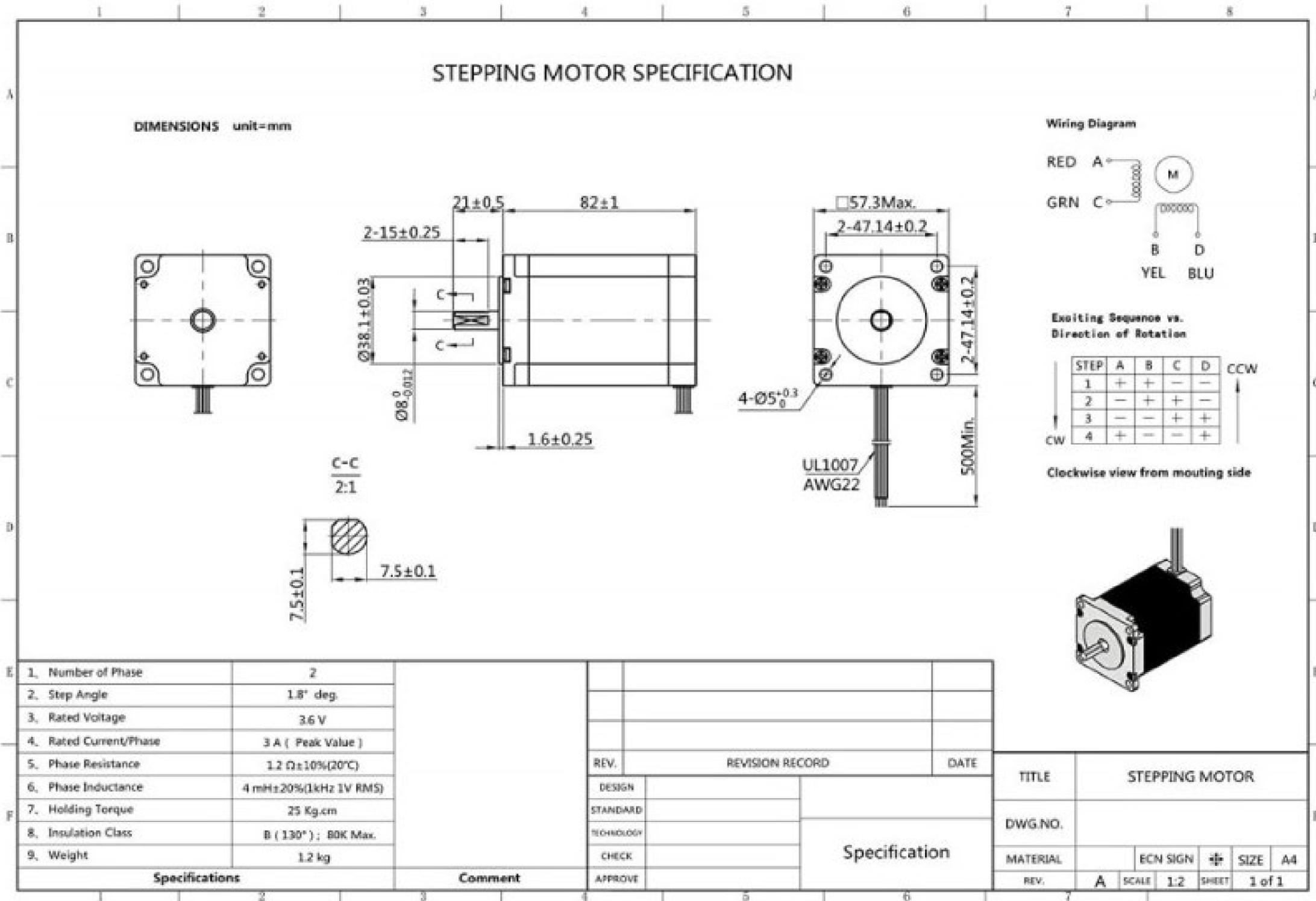
- Alonso S, D. A., Gil D, J. E., & Martínez S, F. H. (2015). *Prototipo de máquina fresadora cnc para circuitos impresos*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tekhne/article/view/10439/11456>
- Alvarado Hidalgo, A. A. (2023). *Diseño e implementación de una máquina CNC para la elaboración de circuitos impresos y diseños en 3D para uso de estudiantes de CIEYT*. Universidad Nacional de Loja, Loja, Loja, Ecuador. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/26366>
- Autodesk. (2019). *3dcadportal.com*. Obtenido de <https://www.3dcadportal.com/artcam.html>
- Ayala Gordillo, W. P. (2019). *Máquina para la fabricación de placas de circuito impreso para el desbaste y perforación*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Imbabura, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9040>
- Canvas. (2019). *Análisis de sistema de manufactura*. Obtenido de <https://a14121-10879811.cluster211.canvas-user-content.com/courses/14121~4611/files/14121~10879811/course%20files/mn/mn13351/bb/tema9-1.htm>
- Caram, J. P. (2019). *FlatCAM*. Obtenido de <http://flatcam.org/manual/es/introduction.html>
- Carrión, J. (2015). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA CNC PARA LA FABRICACIÓN DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESO PARA COMPONENTES*. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, Riobamba. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4965>
- Cortez Quezada, M. E., Perez Guzman, G. A., & Recinos Gomez, J. A. (Septiembre de 2019). Implementación de una cnc para el diseño de circuitos impresos en el laboratorio de tecnología avanzada en la universidad tecnologica de el Salvador. (*Trabajo de graduación*). Universidad tecnologica de el Salvador, EL SALVADOR. Obtenido de <https://biblioteca.utec.edu.sv/siab/virtual/tesis/941001300.pdf>
- DIRECT, R. (21 de Diciembre de 2023). *Códigos G y M: comprensión de los lenguajes de programación CNC*. Obtenido de <https://www.rapiddirect.com/es/blog/g-and-m-codes/>

- Electrostore. (2019). *Grupo Electrostore*. Obtenido de <https://gruoelectrostore.com/shop/modulos-y-shields/dimmer-ac-y-pwm-dc/modulo-pwm-dc-6v-12v-24v-36v-48v-60v-20a-ideal-para-focos-o-motores-dc/>
- Gaibor Puente, J. E., & Carrión Paladines, C. J. (2015). *Diseño e implementación de una máquina cnc para la fabricación de placas de circuito impreso para componentes smd*. Escuela superior politécnica de chimborazo, Riobamba, Chimborazo, Ecuador. Obtenido de <http://dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/4965>
- Garci Mutis, I. C., Lagos López, J. G., Urrego Pérez, L. F., & Delgado Parra, P. Y. (2009). *Diseño e implementación de un control CNC para crear modelos y esculturas en tercera dimensión a partir de un diseño CAD*. Universidad de San Buenaventura, Bogotá D.C. Obtenido de <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/64627.pdf>
- García, V. (5 de Marzo de 2020). *Diario electronico hoy*. Obtenido de EPA electrónica práctica aplicada: <https://www.diarioelectronicohoy.com/blog/descripcion-del-driver-a4988>
- Invento. (2023). *1 motor paso a paso bipolar Nema 23 de 25 kg-cm y 4 cables de alto par para impresoras 3D, proyectos de bricolaje y robótica CNC*. Obtenido de Nema 23: <https://inventosales.com/1Pcs-Nema-23-25-Kg-cm-4-Wire-Bipolar-Stepper-Motor-High-Torque-for-3D-Printer-CNC-Robotics-DIY-Projects?search=nema%2023&description=true>
- Lizcano, J., Bejarano, M., & Rodriguez, A. M. (9 de Marzo de 2017). Obtenido de Prezi: https://prezi.com/0hwdcl-0ft_n/sensores-finales-de-carrera/
- López López, Á. A., & Parra Santos, P. R. (2016). *Diseño de una fresadora router CNC. Tesis de Mecánica*. Escuela superior politécnica del litoral, Guayaquil. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/36774/1/D-CD88459.pdf>
- López Navarro, M. (2015). “Diseño de un intérprete para un CNC de. *Trabajo fin de grado*. Universidad de almeria, Almeria. Obtenido de https://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/3411/2945_Memoria%20TFG.pdf?sequence=1
- Maldonado Tituaña, J. A. (2015). *Construcción de una máquina impresora de circuitos impresos para el laboratorio de automatización industrial de la carrera de*

- ingeniería mecatrónica*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Imbabura, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/4616>
- Massaia, R. I. (2019). Diseño de un cabezal universal para centros de mecanizado. (*Tesis de Ingeniería Mecánica*). Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11086/24909>
- MCI electronics. (2023). *Arduino. cl*. Obtenido de MCI electronics: <https://arduino.cl/arduino-uno/>
- Novatronic. (2020). *Novatronic*. Obtenido de <https://novatronic.com/index.php/product/fuente-conmutada-12v-10a/>
- Orellana Muñiz, J. S. (2022). *Diseño de una impresora de circuitos impresos para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje en las prácticas de laboratorio de electrónica*. Universidad estatal del sur de Manabí, Manabí, Jipijapa, Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/4782/1/Orellana%20Mu%C3%b1iz%20Jennifer%20Sonia.pdf>
- Paguayo. (18 de Junio de 2019). *MCI Capacitación*. Obtenido de MCI Electronics: <https://cursos.mcielectronics.cl/2019/06/18/motores-paso-a-paso-stepper/#:~:text=Total%20de%20pasos%20%3D%20360%2Fgrados,360%2Fn%C3%BAmero%20total%20de%20paso.>
- Pillajo Colcha, M. F., & Shagñay curicama, F. V. (2015). *Modelado de un soporte de brida fy 512 u/ah para rodamientos haciendo uso de tecnologías cnc y software de diseño cad-cam*. Escuela superior politécnica de chimborazo, Riobamba. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4546/1/85T00377.pdf>
- Polaridad.es. (2023). Obtenido de <https://polaridad.es/cc-comprobacion-de-continuidad-guia-practica-de-electronica/>
- Proto-electronics.com. (2020). Obtenido de <https://www.proto-electronics.com/es/blog/software-de-dise%C3%B1o-de-circuito-impreso-nuestro-top-10>
- Ricón Castillo, E. D., García Pabón, J. J., & Bermúdez Santaella, J. R. (Marzo de 2020). Implementación del sistema electroco-eléctronico y sistema de software de una máquina cnc. *Revista Colombiana de tecnología de avanzada*, 2(36), 21. doi:<https://doi.org/10.24054/rcta.v2i36.16>

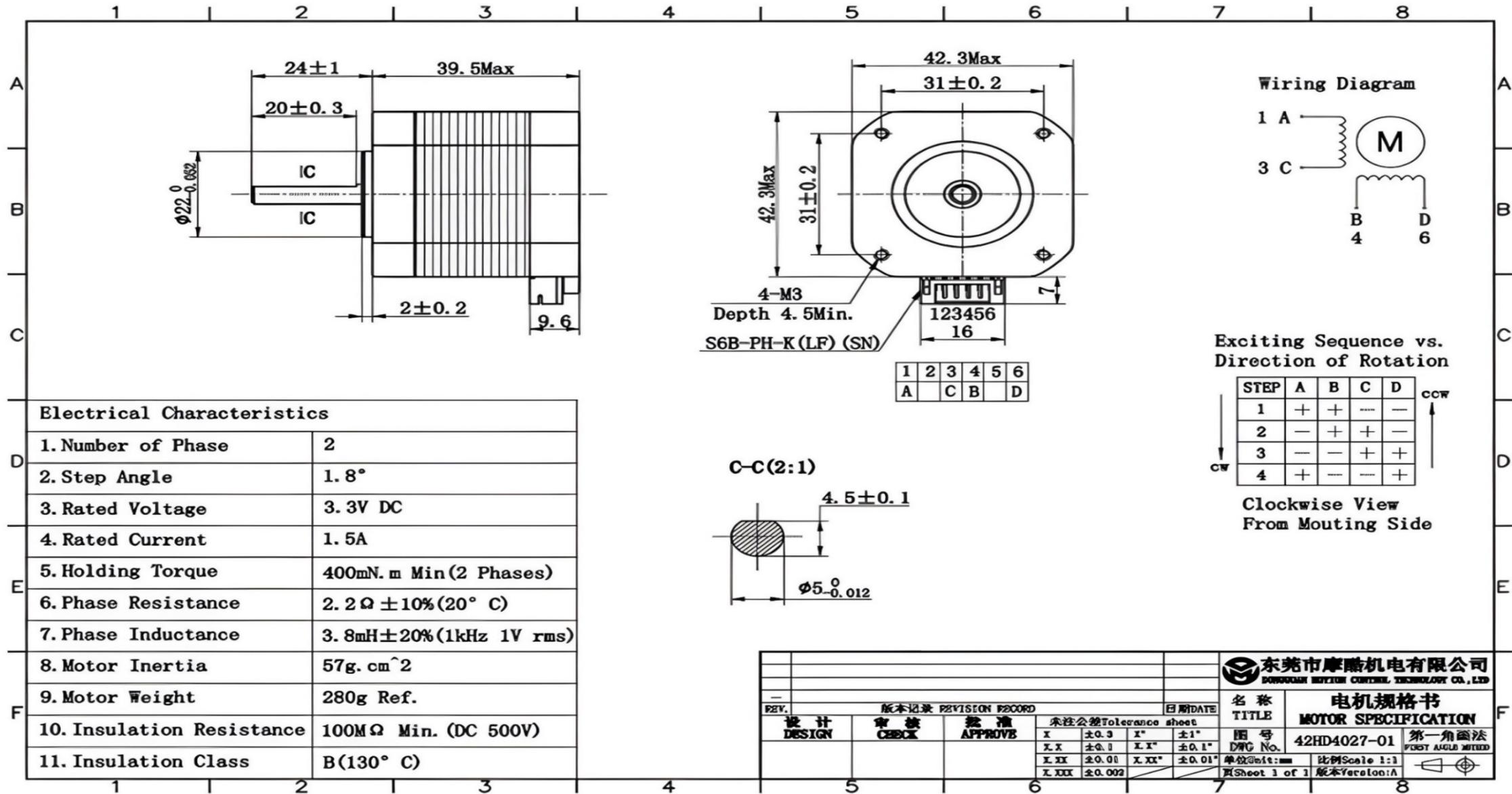
- Rivadeneira, J. (2020). Implementación de un módulo CNC de fresado. (*Tesis Tecnólogo en Electromecánica*). Escuela Politécnica Nacional, Quito. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21140>
- Romagoza, J. (2017). *Qué tipos de fresadoras existen*. Obtenido de https://www.gnccaldereria.es/tipos-fresadoras-existen/#11_Tipos_de_fresadoras_verticales
- Sain smart power to the makers . (2023). *Smart Saint*. Obtenido de <https://www.sainSMART.com/products/genmitsu-gs-775m-20000rpm-775-cnc-spindle-motor-noise-suppression-compatible-with-3018-series>
- Store, R. R. (2020). *Motor paso a paso nema 17 200spr 4kg-cm 42hd4027-01-a*. Obtenido de <https://www.robotstore.it/en/Motore-Passo-Passo-NEMA-17-200spr-4Kg-cm-42HD4027-01-A>
- Sugeon (Sonny) k, J., & Simen Svale, S. (2011). *github*. Obtenido de <https://github.com/grbl/grbl>
- Tecnológica, D. (2016). Obtenido de <https://dinastiatecnologica.com/producto/tornillo-cnc-3d-300mm-tuerca-con-camisa-8mm/>
- UGS. (2008). *Winder*. Obtenido de https://winder.github.io/ugs_website/

Anexo 1. Características del Motor NEMA 23



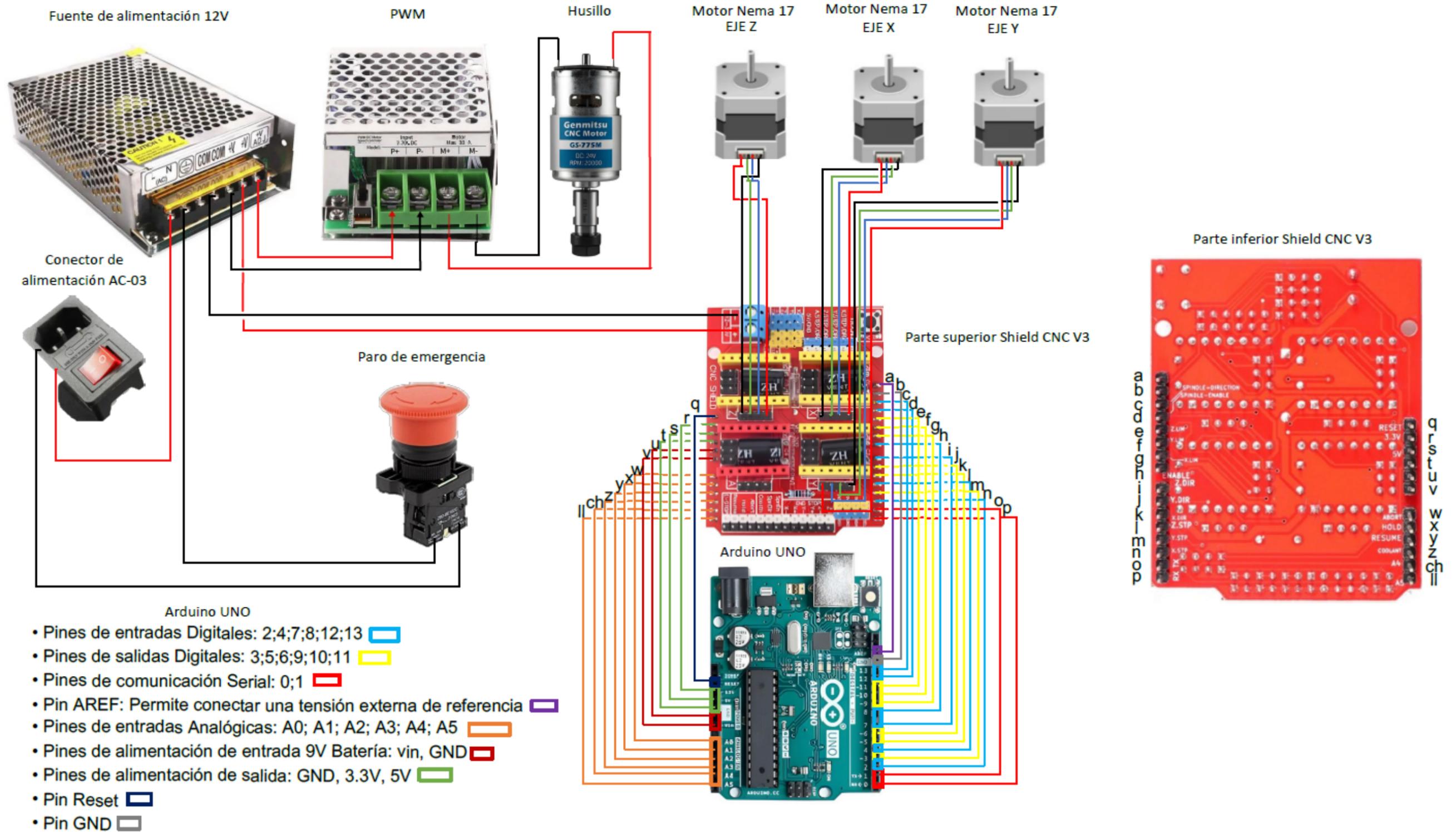
Fuente: (Invento, 2023)

Anexo 2. Características del Motor NEMA 17



Fuente: (Store, 2020)

Anexo 3. Diagrama de conexión eléctrica



Anexo 4. Comandos del código G

Código G	Acción
G00	Movimiento rápido
G01	Interpolación lineal
G02	Interpolación circular a favor de las manecillas del reloj
G03	Interpolación circular en contra de las manecillas del reloj
G04	Pausa en segundos
G17	Selección del plano de trabajo X Y
G18	Selección del plano de trabajo X Z
G19	Selección del plano de trabajo Y Z
G20	Entrada de datos en pulgadas
G21	Entrada de datos en milímetros
G28	Retorno a la posición de home
G29	Retorno de home a la última posición de trabajo
G40	Cancelación de la compensación diámetro del cortador
G41	Compensación del diámetro del cortador hacia la izquierda
G42	Compensación del diámetro del cortador hacia la derecha
G43	Compensación en altura del cortador
G49	Cancelación de la compensación en altura del cortador
G54	Memoria de cero de pieza
G55	Memoria de cero de pieza
G56	Memoria de cero de pieza
G57	Memoria de cero de pieza
G58	Memoria de cero de pieza
G59	Memoria de cero de pieza
G73	Ciclo de taladrado con retracción al plano de seguridad
G80	Cancelación de ciclo de taladrado
G81	Ciclo de taladrado de poca profundidad
G82	Ciclo de taladrado con pausa
G83	Ciclo de taladrado profundo
G84	Ciclo de machuelado
G90	Coordenadas absolutas
G91	Coordenadas incrementales
G92	Desplazamiento del área de trabajo.
G94	Velocidad de corte expresada en avance por minuto.
G95	Velocidad de corte expresada en avance por revolución.
G98	Retorno al nivel inicial.
G99	Retorno al nivel R.
G107	Programación del 4o. eje.

Fuente: (Canvas, 2019)

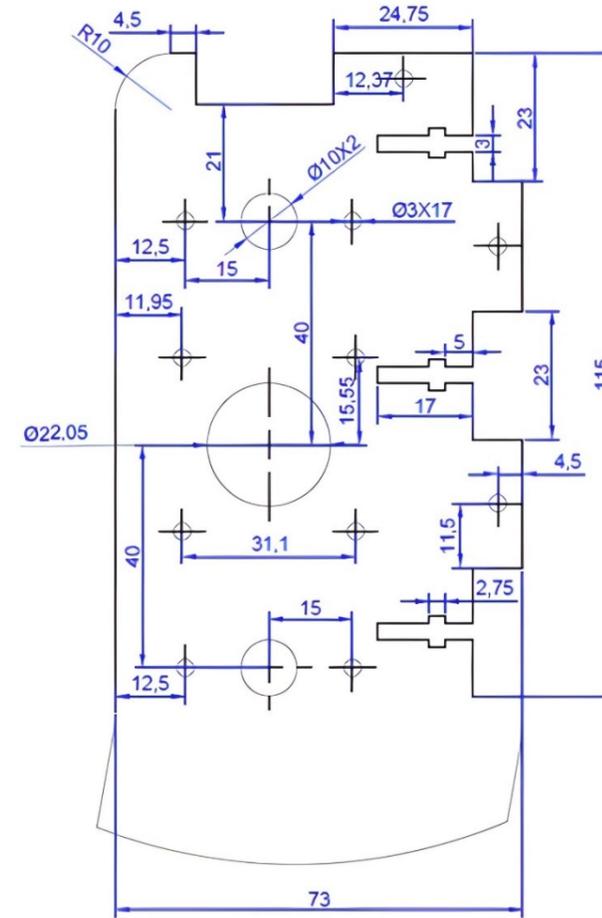
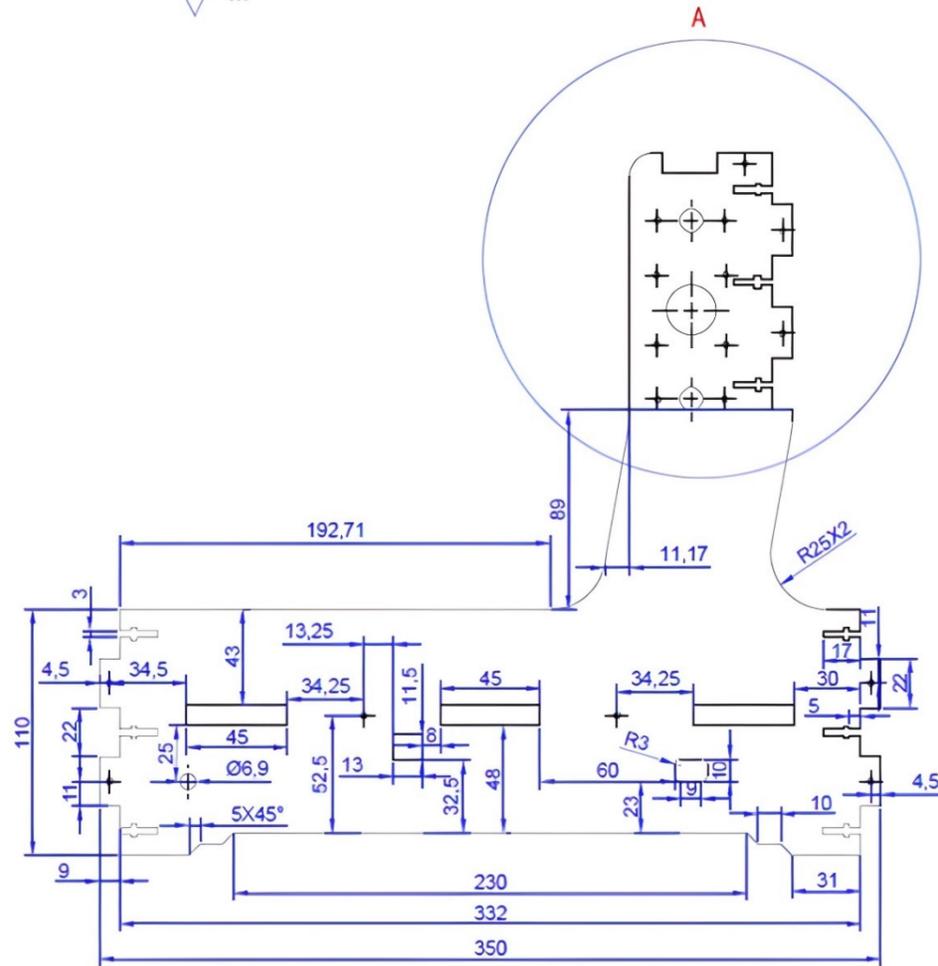
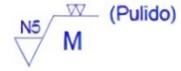
Anexo 5. Estructura de la máquina CNC

1	Tapa lateral derecha	MDF	1	01.01.01	263g	
2	Tapa inferior	MDF	2	01.01.02	549g	
3	Tapa superior trasera	MDF	3	01.01.03	181g	
4	Tapa inferior trasera	MDF	4	01.01.04	152g	
5	Tapa lateral izquierda	MDF	5	01.01.05	265g	
6	Tapa frontal	MDF	6	01.01.06	158g	
7	Plataforma	MDF	7	01.01.07	202g	
8	Bancada	MDF	8	01.01.08	195g	
9	Tapa superior	MDF	9	01.01.09	87g	

Denominación		N. de norma o dibujo	Material	No. de orden	Número del modelo	Peso	Observaciones
		Tolerancia	Peso	Materiales			
			2.052kg	MDF			
		Fecha	Nombre	Denominación			Escala
		Db.	Franklin Guillen	ESTRUCTURA			1:5
		Rev.	Marco Rojas				
		Aprob.	Jairo Gómez				
				Número de dibujo			
				01.01.00			
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre				

Anexo 6. Tapa lateral derecha

(En todas las superficies menos donde se indique lo contrario)

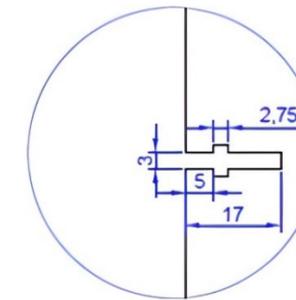
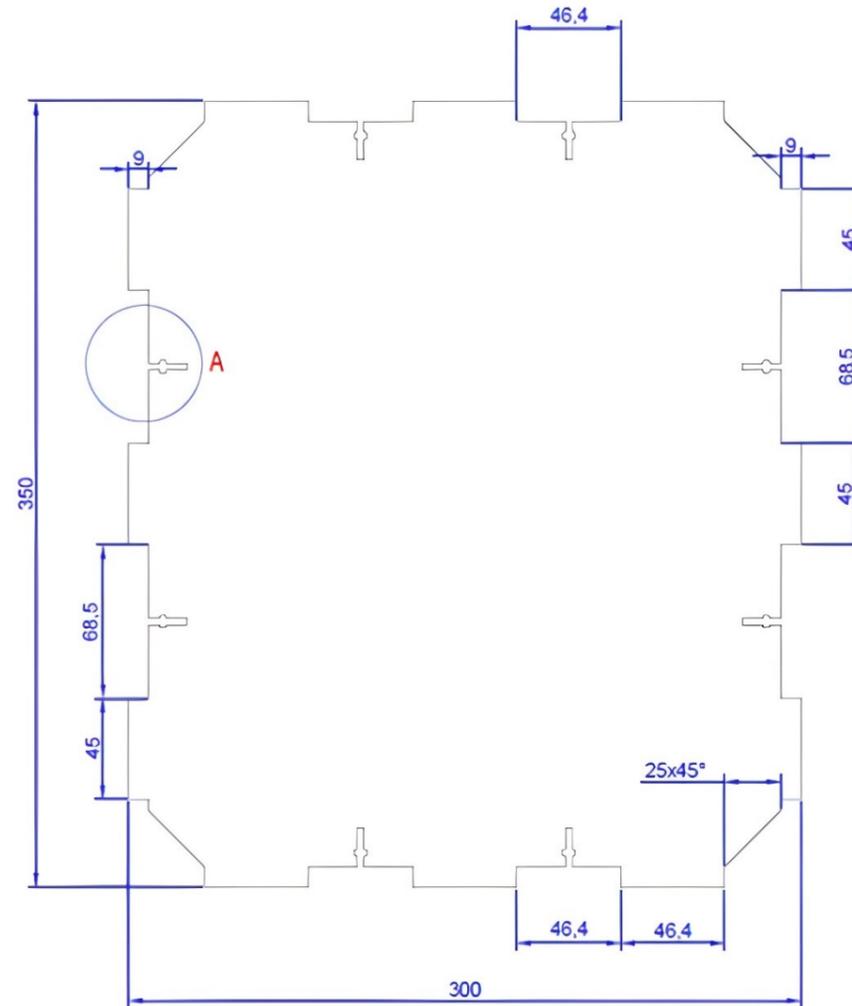
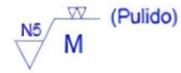


DETALLE A
(E:1-1)

				Tolerancia	Peso	Materiales			
					263g	MDF			
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala		
			Dib.		Franklin Guillen			Tapa lateral derecha	1:2.5
			Rev.		Marco Rojas				
				Aprob.	Jairo Gomez	Número de dibujo			
						01.01.01			
Edi- ción	Modifica- ción	Fecha	Nombre						

Anexo 7. Tapa inferior

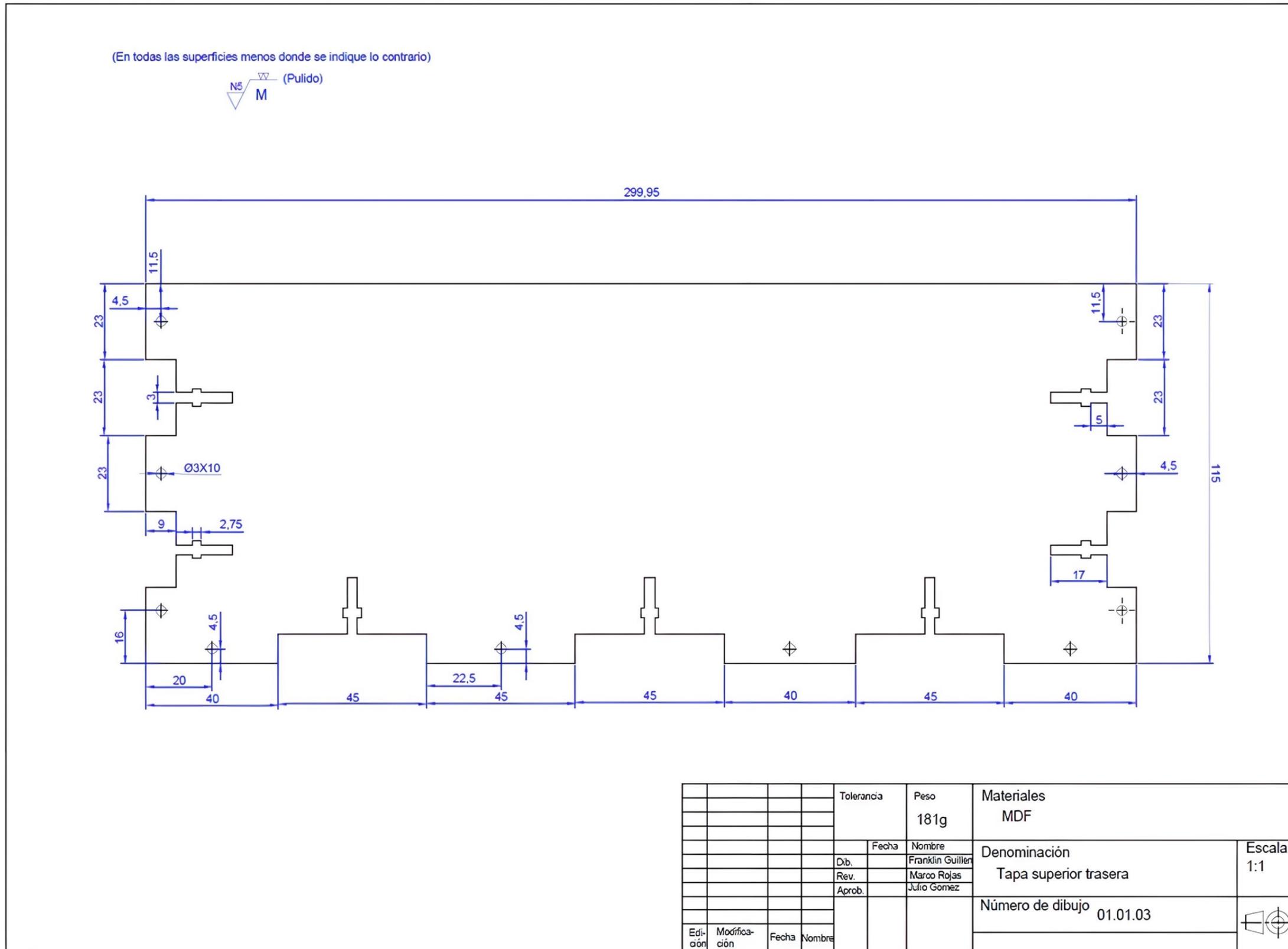
(En todas las superficies menos donde se indique lo contrario)



DETALLE A
(E:1-1)

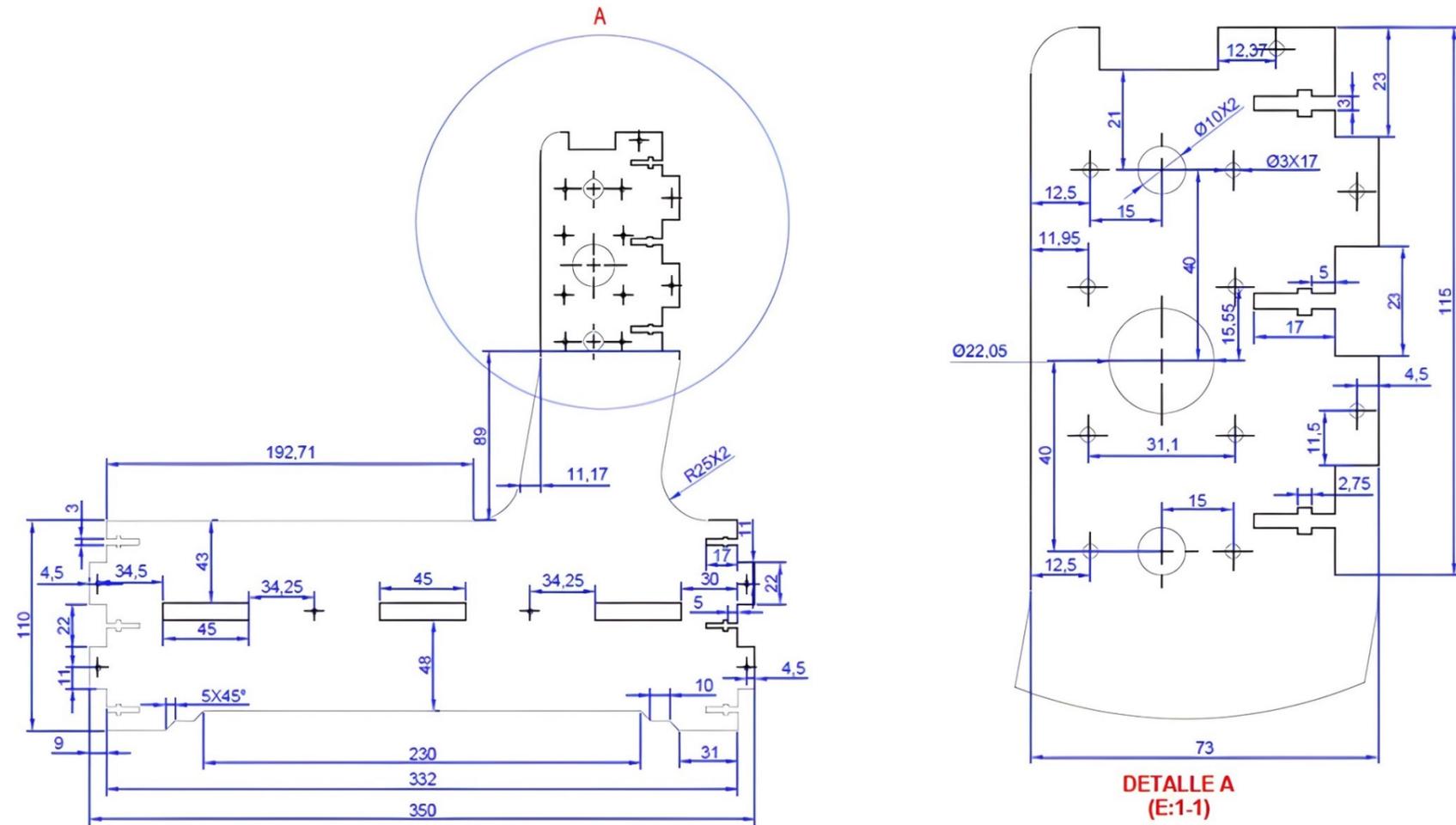
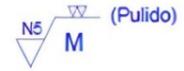
				Tolerancia	Peso	Materiales			
					549g	MDF			
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala		
				Dib.	Frankín Guillen			Tapa inferior	1:2.5
				Rev.	Marco Rojas				
				Aprob.	Julio Gomez	Número de dibujo 01.01.02			
Edi- ción	Modifica- ción	Fecha	Nombre						

Anexo 8. Tapa superior trasera



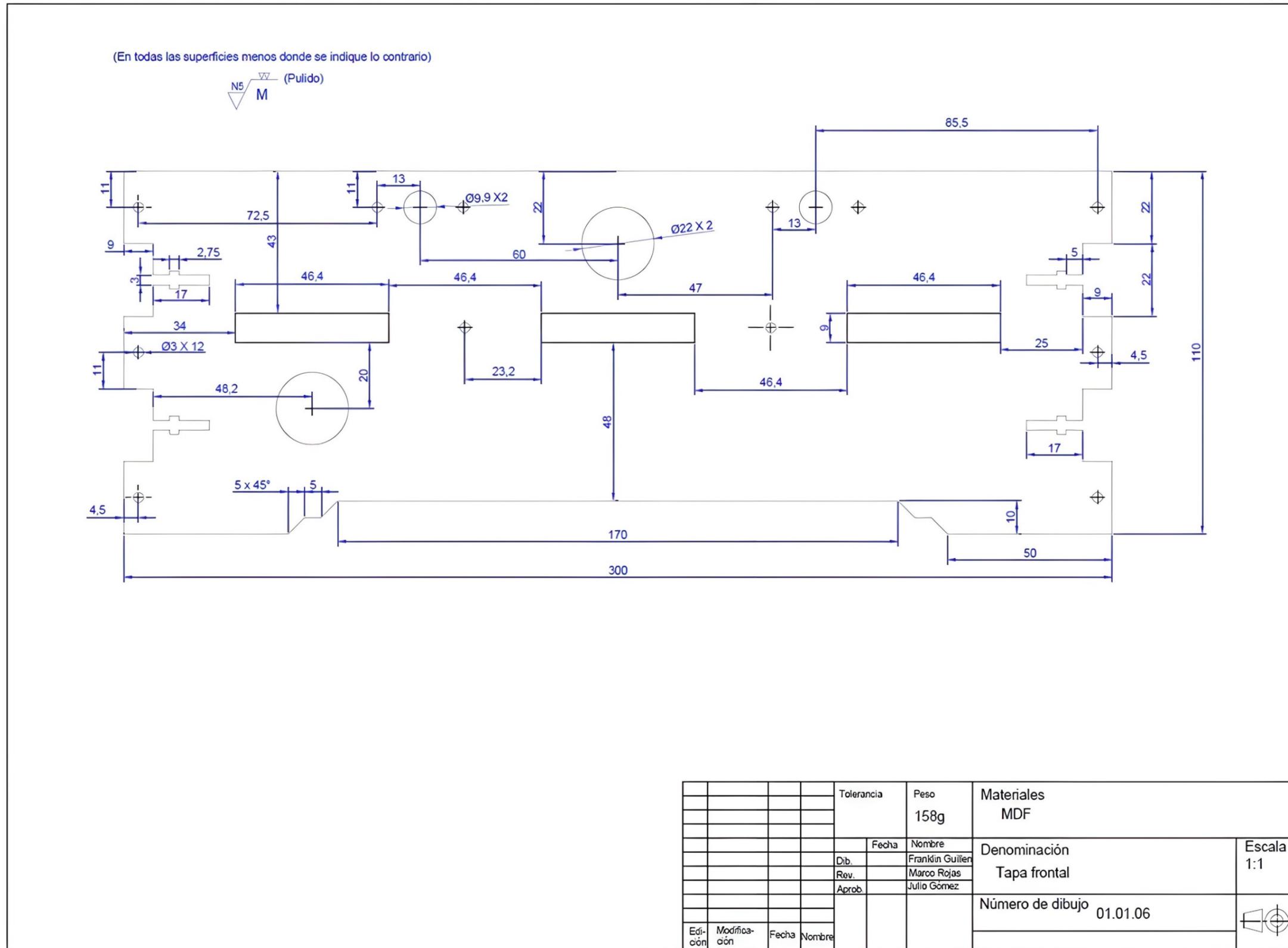
Anexo 10. Tapa lateral izquierda

(En todas las superficies menos donde se indique lo contrario)



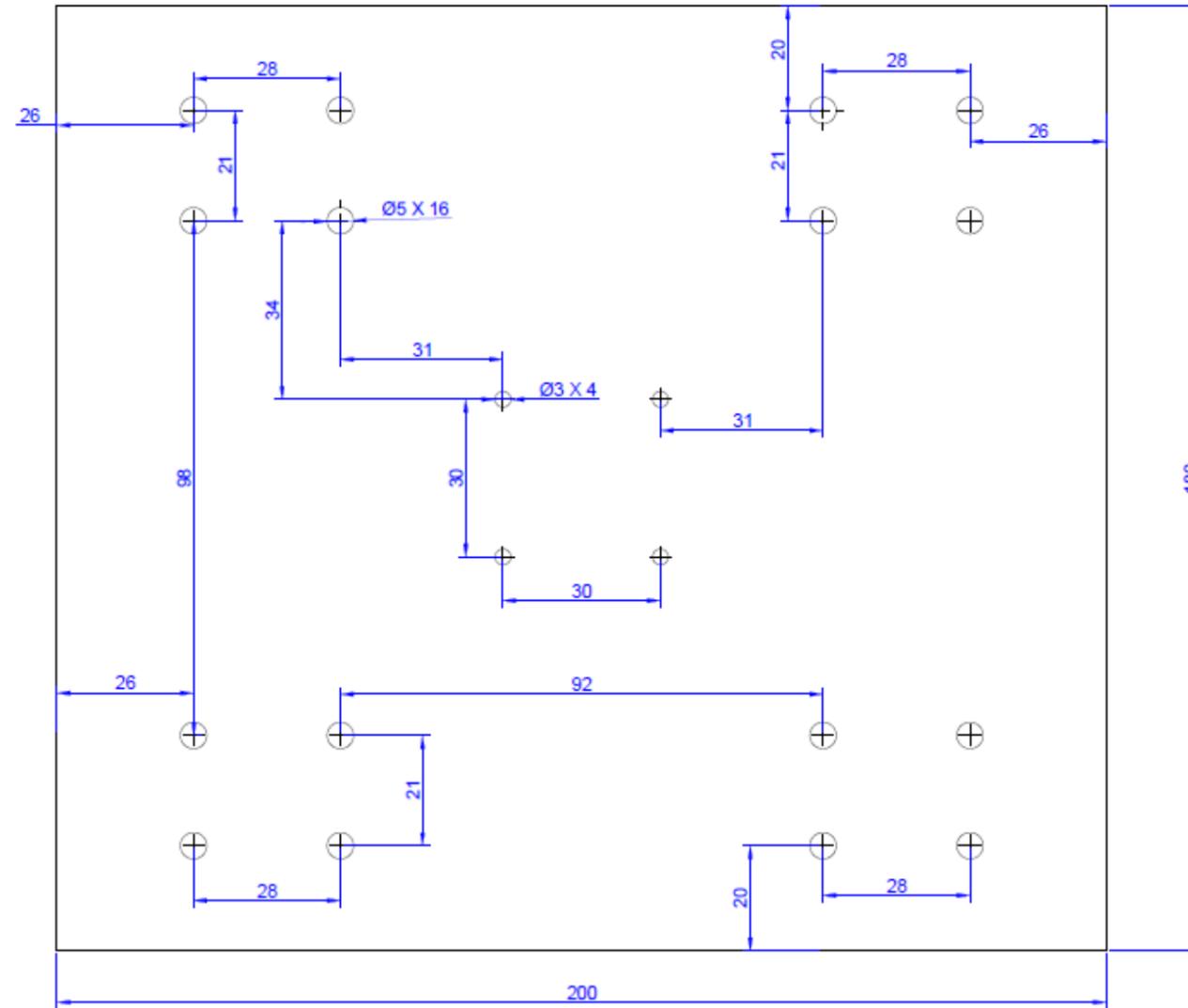
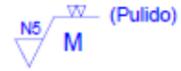
				Tolerancia	Peso	Materiales	
					265g	MDF	
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala
					Franklin Guillen	Tapa lateral izquierda	1:2.5
				Rev.	Maroo Rojas		
				Aprob.	Julio Gomez		
						Número de dibujo	
						01.01.05	
Edi- ción	Modifica- ción	Fecha	Nombre				

Anexo 11. Tapa frontal



Anexo 12. Plataforma

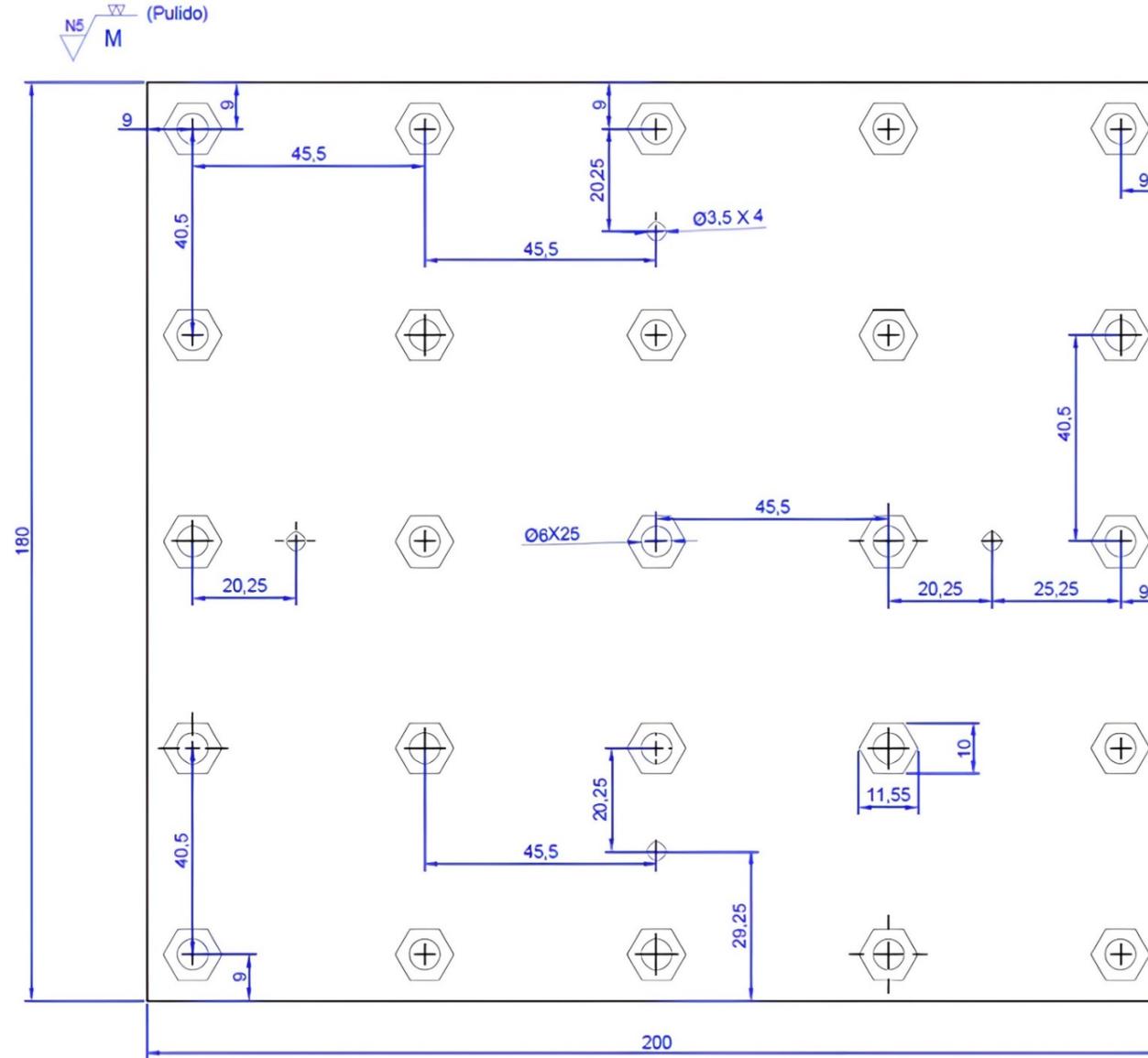
(En todas las superficies menos donde se indique lo contrario)



				Tolerancia	Peso	Materiales	
					202g	MDF	
					Fecha	Nombre	Denominación Plataforma
				Dib.		Franklin Guillen	
				Rev.		Maroo Rojas	
				Aprob.		Julio Gomez	Número de dibujo 01.01.07
Edi- ción	Modifica- ción	Fecha	Nombre				
							Escala 1:1

Anexo 13. Bancada

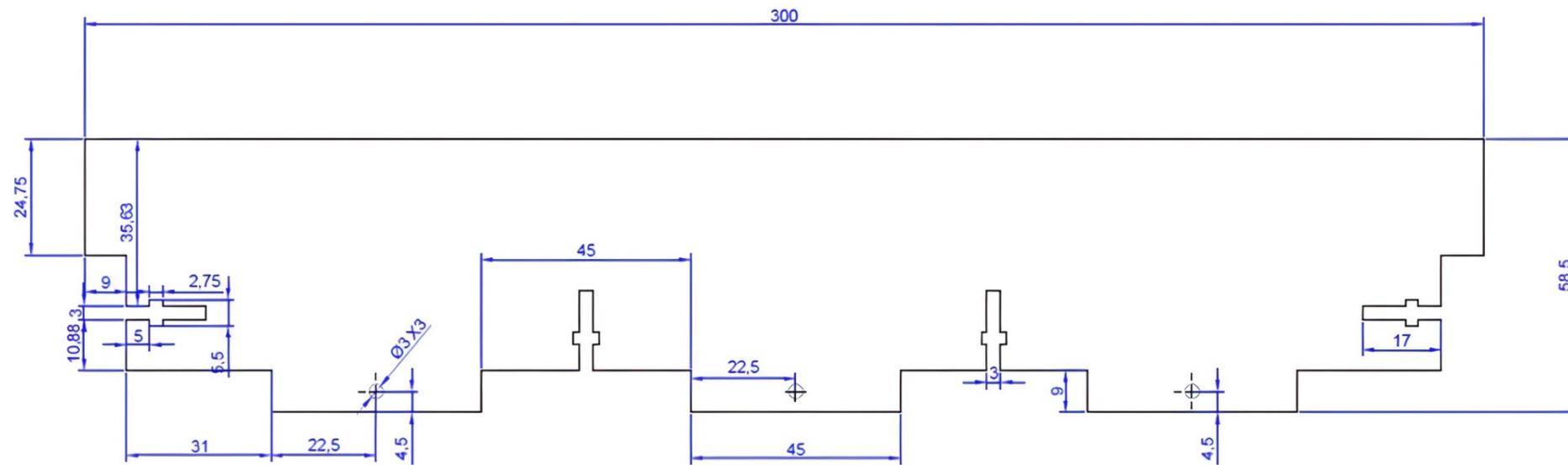
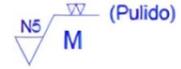
(En todas las superficies menos donde se indique lo contrario)



				Tolerancia	Peso	Materiales			
					195g	MDF			
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala		
				Dib.	Franklin Guillen			Bancada	1:1
				Rev.	Marco Rojas				
				Aprob.	Julio Gomez	Número de dibujo			
						01.01.08			
Edi- ción	Modifica- ción	Fecha	Nombre						

Anexo 14. Tapa superior

(En todas las superficies menos donde se indique lo contrario)



				Tolerancia	Peso	Materiales	
					87g	MDF	
					Fecha	Nombre	Denominación
						Franklin Guillen	
						Marco Rojas	
						Julio Gomez	Escala 1:1
							Número de dibujo
							01.01.09
Edi- ción	Modifica- ción	Fecha	Nombre				



Anexo 15. Certificado de traducción del Abstract



Loja, 10 de febrero de 2024

Lic. Karina Yajaira Martínez Luzuriaga

LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN MENCIÓN INGLÉS

CERTIFICO:

Yo, Karina Yajaira Martínez Luzuriaga con cédula de identidad Nro. 1104902679, Licenciada en Ciencias de la Educación Mención Inglés por la Universidad Técnica Particular de Loja, con número de registro 1031-2022-2574017 en la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación, señalo que el presente documento es fiel traducción del idioma español al idioma inglés del resumen del Trabajo de Integración Curricular denominado “Implementación de una CNC para realizar circuitos impresos” elaborado por el Sr. Franklin Jonathan Guillen Chalco, con cédula de identidad Nro. 1104865702, estudiante egresado de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Nacional de Loja.



Lic. Karina Yajaira Martínez Luzuriaga

C.I. 1104902679

REGISTRO SENESCYT N°: 1031-2022-2574017