

Universidad Modelo  
Ingeniería Automotriz



Automatización de Sistemas de Manufactura

Ing. Maximiliano Bastón Alvarez

Proyecto de CNC

Castro Avilés Rene Miguel

Coba Ordoñez Genaro Emanuel

Flores Borbonio Alejandro

Lara Marthen Juan Carlos

Niño López Ricardo

Osorio Contreras Rodrigo

Pérez Ortigoza Jorge Emiliano

Ramírez Martínez Humberto

Valencia Garrido José Aldair

Fecha de entrega: 2/06/2025

## INDICE

1.	Introducción -----	3
2.	Metodología (SCRUM) -----	4
3.	Aplicación -----	6
4.	Cotizaciones -----	7
5.	Materiales -----	8
6.	Desarrollo (FASE 1) -----	10
	a. Modelado 3D -----	10
	b. Microcontrolador y protoboard -----	11
	c. Funcionamiento de los 3 ejes -----	14
	d. Generación código G -----	16
7.	Portalápiz como primera herramienta de trabajo -----	17
8.	Registro de actividades en jira -----	21
9.	Resultados intermedios -----	23
10.	Etapa 2 -----	24
11.	Implementación de porta dremel -----	26
12.	Pruebas finales -----	28

---

## INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

a)	Tabla 1. Cotizaciones -----	7
b)	Figura 1 – 3. Modelado 3D -----	10
c)	Figura 4. Diagrama eléctrico -----	11
d)	Figura 5. Diagrama de conexiones -----	12
e)	Figura 6 y 7. Demostración de motores encendidos y apagados -----	15
f)	Figura 8. Código de pruebas -----	16
g)	Figura 9. Código de prueba final -----	16
h)	Figura 10 y 11. Prueba con lápiz -----	17
i)	Figura 12. Diseño de portalápiz -----	20
j)	Figura 13. Porta lápiz en la CNC -----	20
k)	Figura 14. Línea de actividades -----	21
l)	Figura 15. Calendario de actividades -----	22
m)	Figura 16. Lista backlog -----	22
n)	Figura 17. Base con marcador -----	23
o)	Figura 18 y 19. CNC con portadremel (Diseño) -----	25
p)	Figura 20. Impresión del portadremel -----	26

q) Figura 21 y 22. Cubierta de motor -----	28
r) Figura 23 - 25. Diseño de porta placa -----	29
s) Figura 26. Diseño final de CNC -----	30
t) Figura 27. CNC prueba final -----	30
u) Figura 28. Prueba final -----	30

## INTRODUCCIÓN

La tecnología CNC (Control Numérico por Computadora) ha revolucionado la industria manufacturera al automatizar y optimizar los procesos de producción, lo que permite realizar cortes, grabados y mecanizados de alta precisión en diversos materiales (madera, metal, plástico, entre otros). Su impacto se extiende a múltiples sectores, como lo son: la automoción, aeroespacial, medicina y electrónica, transformando la forma en que se diseñan y fabrican productos.

En el presente documento se describen los pasos realizados para la habilitación de una CNC de pequeñas dimensiones. En primer lugar, se explica la metodología Scrum (sus roles y artefactos) y se presenta la lista de cotizaciones (Tabla 1). Seguidamente, en la sección “Desarrollo (FASE 1)”, se detallan aspectos técnicos:

- En el apartado 6.1 (Modelado 3D), describe el software utilizado, dimensiones de la máquina y se muestran distintos ángulos e ilustraciones del ensamblaje (Figuras 1, 2 y 3)
- En el punto 6.2, se exponen el diagrama eléctrico y de conexión.
- En el 6.3, se explica el funcionamiento de los motores paso a paso y su integración en la estructura de la CNC, así como su ejecución en el sistema.

El objetivo de este proyecto es familiarizarnos con la maquinaria CNC, entendiendo sus principios de funcionamiento y la programación necesaria para operar cualquier equipo de este tipo. Asimismo, la aplicación en la industria para futuras acciones operativas.

## METODOLOGÍA (SCRUM)

Es un marco de trabajo ágil diseñado para ayudar a las personas, equipos y organizaciones a generar soluciones adaptativas para problemas complejos. Este enfoque se basa en la realización de interacciones cortas llamadas Sprint, que permiten a los equipos trabajar en un entorno cambiante y evaluar constantemente su forma de trabajar.

En cuanto a los roles, Scrum define tres papeles clave: Product Owner, Scrum Master y Development Team. El Product Owner es responsable de definir el valor del producto y gestionar el Product Backlog. El Scrum Master facilita la adopción de Scrum, ayuda a eliminar impedimentos y asegura que los eventos de Scrum se realicen de manera efectiva. El Development Team es un equipo multifuncional que se compromete con las actividades en cada Sprint y entrega incrementos terminados y usables al final de cada Sprint.

### *Roles*

Los eventos Scrum son reuniones regulares que ayudan a los equipos a planificar, revisar y mejorar su trabajo. Estos eventos incluyen el Sprint Planning, Daily Scrum, Sprint Review y Sprint Retrospective.

- El Sprint Planning: Es una reunión que se lleva a cabo al inicio de cada Sprint. En esta reunión, el equipo define el objetivo del Sprint (Sprint Goal) y el trabajo a realizar durante el Sprint (Sprint Backlog).
- El Daily Scrum: Es una reunión de 15 minutos que se lleva a cabo diariamente para que el equipo de desarrollo sincronice actividades y cree un plan para las próximas 24 horas.
- El Sprint Review: Es una reunión que se lleva a cabo al final del Sprint. Durante esta reunión, el equipo Scrum y las partes interesadas analizan lo que se hizo durante el Sprint y si se alcanzó el Sprint Goal.
- El Sprint Retrospective: Es la última reunión del Sprint y es la oportunidad para que el equipo Scrum se analice a sí mismo y haga una propuesta de mejoras para que el desarrollo del siguiente Sprint sea más eficiente.

*Los artefactos de SCRUM incluyen*

- El Product Backlog: Que es la lista de todas las características y funcionalidades deseadas para el producto, ordenadas por prioridad.
- El Sprint Backlog: Es la lista de las tareas seleccionadas para el Sprint.
- El incremento: Es el resultado tangible del trabajo realizado durante el Sprint, que se entrega al final del Sprint.

## APLICACIÓN

Debido a los problemas que enfrentamos, la metodología Scrum nos proporcionó ayuda al mantener los tiempos cronometrados brindando mayor eficiencia y ordenando de mejor manera el trabajo. Además de permitirnos plantear un objetivo y una planificación clara para cada actividad semanal. Por esta razón implementar este tipo de software resulta fundamental para promover y brindar un mejor trabajo en equipo y mejorar la estructuración de los proyectos.

## COTIZACIONES

Nombre	Unidades	Costo	Costo Total
L298N MODULO DE CONTROL DE MOTOR	3	\$ 104.40	\$ 313.20
MOTOR PASO A PASO BIPOLAR NUEVO NEMA17 HS440I	1	\$ 272.60	\$ 272.60
CABLE DUPONT MACHO/MACHO (20pz)	1	\$ 34.80	\$ 34.80
CABLE DUPONT MACHO/HEMBRA (20pz)	1	\$ 34.80	\$ 34.80
CABLE DUPONT HEMBRA/HEMBRA (20pz)	1	\$ 34.80	\$ 34.80
PUSH BOTTON CLASICO N.A. 2 PINES	1	\$ 6.96	\$ 6.96
POLEA CNC DENTADA Xa MOTOR A PASO 16dientes 5mm	1	\$ 52.20	\$ 52.20
BANDA PARA CNC 6MM GENERICA MODELO GT2 PASO 2MM	1	\$ 51.04	\$ 51.04
<b>*Materiales cotizados en Electrónica 60</b>		Total	\$ 800.40

Tabla 1. Cotizaciones

## MATERIALES

- L298N Módulo de Control de Motor (3 unidades)
  - Estos módulos controlan los motores paso a paso, principales (horizontal, vertical y profundidad) de la máquina CNC.
  - Reciben señales de un microcontrolador (como Arduino o ESP32) y regulan la dirección y velocidad de los motores.
- Se necesitan 3 módulos porque un CNC normalmente tiene tres ejes:
  - X (movimiento lateral)
  - Y (movimiento profundo)
  - Z (movimiento vertical del cabezal o herramienta)
- Motor Paso a Paso Bipolar NEMA17 HS440I (1 unidad)
  - Es el motor que genera el movimiento en la máquina CNC.
  - Los motores paso a paso son ideales para CNC porque permiten movimientos extremadamente precisos.
  - Dependiendo del diseño, se necesitarían más motores si el CNC tiene múltiples ejes motorizados.
- Polea CNC Dentada para Motor a Paso (1 unidad)
  - Se acopla al eje del motor y transfiere su giro a la banda de transmisión, permitiendo el desplazamiento del sistema CNC.
- Banda para CNC 6MM Genérica Modelo GT2 Paso 2MM (1 unidad)
  - Es una banda dentada que se ajusta en la polea y permite que el motor mueva un eje lineal de la máquina CNC con precisión.
  - Se usa para trasladar la plataforma de trabajo o la herramienta de corte.
- Cable Dupont Macho/Macho, Macho/Hembra, Hembra/Hembra (3 paquetes de 20 piezas c/u)
  - Estos cables sirven para conectar el módulo L298N con el microcontrolador, los motores y otros sensores o botones sin necesidad de soldar.
- Push Button Clásico N.A. 2 Pines (1 unidad)

- Puede servir como un botón de encendido/apagado de emergencia o para iniciar la operación de la CNC.
- Es útil para reiniciar el sistema en caso de fallos.

## DESARROLLO (FASE 1)

### Modelado 3D

El software para el modelado 3D fue SolidWorks, se usó para hacer cada pieza contemplando dimensiones generales de 23.7 cm, ancho de 28.7 cm y alto 26.5 cm, como se observa en la Figura 1 y 2 se muestra la vista explosionada de la CNC, teniendo incluso una pequeña lista de los componentes de la estructura del CNC en la Figura 2.

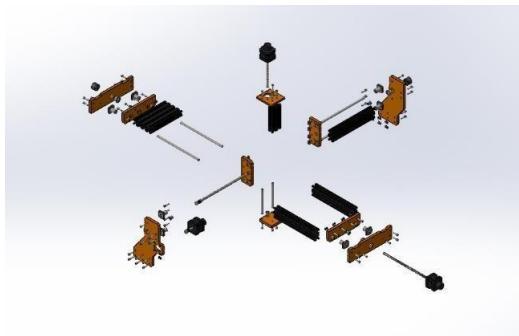


Figura 1. Explosión de la CNC

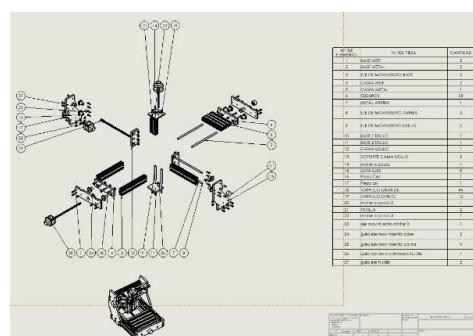


Figura 2. Explosión y planos de la CNC

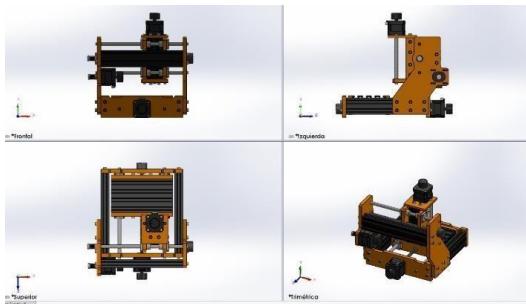


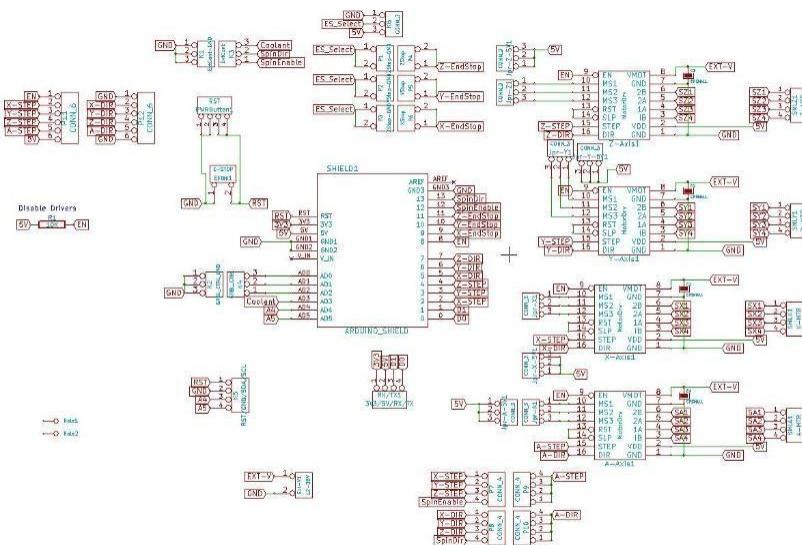
Figura 3. Vista desde diferentes ángulos de la CNC

## Microcontrolador y protoboard

- Funcionamiento General

- El microcontrolador actúa como el núcleo del sistema, procesando las señales de entrada y ejecutando las instrucciones programadas.
- La protoboard permite la interconexión de componentes, facilitando pruebas y modificaciones sin necesidad de soldadura.

Diagrama eléctrico



## Diagrama de conexiones

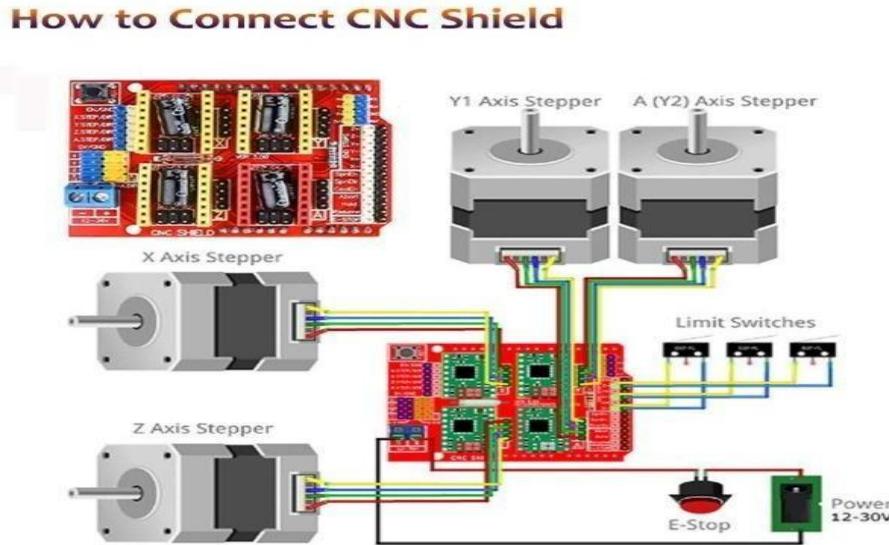


Figura 5. Diagrama de Conexiones

El diagrama de conexiones (Figura 5) representa la forma práctica de cablear y ensamblar todos los elementos físicos de la CNC. A diferencia del esquema puramente eléctrico, aquí se muestra la disposición de cada componente y la manera en que se interconectan los cables, drivers y motores:

- **Shield CNC o Protoboard:** Se aprecian las posiciones de los drivers (L298N, A4988, etc.) y el modo de insertarlos en la shield o la protoboard, especificando qué pines se utilizan para STEP, DIR, ENABLE, entre otros.
- **Motores paso a paso (Ejes Principales):** Cada motor se conecta al driver correspondiente con sus respectivos cables de colores, de modo que se identifique la secuencia de bobinas y el orden correcto de conexión.

Este diagrama facilita la construcción y depuración del prototipo, ya que muestra la distribución física de cada conexión. De este modo, es más sencillo identificar posibles errores de cableado, verificar el orden de los pines y realizar pruebas o ajustes sin confusión.

## Sistema de programación

La programación del microcontrolador se realiza en un entorno de desarrollo compatible (Universal G- Code Sender), donde se carga el firmware que genera las señales de paso (STEP) y dirección (DIR) para controlar los motores. El firmware puede interpretar instrucciones en código G mediante un microcontrolador.

De esta forma, cada motor paso a paso se mueve con la precisión requerida, y el sistema puede ejecutar cortes o grabados con alto nivel de detalle. La lógica de control incluye parámetros como:

- Aceleración y desaceleración: para evitar vibraciones o movimientos bruscos.
- Resolución por paso: definida por la configuración de los drivers y el microcontrolador (“1/16”).
- Secuenciación de ejes: para sincronizar movimientos en horizontal, vertical y profundidad, cuando es necesario un desplazamiento simultáneo.

### Funcionamiento de los 3 motores (3 ejes)

- Ejes Principales (Horizontal, Vertical y Profundidad):

Los ejes de la CNC (altura, anchura y profundidad) se diseñaron tomando en cuenta el área de trabajo necesaria y las dimensiones totales de la máquina. Esto incluye planificar la ruta del cableado para que no interfiera con el desplazamiento de ninguno de los ejes ni comprometa el espacio de mecanizado.

- Funcionamiento asíncrono

Cada motor paso a paso está conectado a un controlador (A4988), y a su vez, dichos drivers reciben las señales de control provenientes de un microcontrolador (Arduino). De esta manera, cada eje puede controlarse de forma individual, definiendo su sentido de giro y número de pasos para lograr la posición deseada.

- Control de motores por eje

La coordinación de los movimientos se logra a través de la programación y la interpretación del código G. Este código indica al microcontrolador cuántos pasos debe avanzar cada eje y a qué velocidad, permitiendo que los motores se muevan de manera sincronizada cuando se requiere un desplazamiento simultáneo. Así, el sistema puede ejecutar cortes, grabados o perforaciones con la precisión y el orden necesarios para una operación eficiente de la CNC.

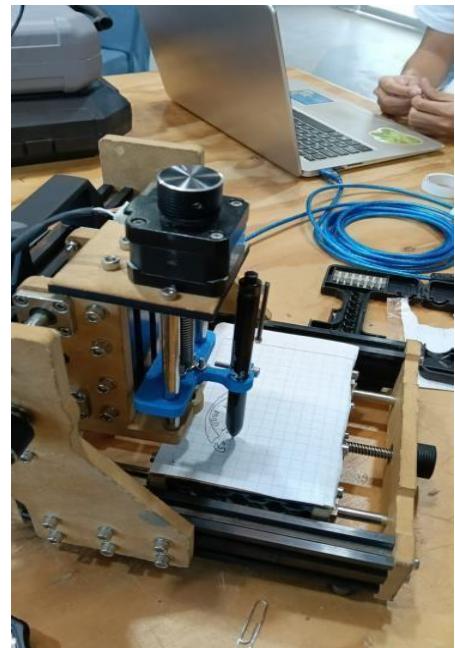
Tras instalarse los motores en la máquina, correspondientes a los tres ejes principales (Horizontal, Vertical y Profundidad) se realizaron pruebas individuales para cada uno. Estas pruebas iniciales permitieron verificar que cada motor operaba correctamente de manera aislada, respondiendo de forma adecuada a las instrucciones enviadas por el sistema de control. Posteriormente, se realizaron pruebas con los tres motores funcionando de manera simultánea, lo cual es fundamental para garantizar la coordinación en los movimientos y la ejecución precisa de trayectorias complejas. Durante esta etapa, se detectó una leve inestabilidad en el sistema, manifestada en forma de vibraciones e imprecisiones en el desplazamiento de los ejes.

Para corregir esta situación, se llevó a cabo un proceso de calibración detallado, ajustando tanto los parámetros de control como la fijación mecánica de los motores y su acoplamiento con los husillos. Gracias a estas acciones, se eliminó la vibración inicial y la máquina mejoró mucho en cuanto a precisión, estabilidad y eficiencia en su operación general.

Este ajuste no solo optimizó el rendimiento del sistema, sino que también incrementó la confiabilidad del equipo para tareas que requieren alta exactitud, como el trazado de figuras y letras mediante código G.



*Figura 6. Demostración con motores apagados encendidos*



*Figura 7. Demostración con motores encendidos*

### Generación código G

El objetivo principal al trabajar con código G es lograr la reproducción precisa del logotipo de la Universidad Modelo utilizando una máquina de control numérico computarizado (CNC). Para alcanzar esta meta, se desarrolló una serie de ejercicios prácticos que permitieron familiarizarnos con la programación en código G, así como con las capacidades y limitaciones de la máquina.

El proceso comenzó con la elaboración de figuras geométricas básicas, como líneas rectas, círculos y triángulos. Estas primeras pruebas nos ayudaron a entender el funcionamiento de los comandos fundamentales y a establecer parámetros de corte adecuados. Una vez dominadas estas formas simples, se incrementó gradualmente el nivel de dificultad incorporando el diseño de letras individuales. Esta etapa fue especialmente importante, ya que muchas de las letras que forman parte del logotipo requieren movimientos más complejos y mayor precisión en la programación.

Además, se realizaron pruebas variando el tamaño de las figuras y las letras, dado que el logotipo combina elementos de diferentes dimensiones. Esta variabilidad permitió comprobar la flexibilidad del sistema y ajustar los parámetros necesarios para mantener la proporción y el detalle en cada diseño.

A lo largo de todo este proceso, la máquina CNC demostró ser capaz de ejecutar correctamente cada uno de los programas desarrollados, cumpliendo con los requisitos de forma, tamaño y trazado establecidos en cada prueba.

Estos resultados nos brindan la confianza necesaria para proceder con el diseño completo del logotipo, sabiendo que contamos con una base sólida en cuanto a programación y operación del equipo.

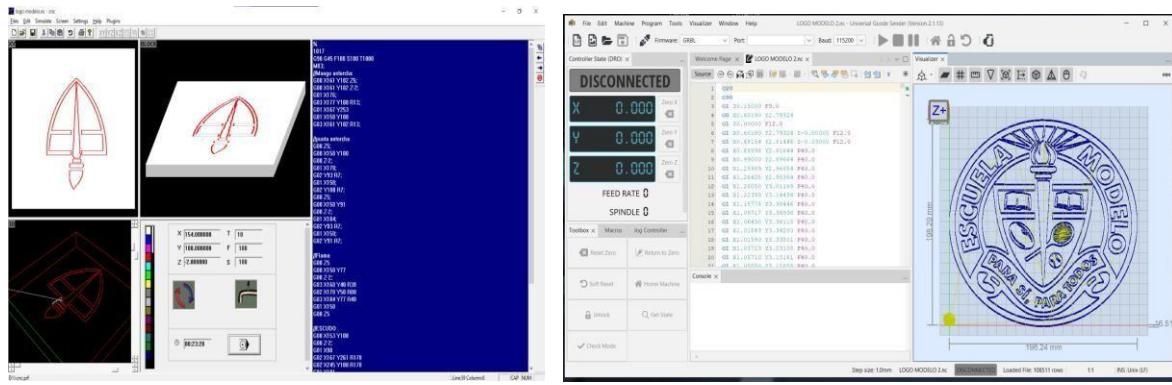


Figura 8. Código durante las pruebas

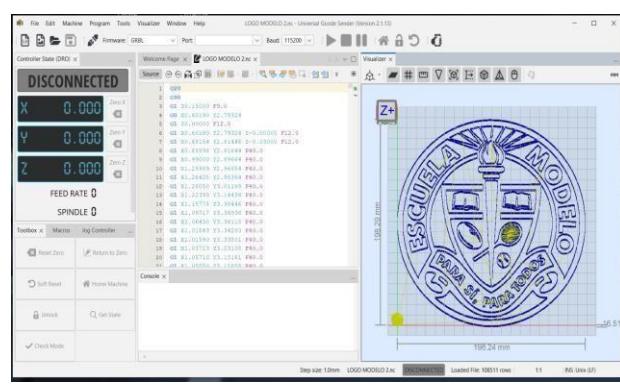


Figura 9. Código con la prueba final

## PONTALÁPIZ COMO LA PRIMERA HERRAMIENTA DE TRABAJO

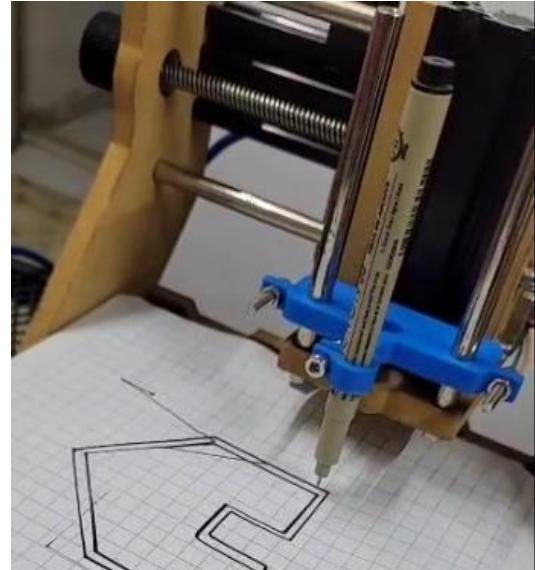
En la primera versión de nuestra máquina CNC, utilizamos un portalápiz como herramienta principal para realizar pruebas y validaciones. Este accesorio fue diseñado para sujetar un lápiz o marcador en el eje Z, permitiendo simular operaciones de corte sin necesidad de herramientas rotativas o materiales que se consumen.

### Diseño y propósito

El portalápiz mecánico Porta Aluno se creó para ser fácilmente desmontable del eje Z y adaptable al movimiento rotacional. Su objetivo era verificar el movimiento coordinado de los tres ejes (X, Y, Z) mediante métodos de dibujo, evaluando la precisión y funcionalidad del sistema junto con el software de control, mientras se evitaba el daño estructural o a los componentes.



*Figura 10. Prototipo con lápiz*



*Figura 11. Prueba de dibujo*

### Razones para la elección inicial

La decisión de elegir un portalápiz como herramienta principal se basa en los siguientes objetivos:

- **Seguridad:** Al usar herramientas que no cortan, se redujo significativamente el riesgo durante las fases de prueba iniciales.
- **Facilidad de uso:** Permite encender la máquina con poco o ningún esfuerzo adicional por parte del sistema.
- **Efectividad de las pruebas:** Se puede demostrar el resultado espacialmente sin necesidad de borrar físicamente o desgastar materiales.
- **Reducción de costos en la etapa de prueba:** El uso de un lápiz como herramienta inicial permitió realizar múltiples pruebas sin incurrir en gastos significativos de materiales, energía o desgaste de herramientas de corte. Esto facilitó iteraciones rápidas y económicas durante el proceso de calibración y ajuste de la CNC.
- **Facilidad para detectar errores:** Los trazos con lápiz permiten identificar rápidamente fallas en la calibración, movimientos irregulares o errores en el código G, sin poner en riesgo componentes de valor.

## Transición hacia una herramienta rotativa (dremel)

Después de comprobar la precisión y el control de la máquina CNC usando el portalápiz, dimos un paso crucial en el desarrollo del proyecto: la incorporación de una herramienta rotativa tipo Dremel. Esta transición marcó el cambio de un sistema de pruebas a una máquina funcional capaz de llevar a cabo operaciones reales de manufactura. La elección del Dremel se basó en varias ventajas importantes:

- **Versatilidad:** El Dremel es una herramienta compacta y multifuncional que permite realizar cortes, grabados, fresados y lijados en una variedad de materiales como madera, acrílico, MDF y algunos plásticos, lo que amplía considerablemente las capacidades de la CNC.
- **Fácil integración mecánica:** Su diseño cilíndrico y ligero facilita el montaje en el eje Z de la máquina sin comprometer su estructura. Se diseñó un soporte específico para asegurar el Dremel firmemente, garantizando estabilidad durante las operaciones.
- **Disponibilidad y bajo costo:** En comparación con otros husillos profesionales, el Dremel es una opción económica y fácilmente accesible, ideal para prototipos y desarrollos con presupuesto limitado.
- **Ajuste de velocidad:** La capacidad de regular la velocidad de rotación permite adaptar el corte a diferentes materiales, minimizando el riesgo de sobrecalentamiento o errores durante el fresado.

Antes de usar el Dremel de manera definitiva, se realizaron ajustes en la estructura del eje Z para asegurar su rigidez, se probaron diferentes velocidades de avance y se verificó el comportamiento térmico del sistema. También se modificaron los parámetros del software de control para adaptarse a las nuevas condiciones de trabajo, incluyendo la altura inicial del eje Z y la compensación por la longitud de la herramienta. Esta fase marcó el comienzo de las pruebas reales de mecanizado, permitiendo comprobar que los movimientos validados con el lápiz se traducían correctamente en cortes precisos sobre materiales reales.

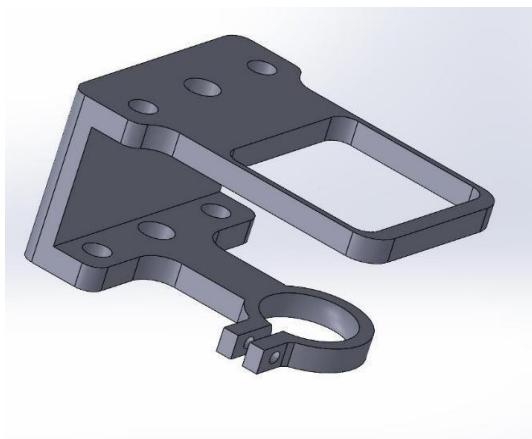


Figura 12. Diseño del portalápiz en SolidWorks.

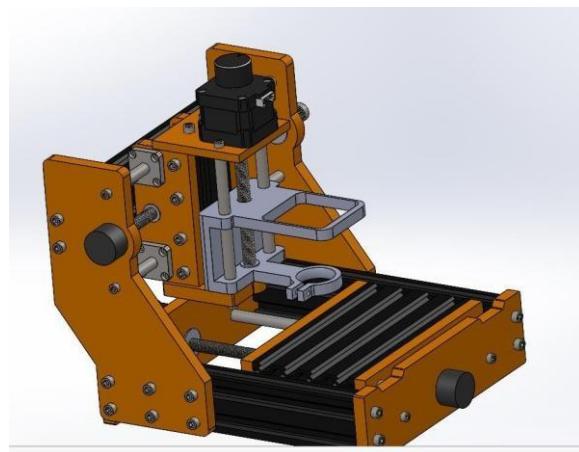


Figura 13. CNC con el diseño montado.

## REGISTRO Y GESTIÓN DE ACTIVIDADES EN JIRA

Para organizar, planificar y hacer seguimiento a las tareas del proyecto CNC, se utilizó la plataforma Jira, que permitió trabajar con una metodología ágil tipo SCRUM. En particular, se aprovechó la vista de calendario para tener una clara visualización de la distribución temporal de las actividades clave durante abril de 2025.

### Estructura del calendario

El calendario de Jira ofrece una vista mensual con las siguientes características: Tareas y eventos programados: Cada actividad se muestra en su día correspondiente, lo que permite ver de manera clara los hitos y entregas semanales.

Actividades etiquetadas como SCRUM: Algunas tareas, como "SCRUM-19: Creación de código G" o "SCRUM-24: Adaptación de sujetadores a la mesa de trabajo", están marcadas con etiquetas SCRUM, lo que facilita su seguimiento dentro del flujo ágil.

Lista										
	Tipo	# Clave	Resumen	Estado	Comentarios	Sprint	Persona asignada	Fecha de vencimt...	Etiquetas	Created
		SCRUM-1	Modelado 3D	FINALIZADA	② Añadir comentario	③ proyecto de CNC	④ René Miguel Castro Aviles	27 mar 2025	26 mar 2025	
		SCRUM-2	Documento	FINALIZADA	② Añadir comentario	③ proyecto de CNC	⑤ 13197329	27 mar 2025	26 mar 2025	
		SCRUM-3	Microcontrolador con protoboard	FINALIZADA	② Añadir comentario	③ proyecto de CNC	⑥ 13210674	27 mar 2025	26 mar 2025	
		SCRUM-4	Funcionamiento de los 3 motores principales	FINALIZADA	② Añadir comentario	③ proyecto de CNC	⑦ 13210259	27 mar 2025	26 mar 2025	
		SCRUM-12	pruebas obtenidas	FINALIZADA	② Añadir comentario	③ proyecto de CNC	⑧ 13210259	27 mar 2025	26 mar 2025	
		SCRUM-13	Actualización de CNC	EN CURSO	② Añadir comentario	③ proyecto de CNC 2 parcial	⑨ 13210259	7 abr 2025	7 abr 2025	
		SCRUM-15	Cotizaciones	EN CURSO	② Añadir comentario	③ proyecto de CNC 2 parcial	⑩ 13210259	7 abr 2025	7 abr 2025	
		SCRUM-14	Creación de Código G CNC Simulator	FINALIZADA	② Añadir comentario	③ proyecto de CNC 2 parcial	⑪ 13210259	7 abr 2025	7 abr 2025	
		SCRUM-16	Integración de Nuevos Elementos para la CNC	EN CURSO	② Añadir comentario	③ proyecto de CNC 2 parcial	⑫ Ricardo Niño López	7 abr 2025	7 abr 2025	
		SCRUM-20	Reunión para dialogar la creación del código	FINALIZADA	② Añadir comentario	③ proyecto de CNC 2 parcial	⑬ 13210259	12 abr 2025	28 abr 2025	
		SCRUM-19	Creación de código G	FINALIZADA	② Añadir comentario	③ proyecto de CNC 2 parcial	⑭ 13210674	18 abr 2025	28 abr 2025	
		SCRUM-23	Verificación de código antes de ingresar al programa	FINALIZADA	② Añadir comentario	③ proyecto de CNC 2 parcial	⑮ 13210674	19 abr 2025	28 abr 2025	
		SCRUM-22	Probar el código en el programa	FINALIZADA	② Añadir comentario	③ proyecto de CNC 2 parcial	⑯ 13210674	24 abr 2025	28 abr 2025	
		SCRUM-21	Reunión para inspección del código	FINALIZADA	② Añadir comentario	③ proyecto de CNC 2 parcial	⑰ 13210829	25 abr 2025	28 abr 2025	
		SCRUM-24	Adaptación de sujetadores para la mesa de trabajo	EN CURSO	② Añadir comentario	③ proyecto de CNC 2 parcial	⑱ 13210259	2 may 2025	28 abr 2025	

Figura 14. Lista de actividades

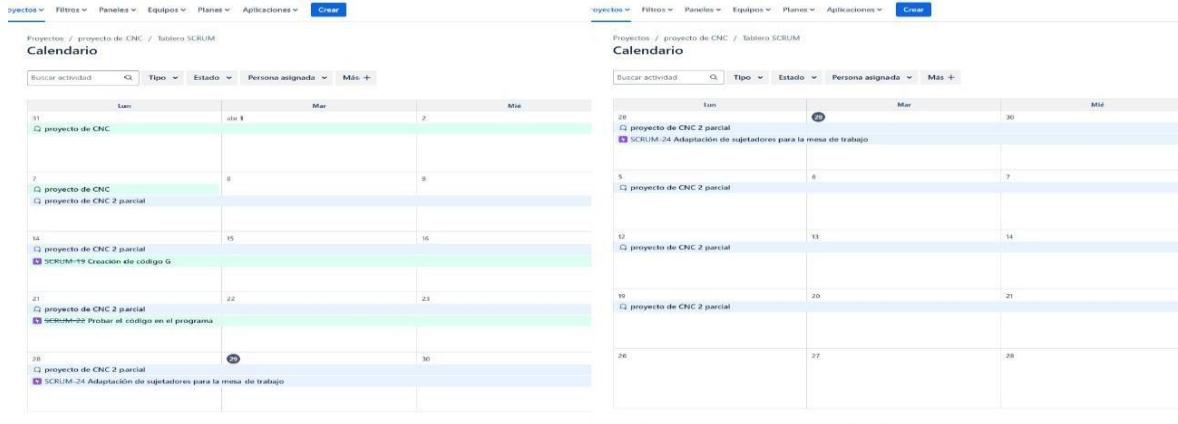


Figura 15. Calendario de actividades

Tarea	Estado	Prioridad
pruebas obtenidas	FINALIZADA	AV
Actualización de CNC	EN CURSO	RL
Cotizaciones	EN CURSO	RL
Creación de Código G CNC Simulator	FINALIZADA	RA
Integración de Nuevos Elementos para la CNC	EN CURSO	RL

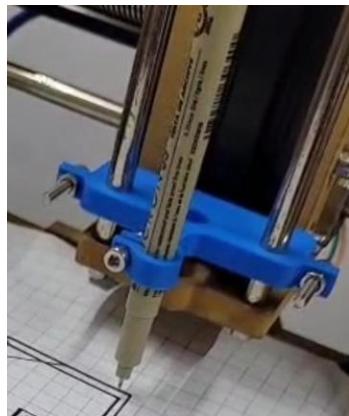
Figura 16. Lista Backlog

## RESULTADOS INTERMEDIOS

Al cierre del “Sprint 2” el proyecto lleva un avance del 90% con respecto a la CNC física. Se analizaron varias opciones quedando 2 como finalistas para el trazo de la CNC;

- Marcador
- Dremel

Escogidos por su simpleza, precisión y potencial, la elección bajó el marcador y se fabricó una base para el movimiento sobre el Eje Z, aprovechando la estructura de tornillo sin fin que utiliza la CNC, como se presenta en la Figura 17.



*Figura 17. Base con marcador*

Se cuenta con un código que ya funciona al 100% y realiza su tarea en 2 minutos con 45 segundos. Su objetivo es plasmar el logo de la Universidad Modelo sobre cualquier superficie. Se hicieron pruebas en una placa delgada de MDF, pero hubo problemas porque el marcador y la placa se deslizan debido a la vibración, el movimiento y la presión. Esto afecta la calidad del trazo, por lo que se debe mejorar la base (cama) y el soporte del marcador para lograr un trazo más firme.

## ETAPA 2

### Objetivo

Adaptar y ensamblar todos los componentes electrónicos y mecánicos previamente probados en una nueva estructura CNC de mayor tamaño, con el propósito de solucionar las limitaciones espaciales detectadas en la fase anterior y permitir el mecanizado completo de circuitos eléctricos sobre placas fenólicas utilizando una herramienta rotativa tipo Dremel.

### Desarrollo

Durante la segunda etapa del proyecto, se identificó que la CNC previamente usada presentaba múltiples problemas de espacio al momento de realizar gráficos complejos o de gran tamaño. Las dimensiones reducidas de la máquina dificultaban el desplazamiento completo de los ejes, generando imprecisiones y errores de ejecución. Ante este problema, se decidió migrar el proyecto a una estructura CNC de mayor dimensión, lo que representó una mejora significativa en el área útil de trabajo y en la confiabilidad del sistema.

Para esta transición, se desinstalaron todos los componentes del sistema anterior: motores paso a paso, drivers, fuente de alimentación, microcontrolador, cableado, guías y sujetadores. Una vez montados sobre la nueva base, se realizó un proceso de verificación para asegurar que no existieran interferencias ni desalineaciones mecánicas en el nuevo ensamble.

Se llevaron a cabo pruebas iniciales en vacío y desplazamientos simples en los tres ejes (X, Y y Z), corroborando la estabilidad del sistema, el buen funcionamiento de los drivers y la correcta interpretación de los comandos G-code. Posteriormente, se realizaron pruebas con trazos de figuras básicas para confirmar la mejora en precisión y cobertura del área de trabajo. Gracias al nuevo diseño, los problemas de espacio y desplazamiento quedaron eliminados. Ahora, la CNC puede ejecutar de forma continua trayectorias más grandes, lo que habilita el desarrollo de circuitos más amplios y complejos, como los que se graban sobre placas fenólicas.



Figura 18. CNC de vista lateral

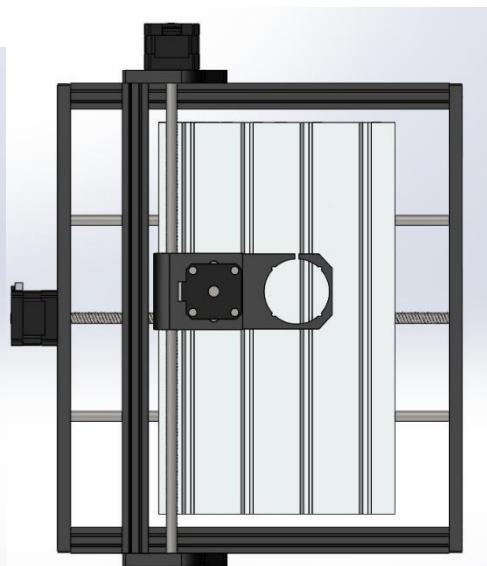


Figura 19. CNC de vista desde arriba

## IMPLEMENTACIÓN DEL PORTA DREMEL

Con la migración a una estructura más robusta y estable, fue posible instalar una herramienta rotativa tipo Dremel como sustituto definitivo del portalápiz usado en etapas anteriores. El portadremel fue diseñado específicamente para el nuevo eje Z, tomando en cuenta el mayor peso y las vibraciones producidas por la herramienta rotativa en funcionamiento.



Figura 20. Soporte del dremel

### Ventajas operativas del porta dremel

- **Precisión en grabado de circuitos eléctricos:** La alta velocidad de rotación del Dremel permite realizar cortes finos y detallados en placas fenólicas, reproduciendo correctamente trazos de pistas y pads sin desbordes.
- **Versatilidad de uso:** Se pueden intercambiar fácilmente fresas de diferentes diámetros, lo que permite adaptarse a diversos requerimientos de profundidad y detalle.

- **Control de velocidad:** Se ajustó el software de control para tener en cuenta los parámetros del Dremel, como la velocidad ideal de rotación y la altura inicial respecto a la superficie.
- **Reducción de vibración:** Con la mejora de la estructura mecánica, las vibraciones generadas por la herramienta fueron absorbidas de manera efectiva, evitando errores de trazado.

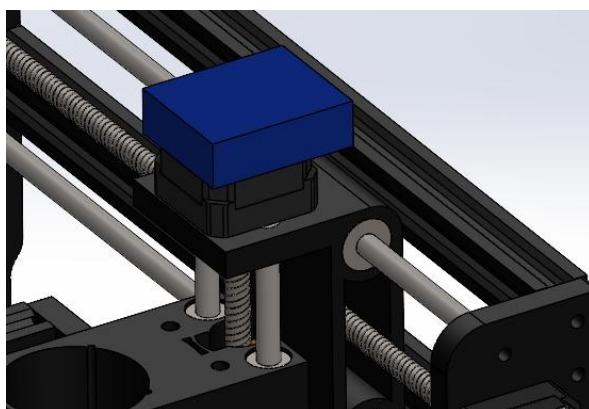
## PRUEBAS FINALES

Con el portadremel instalado, se ejecutaron pruebas sobre placas fenólicas recubiertas con cobre. El diseño del circuito fue generado en software especializado y convertido a G-code. El resultado final mostró trazos limpios, cortes bien definidos y una alta precisión en las dimensiones del circuito, validando así la funcionalidad de la nueva configuración de la CNC.

### Diseño de piezas

Se diseñaron algunas piezas para mejorar el desempeño de la CNC, por ejemplo:

- I. **Cubierta de motor:** Se llevará a cabo la instalación de una cubierta en el motor con el objetivo de prevenir posibles fallas operativas. Actualmente, se ha detectado la presencia de un falso contacto en el sistema interno, el cual, debido a las vibraciones generadas durante el funcionamiento del motor, ocasiona fallos intermitentes que afectan el rendimiento y la confiabilidad del equipo. La colocación de esta cubierta permitirá asegurar los componentes internos, reducir el impacto de las vibraciones y, en consecuencia, eliminar la recurrencia de dichas fallas. Esta acción forma parte de una medida preventiva orientada a garantizar la estabilidad del sistema, mejorar su funcionamiento y prolongar la vida útil del motor.



*Figura 21. Cubierta de motor digital*



*Figura 22. Cubierta de motor física*

- II. **Base para placa fenólica.** Se diseñará y fabricará una base específica para la placa fenólica que se utilizará en el proyecto final. Dado que dicho

proyecto consistirá en la construcción y ensamblaje de un circuito eléctrico, esta base cumplirá la función de proporcionar un soporte firme y estable, permitiendo fijar adecuadamente la placa fenólica durante el desarrollo y la operación del circuito. La implementación de esta base no solo facilitará el montaje y la manipulación de los componentes, sino que también contribuirá a mejorar la seguridad, precisión y durabilidad del ensamblaje final. Esta solución estructural ha sido considerada como parte fundamental para asegurar la calidad y el correcto funcionamiento del proyecto eléctrico.

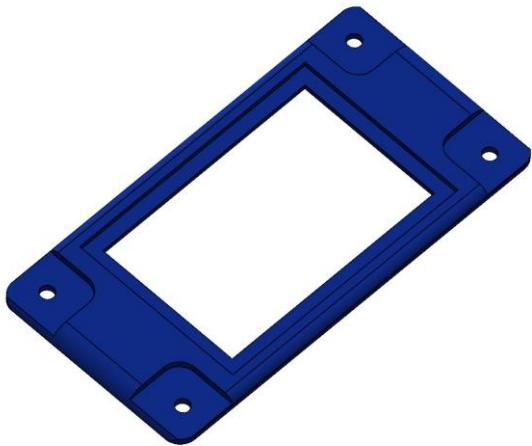


Figura 23. Base de placa fenólica digital

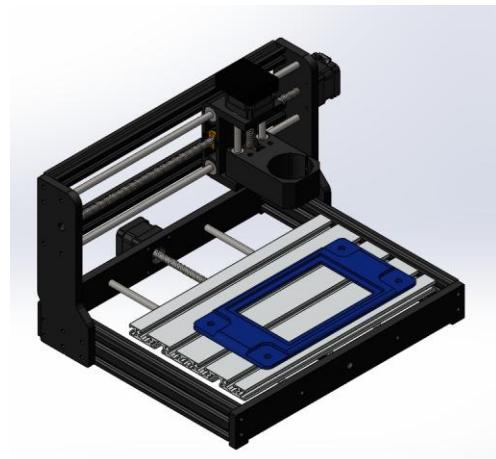


Figura 24. Visualización de la placa fenólica



Figura 25. Base de placa fenólica física

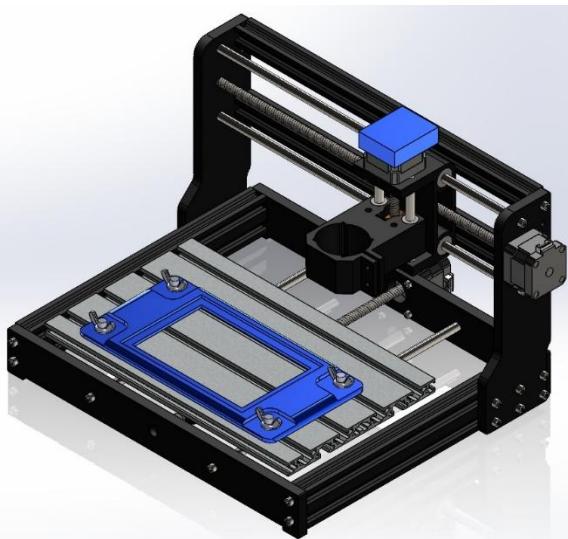


Figura 26. Diseño final de la CNC

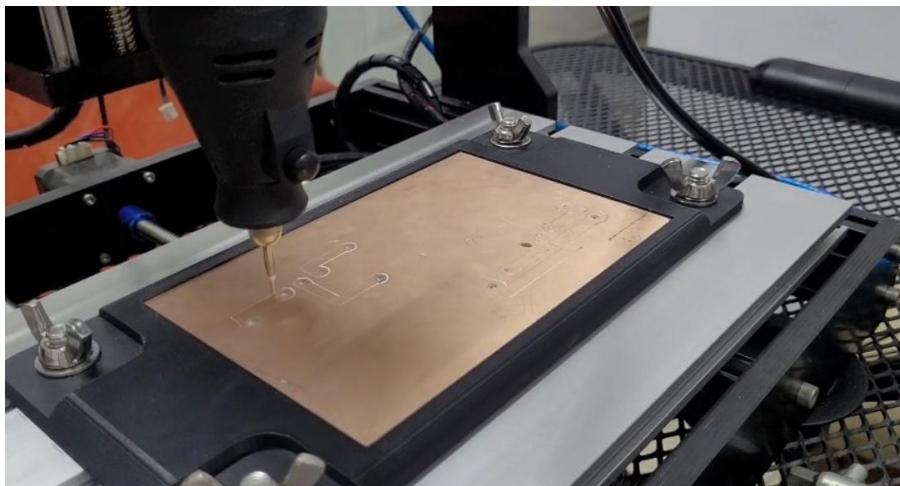


Figura 27. CNC trabajando

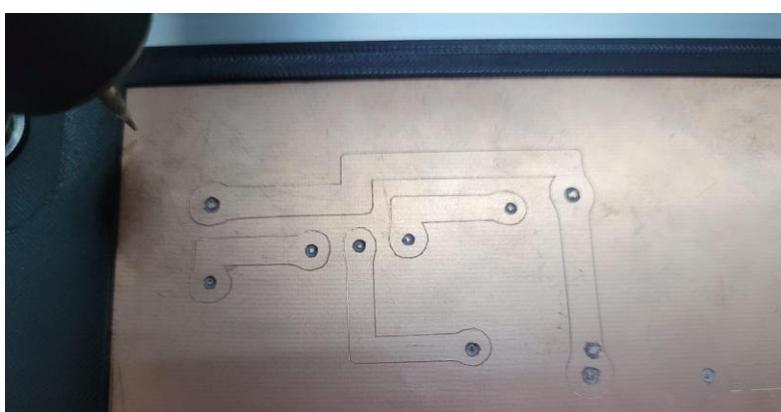


Figura 28. Resultado final