



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

## **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

### **CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA**

#### **PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE IMPRESIÓN DE PCB PARA  
CIRCUITOS ELECTRÓNICOS EN PLACA FENÓLICA CON CONTROL  
NUMÉRICO COMPUTARIZADO CNC PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA  
ELECTROMECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingenieros en  
Electromecánica

#### **Autores:**

Pachacama Tipan Cristian David

Toapanta Herrera Denis Mauricio

#### **Tutor:**

Ing. Ms.C. Freire Andrade Verónica Paulina

Latacunga – Ecuador

Marzo 2021



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi



Ingeniería  
Electromecánica

## DECLARACIÓN DE AUTORIA

Nosotros, Pachacama Tipan Cristian David y Toapanta Herrera Denis Mauricio declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE IMPRESIÓN DE PCB PARA CIRCUITOS ELECTRÓNICOS EN PLACA FENÓLICA CON CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO CNC PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, siendo la Ing. Ms.C. Freire Andrade Verónica Paulina tutora del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, marzo 2021

---

Pachacama Tipan Cristian David

C.I. 172297509-9

---

Toapanta Herrera Denis Mauricio

C.I. 172404322-7

## **AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN**

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE IMPRESIÓN DE PCB PARA CIRCUITOS ELECTRÓNICOS EN PLACA FENÓLICA CON CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO CNC PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, de los ponentes: Pachacama Tipan Cristian David, Toapanta Herrera Denis Mauricio, de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científicos-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, marzo 2021

---

Ing. Ms.C. Freire Andrade Verónica Paulina

C.I. 050205622-9

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: Pachacama Tipan Cristian David, Toapanta Herrera Denis Mauricio con el título de Proyecto de Titulación:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE IMPRESIÓN DE PCB PARA CIRCUITOS ELECTRÓNICOS EN PLACA FENÓLICA CON CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO CNC PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometidos al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, marzo 2021

---

**Lector 1 (Presidente)**

Ing. Corrales Bastidas Byron Paul

C.I. 050234776-8

---

**Lector 2**

Ing. Moreano Martínez Edwin Homero

C.I. 050260750-0

---

**Lector 3**

Ing. Cruz Panchi Luis Rolando

C.I. 050259517-6

## AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a Dios por permitirme cumplir un propósito más en mi vida, segundo a mis padres, quienes con esfuerzo, paciencia y amor me apoyaron en todo este largo camino.

De igual manera a mi hermana, novia y cuñado, que han sido un apoyo incondicional en los momentos buenos y malos.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi por abrirme sus puertas y haberme brindado la oportunidad de prepararme profesionalmente.

Mi agradecimiento sincero a mi tutora de tesis, la Ing. Ms.C. Verónica Freire, quien con su apoyo profesional me impartió consejos y nos guio en todo el transcurso como estudiantes y a su vez en la realización del proyecto de titulación.

A todos los anteriormente mencionados, mi más grande respeto y admiración.

Cristian David

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres y hermanos por el apoyo incondicional a lo largo del transcurso de mi vida, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un propósito más, gracias por los valores y principios compartidos.

A mi novia y amigos más cercanos que han sido un apoyo esencial en momentos de flaqueza, durante todo este proceso de formación.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi por abrirme sus puertas y permitirme adquirir conocimientos a través de cada uno de quienes conforman la misma.

Mi agradecimiento afectuoso y sincero a mi tutor de tesis Ing. Ms.C. Freire Andrade Verónica Paulina por su excelencia como docente, y por guiarme en todo el transcurso de este proyecto, brindándome un soporte significativo con sus conocimientos y consejos que me servirán a lo largo de mi vida profesional.

A quienes mencione anteriormente mi eterno respeto, consideración y gratitud.

Denis Mauricio



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi



Ingeniería  
Electromecánica

## DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación lo dedico especialmente a mis padres que, por voluntad, esfuerzo y sacrificio al brindarme la oportunidad de ser un profesional, a mi hermana, novia y cuñado, quienes siempre han estado en el momento cuando yo más los necesite, gracias por todos los favores brindados ya que me apoyaron abiertamente sin esperar nada a cambio.

Cristian David



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi



Ingeniería  
Electromecánica

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación especialmente a mis padres quienes han dedicado toda su vida para permitirme desarrollar como persona y como profesional, también a mis hermanos por apoyarme y compartir momentos que han ayudado a forjar mi carácter y personalidad, cada uno de ellos han estado siempre presentes tanto en los buenos como en los malos momentos, por eso merecen este pequeño reconocimiento.

Denis Mauricio

## ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORIA .....	i
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN .....	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
DEDICATORIA.....	vi
ÍNDICE GENERAL .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xv
RESUMEN .....	xvii
ABSTRACT .....	xviii
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xix
1. INFORMACIÓN BÁSICA.....	1
2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA .....	2
2.1. Título de la propuesta tecnológica .....	2
2.2. Tipo de alcance .....	2
2.3. Área del conocimiento .....	2
2.4. Sinopsis de la propuesta tecnológica .....	2
2.5. Objeto de estudio y campo de acción .....	3
2.5.1. Objeto de estudio .....	3
2.5.2. Campo de acción .....	3
2.5.3. Beneficiarios.....	4
2.6. SITUACIÓN PROBLÉMICA Y PROBLEMA.....	4
2.6.1. Situación problemática .....	4
2.6.2. Problema.....	5
2.7. HIPÓTESIS O FORMULACIÓN DE PREGUNTAS DIRECTRICES.....	5
2.8. OBJETIVOS .....	5
2.8.1. Objetivo general .....	5
2.8.2. Objetivos específicos.....	6
2.9. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS.....	7

2.9.1.	Tareas por objetivos.....	7
2.9.2.	Matriz de operacionalización de variables .....	8
3.	MARCO TEÓRICO .....	9
3.1.	Antecedentes .....	9
3.2.	Sistema de impresión de PCB con tecnología CNC .....	10
3.2.1.	Printed Circuit Board (PCB).....	10
3.2.1.1.	Funcionalidad de una PCB.....	10
3.2.2.	Control Numérico Computarizado (CNC) .....	10
3.2.2.1.	Funcionalidad del CNC.....	11
3.2.3.	Archivos Gerber .....	11
3.2.3.1.	Evolución de archivos GERBER .....	12
3.2.4.	Códigos “G-code” .....	12
3.2.4.1.	Bloque de instrucciones en control numérico .....	13
3.3.	Componentes de un sistema de impresión de PCB para circuitos electrónicos con control numérico computarizado (CNC).....	14
3.3.1.	Sistema mecánico .....	14
3.3.1.1.	Área de trabajo .....	15
3.3.1.2.	Velocidad de corte.....	16
3.3.1.3.	Velocidad de avance.....	17
3.3.1.4.	Sección de viruta .....	17
3.3.1.5.	Volumen admisible de viruta .....	18
3.3.1.6.	Fuerza de corte .....	18
3.3.1.7.	Potencia neta .....	19
3.3.1.8.	Fuerza o empuje de la máquina herramienta.....	20
3.3.2.	Sistema de transmisión .....	21
3.3.2.1.	Fuerza resultante para los ejes X, Y, Z .....	21
3.3.2.2.	Fuerza para mover la carga de los ejes X, Y, Z .....	22
3.3.2.3.	Torque para la carga de los ejes X, Y, Z.....	22
3.3.3.	Sistema electrónico.....	23
3.3.3.1.	Actuadores.....	23
3.3.3.2.	Controlador.....	25
3.3.3.3.	Software CAD/CAM.....	26

3.3.4.	Sistema eléctrico.....	28
3.3.4.1.	Alimentación.....	28
3.3.4.2.	Máquina herramienta.....	29
3.3.5.	Sistema estructural.....	30
3.3.5.1.	Modelado estructural.....	30
3.3.5.2.	Material de la estructura.....	31
3.3.5.3.	Componentes estructurales ejes X, Y, Z.....	32
3.4.	Tiempo de fresado y perforado en placa.....	33
3.4.1.	Ancho del conductor.....	33
3.4.2.	Distancia entre conductores.....	33
3.4.3.	Diámetro de los orificios.....	34
3.4.4.	Espesor de la placa.....	34
4.	METODOLOGÍA.....	35
4.1.	Diseño del sistema mecánico.....	36
4.1.1.	Parámetros del área de trabajo.....	36
4.1.1.1.	Consideraciones de diseño.....	36
4.1.1.2.	Cálculo de la velocidad de corte.....	38
4.1.1.3.	Cálculo del avance por diente.....	39
4.1.1.4.	Cálculo de la velocidad de avance.....	39
4.1.1.5.	Cálculo de la sección de viruta.....	40
4.1.1.6.	Cálculo del volumen de viruta.....	41
4.1.1.7.	Cálculo de la fuerza de corte.....	41
4.1.1.8.	Cálculo de la potencia neta.....	42
4.1.1.9.	Cálculo de la fuerza o empuje de la máquina herramienta.....	44
4.2.	Diseño del sistema de transmisión.....	47
4.2.1.	Cálculo de la fuerza producida por los ejes X, Y, Z.....	47
4.2.2.	Cálculo de la fuerza para mover la carga de los ejes X, Y, Z.....	47
4.2.3.	Cálculo del torque para la carga de los ejes X, Y, Z.....	48
4.3.	Diseño del sistema electrónico.....	49
4.3.1.	Selección de actuadores.....	49
4.3.2.	Selección del controlador.....	50
4.3.2.1.	Diagrama de ensamble Arduino, CNC Shield, Driver A4988.....	51

4.3.2.2.	Diagrama de ensamble del sistema de control CNC .....	51
4.3.2.3.	Detalles de conexión entre el Arduino UNO, CNC Shield y Driver A4988....	52
4.3.3.	Selección del software CAD/CAM .....	54
4.3.3.1.	Diagrama de bloques del sistema de impresión CNC .....	56
4.3.3.2.	Diagrama de flujo para el desbaste, perforado y corte del PCB .....	57
4.4.	Diseño del sistema eléctrico.....	58
4.4.1.	Selección de la fuente de alimentación.....	58
4.4.2.	Selección de la máquina herramienta .....	59
4.5.	Diseño del sistema estructural .....	59
4.5.1.	Modelado CAD de la máquina CNC.....	60
4.5.2.	Selección del material para la estructura .....	62
4.5.2.1.	Resistencia del material.....	62
4.5.2.2.	Propiedades mecánicas.....	63
4.5.2.3.	Propiedades térmicas.....	63
4.5.2.4.	Propiedades eléctricas .....	64
4.5.3.	Componentes estructurales ejes X, Y, Z.....	65
4.5.3.1.	Diseño del sistema estructural vertical eje Z.....	65
4.5.3.2.	Diseño del sistema estructural horizontal eje X .....	70
4.5.3.3.	Diseño del sistema estructural horizontal eje Y .....	76
4.5.3.4.	Selección el tornillo de potencia de los ejes X, Y, Z. ....	81
4.5.4.	Tiempo de manufactura .....	82
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	84
5.1.	Dimensionamiento de la mesa de trabajo .....	84
5.2.	Parámetros para la movilidad de los ejes.....	84
5.3.	Montaje de la estructura.....	85
5.3.1.	Detalles de montaje de los ejes de desplazamiento .....	86
5.4.	Conexión del sistema de control .....	87
5.5.	Prueba de mecanizado.....	88
5.6.	Alcance de la propuesta tecnológica.....	89
5.7.	Validación con circuito 555 ASTABLE .....	89
5.7.1.1.	Ancho de las pistas.....	90
5.7.1.2.	Diámetro de orificios.....	91

5.7.1.3.	Validación del tiempo de manufactura en un circuito 555 ASTABLE.....	92
6.	PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS.....	93
6.1.	Costo de materiales y software .....	93
6.2.	Costos de ingeniería.....	94
6.2.1.	Gastos directos.....	95
6.2.2.	Gastos indirectos.....	95
6.2.3.	Gasto total.....	95
6.3.	Análisis de impactos .....	95
6.3.1.	Impacto económico.....	95
6.3.1.1.	Análisis económico de la propuesta tecnológica.....	96
6.3.2.	Impacto ambiental .....	96
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	98
7.1.	CONCLUSIONES .....	98
7.2.	RECOMENDACIONES.....	99
8.	REFERENCIAS .....	100
9.	ANEXOS.....	105

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Diagrama de Ishikawa.....	5
Figura 3.1. Formato de un bloque de programación CNC. ....	14
Figura 3.2. Tecnología de orificio pasante. ....	15
Figura 3.3. Tecnología de montaje superficial. ....	16
Figura 3.4. Motor paso a paso. ....	23
Figura 3.5. Motor DC. ....	24
Figura 3.6. Servomotor. ....	24
Figura 3.7. Arduino UNO. ....	25
Figura 3.8. Shield CNC. ....	26
Figura 3.9. Driver A4988. ....	26
Figura 3.10. OpenCNC Pilot. ....	27
Figura 3.11. Universal gcode sender. ....	27
Figura 3.12. grblControl. ....	28
Figura 3.13. Fuente lineal. ....	28
Figura 3.14. Motortool (DREMEL). ....	29
Figura 3.15. MDF. ....	31
Figura 3.16. Planchas de acrílico.....	31
Figura 3.17. Ancho del conductor. ....	33
Figura 3.18. Distancia entre conductores. ....	34
Figura 3.19. Orificios en una PCB. ....	34
Figura 3.20. Espesor de la placa. ....	34
Figura 4.2. Diagrama de conexión física Arduino, CNC Shield, Driver A4988.....	51
Figura 4.3. Diagrama de conexión física del sistema de control CNC.....	51
Figura 4.4. Firmware grbl en interfaz IDE Arduino.....	52
Figura 4.5. Conexiones del driver A4988.....	54
Figura 4.6. Diagrama de bloques del sistema de impresión CNC.....	56
Figura 4.7. Diagrama de flujo del proceso de manufactura de PCB. ....	57
Figura 4.8. Traslación vertical con carga eje Z. ....	65
Figura 4.9. Diagrama de cuerpo libre eje Z. ....	67
Figura 4.10. Traslación horizontal con carga eje X.....	71
Figura 4.11. Diagrama de cuerpo libre eje X. ....	73

Figura 4.12. Traslación horizontal con carga eje Y.....	76
Figura 4.13. Diagrama de cuerpo libre eje X. ....	78
Figura 4.14. Tiempo estimado para desbaste. ....	82
Figura 4.15. Tiempo estimado para perforado. ....	82
Figura 4.16. Tiempo estimado para corte del borde. ....	83
Figura 5.1. Medidas exactas de la mesa de trabajo. ....	84
Figura 5.2. Máquina CNC con mesa móvil y puente fijo.....	85
Figura 5.3. Soportes y bases estructurales. ....	85
Figura 5.4. Montaje de la estructura. ....	86
Figura 5.5. Diagrama de conexión del sistema de impresión. ....	87
Figura 5.6. Instalación eléctrica y electrónica. ....	88
Figura 5.7. Circunferencia en software. ....	88
Figura 5.8. Medición de la circunferencia mecanizada. ....	89
Figura 5.9. 555 ASTABLE en funcionamiento.....	90
Figura 5.10. Diagrama y archivo Gerber del 555 Astable.....	90
Figura 5.11. Medición del ancho de pista.....	91
Figura 5.12. Orificios para montaje de componentes del 555 ASTABLE. ....	92

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Tareas por objetivos. ....	7
Tabla 2.2. Matriz de operacionalización de variables dependientes e independientes.....	8
Tabla 3.1. Instrucciones generales de una CNC.....	13
Tabla 3.2. Componentes principales de una CNC.....	32
Tabla 4.1. Área de trabajo. ....	36
Tabla 4.2. Matriz de selección para la estructura en base al área de trabajo.....	37
Tabla 4.3. Velocidad de corte $mmin$ . ....	38
Tabla 4.4. Velocidad de avance por diente.....	39
Tabla 4.5. Normalización de las profundidades de corte o fresado.....	40
Tabla 4.6. Presión específica de corte o fresado.....	42
Tabla 4.7. Cantidad admisible de viruta $V' cm3KW$ .....	44
Tabla 4.8. Factores de material de trabajo $Kd$ . ....	45
Tabla 4.9. Factor de avance $Ff$ . ....	45
Tabla 4.10. Factor de punta de fresa para torque y empuje.....	45
Tabla 4.11. Factor de empuje $FT$ . ....	46
Tabla 4.12. Factores de desgaste de la herramienta, $W$ .....	46
Tabla 4.13. Peso de cada eje en la máquina CNC. ....	47
Tabla 4.14. Fuerza – Peso.....	47
Tabla 4.15. Fuerza para mover la carga.....	48
Tabla 4.16. Torque para mover la carga en cada eje. ....	48
Tabla 4.17. Matriz de selección para el actuador (motor).....	50
Tabla 4.18. Conexión mediante pines. ....	53
Tabla 4.19. Configuración del driver A4988.....	53
Tabla 4.20. Matriz de selección para el software CAD/CAM.....	55
Tabla 4.21. Matriz de selección para la fuente de alimentación.....	58
Tabla 4.22. Piezas modeladas en software SolidWorks. ....	60
Tabla 4.23. Matriz de selección “Material de la estructura”, resistencia del material. ....	63
Tabla 4.24. Matriz de selección “Material de la estructura”, propiedades mecánicas. ....	63
Tabla 4.25. Matriz de selección “Material de la estructura”, propiedades térmicas. ....	64
Tabla 4.26. Matriz de selección “Material de la estructura”, propiedades eléctricas. ....	64
Tabla 4.27. Valores estándar de rodamientos lineales SKF. ....	69

Tabla 4.28. Tuercas de potencia THSL. ....	81
Tabla 4.29. Tiempos en procesos de manufactura.....	83
Tabla 5.1. Detalles de montaje de los ejes.....	86
Tabla 5.2. Anchos de pista habituales. ....	91
Tabla 5.3. Diámetros de orificios sugeridos. ....	92
Tabla 6.1. Presupuesto detallado de elementos para la máquina CNC. ....	93
Tabla 6.2. Software para el desarrollo de la máquina CNC. ....	94
Tabla 6.3. Costos de ingeniería. ....	94
Tabla 6.4. Gastos directos.....	95
Tabla 6.5. Gastos indirectos. ....	95
Tabla 6.6. Gasto total de la propuesta tecnológica. ....	95
Tabla 6.7. Análisis económico por catedra.....	96
Tabla 6.8. Análisis económico por postulantes. ....	96
Tabla 6.9. Ahorro con la propuesta tecnológica. ....	96
Tabla 6.10. Efectos en el medio natural. ....	97
Tabla 6.11. Efectos en el medio animal.....	97

## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

### FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

# TÍTULO: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE IMPRESIÓN DE PCB PARA CIRCUITOS ELECTRÓNICOS EN PLACA FENÓLICA CON CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO CNC PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”

#### **Autores:**

Pachacama Tipan Cristian David

Toapanta Herrera Denis Mauricio

### **RESUMEN**

La presente propuesta tecnológica tiene como objetivo principal implementar un sistema de impresión de PCB's para circuitos electrónicos en placa fenólica con control numérico computarizado CNC para la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, siendo una necesidad por parte de los estudiantes y en ocasiones en la realización de propuestas tecnológicas. El sistema de impresión de PCB's con tecnología CNC es capaz de realizar un proceso completo de desbaste, perforación y corte en placas de cobre; el tiempo y proceso automatizado de manufactura son los factores importantes que presiden a la propuesta tecnológica ya que con la implementación de la máquina CNC se determinó una reducción significativa de tiempo en relación a los métodos convencionales y a su vez la eliminación total del proceso de atacado químico, contribuyendo así con la conservación del medio ambiente. Para ello se estableció el diseño de la estructura, como puente fijo y mesa móvil a través de sistemas mecánicos, de transmisión, electrónicos, eléctricos y estructurales, cada uno de ellos detallan el proceso de implementación de la máquina CNC, en el requerimiento de características idóneas para el proceso de fresado, perforado y corte con un enfoque de ingeniería en la manufactura de tarjetas de tipo THT y SMT.

Palabras clave: PCB, CNC, placa fenólica, THT, SMT.

## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

### FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

#### TITLE: “IMPLEMENTATION OF A PCB PRINTING SYSTEM FOR ELECTRONIC CIRCUITS ON PHENOLIC BOARD WITH COMPUTERIZED NUMERICAL CONTROL CNC FOR THE ELECTROMECHANICAL ENGINEERING CAREER OF THE COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY”

#### Authors:

Pachacama Tipan Cristian David

Toapanta Herrera Denis Mauricio

#### ABSTRACT

The present technological proposal has as main objective to apply a printing system of PCB's for electronic circuits on a phenolic board with a computerized numerical control CNC destined to the Electromechanical engineering career of the Cotopaxi Technical University being a student's necessity and in occasions the realization as technological proposals. The printing system of PCB's with technology CNC is able to perform a complete roughing process, drilling and cut in copper plates. The time and automatic process of manufacture are the important factors which preside to the technological proposal because with the implementation of the CNC device it was determined a significant time reduction regarding to basic methods and in addition the total elimination of the chemical attack process, contributing to the environment preservation. To achieve this, it was taken some design considerations for the proposal, through mechanical transmission electronic and electric systems each one of them details the implantation process of CNC device on the requirement of suitable features in order to drilling milling and cutting focused in manufacture engineering making THT and SMT Cards.

Keywords: PCB, CNC phenolic plate, THT, SMT.



## ***AVAL DE TRADUCCIÓN***

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen del proyecto de tecnológica al Idioma Inglés presentado por los señores Egresados de la **CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS: PACHACAMA TIPAN CRISTIAN DAVID y TOAPANTA HERRERA DENIS MAURICIO**, cuyo título versa **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE IMPRESIÓN DE PCB PARA CIRCUITOS ELECTRÓNICOS EN PLACA FENÓLICA CON CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO CNC PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, marzo del 2021

Atentamente,

**M.Sc. Vladimir Sandoval V.  
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS  
C.C. 050210421-9**

1803027935 Firmado  
digitalmente por  
VICTOR 803027935  
HUGO VICTOR HUGO  
ROMERO ROMERO GARCIA  
GARCIA ECUADOR Fecha: 2021.03.05  
09:11:35 -05'00'

## **1. INFORMACIÓN BÁSICA**

### **PROPUESTO POR:**

Cristian David Pachacama Tipan

Denis Mauricio Toapanta Herrera

### **TEMA APROBADO:**

Implementación de un sistema de impresión de PCB para circuitos electrónicos en placa fenólica con control numérico computarizado CNC para la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

### **CARRERA:**

Ingeniería Electromecánica

### **DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:**

Ing. Ms.C. Verónica Paulina Freire Andrade

### **EQUIPO DE TRABAJO:**

Cristian David Pachacama Tipan

Denis Mauricio Toapanta Herrera

Ing. Ms.C. Verónica Paulina Freire Andrade

### **LUGAR DE EJECUCIÓN:**

San Felipe - Latacunga - Cotopaxi

Laboratorios - Universidad Técnica de Cotopaxi

### **TIEMPO DE DURACIÓN DE LA PROPUESTA:**

2020 - 2021

### **FECHA DE ENTREGA:**

Febrero - 2021

### **LÍNEA(S) Y SUBLÍNEAS DE INVESTIGACIÓN A LAS QUE SE ASOCIA EL PROYECTO:**

**Línea de investigación:** De acuerdo a lo establecido por el departamento de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, línea 4: Procesos Industriales.

**Sub línea de investigación de la Carrera:** En la Carrera de Ingeniería en Electromecánica, línea 2: “Automatización, control y protecciones de sistemas electromecánicos”.

## **TIPO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA:**

El tipo de propuesta tecnológica corresponde a la implementación de un sistema de impresión de PCB's para circuitos electrónicos en placa fenólica con control numérico computarizado CNC para la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, puesto que es una necesidad para los estudiantes al momento de desarrollar distintos proyectos tecnológicos, enfocados a la línea 2: "Automatización, control y protecciones de sistemas electromecánicos".

## **2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA**

### **2.1. Título de la propuesta tecnológica**

Implementación de un sistema de impresión de PCB's para circuitos electrónicos en placa fenólica con control numérico computarizado CNC para la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

### **2.2. Tipo de alcance**

Multipropósito: El sistema tiene por meta mejorar la viabilidad y calidad de las tareas, trabajos y proyectos de los estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, buscando nuevas alternativas de elaboración de dichas tarjetas, obteniendo beneficios colectivos entre los estudiantes.

Interdisciplinar: Los métodos con los que aportará el sistema serán de forma práctica y didáctica, perfeccionando así los proyectos de los estudiantes en sus respectivas cátedras.

### **2.3. Área del conocimiento**

Según la norma CINE - UNESCO establece las áreas y sub áreas de estudio [1], relacionan el campo amplio 330000 CIENCIAS TECNOLÓGICAS con el sistema de impresión de PCB, a su vez inmiscuyéndose en los campos específicos: 3313 Tecnología E Ingenierías Mecánicas y 3307 Tecnología Electrónica, enfocándonos así en los campos detallados: 3313.15 Diseño de Máquinas, 3313.24 Maquinaria de Impresión y Reproducción y 3307.03 Diseño de Circuitos, como estructura del tema de propuesta planteada.

### **2.4. Sinopsis de la propuesta tecnológica**

La presente propuesta tecnológica se refiere a la implementación de un sistema de impresión de PCB's para circuitos electrónicos en placa fenólica con control numérico computarizado CNC,

debido a la carencia de esta máquina en los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi, lo cual obliga a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica a recurrir a métodos tradicionales.

Se comienza definiendo el sistema mecánico, a partir de la mesa de trabajo con una medida estándar de 250 x 250 mm, la cual se determina a base de una placa fenólica de 200 x 200 mm, siendo esta una medida comercial de nuestro país en cuanto a placas de cobre. Posteriormente, el diseño estructural se lo realiza una vez definida el área de trabajo, tomando como referencia de diseño, la impresora 3D “ANET A8”, la misma que se desarrolla utilizando un software de diseño “SolidWorks”, en su versión educacional, una vez generado el diseño final de la máquina se procede a realizar los cortes mediante láser de cada una de sus partes. Para el sistema eléctrico y electrónico se opta por los componentes más amigables y accesibles, como lo son el Arduino UNO, ya que al ser un controlador personalizable trabaja en conjunto con un módulo Shield CNC y drivers A988, estos últimos son los que controlan los motores paso a paso previamente definidos, a su vez para la máquina herramienta se utiliza un motortool “DREMEL 3000-N/10”. Por último, se utiliza el software libre OpenCNCPilot el cual se encarga del control de la máquina.

Finalmente, al desarrollar las pruebas necesarias, la máquina CNC demuestra un correcto desempeño al momento de realizar el fresado y perforado de la placa fenólica, reduciendo el tiempo de trabajo, eliminando los métodos tradicionales en su totalidad y presentando un acabado de calidad.

## **2.5. Objeto de estudio y campo de acción**

### **2.5.1. Objeto de estudio**

Sistema de impresión de PCB's para circuitos electrónicos en placa fenólica con tecnología CNC.

### **2.5.2. Campo de acción**

El enfoque de la propuesta tecnológica planteada se desenvuelve en base a distintos campos detallados de acuerdo a las normas UNESCO que ayudan a la adecuada implementación del sistema de impresión, todo esto en base a los siguientes campos: Diseño de máquinas, Maquinaria de impresión y Reproducción y diseño de circuitos.

### **2.5.3. Beneficiarios**

La propuesta tecnológica se centra en el ámbito académico, con acciones previstas para el desarrollo estudiantil, de la misma manera dentro del contexto educacional se ha encaminado en la línea 2: “Automatización, control y protecciones de sistemas electromecánicos”, todo esto orientado a las necesidades de los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica y otros estudiantes de las diferentes Carreras de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

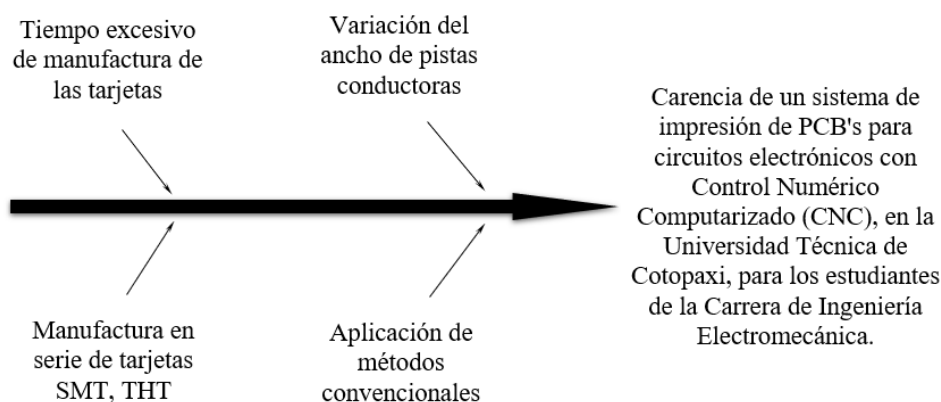
## **2.6. SITUACIÓN PROBLÉMICA Y PROBLEMA**

### **2.6.1. Situación problemática**

La preparación académica brindada por la Universidad Técnica de Cotopaxi, que de acuerdo a su sílabo académico, proyecta en un amplio campo de conocimientos técnicos, los cuales a raíz de la línea 2: “Automatización, control y protecciones de sistemas electromecánicos”, pretenden mostrar nuevas tecnologías o procesos industriales de gran importancia, involucrando a los estudiantes con proyectos tecnológicos en donde se requiere el uso de tarjetas electrónicas, de este modo el uso de un sistema impresión automatizado establecerá parámetros de tiempo reducidos, en este tipo de dispositivos.

Por tal motivo debido a la carencia de un sistema de impresión de PCB's, los estudiantes optan por los métodos convencionales, siendo el grabado de una tarjeta electrónica por medio del atacado químico con ácido férrico el más común, el mismo que al momento de ser implementado en la placa de cobre muestra distorsiones en el diseño plasmado, esto provoca la pérdida del material y el tiempo empleado en su manufactura, a su vez este método es propenso a producir afecciones en la piel y aumentar la contaminación por el uso de estos químicos. En cuanto a la producción de tarjetas SMT la manufactura tradicional es totalmente nula en cuanto a circuitos de este tipo se refiere, ya que maneja elementos de dimensiones muy reducidas.

A continuación, se detalla la matriz de identificación del problema:



**Figura 2.1.** Diagrama de Ishikawa.

## 2.6.2. Problema

Carencia de un sistema de impresión de PCB's con control numérico computarizado CNC, para disminuir el tiempo de manufactura de tarjetas electrónicas en placa fenólica y eliminar el uso de químicos tóxicos en la Universidad Técnica de Cotopaxi para los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica.

## 2.7. HIPÓTESIS O FORMULACIÓN DE PREGUNTAS DIRECTRICES

Mediante la implementación de un sistema de impresión de PCB's con control numérico computarizado CNC se logrará disminuir el tiempo de manufactura de tarjetas electrónicas en placa fenólica y se conseguirá eliminar el uso de químicos tóxicos en la Universidad Técnica de Cotopaxi para los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica.

## 2.8. OBJETIVOS

### 2.8.1. Objetivo general

Implementar un sistema de impresión de PCB's con control numérico computarizado CNC, para disminuir el tiempo de manufactura de tarjetas electrónicas en placa fenólica y eliminar el uso de químicos tóxicos en la Universidad Técnica de Cotopaxi para los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica.

### **2.8.2. Objetivos específicos**

- Investigar mediante fuentes bibliográficas antecedentes e información relevante con respecto a la impresión de placas de circuito (PCB) y Control Numérico Computarizado (CNC).
- Diseñar el sistema de impresión de PCB's basado en modelos similares con tecnología CNC.
- Implementar la máquina acorde al modelo establecido en el diseño.
- Verificar el buen funcionamiento del sistema de impresión en base al correcto grabado de las pistas conductoras sobre la placa fenólica.

## 2.9. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS

### 2.9.1. Tareas por objetivos

**Tabla 2.1.** Tareas por objetivos.

<b>Objetivos</b>	<b>Tareas</b>	<b>Resultado de la actividad</b>	<b>Descripción de la actividad</b>
Investigar mediante fuentes bibliográficas antecedentes e información relevante con respecto a la impresión de placas de circuito (PCB) y Control Numérico Computarizado (CNC).	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recopilar información del PCB y CNC, para cubrir las necesidades que requiere el proyecto.</li> <li>Investigar sobre los tipos de máquina herramienta usados en procesos CNC para PCB.</li> <li>Analizar los tipos de estructuras, medidas y materiales, de este tipo de máquinas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los antecedentes muestran una visión general de la máquina a implementarse.</li> <li>Consideraciones generales de una máquina CNC.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Investigación documental y bibliográfica.</li> </ul>
Diseñar el sistema de impresión de PCB's basado en modelos similares con tecnología CNC.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diseñar la estructura que dará soporte al sistema de impresión.</li> <li>Identificar los elementos electromecánicos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema de impresión.</li> <li>Seleccionar materiales mecánicamente adecuados para obtener la mejor adaptación al diseño que se establezca.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Definir el área de trabajo que posteriormente sirva como referencia para las diferentes medidas de la máquina CNC.</li> <li>Seleccionar el software, materiales y componentes que conforman la máquina.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Uso del software de diseño SolidWorks.</li> <li>Cálculos que determinen los componentes a utilizar en la máquina.</li> </ul>
Ensamblar la máquina acorde al modelo establecido en el diseño.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Posicionar adecuadamente cada una de las partes de la estructura.</li> <li>Ubicar los elementos eléctricos y electrónicos seleccionados que hacen parte de la estructura.</li> <li>Ajustar cada uno de los elementos y partes que conforman la estructura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fijar las piezas y componentes de tal manera que la estructura demuestre su robustez y funcionalidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cortar mediante láser las diferentes partes de la estructura para su montaje.</li> </ul>
Verificar el buen funcionamiento del sistema de impresión en base al correcto grabado de las pistas en la placa fenólica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar pruebas de funcionamiento de la máquina.</li> <li>Detectar los elementos estructurales y electromecánicos que sean propensos a arrojar fallos.</li> <li>Calibrar el sistema de impresión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Considerar los tiempos de manufactura de la PCB en relación a los métodos tradicionales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Consideraciones, pruebas y resultados.</li> </ul>

## 2.9.2. Matriz de operacionalización de variables

**Tabla 2.2.** Matriz de operacionalización de variables dependientes e independientes.

<b>Variable Independiente: SISTEMA DE IMPRESIÓN DE PCB PARA CIRCUITOS ELECTRÓNICOS CON CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO (CNC)</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CATEGORÍA</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>ÍTEM</b>	<b>TÉCNICAS DE MEDIDA</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>
Este sistema es capaz de realizar circuitos impresos de manera automatizada, usando como principio fundamental la tecnología CNC, la cual permite realizar movimientos complejos, necesarios para el grabado de las pistas conductoras sobre la capa de cobre.	Sistema Mecánico	Área de trabajo	mm	Observación	Tablas (Bancada)
		Velocidad de corte	mm/min	Cálculos	Ecuaciones
		Velocidad de avance	mm/min	Cálculos	Ecuaciones
		Fuerza de corte	N	Cálculos	Ecuaciones
	Sistema de Transmisión	Fuerza resultante ejes X, Y, Z	N	Cálculos	Ecuaciones
		Fuerza para mover la carga X, Y, Z	N	Cálculos	Ecuaciones
		Torque de la carga X, Y, Z	Nm	Cálculos	Ecuaciones
	Sistema Electrónico	Actuador	Motores	Observación	Datasheet Tabla Comparativa
		Controlador	Arduino	Observación	Tabla (Comparativa)
		Software	CAD/CAM	Observación	Tabla (Comparativa)
	Sistema Eléctrico	Alimentación	V	Observación	Tabla (Comparativa)
		Máquina herramienta	W	Observación	Tabla (Comparativa)
	Sistema Estructural	Modelado estructural	SolidWorks	Modelación	Software
		Materia prima de la estructura	Material (estructura)	Observación	Tabla (Características)
		Componentes estructurales ejes X, Y, Z	Piezas fijas y móviles	Observación	Características
<b>Variable Dependiente: TIEMPO DE FRESADO Y PERFORADO EN LA PLACA</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CATEGORÍA</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>ÍTEM</b>	<b>TÉCNICAS DE MEDIDA</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>
La placa fenólica, entra en un proceso de mecanizado específico gracias al CNC, siendo este el desbaste del material (cobre) mediante el fresado, y el perforado mediante el taladrado.	Proceso de fresado y perforado	Ancho de las pistas	mm	Medición	Calibrador
		Diámetro de los orificios	mm	Observación	Tabla (Sugerida)
		Tiempo de manufactura	s	Medición	Cronómetro

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1. Antecedentes**

De acuerdo a la investigación realizada se logró encontrar diferentes tipos de máquinas con el mismo propósito, tales como “VOLTERA V-ONE DESKTOP PCB PRINTER” la cual dicta que, la impresión 3D también tiene su lugar en el sector de la electrónica, donde permite, en particular, diseñar componentes más pequeños, delgados y precisos que a través de los métodos de producción convencionales. Denominada microimpresión, este método puede mejorar el rendimiento, la funcionalidad y aumentar la miniaturización de los dispositivos [2]; “ZMORPH 2.0 S CNC-CUT PCB PROTOTYPE”, utilizada para mejor precisión de fresado 3D de varias partes de la placa de PCB. Delgado y cilíndrico para agujeros, cónico y afilado para caminos y plano para fresar campos más grandes [3]. Los proyectos antes mencionados recogen cierta similitud con la impresión de PCB en función de la tecnología CNC.

En América latina los proyectos encontrados conservan el mismo principio, siendo estos “DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA CNC DE CORTE LÁSER MULTIPROPÓSITO” consiste en una máquina CNC de corte láser Multipropósito que pueda cortar y realizar grabados en materiales como acrílicos, trupan, cartón y madera haciendo uso de diseños realizados por computadora [4]; “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA TIPO CARTESIANO PARA CORTE Y GRABADO LÁSER EN PAPEL” radica en una máquina herramienta láser que sea capaz de cortar materiales de papel con una precisión de alrededor de 1 mm y a una velocidad aproximada de 1– 10 mm/seg [5]. Los prototipos investigados se centran en el grabado y corte, pero en distintos materiales.

De acuerdo al estudio realizado de proyectos similares en el ámbito nacional, se encontraron modelos tales como “MÁQUINA CNC DE GRABADO Y FRESADO LÁSER: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN” se detalla como un módulo de fresado que puede operar a 12000 RPM con una velocidad de avance máxima de 2500 mm/min, por otro lado el módulo láser tiene un desempeño óptimo a una distancia focal de 38 mm y una velocidad de avance de 100 mm/min [6]; “ESTUDIO, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA HERRAMIENTA DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO, CASO PRÁCTICO PROTOTIPO DE FRESADORA PARA MADERA” está centrado en un prototipo de máquina herramienta de control numérico computarizado (MHCNC), para el mecanizado de todo tipo de derivados de madera de varios mm de espesor, destinado a la pequeña empresa maderera [7].

## **3.2. Sistema de impresión de PCB con tecnología CNC**

Una de las formas más actuales al momento de realizar una PCB personalizada es simplemente crear el modelo en programas CAD [8]. De tal manera que estos modelos son enviados a una máquina CNC, la cual procesará códigos “g-code” y los grabará sobre una placa de cobre.

Por tal motivo se debe conocer a que se denomina PCB y CNC por lo cual se detalla a continuación:

### **3.2.1. Printed Circuit Board (PCB)**

Para entender que es una PCB, se señalan conceptos, como el de José Castillo, el cual establece que, “PCB son las siglas de Placa de Circuito Impreso, pero utilizamos las siglas en inglés (Printed Circuit Board), pues una PCB básicamente es un soporte físico en donde se instalan componentes electrónicos y se interconectan entre ellos, estos componentes pueden ser, chips, condensadores, diodos, resistencias, conectores, etc” [9].

#### **3.2.1.1. Funcionalidad de una PCB**

Son parte fundamental de la electrónica de varios equipos, de tal manera que utilizamos una serie de pistas conductoras de cobre extremadamente finas y que generan un carril conductor, como si de un cable se tratase, en los circuitos más sencillos, solamente tenemos pistas conductoras en una cara, pero en otros más completos tenemos pistas eléctricas e incluso componentes apilados en múltiples capas [9].

Estas placas requieren de una manufactura casi exacta, ya que sus circuitos dependen de ellas para su funcionalidad, para ello existe la tecnología CNC que a continuación se menciona.

### **3.2.2. Control Numérico Computarizado (CNC)**

El control numérico por computadora (o más comúnmente conocido como CNC) es un sistema que permite controlar en todo momento la posición de un elemento físico, normalmente una herramienta que está montada en una máquina [10], siendo este el principio fundamental del sistema de impresión de PCB's.

La máquina herramienta ha sido fundamental para el desarrollo tecnológico, gracias a la utilización de las mismas se ha podido evolucionar en cuanto a maquinaria se refiere, algunas de éstas pueden realizar operaciones simultáneas de fresado, torneado y perforado.

Los elementos básicos del control numérico son:

- El programa, que contiene toda la información de las acciones a ejecutar.
- El control numérico, el cual envía instrucciones, para luego establecer una comprobación.
- La máquina, que ejecuta las operaciones enviadas.

### **3.2.2.1. Funcionalidad del CNC**

No solo controla coordenadas X Y y Z, sino también, la manera de desplazarse entre ellas, su velocidad, y algunos parámetros más, son equipos totalmente integrados dentro de máquinas-herramienta [10].

A continuación, se detallan 2 tipos de archivos que al trabajar en conjunto son fundamentales en la operación de una CNC.

### **3.2.3. Archivos Gerber**

Un archivo Gerber es uno de los elementos esenciales del diseño de los PCB, el nombre se origina en Gerber Systems Corp, la primera compañía en desarrollar archivos Gerber, se refiere a las características del PCB, como las capas de la máscara de soldadura, la leyenda, la plantilla de perforación [11].

Los archivos Gerber originales eran conocidos como formato RS-274-D, esos archivos solo estaban compuestos por las ubicaciones de las coordenadas XY y los comandos de dibujo y flash [12].

La mayoría de los sistemas CAD para placas de circuito impresos tienen la capacidad de generar archivos grb desde sus datos de diseño, de tal manera que los pads redondos del pin de un orificio de paso serán representados en un archivo Gerber mediante un comando en conjunto con algunas coordenadas de ubicación, un trazo de línea será representado por un código de comando de dibujo en conjunto con una serie de coordenadas de ubicación para cada vértice del trazo [12].

Un archivo Gerber está compuesto por cuatro elementos:

- Parámetros de configuración
- Definiciones de apertura
- Ubicaciones de las coordenadas XY para comandos de dibujo
- Códigos de comando para dibujo

El motivo de estos códigos es que los archivos Gerber fueron diseñados originalmente para impulsar un trazador que solía crear las capas de una placa de circuito impreso sobre una película [12].

### **3.2.3.1. Evolución de archivos GERBER**

El formato de archivo Gerber siempre está evolucionando, por lo que ha tenido muchas versiones en el pasado, sin embargo, hoy usamos principalmente tres versiones populares del archivo Gerber [13].

- **Gerber X2**

Este es el último formato de visor gratuito de Gerber. Lo mejor de esta versión es que admite la acumulación de datos, adicionalmente, también contiene una serie de atributos avanzados [13].

- **RS-274-X**

Esta versión del archivo PCB Gerber tiene la funcionalidad más expandida, entonces utilizamos ampliamente esta versión en las operaciones de fabricación en línea del visor de archivos PCB de rutina [13].

- **RS-274-D**

Esta versión del formato de visor Gerber en línea es la más antigua y los fabricantes de PCB más convencionales todavía la usan, sin embargo, las otras dos versiones están reemplazando gradualmente esta versión [13].

### **3.2.4. Códigos “G-code”**

El G-Code es un lenguaje de programación G, o ISO-Code, es el lenguaje de programación más empleado en máquinas de control numérico (CNC) [14].

Un fichero en G-Code está formado por un conjunto de instrucciones sencillas que indican a una máquina las operaciones que debe realizar, por ejemplo, desplazar una parte (cabezal, garras, topes), realizar un cambio de herramienta [14].

A continuación, se muestra una tabla con algunas de las más trascendentales instrucciones y que más se usan en este tipo de máquinas.

**Tabla 3.1.** Instrucciones generales de una CNC.

<b>Código</b>	<b>Significado</b>
%	Reiniciar y detener
X#Y#	Mover y Perforar
T#	Selección de Herramienta
M30	Fin de programa
M00	Fin de programa
M25	Inicio de Modelo
M31	Inicio de Modelo
M01	Fin de Modelo
M02 X#Y#	Repetir Modelo
R#M02X#Y#	Repetición Múltiple del Modelo
M02 X#Y# M70	Cambio de Eje
M02 X#Y# M80	Reflejar Imagen en el Eje X
M02 X#Y# M90	Reflejar Imagen en el Eje Y
M08	Fin de paso y Repetir
N#	Bloquear Secuencia de Números
/	Eliminar Bloque
R#X#Y#	Repetir orificio
G05, G81	Seleccionar modo de Perforación
G04 X#	Variable Local (ignorar)
G90	Modo Absoluto
G91	Modo Incremental
G92 X#Y#	Establecer posición
G93 X#Y#	Poner a cero
M48	Encabezado de Programa antes de "% "
M47	Operador de Mensajes CRT en Pantalla
M71	Modo Métrico
M72	Modo Inglés-Imperial
Snn	Velocidad de husillo (RPM)
Fnn	Mantener velocidad en Eje z (IPM)

#### **3.2.4.1. Bloque de instrucciones en control numérico**

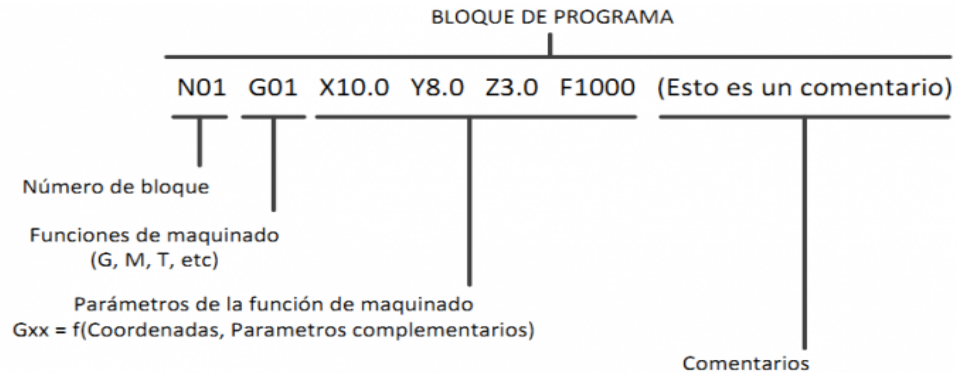
La estructura que debe tener un bloque de instrucciones para ser enviada a una máquina CNC, debe cumplir ciertas características.

La máquina ejecuta las órdenes (operaciones) de acuerdo a los datos entregados por dicha operación, por lo que cada orden tiene una estructura definida, a cada orden se le denomina block o bloque de programa [15].

De manera general cada bloque tiene la siguiente estructura:

- a) Número de bloque (número de línea de programa)
- b) Código de orden de configuración (función de maquinado)
- c) Parámetros de la función de maquinado (Coordenadas X, Y, Z y parámetros complementarios) y comentarios.

A continuación, se muestra el formato de un bloque de instrucciones:



**Figura 3.1.** Formato de un bloque de programación CNC.  
**Fuente:** [15].

### 3.3. Componentes de un sistema de impresión de PCB para circuitos electrónicos con control numérico computarizado (CNC)

Un sistema de impresión de PCB's según Ignacio Ramírez menciona que “la técnica más común es la transferencia del tóner impreso hacia una plancha y finalmente la inmersión del circuito en ácido férrico” [16], sin embargo, para evitar métodos como el mencionado anteriormente nos enfocamos en la variable independiente que se encuentra en la matriz de operacionalización de variables, la misma que implementa la tecnología CNC y trabaja con cuatro categorías, como son: Sistema mecánico, sistema electrónico, sistema eléctrico y sistema estructural cada uno con sus diferentes indicadores, detallados a continuación:

#### 3.3.1. Sistema mecánico

Un sistema mecánico según Jhoselyn Martínez, “se caracteriza por presentar elementos o piezas sólidas, con el objetivo de realizar movimientos por acción o efecto de una fuerza” [17], por ende el sistema mecánico está compuesto por algunos elementos que influyen en el tamaño de la máquina y el tipo de proceso al que está enfocada, no obstante, se trabajan los siguientes indicadores:

### 3.3.1.1. Área de trabajo

Se la denomina como el entorno donde se aplicará el procedimiento de manufactura al que la máquina esté destinada, generalmente conocida como “mesa de trabajo”.

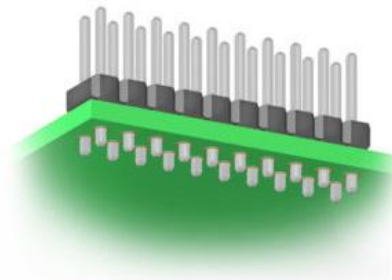
Existen diferentes tipos de mesas de trabajo para aplicaciones de CNC, como las enlistadas a continuación:

- Aspirante
- Con barras de aluminio
- Estándar
- Panal de abeja
- Corte con cajón

En esta mesa de trabajo se realiza el mecanizado de PCB's al que se enfoca esta máquina CNC, de tal manera que tradicionalmente, la tecnología de orificio pasante (THT) se utiliza para construir la gran mayoría de PCB, sin embargo, en los últimos años, el uso de la tecnología de montaje en superficie (SMT) ha ganado popularidad y se usa cada vez más en lugar de la tecnología de orificios pasantes [18].

- **Tecnología de orificio pasante (THT)**

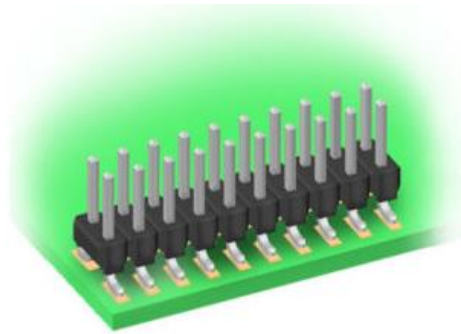
Consiste en insertar componentes con colas o conductores en orificios perforados en la PCB, luego estos cables se pueden soldar en almohadillas o aterrizajes en la parte inferior de la placa, generalmente con un proceso de soldadura [18].



**Figura 3.2.** Tecnología de orificio pasante.  
**Fuente:** [18].

- **Tecnología de montaje superficial (SMT)**

Es un método que se utiliza para ensamblar circuitos electrónicos, donde los componentes se montan o colocan directamente sobre la superficie superior de las placas de circuito impreso, de esta manera los dispositivos de montaje en superficie (SMD) tendrán colas o cables planos coplanares que permitirán que el componente descansa sobre una pista plana expuesta en la PCB, en este caso o se necesitan agujeros en la PCB y se aplica pasta de soldadura a través de una plantilla para cubrir las áreas expuestas [18].



**Figura 3.3.** Tecnología de montaje superficial.  
**Fuente:** [18].

El área de trabajo al ser uno de los actores principales en el proceso de manufactura de tarjetas electrónicas, necesita de parámetros que contribuyan al correcto funcionamiento de la máquina CNC, los cuales se muestran a continuación:

### **3.3.1.2. Velocidad de corte**

Está expresada en el espacio en metros recorridos en un minuto [19], para ello es fundamental conocer el tipo de herramienta de corte, ya que de acuerdo a sus dimensiones se determinará dicha velocidad.

Se obtiene con la siguiente expresión:

$$N = \frac{1000 \times Vc}{\pi \times D} \quad (3.1)$$

Donde:

$Vc = \text{Velocidad de corte}$

$D = \text{Diámetro de la fresa (mm)}$

$N = \text{Número de revoluciones por minuto (rpm)}$

La velocidad de corte influye en la velocidad de avance como se muestra en la siguiente expresión:

### 3.3.1.3. Velocidad de avance

La velocidad de avance es la distancia recorrida por la herramienta de corte respecto a la pieza a mecanizar [20]. La importancia de calcularla, radica en que esta evitará que se rompa la fresa y se sobrecaliente el motortool.

Para el cálculo de la misma se emplea la siguiente expresión:

$$Va = Sz \times z \times N \quad (3.2)$$

Donde:

$Va = \text{Velocidad de avance (mm/min)}$

$Sz = \text{Avance por diente (mm)}$

$z = \text{Número de dientes de la fresa}$

$N = \text{Número de revoluciones por minuto (rpm)}$

La viruta es el material que se desprende de una pieza sólida al momento de su maquinado, esta depende la velocidad de avance a la que se somete el material.

### 3.3.1.4. Sección de viruta

Se denomina sección de viruta a la relación entre el avance por diente y la profundidad de corte.

Para el cálculo de la misma se emplea la siguiente expresión:

$$Sv = a \times Sz \quad (3.3)$$

Donde:

$Sv = \text{Sección de viruta (mm}^2\text{)}$

$a = \text{Profundidad de corte o fresado (mm)}$

$Sz = \text{Avance por diente (mm)}$

La cantidad de material desbastado en un proceso de maquinado, debe ser el adecuado para que la herramienta de corte no sufra desperfectos.

### 3.3.1.5. Volumen admisible de viruta

Al ser un proceso de mecanizado, este produce el desprendimiento de viruta, por tal motivo se calcula con la siguiente expresión:

$$V = \frac{a \times b \times Va}{1000} \quad (3.4)$$

Donde:

$V = \text{Volumen de viruta (cm}^3\text{/min)}$

$a = \text{Profundidad de corte o fresado (mm)}$

$b = \text{Ancho de la fresa (mm)}$

$Va = \text{Velocidad de avance (mm/min)}$

Es importante conocer los detalles anteriormente mencionados, ya que influyen en la selección de la máquina herramienta.

### 3.3.1.6. Fuerza de corte

Es el esfuerzo sometido a la máquina herramienta, fundamental en el maquinado de la pieza. Para ejecutar un correcto mecanizado de la placa de cobre, se busca la adecuada presión de corte y la cantidad de viruta desprendida, por ende, esta específica la fuerza de fresado a la que debe someterse el material.

Para el cálculo de la misma se emplea la siguiente expresión:

$$Fc = Ks \times Sv \quad (3.5)$$

Donde:

$K_s = \text{Constante de proporcionalidad}$

$S_v = \text{sección de viruta (mm}^2\text{)}$

Para la constante de proporcionalidad se usa la siguiente expresión:

$$K_s = K_{s0} \times e^{-b'} \quad (3.6)$$

Donde:

$K_{s0} = \text{Presión específica de corte (N/mm}^2\text{)}$

$b' = \text{Factor de corrección}$

El espesor de viruta se calcula que con la siguiente expresión:

$$e = \left( \frac{Va}{z \times N} \right) \times \left( \sqrt{\frac{a}{b}} \right) \quad (3.7)$$

Donde:

$e = \text{Espesor de viruta (mm)}$

$Va = \text{Velocidad de avance (mm/min)}$

$z = \text{Número de dientes de la fresa}$

$N = \text{Número de revoluciones por minuto (rpm)}$

$a = \text{Profundidad de corte o fresado (mm)}$

$b = \text{Ancho de la fresa (mm)}$

### 3.3.1.7. Potencia neta

Es la potencia que suministra la máquina herramienta, en este caso el motortool o motor de husillo, que servirá para el mecanizado de la placa fenólica.

Para el cálculo de la misma se emplean las siguientes expresiones:

$$Pn = \frac{V}{V'} \quad (3.8)$$

Donde:

$$V = \text{Volumen de viruta (cm}^3/\text{min)}$$

$$V' = \text{Cantidad admisible de viruta (cm}^3/\text{min)}$$

De la misma manera, para la selección del motortool o motor de husillo, se establece una eficiencia del 80% y se calcula con la siguiente expresión:

$$P = \frac{P'}{\eta} \quad (3.9)$$

Donde:

$$P' = \text{Potencia neta (kW)}$$

$$\eta = \text{Eficiencia}$$

$$P = \text{Potencia neta (W)}$$

### 3.3.1.8. Fuerza o empuje de la máquina herramienta

Es el esfuerzo sometido a la máquina herramienta, fundamental en el maquinado de la pieza, esta específica la fuerza de fresado a la que debe someterse el material.

Para el cálculo de la misma se emplea la siguiente expresión:

$$T = 0.05K_d F_f F_t B W + 0.007K_d D^2 J W \quad (3.10)$$

Donde:

$$T = \text{Fuerza o empuje de la máquina herramienta (N)}$$

$$K_d = \text{Factor de trabajo del material}$$

$$F_f = \text{Factor de avance (mm/rev)}$$

$F_t = \text{Factor de empuje para diámetro de la fresa (mm/diente)}$

$B = \text{Factor de punto de fresa para empuje}$

$W = \text{Factor de desgaste de herramienta (mm)}$

$D = \text{Diámetro de fresa (mm)}$

$J = \text{Factor punta de fresa}$

Luego de haber establecido las diferentes fórmulas para el desarrollo del mecanizado de la placa, se debe considerar los pesos y fuerzas que contribuyan con el sistema de transmisión.

### **3.3.2. Sistema de transmisión**

Es uno de los sistemas principales de una CNC, ya que se constituye en un conjunto de componentes de transmisión o guía de los movimientos realizados por los actuadores a través de sus ejes.

#### **3.3.2.1. Fuerza resultante para los ejes X, Y, Z**

Está expresada en N, y es necesaria para determinar la fuerza producida por inercia en un determinado punto de la estructura.

Para el cálculo de la misma se emplea la siguiente expresión:

$$P_{eje} = M_{eje} \times g \quad (3.11)$$

Donde:

$P_{eje} = \text{Fuerza del eje producido por inercia (N)}$

$M_{eje} = \text{Masa de cada eje (kg)}$

$g = \text{Valor de gravedad (m/s}^2\text{)}$

### 3.3.2.2. Fuerza para mover la carga de los ejes X, Y, Z

Es fundamental conocer la fuerza de la máquina herramienta, ya que esta realiza el desbaste del material, a su vez esta depende de su estructura móvil, de tal manera que para mover un determinado elemento se debe calcular la fuerza ejercida en cada eje.

Para el cálculo de la misma se emplea la siguiente expresión:

$$F_{eje} = T + P_{eje} \times \mu \quad (3.12)$$

Donde:

$F_{eje}$  = Fuerza para mover la carga del eje (N)

$T$  = Fuerza o empuje de la máquina herramienta (N)

$P_{eje}$  = Fuerza del eje producido por inercia (N)

$\mu$  = Coeficiente de fricción

### 3.3.2.3. Torque para la carga de los ejes X, Y, Z

Los motores comúnmente usados en dispositivos CNC, son los motores paso a paso, siendo estos los principales autores del movimiento de cada eje de desplazamiento, se debe conocer el torque necesario para lograr un desplazamiento adecuado.

Para el cálculo de la misma se emplea la siguiente expresión:

$$T_{eje} = F_{eje} \times \frac{P}{2\pi\eta} \quad (3.13)$$

Donde:

$T_{eje}$  = Torque de la carga del eje (N.m)

$F_{eje}$  = Fuerza para mover la carga del eje (N)

$P$  = Paso de husillo (m)

$\eta$  = Rendimiento del husillo de paso

### 3.3.3. Sistema electrónico

El sistema electrónico es el encargado de accionar los diferentes actuadores, controladores y software de la máquina CNC.

Está conformado por diversos componentes que facilitan la interacción directa entre la máquina y el operador; de esta manera se garantizará el correcto desempeño en cuanto a diseño, movimiento y desplazamiento de los elementos de la máquina.

#### 3.3.3.1. Actuadores

Los actuadores son dispositivos que brindan la posibilidad de transformar diferentes tipos de energía para generar algún funcionamiento dentro de un sistema automatizado determinado [21], estos pueden realizar diferentes tipos de movimientos ya sean lineales, rotativos y oscilatorios, fundamentales en una máquina CNC.

Existen diferentes tipos de actuadores, todos ellos con la finalidad de proporcionar el movimiento necesario para la aplicación CNC, a continuación, se detallan algunos de ellos.

- **Motor paso a paso**

Es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de pulsos eléctricos en desplazamientos angulares, lo que significa que es capaz de girar una cantidad de grados (paso o medio paso) dependiendo de sus entradas de control [22].

Estos motores son los más comúnmente usados en la aplicación de máquinas CNC, específicamente para el desplazamiento de los ejes.



**Figura 3.4.** Motor paso a paso.  
**Fuente:** [22].

Otro tipo de actuador que contiene características similares y puede ser aplicado a este tipo de mecanismos es un motor DC.

- **Motores DC**

El motor de corriente continua (también conocido como motor de corriente directa, motor CC o motor DC) es una máquina que convierte la energía eléctrica en energía mecánica, provocando un movimiento rotatorio en un eje, gracias a la acción que se genera del campo magnético [23].

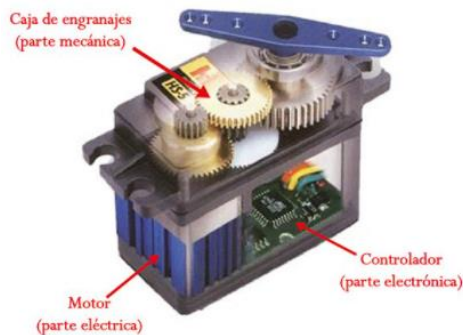


**Figura 3.5.** Motor DC.  
**Fuente:** [23].

De la misma manera, el servomotor es un actuador con características limitadas a diferencia de los anteriormente detallados.

- **Servomotor**

Un servomotor es un tipo especial de motor que permite controlar la posición del eje en un momento dado, está diseñado para moverse determinada cantidad de grados y luego mantenerse fijo en una posición [24].



**Figura 3.6.** Servomotor.  
**Fuente:** [24].

Todo actuador depende de un controlador para su funcionamiento, es por ello que existen diferentes dispositivos capaces de proporcionar dicho control.

### 3.3.3.2. Controlador

Un controlador es un dispositivo de gran potencial y de reducido tamaño, está enfocado en recibir códigos, procesarlos y con ellos establecer una conexión entre software y hardware, siendo este último considerados actuadores los cuales necesitan de un dispositivo controlador para realizar distintos tipos de operaciones.

- **Arduino UNO**

Es una placa con todos los elementos necesarios para conectar periféricos a las entradas y salidas de un microcontrolador, y que puede ser programada tanto en Windows como macOS y GNU/Linux [25].

Siendo este el controlador más usado en prototipos CNC, ya que cuenta con sus propios drivers y shield, los cuales aportan una personalización total al momento de implementar diferentes proyectos.

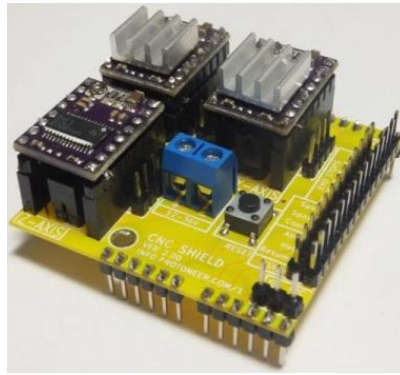


**Figura 3.7.** Arduino UNO.

**Fuente:** [25].

- **Módulo CNC Shield**

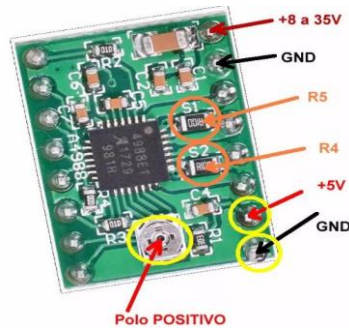
El módulo CNC shield es una tarjeta compatible con Arduino y el software grbl, su uso se enfoca en el control de motores paso a paso, 4 específicamente, esto se hace posible a través de drives A4988 que van acoplados sobre el Arduino.



**Figura 3.8.** Shield CNC.  
**Fuente:** [26].

- **Driver A4988**

Este driver se encarga de generar todas las señales necesarias para su funcionamiento y además añade las protecciones necesarias de temperatura y corriente para los motores a pasos conectados a él [27].



**Figura 3.9.** Driver A4988.  
**Fuente:** [27].

De esta manera se interpreta que los controladores reciben información proporcionada por un software, el cual se define según las necesidades que el operador requiera.

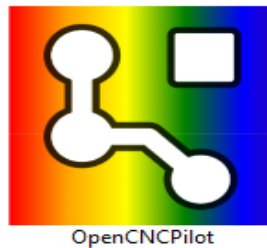
### **3.3.3.3. Software CAD/CAM**

En el software CAD/CAM se diseña y dibuja la pieza, se genera la trayectoria del corte, se simula el mecanizado mediante el ingreso de los parámetros de corte y la herramienta para obtener el programa de Control Numérico. También se puede transmitir el programa CN y mecanizar la pieza [28].

A continuación, se enlista algunos softwares de versión libre, capaces de decodificar las líneas de programación anteriormente citadas:

- **OpenCNCPilot**

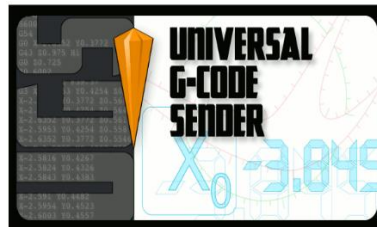
Es un programa sencillo creado específicamente para crear placas PCB con una CNC, además, tiene una opción muy interesante, casi diría que imprescindible, como el autonivelado por malla, esto permite que la profundidad de corte siempre sea la misma y el resultado quede perfecto [29].



**Figura 3.10.** OpenCNCPilot.  
**Fuente:** [29].

- **Universal gcode sender**

El Universal G-Code Sender es un software de integración CAD/CAM, el cual remite códigos G multiplataforma, está basado en Java y es compatible con GRBL [30].



**Figura 3.11.** Universal gcode sender.  
**Fuente:** [30].

- **grblControl**

Está diseñado para enviar G-Code a máquinas CNC, proporciona al usuario la manera de conseguir los comandos de cualquier controlador que esté utilizando de forma agradable, funciona con Windows, Mac y Linux [31].



**Figura 3.12.** grblControl.  
**Fuente:** [31].

El sistema electrónico es una parte fundamental de la máquina CNC, va de la mano con el sistema eléctrico ya que de este se deriva la energía y el trabajo necesario para su funcionamiento.

### **3.3.4. Sistema eléctrico**

Un sistema CNC tiene diferentes elementos que trabajan en conjunto con el sistema eléctrico, el mismo que se define como un conjunto de conductores y equipos necesarios para la generación, el transporte y la distribución de la energía eléctrica [32].

A continuación, se muestran sus potenciales elementos:

#### **3.3.4.1. Alimentación**

Toda máquina convierte la energía eléctrica en energía mecánica, para desarrollar cualquier tipo de proceso, sin embargo, existen máquinas que requieren de una alimentación de voltaje de corriente continua, por tal motivo se emplea un dispositivo que sirve para convertir la energía suministrada desde la línea en energía utilizable, para sus diferentes aplicaciones dentro de la máquina CNC.

- **Fuente lineal**

Este tipo de fuente es menos eficiente en la utilización de la potencia suministrada dado que parte de la energía se transforma en calor por efecto Joule en el elemento regulador, ya que se comporta como una resistencia variable [33].



**Figura 3.13.** Fuente lineal.  
**Fuente:** [33]

- **Fuente conmutada**

Una fuente conmutada es un dispositivo basado en transistores y bobinas usadas para suministrar energía a distintos tipos de equipos eléctricos con un rango controlado de voltajes de salida para dicha alimentación [34].

### 3.3.4.2. Máquina herramienta

Es aquella que se dedica a fabricar productos o partes de productos generalmente metálicos, pero no exclusivamente, de tal manera que se las denomina máquinas madre porque posibilitan la fabricación de todas las demás máquinas incluyendo a ellas mismas [35].

En máquinas CNC de grabado para PCB's, se usan herramientas rotativas de velocidad variable, las cuales en conjunto con una herramienta de corte realizan el desbaste del material.

- **Motor de husillo**

Son motores de alta frecuencia, puede llegar a velocidades de hasta 48000 rpm, se centran en varias aplicaciones y una de ellas es el router en las CNC, estos motores son capaces de refrigerarse a sí mismos por ende evita sobrecalentamiento.

- **Motortool**

Es una multiherramienta con muchas funciones, que permite realizar desde pequeños retoques, hasta grandes proyectos, la misma permite cortar, perforar, grabar, lijar, fresar, pulir, esmerilar y afilar, gracias al gran número de accesorios compatibles con la herramienta [36].



**Figura 3.14.** Motortool (DREMEL).

**Fuente:** [36]

El sistema CNC está conformado por una serie de elementos, los mismos que necesitan de un lugar específico en la estructura de la máquina, para ello es necesario obtener previamente su diseño.

### **3.3.5. Sistema estructural**

El sistema estructural es una fusión de elementos fijos y móviles, los mismos que brindarán a la máquina CNC soporte, estabilidad y movilidad, cada uno de ellos imprescindibles para el adecuado desenvolvimiento del sistema.

Para obtener una estructura idónea en cualquier sistema CNC se necesita de un modelo adecuado el cual se puede obtener en base al modelado CAD.

#### **3.3.5.1. Modelado estructural**

María Villaseñor, en el seminario internacional virtual vanguardias del diseño señala que “La revolución industrial logró que la máquina reemplazará en gran medida el trabajo físico del hombre, originando a la vez un sorprendente y rápido progreso tecnológico con ayuda de la estrecha relación entre las universidades y la industria” [37], es por esto que el modelado CAD (Diseño Asistido por Computador) se define como la concepción de diferentes objetos, piezas y estructuras de enfoque ingenieril, con diseños digitales en 2D y 3D [37].

Todo esto se basa en un software de diseño que permite crear bosquejos acogidos a las necesidades que se presentan en la concepción de una máquina CNC, estos pueden ser:

- **Autodesk Inventor**

Es un programa específico para el sector de diseño de producto, el cual cuenta con funciones rápidas paramétricas, normativas, herramientas rápidas y simulador 3D [38].

- **SolidWorks**

Es un software de diseño CAD 3D para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D, además ofrece la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño [39].

- **Catia**

Es un programa informático de diseño, fabricación e ingeniería asistida por computadora desarrollado por Dassault Systèmes, proporciona apoyo desde la concepción del diseño hasta la producción y el análisis de productos [40].

La modelación CAD es la que ayudará a establecer un diseño y forma de una determinada estructura, gracias a esto se puede definir el tipo de material idóneo para su construcción.

### 3.3.5.2. Material de la estructura

Toda máquina o equipo está fabricado de un material específico el cual brinde el soporte, seguridad y su correcta funcionalidad, todo esto a partir de un análisis de resistencia del material a través de las características físicas, mecánicas y químicas.

- **MDF**

Este tipo de material está fabricado a partir de fibras de maderas y resinas sintéticas comprimidas, lo que le aporta una mayor densidad de la que presentan aglomerados tradicionales o la madera contrachapada, comúnmente se le llama madera MDF o madera prensada [41], la misma que ha sido utilizada como material principal para la implementación de ciertos prototipos CNC.



**Figura 3.15.** MDF.

**Fuente:** [41].

- **Acrílico**

El acrílico es el polímero de metilmetacrilato, PMMA, es un termoplástico rígido excepcionalmente transparente, en su estado natural es incoloro, el cual se puede pigmentar para obtener una infinidad de colores [42]. Gracias a su versatilidad se pueden obtener diferentes espesores la cual hace que este tipo de material también sea perfecto para la implementación de un CNC.



**Figura 3.16.** Planchas de acrílico.

**Fuente:** [42].

La máquina CNC está compuesta por un conjunto de componentes, todos estos fundamentales para transmitir un correcto desplazamiento, que a continuación se detallan.

### 3.3.5.3. Componentes estructurales ejes X, Y, Z

Una máquina CNC consta de diferentes componentes de desplazamiento, los mismos que son encargados de transmitir el movimiento ejercido por los motores en los diferentes ejes.

A continuación, se identifican los componentes potencialmente empleados:

**Tabla 3.2.** Componentes principales de una CNC.

Componente	Pieza física	
Rodamiento lineal / Rodamiento de bolas		
Eje roscado / Eje liso		
Acople flexible / Acople rígido		
Tuerca de bronce		

Es esencial mencionar que el objetivo de la máquina CNC se enfoca en el mecanizado de la PCB, es por ello que se considera estrictamente necesario calibrar todos los parámetros que a continuación se detallan:

### 3.4. Tiempo de fresado y perforado en placa

El fresado de la PCB según Julio Aguilar es un “proceso de maquinado en el que se remueve material de manera intermitente” [43], esto se relaciona directamente con el arranque de viruta en el grabado de las pistas conductoras, de la misma manera la empresa Mecasinc establece que “el proceso de taladrado realiza un corte en el material mediante el giro de una broca, esta arranca las virutas del material y realiza un orificio perfectamente circular al que le podremos dar las características deseadas (forma o diámetro)” [44].

Por esta razón, con respecto a la variable dependiente se trabajará con una categoría: Proceso de fresado y perforado, con sus diferentes indicadores que a continuación se detallan:

#### 3.4.1. Ancho del conductor

El ancho del conductor se denomina como el área que tiene cada pista conductora, este dependerá de 3 datos necesarios para su determinación siendo estos: la corriente, temperatura y el grosor de la pista, el cálculo se basa en la aplicación del estándar general para el diseño de circuitos impresos ANSI-IPC 2221 [45], la cual gracias al internet se puede desarrollar de manera automática en páginas de cálculo online.

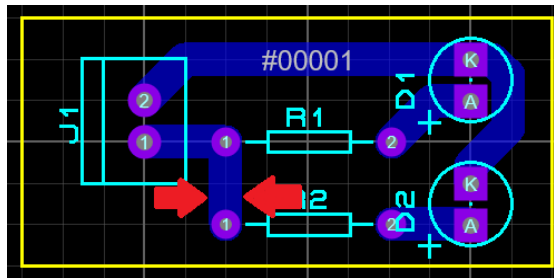
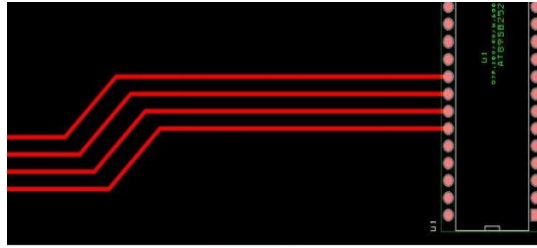


Figura 3.17. Ancho del conductor.

#### 3.4.2. Distancia entre conductores

Es la distancia que se prevé entre conductores próximos, entre conducto y punto de soldadura, esta dependerá de la tensión eléctrica que se supone existirá entre ellas, determinadas ya en tablas estandarizadas.



**Figura 3.18.** Distancia entre conductores.

### 3.4.3. Diámetro de los orificios

Es el diámetro que necesita tener el agujero donde se montaran los diferentes componentes e interconexiones. Las técnicas más comunes y eficientes para realizar este tipo de perforaciones son: el punzonado y el taladrado.



**Figura 3.19.** Orificios en una PCB.

### 3.4.4. Espesor de la placa

El espesor de la placa es el grosor o la “altura” de la pista conductora referente al material que sirve de base en la placa de circuito impreso, para ello existen medidas estandarizadas de espesores de placas.



**Figura 3.20.** Espesor de la placa.

#### 4. METODOLOGÍA

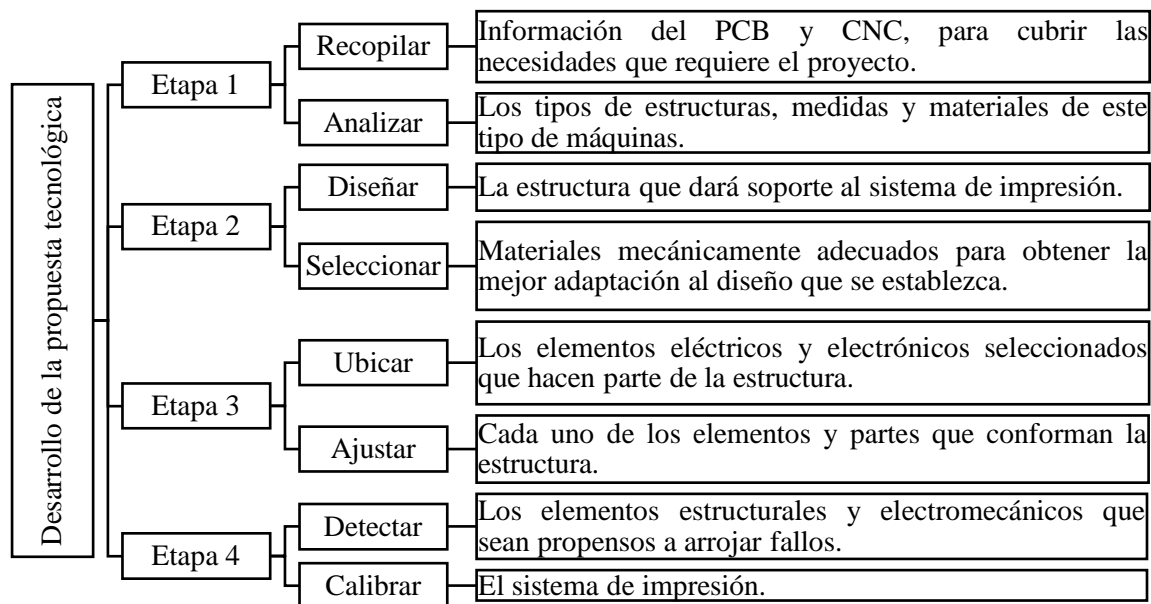
Para la implementación de la propuesta tecnológica se detallan los aspectos metodológicos e instrumentos que permiten alcanzar el objetivo de la investigación, basado en modelos cuantitativos por medio de ecuaciones y el uso de herramientas digitales de modelado, estudios y simulación. Mediante la implementación de este sistema se concibe tecnificar el proceso de realización de PCB's con la ayuda de la tecnología CNC, y con esto reducir de manera significativa el tiempo que tarda la elaboración de dichas tarjetas de forma tradicional y adicionalmente reducir los riesgos que conlleva utilizar ácido férrico, para la verificación del correcto funcionamiento de la máquina se determinan análisis con distintos parámetros que contribuirán con la construcción de la misma, a base de diferentes variables establecidas previamente para su desarrollo.

Los siguientes objetivos hacen parte de una técnica investigativa:

- Recolección de información
- Análisis de ecuaciones
- Desarrollo del proyecto

La presente propuesta tecnológica utilizó las siguientes técnicas:

- Simulación. – Softwares de diseño
- Medición. - Toma de datos de variables
- Observación. - Funcionamiento de la máquina CNC mediante la manufactura de la PCB



**Figura 4.1.** Descripción del desarrollo de la propuesta tecnológica.

## 4.1. Diseño del sistema mecánico

Para iniciar con el diseño de la estructura mecánica se consideran las dimensiones de la máquina y de los componentes mecánicos con lo que esta va a trabajar ya que una máquina CNC depende de varios elementos los cuales ayudan a realizar los movimientos exactos y precisos que la caracterizan.

### 4.1.1. Parámetros del área de trabajo

El tamaño máximo de placas fenólicas que se encuentran en el mercado comercial es de 200×200 mm, siendo esta una medida estándar para el dimensionamiento de la mesa de trabajo.

En la Tabla 4.1, se detalla el recorrido de cada eje de desplazamiento.

**Tabla 4.1.** Área de trabajo.

<b>Recorrido eje X</b>	250 mm
<b>Recorrido eje Y</b>	270 mm
<b>Recorrido eje Z</b>	50 mm

#### 4.1.1.1. Consideraciones de diseño

Hoy en día existen diferentes tipos de impresoras CNC para placas electrónicas, las mismas que varían en su diseño, siendo estas de mesa fija y brazo en voladizo, mesa fija y puente móvil o mesa móvil y puente fijo.

Cada uno de estos diseños de forma varían en diferentes características, como se detalla a continuación.

- **Características de la mesa fija y brazo en voladizo**
  - a. Mesa de trabajo fija, el movimiento de los tres ejes cartesianos se da en la herramienta de corte con la ayuda del brazo cantilever.
  - b. Buena accesibilidad para carga y descarga de las piezas.
  - c. Excelente inspección en piezas medianas y pequeñas.
  - d. Pérdida de precisión por caída de brazo.
  - e. Estructura abierta y ligera.

- **Características de la mesa fija y puente móvil**
  - a. Fácil de manejar.
  - b. Mesa de trabajo fija, requiere un actuador para el movimiento del puente móvil en el eje Y, y dos actuadores para el movimiento de la herramienta de corte en el eje X, Z.
  - c. Diseño con alto volumen de trabajo y precisión.
  - d. La altura del puente limita el tamaño al momento de manufacturar piezas.
- **Características de la mesa móvil y puente fijo**
  - a. Para este tipo de máquina herramienta se requiere tener soportes en dos puntos para el desplazamiento de la mesa en el eje Y.
  - b. Requiere de tres actuadores, uno para cada eje (X, Y, Z), adicionalmente se necesita un actuador para accionamiento de la herramienta.
  - c. Mecaniza plásticos, madera, ceras, MDF.
  - d. Diseño con excelente rigidez.
  - e. Buena visibilidad al momento de mecanizar.
  - f. Máquina Herramienta óptima para microempresas.

Para escoger el mejor prototipo de la máquina CNC para circuitos electrónicos, se realiza un análisis de características técnicas en relación a la estructura, establecidas en la Tabla 4.2.

**Tabla 4.2.** Matriz de selección para la estructura en base al área de trabajo.

	<b>Funcionalidad</b>	<b>Estructura</b>	<b>Accesibilidad</b>	<b>Consumo energético</b>	<b>Carcasa</b>
<b>Mesa fija y brazo en voladizo</b>	Mesa de trabajo fija	Abierta y ligera	Carga y descarga de piezas	110/220V	Amplia
<b>Mesa fija y puente móvil</b>	Mesa de trabajo fija	Cerrada e inestable	Carga y descarga de piezas	110/220V	Compacta
<b>Mesa móvil y puente fijo</b>	Desplazamiento de la mesa en el eje Y	Cerrada y rígida	Carga y descarga de piezas	110/220V	Compacta

En base al análisis realizado anteriormente, se determinó que la opción “Mesa móvil y puente fijo”, es la alternativa más viable ya que cumple con la mayor cantidad de requisitos y características establecidos en la matriz de selección.

#### 4.1.1.2. Cálculo de la velocidad de corte

Para determinar la velocidad a la que se desplaza la herramienta de corte se precisa tener en cuenta el tipo del que esta sea, de tal manera que para el sistema de impresión se requiere una fresa tipo “V” de 0.1 mm de punta y 3mm de espesor, siendo esta la más adecuada para el trabajo de desbaste de una placa fenólica.

El proceso de mecanizado de una placa fenólica se la realiza con una fresa de vástago recto, esto quiere decir que se mecanizarán materiales blandos, para ello se obtiene la velocidad de corte por medio de la Tabla 4.3.

**Tabla 4.3.** Velocidad de corte ( $m/min$ ).

	Fresa de Vástago		Fresa plato de cuchillas	
	Desbastado	Afinado	Desbastado	Afinado
Latón	35	55	50	60
Metales Ligeros	160	180	250	300

Fuente: [46].

Para el cálculo de la misma se emplea la siguiente expresión:

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} \quad (4.1)$$

Donde:

$$V_c = 160 \text{ } m/min \text{ (Velocidad de corte)}$$

$$N = \text{(Revoluciones por minuto)}$$

$$D = 3mm \text{ (Diámetro de la fresa)}$$

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D}$$

$$N = \frac{1000 \times 160(m/mm)}{\pi \times 3mm} = 16977 \text{ [RPM]}$$

#### 4.1.1.3. Cálculo del avance por diente

Para mantener un correcto desenvolvimiento de la herramienta de corte se establecen los valores indicados en la Tabla 4.4, de tal manera que para extender la vida útil de la misma es imprescindible que este no sea demasiado bajo, ya que esto produciría un desgaste precoz de los dientes de la herramienta, o al contrario si la velocidad es muy alta se reduce el espaciamiento de la viruta.

**Tabla 4.4.** Velocidad de avance por diente.

<b>Materiales</b>	<b>Velocidad (m/min)</b>	<b>Velocidad Ad (mm/diente)</b>	<b>Observaciones</b>
Aluminio	200/400	0.03/0.10	Petróleo o RGV-Copos suaves, adherentes
Aleación Aluminio	200/400	0.03/0.10	Emulsión de Aceite de Corte Copos más secos.
Latones	150/300	0.02/0.10	Emulsión de Aceite de Corte
Bronces-Zinc	100/150	0.002/0.10	Emulsión de Aceite de Corte
Plásticos(Baquelitas)	50/100	0.04/0.20	Aire
Termoplásticos	100/50	0.04/0.20	Agua Vaporizada
Acero - Inox	90	0.002/0.02	Emulsión de Aceite de Corte
Madera	60/100	0.02/0.12	Aire

Fuente: [46].

#### 4.1.1.4. Cálculo de la velocidad de avance

La velocidad de avance es el recorrido que relaciona la placa fenólica con el avance de la herramienta de corte, es por ello que se debe calcular la velocidad de avance admisible, para evitar el sobrecalentamiento de la máquina o deterioro de la herramienta de corte.

De acuerdo a las especificaciones otorgadas por el catálogo “Vinil Shop” de velocidades de cortes para plásticos (Baquelita), se seleccionó la velocidad de 0.04/0.20 mm/diente con una fresa tipo “V” para realizar el grabado de las pistas conductoras, como indica la Tabla 4.4.

Para el cálculo de la misma se utiliza la siguiente expresión:

$$Va = Sz \times z \times N \quad (4.2)$$

Donde:

$$Va = \text{Velocidad de avance (mm/min)}$$

$$Sz = 0.2 \text{ mm (Avance por diente)}$$

$z = 1$  (Número de dientes de la fresa)

$N = 16977$  RPM (Revoluciones por minuto)

$$Va = S_z \times z \times N = 0.20\text{mm} \times 1 \times 16977\text{RPM} = 3395.4 \text{ [mm/min]}$$

#### 4.1.1.5. Cálculo de la sección de viruta

Para calcular la cantidad de material que la herramienta de corte separa de la superficie de la placa, se establece la profundidad de corte de la Tabla 4.5.

Para el cálculo del mismo se utiliza la siguiente expresión:

$$S_v = a \times S_z \tag{4.3}$$

Donde:

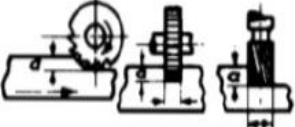
$S_v =$  Sección de viruta ( $\text{mm}^2$ )

$S_z = 0.2$  mm (Avance por diente)

$a = 2$  mm (Profundidad de corte)

$$S_v = 2\text{mm} \times 0.20\text{mm} = 0.4 \text{ [mm}^2\text{]}$$

**Tabla 4.5.** Normalización de las profundidades de corte o fresado

	Profundidad de fresado << a >> y ancho de corte		
	Fresado en terminación y con paso único	Fresado en desbaste	Fresado en afinado
<b>Fresas cilíndricas</b>	Todo el ancho de la fresa, $a = 3\text{mm}$	Todo el ancho de la fresa, $a = 5 - 8\text{mm}$	Todo el ancho de la fresa, $a = 1\text{mm}$
<b>Fresas frontales</b>	Igual al diámetro de fresa, $a = 3\text{mm}$	La mitad del diámetro de la fresa, $a = 5\text{mm}$	Igual al diámetro de fresa, $a = 1\text{mm}$
<b>Fresas frontales de mango</b>	Igual al diámetro de fresa, $a = 2\text{mm}$	La mitad del diámetro de la fresa, $a = 4\text{mm}$	Igual al diámetro de fresa, $a = 0,5\text{mm}$
<b>Fresas de disco</b>	$a =$ Ancho de la fresa como máximo	$a =$ A la mitad del ancho de la fresa	$a = 5\%$ del ancho de la fresa
<b>Fresas de forma</b>	$a =$ Todo el perfil en pequeñas formas	$a = 1$ , pasado 45% altura 2,45%	$a = 10\%$ de la altura de su forma

Fuente: [47].

#### 4.1.1.6. Cálculo del volumen de viruta

Al ser un proceso de desbaste de una superficie plana, el volumen de viruta arrancada o desprendida se obtiene con la siguiente expresión:

$$V = \frac{a \times b \times Va}{1000} \quad (4.4)$$

Donde:

$$V = \text{Volumen de viruta (cm}^3/\text{min)}$$

$$a = 2 \text{ mm (Profundidad de corte o fresado)}$$

$$b = 0.6 \text{ mm (Ancho de la fresa)}$$

$$Va = 3395.4 \text{ mm/min (Velocidad de avance)}$$

$$V = \frac{2\text{mm} \times 0.6\text{mm} \times 3395.4(\text{mm}/\text{min})}{1000} = 4,07 [\text{cm}^3/\text{min}]$$

#### 4.1.1.7. Cálculo de la fuerza de corte

Para determinar la resistencia de la pieza de trabajo a mecanizar, la misma depende de una constante de proporcionalidad, la cual se denomina presión de corte, adicionalmente se necesita la sección de viruta, que se obtuvo anteriormente.

$$Fc = Ks \times Sv \quad (4.5)$$

Donde:

$$Ks = \text{Constante de proporcionalidad}$$

$$Sv = 0.4 \text{ mm}^2 [\text{sección de viruta}]$$

Para obtener la constante de proporcionalidad utilizamos la ecuación (4.6), donde uno de los materiales a mecanizar se obtiene de la Tabla 4.6.

$$Ks = Kso \times e^{-b'} \quad (4.6)$$

$$Kso = 78 \text{ N/mm}^2 (\text{Presión específica de corte})$$

$$b' = 0.3 (\text{Factor de corrección})$$

**Tabla 4.6.** Presión específica de corte o fresado.

Material	$K_{so} (N/mm^2)$	$b'$
Cobre	78	0.3
Bronce	124	0.3
Latón	54	0.3
Plástico	19	0.3

Para obtener el espesor de viruta se analiza la expresión (4.7)

$$e = \left( \frac{Va}{z \times N} \right) \times \left( \sqrt{\frac{a}{b}} \right) \quad (4.7)$$

Donde:

$e =$  Espesor de viruta (mm)

$Va = 3395.4 \text{ mm}/\text{min}$  (Velocidad de avance)

$z = 1$  (Número de dientes de la fresa)

$N = 16977 \text{ RPM}$  (Número de revoluciones por minuto)

$a = 2 \text{ mm}$  (Profundidad de corte o fresado)

$b = 0.6 \text{ mm}$  (Ancho de la fresa)

$$e = \left( \frac{3395.4 \text{ mm}/\text{min}}{1 \times 16977 \text{ RPM}} \right) \times \left( \sqrt{\frac{2 \text{ mm}}{0.6 \text{ mm}}} \right) = 0.365 \text{ [mm]}$$

El dato obtenido en la ecuación (4.7), se sustituye en la ecuación (4.6).

$$K_s = 19 \text{ N}/\text{mm}^2 \times 0.365^{-0.3} = 25.70 \text{ [N}/\text{mm}^2]$$

El dato obtenido en la ecuación (4.6), se sustituye en la ecuación (4.5).

$$F_c = 25.70 \text{ N}/\text{mm}^2 \times 0.4 \text{ mm}^2 = 10.24 \text{ [N]}$$

#### 4.1.1.8. Cálculo de la potencia neta

Para obtener la potencia de la máquina herramienta (Motortool), es necesario tener el volumen y la cantidad admisible de viruta, para ello la cantidad admisible de viruta se muestra en la Tabla 4.7.

Seleccionamos la opción más cercana a plásticos y madera, en este caso metales ligeros ya que no hay datos exactos para estas características.

Para el cálculo de la misma se utiliza la siguiente expresión:

$$P' = \frac{V}{V'} \quad (4.8)$$

Donde:

$$V = 4.07 \text{ cm}^3/\text{min} \text{ (Volumen de viruta)}$$

$$V' = 75 \text{ cm}^3/\text{kW} \text{ (Cantidad admisible de viruta)}$$

$$P' = \frac{4.07 \left( \text{cm}^3/\text{min} \right)}{75 \left( \text{cm}^3/\text{kW} \right)} = 0,054 \text{ [kW]}$$

El valor obtenido es transformado de kW a HP

$$P' = 0.054 \text{ kW} \times \frac{1 \text{ HP}}{0.746 \text{ kW}} = 0.072 \text{ HP}$$

Para conseguir la potencia neta para la máquina herramienta, se aplica la siguiente ecuación:

$$P = \frac{P'}{\eta} \quad (4.9)$$

Donde:

$$P = \text{Potencia neta (W)}$$

$$P' = 0.054 \text{ kW (Potencia neta)}$$

$$\eta = 80 \%$$

$$P = \frac{0.054 \text{ kW}}{0.8} = 0.0675 \text{ kW} \cong 70 \text{ W}$$

La potencia neta obtenida es de 70W, por tal motivo se selecciona una herramienta rotativa denominada DREMEL 3000 de 130W, ya que en el mercado nacional no se encuentra un actuador del valor calculado.

**Tabla 4.7.** Cantidad admisible de viruta  $V'$  ( $\text{cm}^3/\text{KW}$ ).

Clase de fresado	Fundición gris semidura	Latón y bronce	Metales ligeros
Fresado con fresa cilíndrica	22	30	60
Fresado con fresa frontal	28	40	75

Fuente: [48].

#### 4.1.1.9. Cálculo de la fuerza o empuje de la máquina herramienta

Al ser un proceso de mecanizado similar al de una fresadora convencional, se calculará el empuje de la máquina herramienta ya que este proceso tiene una fusión compleja de extrusión, corte y perforación, por ello se utiliza la ecuación (4.10).

$$T = 0.05K_d F_f F_t B W + 0.007K_d D^2 J W \quad (4.10)$$

Donde:

$T =$  Fuerza o empuje de la máquina herramienta (N)

$K_d = 4000$  (Factor de trabajo del material)

$F_f = 0,06$  (Factor de avance)

$F_t = 2,54$  (Factor de empuje para diámetro de la fresa)

$B = 1,62$  (Factor de punto de fresa para empuje)

$W = 1.1$  (Factor de desgaste de herramienta)

$D = 3,2 \text{ mm}$  (Diámetro de fresa)

$J = 0,16$  (Factor punta de fresa)

$$T = [(0.05)(4000)(0.060)(2.54)(1.62)(1.1)] + [(0.007)(4000)(3.175^2)(0.160)(1.1)]$$

$$T = 103.992 \text{ [N]}$$

La National Twist Drill Division of Regal-Beloit Corp proporciona diversas fórmulas y datos tabulados, de tal manera que se analizará la ecuación para determinar la fuerza o empuje de la máquina herramienta que indicará un factor importante para la selección de los motores.

La Tabla 4.8 muestra el factor de trabajo  $K_d$  de distintos materiales:

**Tabla 4.8.** Factores de material de trabajo  $K_d$ .

Material de trabajo	Constante de material, $K_d$
AISI 1117 (acero dulce mecanizado sin sulfurizado)	12.000
Acero, 200 Bhn	24.000
Acero, 300 Bhn	31.000
Acero, 400 Bhn	34.000
Hierro fundido, 150 Bhn	14.000
Aleaciones de aluminio y zinc	7.000
Aleaciones de magnesio y cobre	4.000
Latón	14.000
Latón con plomo	7.000

Fuente: [49].

El avance de la máquina herramienta está dado en mm/rev, el mismo que define el factor de avance de la fresa o broca, este brinda seguridad y precisión en el mecanizado, para ello se define el valor sugerido por la National Twist Drill Division, como lo indica la Tabla 4.9.

**Tabla 4.9.** Factor de avance  $F_f$ .

SI Unidades Métricas			
Avance (mm/rev)	$F_f$	Avance (mm/rev)	$F_f$
0.01	0.025	0.30	0.382
0.03	0.060	0.35	0.432
0.05	0.091	0.40	0.480
0.08	0.133	0.45	0.528
0.10	0.158	0.50	0.574
0.12	0.183	0.55	0.620
0.15	0.219	0.65	0.708
0.18	0.254	0.75	0.794
0.20	0.276	0.90	0.919
0.22	0.298	1.00	1.000

Fuente: [49].

De acuerdo a los diámetros aproximados establecidos en la Tabla 4.10, se seleccionó el valor más cercano para cada factor de empuje.

**Tabla 4.10.** Factor de punta de fresa para torque y empuje.

c/d	Aprox. w/d	Factor de torque A	Factor de empuje B	Factor de empuje J
0.18	0.155	1.085	1.355	0.030
0.20	0.175	1.105	1.380	0.040
0.25	0.220	1.155	1.445	0.065
0.30	0.260	1.235	1.500	0.090
0.35	0.300	1.310	1.575	0.120
0.40	0.350	1.395	1.620	0.160

Fuente: [49].

El diámetro empleado para el desbaste de la placa fenólica se muestra en la Tabla 4.11, el cual sugiere un factor de empuje específico, que para efecto del cálculo se indica en unidades métricas del sistema internacional.

**Tabla 4.11.** Factor de empuje  $F_T$ .

<b>Diámetro de la fresa (mm)</b>	<b><math>F_T</math></b>	<b><math>F_M</math></b>
1.60	1.46	2.33
2.40	2.02	4.84
3.20	2.54	8.12
4.00	3.03	12.12
4.80	3.51	16.84
5.60	3.97	22.22
6.40	4.42	28.26
7.20	4.85	34.93
8.00	5.28	42.22
8.80	5.96	50.13
9.50	6.06	57.53
11.00	6.81	74.90
12.50	7.54	94.28
14.50	8.49	123.1
16.00	9.19	147.0
17.50	9.87	172.8

**Fuente:** [49].

La herramienta de corte depende estrictamente del tipo de operación al que esta se aplique, en este caso al ser un proceso de extrusión y corte en placa fenólica, se considerada una herramienta de corte en punta como se indica en la Tabla 4.12.

**Tabla 4.12.** Factores de desgaste de la herramienta,  $W$ .

<b>Tipo de operación</b>		<b>W</b>
Para todas las operaciones con herramientas de corte en punta		1.00
Torneado	Terminar de girar (cortes ligeros)	1.10
	Torneado normal en bruto y semiacabado	1.30
	Trabajo extra pesado giro brusco	1.60-2.00
Fresado	Fresado ligero	1.10
	Fresado final	1.10
	Fresado de cara ligera y media	1.10-1.25
	Fresado de cara para trabajos pesados	1.30-1.60
Perforado	Perforación normal	1.30
	Perforación de materiales difíciles de mecanizar	1.50
Brochado	Brochado normal	1.05-1.10
	Brochado de superficies de alta resistencia	1.20-1.30

**Fuente:** [49].

## 4.2. Diseño del sistema de transmisión

La importancia del sistema de transmisión en la máquina CNC es fundamental, ya que, para determinar un desplazamiento simétrico, es necesario establecer las fuerzas, pesos y torques adecuados en los ejes, para ello se toma en consideración las ecuaciones (4.11), (4.12) y (4.13), presentando una velocidad constante y un coeficiente de fricción despreciable ya que la misma trabaja con rodamientos lineales y ejes lisos de alta frecuencia que disminuyen considerablemente la fricción.

### 4.2.1. Cálculo de la fuerza producida por los ejes X, Y, Z

$$P_{eje} = M_{eje} \times g \quad (4.11)$$

Donde:

$$P_{eje} = \text{Fuerza del eje producido por inercia (N)}$$

$$M_{eje} = \text{kg (Masa de cada eje)}$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2 \text{ (Valor de gravedad)}$$

**Tabla 4.13.** Peso de cada eje en la máquina CNC.

	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
<b><i>M<sub>eje</sub></i></b>	5 kg	2.75 kg	1.1 kg

**Tabla 4.14.** Fuerza – Peso.

<b>Variables</b>	<b>Eje X</b>	<b>Eje Y</b>	<b>Eje Z</b>
<b><i>M<sub>eje</sub></i></b>	5 kg	2.75 kg	1.1 kg
<b>Gravedad</b>	9.8 m/s <sup>2</sup>		
<b>Fuerza – Peso</b>	49 N	26.95 N	10.78N

### 4.2.2. Cálculo de la fuerza para mover la carga de los ejes X, Y, Z

$$F_{eje} = T + P_{eje} \times \mu \quad (4.12)$$

Donde:

$F_{eje} = \text{Fuerza para mover la carga del eje (N)}$

$T = 103.992 \text{ N}$  (Fuerza o empuje de la máquina herramienta)

$P_{eje} = \text{Tabla 4.14 (Fuerza – Peso)}$

$\mu = 0.14$  (Coeficiente de fricción)

**Tabla 4.15.** Fuerza para mover la carga.

Variables	Eje X	Eje Y	Eje Z
<b>Fuerza o empuje de la máquina herramienta</b>	103.992 N		
<b>Fuerza del eje producido por inercia</b>	49 N	26.95 N	10.78 N
<b>Coeficiente de fricción</b>	0.14		
<b>Fuerza para mover la carga</b>	110.85 N	107.76 N	105.50 N

#### 4.2.3. Cálculo del torque para la carga de los ejes X, Y, Z

$$T_{eje} = F_{eje} \times \frac{P}{2 \times \pi \times \eta} \quad (4.13)$$

Donde:

$T_{eje} = \text{Torque de la carga del eje (N.m)}$

$F_{eje} = \text{Tabla 4.15 (Fuerza para mover la carga)}$

$P = 0.015875 \text{ m}$  (Paso de husillo)

$\eta = 90 \%$  (Rendimiento del husillo de paso)

**Tabla 4.16.** Torque para mover la carga en cada eje.

Variables	Eje X	Eje Y	Eje Z
<b>Fuerza para mover la carga</b>	110.85 N	107.76 N	105.50 N
<b>Paso del husillo</b>	0.015875 m		
<b>Rendimiento del husillo de paso</b>	0.9		
<b>Torque de la carga</b>	0.3111 Nm	0.3025 Nm	0.2961Nm

### **4.3. Diseño del sistema electrónico**

El sistema electrónico es fundamental en el proceso mecánico de la CNC, ya que al implementarlo necesita de herramientas para definir el posicionamiento y dirección, estas son dictadas automáticamente a través de un dispositivo electrónico mediante datos numéricos en tiempo real.

El sistema electrónico se compone de actuadores, utilizados para el desplazamiento de los ejes, su controlador y el software adecuado para su funcionamiento.

#### **4.3.1. Selección de actuadores**

Para el accionamiento de cada eje de la máquina CNC se necesita de un actuador (motor), en este caso mediante el cálculo del torque para mover la carga en cada eje desarrollado con la ecuación 4.13, se estableció un torque de 0.4 Nm para un desplazamiento óptimo, sin embargo, a través de una matriz de selección se decide qué tipo de motor es el adecuado para este proceso.

- **Características del motor DC RS-775WC**
  - a. Voltaje de operación 6 - 20 V
  - b. Torque 153 N.m
  - c. Control de lazo cerrado
  - d. Peso 383g
  - e. Corriente de operación 2.7A
- **Características del motor paso a paso NEMA 17**
  - a. Voltaje de operación 12 V
  - b. Torque 1.2 N.m
  - c. Control lazo abierto
  - d. Corriente de operación 1.7A
  - e. Pasos por revolución 400
- **Características del servomotor MG995**
  - a. Voltaje de operación 4.8-7.2 V
  - b. Control de lazo abierto
  - c. Corriente de operación 1.5 A
  - d. Peso 55g
  - e. 120 máximo de movimiento

Para elegir el actuador (motor) adecuado en cuanto a desplazamiento de ejes se refiere, se realiza una matriz de selección, la cual se evaluará respetando criterios técnicos de los elementos anteriormente detallados.

**Tabla 4.17.** Matriz de selección para el actuador (motor).

	<b>Voltaje de operación</b>	<b>Torque</b>	<b>Control</b>	<b>Corriente de operación</b>	<b>Peso</b>
<b>Motor DC RS-775WC</b>	6 - 20V	0.5/1.2N.m	Lazo cerrado	2.7A	383g
<b>Motor paso a paso NEMA 17</b>	12V	0.4/1.2N.m	Lazo abierto	1.7A	226.7g
<b>Servomotor MG995</b>	4.8-7.2V	0.98N.m	Lazo abierto	1.5A	55g

En base a la matriz de selección que se muestra en la Tabla 4.17, el actuador más apto es el motor a pasos NEMA 17, ya que permite trabajar en un intervalo de 1.2A a un máximo de 1.7A y con un voltaje directo de 12V, en este caso el motor antes mencionado para esta implementación muestra la siguiente configuración:

$$Pasos = 200$$

$$Resolución = \frac{1}{16}$$

$$Eje\ roscado = 8mm$$

$$200 \times 16 = 3200$$

$$3200 \div 8 = 400\ pasos$$

Esto quiere decir que los motores seleccionados realizarán 400 pasos en 360° de desplazamiento ya que este acoplado al eje roscado de 8 mm.

#### **4.3.2. Selección del controlador**

Es importante diseñar y seleccionar los componentes para el control del sistema de impresión, por ende, es necesario considerar algunos aspectos que complementan a dicho controlador como es el Arduino shield y los drivers A4988 los mismos que ya son definidos para este tipo de máquinas CNC.

- **Características del Arduino UNO**
  - a. Microcontrolador: ATmega328
  - b. Voltaje operativo: 5v
  - c. Voltaje de entrada (Recomendado): 7 – 12 v
  - d. Pines de entradas/salidas digital: 14 (De las cuales 6 son salidas PWM)
  - e. Pines de entradas análogas: 6
  - f. EEPROM: 1 KB
  - g. Compatible con CNC Shield v3 2.0
  - h. Compatible con Driver A4988

#### 4.3.2.1. Diagrama de ensamble Arduino, CNC Shield, Driver A4988

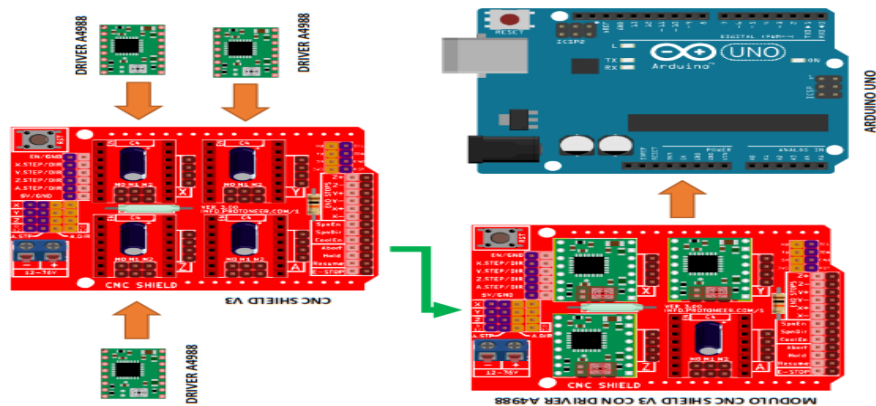


Figura 4.2. Diagrama de conexión física Arduino, CNC Shield, Driver A4988.

#### 4.3.2.2. Diagrama de ensamble del sistema de control CNC

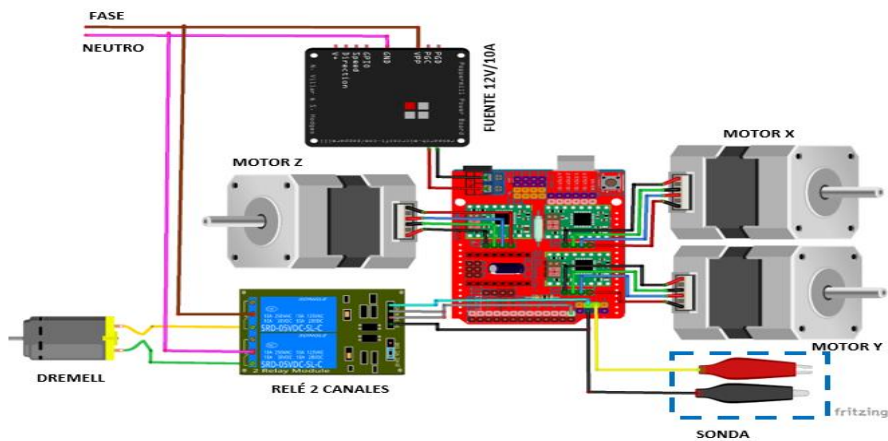


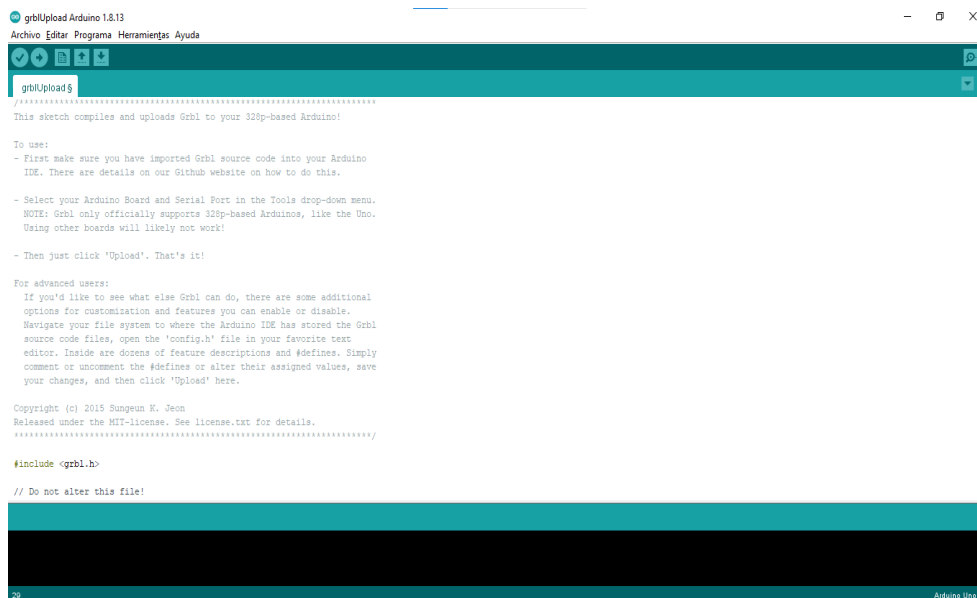
Figura 4.3. Diagrama de conexión física del sistema de control CNC.

### 4.3.2.3. Detalles de conexión entre el Arduino UNO, CNC Shield y Driver A4988

El Arduino al ser un dispositivo versátil se le puede acoplar por la parte superior una CNC Shield sin cables ni puentes externos, en este caso se utilizarán 3 drivers A4988 los mismos que regulan a corriente y a su vez protegen los 3 motores a pasos, que son instalados en cada uno de los ejes.

- **Arduino y su configuración**
  - a. Se introduce el código GRBL en su versión 1.1 al Arduino, siendo esta la más actualizada.
  - b. Se ingresa el código GRBL a la interfaz IDE de Arduino, por si requiere alguna modificación.
  - c. Mediante el programa Xloader V 1.00, se flashea el microcontrolador ATmega 328.
  - d. Dentro de Xloadaer, en Device debemos seleccionar nuestro tipo de plataforma, en nuestro caso, ATmega 328 (Arduino).
  - e. Se carga el archivo hexadecimal y nuestro microcontrolador ahora es una CNC.
- **Carga de software Grbl a Arduino UNO**

Para cargar el software Grbl en la interfaz electrónica Arduino Uno, es necesario el uso de un firmware el cual es cargado en el Arduino, ya que este es el encargado de interpretar perfectamente las señales proporcionadas por el software, además permite establecer una comunicación adecuada.



```
grblUpload Arduino 1.8.13
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
grblUpload.g
This sketch compiles and uploads Grbl to your 328p-based Arduino!

To use!
- First make sure you have imported Grbl source code into your Arduino IDE. There are details on our Github website on how to do this.
- Select your Arduino Board and Serial Port in the Tools drop-down menu. NOTE: Grbl only officially supports 328p-based Arduinos, like the Uno. Using other boards will likely not work!
- Then just click 'Upload'. That's it!

For advanced users:
If you'd like to see what else Grbl can do, there are some additional options for customization and features you can enable or disable. Navigate your file system to where the Arduino IDE has stored the Grbl source code files, open the 'config.h' file in your favorite text editor. Inside are dozens of feature descriptions and #defines. Simply comment or uncomment the #defines or alter their assigned values, save your changes, and then click 'Upload' here.

Copyright (c) 2015 Sungbum K. Jeon
Released under the MIT-license. See license.txt for details.

#include <grbl.h>

// Do not alter this file!
```

Figura 4.4. Firmware grbl en interfaz IDE Arduino.

- **Conexiones entre el Arduino y el CNC Shield**

A continuación, se ensambla en microcontrolador con el módulo CNC Shield.

**Tabla 4.18.** Conexión mediante pines.

<b>Arduino UNO</b>	<b>CNC Shield</b>
Pin digital 2	X.STEP
Pin digital 3	Y.STEP
Pin digital 4	Z.STEP
Pin digital 5	X.DIR
Pin digital 6	Y.DIR
Pin digital 7	Z.DIR
Pin digital 8	-----
Pin digital 9	X- y X+
Pin digital 10	Y- e Y +
Pin digital 11	Z- y Z +
Pin digital 12	SpnEn
Pin digital 13	SpnDir
Pin analógico A0	Abort
Pin analógico A1	Hold
Pin analógico A2	Resume
Pin analógico A3	CoolEn
Pin analógico A4	SDA
Pin analógico A5	SCL

- **Módulo CNC Shield**

La configuración empleada a través de los jumpers de la CNC Shield, está realizada manualmente no por programación, es decir que a partir del montaje de los drivers A4988, en los jumpers se realiza la configuración como se muestra en la Tabla 4.19, definiendo así los micropasos necesarios para un mecanizado de calidad.

**Tabla 4.19.** Configuración del driver A4988.

<b>MS1</b>	<b>MS2</b>	<b>MS3</b>	<b>Resolución</b>
Bajo	Bajo	Bajo	1
Alto	Bajo	Bajo	1/2
Bajo	Alto	Bajo	1/4
Alto	Alto	Bajo	1/8
Alto	Alto	Alto	1/16

- **Driver A4988**

Para ensamblar los drivers de control a la Shield es necesario calcular primero la intensidad de referencia, para este cálculo se debe tener en cuenta la intensidad máxima que soportan las bobinas de los motores y la resistencia del driver de control, mediante la siguiente ecuación:

$$V_{ref} = I_{max}(8 \times R_s) \quad (4.14)$$

Donde:

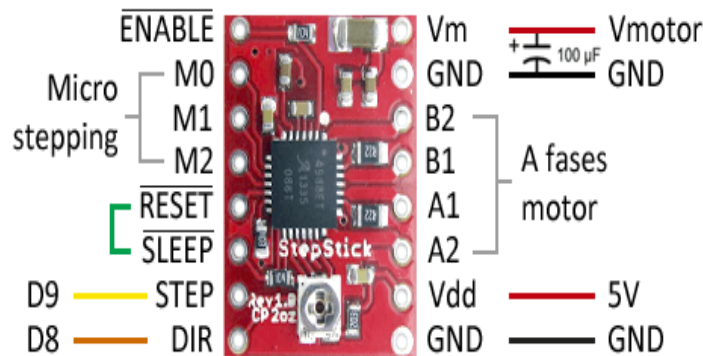
$V_{ref}$  = Voltaje de referencia

$I_{max}$  = Intensidad máxima del motor NEMA 17

$R_s$  = Resistencia de sentido del A4988

$$V_{ref} = 1.2 \text{ A} (8 \times 0.1\Omega) = 0.96 \text{ [V]}$$

Una vez obtenidos estos valores, con el potenciómetro que viene incluido en el driver se selecciona el valor adecuado y posteriormente se puede conectar de manera segura los motores a pasos NEMA 17.



**Figura 4.5.** Conexiones del driver A4988.

**Fuente:** [27].

### 4.3.3. Selección del software CAD/CAM

Para el manejo del prototipo a implementarse es necesario contar con un software libre que permita al operador utilizar, copiar, modificar y transferir los códigos generados al controlador, con ello se logrará afinar la máquina.

- **Características del OpenCNCPilot**
  - a. Controla la CNC con GRBL+Arduino
  - b. Editor de gcode
  - c. Software libre
  - d. Software de interacción práctica
  - e. Mapa de alturas
  - f. Configuración de aceleración y velocidad
  - g. Configuración de gcode
- **Características del Universal gcode sender**
  - a. Software libre
  - b. Lenguaje G-code
  - c. Controladores CNC avanzados como GRBL y TinyG
  - d. Configuración de G-code confiable
  - e. Control de velocidad por defecto del software
- **Características del grblControl**
  - a. Software pagado
  - b. Lenguaje G-code
  - c. Controlador CNC abierto con GRBL
  - d. Configuración del código G-code
  - e. Control de velocidad establecido por el software

Para la selección del software de integración CAD/CAM, se realiza una matriz de selección, la cual se evaluará respetando los criterios técnicos anteriormente detallados.

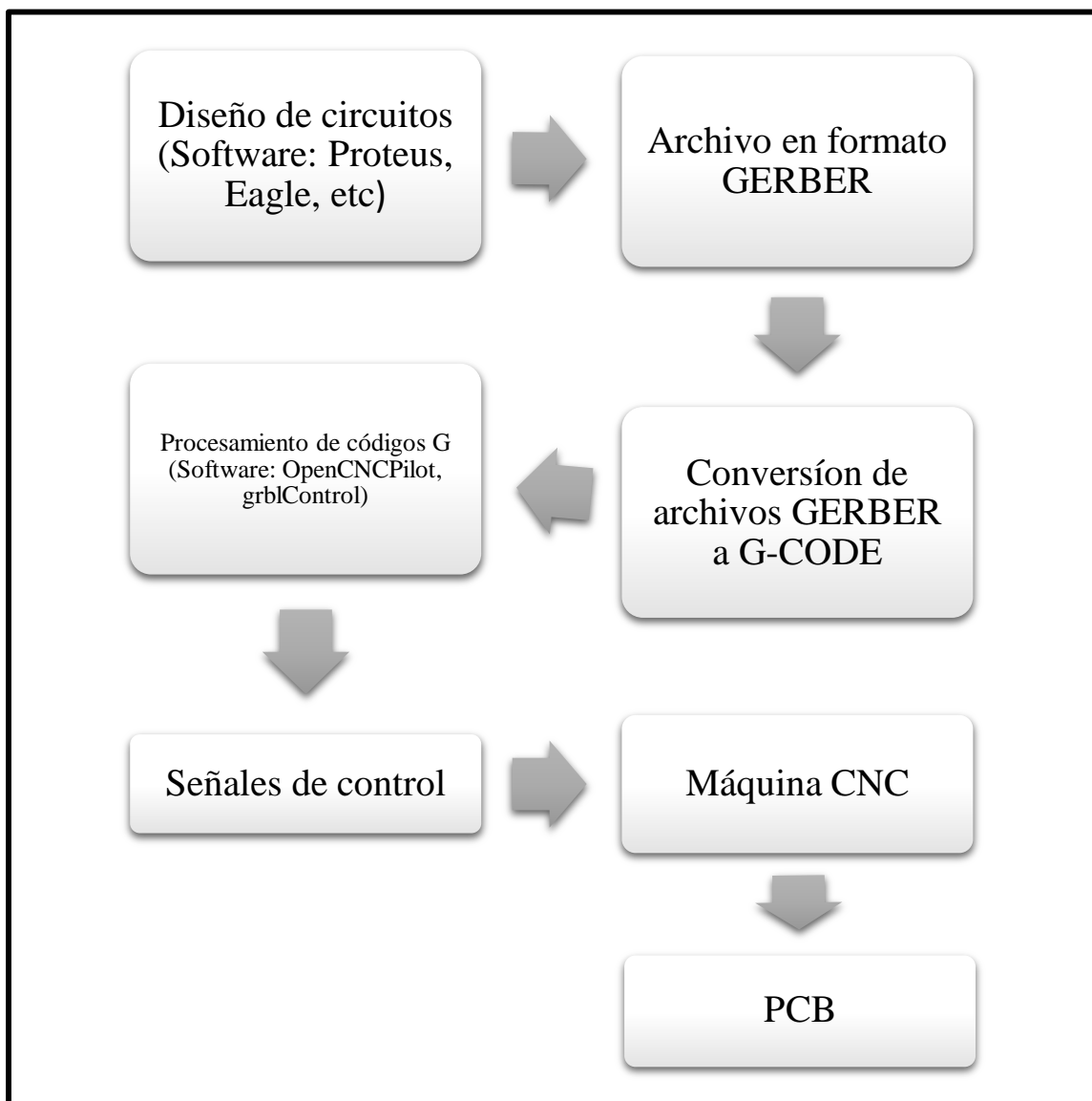
**Tabla 4.20.** Matriz de selección para el software CAD/CAM.

	<b>Software</b>	<b>Generación de archivos G-code</b>	<b>Configuración</b>	<b>Visualización</b>	<b>Control CNC</b>
<b>OpenCNCPilot</b>	Libre	Editor	Aceleración y velocidad	En tiempo real	GRLB+Arduino
<b>Universal gcode sender</b>	Libre	Lenguaje	Velocidad por defecto	En tiempo real	GRBL+TinyG
<b>grblCtrl</b>	Pagado	Lenguaje	Velocidad por defecto	En tiempo real	GRLB Abierto

En base a la matriz de selección que se muestra en la Tabla 4.20, se designa a OpenCNCPilot como el mejor software de control para la máquina CNC ya que cuenta con un entorno amigable y completo para el operador, además de ser un software libre.

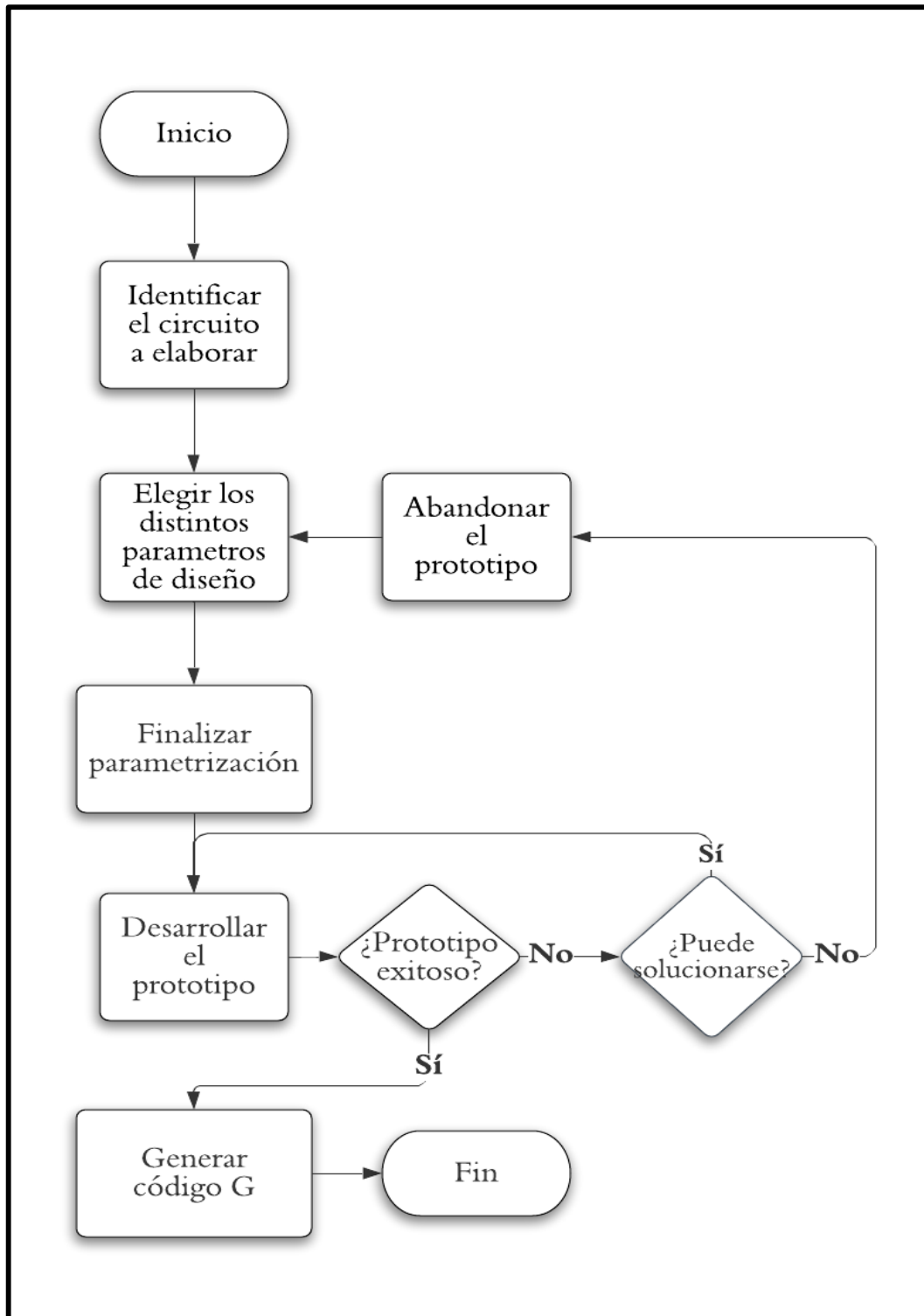
#### 4.3.3.1. Diagrama de bloques del sistema de impresión CNC

Para llegar a un mecanizado de calidad en una PCB, se debe realizar un proceso, el cual se detalla en la Figura 4.4 con ello delimitamos caracteres esenciales que van desde el diseño hasta la fabricación del circuito.



**Figura 4.6.** Diagrama de bloques del sistema de impresión CNC.

#### 4.3.3.2. Diagrama de flujo para el desbaste, perforado y corte del PCB



**Figura 4.7.** Diagrama de flujo del proceso de manufactura de PCB.

#### 4.4. Diseño del sistema eléctrico

El sistema eléctrico de la máquina CNC, está compuesto primordialmente de una fuente de alimentación, la cual se encarga de suministrar corriente continua a los diferentes componentes electrónicos. Sin embargo, también forma parte del sistema eléctrico la máquina herramienta, la cual se conecta directamente desde la red de energía utilizable.

##### 4.4.1. Selección de la fuente de alimentación

Es esencial tener un flujo de corriente continua apropiado, tanto para los actuadores, máquina herramienta y a su vez para los distintos componentes de control, de tal manera que es adecuado considerar las características de las fuentes de alimentación que a continuación se detallan.

- **Características de la fuente de alimentación lineal**
  - a. Transformador de tamaño estándar
  - b. Frecuencia menor
  - c. Circuito de control simple
  - d. Desperdicia energía en forma de calor
  - e. Eficiencia de 60%
- **Características de la fuente de alimentación conmutada**
  - a. Transformador pequeño
  - b. Frecuencia mayor
  - c. Circuito de control complejo
  - d. No genera calor
  - e. Eficiencia de 90%

Para la selección de una fuente de alimentación adecuada, se realiza una matriz de selección, la cual se evaluará respetando criterios técnicos de los dispositivos anteriormente detallados.

**Tabla 4.21.** Matriz de selección para la fuente de alimentación.

	<b>Voltaje</b>	<b>Corriente</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Circuito</b>	<b>Energía</b>	<b>Eficiencia</b>
<b>Fuente lineal</b>	110/12V	1.5A	Menor	Control simple	Genera calor	60%
<b>Fuente conmutada</b>	110/12V	15A	Mayor	Complejo	No genera calor	90%

En base a la matriz de selección que se muestra en la Tabla 4.21, se designa a la fuente conmutada como el mejor dispositivo de alimentación para la máquina CNC ya que cuenta con una alimentación de voltaje alterno de 110V y 220V, soporta un máximo de 1.3A, además proporciona una salida de voltaje directo de 12V a 2.2A, con una eficiencia de 90%.

#### **4.4.2. Selección de la máquina herramienta**

Para el mecanizado de la tarjeta PCB, es importante definir la máquina herramienta que opere en condiciones adecuadas para un proceso de fresado y perforado, es decir que debe proporcionar una velocidad constante y una potencia estable para un desbaste de calidad.

- **Características del DREMEL 3000**
  - a. Peso 0.55 kg
  - b. Longitud 19 cm
  - c. Ancho 5 cm
  - d. Profundidad 4.5 cm
  - e. Velocidad en vacío 10,000 - 33,000 rpm
  - f. Ajuste de velocidad Variable
  - g. Potencia 130w
  - h. Potencia sonora 88.1 dB(A)
  - i. Vibración 12.8 m/s<sup>2</sup>

El motortool DREMEL 3000 tiene características y condiciones que se busca para la máquina CNC a implementar, es decir que el prototipo debe contar con una potencia neta en la máquina herramienta de aproximadamente 70W, como señala la ecuación 4.9. ya que en el mercado no se encuentra un motor de husillo o DREMEL de tal potencia; se seleccionó el más cercano que es de 130W.

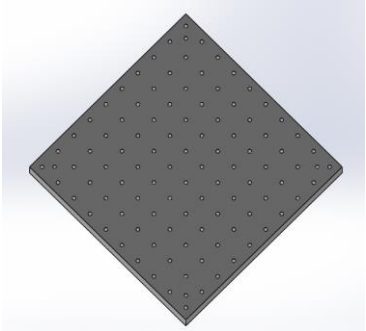
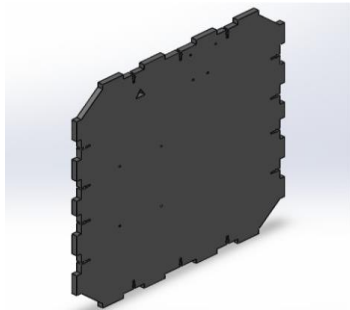
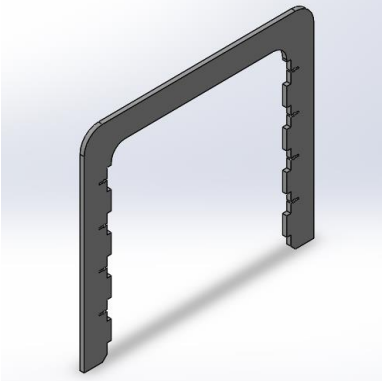
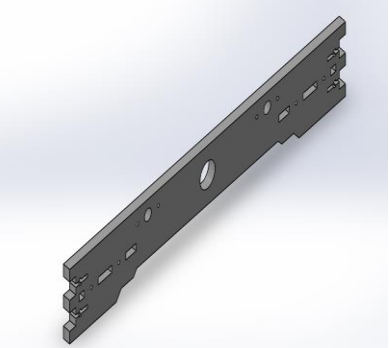
#### **4.5. Diseño del sistema estructural**

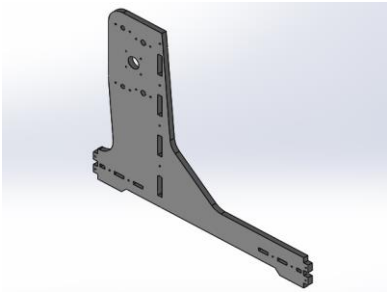
Para el diseño estructural de la máquina CNC, se considera un sinnúmero de software CAD, sin embargo, para la propuesta tecnológica se opta por el software de diseño en su versión de prueba SolidWorks 2019, con el fin de concretar ideas y bosquejos que consoliden una estructura acorde a un proceso de ingeniería.

#### 4.5.1. Modelado CAD de la máquina CNC

**Tabla 4.22.** Piezas modeladas en software SolidWorks.

Elemento	Descripción	Modelado CAD
<p><b>Base de traslación del eje X</b></p>	<p>Se encarga de la traslación del eje X, y a su vez sirve como soporte para la máquina herramienta y la traslación del eje Z.</p>	
<p><b>Base de traslación del eje Z</b></p>	<p>Su función es la de dar soporte a la base de sujeción del DREMEL y a su vez a la traslación del eje Z.</p>	
<p><b>Base de sujeción del DREMEL</b></p>	<p>Se encarga de alojar la máquina herramienta, la misma que se encuentra acoplada a la base de traslación del eje Z.</p>	

<p><b>Base de traslación del eje Y</b></p>	<p>Se encarga de dar soporte a la placa fenólica mientras se produce el mecanizado.</p>	
<p><b>Cubierta de sujeción</b></p>	<p>Su función es dar la rigidez necesaria a toda la estructura.</p>	
<p><b>Puente de sujeción de los soportes laterales</b></p>	<p>Su función es la de sujetar los soportes laterales y a su vez proporciona estabilidad a la base de la máquina.</p>	
<p><b>Soportes frontal y posterior</b></p>	<p>Estos soportes se encargan de acoger el sistema de traslación del eje Y, y a su vez confirman una parte de la base.</p>	

<p style="text-align: center;"><b>Soportes laterales</b></p>	<p>Su función en gran parte es la de acoplar a las distintas piezas, ejes de traslación, que a su vez son parte de la base que proporciona la estabilidad.</p>	
--	--	---

#### 4.5.2. Selección del material para la estructura

Para la elección del material idóneo de la estructura del sistema CNC, se debe considerar un material que brinde adaptación, funcionalidad y la estética que requiere la máquina, a través de un análisis de resistencia del material, propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas. De tal manera que para elegir el material adecuado en cuanto a su estructura se refiere, se realiza un conjunto de matrices de selección, las cuales se evalúan respetando criterios técnicos de los materiales en cuestión.

##### 4.5.2.1. Resistencia del material

- **Características del Acrílico (Polimetilmetacrilato)**
  - a. Densidad,  $1.2 \text{ g/cm}^3$
  - b. Rigidez al peso: Axial, 1.5 Pa; Flexión, 42 Pa
  - c. Resistencia al peso: Axial, 17 puntos; Flexión, 32 puntos
  - d. Difusividad térmica,  $0.13 \text{ mm}^2 / \text{s}$
  - e. Resistencia al choque térmico, 21 puntos
- **Características del MDF (Fibropanel de densidad media)**
  - a. Densidad,  $0.75 \text{ g/cm}^3$
  - b. Rigidez al peso: Axial, 3.0 Pa; Flexión, 71 Pa
  - c. Resistencia al peso: Axial, 6.7 puntos; Flexión, 20 puntos
  - d. Difusividad térmica,  $0.24 \text{ mm}^2 / \text{s}$
  - e. Resistencia al choque térmico, 27 puntos

**Tabla 4.23.** Matriz de selección “Material de la estructura”, resistencia del material.

	Densidad( $\rho$ )	Rigidez Axial/Flexión	Resistencia Axial/Flexión	Difusividad térmica	Choque térmico
Acrílico	1.2 g/cm <sup>3</sup>	1.5/42 Pa	17/32 puntos	0.13 mm 2/s	21 puntos
MDF	0.75 g/cm <sup>3</sup>	3.0/71 Pa	6.7/20 puntos	0.24 mm 2/s	27 puntos

#### 4.5.2.2. Propiedades mecánicas

- **Características del Acrílico (Polimetilmetacrilato)**
  - a. Resistencia a la compresión (aplastamiento), 120 MPa
  - b. Módulo elástico (de Young, tracción), 3.2 GPa
  - c. Alargamiento a la rotura, 4.0 %
  - d. Módulo de corte, 1.7 GPa
  - e. Resistencia a la tracción: Ultimate (UTS), 71 MPa
- **Características del MDF (Fibropanel de densidad media)**
  - a. Resistencia a la compresión (aplastamiento), 10 MPa
  - b. Módulo elástico (de Young, tracción), 4.0 GPa
  - c. Alargamiento a la rotura, 0.5 %
  - d. Módulo de corte, 2.5 GPa
  - e. Resistencia a la tracción: Ultimate (UTS), 18 MPa

**Tabla 4.24.** Matriz de selección “Material de la estructura”, propiedades mecánicas.

	Resistencia a la compresión	Módulo elástico	Rotura	Módulo de corte	Resistencia a la tracción
Acrílico	120 MPa	3.2 GPa	4.0 %	1.7 GPa	71 MPa
MDF	10 MPa	4.0 GPa	0.5 %	2.5 GPa	18 MPa

#### 4.5.2.3. Propiedades térmicas

- **Características del Acrílico (Polimetilmetacrilato)**
  - a. Capacidad calorífica específica, 1260 J / kg-K
  - b. Expansión térmica, 0.19  $\mu\text{m}$  / mK
  - c. Conductividad térmica, 76 W / mK

- **Características del MDF (Fibropanel de densidad media)**

- a. Capacidad calorífica específica, 1700 J / kg-K
- b. Expansión térmica, 0.3  $\mu\text{m} / \text{mK}$
- c. Conductividad térmica, 12 W / mK

**Tabla 4.25.** Matriz de selección “Material de la estructura”, propiedades térmicas.

	<b>Capacidad calorífica</b>	<b>Expansión térmica</b>	<b>Conductividad térmica</b>
<b>Acrílico</b>	1260 J/kg-K	0.19 $\mu\text{m}/\text{mK}$	76 W/mK
<b>MDF</b>	1700 J/kg-K	0.3 $\mu\text{m}/\text{mK}$	12 W/mK

#### 4.5.2.4. Propiedades eléctricas

- **Características del Acrílico (Polimetilmetacrilato)**

- a. Rigidez dieléctrica (potencial de ruptura), 30 kV / mm

- **Características del MDF (Fibropanel de densidad media)**

- a. Rigidez dieléctrica (potencial de ruptura), 0.5 kV / mm

**Tabla 4.26.** Matriz de selección “Material de la estructura”, propiedades eléctricas.

	<b>Rigidez dieléctrica</b>
<b>Acrílico</b>	30 kV/mm
<b>MDF</b>	0.5 kV/mm

En base a las matrices de selección que se muestran en las Tablas 4.23, 4.24, 4.25, 4.26 y conforme a las diferentes características obtenidas en catálogos técnicos, se designa al Polimetilmetacrilato (Acrílico) como el material idóneo para la construcción de la estructura de la máquina CNC, ya que es uno de los materiales sintéticos más antiguos del mundo, es muy común utilizarlo en una gran variedad de aplicaciones en la industria, este posee una densidad de 1.2 g / cm<sup>3</sup>, y al ser un acrílico de 9mm de espesor proporciona una gran resistencia al impacto, de igual manera el peso por metro cuadrado es de 10.710kg, esto significa que proporciona gran estabilidad y rigidez.

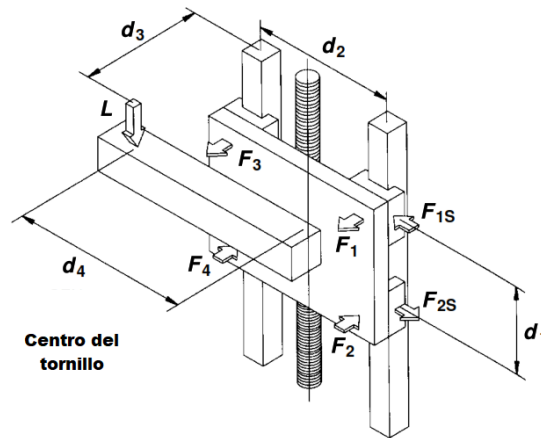
Parte esencial de este tipo de material es que la constante dieléctrica es elevada, con lo cual este material actúa como un excelente aislante eléctrico de esta manera evitará cualquier tipo de cortocircuito en el prototipo, en consecuencia, es muy importante considerar también el factor humedad, ya que este evitará el desgaste prematuro, reducirá el envejecimiento del material y prolongará la vida útil de la máquina.

### 4.5.3. Componentes estructurales ejes X, Y, Z

Para la estructura de la máquina CNC existen componentes que ayudan al desplazamiento de los ejes, para ello se analizan las cargas en cada bloque guía.

#### 4.5.3.1. Diseño del sistema estructural vertical eje Z

La máquina herramienta al estar ubicada en el eje Z se traslada de manera vertical, de tal manera que la fresa entre en contacto con la placa fenólica.



**Figura 4.8.** Traslación vertical con carga eje Z.  
**Fuente:** [50].

Ecuaciones para el cálculo de eje vertical Z:

Donde:

$$d1 = 60mm$$

$$d2 = 65mm$$

$$d3 = 50mm$$

$$d4 = 0mm$$

El diámetro 4 es 0 ya que la carga de la máquina herramienta se encuentra en el centro y está paralela al tornillo potencia.

$$F1 = F3 = \frac{L}{2} \times \left(\frac{d3}{d1}\right) \quad (4.15)$$

$$F2 = F4 = -\frac{L}{2} \times \left(\frac{d3}{d1}\right) \quad (4.16)$$

$$F1s = F3s = \frac{L}{2} \times \left(\frac{d4}{d2}\right) \quad (4.17)$$

$$F2s = F4s = -\frac{L}{2} \times \left(\frac{d4}{d2}\right) \quad (4.18)$$

Donde:

Fuerza ejercida por la máquina herramienta:

$$L = W + Fc \quad (4.19)$$

$$W = 1.1 \text{ kg}$$

Fuerza de corte:

$$Fc = 10.24 \text{ N}$$

$$L = (W \times g) + Fc = (1.1 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2) + 10.24 \text{ N} = 21.02 \text{ N}$$

Empleando los valores calculados anteriormente se los reemplaza en las ecuaciones (4.15), (4.16), (4.17), (4.18).

$$F1 = F3 = \frac{L}{2} \times \left(\frac{d3}{d1}\right) = \frac{21.02 \text{ N}}{2} \times \left(\frac{50 \text{ mm}}{60 \text{ mm}}\right) = 8.76 \text{ N}$$

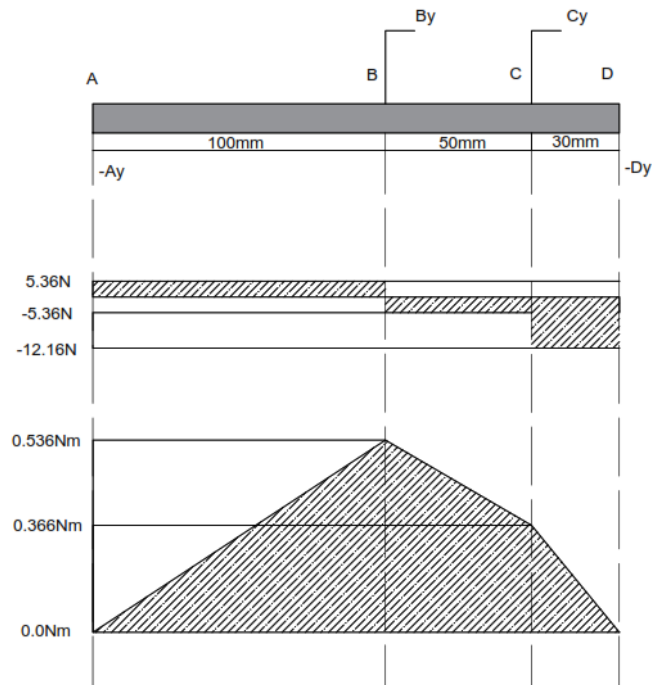
$$F2 = F4 = -\frac{L}{2} \times \left(\frac{d3}{d1}\right) = -\frac{21.02 \text{ N}}{2} \times \left(\frac{50 \text{ mm}}{60 \text{ mm}}\right) = -8.76 \text{ N}$$

$$F1s = F3s = \frac{L}{2} \times \left(\frac{d4}{d2}\right) = \frac{21.02 \text{ N}}{2} \times \left(\frac{0 \text{ mm}}{65 \text{ mm}}\right) = 0 \text{ N}$$

$$F2s = F4s = -\frac{L}{2} \times \left(\frac{d4}{d2}\right) = -\frac{21.02 \text{ N}}{2} \times \left(\frac{0 \text{ mm}}{65 \text{ mm}}\right) = 0 \text{ N}$$

- **Eje guía coordenada Z**

Una vez obtenidos los valores de la F1 y F2, para la coordenada Z se aplica el diagrama de cuerpo libre, como muestra la figura 4.9.



**Figura 4.9.** Diagrama de cuerpo libre eje Z.

Sumatoria de fuerzas en Y:

$$\Sigma F_y = 0 \quad (4.20)$$

$$-A_y + 8.76N + 8.76N - D_y = 0 \quad (-1)$$

$$-A_y = -8.76N - 8.76N + D_y$$

$$A_y = 8.76N + 8.76N - D_y$$

$$A_y = 17.52N - D_y$$

$$A_y = 17.52N - 12.16N$$

$$A_y = 5.36 N$$

Cálculo de momentos en A:

$$\Sigma M_A = 0 \quad (4.21)$$

$$(B_y 100mm) + (C_y 150mm) - (D_y 180mm) = 0$$

$$(100 B_y) + (150 C_y) - (180 D_y) = 0 \quad (-1)$$

$$Dy = \frac{(100 By) + (150 Cy)}{180 Dy}$$

$$Dy = \frac{(100 \times 8.76) + (150 \times 8.76)}{180} = 12.16 N$$

Momentos:

$$M1 = Ay \times 100 = 5.36 \times 100 = 536 Nmm = 0.536 Nm \quad (4.22)$$

$$M2 = M1 - ((Ay - By) \times 50) = 536 - ((3.4) \times 50) = 366 Nmm = 0.366 Nm \quad (4.23)$$

$$M3 = M2 - (Dy \times 30) = 366 - (12.16 \times 30) = 1.2 Nmm = 0.0012 Nm \quad (4.24)$$

Cálculo de ejes guía:

$$\tau_{max} = \frac{M}{S} \quad (4.25)$$

$$S = \frac{\pi d^3}{32} \quad (4.26)$$

$$\eta = \frac{Sy}{\tau_{max}} \quad (4.27)$$

Donde:

$\tau_{max}$  = Esfuerzo normal máximo

$M$  = Momento flector máximo

$S$  = Módulo de resistencia para una sección transversal cilíndrica

$Sy$  = Resistencia a la fluencia del material

Se considera un factor mínimo de seguridad:  $\eta = 2$

La resistencia a la fluencia, acero AISI-SAE1045:  $Sy = 310 \times 10^6 N/m^2$

$$\tau_{max} = \frac{Sy}{\eta} = \frac{310 \times 10^6 N/m^2}{2} = 155 N/mm^2$$

Del diagrama de cuerpo libre eje Z en la figura 4.9, se tiene un  $M = 0.536 Nm$ , que se aplica en la ecuación 4.25.

$$S = \frac{M}{\tau_{max}} = \frac{536 \text{ Nmm}}{155 \text{ N/mm}^2} = 3.45 \text{ mm}^3$$

Por medio de la ecuación 4.26, se obtiene el diámetro del eje:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times S}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 \times (3.45 \text{ mm}^3)}{\pi}} = 3.27 \text{ mm}$$

En base a los resultados obtenidos para el eje Z, se calculó un diámetro de 3.27 mm, este valor es considerado para la selección del mismo o en su defecto el más próximo que exista en el mercado, para ello la Tabla estandarizada 4.27 muestra distintas dimensiones de rodamientos lineales.

**Tabla 4.27.** Valores estándar de rodamientos lineales SKF.

Dimensiones			Número de hileras de bolas	Cargas básicas nominales		Masa	
Fw	D	C		din.	Est. Co	Kg	
mm				C			N
				N			
8	15	24	4	490	355	0,007	
10	17	26	5	585	415	0,011	
12	19	28	5	695	510	0,012	
14	21	28	5	710	530	0,013	
16	24	30	5	930	630	0,018	
20	28	30	6	1160	800	0,021	
25	35	40	7	2120	1560	0,047	
30	40	50	8	3150	2700	0,07	
40	52	60	8	5500	4500	0,13	
50	62	70	9	6950	6300	0,18	

El rodamiento más cercano al cálculo obtenido es el de 8 mm, siendo este el ideal para la máquina CNC, ya que en el mercado no existe un rodamiento lineal de 3.27 mm.

- **Cálculo del factor de seguridad**

El factor de seguridad se calcula con la ecuación 4.26, ya que se obtuvo previamente el diámetro del eje de 8 mm.

$$S = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{\pi (8 \text{ mm})^3}{32} = 50.27 \times 10^{-6}$$

$$M = 536 \text{ Nmm}$$

$$\tau_{max} = \frac{M}{S} = \frac{536 \text{ Nmm}}{50.27 \times 10^{-6}} = 10.66 \text{ MPa}$$

$$\eta = \frac{Sy}{\tau_{max}} = \frac{310 \text{ MPa}}{10.66 \text{ MPa}} = 29.08$$

- **Cálculo para el tornillo de potencia eje Z**

Una vez determinada la carga del eje Z, se puede realizar el cálculo para el tornillo de potencia.

$$F = W + Fc \quad (4.28)$$

Donde:

Fuerza ejercida por la máquina herramienta es:

$$W = 1.1 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 = 10.78 \text{ N}$$

Fuerza de corte:

$$Fc = 10.24 \text{ N}$$

Se aplica la ecuación 4.28, con los valores establecidos anteriormente:

$$F = W + Fc$$

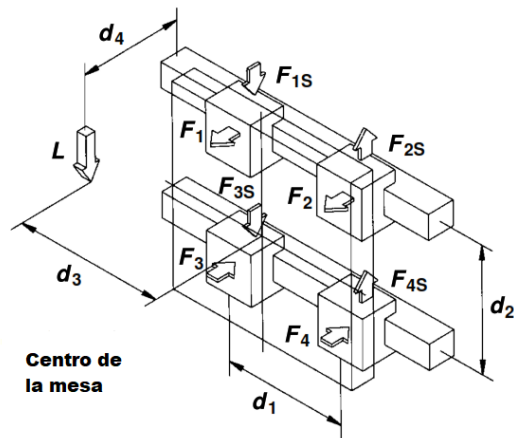
$$F = 10.78 \text{ N} + 10.24 \text{ N} = 21.02 \text{ N}$$

Entonces:

$$F = 21.02 \text{ N} = 2.1434 \text{ kgf}$$

#### **4.5.3.2. Diseño del sistema estructural horizontal eje X**

Para la estructura del eje X se considera al carro portaherramientas, el cual se desplaza de manera horizontal, trasladando a la máquina herramienta.



**Figura 4.10.** Traslación horizontal con carga eje X.  
Fuente: [50].

Ecuaciones para el cálculo de eje vertical X:

Donde:

$$d1 = 70 \text{ mm}$$

$$d2 = 120 \text{ mm}$$

$$d3 = 0 \text{ mm}$$

$$d4 = 78 \text{ mm}$$

El diámetro 3 es 0 ya que la carga de carro portaherramientas se encuentra en el centro y está paralela al tornillo potencia.

$$F1 = F2 = \frac{L}{2} \times \left(\frac{d4}{d2}\right) \quad (4.29)$$

$$F3 = F4 = -\frac{L}{2} \times \left(\frac{d4}{d2}\right) \quad (4.30)$$

$$F1s = F3s = \frac{L}{4} + \frac{L}{2} \times \left(\frac{d3}{d1}\right) \quad (4.31)$$

$$F2s = F4s = \frac{L}{4} - \frac{L}{2} \times \left(\frac{d3}{d1}\right) \quad (4.32)$$

Donde:

Fuerza ejercida por el carro portaherramientas:

$$L = Fc + Wz + Wx \quad (4.33)$$

$$Wz = 1.1kg \times 9.8 \frac{m}{s^2} = 10.78 N$$

$$Wx = 5kg \times 9.8 \frac{m}{s^2} = 49 N$$

Fuerza de corte:

$$Fc = 10.24 N$$

$$L = Fc + (Wz \times g) + (Wx \times g) = 10.24 N + 10.78 N + 49 N = 70.02 N$$

Empleando los valores calculados anteriormente se los reemplaza en las ecuaciones (4.29), (4.30), (4.31), (4.32).

$$F1 = F2 = \frac{L}{2} \times \left(\frac{d4}{d2}\right) = \frac{70.02 N}{2} \times \left(\frac{78 mm}{120 mm}\right) = 22.75 N$$

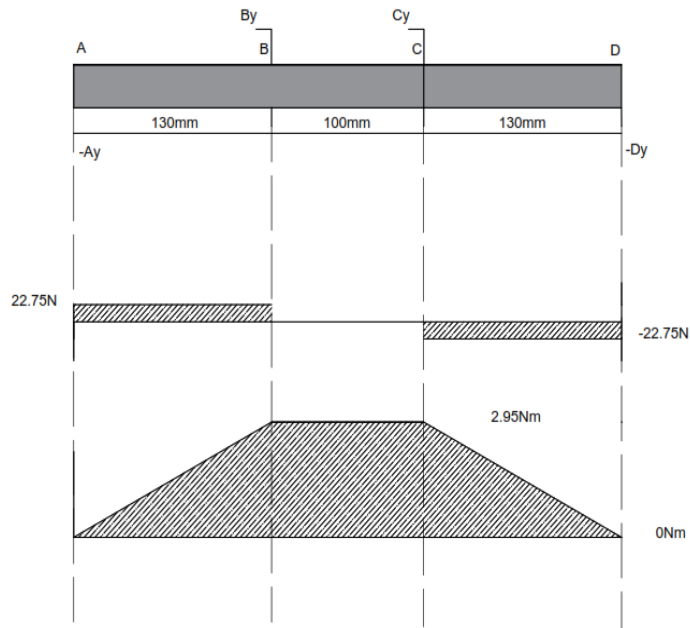
$$F3 = F4 = -\frac{L}{2} \times \left(\frac{d4}{d2}\right) = -\frac{70.02 N}{2} \times \left(\frac{78 mm}{120 mm}\right) = -22.75 N$$

$$F1s = F3s = \frac{L}{4} + \frac{L}{2} \times \left(\frac{d3}{d1}\right) = \frac{70.02 N}{4} + \frac{70.02 N}{2} \times \left(\frac{0 mm}{78 mm}\right) = 17.50 N$$

$$F2s = F4s = \frac{L}{4} - \frac{L}{2} \times \left(\frac{d3}{d1}\right) = \frac{70.02 N}{4} - \frac{70.02 N}{2} \times \left(\frac{0 mm}{78 mm}\right) = 17.50 N$$

- **Eje guía coordenada X**

En esta coordenada los ejes son fundamentales ya que cumple dos funciones, la primera desplazar a la máquina herramienta de manera horizontal y dar soporte al eje Z, para ello se obtiene previamente las fuerzas F3, F4 y se aplica el diagrama de cuerpo libre, como muestra la figura 4.11.



**Figura 4.11.** Diagrama de cuerpo libre eje X.

Sumatoria de fuerzas en Y:

$$\Sigma F_y = 0 \quad (4.34)$$

$$-A_y + B_y + C_y - D_y = 0$$

$$A_y = B_y + C_y - D_y$$

$$A_y = 22.75 \text{ N} + 22.75 \text{ N} - 22.75 \text{ N}$$

$$A_y = 22.75 \text{ N}$$

Cálculo de momentos en A:

$$\Sigma M_A = 0 \quad (4.35)$$

$$(B_y \times 130 \text{ mm}) + (C_y \times 230 \text{ mm}) - (D_y \times 360 \text{ mm}) = 0$$

$$360 \text{ mm } D_y = 130 \text{ mm } B_y + 230 \text{ mm } C_y$$

$$D_y = \frac{(130 \text{ mm} \times 22.75 \text{ N}) + (230 \text{ mm} \times 22.75 \text{ N})}{360 \text{ mm}}$$

$$D_y = 22.75 \text{ [N]}$$

Momentos:

$$M1 = Ay \times 130 = 22.75 \text{ N} \times 130 \text{ mm} = 2957.5 \text{ Nmm} \quad (4.36)$$

$$M2 = M1 + ((Ay - By) \times 100 \text{ mm}) \quad (4.37)$$

$$M2 = 2957.5 \text{ Nmm} + ((22.75 - 22.75) \times 100 \text{ mm}) = 2957.5 \text{ Nmm}$$

$$M3 = M2 - (Dy \times 130) = 2957.5 - (22.75 \times 130) = 0 \text{ Nmm} \quad (4.38)$$

Cálculo de eje guía:

$$\tau_{max} = \frac{M}{S} \quad (4.39)$$

$$S = \frac{\pi d^3}{32} \quad (4.40)$$

$$\eta = \frac{Sy}{\tau_{max}} \quad (4.41)$$

Donde:

$\tau_{max}$  = Esfuerzo normal máximo

$M$  = Momento flector máximo

$S$  = Módulo de resistencia para una sección transversal cilíndrica

$Sy$  = Resistencia a la fluencia del material

Se considera un factor mínimo de seguridad:  $\eta = 2$

La resistencia a la fluencia, acero AISI-SAE1045:  $Sy = 310 \times 10^6 \text{ N/m}^2$

$$\tau_{max} = \frac{Sy}{\eta} = \frac{310 \times 10^6 \text{ N/m}^2}{2} = 155 \text{ N/mm}^2$$

Del diagrama de cuerpo libre eje X en la figura 4.11, se tiene un  $M = 2.97 \text{ Nm}$ , que se aplica en la ecuación 4.39.

$$S = \frac{M}{\tau_{max}} = \frac{2975.5 \text{ Nmm}}{155 \text{ N/mm}^2} = 19.08 \text{ mm}^3$$

Por medio de la ecuación 4.40, se obtiene el diámetro del eje:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times S}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 \times (19.08 \text{ mm}^3)}{\pi}} = 5.79 \text{ mm} \approx 6 \text{ mm}$$

En base a los resultados obtenidos para el eje X, se calculó un diámetro de 6 mm, este valor es considerado para la selección del mismo o en su defecto el más próximo que exista en el mercado, para ello la Tabla estandarizada 4.26 muestra distintas dimensiones de rodamientos lineales, de los cuales el más cercano es el rodamiento de 8mm.

- **Cálculo del factor de seguridad**

El factor de seguridad se calcula con la ecuación 4.40, ya que se obtuvo previamente el diámetro del eje de 8 mm.

$$S = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{\pi (8 \text{ mm})^3}{32} = 50.27 \times 10^{-6}$$

$$M = 2957.5 \text{ Nmm}$$

$$\tau_{max} = \frac{M}{S} = \frac{2957.5 \text{ Nmm}}{50.27 \times 10^{-6}} = 58.83 \text{ MPa}$$

$$\eta = \frac{S_y}{\tau_{max}} = \frac{310 \text{ MPa}}{58.83 \text{ MPa}} = 5.26$$

- **Cálculo para el tornillo de potencia eje X**

Una vez determinada la carga del eje X, se puede realizar el cálculo para el tornillo de potencia.

$$F = F_c + W_z + W_x \quad (4.42)$$

Donde:

Fuerza ejercida por la estructura del eje X es:

$$W_x = 5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 = 49 \text{ N}$$

Fuerza ejercida por la estructura del eje Z es:

$$W_z = 1.1 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 = 10.78 \text{ N}$$

Fuerza de corte:

$$F_c = 10.24 N$$

Se aplica la ecuación 4.42, con los valores establecidos anteriormente:

$$F = F_c + W_z + W_x$$

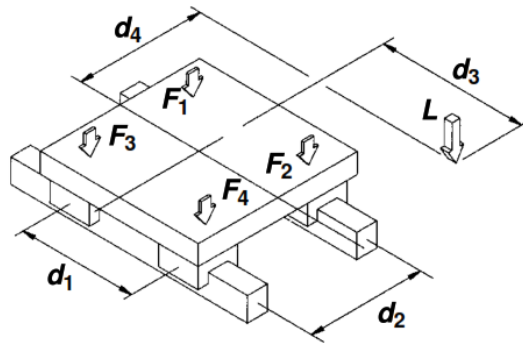
$$F = 10.24 N + 10.78 N + 49 N$$

Entonces:

$$F = 70.02 N = 7.1401 kgf$$

#### 4.5.3.3. Diseño del sistema estructural horizontal eje Y

La estructura del eje horizontal Y, es la que permite el desplazamiento de la mesa de trabajo, la misma que alojará las tarjetas electrónicas y posteriormente las manufacture.



**Figura 4.12.** Traslación horizontal con carga eje Y.  
**Fuente:** [50].

Ecuaciones para el cálculo de eje horizontal Y:

Donde:

$$d1 = 115mm$$

$$d2 = 170mm$$

$$d3 = 210mm$$

$$d4 = 0mm$$

Ecuaciones para el cálculo de fuerzas en el eje horizontal Y:

$$F1 = \frac{L}{4} - \frac{L}{2} \times \left( \frac{d3}{d1} + \frac{d4}{d2} \right) \quad (4.43)$$

$$F2 = \frac{L}{4} + \frac{L}{2} \times \left( \frac{d3}{d1} - \frac{d4}{d2} \right) \quad (4.44)$$

$$F3 = \frac{L}{4} - \frac{L}{2} \times \left( \frac{d3}{d1} - \frac{d4}{d2} \right) \quad (4.45)$$

$$F4 = \frac{L}{4} + \frac{L}{2} \times \left( \frac{d3}{d1} + \frac{d4}{d2} \right) \quad (4.46)$$

Donde:

Fuerza ejercida por la mesa de trabajo:

$$L = Fc + Wy \quad (4.47)$$

Fuerza de corte:

$$Fc = 10.24N$$

Peso del eje horizontal Y:

$$L = (Wy \times g) + Fc = (2.75kg \times 9.8m/s^2) + 10.24N = 26.95 N$$

Empleando los valores calculados anteriormente se los reemplaza en las ecuaciones (4.43), (4.44), (4.45), (4.46).

$$F1 = \frac{L}{4} - \frac{L}{2} \times \left( \frac{d3}{d1} + \frac{d4}{d2} \right)$$

$$F1 = \frac{37.19 N}{4} - \frac{37.19 N}{2} \times \left( \frac{210 mm}{115 mm} + \frac{0 mm}{170 mm} \right) = -24.66 [N]$$

$$F2 = \frac{L}{4} + \frac{L}{2} \times \left( \frac{d3}{d1} - \frac{d4}{d2} \right)$$

$$F2 = \frac{37.19 N}{4} + \frac{37.19 N}{2} \times \left( \frac{210 mm}{115 mm} - \frac{0 mm}{170 mm} \right) = 43.24 [N]$$

$$F3 = \frac{L}{4} - \frac{L}{2} \times \left( \frac{d3}{d1} - \frac{d4}{d2} \right)$$

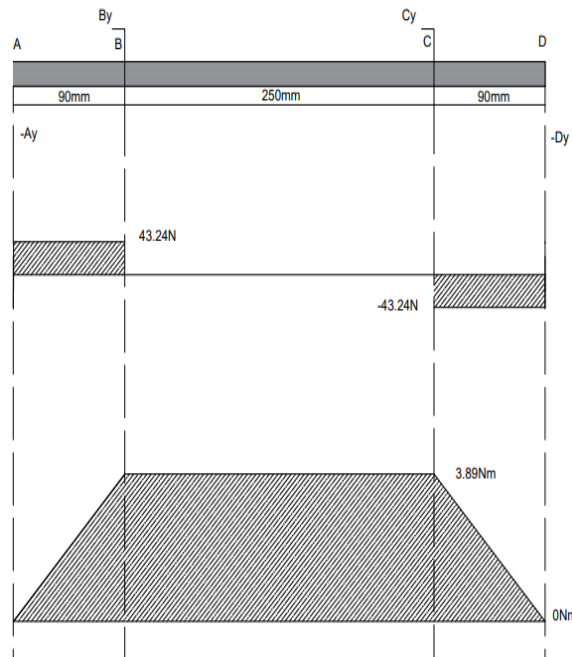
$$F3 = \frac{37.19 \text{ N}}{4} - \frac{37.19 \text{ N}}{2} \times \left( \frac{210 \text{ mm}}{115 \text{ mm}} - \frac{0 \text{ mm}}{170 \text{ mm}} \right) = -24.66 \text{ [N]}$$

$$F4 = \frac{L}{4} + \frac{L}{2} \times \left( \frac{d3}{d1} + \frac{d4}{d2} \right)$$

$$F4 = \frac{37.19 \text{ N}}{4} + \frac{37.19 \text{ N}}{2} \times \left( \frac{210 \text{ mm}}{115 \text{ mm}} + \frac{0 \text{ mm}}{170 \text{ mm}} \right) = 43.24 \text{ [N]}$$

- **Eje guía coordenada Y**

Una vez obtenidos los valores de F3 y F4, para la coordenada Y, se aplica el diagrama de cuerpo libre, como muestra la figura 4.13.



**Figura 4.13.** Diagrama de cuerpo libre eje X.

Sumatoria de fuerzas en Y:

$$\Sigma Fy = 0 \tag{4.48}$$

$$-Ay + By + Cy - Dy = 0$$

$$Ay = By + Cy - Dy$$

$$Ay = 43.24 \text{ N} + 43.24 \text{ N} - 43.24 \text{ N} = 43.24 \text{ N}$$

Cálculo de momentos en A:

$$\Sigma M_A = 0 \quad (4.49)$$

$$(B_y \times 90 \text{ mm}) + (C_y \times 340 \text{ mm}) - (D_y \times 430 \text{ mm}) = 0$$

$$430 \text{ mm } D_y = 90 \text{ mm } B_y + 340 \text{ mm } C_y$$

$$D_y = \frac{(90 \text{ mm} \times 43.24 \text{ N}) + (340 \text{ mm} \times 43.24 \text{ N})}{430 \text{ mm}} = 43.24 \text{ N}$$

Momentos:

$$M_1 = A_y \times 90 \text{ mm} = 43.24 \text{ N} \times 90 \text{ mm} = 3891.6 \text{ Nmm} \quad (4.50)$$

$$M_2 = M_1 + ((A_y - B_y) \times 250 \text{ mm}) \quad (4.51)$$

$$M_2 = 3891.6 \text{ Nmm} + ((43.24 \text{ N} - 43.24 \text{ N}) \times 250 \text{ mm}) = 3891.6 \text{ Nmm}$$

$$M_3 = M_2 - (D_y \times 90 \text{ mm}) = 3891.6 \text{ Nmm} - (43.24 \text{ N} \times 90) = 0 \text{ Nmm} \quad (4.52)$$

Cálculos de flechas o ejes guías:

$$\tau_{max} = \frac{M}{S} \quad (4.53)$$

$$S = \frac{\pi d^3}{32} \quad (4.54)$$

$$\eta = \frac{S_y}{\tau_{max}} \quad (4.55)$$

Donde:

$\tau_{max}$  = Esfuerzo normal máximo

$M$  = Momento flector máximo

$S$  = Módulo de resistencia para una sección transversal cilíndrica

$S_y$  = Resistencia a la fluencia del material

Se considera un factor mínimo de seguridad:  $\eta = 2$

La resistencia a la fluencia, acero AISI-SAE1045:  $S_y = 310 \times 10^6 \text{ N/m}^2$

$$\tau_{max} = \frac{S_y}{\eta} = \frac{310 \times 10^6 \text{ N/m}^2}{2} = 155 \text{ N/mm}^2$$

Del diagrama de cuerpo libre eje Y en la figura 4.13, se tiene un  $M = 3.89 \text{ Nm}$ , que se aplica en la ecuación 4.53.

$$S = \frac{M}{\tau_{max}} = \frac{3891.6 \text{ Nmm}}{155 \text{ N/mm}^2} = 25.10 \text{ mm}^3$$

Por medio de la ecuación 4.54, se obtiene el diámetro del eje:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times S}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 \times (25.10 \text{ mm}^3)}{\pi}} = 6.34 \text{ mm}$$

En base a los resultados obtenidos para el eje Y, se calculó un diámetro de 6.34 mm, para ello la tabla estandarizada 4.26 muestra que el rodamiento lineal más adecuado, y este es de 8 mm de diámetro.

- **Cálculo del factor de seguridad**

El factor de seguridad se calcula con la ecuación 4.54, ya que previamente se obtuvo el diámetro del eje de 8 mm.

$$S = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{\pi (8 \text{ mm})^3}{32} = 50.27 \times 10^{-6}$$

$$M = 3891.6 \text{ Nmm}$$

$$\tau_{max} = \frac{M}{S} = \frac{3891.6 \text{ Nmm}}{50.27 \times 10^{-6}} = 77.41 \text{ MPa}$$

$$\eta = \frac{S_y}{\tau_{max}} = \frac{310 \text{ MPa}}{77.41 \text{ MPa}} = 4$$

- **Cálculo para el tornillo de potencia eje Y**

Una vez determinada la carga del eje Z, se puede realizar el cálculo para el tornillo de potencia.

$$F = F_c + W_y \tag{4.56}$$

Donde:

Fuerza ejercida por la mesa de trabajo es:

$$W = 2.75kg \times 9.8 \frac{m}{s^2} = 10.78 N$$

Fuerza de corte:

$$F_c = 10.24 N$$

Se aplica la ecuación 4.56, con los valores establecidos anteriormente:

$$F = F_c + W_y$$

$$F = 10.24 N + 26.95 N$$

Entonces:

$$F = 37.19 N = 3.7923 kgf$$

#### 4.5.3.4. Selección el tornillo de potencia de los ejes X, Y, Z.

Una vez determinados los cálculos del tornillo de potencia con las ecuaciones (4.28), (4.42) y (4.56) respectivamente, se define el mismo tornillo de potencia para los tres ejes, ya que los mismos se manejan con un eje roscado de 8mm, para ello se seleccionó el THSL 8D con las siguientes características:

**Tabla 4.28.** Tuercas de potencia THSL.

	Material	Rosca	Diámetro	Paso	Longitud	Tuerca
<b>THSL-300-8D</b>	Acero Inoxidable	Métrica	8mm	2mm	300mm	Bronce
<b>THSL-400-8D</b>	Acero Inoxidable	Métrica	8mm	2mm	400mm	Bronce
<b>THSL-500-8D</b>	Acero Inoxidable	Métrica	8mm	2mm	500mm	Bronce

En el diseño establecido de la máquina CNC, se selecciona la tuerca de potencia THSL-500-8D ya que la longitud más prolongada del prototipo es de 440mm en el eje Y, cumpliendo con los requerimientos de diseño para la implementación.

#### 4.5.4. Tiempo de manufactura

El tiempo de manufactura al ser realizado de manera automática a través de la CNC se reduce de manera significativa. A través de este proceso se comprueba la eliminación total del método tradicional de atacado químico.

- **Desbaste**

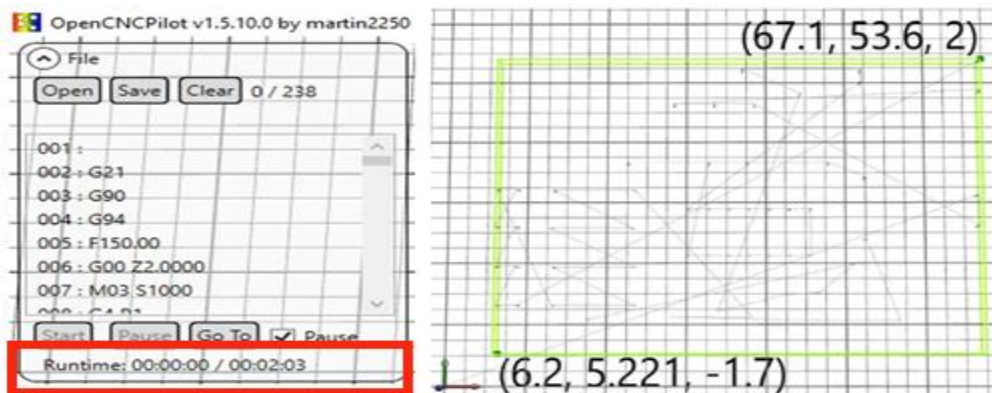
La figura 4.14, muestra el tiempo estimado que tarda el grabado de las pistas conductoras sobre la placa fenólica, el cual es 00:04:26.



**Figura 4.14.** Tiempo estimado para desbaste.

- **Perforado**

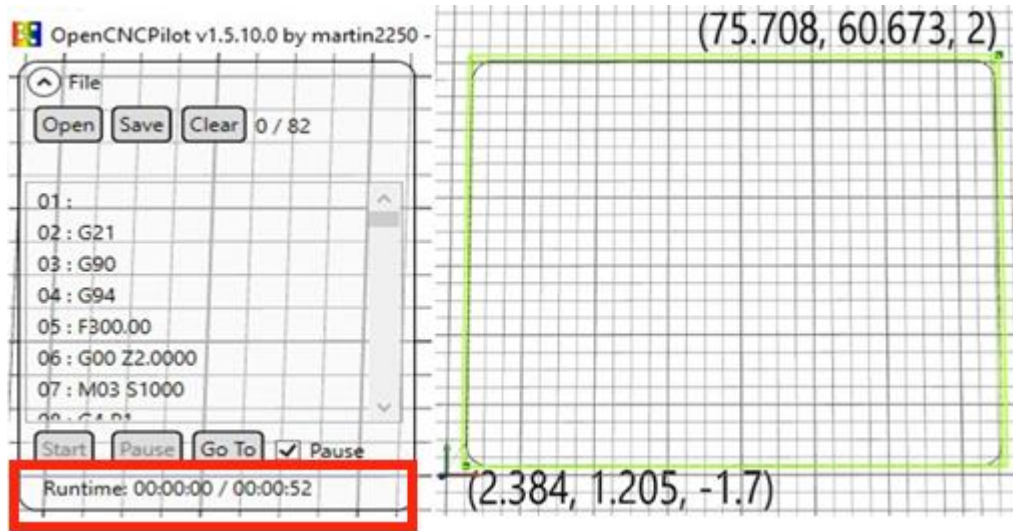
La figura 4.15, muestra el tiempo estimado que tarda el perforado en los pads de las pistas conductoras sobre la placa fenólica, el cual es 00:02:03.



**Figura 4.15.** Tiempo estimado para perforado.

- **Borde**

La figura 4.16, muestra el tiempo estimado que tarda en cortar el borde de la tarjeta electrónica el cual es 00:00:52.



**Figura 4.16.** Tiempo estimado para corte del borde.

Para la manufactura de las tarjetas electrónicas se emplean tiempos bajo el método convencional como también con la utilización de la máquina CNC, con ello se compara en la Tabla 4.29 el tiempo que tarda cada uno de estos procesos en la manufactura de dichas tarjetas.

**Tabla 4.29.** Tiempos en procesos de manufactura.

<b>Método</b>	<b>Convencional</b>	<b>CNC</b>
<b>Actividad</b>		
<b>Desbaste</b>	00:20:00	00:04:26
<b>Perforado</b>	00:10:00	00:02:03
<b>Borde</b>	00:05:00	00:00:52
<b>Tiempo Total</b>	00:35:00	00:07:21

## 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1. Dimensionamiento de la mesa de trabajo

Para el diseño de la estructura se tomó como punto de partida el definir la mesa de trabajo, la misma que se diseña con los siguientes datos: largo: 290mm, ancho: 250mm y un espesor de 9mm, de la misma forma cabe recalcar que para el diseño de la mesa de trabajo donde se va a manufacturar las tarjetas electrónicas se estableció un recorrido para cada eje como lo indica la Tabla 4.1, a su vez y de manera primordial se dimensiona la misma en base a una placa de baquelita estándar de 200x200mm.

La figura 5.1. muestra las medidas exactas de la mesa de trabajo para la máquina CNC.

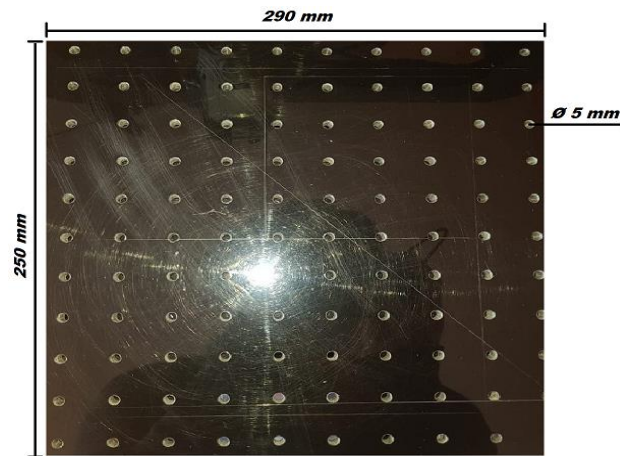
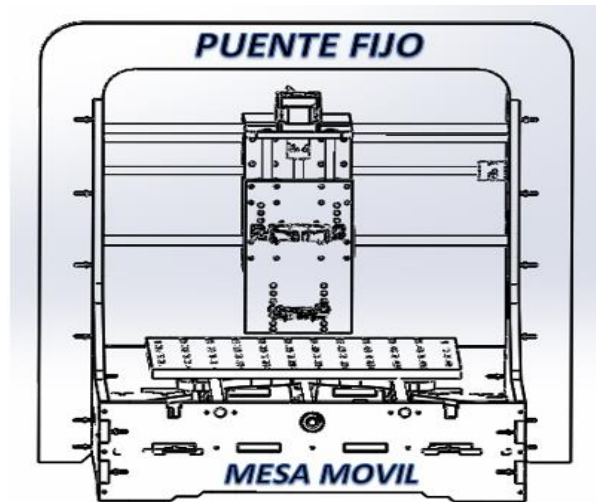


Figura 5.1. Medidas exactas de la mesa de trabajo.

### 5.2. Parámetros para la movilidad de los ejes

Una vez dimensionada el área de trabajo como se muestra en la figura 5.1 se procede al modelamiento de la estructura de la máquina CNC, adicionalmente es imprescindible considerar las características de diseño indicados de la Tabla 4.2, por ello es importante diseñar pieza por pieza la máquina CNC para su respectivo montaje. Todo esto en base a un bosquejo acorde a los requerimientos de los autores.



**Figura 5.2.** Máquina CNC con mesa móvil y puente fijo.

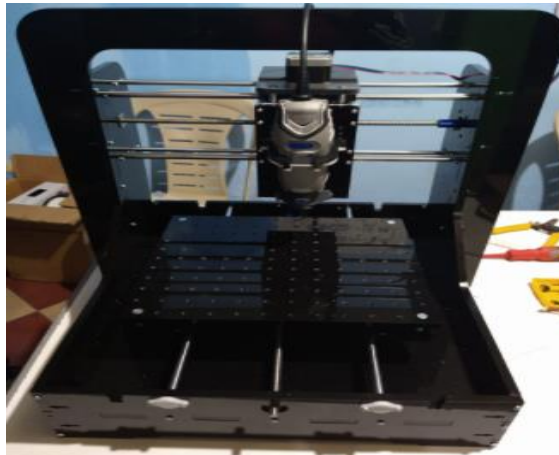
### 5.3. Montaje de la estructura

Mediante el diseño expuesto en la figura 5.2, se procede al corte láser de los soportes y bases para la estructura de la máquina CNC, mediante formatos para archivos vectoriales como .SVG, .DWG, .AI o .PDF, esenciales para adquirir los cortes que se muestran en la figura 5.3.



**Figura 5.3.** Soportes y bases estructurales.

Posteriormente sigue el montaje de la estructura, para ello se considera la adaptación de los ejes lisos de alta frecuencia de 8 y 10 mm, en conjunto con los ejes roscados de 8 mm, ya que al ser una estructura sólida es necesario ubicar cada una de las piezas correspondientes, tales como el carro portaherramientas en el eje X, la mesa de trabajo en el eje Y, y la base de sujeción de la máquina herramienta en el eje Z, como se observa en la figura 5.4.



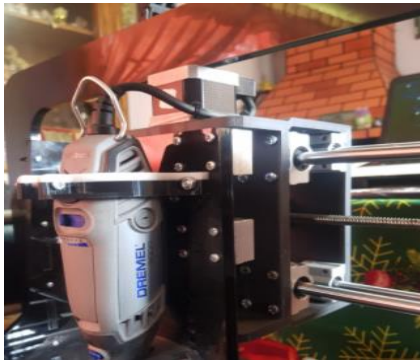
**Figura 5.4.** Montaje de la estructura.

Para la correcta implementación de la estructura se considera calibrar el recorrido de cada eje, con el fin de determinar si este es ortogonal, para ello la prueba que se debe realizar consiste en ubicar una hoja de papel bond sobre la mesa de trabajo y sobre ella realizar un mapeo.

### 5.3.1. Detalles de montaje de los ejes de desplazamiento

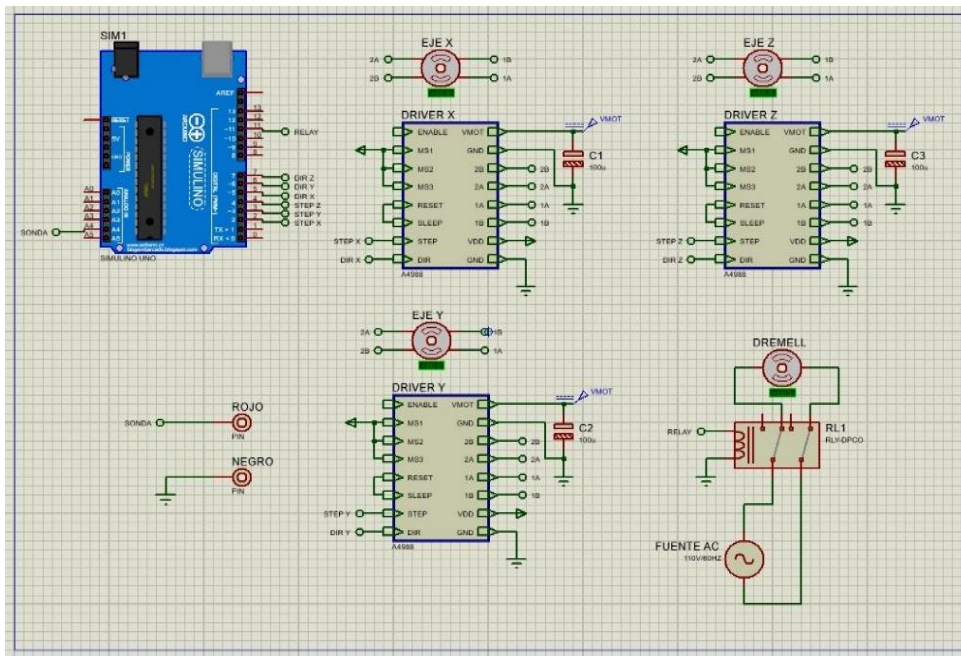
**Tabla 5.1.** Detalles de montaje de los ejes.

<p><b>Eje X</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carro porta herramienta del eje x</li> <li>• 2 ejes lisos de alta frecuencia 8mmx400mm</li> <li>• 4 rodamientos lineales LM 8mm</li> <li>• 2 ejes lisos de alta frecuencia 10mmx400mm</li> <li>• 4 rodamiento lineales LM 10mm</li> <li>• 1 eje roscado de 8mmx400mm</li> <li>• Tuerca de bronce de 4 entradas</li> <li>• 1 rodamiento de bolas SKF6201 8mm</li> <li>• Motor nema 17 12v 0.4NM</li> <li>• 1 acople rígido</li> </ul>	
<p><b>Eje Y</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesa de trabajo de eje Y</li> <li>• Base para regulación de la mesa de trabajo</li> <li>• 2 ejes lisos de alta frecuencia 10mmx450mm</li> <li>• 4 rodamientos lineales LM 10mm</li> <li>• 1 eje roscado de 8mmx450mm</li> <li>• Tuerca de bronce de 4 entradas</li> <li>• 1 rodamiento de bolas SKF6201 8mm</li> <li>• Motor nema 17 12v 0.4NM</li> <li>• 1 acople flexible</li> </ul>	

<b>Eje Z</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Base de transmisión del eje Z</li> <li>• Base de sujeción de la máquina herramienta</li> <li>• DREMEL 3000 130W</li> <li>• 2 ejes lisos de alta frecuencia 8mmx150mm</li> <li>• 4 rodamientos lineales LM 8mm</li> <li>• 1 eje roscado de 8mmx150mm</li> <li>• Tuerca de bronce de 4 entradas</li> <li>• 1 rodamiento de bolas SKF6201 8mm</li> <li>• Motor nema 17 12v 0.4NM</li> <li>• 1 acople rígido</li> </ul>	
--------------	--	--

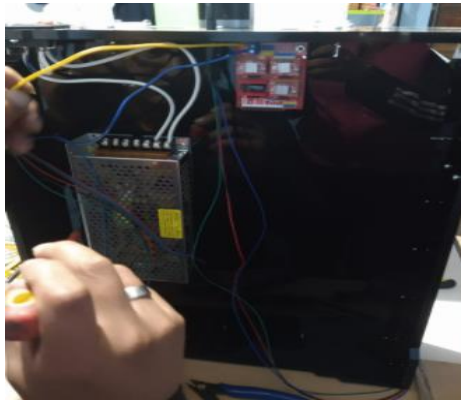
#### 5.4. Conexión del sistema de control

Existen distintos métodos para controlar una máquina CNC, sin embargo, se tiene en cuenta que al usar la tarjeta Arduino UNO en conjunto con el módulo CNC Shield, de acuerdo al diseño de este último se emplean los drivers A4988, esta conexión se observa en la figura 5.5.



**Figura 5.5.** Diagrama de conexión del sistema de impresión.

Para otorgarle una estética y orden de conexiones a la máquina CNC, se opta por colocar el cableado en la parte inferior de la estructura, a su vez colocar la entrada de alimentación de 110 V, el puerto de interfaz USB y los paros de EMERGENCIA, como se muestra en las figuras 5.6.

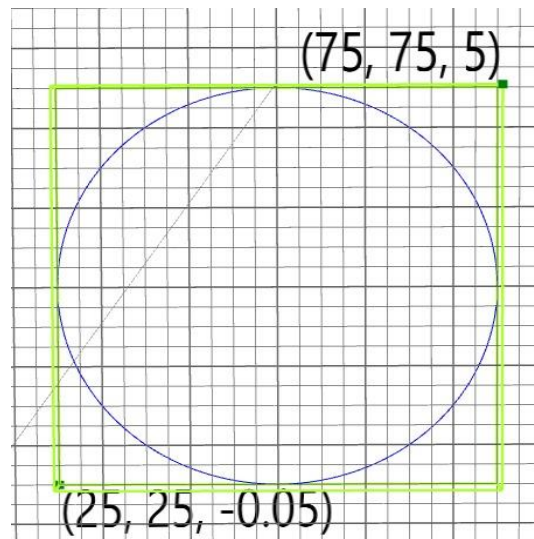


**Figura 5.6.** Instalación eléctrica y electrónica.

### 5.5. Prueba de mecanizado

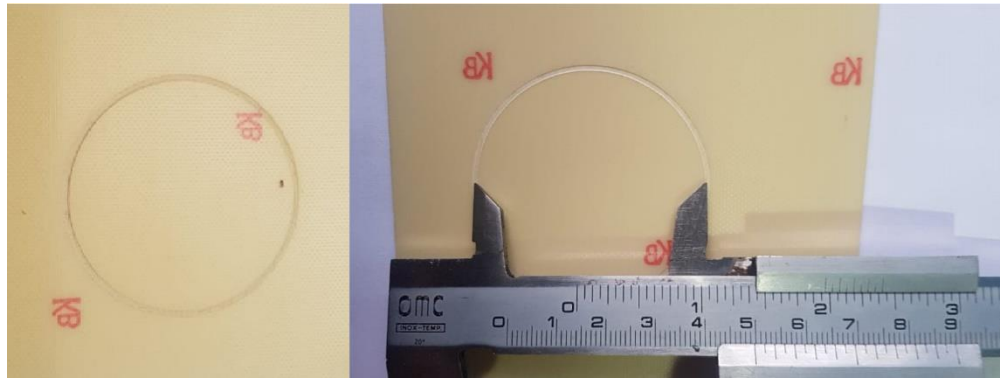
Para corroborar que el mecanizado realizado por la máquina CNC tenga una correcta resolución es importante efectuar una prueba de mecanizado que consiste en realizar trazos geométricos y compararlos mediante longitudes que se establecen en el software y en el resultado que arroja la máquina en el proceso.

La prueba realizada, se definió con una circunferencia como se muestra en la figura 5.7, la misma que consta de un diámetro de 50mm.



**Figura 5.7.** Circunferencia en software.

A continuación, la figura 5.8 muestra el resultado de mecanizado proporcionado por la máquina CNC, el cual al ser medido con un calibrador arroja un resultado de 49.70 mm de diámetro.



**Figura 5.8.** Medición de la circunferencia mecanizada.

El error existente es entonces:

$$Error = \frac{teórico - real}{real} \quad (5.1)$$

$$Error = \frac{50 \text{ mm} - 49.70 \text{ mm}}{49.70 \text{ mm}} = 0.00603 = 0.60\%$$

Da como resultado un 0.60%, siendo este un error ínfimo, el cual indica que la máquina CNC nos permite mostrar una buena resolución de mecanizado.

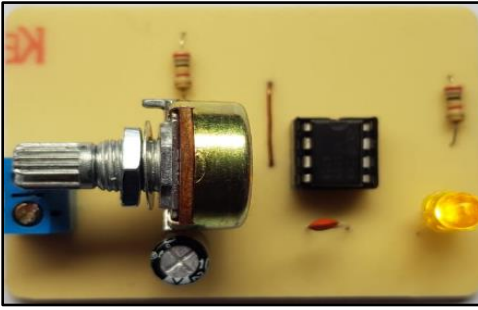
### 5.6. Alcance de la propuesta tecnológica

Con la implementación del sistema de impresión de PCB's con tecnología CNC, se pretende elaborar tarjetas electrónicas de forma automatizada. Este prototipo es capaz de alcanzar un fresado de 2mm de ancho de pista como mínimo en tecnología THT y un alcance de 0.8 mm como mínimo en tecnología SMT, cabe recalcar que el prototipo también posee un alcance de manufactura de placas fenólicas de dimensiones de hasta 200x200mm.

### 5.7. Validación con circuito 555 ASTABLE

En la manufactura de tarjetas electrónicas se considera un proceso, el mismo que en función de diferentes softwares se derivan los pasos de diseño, donde se emplean códigos Gerber y G-code, a su vez la verificación de parámetros en el software de manufactura.

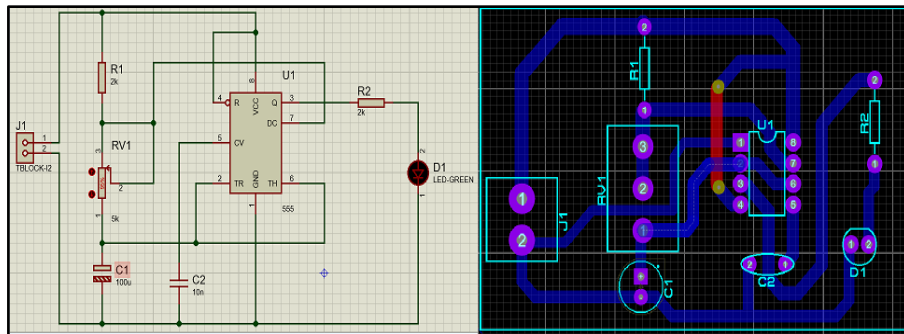
La figura 5.9, muestra un circuito electrónico 555 ASTABLE, el cual tiene como finalidad demostrar los resultados del funcionamiento de la máquina CNC.



**Figura 5.9.** 555 ASTABLE en funcionamiento.

Para la manufactura de esta tarjeta electrónica se comprobará la reducción del tiempo y la eliminación total del uso de ácidos tóxicos.

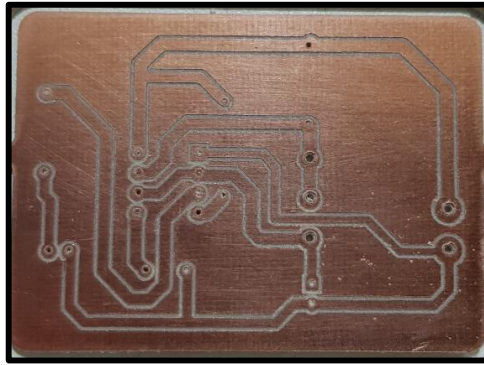
Para la realización del circuito 555 ASTABLE se emplean los siguientes componentes: IC 555, 1 diodo led, 2 resistencias de 2k $\Omega$ , 1 potenciómetro de 5 k $\Omega$ , 1 condensador 100uF, 1 condensador cerámico 103, 1 bornera.



**Figura 5.10.** Diagrama y archivo Gerber del 555 Astable.

### 5.7.1.1. Ancho de las pistas

El tamaño de las pistas conductoras depende de la corriente que circulará por las mismas, en este caso la figura 5.11 muestra un ancho de pista de 2 mm la cual soporta hasta un máximo de 5A, estos parámetros sugeridos son proporcionados por la norma DIN 40801.



**Figura 5.11.** Medición del ancho de pista.

La Tabla 5.2, muestra un rango de anchos de pista para PCB's comunes de 35 micras.

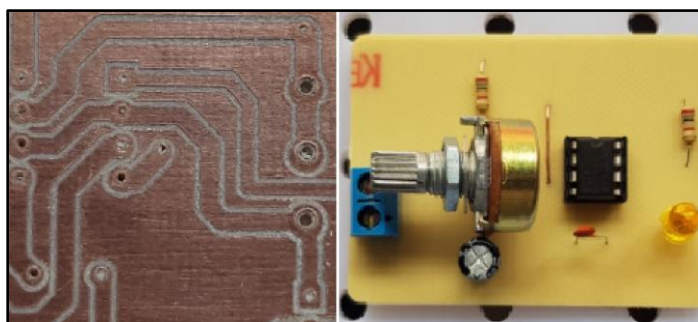
**Tabla 5.2.** Anchos de pista habituales.

Ancho de pista	Corriente máxima
4mm	10A
2mm	5A
1.5mm	4A
1mm	3A
0.5mm	2A
0.2mm	0.5A

Es adecuado mencionar que para tarjetas electrónicas SMT los anchos de pistas varían entre 0.2 a 1mm, los ejemplos más comunes son los pines de Arduino y Raspberry Pi, los cuales poseen componentes SMD.

#### **5.7.1.2. Diámetro de orificios**

El diámetro de los orificios está en función del componente que se va a implantar, para esto la norma UNE 20-621-84/3 sugiere diámetros y tolerancias para orificios sin metalizar, en este caso al ser componentes comunes para el 555 ASTABLE se usó un diámetro de 0.5mm y de 0.7 para la bornera como se observa en la figura 5.12.



**Figura 5.12.** Orificios para montaje de componentes del 555 ASTABLE.

La Tabla 5.3, indica los diámetros y tolerancias sugeridas para cada componente a insertar.

**Tabla 5.3.** Diámetros de orificios sugeridos.

<b>Ø nominal del orificio (mm)</b>	<b>Tolerancia (mm)</b>
0.4	±0.05
0.5	
0.6	
0.8	
0.9	
1.0	±0.1
1.3	
1.6	
2.0	

### 5.7.1.3. Validación del tiempo de manufactura en un circuito 555 ASTABLE

De acuerdo a la hipótesis planteada, se comprueba el tiempo de manufactura del circuito electrónico como se demuestra en la Tabla 4.29 del capítulo de metodología, donde se evidencia el tiempo de elaboración de la PCB con la máquina CNC el cual es de 00:07:21, a diferencia del método convencional que es de 00:35:00; por lo anteriormente detallado se estableció que existe una disminución considerable tiempo en un **79.40%**, empleada con la tecnología CNC, además la eliminación total del método convencional de atacado químico reduciendo así la contaminación y posibles afectaciones a la salud.

## 6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS

Para el desarrollo general de la máquina CNC se realiza un análisis económico, basado en los distintos dispositivos, equipos, accesorios y equipamiento utilizados, a su vez se contemplan los costos de mano de obra y ensamble de la misma, todo esto con la finalidad de determinar el costo total de la propuesta.

Cabe recalcar que los distintos costos varían de acuerdo al proveedor y disponibilidad en el mercado de tal manera que este análisis se realizó al mismo momento de desarrollar la propuesta tecnológica.

### 6.1. Costo de materiales y software

En la Tabla 6.1 se indica cada elemento y material requerido para la construcción de la máquina CNC, detallando el valor y la cantidad respectiva.

**Tabla 6.1.** Presupuesto detallado de elementos para la máquina CNC.

Descripción	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio total (USD)
Motor NEMA 17 12v 0.4nm	3	\$ 15	\$ 45
Módulo Shield CNC v3 2.0	1	\$ 10	\$ 10
Arduino UNO R3	1	\$ 14	\$ 14
Driver a4988	4	\$ 3.50	\$ 14
Fuente conmutada 12v	1	\$ 33.25	\$ 33.25
Rodamientos lm8uu 8mm	8	\$ 8	\$ 64
Rodamientos lm10uu 10mm	8	\$ 10	\$ 80
Rodamientos skf6201 8mm	3	\$ 4.79	\$ 14.37
Eje roscado de 4 entradas 8mmx400mm / tuerca de bronce	1	\$ 17.75	\$ 17.75
Eje roscado de 4 entradas 8mmx150mm / tuerca de bronce	1	\$ 10.15	\$ 10.15
Eje roscado de 4 entradas 8mmx500mm / tuerca de bronce	1	\$ 27.3	\$ 27.30
Eje lineal liso de alta frecuencia 8mmx600mm	3	\$ 9.75	\$ 29.25
Eje lineal liso de alta frecuencia 10mmx600mm	4	\$ 11.99	\$ 47.96
Motortool DREMEL 3000	1	\$ 89	\$ 89
Kit pernos de ajuste mecánico milimétrico M3, M4, M5	1	\$ 20	\$ 20
		<b>Total</b>	<b>\$ 516</b>

El costo del software empleado tanto para el modelado de la máquina CNC y la parametrización de una PCB y el software de interacción entre el ordenador y la máquina, se observa en la Tabla 6.2.

**Tabla 6.2.** Software para el desarrollo de la máquina CNC.

Software	Costo licencia (USD)	Licencia (USD)	Versión Demo	Costo total (USD)
<b>SolidWorks</b>	\$ 6600	No	Si	\$ 0,0
<b>Proteus</b>	\$ 6595	No	Si	\$ 0,0
<b>FlatCam</b>	\$ 0.0	Libre		\$ 0,0
<b>OpenCNC Pilot</b>	\$ 0.0	Libre		\$ 0,0
<b>Total</b>				<b>\$ 0,0</b>

## 6.2. Costos de ingeniería

Para el desarrollo del sistema de impresión de PCB's con tecnología CNC, se han invertido varias horas de diseño, montaje y ensayos de prueba – error. En la tabla 6.2 se muestra el costo del trabajo de ingeniería, basado en el salario básico establecido en el año 2020 (\$400), pero antes se realiza un cálculo tomando como referencia al Código de Trabajo.

$$\text{Salario} = \$ 400$$

$$\text{Costo por día} = \frac{\$ 400}{30 \text{ días}} = \$ 13.33$$

$$\text{Número de horas} = 8 \text{ horas}$$

$$\text{Costo por hora} = \frac{\$ 13.33}{8 \text{ horas}} = \$ 1.67$$

**Tabla 6.3.** Costos de ingeniería.

Número de horas	Descripción	Valor UNITARIO (USD)	Costo total (USD)
32	Diseño de la estructura	\$ 1.67	\$ 53.44
80	Montaje de la estructura	\$ 1.67	\$ 133.60
100	Ensayos de funcionamiento	\$ 1.67	\$ 167
<b>Total</b>			<b>\$ 354.04</b>

### 6.2.1. Gastos directos

**Tabla 6.4.** Gastos directos.

<b>GASTOS DIRECTOS</b>	<b>COSTO (USD)</b>
Softwares para el desarrollo del sistema	\$ 0,0
Materiales para el desarrollo del sistema	\$ 516
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 516</b>

### 6.2.2. Gastos indirectos

**Tabla 6.5.** Gastos indirectos.

<b>GASTOS INDIRECTOS</b>	<b>COSTO (USD)</b>
Costos de ingeniería	\$ 354.04
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 354.04</b>

### 6.2.3. Gasto total

**Tabla 6.6.** Gasto total de la propuesta tecnológica.

<b>GASTO TOTAL</b>	<b>COSTO (USD)</b>
Gastos directos	\$ 516
Gastos indirectos	\$ 354.04
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 870.04</b>

En la Tabla 6.6 se muestran los gastos directos e indirectos respectivamente, cada uno de estos valores detallan el costo total de los materiales, trabajo de ingeniería y montaje, dando un total de \$870.04, para la implementación del sistema de impresión de PCB's para circuitos electrónicos con tecnología CNC.

## 6.3. Análisis de impactos

### 6.3.1. Impacto económico

Con la implementación del sistema de impresión de PCB para circuitos electrónicos con tecnología CNC, se evidencia un impacto económico positivo enfocado al beneficio de los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica y a especialidades que cuenten con cátedras afines a su silabo de estudio de la Universidad Técnica de Cotopaxi, evitando la compra de tarjetas electrónicas por parte de los estudiantes, reduciendo costos de adquisición y tiempo de manufactura.

### 6.3.1.1. Análisis económico de la propuesta tecnológica

Para comprobar este impacto se realiza un análisis económico, por medio un ejemplo en el cual intervienen diferentes cátedras técnicas y propuestas tecnológicas de un ciclo, en donde se requieran tarjetas electrónicas con un número determinado de estudiantes y postulantes.

De acuerdo a un estudio de campo, se comprobó que el costo de venta de tarjetas electrónicas varía en función del tamaño, diseño del circuito y métodos de manufactura, siendo esta entre \$ 6.00 y \$ 12.00. Por lo tanto:

**Tabla 6.7.** Análisis económico por catedra.

Catedra	Total estudiantes por catedra	Total estudiantes	Grupos de estudiantes	Total placas por grupo
6	25	150	50	50

**Tabla 6.8.** Análisis económico por postulantes.

Postulantes	Grupos de postulantes por propuestas	Total placas por grupos de postulantes
30	15	15

**Tabla 6.9.** Ahorro con la propuesta tecnológica.

Total tarjetas electrónicas	Método Tradicional		Método CNC		Ahorro
	Costo unitario	Costo total	Costo unitario	Costo Total	
65	12	780	6	390	390

Por consecuencia y en base al ejemplo planteado en las Tablas 6.7, 6.8 y 6.9 se determina un ahorro significativo tanto para los estudiantes como para los postulantes, ya que al tener a su disposición el sistema de impresión de PCB's con tecnología CNC, los costos de manufactura de las tarjetas electrónicas se reducen a la mitad, a diferencia de los métodos tradicionales.

### 6.3.2. Impacto ambiental

El desarrollo de esta propuesta tecnológica, trae un beneficio considerablemente importante en lo que se refiere a cuidado ambiental, ya que al ser implementado suprime en su totalidad al proceso más común de grabado de pistas sobre una placa de cobre virgen, siendo este el atacado químico mediante el uso de cloruro férrico (ácido), el cual es un compuesto contaminante y dañino tanto para el factor natural como para el factor humano.

Esta sustancia es dañina para diversos organismos, tanto el sobrante del producto como los envases en donde se realiza el proceso de atacado químico, por tal motivo se detallarán factores que atentan con el medio ambiente.

Las Tablas 6.9 y 6.10 señalan cómo actúa el ácido sobre los distintos entornos y organismos.

- **Medio natural**

**Tabla 6.10.** Efectos en el medio natural.

	<b>Directo</b>	<b>Indirecto</b>	<b>Reversible</b>	<b>Irreversible</b>
<b>Hidrología superficial</b>	✓			✓
<b>Calidad agua superficial</b>	✓			✓
<b>Suelo / Erosión</b>	✓		✓	

- **Medio animal**

**Tabla 6.11.** Efectos en el medio animal.

	<b>Directo</b>	<b>Indirecto</b>	<b>Reversible</b>	<b>Irreversible</b>
<b>Fauna terrestre</b>	✓			✓
<b>Fauna marina</b>	✓			✓

La contaminación con el ácido férrico tiene un impacto directo y en gran parte irreversible, ya que el ácido contiene varias sustancias químicas peligrosas que al fusionarse con la hidrología continental o marítima tiene como consecuencia una fauna expuesta a esto peligros y pueda provocar afecciones o mutaciones.

### **6.3.3. Impacto Tecnológico**

La implementación de un sistema de impresión de PCB para circuitos electrónicos con tecnología CNC, potencia el conocimiento de ingeniería en el campo de la robótica y mecatrónica que cada vez toma más fuerza en los ámbitos profesional y educativo, de esta manera el desarrollo de esta propuesta tecnológica servirá como una herramienta de ayuda para realizar distintos proyectos de futuros estudiantes y postulantes de ingeniería, por medio de la automatización, control. A su vez potenciará el conocimiento del uso de softwares de diseño asistido por computadora, finalmente al ser una estructura modular puede tener variaciones en su diseño, esto implica una relación directa entre la máquina y el estudiante de ingeniería a través de posibles actualizaciones.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1. CONCLUSIONES

- Referente a la investigación realizada en el apartado de marco teórico, se logró sustentar los distintos conceptos relacionados con la tecnología CNC y sus aplicaciones con respecto a placas de circuito impreso PCB.
- En base a modelos de impresoras con tecnología CNC, se determinó un número reducido de este tipo de diseños, sin embargo, mediante bosquejos y modelos similares con características de mesa móvil y puente fijo se diseñó el prototipo con dimensiones de alto: 490mm, ancho: 400mm y profundidad 450mm.
- Al implementar la máquina CNC para tarjetas electrónicas se verificó que cumple con las especificaciones y requisitos necesarios de diseño para el proceso al cual está enfocada, mostrando una estructura compacta y robusta.
- Con la implementación del sistema de impresión de PCB's con tecnología CNC, se demostró que el método convencional de planchado tiene un tiempo estimado de 00:35:00 a 00:50:00 minutos en un diseño de un circuito Astable 555, a diferencia que con la implementación de la máquina CNC tarda alrededor de 00:07:21 minutos en un diseño de las mismas características, mostrando un ahorro de tiempo en un **79.40%**.
- Por medio del desarrollo de la propuesta tecnológica se ha impulsado la eliminación al 100% del uso de químicos tóxicos en la realización de tarjetas electrónicas, ya que, al ser un proceso de grabado automático, se contribuye directamente con la conservación del medio ambiente y sus habitantes.
- Se muestra un modelo versátil, es decir que puede ser controlado con una gran variedad de softwares y extensiones como .bmp, .tab, .ngc, .gcode, etc, enfocados a la tecnología CNC sin la necesidad de modificar algún sistema de la máquina.
- Mediante la implementación del sistema de impresión de PCB's con tecnología CNC en los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi, se estimula la interacción entre estudiantes y la tecnología CNC, la cual hace parte de la propuesta tecnológica, para afianzar los lazos de ingeniería.

## 7.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar softwares CAM de diseño y de control CNC con licencia, ya que estos brindarán más opciones de configuración, elementos de diseño y manufactura, cabe recalcar que los mismos cuentan con una mejor interfaz de manipulación y de control.
- En el proceso de manufactura de las PCB's con tecnología CNC, se recomienda implementar un sistema de aspiración de viruta ya que la misma se propaga a diferentes puntos de la máquina.
- Al ser esta una máquina versátil con tecnología CNC, se sugiere implementar un sistema multiejes para el grabado láser e impresiones 3D, con ello se aprovecharía al máximo la tecnología CNC.
- Se recomienda desarrollar un sistema de almacenamiento de memoria G-code el mismo que permita continuar con el procedimiento de manufactura, si por complicaciones o apagones la máquina se detiene, con ello continuará el proceso desde donde se detuvo y así evitar la pérdida del material a mecanizar.
- Para obtener una mejor resolución al momento de realizar el grabado de las pistas se recomienda actualizar los actuadores, en este caso acoplar motores paso a paso NEMA 23, los cuales proporcionan una resolución de 400 pasos.

## 8. REFERENCIAS

- [1] UNESCO, «Clasificación Internacional Normalizada de la Educación,» SENE CYT, Quito, 1997.
- [2] A. M, «3Dnatives,» 12 Octubre 2020. [En línea]. Available: <https://www.3dnatives.com/es/startup3d-voltera-disena-circuitos-electricos-mediante-fabricacion-aditiva/#!>. [Último acceso: 23 Noviembre 2020].
- [3] M. Olczyk, «Zmorph,» 2012. [En línea]. Available: <https://zmorph3d.com/use-cases/cnc-cut-pcb-prototype>. [Último acceso: 26 Noviembre 2020].
- [4] L. . M. Arias Delgado, «Repositorio UTP,» Junio 2019. [En línea]. Available: [http://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/UTP/2699/1/Luis%20Arias\\_Trabajo%20de%20Investigacion\\_Bachiller\\_2019.pdf](http://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/UTP/2699/1/Luis%20Arias_Trabajo%20de%20Investigacion_Bachiller_2019.pdf). [Último acceso: 26 Noviembre 2020].
- [5] J. D. Fuentes Rojas, . M. A. Méndez Mendieta, J. A. Muñoz Cabrera y F. A. Romero González, «Biblioteca USBBOG,» Abril 2015. [En línea]. Available: <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/137798.pdf>. [Último acceso: 26 Noviembre 2020].
- [6] X. . A. Cáceres Sagbay y P. J. Monge Romo, «Repositorio USFQ,» 17 Mayo 2019. [En línea]. Available: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/8586/1/144152.pdf>. [Último acceso: 1 Diciembre 2020].
- [7] A. M. Llerena Pintag y M. O. Coronel Hernandez, «Repositorio ESPOCH,» 2014. [En línea]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3534/1/108T0095.pdf>. [Último acceso: 1 Diciembre 2020].
- [8] B. Cockfield, «Hackaday,» 27 Agosto 2019. [En línea]. Available: <https://hackaday.com/2019/08/27/another-way-to-make-pcbs-at-home/>. [Último acceso: 2 Enero 2021].
- [9] . J. A. Castillo, «Profesionalreview,» 11 Febrero 2019. [En línea]. Available: <https://www.profesionalreview.com/2019/02/11/pcb-que-es/>. [Último acceso: 15 Enero 2021].

- [10] M. Sinc, «Mecasinc,» 23 Junio 2015. [En línea]. Available: <https://www.mecanizadossinc.com/sistema-cnc-control-numerico-por-computadora/>. [Último acceso: 9 Enero 2021].
- [11] OurPCB, «OurPCB,» [En línea]. Available: <https://www.ourpcbar.com/archivos-gerber.html>. [Último acceso: 15 Enero 2021].
- [12] A. Designer, «Altium,» 18 Diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://resources.altium.com/es/p/what-gerber-file-pcb-fabrication-process>. [Último acceso: 5 Febrero 2021].
- [13] Yang, «MokoTechnology,» [En línea]. Available: <https://www.mokotechnology.com/es/gerber-file/>. [Último acceso: 5 Febrero 2021].
- [14] L. Llamas, «LuisLlamas,» 12 Diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.luisllamas.es/que-es-el-g-code-y-su-importancia-en-la-impresion-3d/>. [Último acceso: 15 Enero 2021].
- [15] J. J. Peters, «Pontificia Universidad Católica de Valparaiso,» [En línea]. Available: [https://wiki.ead.pucv.cl/Introducci%C3%B3n\\_al\\_control\\_num%C3%A9rico\\_computarizado\\_\(CNC\)#Programaci.C3.B3n\\_Manual](https://wiki.ead.pucv.cl/Introducci%C3%B3n_al_control_num%C3%A9rico_computarizado_(CNC)#Programaci.C3.B3n_Manual). [Último acceso: 17 Enero 2021].
- [16] I. Ramirez, «Fing,» 12 Mayo 2017. [En línea]. Available: <https://iie.fing.edu.uy/personal/nacho/2017/05/12/tecnicas-de-impresion-de-circuitos/>. [Último acceso: 14 Enero 2021].
- [17] J. Martínez, «Onlinewebshop,» 15 Octubre 2013. [En línea]. Available: <http://jhoselynmartinez.onlinewebshop.net/concepto-y-caracteristica-de-un-sistema-mecanico/>. [Último acceso: 14 Enero 2021].
- [18] W. J. Preston, «The difference between THT and SMT,» 09 Agosto 2018. [En línea]. Available: <https://www.harwin.com/the-difference-between-tht-and-smt/>. [Último acceso: 5 Febrero 2021].
- [19] L. Suárez, «Slideshare,» 2 Diciembre 2014. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/jpsanchezcapriles/velocidades-decorte3-42264291>. [Último acceso: 8 Enero 2021].

- [20] L. Cuadros, «Slideshare,» 11 Diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/carloslosa/velocidad-de-corte-avance-y-t-torno-2-red>. [Último acceso: 8 Enero 2021].
- [21] 330ohms, «330ohms,» 14 Octubre 2013. [En línea]. Available: <https://blog.330ohms.com/2013/10/14/que-son-los-actuadores-electronicos/>. [Último acceso: 10 Enero 2021].
- [22] I. Mecafenix, «Ingeniería Mecafenix,» 20 Abril 2017. [En línea]. Available: <https://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/motor-paso-a-paso/#:~:text=Un%20motor%20paso%20a%20paso%20es%20un%20dispositivo%20electromec%C3%A1nico%20que,de%20sus%20entradas%20de%20control.>. [Último acceso: 8 Enero 2021].
- [23] F. Rodriguez, «Electrónica y Programación,» 23 Junio 2019. [En línea]. Available: <https://fidiasrodriguez.com/motores-de-corriente-continua/>. [Último acceso: 8 Enero 2021].
- [24] A. García Gonzáles, «Panamahitek,» 2 Diciembre 2016. [En línea]. Available: <http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor/>. [Último acceso: 8 Enero 2021].
- [25] Y. Fernández, «XATAKA,» 3 Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>. [Último acceso: 8 Enero 2021].
- [26] B. Kruge, «Arduino CNC Shield – 100% GRBL Compatable,» DesignCoral, Nueva Zelanda, 2015.
- [27] V. García, «Descripción del Driver A4988,» WordPress, España, 2020.
- [28] J. C. Carrasco Garcia, «Tecnología avanzada del diseño y manufactura asistidos por computador - CAD/CAM,» Barranquilla, Prospectiva, 2006, p. 78.
- [29] O. Gonzalez, «Bricogeek,» 16 Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://blog.bricogeek.com/noticias/diy/como-hacer-placas-pcb-con-tu-cnc-usando-opencncpilot/>. [Último acceso: 17 Enero 2021].

- [30] J. Breiler, «GitHub,» [En línea]. Available: <https://github.com/winder/Universal-G-Code-Sender>. [Último acceso: 8 Enero 2021].
- [31] H. D. Ravilevich, «GitHub,» 2015. [En línea]. Available: <https://github.com/Denvi/grblControl/>. [Último acceso: 8 Enero 2021].
- [32] mheducation, Tecnología Eléctrica, España: McGraw Hill , 2006.
- [33] A. L. G. Pinto, «blogspot,» 21 Abril 2015. [En línea]. Available: <http://fuentesdealimentacionangiepinto.blogspot.com/2015/04/fuentes-de-alimentacion-lineales.html>. [Último acceso: 10 Enero 2021].
- [34] Sanhueza, «Pontifica Universidad Católica de Valparaíso,» [En línea]. Available: <http://lep.eie.pucv.cl/TESSISsanhueza.pdf>. [Último acceso: 8 Enero 2021].
- [35] A. E. d. F. d. Máquinas-Herramienta, «Interempresas,» 20 Abril 2009. [En línea]. Available: <https://www.interempresas.net/Deformacion-y-chapa/Articulos/30677-Que-es-una-maquina-herramienta.html>. [Último acceso: 8 Enero 2021].
- [36] L. «Entreherramientas,» 4 Diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://entreherramientas.com/dremel-3000-una-herramienta-disenada-los-pequenos-detalles/>. [Último acceso: 8 Enero 2021].
- [37] M. A. Villaseñor Zúñiga, «Universidad Autónoma de San Luis Potosí,» 21 Abril 2018. [En línea]. Available: <http://seminario2018.vanguardiasdiseno.org/mesa03/62>. [Último acceso: 8 Enero 2012].
- [38] S. Perdomo, «Deustoformacion,» 08 Julio 2020. [En línea]. Available: <https://www.deustoformacion.com/blog/bim-autocad-revit/que-es-para-que-sirve-autodesk-inventor-diseno-producto>. [Último acceso: 8 Enero 2021].
- [39] SOLIDBI, «SOLIDBI,» [En línea]. Available: <https://solid-bi.es/solidworks/>. [Último acceso: 8 Enero 2021].
- [40] A. M, «3Dnatives,» 8 Julio 2020. [En línea]. Available: <https://www.3dnatives.com/es/catia-software-tecnologia-cad-08072020/>. [Último acceso: 8 Enero 2021].

- [41] Alejandro, «Maderas Santas,» 16 Abril 2015. [En línea]. Available: <https://www.maderasantana.com/caracteristicas-tableros-madera-mdf/>. [Último acceso: 17 Enero 2021].
- [42] A. y. Policarbonato, «Acilico y Policarbonato,» [En línea]. Available: <http://www.acrilico-y-policarbonato.com/acrilico.html>. [Último acceso: 17 Enero 2021].
- [43] J. A. A. Schafer, Fresado, Universidad Rafael Landívar , 2013.
- [44] Mecasinc, «Mecasinc,» 9 Abril 2018. [En línea]. Available: <https://www.mecanizadossinc.com/proceso-del-taladrado-mecanizados-precision/>. [Último acceso: 14 Enero 2021].
- [45] F. S. Cordero, «Docplayer,» 2017. [En línea]. Available: <https://docplayer.es/21238883-Algorithmo-para-el-calculo-del-ancho-de-pista-de-una-placa-de-circuito-impreso.html>. [Último acceso: 9 Enero 2021].
- [46] Vinilshop, «Herramientas de corte y grabado,» Burgos, 2017, p. 16.
- [47] A. L. Casillas, «Cálculos de taller,» España, Ediciones Máquinas, p. 597.
- [48] Cifuentes Molano y Jaramillo Blandon, «Diseño de un sistema de manufactura automatico para circuitos impresos,» Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, 2015.
- [49] E. Oberg, F. D. Jones, H. L. Horton y H. H. Ryffel, Machinery's Handbook 27th Edition, New York: Industrial Press Inc, 2004.
- [50] T. Inc, «Techno Linear Motion Catalog,» Techno Inc, 2016, p. 22.

## 9. ANEXOS

# ANEXOS

## Parametrización de la máquina CNC

---

\$ 0 = 10	Pulso de paso, microsegundos
\$ 1 = 25	Paso de retardo inactivo, milisegundos
\$ 2 = 192	Puerto de paso invertido, máscara
\$ 3 = 6	Puerto de dirección invertido, máscara
\$ 4 = 0	Paso habilitar invertir, booleano
\$ 5 = 0	Límite de pines invertidos, booleano
\$ 6 = 0	Pin de sonda invertido, booleano
\$ 10 = 3	Informe de estado, máscara
\$ 11 = 0.01	Desviación de la unión, mm
\$ 12 = 0.002	Tolerancia de arco, mm
\$ 13 = 0	Informe pulgadas, booleano
\$ 20 = 0	Límites suaves, booleanos
\$ 21 = 0	Límites duros, booleanos
\$ 22 = 0	Ciclo de inicio, booleano
\$ 23 = 0	Homing dir invertido, máscara
\$ 24 = 800	Alimentación de inicio, mm / min
\$ 25 = 800	Búsqueda de inicio, mm / min
\$ 26 = 100	Antirrebote de inicio, milisegundos
\$ 27 = 1	Retirada de inicio, mm
\$ 30 = 255	Velocidad máxima del husillo, RPM
\$ 31 = 0	Velocidad mínima del husillo, RPM
\$ 32 = 0	Modo láser, booleano
\$ 100 = 400	X pasos / mm
\$ 101 = 400	Pasos Y / mm
\$ 102 = 400	Pasos Z / mm
\$ 110 = 600	X Velocidad máxima, mm / min
\$ 111 = 600	Y Velocidad máxima, mm / min
\$ 112 = 600	Z Velocidad máxima, mm / min
\$ 120 = 601	X Aceleración, mm / seg <sup>2</sup>
\$ 121 = 601	Y Aceleración, mm / seg <sup>2</sup>
\$ 122 = 601	Aceleración Z, mm / seg <sup>2</sup>
\$ 130 = 300	X Max recorrido, mm
\$ 131 = 300	Y Max recorrido, mm
\$ 132 = 100	Z Max recorrido, mm

**Manual de operación**

# **MANUAL DE OPERACIÓN**

Sistema de impresión de PCB para circuitos electrónicos en placa fenólica con control numérico computarizado CNC para la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica De Cotopaxi.

**Autores:**

Pachacama Tipan Cristian David

Toapanta Herrera Denis Mauricio

## CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS .....	3
ÍNDICE DE TABLAS .....	5
1. Introducción .....	6
2. Propósito del documento .....	6
3. Información de seguridad.....	7
4. Características técnicas .....	8
5. Funcionamiento.....	10
5.1. Adecuación .....	10
5.1.1. Adecuación del entorno .....	10
5.1.2. Proceso de adecuación.....	10
5.2. Descripción .....	10
5.2.1. Máquina CNC.....	10
5.2.2. Softwares .....	11
5.2.3. Herramientas de corte.....	12
5.3. Proceso para utilización de la máquina CNC .....	13
5.3.1. Pasos a realizar en Proteus.....	13
5.3.2. Pasos a realizar en el programa FlatCAM .....	16
5.3.3. Programación del código g manualmente .....	28
5.3.4. Pasos a realizar en el programa OpenCNCpilot .....	30
6. Postproceso de la placa electrónica.....	38
7. Conclusión.....	39

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Puerto de alimentación e interruptor. ....	10
Figura 2. Puerto USB2.0 B. ....	11
Figura 3. Paro de emergencia. ....	11
Figura 4. Archivos Gerber/Excellon. ....	14
Figura 5. Generación de archivos Gerber/Excellon. ....	14
Figura 6. Parámetros de archivos Gerber/Excellon. ....	15
Figura 7. Extensiones de archivos Gerber/Excellon. ....	15
Figura 8. Interfaz de programa FlatCAM. ....	16
Figura 9. Apertura de archivo Gerber. ....	16
Figura 10. Elección de archivo .GBR. ....	17
Figura 11. Pistas en software FlatCAM. ....	17
Figura 12. Parametrización para mecanizado de pistas. ....	18
Figura 13. Generación de geometría para pistas. ....	18
Figura 14. Apertura de geometría generada. ....	19
Figura 15. Obtención de código CNC para las pistas. ....	19
Figura 16. Colocación de nombre con extensión .nc. ....	20
Figura 17. Apertura de archivo Excellon. ....	20
Figura 18. Elección de archivo .DRL. ....	21
Figura 19. Perforaciones en software FlatCAM. ....	21
Figura 20. Parametrización de mecanizado para perforaciones. ....	22
Figura 21. Generación de geometría para orificios. ....	22
Figura 22. Apertura de geometría generada. ....	23
Figura 23. Obtención de código CNC para las perforaciones. ....	23
Figura 24. Colocación de nombre con extensión .nc. ....	24
Figura 25. Apertura de archivo GERBER, para margen. ....	24
Figura 26. Parametrización del borde de la placa. ....	25
Figura 27. Generación de geometría para borde. ....	25
Figura 28. Apertura de geometría generada (borde). ....	26
Figura 29. Parametrización de mecanizado para borde. ....	26
Figura 30. Apertura de ultima geometría generada (borde). ....	27
Figura 31. Obtención de código CNC para el borde. ....	27
Figura 31. Colocación de nombre con extensión .nc. ....	28
Figura 32. Modificación del G-code (desbaste). ....	28

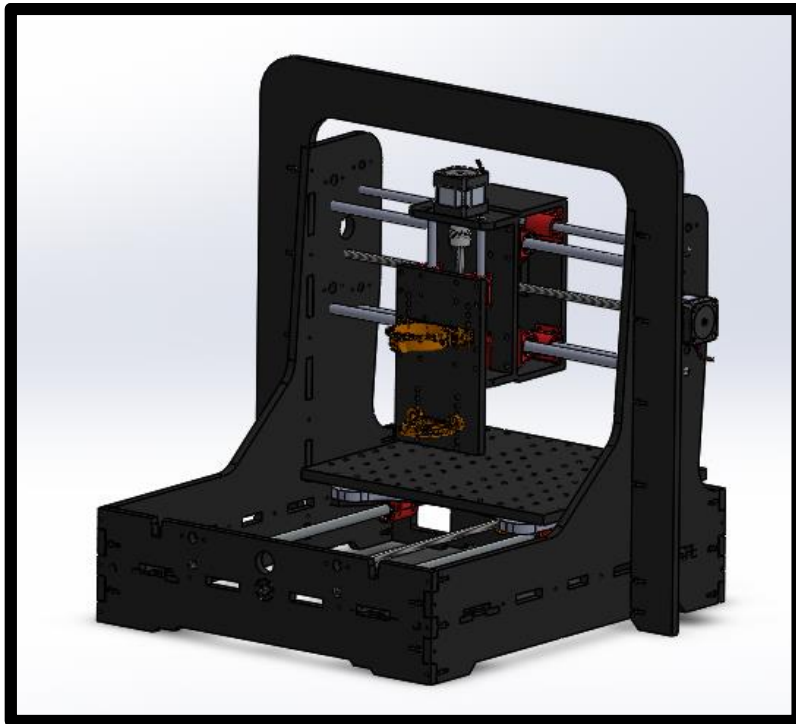
Figura 33. Paro de emergencia (perforaciones).....	29
Figura 34. Paro de emergencia (borde). ....	29
Figura 35. Conexión física entre Ordenador y Máquina CNC. ....	30
Figura 36. Carga de código CNC (desbaste). ....	30
Figura 37. Movilización de la máquina herramienta. ....	31
Figura 38. Colocación del punto cero.....	31
Figura 39. Seteo de la máquina herramienta. ....	32
Figura 40. Parametrización para el mapeo de la placa. ....	32
Figura 41. Aplicación del mapa de alturas. ....	33
Figura 42. Inicio del mecanizado. ....	33
Figura 43. Limpieza de líneas de código.....	34
Figura 44. Carga de nuevo código CNC (perforado). ....	34
Figura 45. Cambio de herramienta (broca).....	35
Figura 46. Inicio de mecanizado (perforado). ....	35
Figura 47. Limpieza de líneas de código.....	36
Figura 48. Carga de nuevo código CNC (borde).....	36
Figura 49. Cambio de herramienta (fresa).....	37
Figura 50. Inicio de mecanizado (corte).....	37
Figura 51. Desconexión del PC con la máquina CNC. ....	38
Figura 52. Limpieza de la placa.....	38

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Normas de seguridad. ....	7
Tabla 2. Características técnicas de la máquina CNC. ....	8
Tabla 3. Conexión mediante pines. ....	12
Tabla 4. Fresas tipo V de 0.1mm, 30° y 10°.....	12
Tabla 5. Fresas para perforado. ....	13
Tabla 6. Fresas para perforado. ....	13

## 1. Introducción

El siguiente documento es un manual de operación el cual describe los pasos necesarios que se deben seguir a la hora de utilizar el sistema de impresión de PCB's con tecnología CNC; para este sistema es necesario contar con diferentes softwares, como el de diseño, parametrización de desbaste, perforado y corte, a su vez el software de conexión entre operario con la PC. Además, es preciso mencionar que para la utilización de dicha máquina CNC se debe contar con elementos de seguridad como gafas, mascarilla, orejeras.



## 2. Propósito del documento

El propósito que busca este manual es principalmente funcionar como guía de introducción para cualquier persona que desee operar la máquina CNC para PCB's, en este caso la máquina se encuentra en el laboratorio de electromecánica, es decir funciona como herramienta estudiantil, de tal manera que este documento indica cómo funciona la máquina CNC, que elementos la componen, como se encuentra distribuida su estructura, procedimientos a seguir para su utilización, las condiciones que necesita la misma para su correcto desenvolvimiento, finalmente reglas y advertencias acorde al proceso que se desarrollara mientras la máquina se encuentre en funcionamiento.

### 3. Información de seguridad

## ¡ADVERTENCIA!

#### LEER ESTE MANUAL ANTES DE OPERAR LA MÁQUINA CNC

Las siguientes instrucciones detallan información relevante, para evitar lesiones al operario o daños a la máquina.

**Tabla 1.** Normas de seguridad.

<b>Normas de seguridad</b>	
1	Observar las placas informativas de uso de la máquina antes de encenderla.
2	Usar equipo de protección: orejeras, gafas, mascarilla.
3	Se recomienda tener las mangas cortas.
4	No consumir alimentos cerca de la máquina.
5	Mantener el entorno limpio.
6	No llevar collares.
7	Se recomienda tener el área correctamente iluminada.
8	Desenergizar la máquina para realizar mantenimiento o reparación
9	No colocar objetos sobre la máquina.
10	Tener conocimiento previo de los controles físicos de la máquina.

#### 4. Características técnicas

**Tabla 2.** Características técnicas de la máquina CNC.

SISTEMA MECÁNICO	
Recorrido del eje X	250mm
Recorrido del eje Y	270mm
Recorrido del eje Z	50mm
Mesa móvil y puente fijo	Tres actuadores, uno para cada eje (X, Y, Z), adicional un Dremel 3000 para mecanizar.
	Mecaniza plásticos, madera, ceras, MDF.
	Visibilidad al momento de mecanizar
Peso del eje X	5 kg
Peso del eje Y	2.75 kg
Peso del eje Z	1.1 kg
SISTEMA DE TRANSMISIÓN	
Rodamiento lineal	LM 8mm
Rodamiento de bolas	SKF 8mm
Eje roscado longitud	500mm
Eje liso longitud	500mm
Acople flexible	8mm
Tuerca de bronce	THSL 8mm
SISTEMA ELECTRÓNICO	
Motores X NEMA 17	Voltaje 12 V
	Torque 0.3111 Nm
	Lazo abierto
	Corriente 1.7 A
	Pasos por revolución 400
Motores Y NEMA 17	Voltaje 12 V
	0.3025N.m
	Lazo abierto
	Corriente 1.7 A
	Pasos por revolución 400
Motores Z NEMA 17	Voltaje 12 V
	0.2961N.m

	Lazo abierto
	Corriente 1.7 A
	Pasos por revolución 400
Arduino UNO	Voltaje 5v
	Voltaje de Entrada 7 – 12 v
	Pines de Entradas: 14 Salidas Digital: 6 son salidas PWM
	Pines de Entradas Análogas: 6
	Compatible con CNC Shield v3 2.0
	Compatible con Driver A4988
Requerimiento de hardware	PC – Laptop
	Puertos paralelos USB
Requerimiento de software	FlatCAM 8.5 LIBRE
	OpenCNC Pilot v1.5.10.0 LIBRE
<b>SISTEMA ELÉCTRICO</b>	
Fuente conmutada	Voltaje 110/12V
	Corriente 15A
	No genera calor
	Eficiencia 90%
Dremel 3000	Voltaje 110
	Potencia 130w
	Velocidad en vacío 10,000 - 33,000 rpm
	Peso 0.55 kg
<b>SISTEMA ESTRUCTURAL</b>	
Material estructura (Polimetilmetacrilato)	Resistencia a la compresión (aplastamiento), 120 MPa
	Alargamiento a la rotura, 4.0 %
	Densidad 1.2 g/cm <sup>3</sup>
	Espesor 9mm
Dimensiones	Alto 490mm
	Ancho 400mm
	Largo 450mm
Planos	CD

## 5. Funcionamiento

Para el manejo de la impresora de PCB's con tecnología CNC, se debe realizar una serie de procesos, desde definir el diseño a manufacturar, ingresar y modificar códigos, realizar desplazamientos, calibrando y definiendo el punto cero para que comience a manufacturar la tarjeta electrónica.

### 5.1. Adecuación

#### 5.1.1. Adecuación del entorno

Para obtener el máximo rendimiento de la máquina CNC se aconseja, colocarla en una superficie plana, en un entorno con temperatura ambiente, ya que debido a que malas condiciones ambientales repercutirán en el funcionamiento de la misma.

#### 5.1.2. Proceso de adecuación

- a. Ubicar la máquina de forma nivelada y cerca de un tomacorriente de 110V.
- b. Conectar la máquina al tomacorriente, mediante un cable de poder 110V.
- c. Conectar la máquina con el PC mediante el conector USB 2.0 tipo A macho a conector USB 2.0 tipo B macho.

### 5.2. Descripción

#### 5.2.1. Máquina CNC

La máquina consta de una entrada de alimentación de 110V, un interruptor On/Off que está localizada en la parte posterior de la CNC, como se demuestra en la figura 5.1.



**Figura 1.** Puerto de alimentación e interruptor.

El puerto USB2.0 tipo B está localizado en la parte posterior de la máquina, la misma que con el cable de transferencia de datos se conectara con la PC.



**Figura 2.** Puerto USB2.0 B.

Para evitar desperfectos y anomalías en el momento de mandar a mecanizar las tarjetas electrónicas, se implementó paros de emergencia en la parte delantera y posterior de la máquina en cuestión.



**Figura 3.** Paro de emergencia.

### 5.2.2. Softwares

Para realizar una tarjeta electrónica, es necesaria la utilización de diferentes softwares, tanto para diseño de circuitos, parametrización del mecanizado y finalmente interacción entre el PC y la máquina CNC.

**Tabla 3.** Conexión mediante pines.



Nombre del software	Requerimientos mínimos
Demo: Proteus Versión 8.10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Windows 8 o superior</li> <li>• Procesador Core i3 – 4ta generación</li> <li>• Memoria RAM 4GB</li> <li>• Sistema de x32 y x64 Bits</li> </ul>
FlatCAM 8.991 BETA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Windows 8 o superior</li> <li>• Procesador Core i3 – 4ta generación</li> <li>• Memoria RAM 4GB</li> <li>• Sistema de x32 y x64 Bits</li> </ul>
OpenCNC Pilot v1.5.10.0	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Windows 8 o superior</li> <li>• Procesador Core i3 – 4ta generación</li> <li>• Memoria RAM 4GB</li> <li>• Sistema de x32 y x64 Bits</li> </ul>

### 5.2.3. Herramientas de corte

#### 5.2.3.1. Herramienta de desbaste

Para el proceso de desbaste se recomienda utilizar las fresas indicadas en la tabla 5.2, las mismas que dependiendo del ángulo de inclinación determinará el tipo de tecnología que se necesita en la tarjeta electrónica.


**Tabla 4.** Fresas tipo V de 0.1mm, 30° y 10°.

Fresa	Forma física	Descripción
Tipo V 0.1mm de 30° de Carburo		Fresa para mecanizado de PCB, con características THT (Through-Hole Technology)
Tipo V 0.1mm de 10° de Titanio		Fresa para mecanizado de PCB, con características SMT (Surface-Mount Technology)

### 5.2.3.2. Herramienta de perforación

Para el proceso de perforación se recomienda utilizar las brocas indicadas en la tabla 5.3, los diámetros de cada broca corresponden a los pads que se realizarán dependiendo de los componentes electrónicos que necesita el circuito a manufacturar.

**Tabla 5.** Fresas para perforado.

<b>Brocas</b>	<b>Forma física</b>	<b>Descripción</b>
Brocas de carburo de tungsteno de 0.3 a 1.2 mm		Brocas para perforar la PCB, con longitudes de trabajo de 38mm y un diámetro del vástago approx 3.175mm.

### 5.2.3.3. Herramienta de perfil

En el proceso de corte especialmente el borde se recomienda utilizar las fresas indicadas en la tabla 5.3, ya que las mismas funcionan perfectamente según el diámetro para cortar el espesor de la placa de cobre.

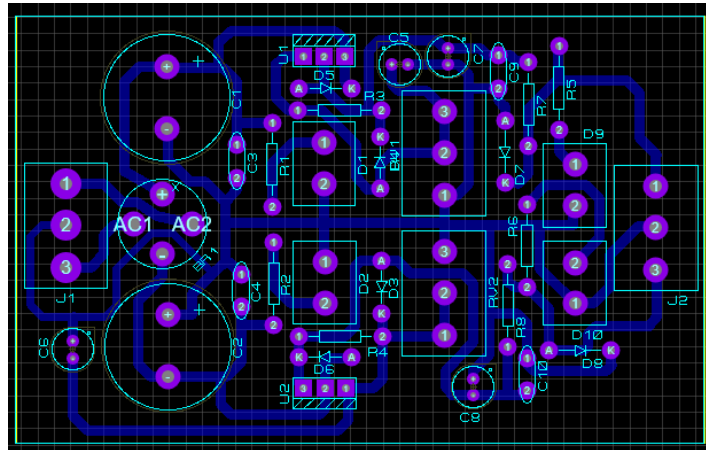
**Tabla 6.** Fresas para perforado.

<b>Fresa</b>	<b>Forma física</b>	<b>Descripción</b>
Fresas recubiertas de Titanio de 1mm a 3mm		Fresas para perforado de PCB, con longitudes de trabajo de 7.5mm hasta 10.5mm.

## 5.3. Proceso para utilización de la máquina CNC

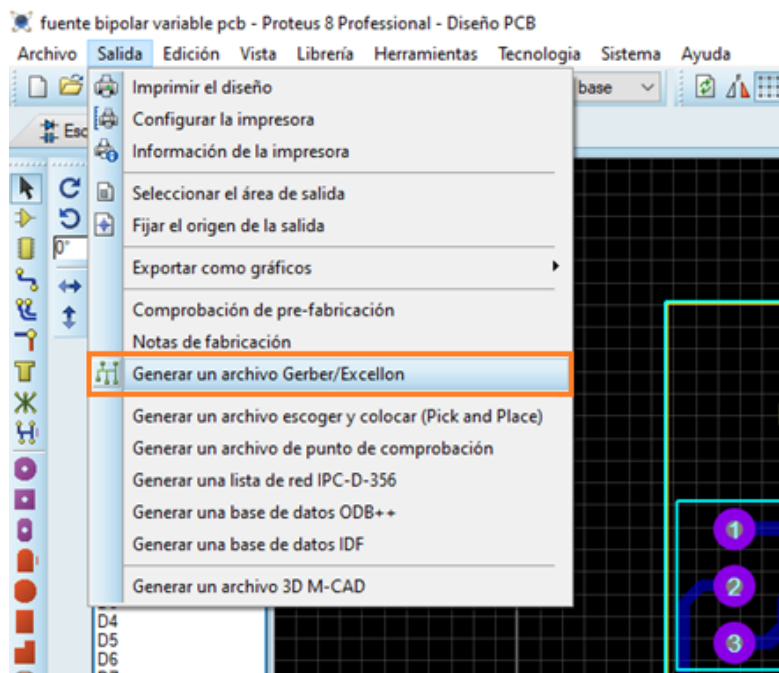
### 5.3.1. Pasos a realizar en Proteus

- a. Con conocimientos previos del software Proteus, se procede a diseñar un circuito electrónico o a su vez abrir un archivo de diseño anteriormente creado.



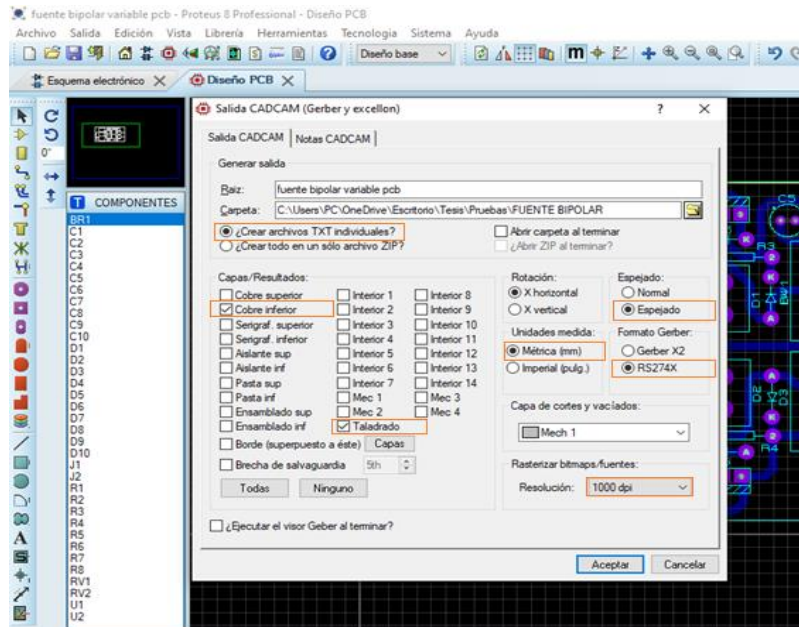
**Figura 4.** Archivos Gerber/Excellon.

- b. Ya ruteadas las pistas y conectados todos los componentes en el software se procede a generar el código Gerber/Excellon como se lo indica a continuación.



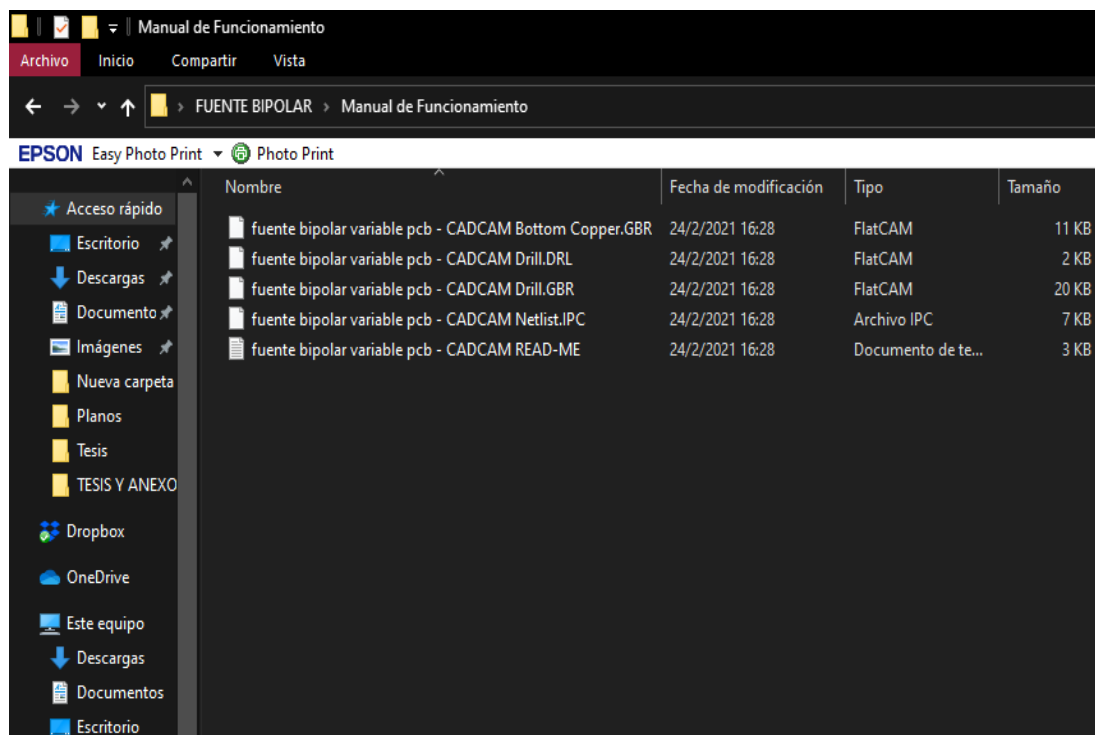
**Figura 5.** Generación de archivos Gerber/Excellon.

- c. Se despliega una ventana que donde se delimitara las condiciones que se necesita para crear el archivo Gerber/Excellon y luego clic en aceptar.



**Figura 6.** Parámetros de archivos Gerber/Excellon.

- d. Se busca el destino de la carpeta en donde se guardó los códigos generados, de allí se verifica los archivos que se utilizaran próximamente en el software FlatCAM.



**Figura 7.** Extensiones de archivos Gerber/Excellon.

### 5.3.2. Pasos a realizar en el programa FlatCAM

#### a. Abrimos el programa FlatCAM.

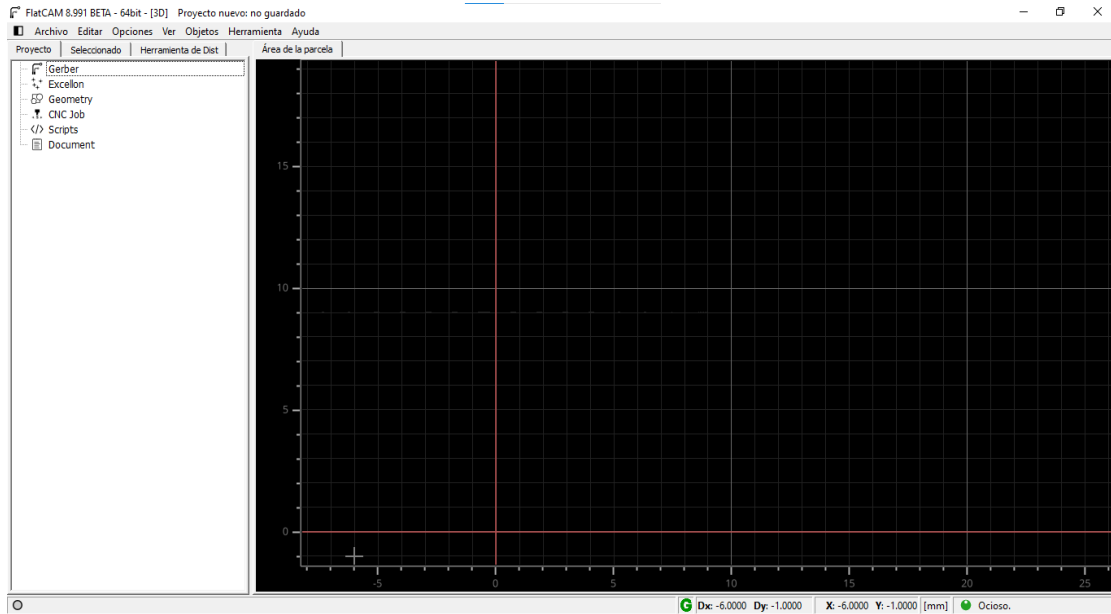


Figura 8. Interfaz de programa FlatCAM.

#### b. Se procede a abrir el archivo generado por el software Proteus

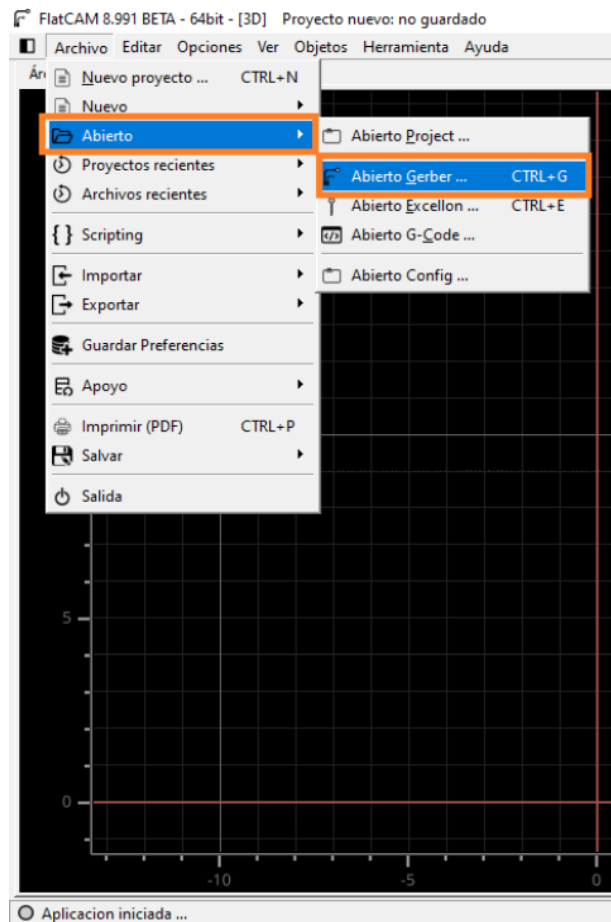
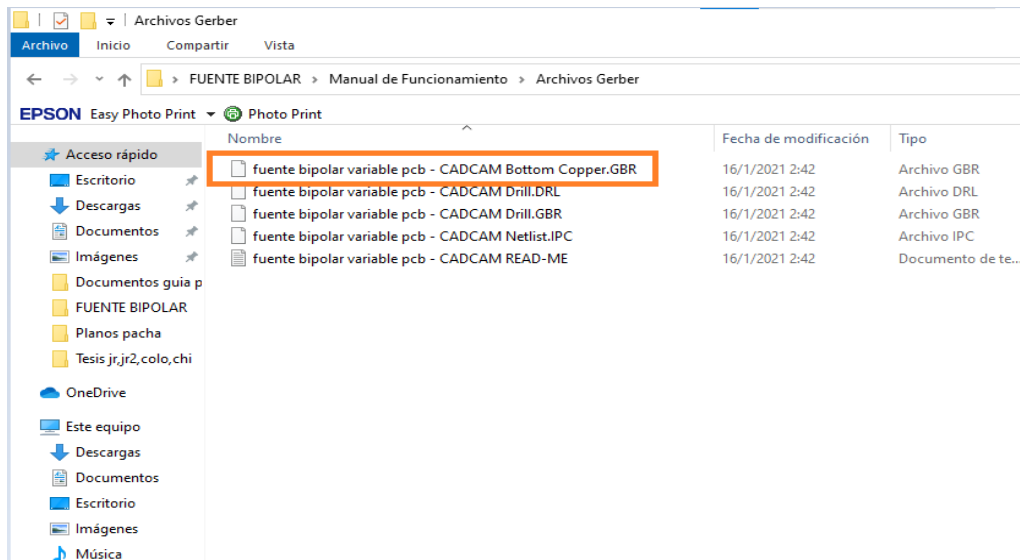


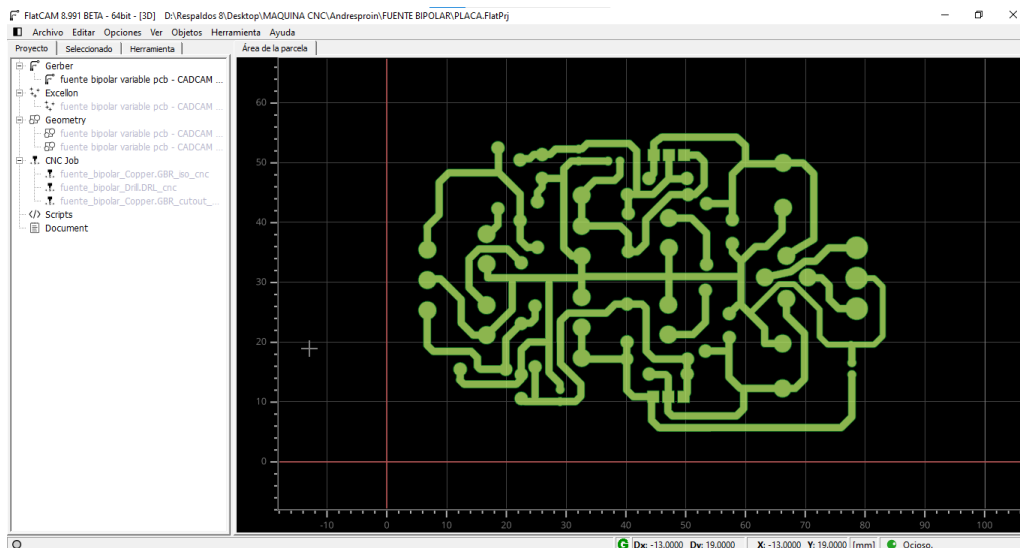
Figura 9. Apertura de archivo Gerber.

- c. Buscamos el archivo BottomCopper.GBR, generado en Proteus el cual contiene las pistas conductoras.



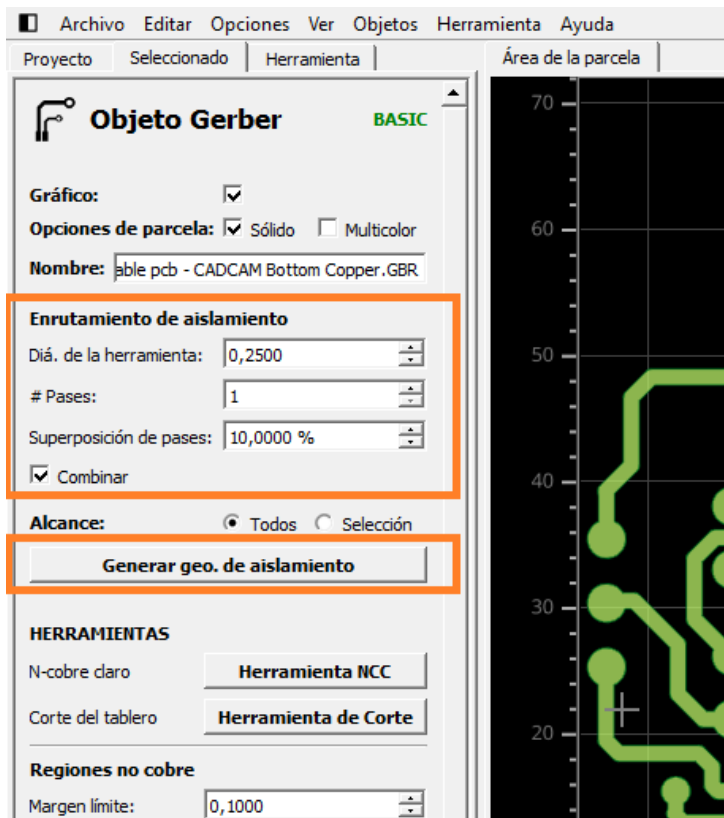
**Figura 10.** Elección de archivo .GBR.

- d. Se despliegan las pistas en el área de trabajo del programa FlatCAM



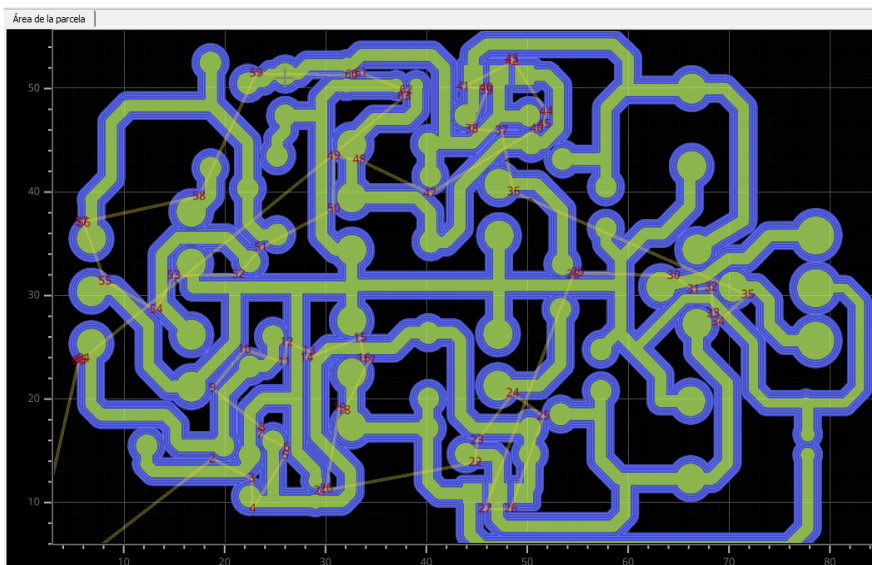
**Figura 11.** Pistas en software FlatCAM.

- e. Se procede a parametrizar el desbaste que va a realizar la máquina CNC, con los valores indicados (cabe recalcar que estos valores pueden variar dependiendo del diseño del circuito), luego de insertar estos valores damos clic en “Generar geo. de asilamiento”.



**Figura 12.** Parametrización para mecanizado de pistas.

- f. Al momento de generar la geometría las pistas en el área de trabajo se recubren de un borde azul indicando que la geometría se completó.



**Figura 13.** Generación de geometría para pistas.

g. Una vez generada la geometría nos dirigimos al archivo creado, lo abrimos.

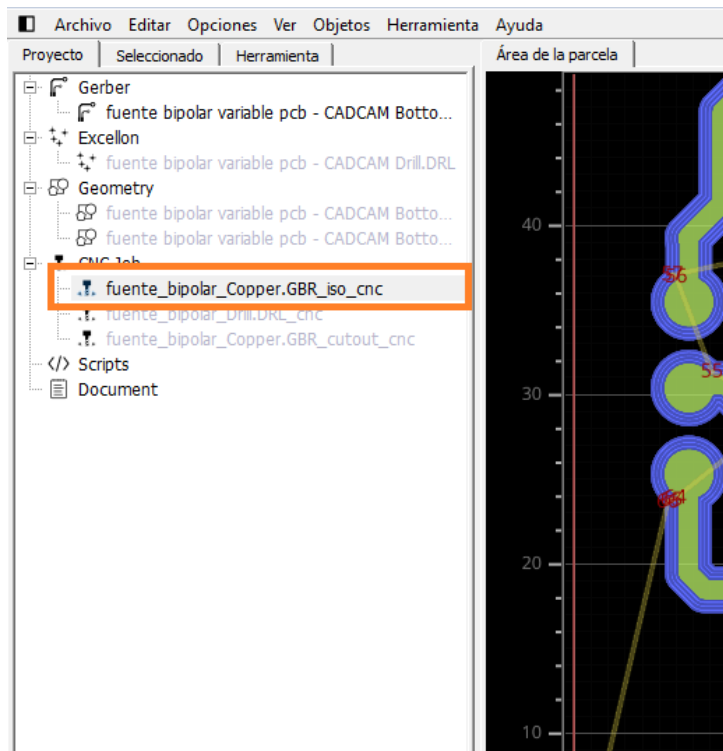


Figura 14. Apertura de geometría generada.

h. Y finalmente guardamos el código CNC, que posteriormente será enviado al software OpenCNCPilot.

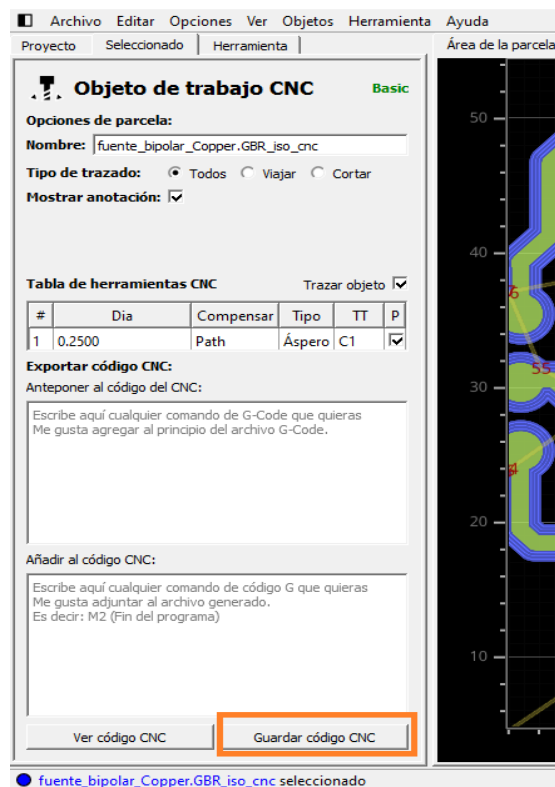
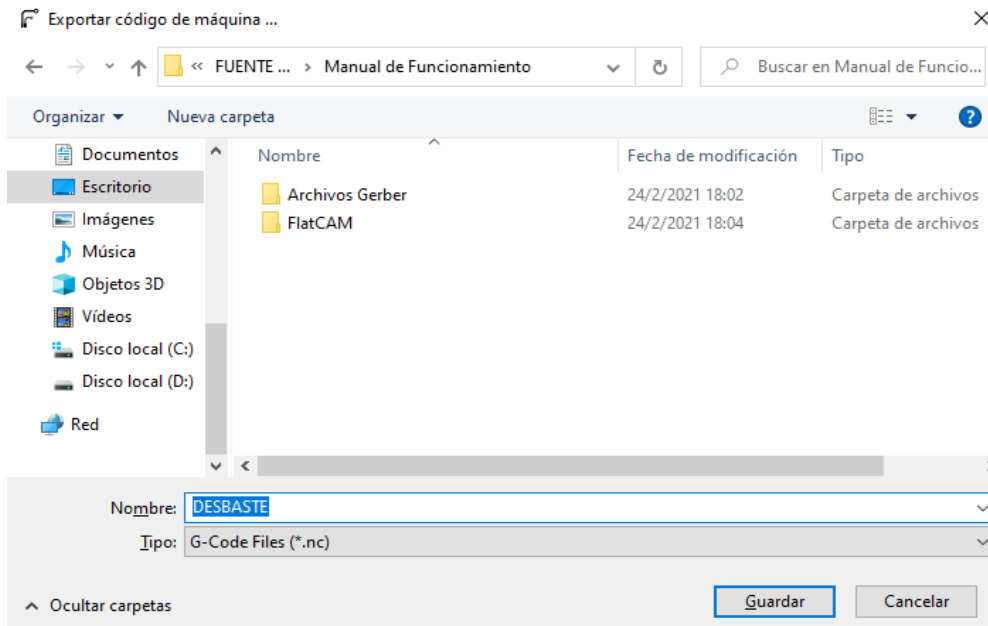


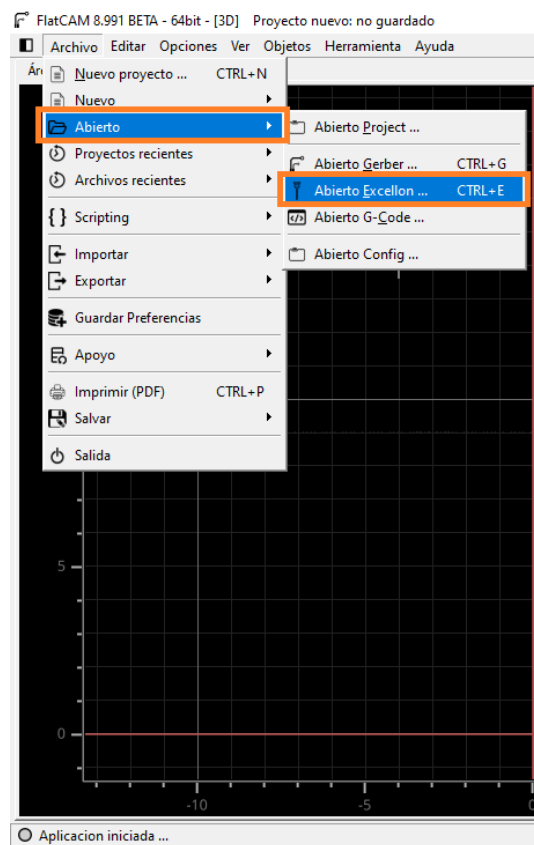
Figura 15. Obtención de código CNC para las pistas.

- i. Le colocamos un nombre en este caso “DESBASTE” y se guardará como “DESBASTE.nc”



**Figura 16.** Colocación de nombre con extensión .nc.

- j. Ahora se procede a abrir nuevamente el archivo generado por el software Proteus, en este caso el archivo pertenece a las perforaciones.



**Figura 17.** Apertura de archivo Excellon.

- k. Buscamos el archivo “Drill.DRL”, generado en Proteus el cual contiene las perforaciones para los pads de la tarjeta electrónica.

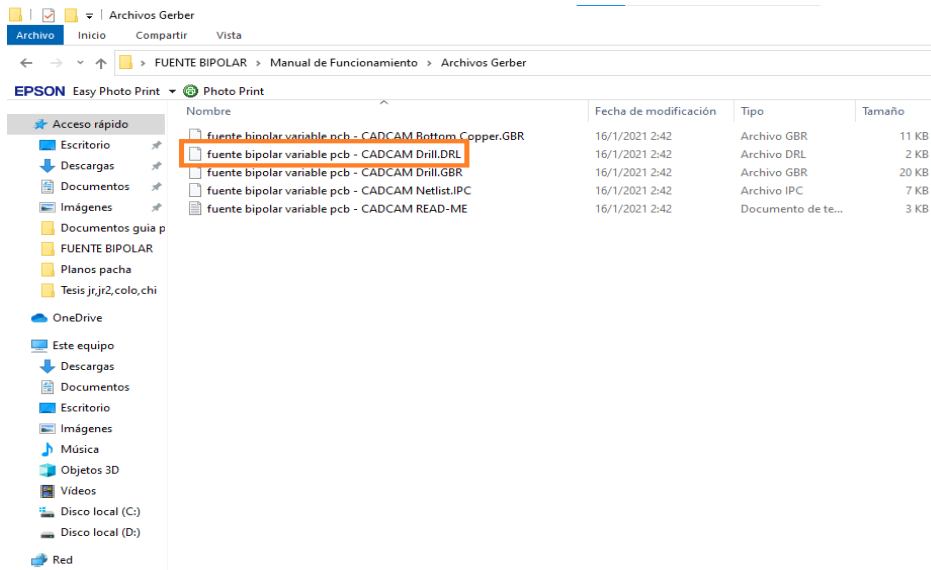


Figura 18. Elección de archivo .DRL.

- l. Se despliegan las perforaciones sobre las pistas antes creadas en el área de trabajo del programa FlatCAM

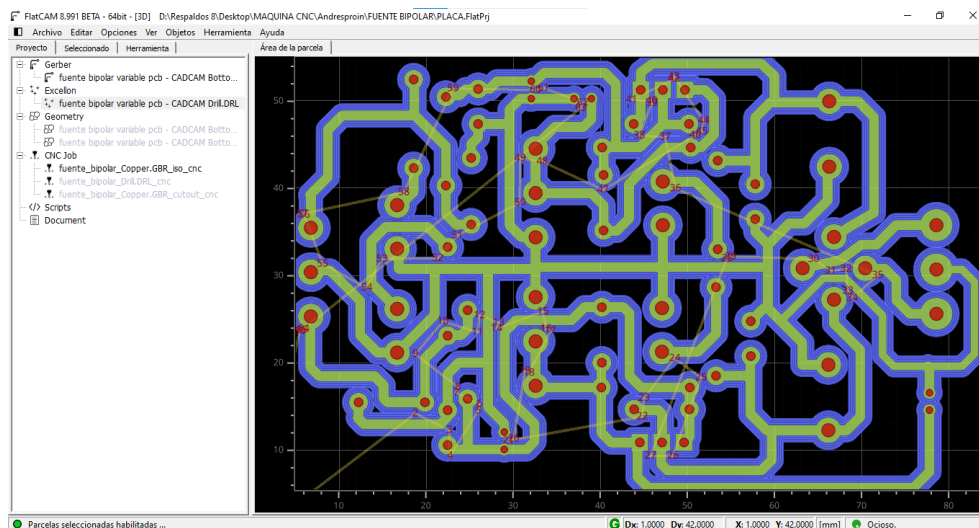


Figura 19. Perforaciones en software FlatCAM.

- m. Se procede a parametrizar el perforado que va a realizar la máquina CNC, con los valores indicados (cabe recalcar que estos valores pueden variar dependiendo del diseño del circuito), luego de insertar estos valores damos clic en “Crear taladros GCode”.

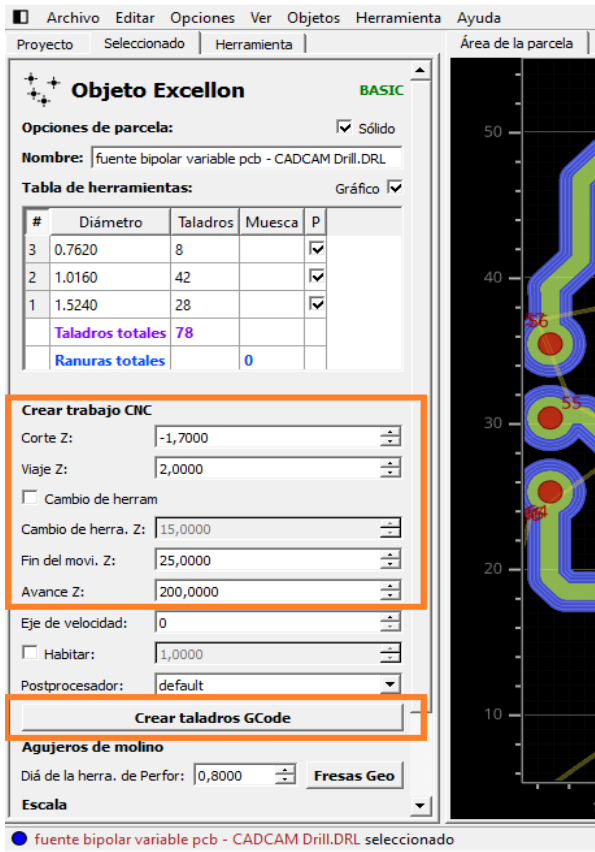


Figura 20. Parametrización de mecanizado para perforaciones.

- n. Al momento de generar la geometría los orificios en el área de trabajo se marcan con diferentes números que muestran cuántos de ellos hay en la tarjeta electrónica

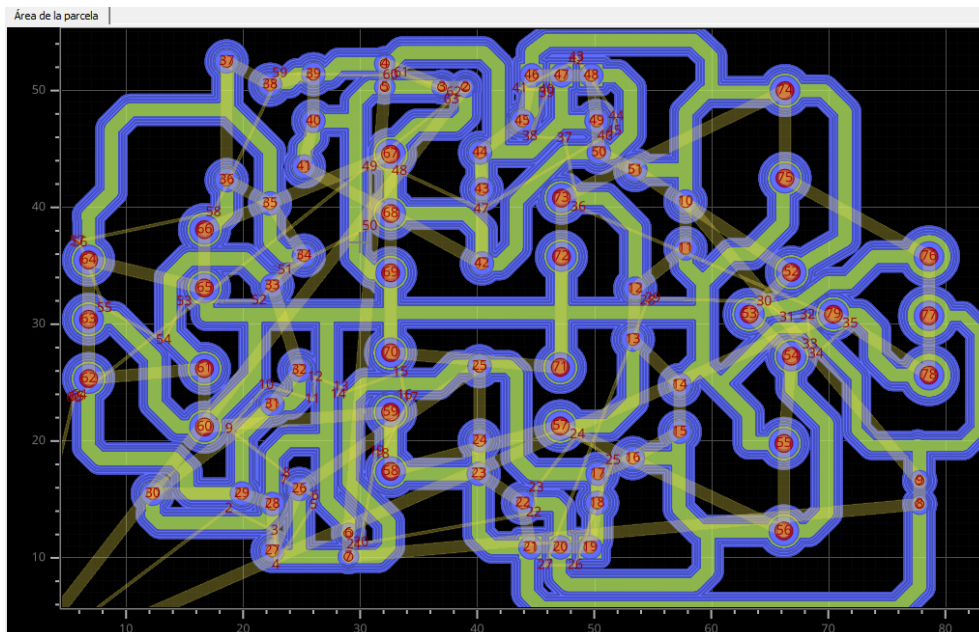


Figura 21. Generación de geometría para orificios.

- o. Una vez generada la geometría nos dirigimos al archivo creado, lo abrimos.

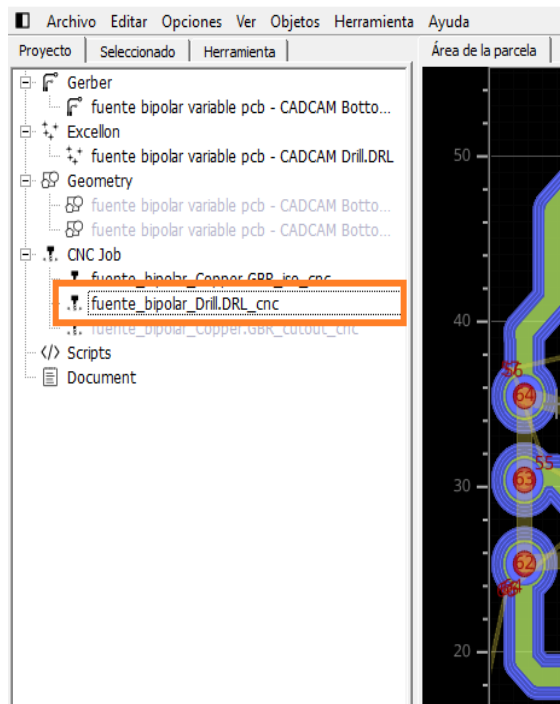


Figura 22. Apertura de geometría generada.

- p. Finalmente guardamos el código CNC, que posteriormente será enviado al software OpenCNC Pilot.

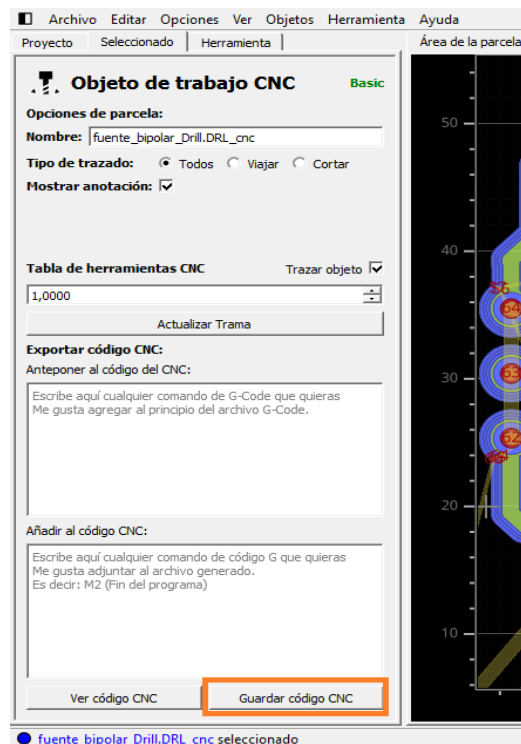


Figura 23. Obtención de código CNC para las perforaciones.

- q. Le colocamos un nombre en este caso “PERFORADO” y se guardará como “PERFORADO.nc”

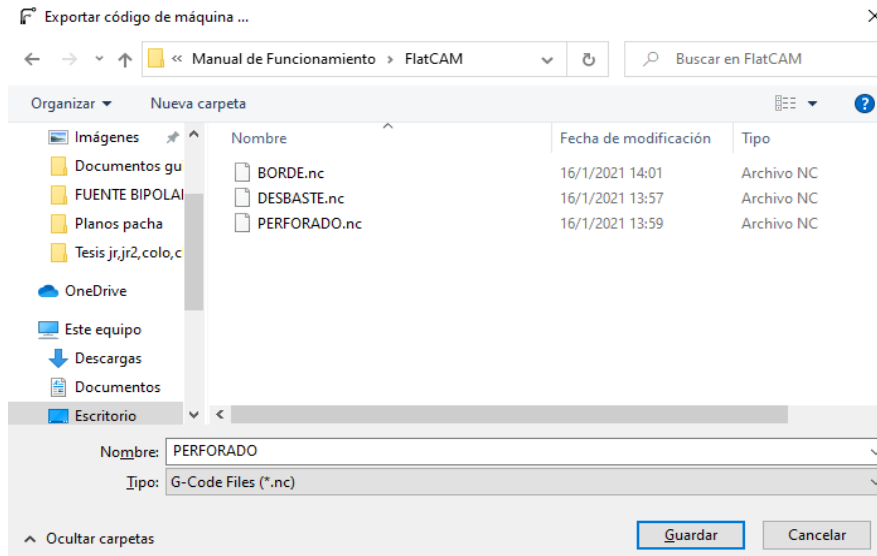


Figura 24. Colocación de nombre con extensión .nc.

- r. Por último, se procede a abrir una vez más el archivo generado por el software Proteus, en este caso el archivo de las pistas.

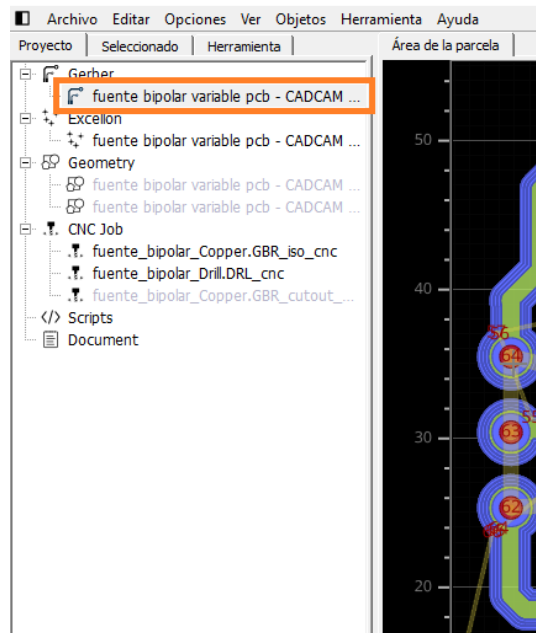


Figura 25. Apertura de archivo GERBER, para margen.

- s. Nos dirigimos a la sección “Regiones no cobre” digitamos el tamaño de margen deseado, damos clic en “Generar Geo” y se despliega el margen alrededor de las pistas y las perforaciones en el área de trabajo del programa.

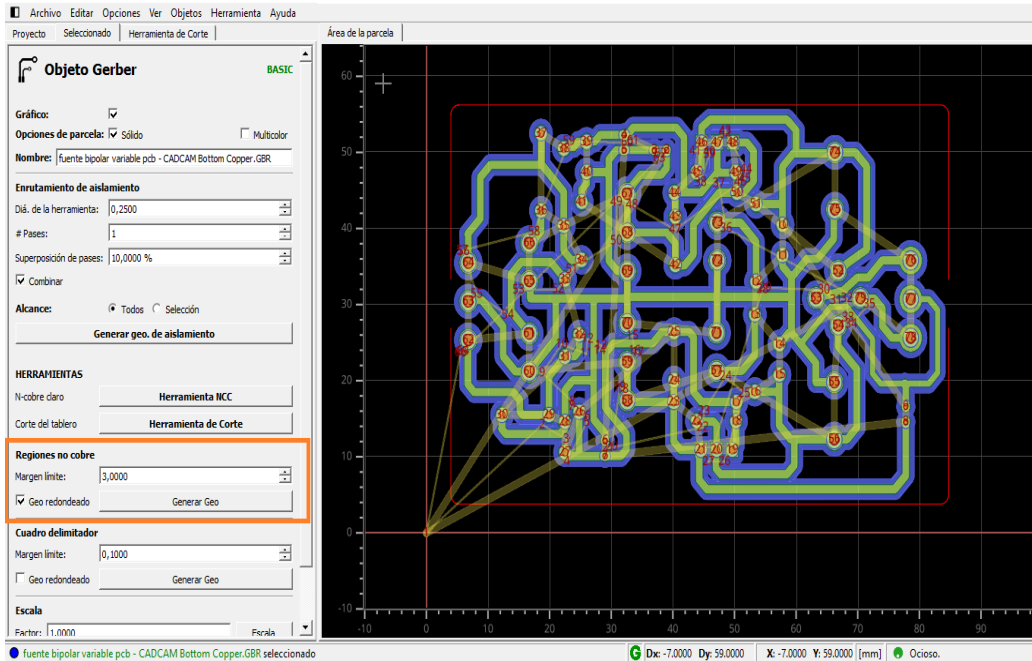


Figura 26. Parametrización del borde de la placa.

- t. Al momento de generar la geometría el margen en el área de trabajo se marca de color azul indicando que la geometría se completó.

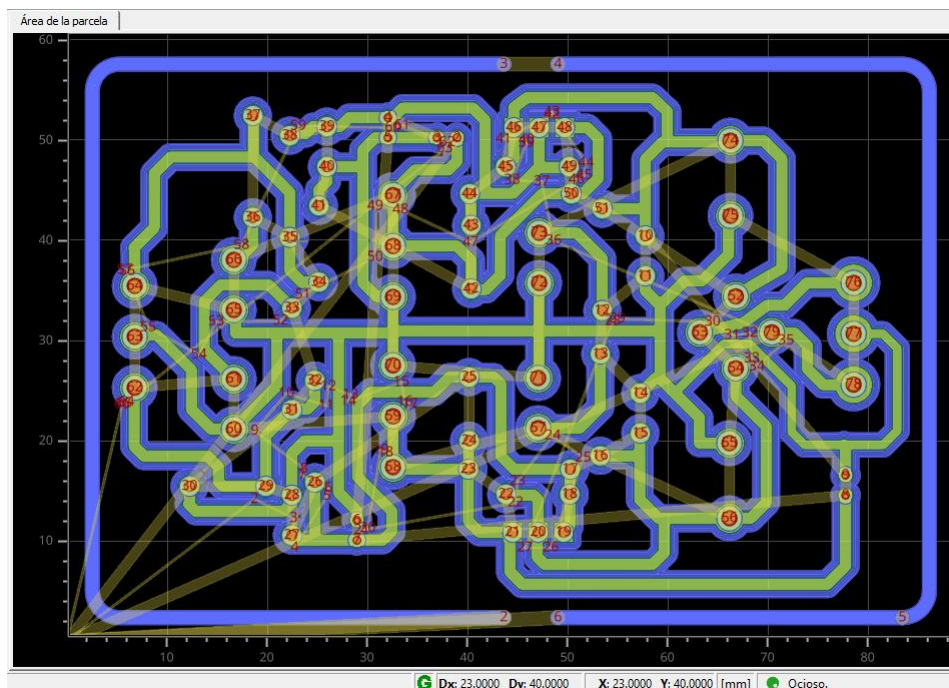


Figura 27. Generación de geometría para borde.

- u. Una vez generada la geometría nos dirigimos al archivo creado, lo abrimos.

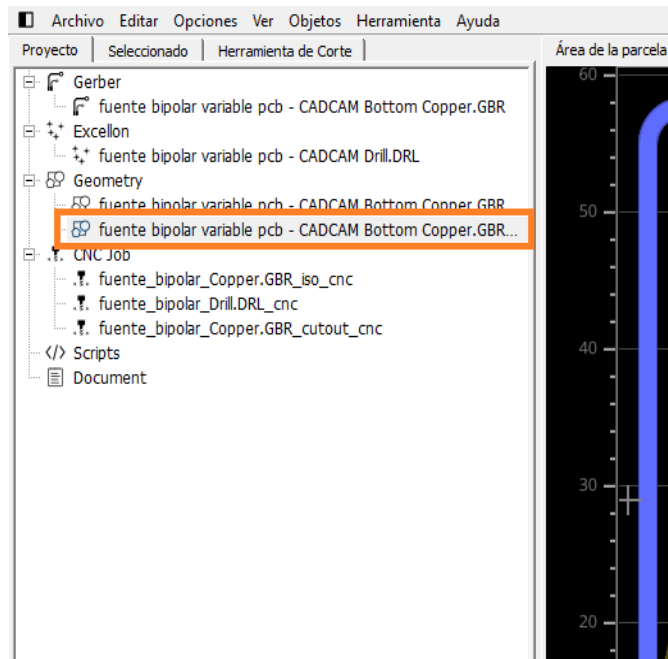


Figura 28. Apertura de geometría generada (borde).

- v. Se procede a parametrizar el corte del margen que va a realizar la máquina CNC, con los valores indicados (cabe recalcar que estos valores pueden variar dependiendo del diseño del circuito), luego de insertar estos valores damos clic en “Generar objeto CNCJob”.

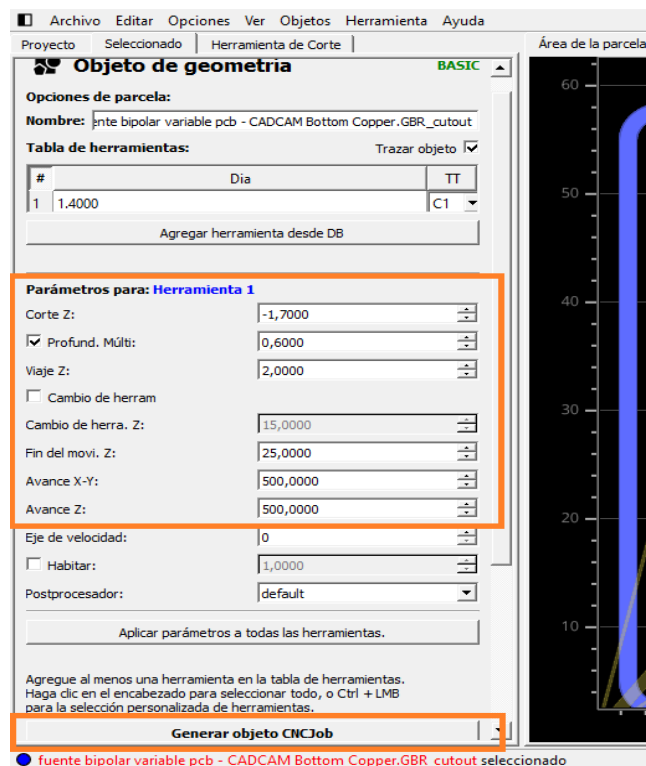


Figura 29. Parametrización de mecanizado para borde.

w. Una vez generada la geometría nos dirigimos al archivo creado, lo abrimos.

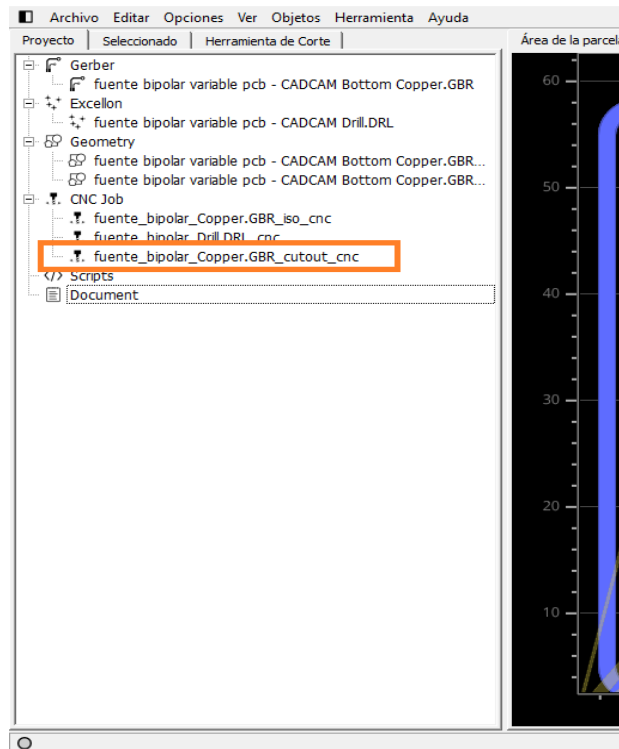


Figura 30. Apertura de ultima geometría generada (borde).

x. Finalmente guardamos el código CNC, que posteriormente será enviado al software OpenCNC Pilot.

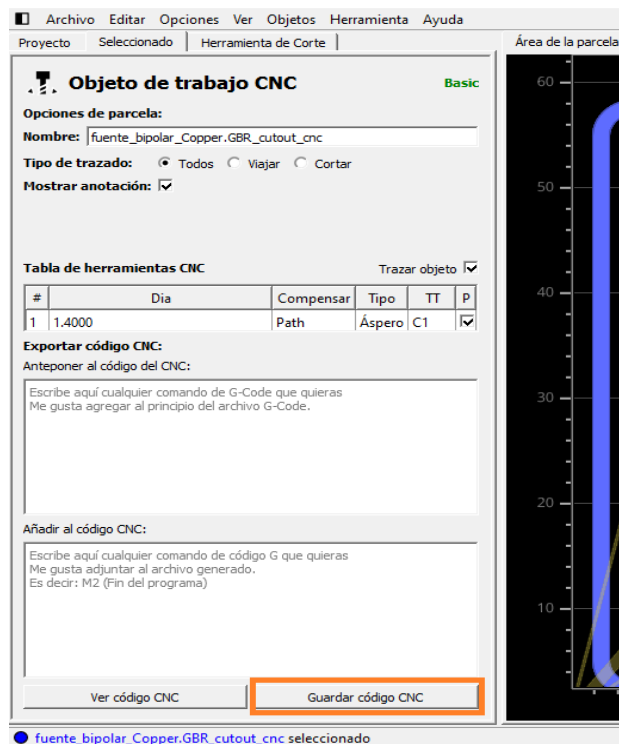


Figura 31. Obtención de código CNC para el borde.

- y. Le colocamos un nombre en este caso “BORDE” y se guardará como “BORDE.nc”

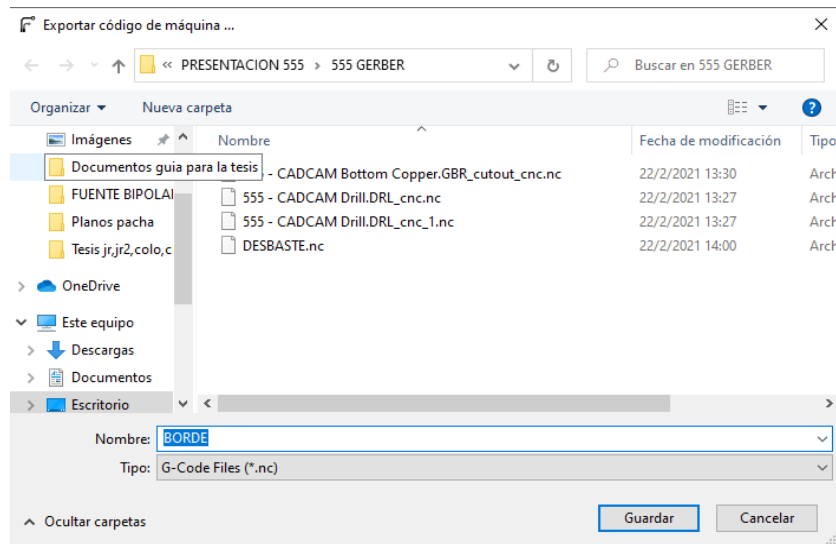


Figura 31. Colocación de nombre con extensión .nc..

### 5.3.3. Programación del código g manualmente

Una vez parametrizado el diseño a manufacturarse en el software FlatCAM es fundamental editar el G-code de desbaste, ya que la máquina herramienta Dremel 3000 es parte externa del sistema de control, por ello es necesario incluir en G-code virgen la línea M03 S1000 y guardándolo en el mismo archivo, para que el relé que controla el dremel lo encienda y comience a desbastar.

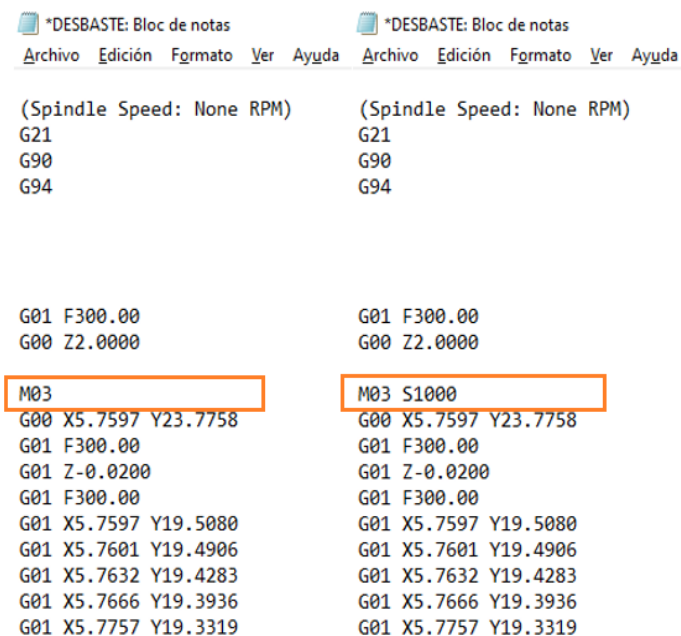


Figura 32. Modificación del G-code (desbaste).

- a. Una vez parametrizado el diseño a manufacturarse en el software FlatCAM es fundamental editar el G-code de perforación, ya que la máquina herramienta Dremel 3000 es parte externa del sistema de control, por ello es necesario incluir en G-code virgen la línea M03 S1000 y guardándolo en el mismo archivo, para que el relé que controla el dremel lo encienda y comience a perforar.

<pre> PERFORADO: Bloc de notas Archivo Edición Formato Ver Ayuda (Spindle Speed: None RPM) G21 G90 G94  G01 F200.00 G00 Z2.0000  M03 G00 X39.0000 Y50.3000 G01 Z-1.8000 G01 Z0 G00 Z2.0000 G00 X37.0000 Y50.3000 G01 Z-1.8000 G01 Z0 G00 Z2.0000 G00 X32.1000 Y52.3000 </pre>	<pre> *PERFORADO: Bloc de notas Archivo Edición Formato Ver Ayuda (Spindle Speed: None RPM) G21 G90 G94  G01 F200.00 G00 Z2.0000  M03 S1000 G00 X39.0000 Y50.3000 G01 Z-1.8000 G01 Z0 G00 Z2.0000 G00 X37.0000 Y50.3000 G01 Z-1.8000 G01 Z0 G00 Z2.0000 G00 X32.1000 Y52.3000 </pre>
---	--

**Figura 33.** Paro de emergencia (perforaciones).

- b. Una vez parametrizado el diseño a manufacturarse en el software FlatCAM es fundamental editar el G-code de borde, ya que la máquina herramienta Dremel 3000 es parte externa del sistema de control, por ello es necesario incluir en G-code virgen la línea M03 S1000 y guardándolo en el mismo archivo, para que el relé que controla el dremel lo encienda y comience a cortar el borde.

<pre> BORDE: Bloc de notas Archivo Edición Formato Ver Ayuda (Spindle Speed: None RPM) G21 G90 G94  G01 F400.00 G00 Z2.0000  M03 G00 X43.6729 Y2.3859 G01 F300.00 G01 Z-0.6000 G01 F400.00 G01 X5.2760 Y2.3859 G01 X5.0114 Y2.3989 G01 X4.7493 Y2.4378 G01 X4.4922 Y2.5021 G01 X4.2428 Y2.5914 G01 X4.0032 Y2.7047 G01 X3.7760 Y2.8409 </pre>	<pre> *BORDE: Bloc de notas Archivo Edición Formato Ver Ayuda (Spindle Speed: None RPM) G21 G90 G94  G01 F400.00 G00 Z2.0000  M03 S1000 G00 X43.6729 Y2.3859 G01 F300.00 G01 Z-0.6000 G01 F400.00 G01 X5.2760 Y2.3859 G01 X5.0114 Y2.3989 G01 X4.7493 Y2.4378 G01 X4.4922 Y2.5021 G01 X4.2428 Y2.5914 G01 X4.0032 Y2.7047 G01 X3.7760 Y2.8409 </pre>
---	--

**Figura 34.** Paro de emergencia (borde).

### 5.3.4. Pasos a realizar en el programa OpenCNCpilot

- a. Abrimos el software OpenCNCpilot y conectamos el ordenador con la máquina CNC, para la interacción entre ambos.

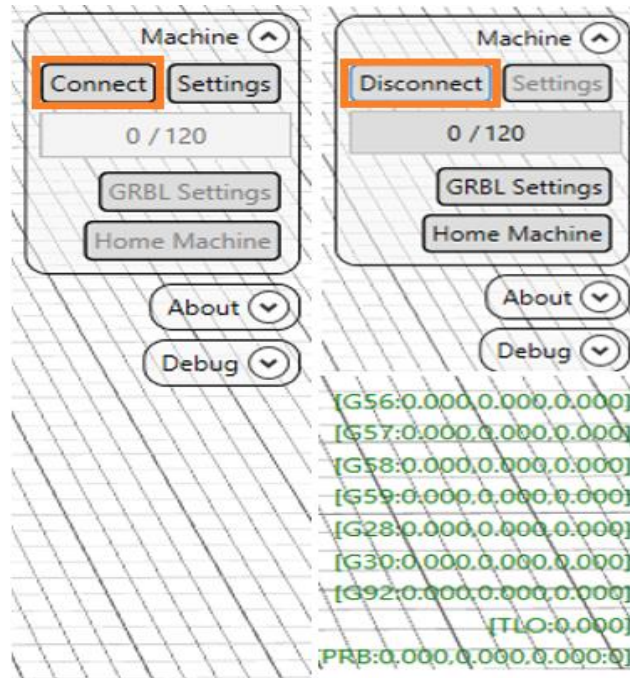


Figura 35. Conexión física entre Ordenador y Máquina CNC.

- b. Se procede a cargar el G-code de desbaste en el software.

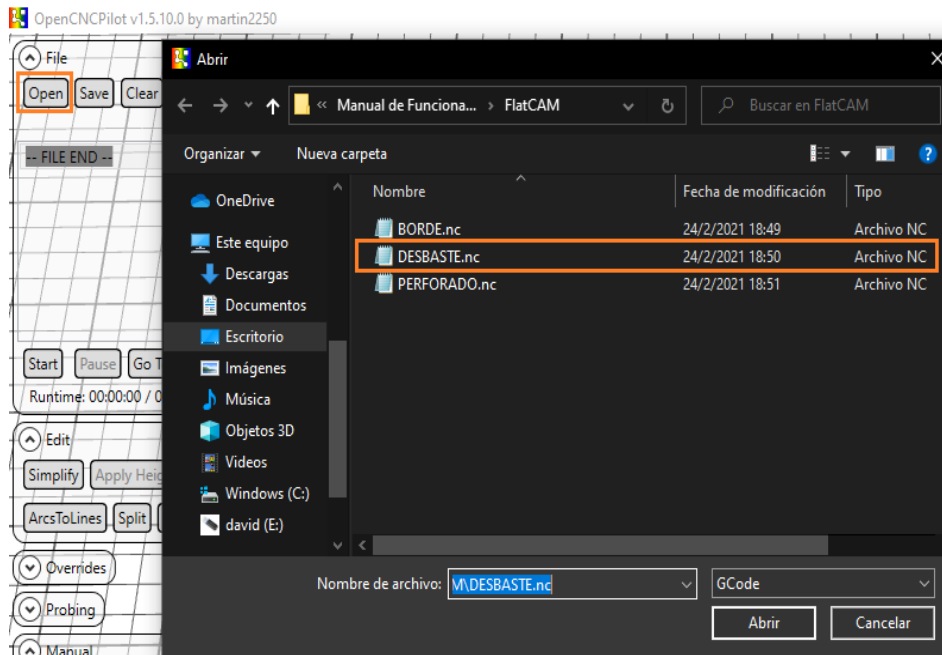
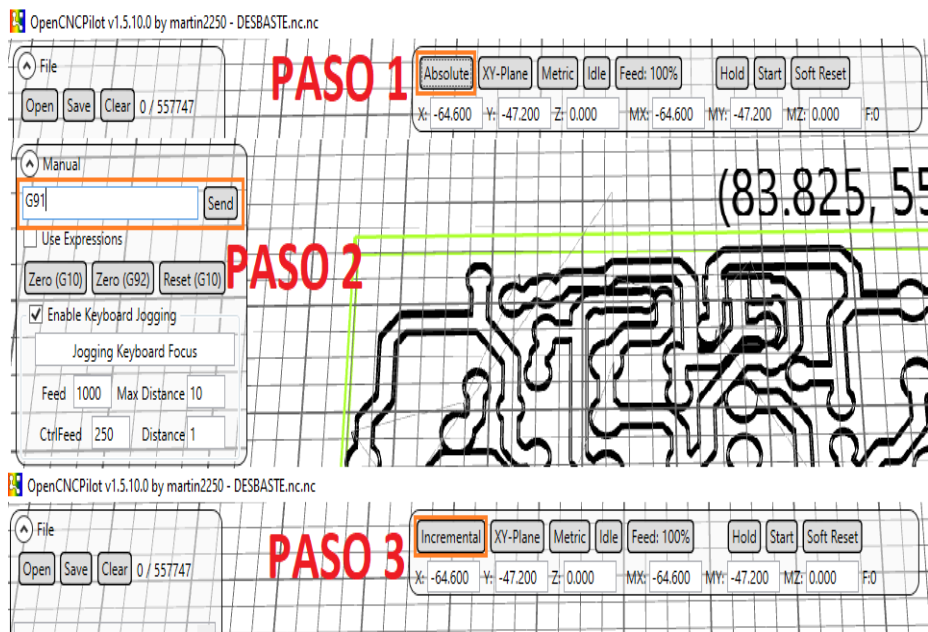


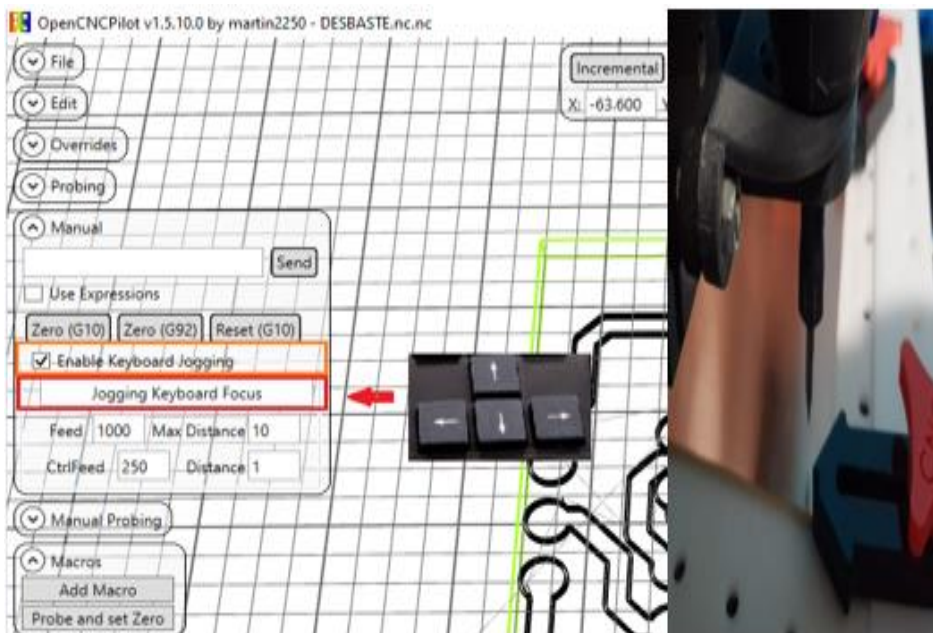
Figura 36. Carga de código CNC (desbaste).

- c. Ahora en este paso el programa está en valores absolutos, para poder manipular el programa nos dirigimos a Manual e insertamos el código G91, con el cual el programa pasa a valores incrementales



**Figura 37.** Movilización de la máquina herramienta.

- d. Una vez el software pasa a valores incrementales se habilita Enable Keyboard Jogging, y damos un click en Jogging Keyboard Focus, que habilitara la movilidad del carro porta herramienta y la mesa de trabajo para colocar el punto cero, en alguna parte específica de la placa de cobre donde se requiera mecanizar.



**Figura 38.** Colocación del punto cero.

- e. Colocamos la sonda, luego Probe and set zero y el software remite positivamente que se ha realizado el comando, en ese mismo momento introducimos G92 para tener el punto cero y proceder a hacer el mapa de alturas.

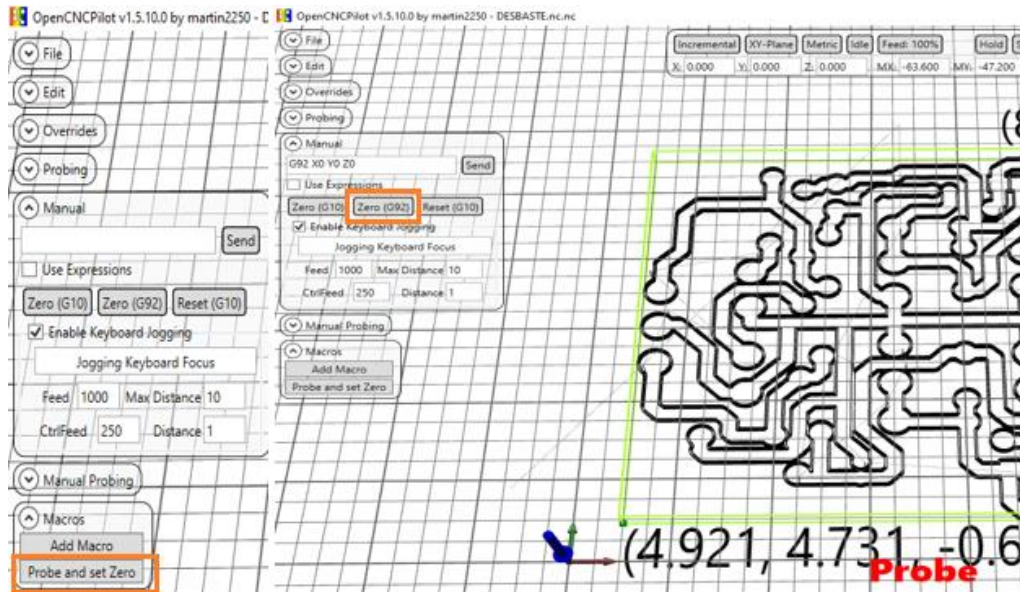


Figura 39. Seteo de la máquina herramienta.

- f. Ahora procedemos a mapear la placa de cobre para ver las irregularidades y que se ajuste el circuito en este mapeo.

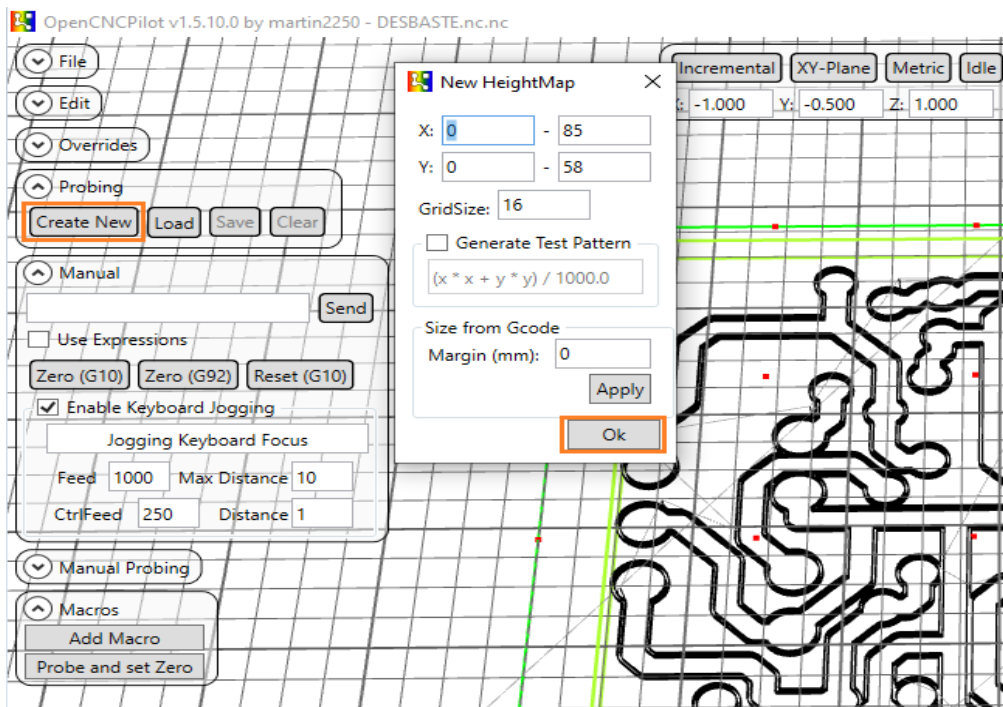


Figura 40. Parametrización para el mapeo de la placa.

- g. Una vez realizada el mapeo de la placa de cobre se da clic en “Apply HeightMap”.

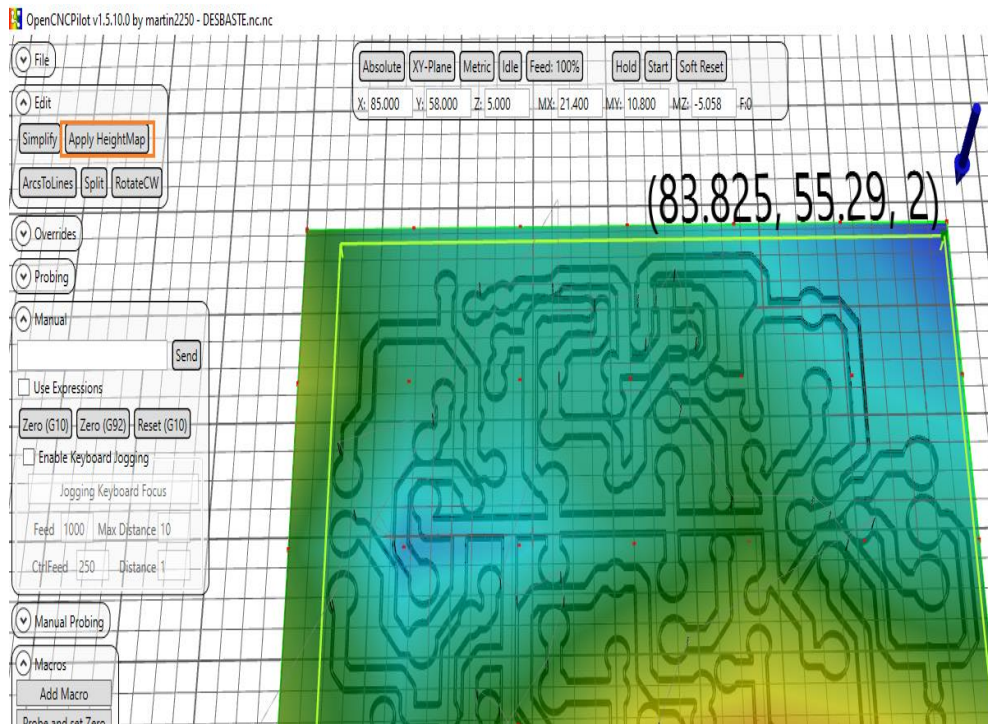


Figura 41. Aplicación del mapa de alturas.

- h. Una vez aplicado el mapeo de la placa de cobre se verifica la nueva línea de código en la parte superior de la ventana de líneas de programación y se procede a presionar “start”, para empezar el mecanizado.

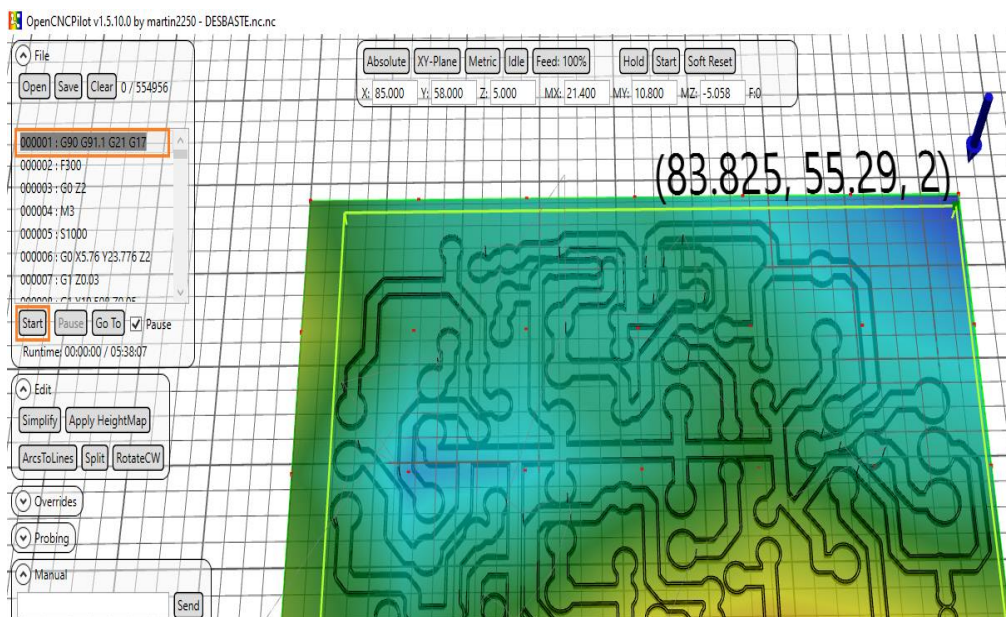


Figura 42. Inicio del mecanizado.

- i. Se procede a borrar el archivo del desbaste.

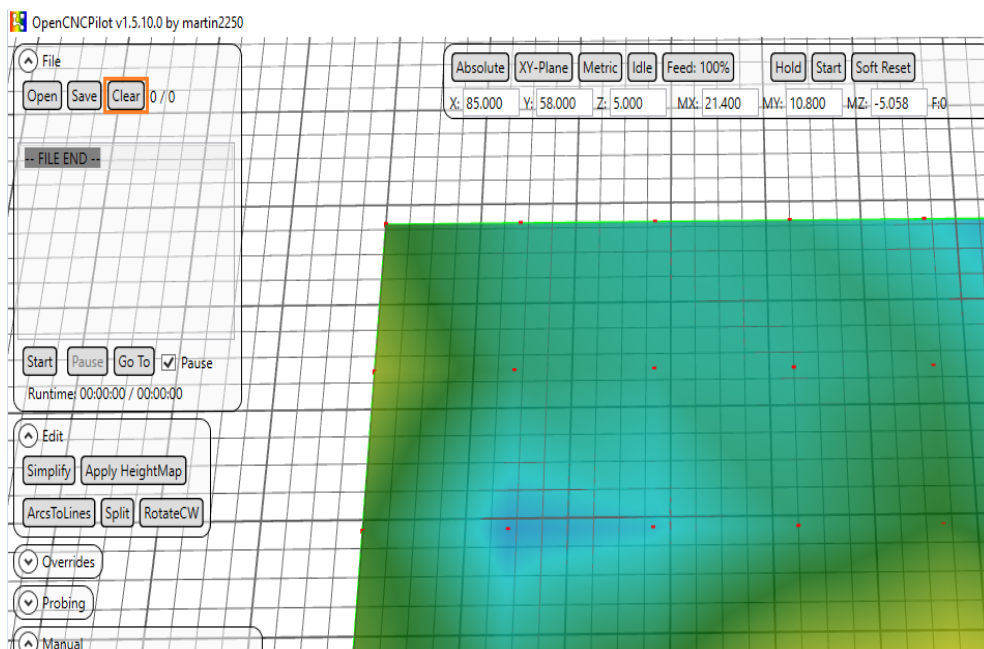


Figura 43. Limpieza de líneas de código.

- j. Se procede a cargar el G-code de perforado en el software.

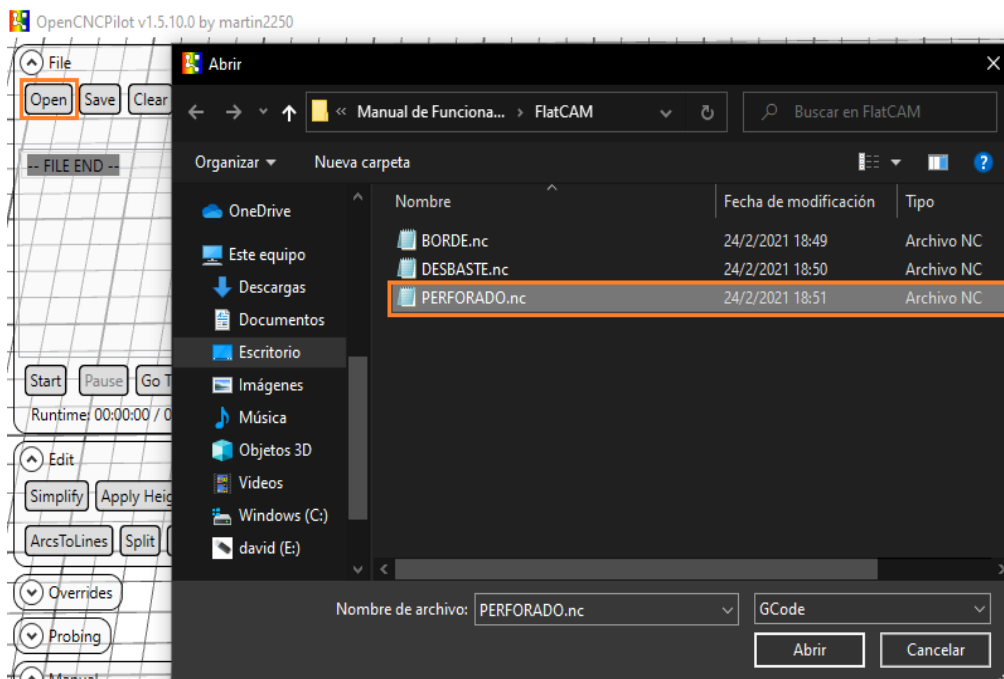


Figura 44. Carga de nuevo código CNC (perforado).

- k. En la máquina herramienta se cambia de fresa a broca para realizar la perforación, a su vez se coloca la sonda, luego Probe and set zero y el software remite positivamente que se ha realizado el comando.

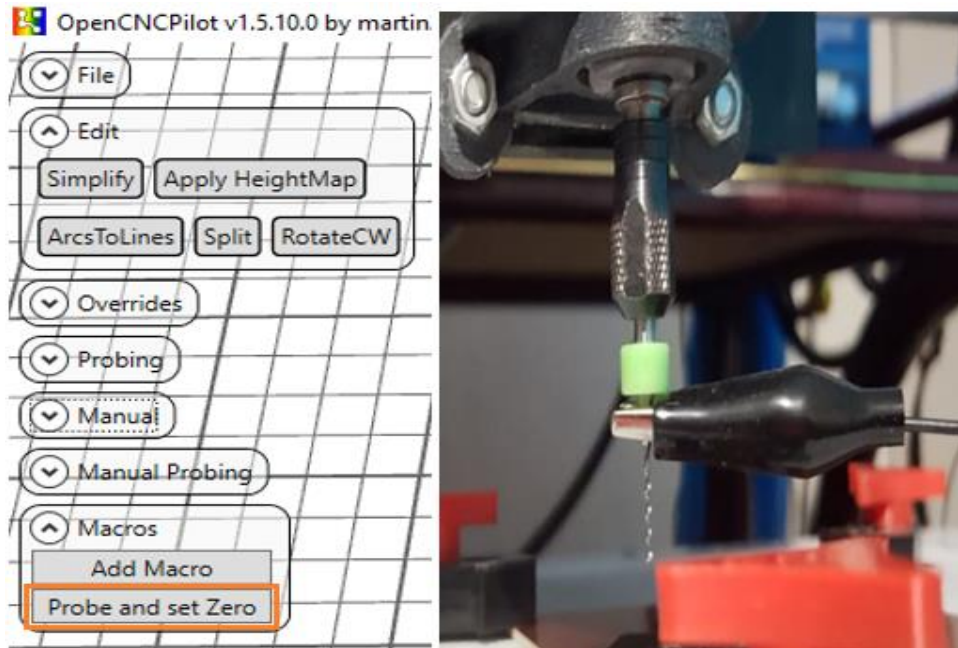


Figura 45. Cambio de herramienta (broca).

- l. En este momento ya no es necesario el mapa de alturas y se procede a dar start para realizar las perforaciones.

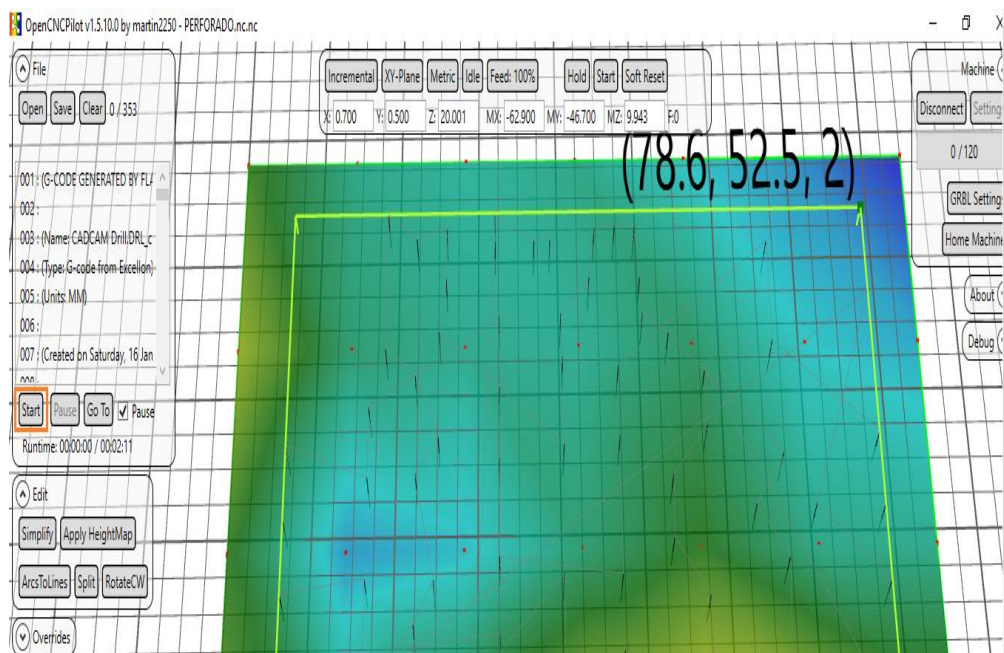


Figura 46. Inicio de mecanizado (perforado).

m. Se procede a borrar el archivo de perforación.

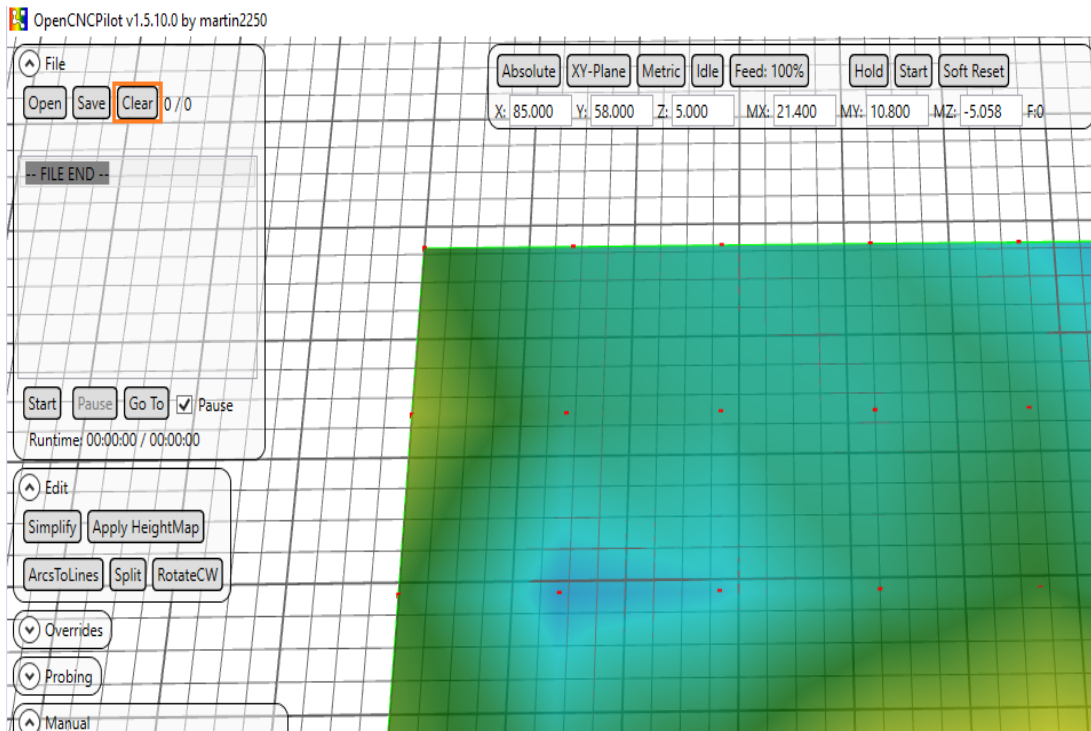


Figura 47. Limpieza de líneas de código.

n. Se procede a cargar el G-code del borde en el software.

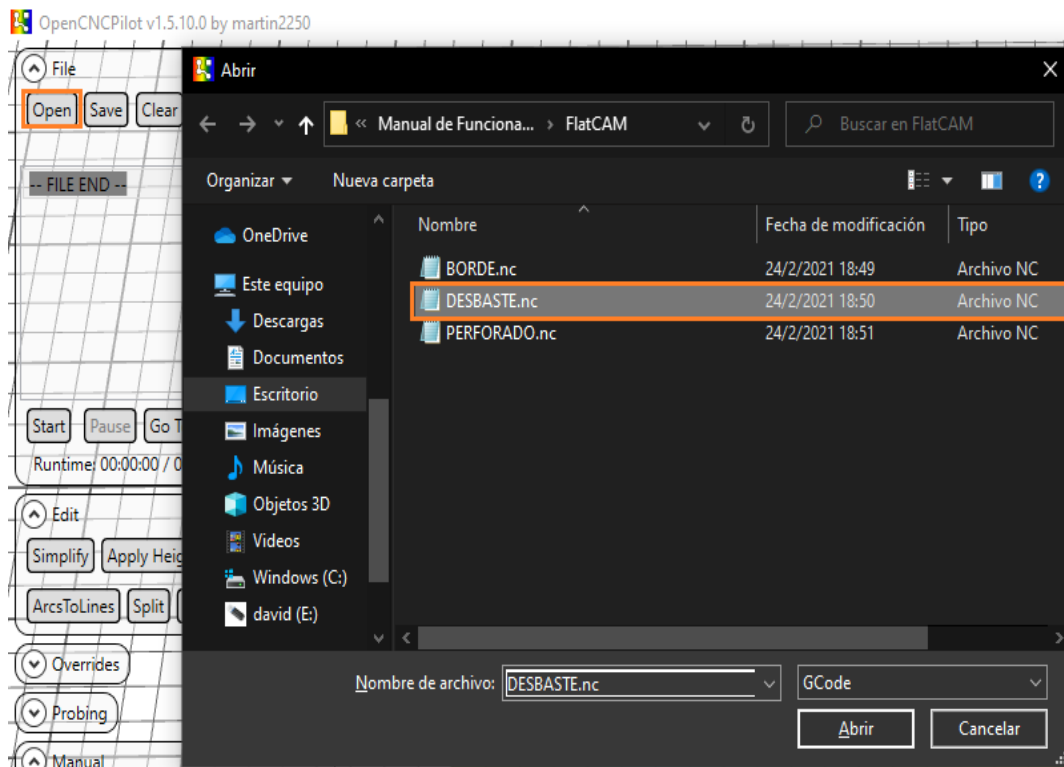


Figura 48. Carga de nuevo código CNC (borde).

- o. En la máquina herramienta se cambia de broca a fresa para realizar el corte del borde, a su vez se coloca la sonda, luego Probe and set zero y el software remite positivamente que se ha realizado el comando.

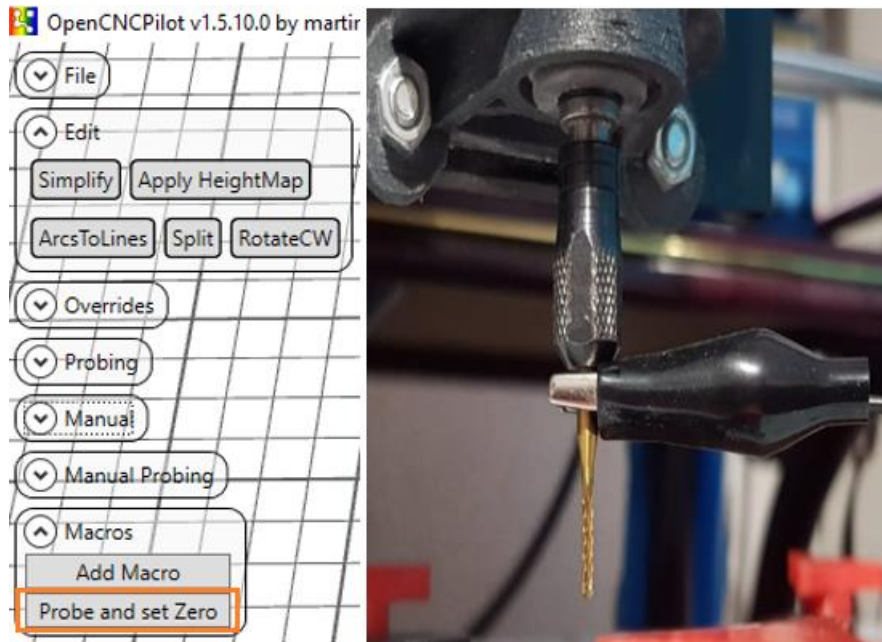


Figura 49. Cambio de herramienta (fresa).

- p. En este momento ya no es necesario el mapa de alturas y se procede a dar start para realizar el corte del borde.

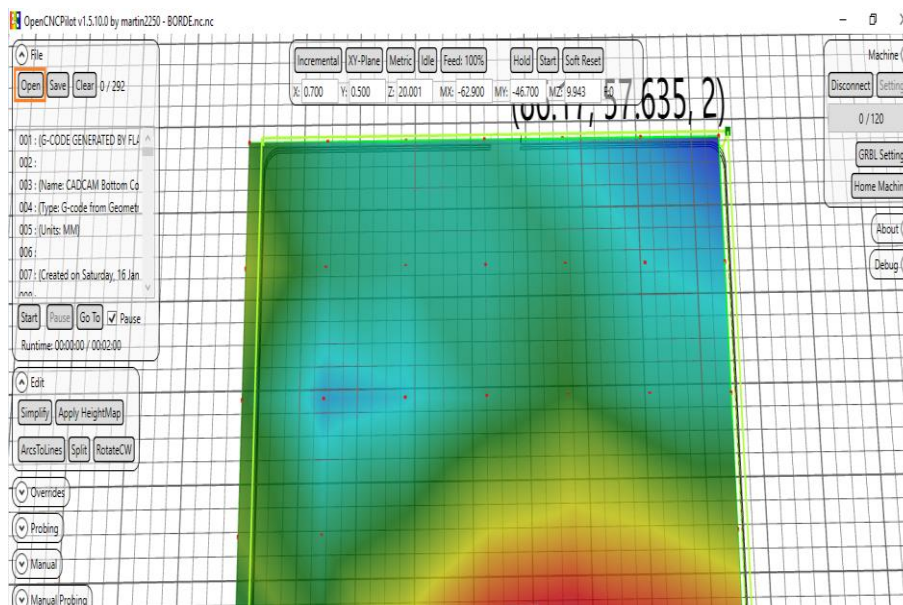
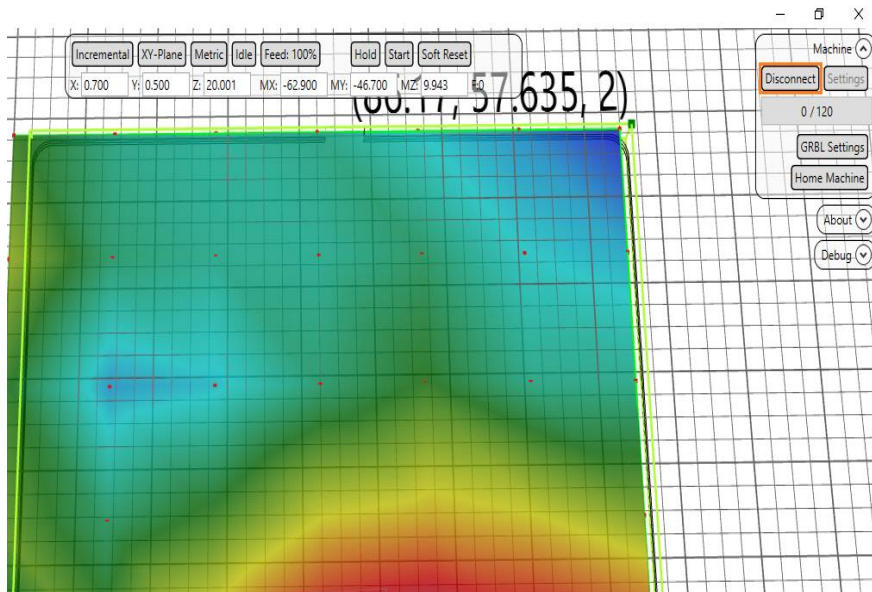


Figura 50. Inicio de mecanizado (corte).

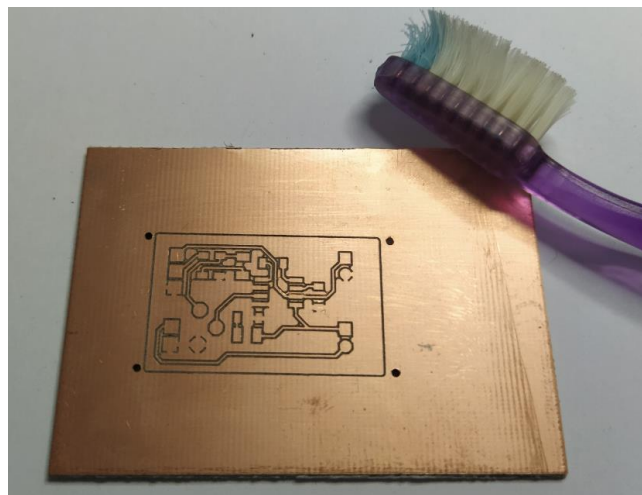
- q. Por seguridad y protección se procede a desconectar la máquina CNC y de igual manera a apagar el motortool (DREMEL).



**Figura 51.** Desconexión del PC con la máquina CNC.

## 6. Postproceso de la placa electrónica

Ya una vez culminado el mecanizado total de la placa electrónica, la misma pasa por un postproceso el cual consiste en retirar las partículas de cobre y de fibra de vidrio, para evitar la falta de continuidad en el circuito, verificando el fresado de las pistas conductoras, de la misma manera el perforado de los pads y a su vez el corte del borde, que finalmente procederán al montaje de los componentes que harán parte del circuito electrónico.



**Figura 52.** Limpieza de la placa.

## **7. Conclusión**

Para la manipulación de la maquina CNC, es necesario aplicar los diferentes pasos que se manifiestan en el manual de operación ya que la misma maneja una herramienta de corte de reducidos diámetros. Además es necesario delimitar bien la pieza a mecanizar y evitar que la maquina salga del límite de la placa.

**Manual de mantenimiento**

# **MANUAL DE MANTENIMIENTO**

Sistema de impresión de PCB para circuitos electrónicos en placa fenólica con control numérico computarizado CNC para la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica De Cotopaxi.

**Autores:**

Pachacama Tipan Cristian David

Toapanta Herrera Denis Mauricio

## CONTENIDO

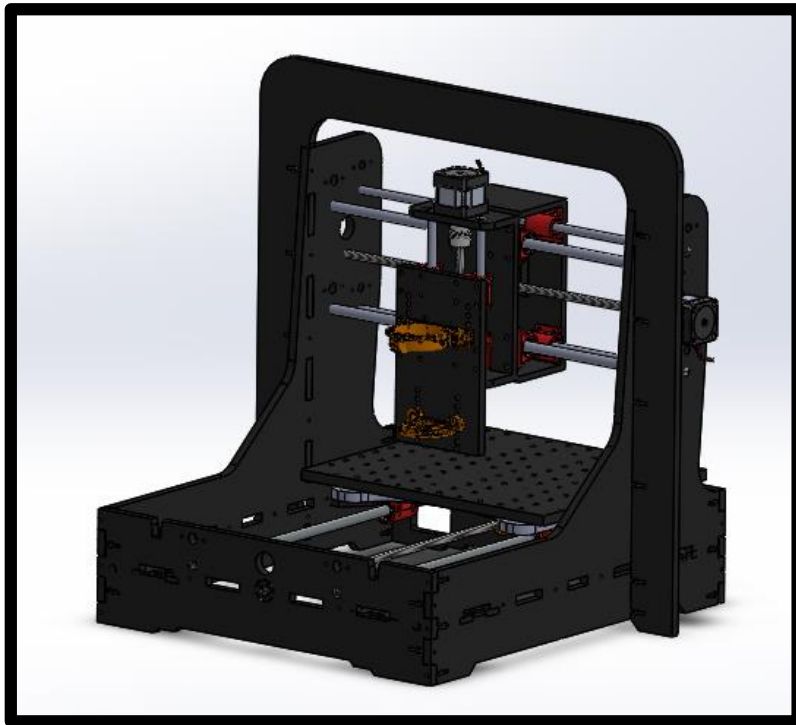
ÍNDICE DE TABLAS .....	2
1. Introducción .....	3
2. Propósito del documento.....	3
3. Mantenimiento .....	4
3.1. Mantenimiento predictivo.....	4
3.2. Mantenimiento preventivo .....	4
3.3. Mantenimiento correctivo.....	4
4. Pasos para mantenimiento.....	4
5. Alineación de los ejes X, Y, Z .....	7
6. Sistema de control .....	8
7. Fichas técnicas.....	9
7.1. Motores a pasos ejes X, Y.....	9
7.2. Motor a pasos eje Z.....	10
7.3. Lubricante sintético.....	11
7.4. Rodamiento lineal de bolas .....	12
7.5. Rodamientos rígidos de bolas .....	13
7.6. Placa ARDUINO UNO R3 .....	14
7.7. CNC Shield V3 2.0 .....	15
7.8. Driver A4988 .....	16
7.9. Eje roscado y tornillo de potencia.....	17
7.10. Eje liso de alta frecuencia.....	18

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Mantenimiento de la máquina CNC.....	5
---	---

## 1. Introducción

El siguiente documento está enfocado a los tipos de mantenimiento que se debe realizar al sistema de impresión de PCB's con tecnología CNC, ya que al ser una máquina que alberga, componentes mecánicos, de transmisión, eléctricos y electrónicos en toda su estructura, necesitará de algún tipo de mantenimiento, para conservar un correcto funcionamiento, prolongando la vida útil y a su vez acceder a las diferentes actualizaciones que se puedan aplicar a esta máquina.



## 2. Propósito del documento

El propósito fundamental de este manual se constituye en la conservación y aprovechamiento del sistema de impresión de PCB's, mediante un sistema detallado de los diferentes elementos que componen la máquina, de tal manera que se pueda comprobar posibles desgastes, desajustes o desviaciones de los mismos, y posteriormente realizar posibles cambios, optimizaciones o reparaciones en diferentes áreas de todo el sistema.

### **3. Mantenimiento**

#### **3.1. Mantenimiento predictivo**

Este tipo de mantenimiento es sugerido, ya que con este método es posible reducir los costos de mantenimiento correctivo y evitar el daño del equipo. La vigilancia continua del equipo es fundamental para estimar los tiempos y las correcciones que necesite la CNC.

#### **3.2. Mantenimiento preventivo**

El sistema de impresión de PCB's con tecnología CNC, al ser una máquina que puede estar en constante funcionamiento, o a su vez sin operar es recomendable la revisión de todos los sistemas, la limpieza estructural y la calibración, con ello se garantiza el buen funcionamiento y la fiabilidad del sistema. Además, que este tipo de mantenimiento previene daños o fallos antes y durante la operación de la máquina.

#### **3.3. Mantenimiento correctivo**

Este tipo de mantenimiento está enfocado en casos irreversibles, la máquina CNC dependerá de este tipo de mantenimiento cuando un sistema o componente no tenga reparación. Además, la falta de supervisión en el rendimiento y la inactividad del equipo pueden provocar fallos prematuros, estructurales o de los sistemas.

### **4. Pasos para mantenimiento**

- a. Realizar una breve inspección estructural externa e interna de la impresora
- b. Comprobar el estado del interruptor basculante de alimentación 110V
- c. Comprobar el estado de los puertos USB
- d. Comprobar el estado de los paros de emergencia
- e. Mantener siempre limpia el área de trabajo
- f. Evitar el desgaste prematuro de la protección de la mesa de trabajo
- g. Constatar el buen estado de la máquina herramienta mediante software, con la aplicación de los códigos M03 S1000 para encenderla y M05 apagarla.
- h. Utilizar grasa sintética multiuso dieléctrica NLGI 2
- i. Comprobación y calibración de actuadores
- j. Limpieza de ejes lisos de alta frecuencia para su posterior engrase
- k. Limpieza de ejes roscado para su posterior engrase

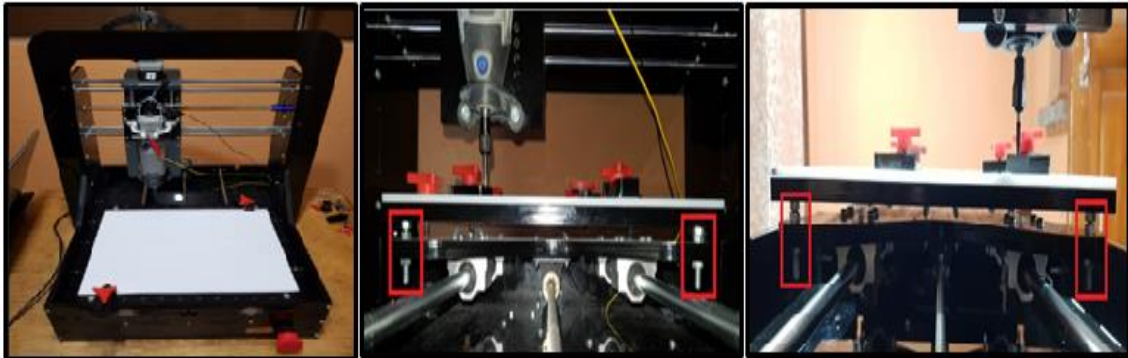
**Tabla 1.** Mantenimiento de la máquina CNC.

<b>SISTEMA MECÁNICO</b>				
<b>Elemento</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>Revisión</b>	<b>Detalle</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Mesa móvil y puente fijo</b>	Predictivo	Diario (según el uso)	Visibilidad al momento de mecanizar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza de viruta aire seco o/y brocha</li> </ul>
	Preventivo			
<b>SISTEMA DE TRANSMISIÓN</b>				
<b>Rodamiento lineal</b>	Preventivo	Diario (según el uso)	LM 8mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza de viruta aire seco o/y brocha</li> <li>• Engrasado</li> </ul>
	Correctivo	Mensual		
<b>Rodamiento de bolas</b>	Preventivo	Diario (según el uso)	SKF 8mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza de viruta aire seco o/y brocha</li> <li>• Engrasado</li> </ul>
	Correctivo	Mensual		
<b>Eje roscado longitud</b>	Preventivo	Diario (según el uso)	500mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza de viruta aire seco o/y brocha</li> <li>• Engrasado</li> </ul>
	Correctivo	Mensual		
<b>Eje liso de alta frecuencia</b>	Preventivo	Diario (según el uso)	500mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza de viruta aire seco o/y brocha</li> <li>• Engrasado</li> </ul>
	Correctivo	Mensual		
<b>Acople flexible</b>	Preventivo	Diario (según el uso)	8mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza de viruta aire seco o/y brocha</li> <li>• Engrasado</li> </ul>
	Correctivo	Mensual		
<b>Tuerca de bronce</b>	Preventivo	Mensual	THSL 8mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Engrasado</li> </ul>
<b>SISTEMA ELECTRÓNICO</b>				
<b>Motores</b>	Preventivo	Trimestral	NEMA 17	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar cables y fijación</li> <li>• Arandelas de expansión</li> </ul>
	Correctivo	Anual		

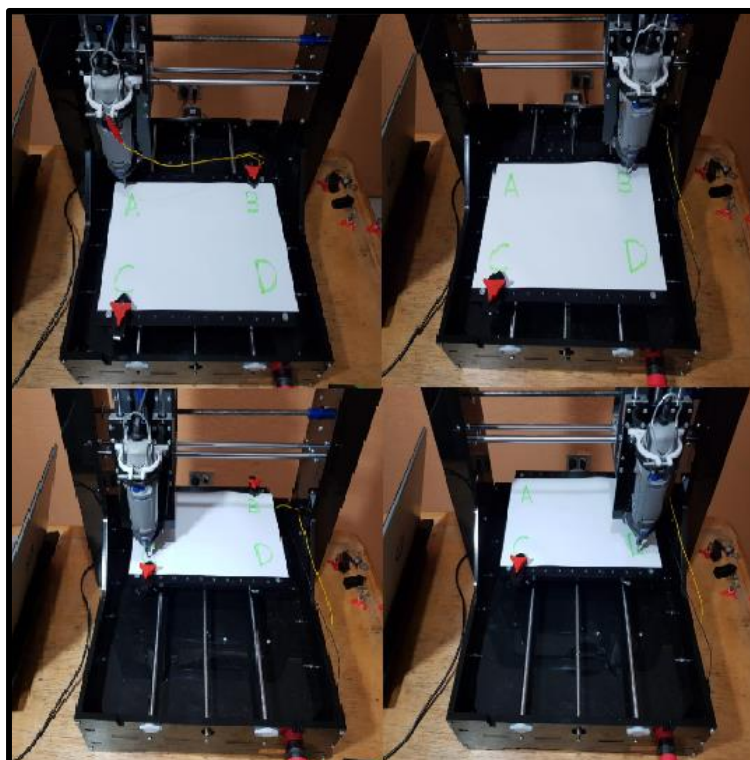
<b>Microcontrolador</b>	Preventivo	Semestral	Arduino UNO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza de residuos (polvo, viruta) aire seco</li> <li>• Ajuste de cableado</li> </ul>
<b>Módulo CNC Shield</b>	Preventivo	Semestral	V3 2.0	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza de residuos (polvo, viruta) aire seco</li> <li>• Ajuste de conexión física (pines)</li> </ul>
<b>SISTEMA ELÉCTRICO</b>				
<b>Fuente conmutada</b>	Preventivo	Semestral	Voltaje 110/12V	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar voltaje de salida y corriente</li> <li>• Ajuste de conexión física</li> </ul>
<b>Dremel 3000</b>	Preventivo	Semestral	Voltaje 110	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión de escobillas</li> <li>• Verificación de rendimiento</li> <li>• Reemplazo de boquilla</li> <li>• Reemplazo de dremel</li> </ul>
	Correctivo	Anual		
<b>SISTEMA ESTRUCTURAL</b>				
<b>Estructura</b>	Preventivo	Diario (según el uso)	Polimetilmetacrilato (Acrílico)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza general</li> <li>• Reemplazo de parte estructural</li> </ul>
	Correctivo	Semestral		

## 5. Alineación de los ejes X, Y, Z

El sistema de alineación de la máquina CNC dispone de cuatro pernos de regulación, los cuales se ubican en cada uno de los cuatro vértices de la mesa de trabajo, posibilitando así la alineación de la misma.

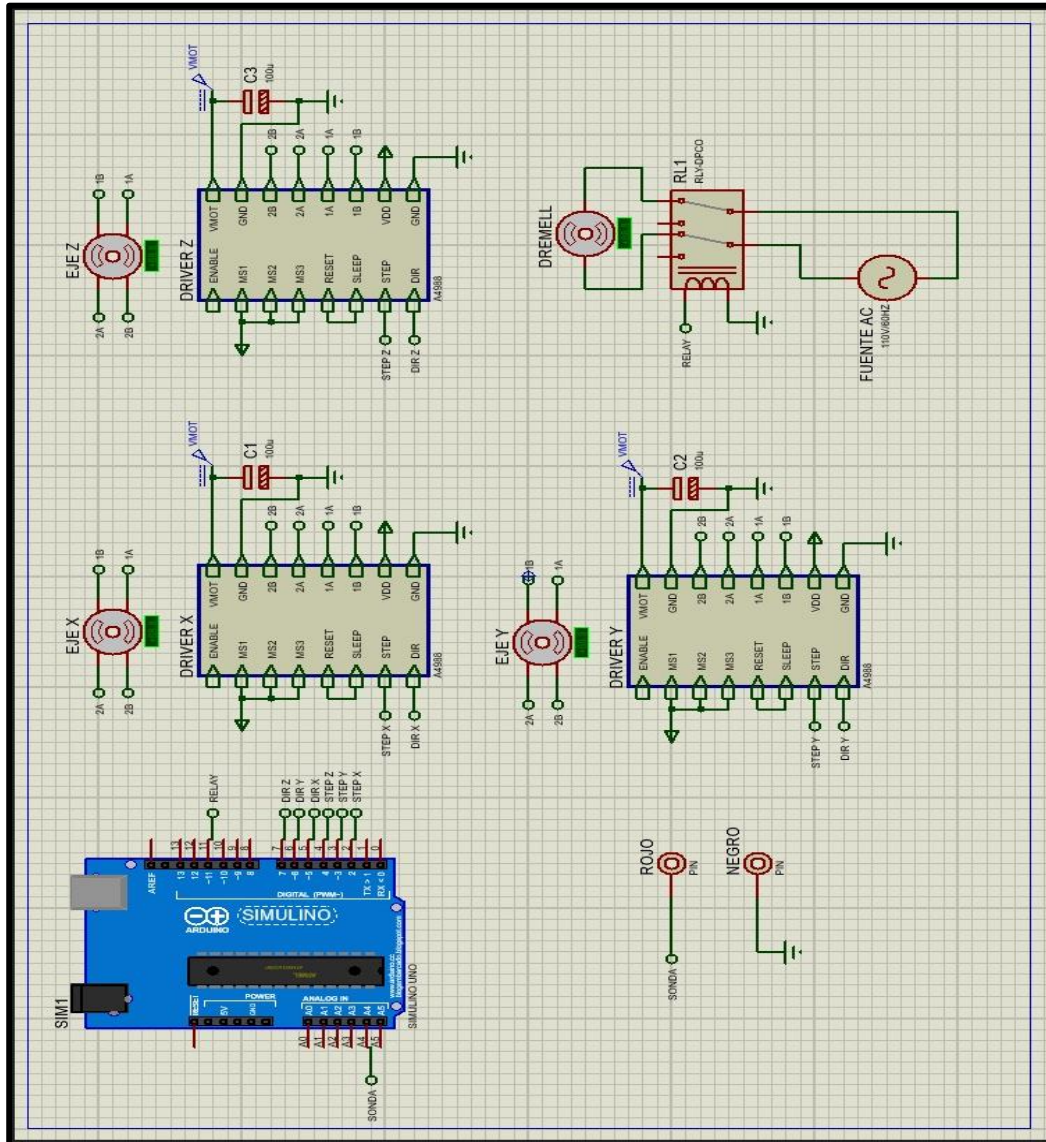


La máquina CNC, al ser un dispositivo con tres ejes de desplazamiento, necesita de una alineación previa, de tal manera que es fundamental trabajar específicamente de la mesa de trabajo, para ello es necesario colocar la máquina herramienta a una determinada altura (eje Z) y a su vez trasladar mediante software OpenCNCPilot el carro porta herramienta (eje X) y la mesa de trabajo (eje Y) a las esquinas de la mesa de trabajo, la misma debe tener un espacio de 1 mm de separación entre la mesa y la punta de la fresa de la máquina herramienta, por lo contrario si chocan dichos elementos, se debe regular la mesa de trabajo, cabe recalcar que la misma tiene una tolerancia de 2cm para su regulación.



## 6. Sistema de control

Presentamos el diagrama de conexión de la impresora de PCB con tecnología CNC, detallando todas las conexiones de todo el sistema de control.

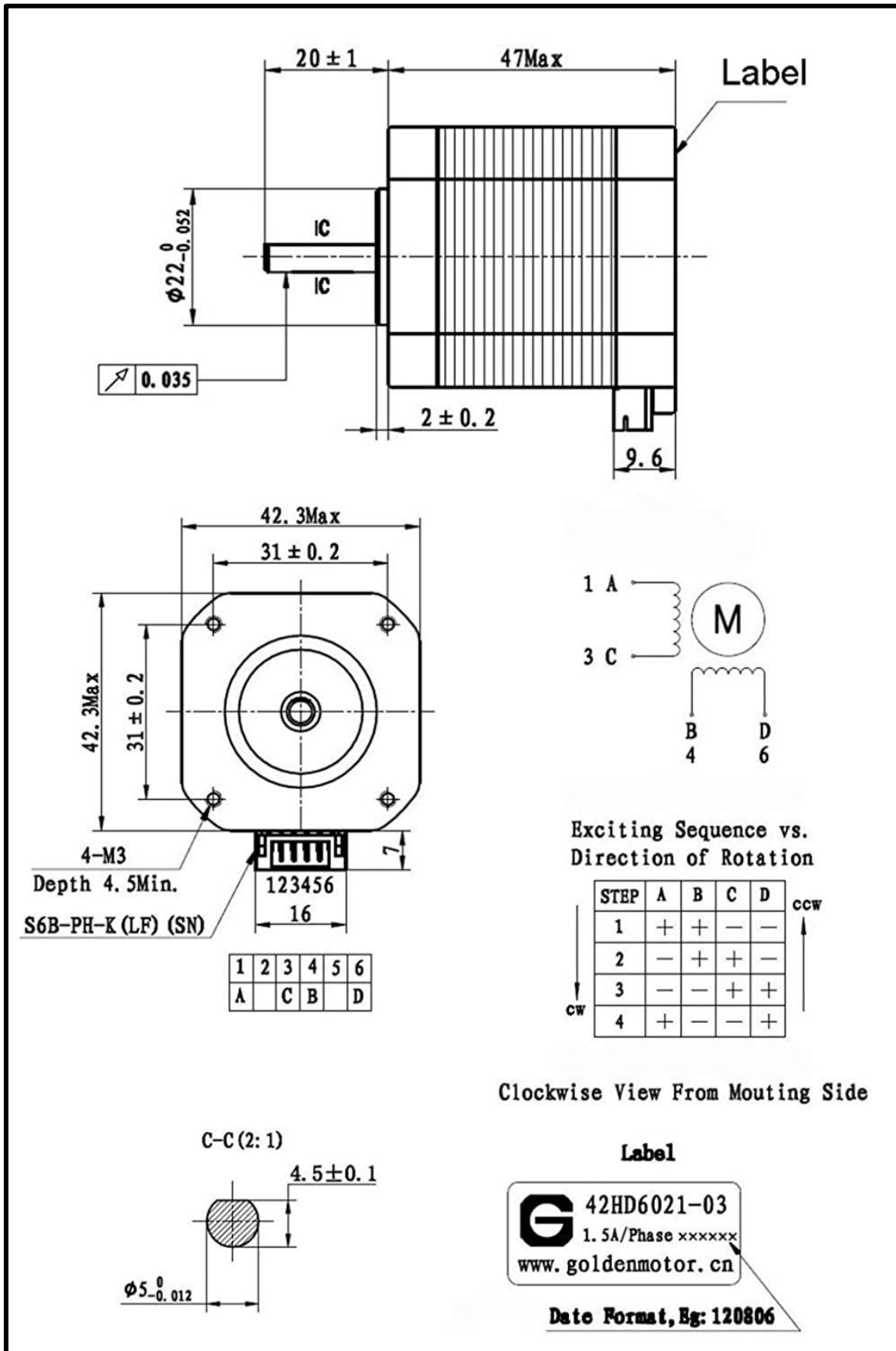


### NOTA:

En caso de daño o falla se recomienda accionar el paro de emergencia; detectar el fallo y a su vez aplicar el mantenimiento correspondiente, esto quiere decir que la máquina CNC debe estar apagada totalmente hasta el final del mantenimiento.

## 7. Fichas técnicas

### 7.1. Motores a pasos ejes X, Y.



## 7.2. Motor a pasos eje Z



### 0.9 Size 42mm High Torque Hybrid Stepping Motor

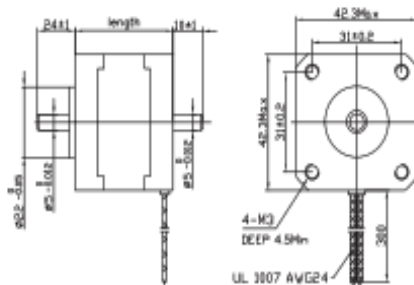
#### ● General Specification for High Torque Hybrid Stepping Motor

Item	Specifications
Step Angle	0.9°
Step Angle Accuracy	± 5% (full step, no load)
Resistance Accuracy	± 10%
Inductance Accuracy	± 20%
Temperature Rise	80°C Max.(rated current,2 phase on)
Ambient Temperature	-20°C~+50°C
Insulation Resistance	100M Ω Min. ,500VDC
Dielectric Strength	500VAC for one minute
Shaft Radial Play	0.02Max. (450 g-load)
Shaft Axial Play	0.08Max. (450 g-load)
Max. radial force	28N (20mm from the flange)
Max. axial force	10N
Rotation	CW( See from Front Flange)

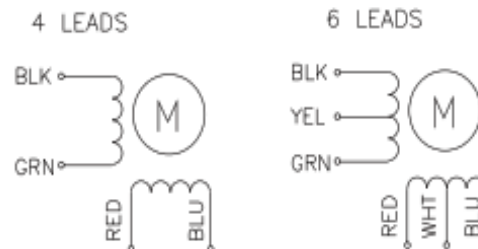
#### ● Size 42mm High Torque Hybrid Stepping Motor Specifications

Model No.		Rated Voltage	Current /Phase	Resistance /Phase	Inductance /Phase	Holding Torque	# of Leads	Rotor Inertia	Weight	Detent Torque	Operating Curve	Length
Single Shaft	Double Shaft	V	A	Ω	mH	Kg-cm		g-cm <sup>2</sup>	kg	g-cm		mm
FL42STH33-0900MA	FL42STH33-0900MB	4	0.95	4.2	4						a	33
FL42STH33-0600MA	FL42STH33-0600MB	6	0.6	10	9.5	1.50	6	35	0.22	200	b	
FL42STH33-0316MA	FL42STH33-0316MB	12	0.31	30.5	33						c	
FL42STH33-1334MA	FL42STH33-1334MB	2.8	1.33	2.1	4.2	2.2	4				d	
FL42STH35-1200MA	FL42STH35-1200MB	4	1.2	3.3	3.2						e	38
FL42STH35-0800MA	FL42STH35-0800MB	6	0.8	7.5	6.7	2.59	6	54	0.28	220	f	
FL42STH35-0404MA	FL42STH35-0404MB	12	0.4	30	30						g	
FL42STH35-1604MA	FL42STH35-1604MB	2.8	1.68	1.65	3.2	3.6	4				h	
FL42STH47-1200MA	FL42STH47-1200MB	4	1.2	3.3	4						i	47
FL42STH47-0800MA	FL42STH47-0800MB	6	0.8	7.5	6.3	3.17	6	68	0.35	250	j	
FL42STH47-0400MA	FL42STH47-0400MB	12	0.4	30	30						k	
FL42STH47-1604MA	FL42STH47-1604MB	2.8	1.68	1.65	4.1	4.4	4				l	


#### ● Dimension



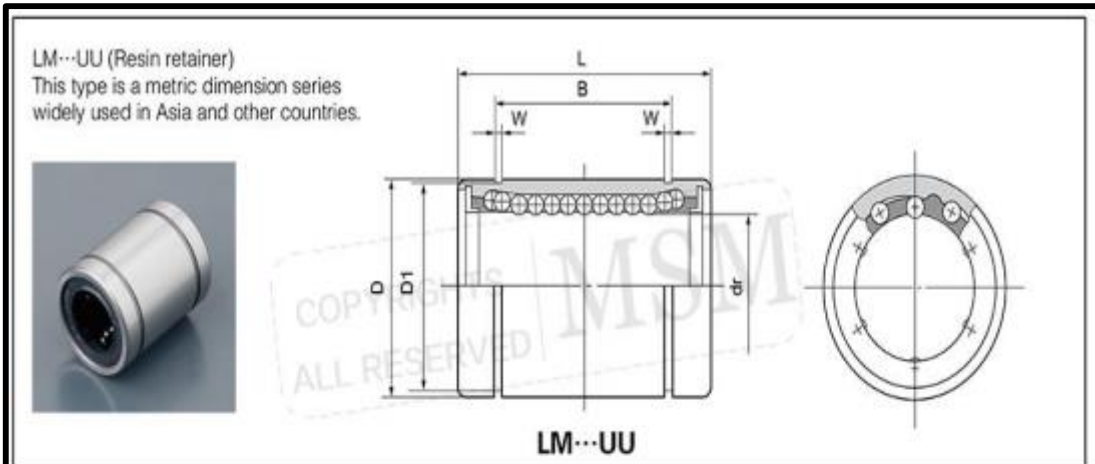
#### Wiring Diagram



### 7.3. Lubricante sintético

FICHA TÉCNICA		
Última revisión: Junio 2.017		
<b>PROPIEDADES TÉCNICAS:</b>		
TEST	MÉTODO	VALOR
GRADO NLGI	ASTM D217	2
CLASIFICACIÓN NLGI *	ASTM D4950	GC-LB*
COLOR		Blanco translúcido
RANGO DE TEMPERATURA		-45°F a 450°F (-43°C a 232°C) continuo
		-50°F a +500°F (-45°C a 260°C) intermitente
VISCOSIDAD (ACEITE BASE)		
cSt @ 100°C		8
SUS / cSt @ 40°C	ASTM D445	350 / 75
GRAVEDAD ESPECÍFICA	ASTM D1298	0.89 a 60°F
AGUA, PPM	ASTM D1744	35 ppm
ÍNDICE DE ACIDEZ	ASTM D974	0.04 máximo
PUNTO DE GOTA	ASTM D2265	>500°F (260°C)
PENETRACIÓN, trabajada (60 golpes)	ASTM D217	265-295 mm/10
TEST 4 BOLAS	ASTM D2596	
ÍNDICE DE DESGASTE DE CARGA		81.73 kg
PUNTO DE SOLDADURA		400 kg
TEST 4 BOLAS EP Diámetro de marca	ASTM D 2266	<.5
PARA BAJA TEMPERATURA -54°C	ASTM D1478	
Arranque		0.27 Nm (0.37 in-lbs)
10 Min. de funcionamiento		0.08 Nm (0.11 in-lbs)
1 Hr. de funcionamiento		0.006 Nm (0.09 in-lbs)
TEST PULVERIZACIÓN DE SAL (100 hrs)	ASTM B117	Pasa
PÉRDIDA DIELÉCTRICA	ASTM D924	1.2 X 10 <sup>12</sup>
RESISTIVIDAD DIELÉCTRICA	ASTM D1169	1.7 X 10 <sup>14</sup>
CONSTANTE DIELÉCTRICA	ASTM D924	2.5
SEPARACIÓN DE ACEITE	ASTM D6184	<2%
PÉRDIDA POR EVAPORACIÓN 22 horas @ 212°F (100°C)	ASTM D972	<1%
ESTABILIDAD DE OXIDACIÓN, 100 hrs	ASTM D942	6.9 kPa
CARGA TIMKEN OK	ASTM 2509	40 lbs
PUNTO DE INFLAMACIÓN	ASTM D92	>428°F (220°C)
PUNTO DE COMBUSTIÓN	ASTM D92	>572°F (300°C)
FUGAS RODAMIENTOS DE RUEDA	ASTM D1263	0.2 g
LAVADO CON AGUA	ASTM 1264	3.0%
CORROSIÓN AL COBRE 24 hrs @ 100°C	ASTM D4048 y D130	1B, brillante
NÚMERO ÁCIDO	ASTM D664	.5 mg KOH/g
GARANTÍA		24 meses

## 7.4. Rodamiento lineal de bolas



Shaft ø	Model No.	Ball Circuit	Weight g	Main Dimensions (mm)										Basic Load Rating		
				Inner Diameter		Outer Diameter		Length		Locking Groove				Eccentricity µm	Dynamic Co N	Static Co N
				dr	Tolerance µm	D	Tolerance µm	L	Tolerance µm	B	Tolerance µm	D1	W			
3	LM3	4	1.35	3		7	0	10	0	-	-	-	-	8	69	105
4	LM4	4	1.9	4	0	8	0	12	0	-	-	-	-	8	88	127
5	LM5UU	4	4	5	-8	10	-9	15	-120	10.2		9.6	1.1	8	167	206
6	LM6UU	4	7.6	6		12	0	19		13.5		11.5	1.1	12	206	265
8	LM8SUU	4	10.4	8		15	0	17		11.5		14.3	1.1		176	216
8	LM8UU	4	15	8		15	-11	24		17.5		14.3	1.1		274	392
10	LM10UU	4	29.5	10	0	19		29	0	22	0	18	1.3	12	372	549
12	LM12UU	4	31.5	12	-9	21	0	30	-200	23	-200	20	1.3		510	784
13	LM13UU	4	43	13		23	-13	32		23		22	1.3		510	784
16	LM16UU	5	69	16		28		37		26.5		27	1.6	774	1180	
20	LM20UU	5	87	20		32		42		30.5		30.5	1.6	882	1370	
25	LM25UU	6	220	25	0	40	0	59		41		38	1.85	15	980	1570
30	LM30UU	6	250	30	-10	45	-16	64		44.5		43	1.85		1570	2740
35	LM35UU	6	390	35		52	0	70	0	49.5	0	49	2.1		1670	3140
40	LM40UU	6	585	40	0	60	0	80	-300	60.5	-300	57	2.1	20	2160	4020
50	LM50UU	6	1580	50	-12	80	-19	100		74		76.5	2.6		3820	7940
60	LM60UU	6	1860	60	0	90	0	110		85		86.5	3.15		4700	10000
80	* LM80UU	6	4420	80	-15	120	-22	140		106		116	4.15	25	7350	16000
100	* LM100UU	6	8600	100	0	150	0	175	0	126	0	145	4.15		14100	34800
120	* LM120UU	8	15000	120	-20	180	-25	200	-400	159	-400	175	4.15		16400	40000
150	* LM150UU	8	20250	150	0	210	0	240		171		204	5.15	40	21100	54300

※ SI UNIT: 1N = 0.102 kgf;

※ LM3 and LM4 are non-seal type only;


※ UU stands for "seal on both sides", LU type is standard default;

※ If has special request of anti-rust or high temp., please contact our customer server;

※ Due to continuous research and product development, the company reserves the right to change or withdraw specifications without prior notice.

## 7.5. Rodamientos rígidos de bolas

**SKF**
Generated from www.skf.com on 2021-02-28



### 608-2Z

Popular item  
SKF Explorer

## Deep groove ball bearings

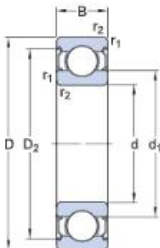
**Bearing data**

Tolerances,  
Normal (metric), P6, P5, Normal (inch),  
Radial internal clearance,  
Matched bearing pairs, Stainless steel  
d < 10 mm, Other bearings

**Bearing interfaces**

Seat tolerances for standard conditions,  
Tolerances and resultant fits

### Technical specification



#### DIMENSIONS

d	8 mm
D	22 mm
B	7 mm
d <sub>1</sub>	≈ 12.15 mm
D <sub>2</sub>	≈ 19.2 mm
r <sub>1,2</sub>	min. 0.3 mm

#### CALCULATION DATA


Basic dynamic load rating	C	3.45 kN
Basic static load rating	C <sub>0</sub>	1.37 kN
Fatigue load limit	P <sub>u</sub>	0.057 kN
Reference speed		75 000 r/min
Limiting speed		38 000 r/min
Calculation factor	k <sub>r</sub>	0.025
Calculation factor	f <sub>0</sub>	12

#### MASS

Mass bearing	0.013 kg
--------------	----------


13

## 7.6. Placa ARDUINO UNO R3



# 2877

## Arduino Uno R3



### Technical Details:

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328)
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

## 7.7. CNC Shield V3 2.0



### Más información de Módulo CNC Shield para Arduino compatible GRBL

El modulo CNC shield para Arduino hace que sea fácil de construir sus proyectos CNC (Control Numérico Computarizado). Utiliza firmware opensource de Arduino para controlar 4 motores paso a paso por medio de 4 controladores de motor A4988, con este Shield y el Arduino se puede construir todo tipo de robótica o proyectos CNC incluyendo routers CNC, cortadoras láser e incluso máquinas pick & place.

#### Características:

- Compatible con GRBL 0.8c. (Firmware de código abierto que se ejecuta en un Arduino UNO que convierte los comandos de código G en señales paso a paso <https://github.com/grbl/grbl> )
- Soporte de 4 ejes (X, Y, Z, A-Can duplicar X, Y, Z o hacer un 4to eje completo con firmware personalizado usando los pines D12 y D13)
- 2 x topes finales para cada eje (6 en total)
- Habilitación y dirección del husillo
- Habilitación de refrigerante
- Utiliza controladores paso a paso compatibles con Pololu A4988 extraíbles. (A4988, DRV8825 y otros)
- Jumpers para configurar el Micro-Stepping para los controladores paso a paso. (Algunos controladores como el DRV8825 pueden hacer hasta 1/32 micropasos)
- Diseño compacto.
- Los motores paso a paso se pueden conectar con conectores molex de 4 pines.
- Funciona con 12-36 V CC. (Por el momento, solo los controladores Pololu DRV8825 pueden manejar hasta 36 V, así que tenga en cuenta el voltaje de funcionamiento al encender la placa).

## 7.8. Driver A4988



**A4988**

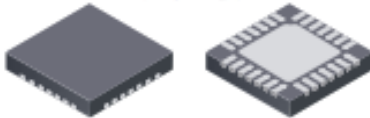
### *DMOS Microstepping Driver with Translator And Overcurrent Protection*

#### Features and Benefits

- Low  $R_{DS(on)}$  outputs
- Automatic current decay mode detection/selection
- Mixed and Slow current decay modes
- Synchronous rectification for low power dissipation
- Internal UVLO
- Crossover-current protection
- 3.3 and 5 V compatible logic supply
- Thermal shutdown circuitry
- Short-to-ground protection
- Shorted load protection
- Five selectable step modes: full,  $1/2$ ,  $1/4$ ,  $1/8$ , and  $1/16$

#### Package:

28-contact QFN  
with exposed thermal pad  
5 mm × 5 mm × 0.90 mm  
(ET package)



#### Description

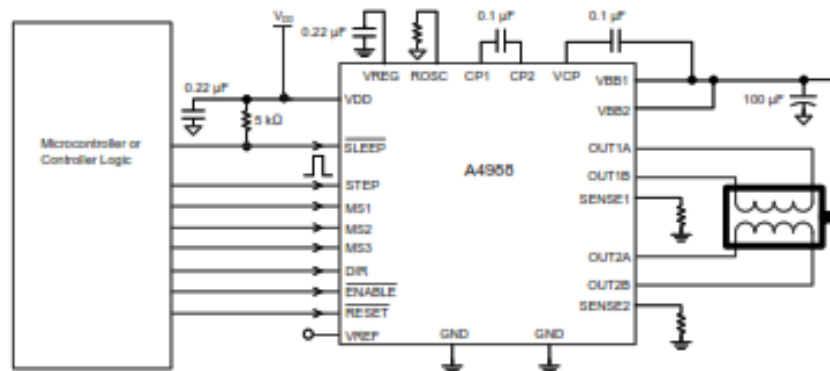
The A4988 is a complete microstepping motor driver with built-in translator for easy operation. It is designed to operate bipolar stepper motors in full-, half-, quarter-, eighth-, and sixteenth-step modes, with an output drive capacity of up to 35 V and  $\pm 2$  A. The A4988 includes a fixed off-time current regulator which has the ability to operate in Slow or Mixed decay modes.

The translator is the key to the easy implementation of the A4988. Simply inputting one pulse on the STEP input drives the motor one microstep. There are no phase sequence tables, high frequency control lines, or complex interfaces to program. The A4988 interface is an ideal fit for applications where a complex microprocessor is unavailable or is overburdened.

During stepping operation, the chopping control in the A4988 automatically selects the current decay mode, Slow or Mixed. In Mixed decay mode, the device is set initially to a fast decay for a proportion of the fixed off-time, then to a slow decay for the remainder of the off-time. Mixed decay current control results in reduced audible motor noise, increased step accuracy, and reduced power dissipation.

*Continued on the next page...*

#### Typical Application Diagram



## 7.9. Eje roscado y tornillo de potencia

Varilla THSL, ACME, T8 de 8 mm de diámetro con tuerca. Ideal para impresoras 3d y maquinas CNC pequeñas



### INFO

Los tornillos de potencia o también llamados husillos de tipo trapecoidal métrico son utilizados en sistemas de transmisión de movimiento rotacional a lineal. Cuando el tornillo gira impulsado por un motor, la tuerca se desplaza linealmente sobre el tornillo.



Fabricado en acero inoxidable y con un acabado superficial especial para una menor fricción al movimiento hacen de este tornillo un componente adecuado para sistemas CNC, Impresoras 3D y aplicaciones de movimiento lineal.

El tornillo es de 4 entradas o hélices, por lo que al dar una vuelta completa el avance es 4 veces el paso. El paso del tornillo es de 2mm por lo que el avance es de 8mm.

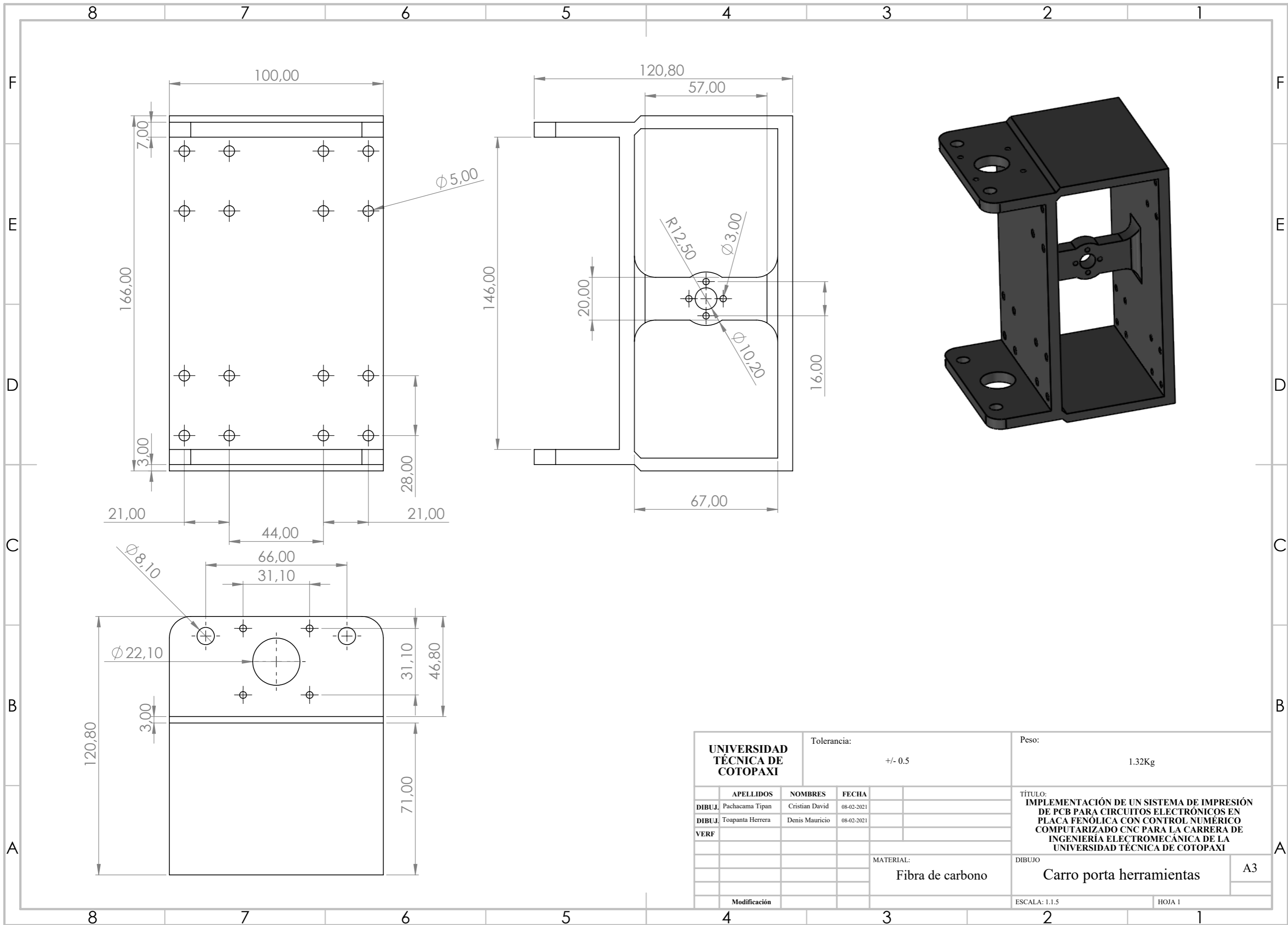
### ESPECIFICACIONES

- Tornillo: THSL-500-8D
- Material: Acero Inoxidable
- Rosca: Metrica
- Longitud: 500mm
- Diámetro: 8mm
- Entradas (hélices): 4
- Paso: 2mm
- Avance: 8mm (1 vuelta=4 paso)
- Tuerca de Bronce

## 7.10. Eje liso de alta frecuencia

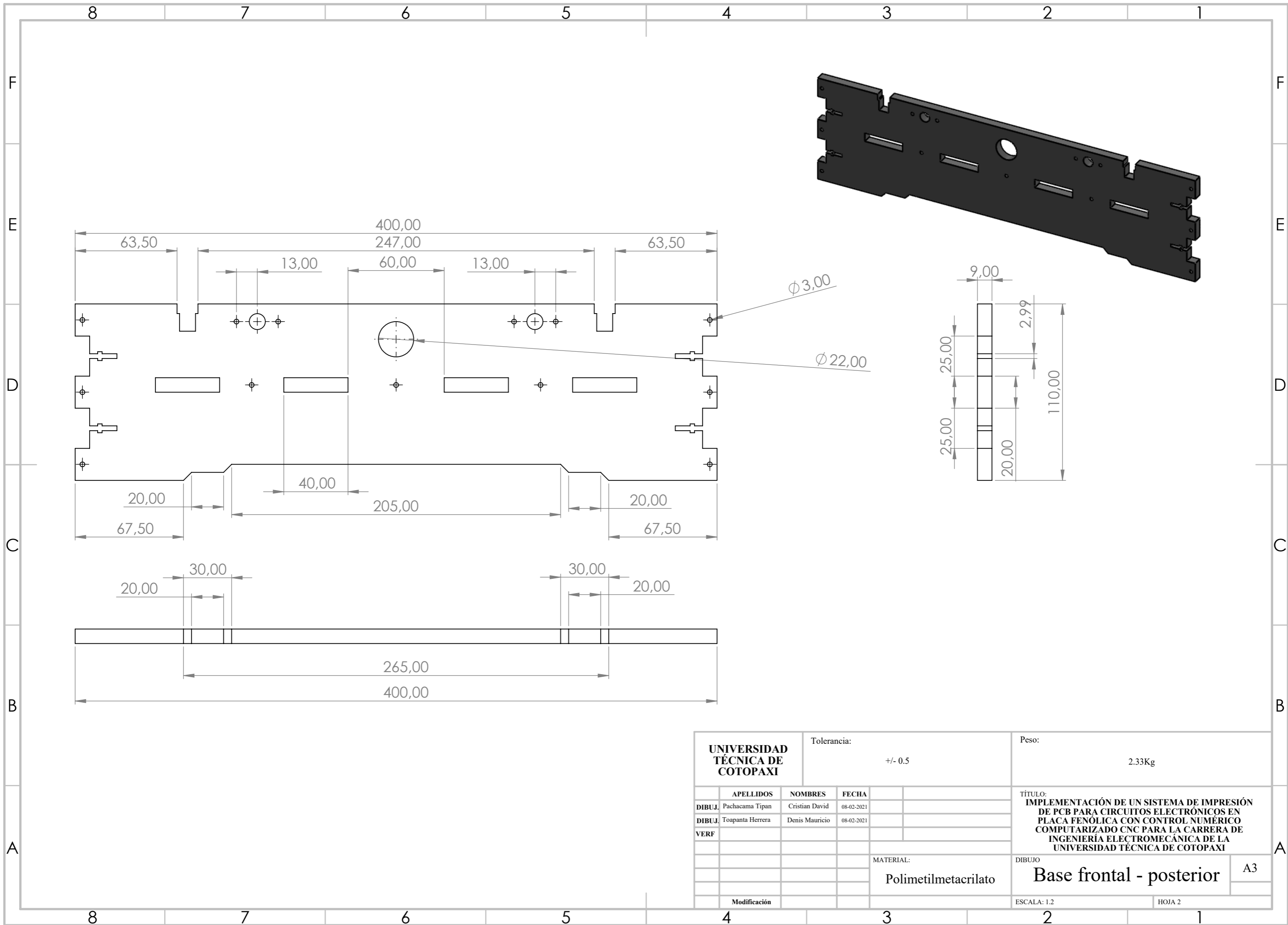

LouiseEvel215 500mm CNC 3D Cromo Impresora Eje Barra de Acero Liso Endurecido Lineal Rail Axis Chrome Linear Motion Bar 8/10 / 12mm
<b>Características:</b>

Alta precisión y alta dureza. 4 de diámetro para la opción, satisfaga sus necesidades. Adecuado para impresora 3D Reprap X Y Z eje, CNC, etc. C45 # temple de alta frecuencia, cromado de superficie. El material es acero al carbono, muy adecuado para varillas de movimiento lineal.
<b>Descripciones:</b>
Hecho de material de alta calidad, es duradero en uso, larga vida útil.
<b>Especificaciones:</b>
Nombre del producto: eje de carril lineal Material: acero con alto contenido de carbono (C45 #) + acero para cojinetes (GCr15) + acero inoxidable (SUS304) Color plata Diámetro: 8/10/12 mm (0.31in / 0.39in / 0.47in) (Opcional) Longitud: Aprox. 500 mm / 19,69 pulgadas Carga estática nominal: 50 Carga dinámica nominal: 30 Modo fijo del control deslizante: bloqueo Momento estático: 50 (kn • m) Tamaño de perno fijo: M4 (mm) Información del paquete: Tamaño del paquete: 100x70x50mm / 3.94x2.76x1.97in Peso del paquete: 430g / 15,17 oz Paquete general El paquete incluye: 1 x eje de riel lineal
<b>Notas:</b>
Debido a la diferencia de luz y pantalla, el color del artículo puede ser ligeramente diferente al de las imágenes. Puede haber diferencias de 0,5 a 2 cm debido a la medición manual.

PLANOS



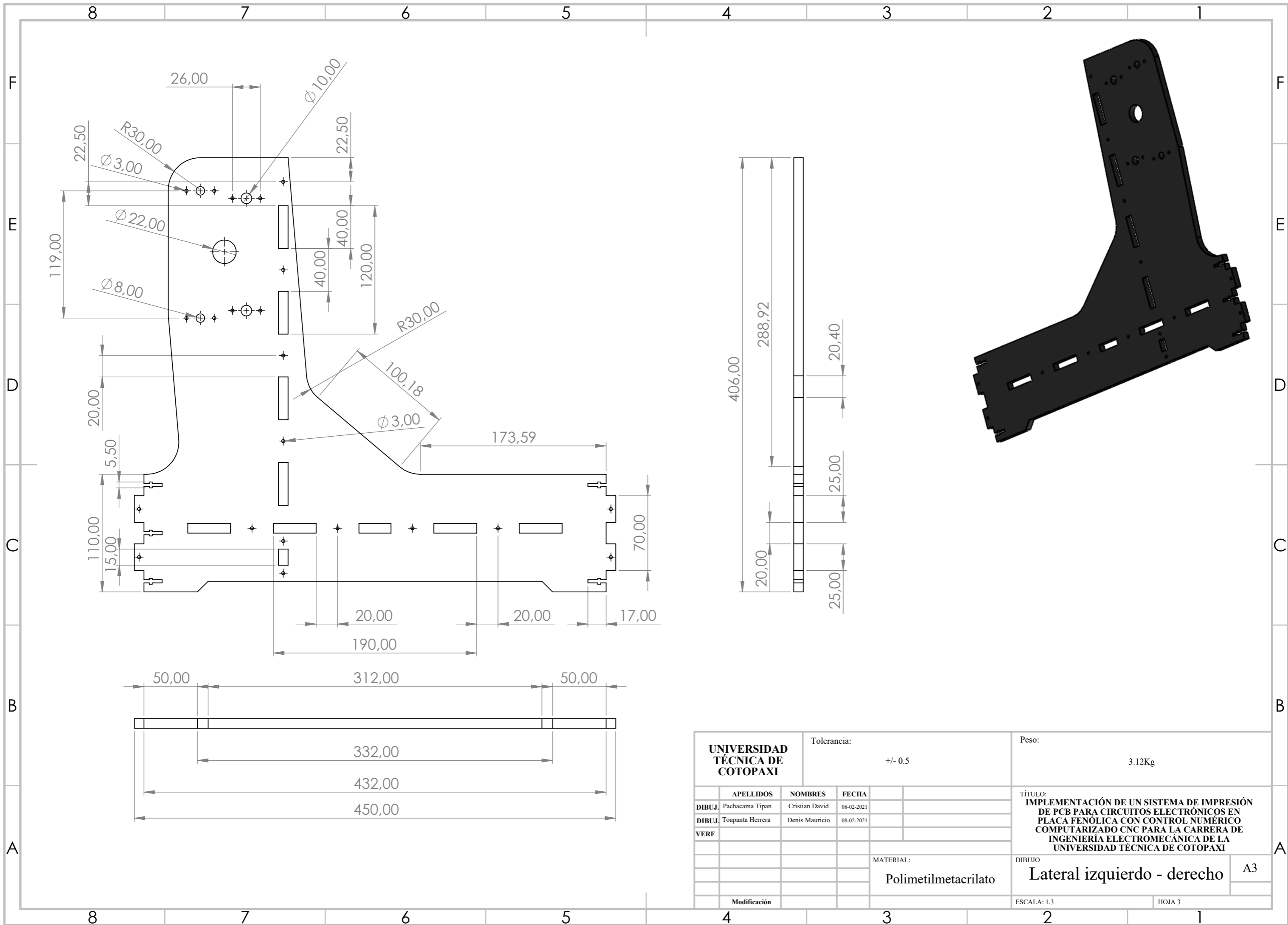
<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b>			Tolerancia: +/- 0.5	Peso: 1.32Kg
DIBUJ.	Pachacama Tipan	Cristian David	08-02-2021	<b>TÍTULO:</b> <b>IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE IMPRESIÓN DE PCB PARA CIRCUITOS ELECTRÓNICOS EN PLACA FENÓLICA CON CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO CNC PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b>
DIBUJ.	Toapanta Herrera	Denis Mauricio	08-02-2021	
VERF				
			MATERIAL: Fibra de carbono	DIBUJO Carro porta herramientas
Modificación			ESCALA: 1:1.5	HOJA 1

A3



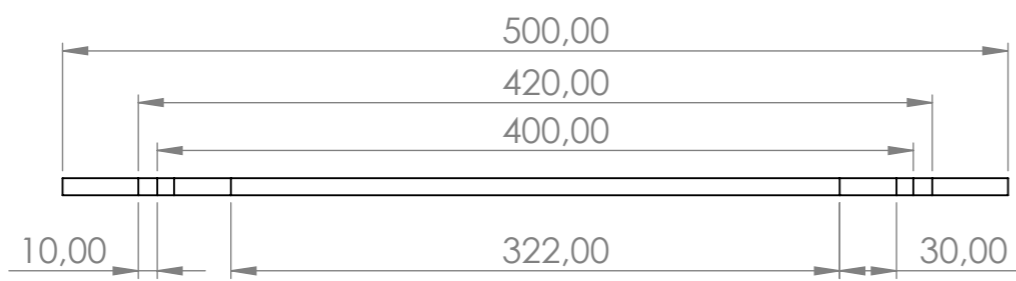
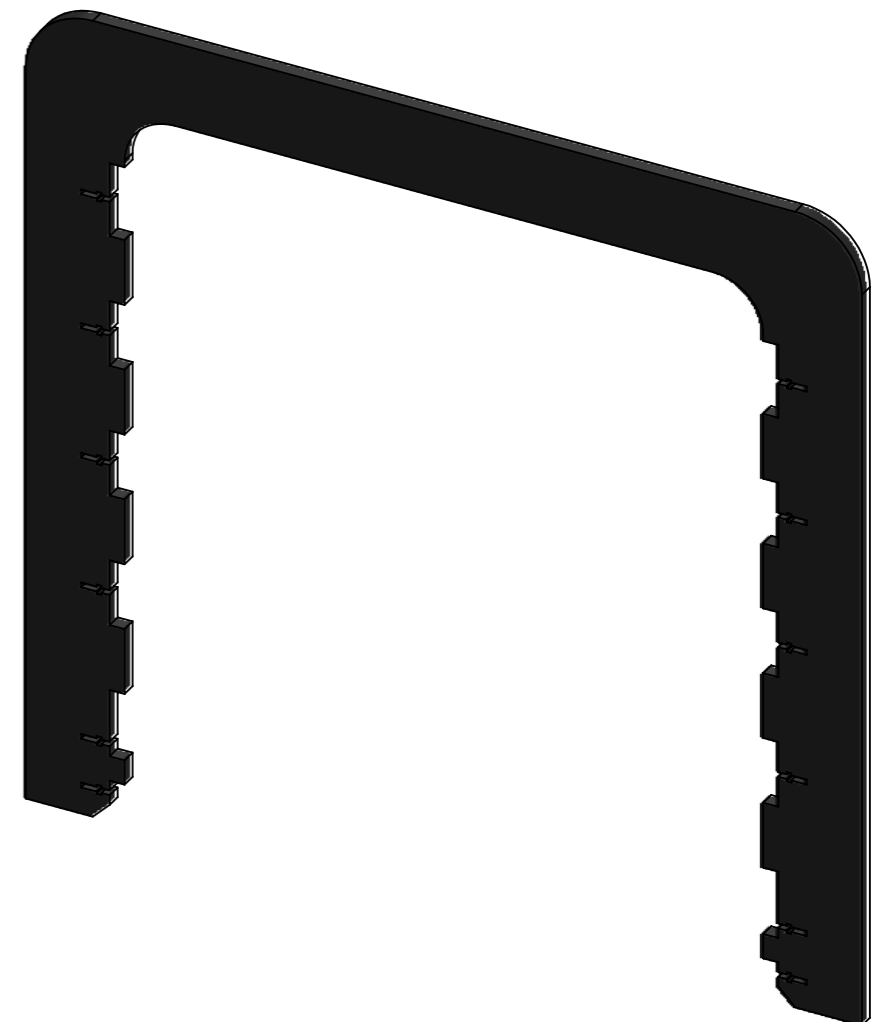
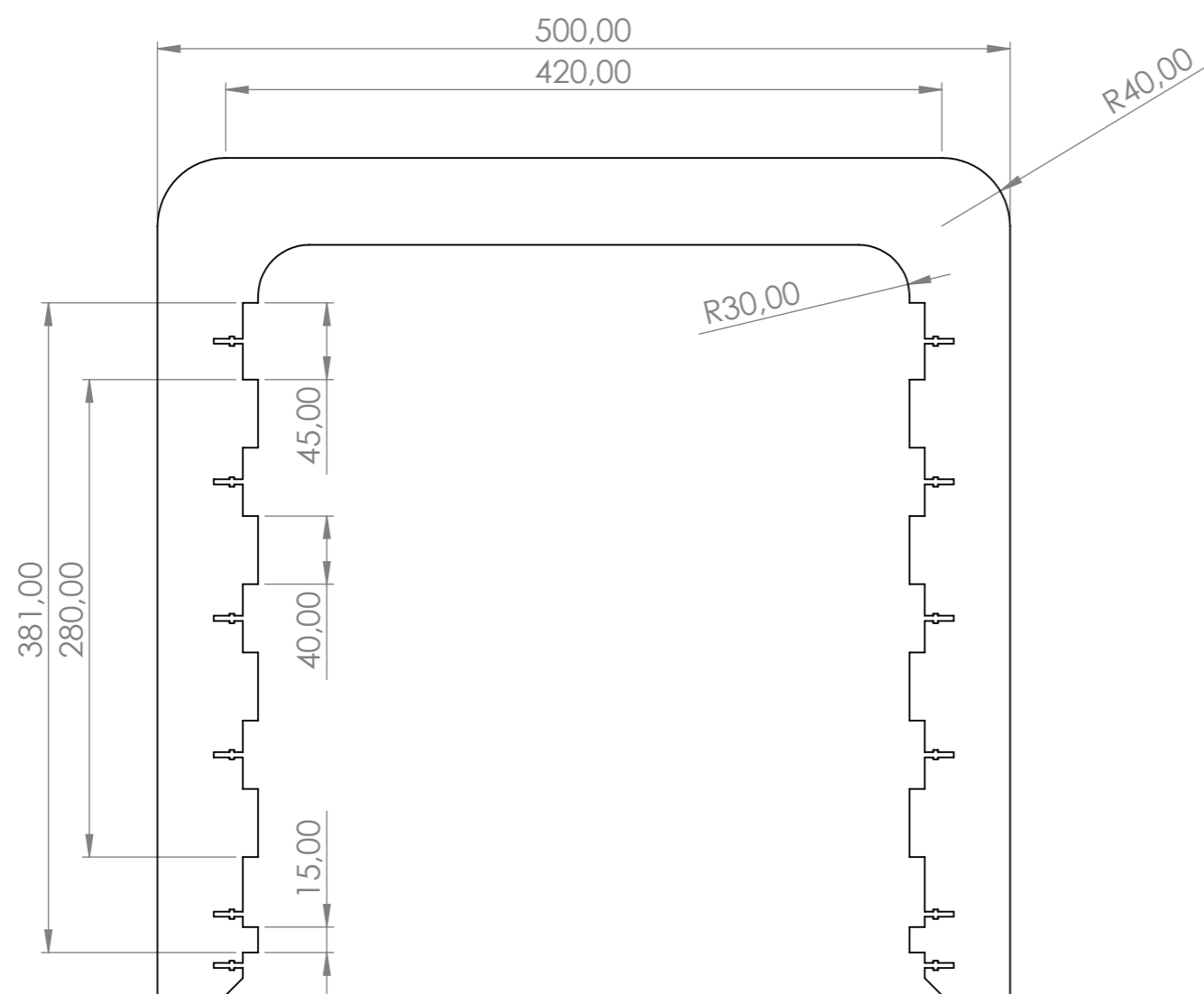
<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b>			Tolerancia: +/- 0.5	Peso: 2.33Kg
	<b>APELLIDOS</b>	<b>NOMBRES</b>	<b>FECHA</b>	<b>TÍTULO:</b> <b>IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE IMPRESIÓN DE PCB PARA CIRCUITOS ELECTRÓNICOS EN PLACA FENÓLICA CON CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO CNC PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b>
<b>DIBUJ.</b>	Pachacama Tipan	Cristian David	08-02-2021	
<b>DIBUJ.</b>	Toapanta Herrera	Denis Mauricio	08-02-2021	
<b>VERF</b>				
			<b>MATERIAL:</b> Polimetilmetacrilato	<b>DIBUJO</b> <b>Base frontal - posterior</b>
<b>Modificación</b>				<b>ESCALA:</b> 1:2 <b>HOJA:</b> 2

A3



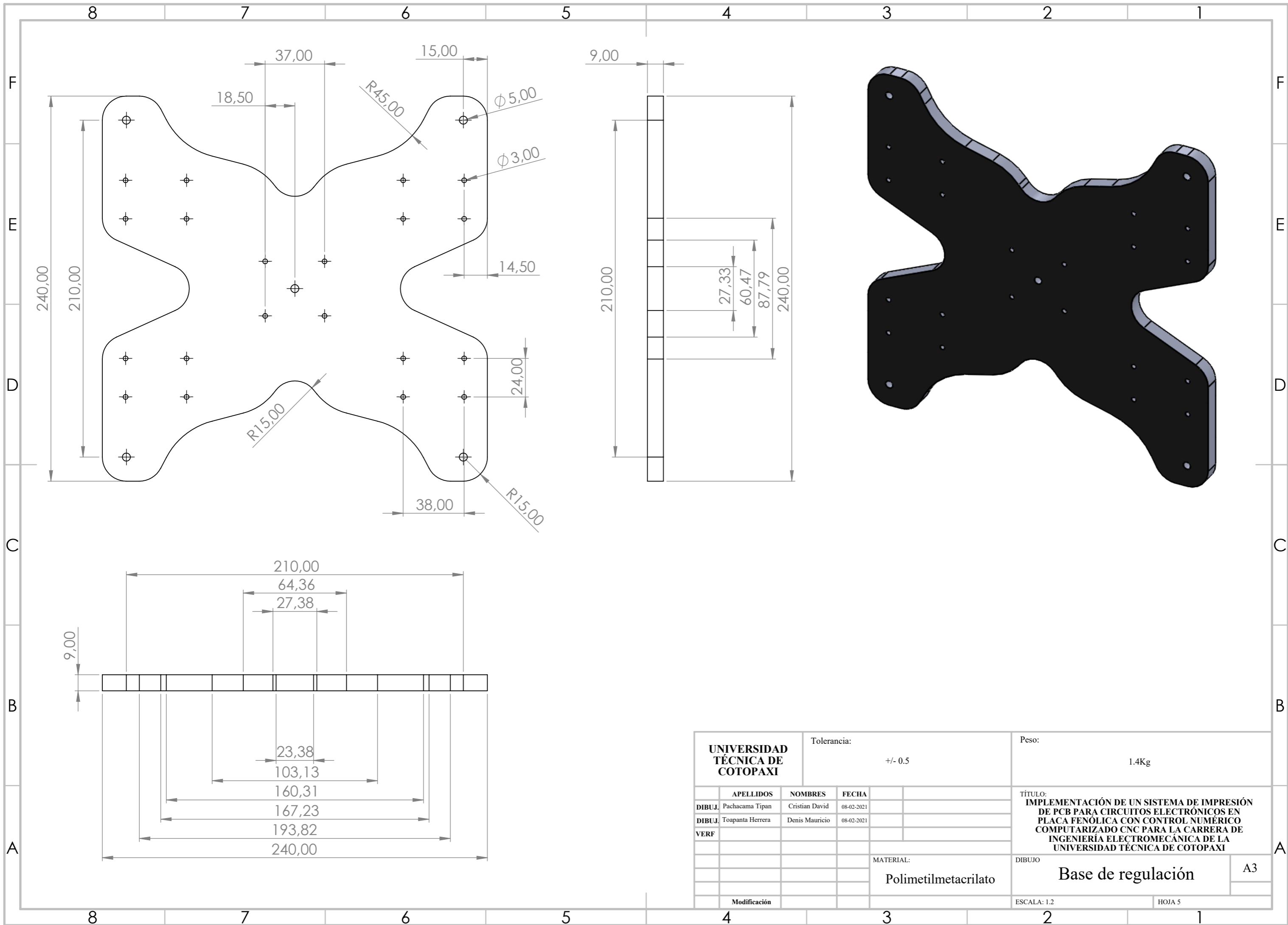
<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b>			Tolerancia: +/- 0.5	Peso: 3.12Kg
DIBUJ.	Pachacama Tipan	Cristian David	08-02-2021	TÍTULO: <b>IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE IMPRESIÓN DE PCB PARA CIRCUITOS ELECTRÓNICOS EN PLACA FENÓLICA CON CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO CNC PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b>
DIBUJ.	Toapanta Herrera	Denis Mauricio	08-02-2021	
VERF				
			MATERIAL: Polimetilmetacrilato	DIBUJO Lateral izquierdo - derecho
Modificación				ESCALA: 1:3
				HOJA 3

A3

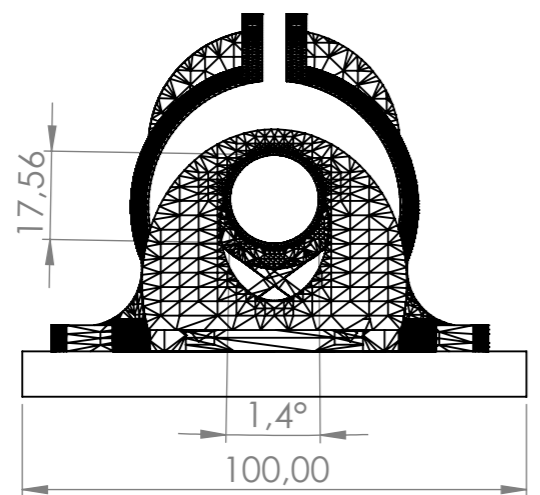
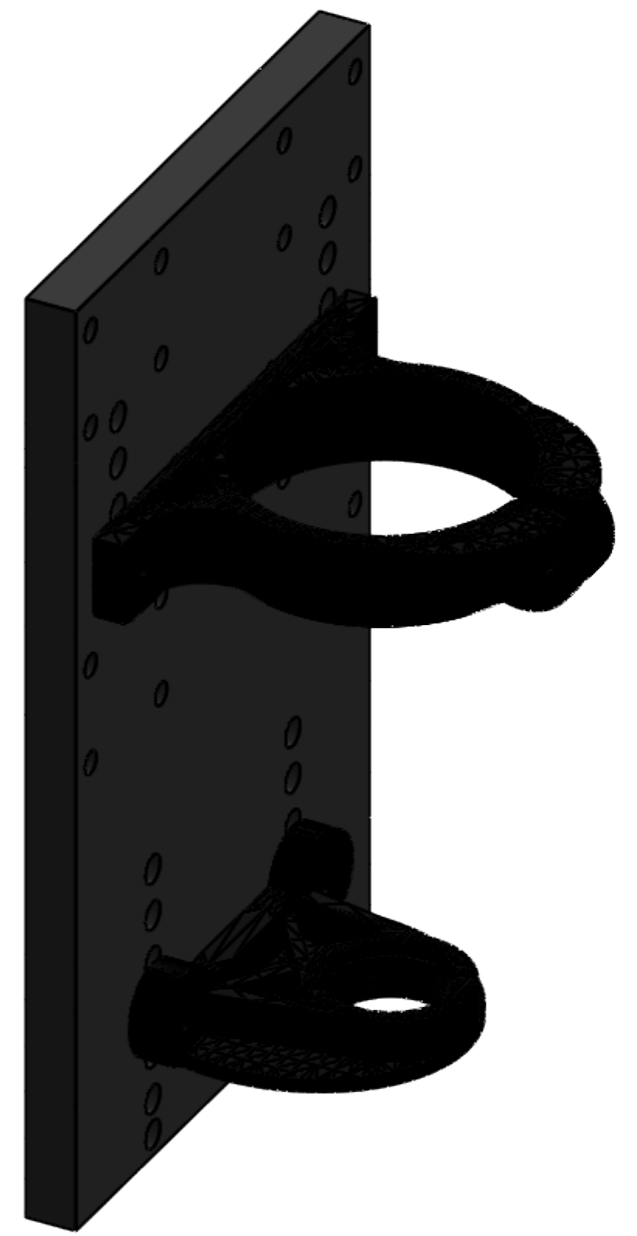
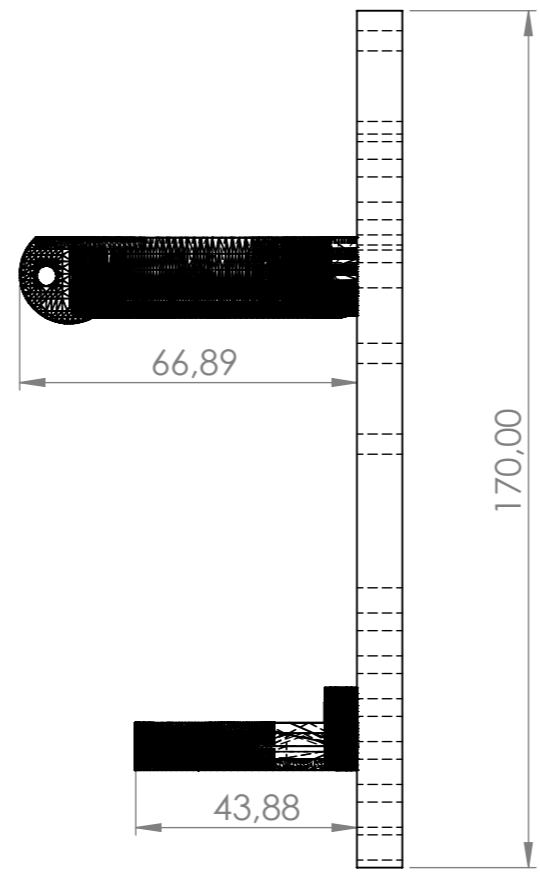
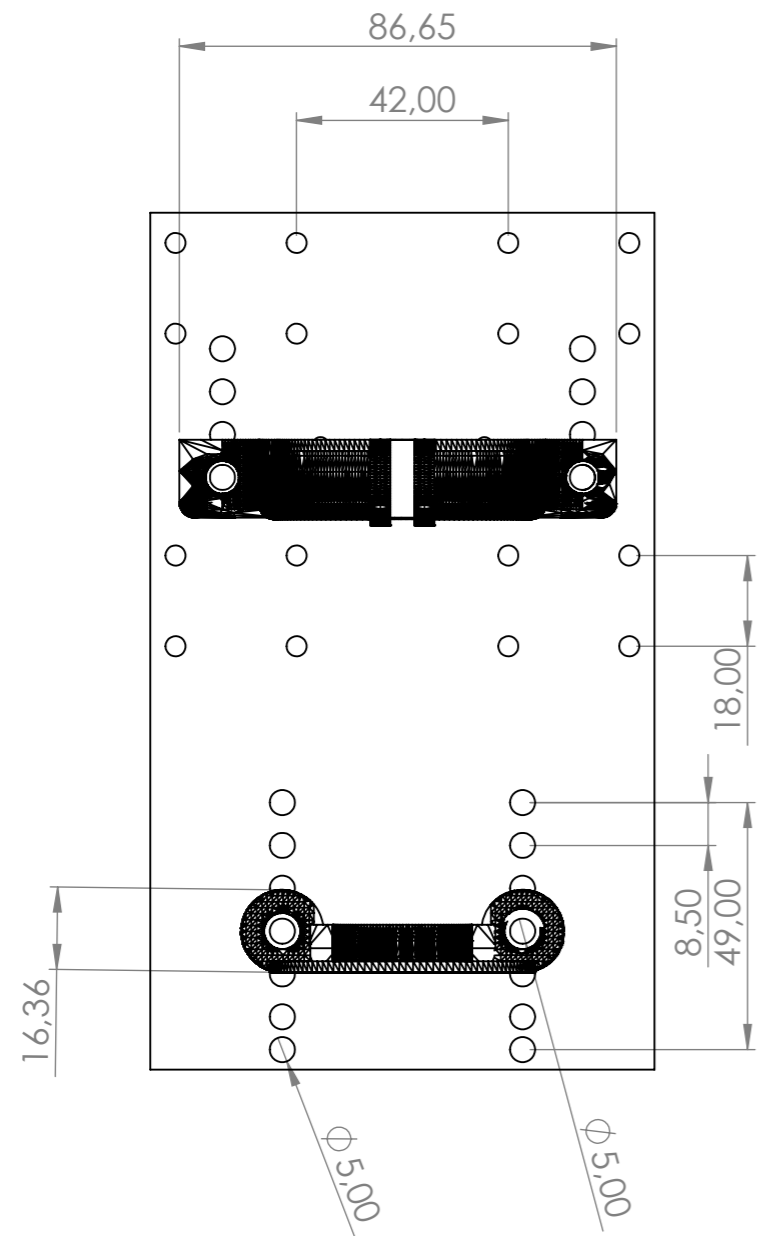


<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b>				Tolerancia: +/- 0.5		Peso: 1.8Kg	
	<b>APELLIDOS</b>	<b>NOMBRES</b>	<b>FECHA</b>			<b>TÍTULO:</b> <b>IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE IMPRESIÓN DE PCB PARA CIRCUITOS ELECTRÓNICOS EN PLACA FENÓLICA CON CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO CNC PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b>	
<b>DIBUJ.</b>	Pachacama Tipan	Cristian David	08-02-2021				
<b>DIBUJ.</b>	Toapanta Herrera	Denis Mauricio	08-02-2021				
<b>VERF</b>							
				<b>MATERIAL:</b>		<b>DIBUJO</b>	
				Polimetilmetacrilato		Puente de sujeción	
	<b>Modificación</b>					ESCALA: 1:4	HOJA 4

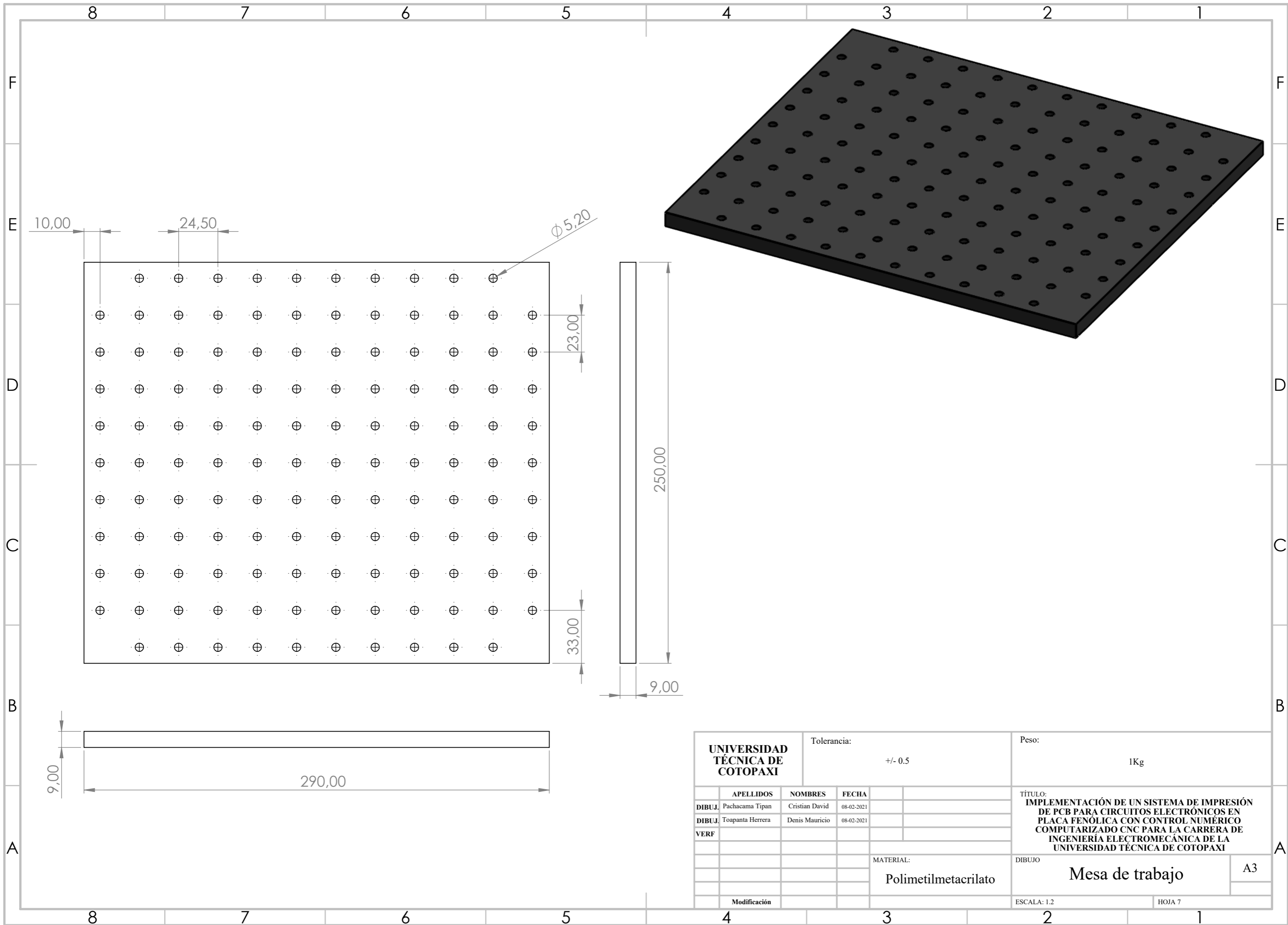
A3



<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b>				Tolerancia: +/- 0.5		Peso: 1.4Kg	
<b>DIBUJ.</b>	Pachacama Tipan	Cristian David	08-02-2021	<b>TÍTULO:</b> <b>IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE IMPRESIÓN DE PCB PARA CIRCUITOS ELECTRÓNICOS EN PLACA FENÓLICA CON CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO CNC PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b>			
<b>DIBUJ.</b>	Toapanta Herrera	Denis Mauricio	08-02-2021				
<b>VERF</b>							
				MATERIAL: Polimetilmetacrilato		DIBUJO Base de regulación	
<b>Modificación</b>						ESCALA: 1:2	
						HOJA 5	



<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b>				Tolerancia: +/- 0.5		Peso: 0.75Kg	
DIBUJ.	Pachacama Tipan	Cristian David	08-02-2021			<b>TÍTULO:</b> <b>IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE IMPRESIÓN DE PCB PARA CIRCUITOS ELECTRÓNICOS EN PLACA FENÓLICA CON CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO CNC PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b>	
DIBUJ.	Toapanta Herrera	Denis Mauricio	08-02-2021				
VERF							
				MATERIAL: Polimetilmetacrilato		DIBUJO Base y sujeción máquina herr. A3	
Modificación						ESCALA: 1:1.5 HOJA 6	



10,00      24,50

$\varnothing 5,20$

23,00

33,00

250,00

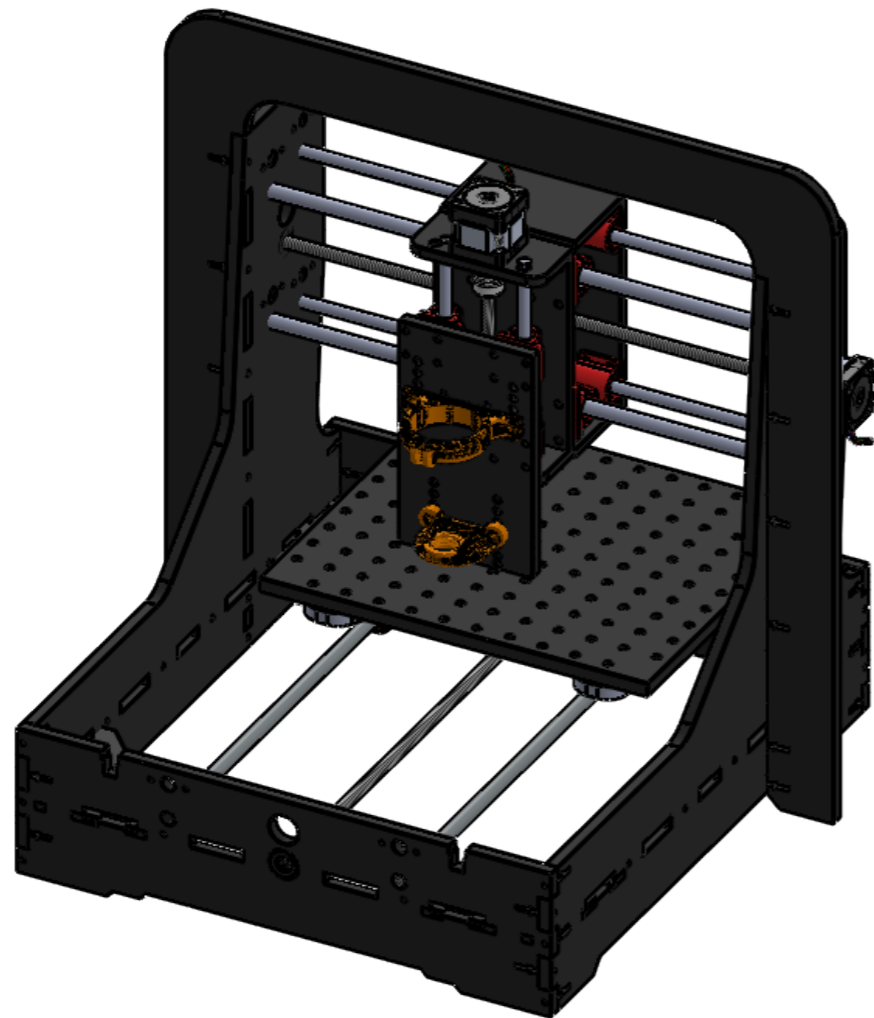
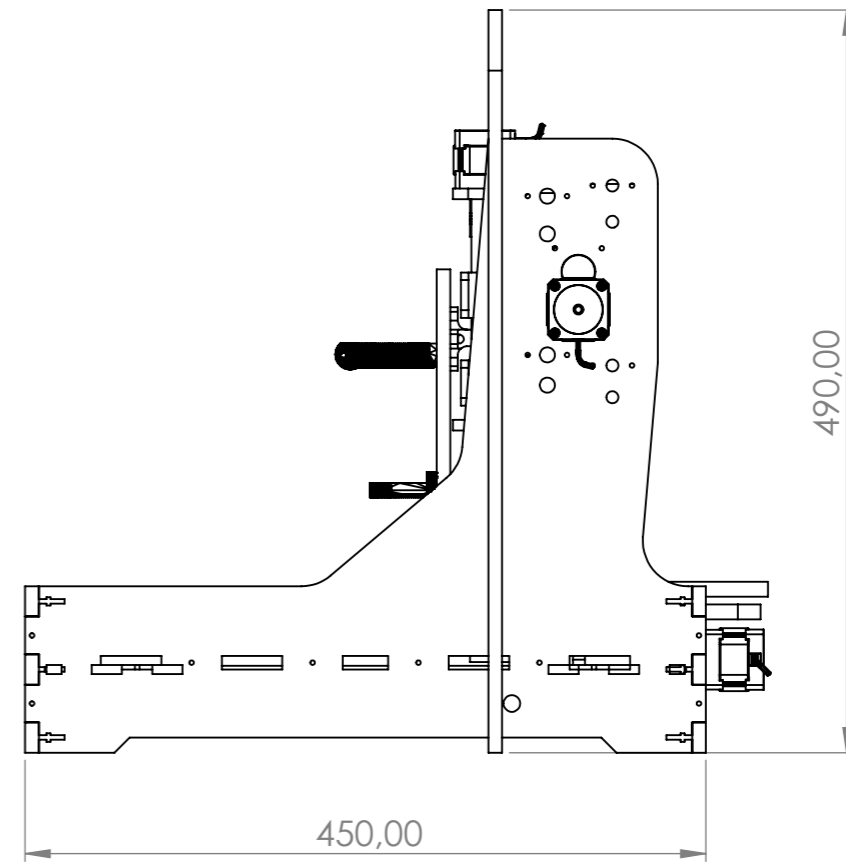
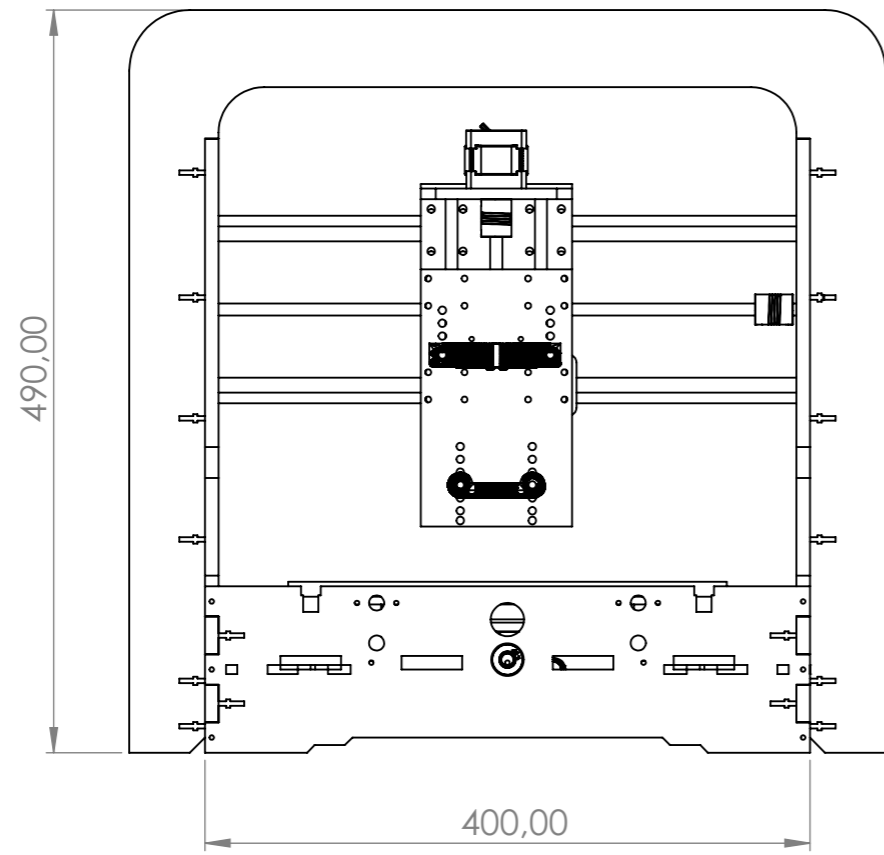
9,00

9,00

290,00

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b>				Tolerancia: +/- 0.5		Peso: 1Kg	
DIBUJ.	Pachacama Tipan	Cristian David	08-02-2021			<b>TÍTULO:</b> <b>IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE IMPRESIÓN DE PCB PARA CIRCUITOS ELECTRÓNICOS EN PLACA FENÓLICA CON CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO CNC PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b>	
DIBUJ.	Toapanta Herrera	Denis Mauricio	08-02-2021				
VERF							
				MATERIAL: Polimetilmetacrilato		DIBUJO: Mesa de trabajo	
Modificación						ESCALA: 1:2      HOJA 7	

A3



<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b>			Tolerancia: +/- 0.5	Peso: 16.2Kg
	<b>APELLIDOS</b>	<b>NOMBRES</b>	<b>FECHA</b>	<b>TÍTULO:</b> <b>IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE IMPRESIÓN DE PCB PARA CIRCUITOS ELECTRÓNICOS EN PLACA FENÓLICA CON CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO CNC PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b>
<b>DIBUJ.</b>	Pachacama Tipan	Cristian David	08-02-2021	
<b>DIBUJ.</b>	Toapanta Herrera	Denis Mauricio	08-02-2021	
<b>VERF</b>				
				<b>MATERIAL:</b> Polimetilmetacrilato
				<b>DIBUJO</b> Ensamblaje
				<b>ESCALA:</b> 1:5
				<b>HOJA</b> 8
	<b>Modificación</b>			

8 7 6 5 4 3 2 1

F  
E  
D  
C  
B  
A

8 7 6 5 4 3 2 1