



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**EXTENSIÓN LA MANÁ**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS-CIYA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UNA FRESADORA AUTOMATIZADA  
MEDIANTE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO PARA LA  
ELABORACIÓN DE PCB PARA LA CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA  
DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del título de Ingeniero  
Electromecánico

**AUTORES:**

Nelson David Tapia Gaibor

Jordan Ariel Velez Peñarrieta

**TUTOR:**

Ing. M.Sc. Alex Darwin Paredes Anchatipán

**LA MANÁ-ECUADOR**  
**AGOSTO-2022**

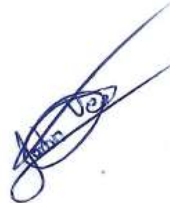
## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Tapia Gaibor Nelson David con cédula de ciudadanía 0503925075 y Velez Peñarrieta Jordan Ariel con cédula de ciudadanía 0504258021, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “IMPLEMENTACIÓN DE UNA FRESADORA AUTOMATIZADA MEDIANTE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO PARA LA ELABORACIÓN DE PCB PARA LA CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”, siendo el Ing. M.Sc. Alex Darwin Paredes Anchatipan, tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná 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.



Tapia Gaibor Nelson David  
C.I: 0503925075



Velez Peñarrieta Jordan Ariel  
C.I: 0504258021

## **AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Tutora del trabajo de investigación sobre el título:

“IMPLEMENTACIÓN DE UNA FRESADORA AUTOMATIZADA MEDIANTE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO PARA LA ELABORACIÓN DE PCB PARA LA CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI” de Tapia Gaibor Nelson David y Velez Peñarrieta Jordan Ariel, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas – CIYA, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aporte científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del tribunal de validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas – CIYA de la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná designe, para su correspondiente estudio y calificación.

La Maná, agosto 2022



Ing. M.Sc. Paredes Anchatipán Alex Darwin  
C.I: 0503614935  
**TUTOR**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de lectores, aprueban el presente informe de investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas – CIYA por cuanto los postulantes: Tapia Gaibor Nelson David con cédula de ciudadanía 0503925075 y Velez Peñarrieta Jordan Ariel con cédula de ciudadanía 0504258021 con el título de proyecto de investigación: “IMPLEMENTACIÓN DE UNA FRESADORA AUTOMATIZADA MEDIANTE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO PARA LA ELABORACIÓN DE PCB PARA LA CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del proyecto.

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

La Maná, agosto del 2022

Para constancia firman:



M.Sc. Paco Jovanny Vásquez Carrera  
C.I: 0501758767  
**LECTOR 1 (PRESIDENTE)**



M.Sc. Francisco Saul Alcocer Salazar  
C.I: 0503066797  
**LECTOR 2 (MIEMBRO)**



M.Sc. Johnatan Israel Corrales Bonilla  
C.I: 0503145518  
**LECTOR 3 (SECRETARIO)**

## **AGRADECIMIENTOS**

*Siempre agradecidos con Dios Todopoderoso por darnos el aliento de vida y la energía para cumplir con tan anhelada meta.*

*A nuestros padres por brindarnos el contingente necesario a lo largo del proceso de formación universitaria y a todas las personas que nos han patrocinado el apoyo económico y emocional.*

*A la Universidad Técnica de Cotopaxi, de manera especial a los Docentes de la Carrera de Electromecánica por transmitir sus conocimientos y de esta manera formarnos como profesionales al servicio de la colectividad.*

***Nelson & Jordan***

## ***DEDICATORIA***

*Dedico el presente proyecto de investigación a mis padres: Nelson Tapia y Elsa Gaibor, quienes, a pesar de mis errores siempre me han brindado su inmenso apoyo económico y moral, y me han guiado por un buen camino.*

*A mis hermanos: Alexandra, Miguel, Genesis; a mi sobrina Valentina, por estar siempre presentes en mis buenos y malos momentos.*

*De manera muy especial a Geovanna por estar presente en mi vida.*

***Nelson***

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo de investigación va dedicado a mis padres que siempre han estado presente brindándome la ayuda necesaria, forjándome como la persona que soy, muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este.*

*A Dios nuestro creador que día a día me ha brindado la energía necesaria para continuar con mi trabajo y mis estudios, de esta manera poder culminar esta meta.*

**Jordan**

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## EXTENSIÓN LA MANÁ

### FACULTAD DE CIENCIA DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

**TÍTULO:** “IMPLEMENTACIÓN DE UNA FRESADORA AUTOMATIZADA MEDIANTE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO PARA LA ELABORACIÓN DE PCB PARA LA CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”

**Autores:**

Tapia Gaibor Nelson David

Velez Peñarrieta Jordan Ariel

### RESUMEN

En la Carrera de Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, los estudiantes requieren para sus prácticas de laboratorio placas de circuito impreso (PCB), en la actualidad los elaboran mediante el uso de químicos y ácidos, los cuales tiene riesgos de salud, de contaminación ambiental, además de ser poco productivos y alejados de la tecnología.

En este proyecto atendiendo la problemática de los estudiantes, buscando su bienestar, y apego a la tecnología, se realiza la investigación de la implementación de una máquina fresadora automatizada con control numérico, para la elaboración de PCB, en la institución.

Con el objetivo de brindar facilidades a los estudiantes, minimizando los riesgos y haciendo uso de tecnologías modernas, aplicando el método de maquinado con desprendimiento de viruta, con un control de automatizado de una fresadora, de esta manera se familiarizará al estudiante con la última tecnología industrial, además de tener un proceso altamente productivo, de bajo costo y seguro para el usuario.

Como conclusiones tenemos que la máquina agiliza el proceso de elaboración de PCB, con gran exactitud, para el diseño se aplicó conocimientos de automatización electrónica y diseño mecánico.

**Palabras clave:** fresadora CNC, PCB, automatización.



## **ABSTRACT**

In the Electromechanical major of Universidad Técnica de Cotopaxi, students require printed circuit boards (PCB) for their laboratory practices. Currently, they are made by using chemicals and acids, which have health risks, and environmental pollution, besides being unproductive and away from technology. In this project, in response to the problems of the students, seeking their welfare, and attachment to technology, this research is carried out on the implementation of an automated milling machine with numerical control for the production of PCBs in the institution. With the aim of providing facilities to students, minimizing risks, and making use of modern technologies, applying the method of machining with chip removal, with automated control of a milling machine, thus familiarizing the student with the latest industrial technology, in addition to having a highly productive process, low cost and safe for the user. In conclusion, we have that the machine speeds up the PCB manufacturing process, with great accuracy, this design applied knowledge of electronic automation and mechanical design.

**Keywords:** CNC milling machine, PCB, automation.

# ÍNDICE

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
DEDICATORIA.....	vi
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT .....	ix
ÍNDICE.....	x
INDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xvi
1. INFORMACIÓN GENERAL .....	1
2. RESUMEN DEL PROYECTO .....	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	2
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO .....	3
4.1. Beneficiarios Directos .....	3
4.2. Beneficiarios Indirectos.....	3
5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	4
5.1. Planteamiento del problema .....	4
5.2. Preguntas de investigación .....	4
5.3. Delimitación del problema .....	4
5.3.1. Delimitación espacial .....	4
5.3.2. Delimitación temporal .....	4
5.3.3. Delimitación conceptual.....	4
6. OBJETIVOS.....	5
6.1. Objetivo General.....	5

6.2. Objetivos específicos.....	5
7. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS.....	5
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	6
8.1. Circuito impreso PCB.....	6
8.2. Métodos para la fabricación de PCB.....	8
8.2.1. Métodos con la aplicación de químicos.....	8
8.2.2. Métodos por maquinas automatizadas libres de químicos.....	9
8.3. Máquinas CNC para la fabricación de PCB.....	10
8.4. Control Numérico por Computadora (CNC).....	11
8.5. Máquina fresadora.....	11
8.6. Elaboración de PCB usando CNC.....	11
8.7. Ventajas de los equipos CNC.....	12
8.8. Componentes de la fresadora CNC.....	13
8.8.1. Componentes mecánicos.....	13
8.8.2. Componentes electrónicos.....	13
8.9. Material para elaboración de PCB.....	13
8.10. Norma utilizada para el diseño de la máquina.....	14
8.11. Criterios para el ancho de pistas de las PCB.....	14
8.12. Herramientas para el mecanizado de PCB.....	15
9.9.1. Perforación de agujeros.....	16
9.9.2. Trazado de pistas.....	16
8.13. Código G.....	17
9.6.1. Comandos G y M para la fabricación de PCB.....	17
8.14. Coordenadas absolutas y relativas.....	18
8.14.1. Coordenadas absolutas.....	18
8.14.2. Coordenadas relativas.....	18
8.15. Controlador de CNC USB.....	19
8.16. Proteus 8 Profesional.....	19

8.17. FlatCAM.....	20
8.18. CAD/CAM .....	20
8.19. Motores a paso.....	20
8.20. Estructura de la máquina .....	21
8.21. Comunicación entre operador-máquina.....	21
8.22. Parámetros de mecanizado .....	21
8.22.1. Parámetros para el fresado.....	23
8.22.2. Parámetros para el taladrado.....	28
8.22.3. Tornillo de potencia.....	30
8.22.4. Sistema de deslizamiento.....	32
8.22.5. Cálculo de la carga-vida del rodamiento, a confiabilidad nominal .....	33
9. Preguntas científicas .....	34
10. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL .....	34
10.1. Tipos de investigación.....	34
10.1.1. Investigación cualitativa.....	35
10.1.2. Investigación Cuantitativa .....	35
10.2. Plan de recolección de la información.....	35
10.3. Plan de procesamiento de la información.....	35
10.4. Selección de alternativas de diseño .....	36
10.4.1. Estructura de fresadora .....	36
10.4.2. Extrusión de aluminio.....	38
10.4.3. Componentes de la estructura.....	39
10.4.4. Selección de software .....	41
10.4.5. Líneas de programación con códigos G y M.....	41
10.4.6. Selección de controlador .....	43
10.4.7. Selección de herramientas de corte .....	43
10.4.8. Mecanizado fresadora CNC en materiales no ferrosos .....	44
10.4.9. Selección del motor herramienta .....	45
10.4.7. Selección de motores paso a paso .....	45

10.5. Cálculo de parámetros de fresado y taladrado.....	46
10.5.1. Resultados de fresado .....	46
10.5.2. Resultados de taladrado .....	46
10.5.3. Resultados de potencia y toque de mecanismos sin fin.....	47
10.5.4. Análisis de resistencia .....	47
10.6. Especificaciones .....	49
11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	49
11.1. Medición de consumos y costos en la elaboración de placas PCB .....	49
11.2. Costo de PCB por centímetro cuadrado .....	50
11.3. Proceso de diseño y mecanizado de PCB.....	51
11.3.1. Diseño de pistas y perforaciones .....	51
11.3.2. Generar códigos G en FlatCAM.....	51
11.3.3. Mecanizado de PCB en CNC USB Controller .....	52
12. PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....	52
13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	53
13.1. Conclusiones.....	53
13.2. Recomendaciones .....	54
14. REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA .....	54
15. ANEXOS .....	55

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estudiantes de electromecánica UTC La Maná .....	3
Tabla 2. Habitantes del Cantón La Maná .....	3
Tabla 3. Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos.....	5
Tabla 4. Evaluación de los métodos de fabricación de PCB .....	9
Tabla 5. Ancho de pistas según la corriente .....	15
Tabla 6. Separación de pistas según la tensión.....	15
Tabla 7. Velocidades adecuadas para el mecanizado .....	17
Tabla 8. Parámetros de mecanizado .....	22
Tabla 9. Tabla de velocidades de corte en m/min .....	22
Tabla 10. Parámetros principales de trazado de pistas .....	28
Tabla 11. Parámetros principales para las perforaciones .....	30
Tabla 12. Clasificación de criterios y puntuación .....	37
Tabla 13. Selección de alternativas .....	38
Tabla 14. Componentes estructurales de la fresadora CNC .....	40
Tabla 15. Herramientas para fresado de CNC .....	44
Tabla 16. Parámetros de mecanizado en materiales no ferrosos .....	44
Tabla 17. Resultados de fresado para el dimensionamiento de la CNC.....	46
Tabla 18. Resultado de taladrado para el dimensionamiento de la CNC .....	46
Tabla 19. Resultados para mecanismo fin. ....	47
Tabla 20. Parámetros de consumo .....	49
Tabla 21. Costo de materiales.....	52
Tabla 22. Costos de maquinado.....	53
Tabla 23. Costo de montaje .....	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Placas PCBs maquinadas vs ataque químico .....	7
Figura 2. Método del planchado .....	8
Figura 3. Método con máquina CNC .....	9
Figura 4. Máquina ProtoMat S103 para fabricación de PCB .....	10
Figura 5. Equipos Bungard CC/MTC para fabricar PCB.....	10
Figura 6. Mecanizado de placas PCB en fresadora CNC .....	12
Figura 7. Procesos a mecanizar .....	15
Figura 8. Brocas para las perforaciones.....	16
Figura 9. Fresas en V para el trazado de pistas .....	16
Figura 10. Representación de coordenadas absolutas .....	18
Figura 11. Representación de coordenadas absolutas .....	19
Figura 12. Esquema de controlador CNC.....	19
Figura 13. Motor a paso.....	20
Figura 14. Avance por revolución para una fresa con punta en V .....	24
Figura 15. Parámetros para establecer el <i>hex</i> .....	25
Figura 16. Tornillo de potencia .....	31
Figura 17. Rieles y rodamientos lineales.....	32
Figura 18. Estructura de madera de Fresadora CNC .....	36
Figura 19. Estructura CNC de aluminio .....	37
Figura 20. Extrusión del aluminio .....	39
Figura 21. Perfiles de aluminio extruidos.....	39
Figura 22. Controlador CNC USB .....	43
Figura 23. Fresas para mecanizado de PCBs.....	44
Figura 24. Motor herramienta.....	45
Figura 25. Motor paso a paso .....	46
Figura 26. Diagrama de cargas .....	48
Figura 27. Tensiones máximas .....	48
Figura 28. Factor de seguridad de diseño .....	48
Figura 29. Elaboración de placas PCB .....	50
Figura 30. Esquema eléctrico y trazado de pistas.....	51
Figura 31. Parámetros de mecanizado en FlatCAM.....	52

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Evidencia fotográfica .....	55
Anexo 2. Manual para la fabricación de PCB .....	56
Anexo 3. Manual de mantenimiento preventivo .....	83
Anexo 4. Datos del docente tutor .....	66
Anexo 5. Aval de traducción .....	70
Anexo 6. Certificado de anti plagio .....	71



## 1. INFORMACIÓN GENERAL

### **Título del Proyecto:**

“Implementación de una fresadora automatizada mediante control numérico computarizado para la elaboración de PCB para la carrera de Electromecánica de la Universidad Técnica De Cotopaxi”.

**Fecha de inicio:** Abril del 2022

**Fecha de finalización:** Agosto del 2022

**Lugar de ejecución:** Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná

**Unidad académica que auspicia:** Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas CIYA

**Carrera que auspicia:** Ingeniería Electromecánica

**Proyecto de investigación vinculado:** La transferencia tecnológica sustentable como eje fundamental para el desarrollo socio económico y la vinculación social.

**Equipo de trabajo:**

**Tutor del Proyecto:** Ing. M.Sc. Paredes Anchatipán Alex Darwin

**Postulante:** Tapia Gaibor Nelson David

**Área de conocimiento:** Velez Peñarrieta Jordan Ariel  
Ingeniería, Industria y Construcción.

**Línea de investigación:** Procesos Industriales.

**Sub líneas de investigación de la carrera:** Diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos.

**Núcleo Disciplinar:** Desarrollo de tecnología y procesos de fabricación

Control y Automatización.

## **2. RESUMEN DEL PROYECTO**

En la Carrera de Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, los estudiantes requieren para sus prácticas de laboratorio placas de circuito impreso (Printer Circuit Board), en la actualidad los elaboran mediante el uso de químicos y ácidos, los cuales tiene riesgos de salud, de contaminación ambiental, además de ser poco productivos y alejados de la tecnología.

En este proyecto atendiendo la problemática de los estudiantes, buscando su bienestar, y apego a la tecnología, se realiza la investigación de la implementación de una máquina fresadora automatizada con control numérico, para la elaboración de PCB, en la institución.

Con el objetivo de brindar facilidades a los estudiantes, minimizando los riesgos y haciendo uso de tecnologías modernas, aplicando el método de maquinado con desprendimiento de viruta, con un control de automatizado de una fresadora, de esta manera se familiarizará al estudiante con la última tecnología industrial, además de tener un proceso altamente productivo, de bajo costo y seguro para el usuario.

Como conclusiones tenemos que la máquina agiliza el proceso de elaboración de PCB, con gran exactitud, para el diseño se aplicó conocimientos de automatización electrónica y diseño mecánico.

## **3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

Los estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, como parte de su formación requieren realizar trabajos académicos que contempla la impresión de circuitos en placas PCB. “Una de las alternativas es por medio de uso de químicos como el cloruro férrico para corroer el cobre, obteniendo el quemado del diseño del circuito sobre las placas, este procedimiento conlleva riesgos a la salud, puesto que los químicos son tóxicos, además de riesgos ambientales al generar desechos peligrosos, sumado a la poca experiencia de los estudiantes en el manejo de estas sustancias y el costo económico de conseguirlas, se hace indispensable en la búsqueda de nuevas alternativas” (Gaibor & Carrión, 2015).

La innovación de procedimientos de fabricación es una solución ante las dificultades de los procesos convencionales, la implementación de máquinas de control numérico, con la

aplicación de un diseño asistido por computadora (CAD) y la fabricación asistido por computadora (CAM), permiten grabar el modelo diseñado en un material seleccionado, como puede ser cobre, zinc, aluminio, acero, madera entre otros, integrando estos elementos en una máquina fresadora, obteniendo altas precisiones y eficacia en el proceso (Jiménez & Almeida, 2016).

En este proyecto de investigación se propone la implementación de una fresadora automatizada mediante control numérico computarizado para la elaboración de PCB para la carrera de electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, como método innovador ante la demanda de elaboración de prácticas con circuitos impresos. Se dispone mayor aprovechamiento de recursos y el cuidado de la salud de los estudiantes y medio ambiente, debido a que no se requiere de ningún químico. Además de ello un continuo aprendizaje teórico-práctico que permitirá abarcar conocimientos en mecanizado de las placas de circuito impreso. La máquina fresadora CNC implementada tendrá la capacidad de mecanizar materiales no ferrosos los mismos que son utilizados como conductores en circuitos eléctricos.

## 4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

### 4.1. Beneficiarios Directos

Los beneficiarios directos del proyecto son los estudiantes de la carrera de Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

**Tabla 1.** Estudiantes de electromecánica UTC La Maná

Hombres	Mujeres	Total
243	8	251

Fuente: Reporte de secretaria UTC

### 4.2. Beneficiarios Indirectos

Los beneficiarios indirectos del proyecto son todos los pobladores del cantón La Maná.

**Tabla 2.** Habitantes del Cantón La Maná

Hombres	Mujeres	Total
21.420	20.796	42.216

Fuente: INEC 2020

Es así que se puede entender que se tiene un total de 42216 beneficiarios indirectos, que comprende a la población del cantón de La Maná.

## **5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **5.1. Planteamiento del problema**

“El CNC es uno de los logros más importantes de la industria, pues simplifica procesos, garantiza exactitud, y calidad, además de minimizar los riesgos por manipulación, por esta razón es de gran importancia la aplicación en pedagogía, para formar profesionales en el ambiente tecnológico y productivo” (Caly & Ruiz, 2017).

En la actualidad los estudiantes de la carrera de Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, para sus prácticas e investigaciones tienen que elaborar placas de circuito impreso con sus propios recursos y con métodos antiguos, alejados de la modernidad y de la última tecnología, exponiéndose a riesgos de salud y contaminando el medio ambiente, es la problemática que causa el método de transferencia térmica, que usa químicos y ácidos tóxicos para la salud.

### **5.2. Preguntas de investigación**

¿Cuáles son las necesidades de los estudiantes de la carrera de Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi?

### **5.3. Delimitación del problema**

#### **5.3.1. Delimitación espacial**

La investigación y su desarrollo se realizarán en el Cantón La Maná, Provincia de Cotopaxi.

#### **5.3.2. Delimitación temporal**

La investigación y desarrollo se efectuará de marzo 2022 a agosto 2022.

#### **5.3.3. Delimitación conceptual**

El proyecto se encuentra dentro del área de diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos.

## 6. OBJETIVOS

### 6.1. Objetivo General

Implementar una fresadora automatizada mediante control numérico computarizado para la elaboración de PCB para la carrera de electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

### 6.2. Objetivos específicos

- Investigar sobre los diferentes procesos de fabricación de las Placas de Circuito Impreso.
- Identificar los diferentes tipos de máquinas que existentes para la elaboración de PCB.
- Ensamblar la máquina fresadora automatizada mediante control numérico computarizado para la fabricación de PCB para la carrera de electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Comprobar el correcto funcionamiento de la fresadora CNC mediante el mecanizado de PCB.

## 7. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS

**Tabla 3.** Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos

<b>Objetivos</b>	<b>Actividades</b>	<b>Resultados de las actividades</b>	<b>Descripción (técnicas e instrumentos)</b>
*Investigar sobre los diferentes procesos de fabricación de PCB.	*Investigación sobre los procesos que existe para la fabricación de PCB.	*Definir las características y factores de calidad de una placa PCB.	*Se realizará mediante investigaciones bibliográficas de publicaciones científicas para la obtención de información útil para el diseño de la máquina.
*Identificar los diferentes tipos de máquinas que existentes para la elaboración de PCB.	*Análisis de las máquinas existentes en el mercado para la elaboración de PCB.	*Conocer sobre cuál sería una mejor opción para la universidad, realizar modelado de la máquina fresadora CNC para fabricación de PCB.	*Búsqueda de información mediante revistas, catálogos, manuales técnicos, de máquinas que

			cumplan funciones similares al de la propuesta.
*Ensamblar la máquina fresadora CNC para fabricación de PCB.	*Dimensionamiento de la máquina. *Selección de materiales para su implementación en la máquina.	*Obtener información sobre las dimensiones de la máquina fresadora CNC. *Saber el tipo de materiales de acuerdo a las exigencias que demanda la construcción máquina CNC.	*El diseño de la máquina se realizará de acuerdo a los parámetros y requerimientos que necesita el usuario para elaborar las PCB, con la ayuda de software de diseño, además de la selección de materiales que la funcionalidad demanda.
*Comprobar el correcto funcionamiento de la fresadora CNC mediante el mecanizado de PCB.	*Comprobación de la máquina fresadora CNC.	*Llevar a efecto las pruebas mediante la fabricación de PCB.	*Se realizará los procesos como el diseño de las PCB para luego proceder al maquinado de las pistas, perforaciones y bordes.

Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

## 8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

### 8.1. Circuito impreso PCB

“Los circuitos impresos denominando PCB, son circuitos electrónicos elaborados sobre placas aislantes de materiales como fibra de vidrio o fenólico, las que tienen impreso líneas conductoras en material conductor, con el objetivo de conectar todos los elementos del circuito, direccionando la trayectoria de la corriente según el diseño requerido, de ser necesario las líneas conductoras puede ser impreso en ambos lados de la placa” (Jiménez & Almeida, 2016).

También lo ratifica (Groover, 1997) quien indica que “el tablero de circuito impreso es un panel de material aislante, con el fin de brindar conexiones eléctricas entre los elementos

electrónicos, estos tableros están estructurados de una capa de cobre, que es el que funciona como pista conductora del circuito, el espesor de la placa fluctúa entre 0,8 y 3,2 mm, y el de la capa de cobre de 0,4mm”.

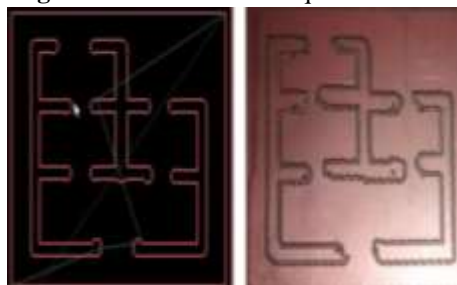
“Entre los diferentes métodos de elaboración de PCB, está el de la aplicación de fresado por control numérico, donde con un diseño previo en un software de CAM, se envía a maquinar el circuito diseñado sobre la placa aislante, alcanzando precisiones de hasta centésimas de milímetro” (Guillen, Duque, Buelvas, Grau, & Ochoa , 2016).

También tenemos el método convencional para la elaboración de PCB, que es el de ataque químico, y sigue los siguientes pasos. Se copia el diseño del circuito con una impresión en papel fotográfico, el cual se pasa a la superficie de cobre con ayuda de calor, con esto el papel queda adherido a la placa y se retira las partes que no tienen tinta.

“En secuencia se aplica el ataque químico, los más usados son ácido clorhídrico, ácido muriático y agua oxigenada, el primero tiene alto riesgo a la salud, ya que es corrosivo y tóxico por inhalación y contacto, los otros dos se mezclan en proporciones iguales y se introduce la placa, tornándose de color verdoso, para finalizar se lava la placa con agua y se lija para definir la geometría” (Rey, 2013).

Las diferencias entre estos dos procedimientos son evidencia en la calidad y acabado superficial, teniendo una presentación más definida y de mayor precisión en el de CNC, el riesgo a la salud del operador o estudiante en este caso es mayor en el de ataque químico ya que uno de los elementos más utilizados en este método es el ácido férrico el cual contiene sustancias nocivas, en cuanto a facilidad y rapidez es a favor del método de CNC ya que no se utiliza ningún químico, los resultados son muchos más favorables obteniendo un mejor acabado en el mecanizado de las pistas, bordes y una mejor precisión en las perforaciones.

**Figura 1.** Placas PCBs maquinadas vs ataque químico



**Fuente:** (Guillen, Duque, Buelvas, Grau, & Ochoa , 2016)

## 8.2. Métodos para la fabricación de PCB

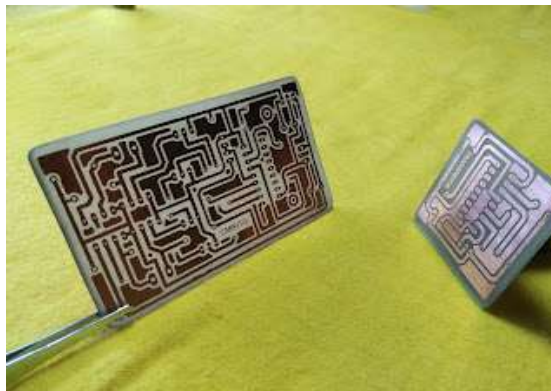
Existen diferentes métodos para la fabricación de PCB, se pueden conformar en dos grupos. Fabricación de PCB con la utilización de químicos y por medio de máquinas automáticas libres de químicos.

### 8.2.1. Métodos con la aplicación de químicos

Dentro de los métodos con el uso de químicos es común la utilización de tinta indeleble para el marcado de las pistas y perforaciones ya sea de forma manual o mediante una máquina CNC, posterior a ello el ataque químico mediante la aplicación de ácido férrico, el mismo que hará posible que el material no marcado con la tinta se desprenda de la superficie de la placa, dando origen a la PCB.

El método del planchado se lo realiza mediante la impresión de las pistas en papel termotransferible, el mismo que al ser sometido al calor mediante una plancha de adhiere al cobre, una vez que las pistas quedan impregnadas se procede a la aplicación de ácido férrico, quedando únicamente sobre la placa las pistas que fueron cubiertas por el papel termotransferible.

**Figura 2.** Método del planchado



**Fuente:** (Espinoza, 2017)

Otro método es el uso de cinta adherente, este método consiste en dar forma a las pistas mediante el uso de dicha cinta, una vez que estén marcadas se procede a realizar el ataque químico mediante ácido férrico, la cinta evita que las pistas se desprendan de la placa.

Los procesos de fabricación de placas de circuito impreso mediante el ataque químico con ácido férrico conllevan riesgos físicos y ambientales, a pesar de ellos se siguen utilizando en

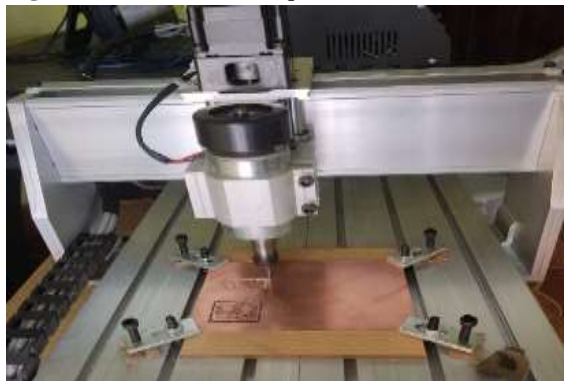


la actualidad. Los avances tecnológicos hacen posible la manufactura asistida por computador, gracias a ello los procesos de fabricación de PCB tienen riesgos mínimos.

### 8.2.2. Métodos por máquinas automatizadas libres de químicos

El método por mecanizado de pistas, bordes y perforaciones mediante el uso de una fresadora CNC evita el uso de químicos como el ácido férrico, este método implica la generación de un código G partiendo del diseño de la PCB, dicho código es interpretado por un controlador de control numérico que hace posible que la herramienta de fresado desprenda el material necesario para formar el trazado de las pistas.

**Figura 3.** Método con máquina CNC



Fuente: Tapia N. y Jordan V. (2022)

Para la comparación entre los diferentes métodos de elaboración de PCB se realizó la siguiente tabla donde se muestran algunos criterios de evaluación como el precio, el impacto ambiental, tiempo de mecanizado, la precisión y el fácil acceso. Se da una puntuación entre 1 y 4, siendo 1 el menor ponderado y 4 el mayor.

**Tabla 4.** Evaluación de los métodos de fabricación de PCB

Métodos	Criterios					
	Precio	Ambiental	Tiempo	Precisión	Acceso	Ponderado
Tinta	3	1	2	3	3	12
Cinta	3	2	2	2	3	12
Planchado	3	1	2	2	4	12
Mecanizado CNC	2	4	4	4	3	18

Fuente: Tapia N. y Jordan V. (2022)

Se puede apreciar que el método de mecanizado por CNC es el que resulta con mayor ponderado en la fabricación de PCB.

El resultado del ponderado obtenido por la suma de los criterios es muy elevado con comparación con los métodos donde se utiliza químicos.

### 8.3. Máquinas CNC para la fabricación de PCB

“La máquina fresadora ProtoMat S103 es uno de los mejores equipos para la fabricación de circuitos impresos. El sistema ampliamente equipado es adecuado para todas las áreas de aplicación, incluida la multicapa y de frecuencia elevada: en material cobre, puede lograr PCB anchos de pista de hasta 100  $\mu\text{m}$ . La alta velocidad de rotación y la precisión asegura la producción de última generación de PCB. La profundidad de trabajo neumática sin contacto permite que los sustratos con superficies delicadas sean maquinados” (LPKF, 2017).

**Figura 4.** Maquina ProtoMat S103 para fabricación de PCB



Fuente: (LPKF, 2017)

“La Bungard CCD/MTC es una máquina de fresado y taladrado controlada desde el computador de alta calidad con cambio de herramienta semiautomático (MTC = cambio de herramienta manual). Con el robusto husillo y la buena fijación de la herramienta en el mandril, el Bungard CCD/MTC está perfectamente equipado para fresar o grabar plásticos, aluminio y otros metales” (BUNGARD, 2017).

**Figura 5.** Equipos Bungard CC/MTC para frabricar PCB



Fuente: (BUNGARD, 2017)

#### **8.4. Control Numérico por Computadora (CNC)**

“El origen de las máquinas de control numérico se da en la década de los 40’s a partir de la segunda guerra mundial, se accionaban automáticamente siguiendo las instrucciones de una tarjeta perforada, las que luego paso a microcontroladores y la inclusión de computadoras, llegando de esta forma a las CNC” (Guallichico & Zambrano, 2012).

“El termino CNC proviene del inglés Computer Numerical Control, este es un método de control automático, donde se incluye codificaciones alfanuméricas, las que son parte de la programación para diferentes aplicaciones que se las destine, obteniendo movimientos secuenciales de forma sistemática y con un orden lógico, de acuerdo al diseño y requerimiento del programador” (Jiménez & Almeida, 2016).

#### **8.5. Máquina fresadora**

“Son máquinas herramientas utilizadas para fabricación con alta precisión y calidad superficial, sobre superficies de piezas, por su versatilidad es considerado como una de las máquinas herramientas más utilizadas en la industria. Dispone de una herramienta de corte denominada fresa, la cual desprende viruta de la pieza mecanizada con movimiento rotatorio y con avances tanto longitudinales, transversales en los tres ejes de referencia” (Schwab, 2011).

Con el avance tecnológico se ha dado posibilidad a que los procesos de manufactura sean automatizados, actualmente las maquinas fresadoras cuentan con sistemas CNC los cuales hacen eficaces los procesos para elaboración de PCB.

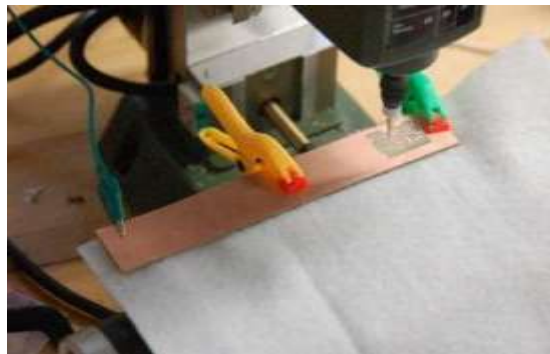
#### **8.6. Elaboración de PCB usando CNC**

“Las placas de los circuitos electrónicos son de material dieléctrico, revestida por una capa de cobre, mediante la operación de maquinado como es el fresado, se retira el cobre por desprendimiento de viruta, de esta forma se obtiene las pistas o líneas conductoras del circuito, si esta operación se lo liga a un control numérico de la máquina, se obtiene grandes precisiones, y si por último se incluye software de CAD Y CAM, se alcanza ventajas productivas y tecnificadas, facilitando el proceso y disminuyendo tiempos de fabricación. Esta es una operación de máquina CNC. La automatización de una maquina CNC se da por medio

del lenguaje de programación Código G, el cual ordena al controlador los movimientos de la fresadora en los ejes requeridos” (Ocampo & Deras, 2015).

El uso de sistemas de dibujo asistido por computadora facilita el diseño y comprobación de los circuitos eléctricos, mientras que los sistemas de manufactura por computadora contribuyen al mecanizado de las placas de circuito impreso. Los equipos de fresado CNC son precisos al momento de mecanizado ya que sus componen son diseñados de manera exacta además que los motores que controlan los ejes de movimiento son controladores mediante pulsos eléctricos que permiten mayor precisión en el trazado de pistas, bordes y las perforaciones.

**Figura 6.** Mecanizado de placas PCB en fresadora CNC



Fuente: (Ocampo & Deras, 2015)

### **8.7. Ventajas de los equipos CNC**

Existen una variedad de máquinas automatizadas mediante control numérico computarizado tales como fresadoras, tornos, impresoras tridimensionales, todas estas máquinas tienen ventajas en los procesos de mecanizado, a continuación, se muestran las ventajas más relevantes:

- Fabricación de productos complejos.
- Se reduce el tiempo de manufactura.
- Bajo consumo energético.
- Trabajos con alta precisión.
- Reducción de riegos por uso de químicos.
- Simulaciones antes del mecanizado.
- Reducción de contaminación.

## **8.8. Componentes de la fresadora CNC**

Los componentes de la máquina fresadora se puede establecer en dos grupos, el primer grupo corresponde a la parte mecánica y el segundo a la parte electrónica, estos componentes deben realizar sus movimientos de manera exacta para garantizar un mejor trabajo de fresado.

### **8.8.1. Componentes mecánicos**

Mecanismo de la mesa.

Mecanismo robot cartesiano.

Mecanismo para desbaste y perforación.

### **8.8.2. Componentes electrónicos**

Sensores.

Actuadores.

Microcontrolador.

Driver de motores a pasos.

Fuente de poder.

Paro de emergencia.

Pulsadores (Corella & Cadena, 2018).

## **8.9. Material para elaboración de PCB**

Dentro de los materiales más comunes para la fabricación de PCB se encuentra el cobre, aluminio, plata y aleaciones con bajo contenido de oro. Este elemento en forma de lámina junto con materiales como la resina y la fibra de vidrio forma una placa que comúnmente se conoce como baquelita, sus medidas pueden variar dependiendo del tamaño de las pistas. La baquelita son la materia prima en el proceso de mecanizado de las PCB, el cobre constituye el elemento primordial debido a sus propiedades conductoras y su alta maleabilidad. Las

medidas del cobre laminado van desde 17.5, 35, 70 y 105 micras. Las PCB más usuales tienen un espesor de 1.5 mm y el cobre de forma laminada una medida de 70 micras, la profundidad axial como radial de corte en el trazado de las pistas tienen medidas desde los 0.5 mm hasta 1 mm.

Para el mecanizado se pueden encontrar diferentes tipos de PCB según el tipo de aislante y las características de cada placa, como se muestra a continuación:

- FR-2: grabado, taladrado y fresado.
- FR-3: grabado, taladrado y fresado.
- FR-4: grabado, taladrado y fresado.
- CEM3 grabado, taladrado y fresado (Corella & Cadena, 2018).

Los componentes principales de la materia prima (baquelita) son materiales no ferrosos ya que con sus propiedades de conductividad y maleabilidad hacen posible el mecanizado sobre su superficie. Además de estos materiales las baquelitas se conforman de resinas y fibra de vidrio como materiales aislantes es decir no conductores.

#### **8.10. Norma utilizada para el diseño de la máquina**

Norma IPC2221: Las normas del IPC son una herramienta basada en la experiencia y en la industria, guía de las mejores prácticas de diseño, fabricación, ensamble, inspección de circuitos impresos o PCB (Laverde A. , s.f.).

Esta es la norma más utilizada dentro del diseño de las placas de circuito impreso ya que define los parámetros para el ensamble, con estos parámetros es posible determinar factores de diseño de las placas de circuito impreso tanto en el ancho de las pistas como el separado entre cada una de ellas, estos parámetros dependerán tanto de la corriente máxima de circulación, así como del voltaje de operación de los componentes.

#### **8.11. Criterios para el ancho de pistas de las PCB**

El ancho de las pistas debe ser lo suficiente para que se permita la circulación de la corriente y la separación entre ellas depende de la tensión que circule por el circuito. En las siguientes tablas se muestran los parámetros según la corriente y el voltaje máximo del circuito.

**Tabla 5.** Ancho de pistas según la corriente

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

Fuente: (Bellido, 2021)

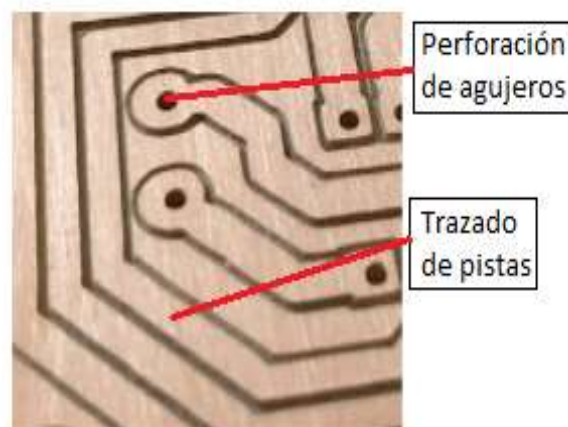
**Tabla 6.** Separación de pistas según la tensión

Separación	Tensión
0.3 mm	5-10 V
0.5 mm	50 V
0.7 mm	50-100 V
1 mm	100-170 V
1.2 mm	180-250 V
3 mm	250-500 V

Fuente: (Bellido, 2021)

## 8.12. Herramientas para el mecanizado de PCB

Para realizar el mecanizado de las PCB existen varias herramientas las cuales tienen diferentes operaciones a realizar como el trazado de pistas, bordes y la perforación de agujeros. Cada una de las herramientas tiene diferente velocidad de corte y avance establecidas por ecuaciones, con ello se garantiza un mejor mecanizado y la duración de dichas herramientas.

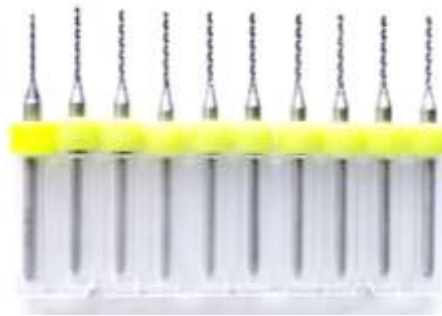
**Figura 7.** Procesos a mecanizar

Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

### 9.9.1 Perforación de agujeros

Para realizar las perforaciones de debe tomar en cuenta las medidas de los pines de los elementos electrónicos a ser ensamblados en la placa de circuito impreso, ya que de esto depende el diámetro de la broca. Generalmente el diámetro de las brocas para realizar las perforaciones es de 0.8 mm, 0.9 mm, 1 mm, 1.2 mm. El material con el cual están fabricadas es el carburo de tungsteno.

**Figura 8.** Brocas para las perforaciones



Fuente: Tapia N. y Jordan V. (2022)

### 9.9.2. Trazado de pistas

El trazado de pistas consiste en marcar las áreas de conductividad eléctrica mediante el desprendimiento de la capa de cobre. Este tipo de mecanizado se lo realiza con fresas tipo V, las cuales por fuerza en la punta tienen una gran resolución de corte, el diámetro utilizado comprende entre los 0.1 mm, 0.25 mm, 0.50 mm y para el trazado del borde fresas de hasta 1 mm. Para obtener una mejor resolución en el trazado de las pistas se recomienda utilizar la velocidad de corte y avance, así como las revoluciones del husillo dentro del margen de uso.

**Figura 9.** Fresas en V para el trazado de pistas



Fuente: Tapia N. y Jordan V. (2022)



Las velocidades adecuadas para cada tipo de mecanizado se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 7.** Velocidades adecuadas para el mecanizado

Mecanizado	Velocidad de rotación	Velocidad de traslación
Trazado de pistas	Rápida	2.5 mm/s
Perforaciones	Rápida	0.84 mm/s

Fuente: (Corella & Cadena, 2018)

### 8.13. Código G

“El código G es un lenguaje de programación mayormente usado para máquinas CNC, se trata de una programación vectorial, por el que se realizan acciones simples geométricas, tales como segmentos de recta, arcos de circunferencia, además se selecciona parámetros de operación de la máquina como revoluciones de la herramienta y velocidades de avance” (Sejas, 2017).

“Es el nombre que habitualmente recibe el lenguaje de programación más usado en Control numérico (CNC), el cual posee múltiples implementaciones. Usado principalmente en automatización, forma parte de la ingeniería asistida por computadora. Al código-G se le llama en ciertas ocasiones lenguaje de programación G” (Gamba & Peña, 2016).

#### 9.6.1. Comandos G y M para la fabricación de PCB

G00: Posicionamiento rápido (sin maquinar)

G01: Interpolación lineal (maquinando)

G21: Comienzo de uso de unidades métricas

F: Velocidad de avance

G 04: Pausa de 10 segundos

P 01: Pausa de 10 milisegundos

G90: Coordenadas absolutas

G 91: Coordenadas relativas

G94: Velocidad de corte expresada en avance por minuto

M03: Hacer girar el husillo en sentido horario

M05: Frenar el husillo (Tecnología Educativa s.a).

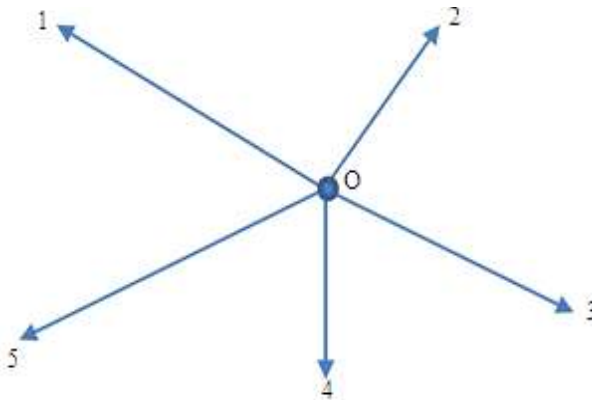
El código G es un lenguaje que permite interpretar acciones en las máquinas CNC. El programa de generación de código G permite establecer dichos códigos para que la fresadora CNC pueda interpretarlos y así sean mecanizados.

## 8.14. Coordenadas absolutas y relativas

### 8.14.1. Coordenadas absolutas

“Este tipo de coordenadas permite definir los movimientos de la herramienta desde un único punto de referencia llamado origen, habitualmente designado como O, cuyos valores de coordenadas se establecen a partir de la posición física de la herramienta con respecto a la pieza, ya sea en X, Z si se trata de un proceso de corte en dos ejes (torneado) o en X, Y, Z en una operación de corte en tres ejes (fresado); o en más coordenadas para sistemas con ejes adicionales” (Orozco & Álvarez, 2019).

**Figura 10.** Representación de coordenadas absolutas

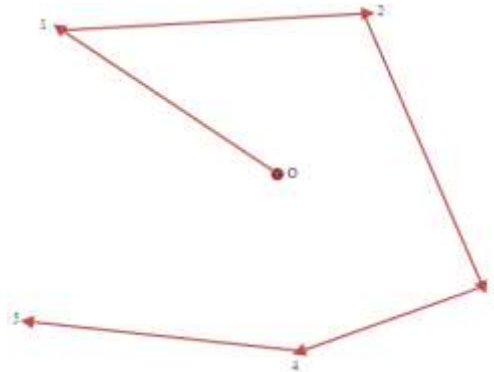


**Fuente:** (Orozco & Álvarez, 2019).

### 8.14.2. Coordenadas relativas

“El uso de este tipo de coordenadas implica que para el posicionamiento de la herramienta se emplean múltiples puntos de referencia, es decir que el punto inmediatamente anterior, se convierte en el origen para el siguiente movimiento; esto representa gran facilidad para el programador en el cálculo y ejecución de trayectorias cortas, involucrando el manejo de coordenadas tanto positivas como negativas” (Orozco & Álvarez, 2019).

**Figura 11.** Representación de coordenadas absolutas



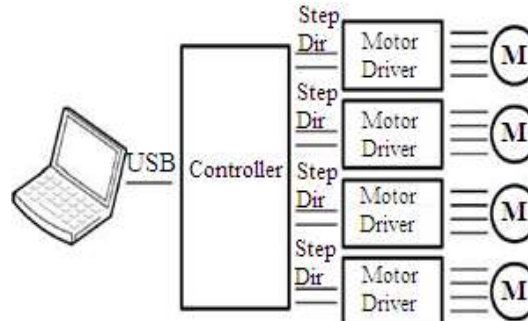
Fuente: (Orozco & Álvarez, 2019).

### 8.15. Controlador de CNC USB

Para controlar los movimientos de los 3 ejes de las CNC, se requiere de un controlador de interfaz, que conecta la computadora con el control del motor.

Esta tarjeta de control es un hardware y software integrado, pues no necesita, un software adicional, y se conecta vía USB, es el reemplazo de la tarjeta de control del puerto paralelo.

**Figura 12.** Esquema de controlador CNC



Fuente: <https://planet-cnc.com/>

### 8.16. Proteus 8 Profesional

“Es un software de diseño de circuitos electrónicos, simulación interactiva de circuitos análogos y digitales y con micro controladores, con animación de tiempo real. Trabaja con los principales compiladores mercados.

La aplicación de este software tiene ventajas de ahorrar tiempo, y pruebas seguras sin daño de equipos. Está en la capacidad de leer ficheros con códigos de familias PIC, AVR, y generan archivos Gerber y Excellon” (Ayala, 2019).

### 8.17. FlatCAM

“FlatCAM es una aplicación para preparar diseños de circuitos impresos para ser fabricados en una fresa/enrutadora CNC. Entre otros, puede generar G-Code para enrutamiento de aislamiento a partir de archivos Gerber generados en tu aplicación de CAD para circuitos impresos favorita” (Caram, 2019).

### 8.18. CAD/CAM

“Las siglas CAD/CAM provienen de las palabreas en inglés Computer Aided Design y Computer Aided Manufacturing, que significa Diseño Asistido por Computadora y fabricación asistido por computadora, es una tecnología que abarca el diseño gráfico, base de datos, control numérico, sistemas computarizados. El CAD y CAM aparecen por separado, con el tiempo, el avance tecnológico y la necesidad industrial se han ido integrando, para formar una única disciplina bien identificada. La evolución en este campo se da ya que, esta tecnología es útil para la producción, con bajos tiempos de fabricación y productos de mayor calidad. Las ventajas que ofrece es que el computador hace las funciones del operador” (Mochón, 2010).

### 8.19. Motores a paso

“Presenta ventajas como baja inercia, bajo costo, peso disminuido y silencioso, la aplicación se da especialmente para operaciones de medición, como equipos de impresión, robótica, posicionamiento de herramientas en centros de mecanizado. Es posible determinar su posición con el control de pulsos que se emite al motor, sin la necesidad de sensores de posición, ahorrando elementos en la instalación y facilitando la operación” (Conti, 2005).

**Figura 13.** Motor a paso



**Fuente:** Tapia N. y Velez J. (2022)

## **8.20. Estructura de la máquina**

La máquina fresadora está conformada por 3 ejes de movimiento transnacional o lineal, y de un movimiento rotacional que es el de corte de la herramienta, para garantizar estos movimientos se requiere de elementos mecánicos, que cumplan con las solicitudes de resistencia y relaciones de transmisión y potencia.

Para el diseño de la estructura se deben tomar en cuenta algunos factores tales como:

- Estructura liviana.
- Costo no elevado.
- Seguridad en el mecanizado.
- Diseño agradable.
- Movimientos en los ejes exactos.
- Fácil manejo.
- Fácil mantenimiento.

## **8.21. Comunicación entre operador-máquina**

Para establecer una mejor comunicación entre el operador y la maquina CNC se utilizará una interfaz virtual que permita observar el mecanizado en tiempo real donde se visualizará el proceso de mecanizado.

Se implementará un manual de usuario con el proceso de diseño y mecanizado, además una PC con todos los programas: simulador electrónico, aplicación para generación de códigos G, simulador de fresado y taladrado y software de mecanizado, garantizando el correcto funcionamiento.

## **8.22. Parámetros de mecanizado**

“La potencia de la máquina se refiere a la capacidad del motor, para cumplir su función, en este caso fuerza de corte para maquinara la pieza, influyen diversos factores en la determinación, como son, material de la pieza, profundidad de corte, velocidad de avance, número de filos cortantes de la herramienta” (Lopez, Ortiz, Padilla, & Tabares, 2013). En la siguiente tabla se puede apreciar los parámetros que influyen en el mecanizado de las pistas,

bordes y perforaciones de las PCB, con ellos es posible garantizar la vida útil de los componentes mecánicos, electrónicos y las herramientas de corte.

**Tabla 8.** Parámetros de mecanizado

Parámetro	Definición	Unidades
$a_e$	Profundidad de corte radial	mm
$a_p$	Profundidad de corte axial	mm
$a_c$	Área de corte	mm <sup>2</sup>
$D_c$	Diámetro de corte de la herramienta	mm
$D_m$	Diámetro de mecanizado	mm
$f_z$	Avance por diente	mm/diente
$f$	Avance por revolución	mm/rev
$n$	Número de revoluciones	RPM
$V_c$	Velocidad de corte	mm/min m/min
$V_f$	Velocidad de avance	mm/min m/min
$Z$	Número de dientes de la fresa	
$h_{ex}$	Grosor máximo de viruta	mm
$h_m$	Grosor medio de viruta	mm
$K_c$	Fuerza específica de corte	N
$P_c$	Potencia de corte	W
$M_c$	Par de corte	W
$d$	Diámetro de herramienta	mm
$Z_c$	Factor de corrección	
$f_c$	Fuerza de corte	N
$f_k$	Fuerza específica de corte	N/mm <sup>2</sup>
$P_{em}$	Potencia útil del motor	W
$P_e$	Potencia eléctrica del motor	W
$P_{er}$	Potencia eléctrica requerida	W
$n_e$	Eficiencia del motor	%
$F_s$	Factor de seguridad	
$F_m$	Factor del material	

Fuente: (SANDVIK Coromat, s.f.)

Según los fabricantes de herramientas cada material tiene una velocidad de corte establecida para el mecanizado tanto en torneado, fresado y taladrado esta garantiza la vida útil de los componentes y herramientas, la velocidad de corte como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 9.** Tabla de velocidades de corte en m/min

Cobre	25
Bronce corriente	15
Cerámica mecanizable	15
Cristal mecanizable	25
Níquel	25
Plata	25

Fuente: (SANDVIK Coromat, s.f.)

### 8.22.1. Parámetros para el fresado

La potencia de corte es la fuerza necesaria que se requiere para la remoción del material de la placa comúnmente conocida como baquelita.

Dentro del fresado se determinan las siguientes ecuaciones:

$$P_c = \frac{a_e \times a_p \times V_f}{60 \times 1000} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$P_c =$  Potencia de corte (W)

$a_e =$  Profundidad de corte radial (mm)

$a_p =$  Profundidad de corte axial (mm)

$V_f =$  Velocidad de avance (m/min mm/min)

Velocidad de avance:

$$V_f = f_z \times n \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$$n = \frac{V_c \times 1000}{D_c \times \pi} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$f_z = \frac{V_f}{Z \times n} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$V_c = \frac{\pi \times D_c \times n}{1000} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$f = f_z \times Z \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

$V_f =$  Velocidad de avance (mm/min)

$f_z =$  Avance por diente (mm/diente)

$n =$  Número de revoluciones (RPM)

$Z =$  Número de dientes de la fresa (diente/rev)

$V_c =$  Velocidad de corte (m/min mm/min)

$D_c =$  Diámetro de corte de la herramienta (mm)

$f =$  Avance por revolución (mm/rev)

La velocidad de corte es un dato suministrado por el fabricante de las herramientas mediante catálogos, es importante utilizar la  $V_c$  de acuerdo al material a mecanizar ya que esta variara acorde a este. Si se sobrepasa la velocidad de corte la herramienta aumentará su temperatura y por ende se desgastará rápidamente.

**Figura 14.** Avance por revolución para una fresa con punta en V

Size	Diameter	Feed	Speed	Retract	Z-Axis-Offset	Max-Hits	Chipload	SFM
	(inch)	(inches/min)	(k/rpm)	(inches/min)	pulg		(mils/rev)	
0.10 mm	0.0040	20	80	200	-0.01	500	0.25	84
0.13 mm	0.0049	23	80	300	-0.01	600	0.29	105
0.15 mm	0.0050	27	80	300	-0.01	800	0.34	124
0.25 mm	0.0098	60	80	800	-0.012	1500	0.75	205
0.30 mm	0.0118	73	80	1000	-0.013	1700	0.91	247
0.35 mm	0.0138	87	80	1000	-0.013	2000	1.09	289
1 mm	0.0394	174	58	1000	-0.019	2000	3.00	600
1.05 mm	0.0413	168	56	1000	-0.020	2000	3.00	600
1.10 mm	0.0433	159	53	1000	-0.020	2000	3.00	600
1.15 mm	0.0453	153	51	1000	-0.021	200	3.00	600

Fuente: (Corella & Cadena, 2018)

$$f = 1.09 \frac{\text{mils}}{\text{rev}} \times \frac{0.0254}{1 \text{ mils}} = 0.027 \frac{\text{mm}}{\text{rev}}$$

Ecuación 7



En base a la ecuación 6 se obtiene el avance por diente para el mecanizado:

$$f = f_z \times Z \quad \text{Ecuación 8}$$

Se despeja el avance por diente de la ecuación 6:

$$f_z = \frac{f}{Z}$$

$$f_z = \frac{f}{Z} = \frac{0.027}{1} = 0.027 \text{ mm/diente}$$

Grosor máximo de viruta:

$$h_{ex} = f_z \times \sin KAPR \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

$h_{ex}$  = Grosor máximo de viruta (mm)

$f_z$  = Avance por diente (mm/diente)

$a_e$  = Profundidad de corte radial (mm)

$D_c$  = Diámetro de corte de la herramienta (mm)

En ángulo de posición lo establece el fabricante, en la siguiente figura se establecen los valores indicados para el cálculo del grosor máximo de la viruta.

**Figura 15.** Parámetros para establecer el  $h_{ex}$

Ángulo de posición, KAPR	Factor de modificación	$f_z$ (mm/diente)		
		$h_{ex}$ (mm)		
		mín. 0.1	inicial 0.15	máx. 0.2
90°	1.0	0.10	0.15	0.20
75°	1.0	0.10	0.16	0.21
65°	1.1	0.11	0.17	0.22
45°	1.4	0.14	0.21	0.28
10°	5.8	0.58	0.86	1.15

**Fuente:** (SANDVIK Coromat, s.f.)

Fuerza de corte específica:

$$f_c = fc1 \times h_{ex}^{-Z_c} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

$fc1 = \text{Fuerza de corte (N)}$

$h_{ex} = \text{Grosor máximo de viruta (mm)}$

$Z_c = \text{Factor de corrección}$

Profundidad de corte radial en mm:

$$a_e = \frac{3}{4} D_c \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

$D_c = \text{Diámetro de corte}$

Fuerza de corte en N:

$$f_c = f_k \times a_c \quad \text{Ecuación 12}$$

$$a_c = h_m \times a_p \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

$f_k = \text{Fuerza específica de corte}$

$a_c = \text{Área de corte (mm}^2\text{)}$

$h_m = \text{Grosor medio de viruta (mm)}$

$a_p = \text{Profundidad de corte axial (mm)}$

Par de corte:

$$M_c = \frac{a_c \times a_p \times V_f \times f_k}{2 \times \pi}$$

Ecuación 14

Donde:

$M_c =$  Par de corte (W)

$a_c =$  Área de corte (mm)

$a_p =$  Profundidad de corte axial (mm)

$V_f =$  Velocidad de avance (mm)

$f_k =$  Fuerza de corte específica (N/(mm<sup>2</sup>))

Potencia de corte:

$$P_c = \frac{a_c \times a_p \times V_f}{60 \times 1000}$$

Ecuación 15

Donde:

$P_c =$  Potencia de corte (W)

$a_c =$  Área de corte (mm)

$a_p =$  Profundidad de corte axial (mm)

$V_f =$  Velocidad de avance (mm)

Potencia eléctrica del motor:

$$P_e = \frac{100 \times P_c}{n_e}$$

Ecuación 16

Donde:

$P_e =$  Potencia eléctrica del motor (W)

$P_c = \text{Potencia de corte (W)}$

$n_e = \text{Eficiencia del motor (\%)}$

Potencia eléctrica requerida del motor:

$$P_{er} = P_e \times F_s \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

$P_{er} = \text{Potencia eléctrica requerida (W)}$

$P_e = \text{Potencia eléctrica del motor (W)}$

$F_s = \text{Factor de seguridad}$

Luego de establecer las ecuaciones se muestran los parámetros principales que servirán para conocer los trabajos de fresado.

**Tabla 10.** Parámetros principales de trazado de pistas

Parámetros	Datos
Velocidad de corte	25 m/min
Avance	0.027 mm/rev
Número de dientes	1
Diámetro de fresa	1 mm
Profundidad radial	0.90 mm
Profundidad axial	0.99 mm
Fuerza específica de corte	1200 N/mm <sup>2</sup>
Factor de corrección	0.15
Eficiencia del motor	85%
Factor de seguridad	1.5

Fuente: (Corella & Cadena, 2018)

### 8.22.2. Parámetros para el taladrado

Para poder determinar los parámetros requeridos para la perforación de agujeros de las placas de circuito impreso se requieren de las siguientes ecuaciones:

$$n = \frac{V_c \times 1000}{D_c \times \pi} \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

$n = \text{Número de revoluciones (RPM)}$

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

$D_c = \text{Diámetro de corte de la herramienta (mm)}$

La velocidad de avance se establece con la siguiente ecuación:

$$V_f = f \times n \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

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

$f = \text{Avance por revolución (mm/rev)}$

$n = \text{Número de revoluciones (RPM)}$

La fuerza de empuje en el eje X de la herramienta se establece por F:

$$F = 11.4 \times F_m \times d(100 \times f)^{0.85} \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde:

$F = \text{Fuerza axial (N)}$

$F_m = \text{Factor del material}$

$d = \text{diametro (mm)}$

$f) \text{Avance (mm/rev)}$

La potencia de corte para las perforaciones se establece por:

$$P_c = 1.25 \times d^2 \times F_m(0.05 + 1.5 \times f) \quad \text{Ecuación 21}$$

La potencia eléctrica del motor herramienta:

$$P_e = \frac{100 \times P_c}{n_e} \quad \text{Ecuación 22}$$

Donde:

$P_e$  = Potencia eléctrica del motor (W)

$P_c$  = Potencia de corte (W)

$n_e$  = Eficiencia del motor (%)

Potencia eléctrica requerida del motor:

$$P_{er} = P_e \times F_s \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde:

$P_{er}$  = Potencia eléctrica requerida (W)

$P_e$  = Potencia eléctrica del motor (W)

$F_s$  = Factor de seguridad

**Tabla 11.** Parámetros principales para las perforaciones

Parámetros	Datos
Velocidad de corte	25 m/min
Avance	0.027 mm/rev
Número de dientes	2
Diámetro de broca	1 mm
Eficiencia del motor	85%
Factor de seguridad	1.5

Fuente: (Corella & Cadena, 2018)

### 8.22.3. Tornillo de potencia

El tornillo de potencia es un elemento muy importante en el funcionamiento de la fresadora, ya que permite el movimiento de avance y transmisión de potencia al útil de corte, convirtiendo el movimiento giratorio del motor en movimientos lineales. Es necesario se acople a una tuerca para que trabajen en conjunto.

**Figura 16.** Tornillo de potencia



**Fuente:** (Sejas, 2017)

Las roscas de filete cuadrado aportan un gran rendimiento, sin embargo, las más usadas para este tipo de función es las trapezoidales, con ángulos de filete de aproximadamente  $29^\circ$ , según Norma ACME.

Para determinar la potencia del tornillo, se obtiene primero las fuerzas que influyen, en su función, de tal forma se tiene la ecuación:

$$F_t = F_h + F_e + F_c \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

$F_h =$  *Peso del husillo de corte*

$F_e =$  *Peso de la estructura acoplada al tornillo de potencia*

$F_c =$  *Fuerza de corte*

Diámetro del tornillo, mediante la ecuación de esfuerzo:

$$\frac{\sigma}{\eta} = \frac{D_t}{A} \quad \text{Ecuación 25}$$

Donde:

$\eta =$  *Factor de seguridad*

$A = \text{Área de eje}$

$$Dt = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

Ecuación 26

Donde:

$D_t = \text{Diámetro del tornillo}$

El torque del tornillo, en función de las variables anteriores es:

$$Tb = \frac{F_t \times Dm}{2} \times \frac{(\pi \times \mu \times Dm) - p}{(\pi \times Dm) + (\mu \times p)}$$

Ecuación 27

Donde:

$P = \text{Paso de rosca del tornillo}$

$D_m = \text{Diámetro medio del tornillo}$

#### 8.22.4. Sistema de deslizamiento

Para el deslizamiento se usa barras de acero con carretes de desplazamiento, son útiles para un movimiento uniforme, y soportan el peso del conjunto que se desplaza y la fuerza de la operación, lo carretes están dispuestos de rodamientos lineales. Para disminuir las pérdidas por fricción y rozamiento. Este mecanismo cuenta con graseros los cuales hacen posible introducir lubricante tipo grasa o líquido para evitar desgaste.

**Figura 17.** Rieles y rodamientos lineales



**Fuente:** (Pérez & Quintos , 2018)



### 8.22.5. Cálculo de la carga-vida del rodamiento, a confiabilidad nominal

“Una carga nominal de catálogo se define como la carga radial que ocasiona que el diez por ciento de un grupo de cojinetes falle durante la vida nominal de un fabricante de cojinetes. La carga nominal de catálogo se denominará como  $C_{10}$ .”

Esta carga se conoce a menudo como una Carga Nominal Dinámica Básica, o en ocasiones sólo como Carga Nominal Básica, si la vida nominal del fabricante es de  $10^6$  revoluciones.

La carga radial que sería necesaria para causar una falla durante una vida tan baja sería demasiado elevada. En consecuencia, la carga nominal básica debe verse como un valor de referencia y no como una carga que realmente pueda ser alcanzada por un cojinete” (Budynas & Nisbett, 2012).

Al seleccionar un cojinete para una aplicación dada, es necesario relacionar la carga deseada y los requisitos de vida con la carga nominal de catálogo publicada que corresponde a la vida nominal de catálogo, de esto se deriva la siguiente ecuación:

$$F_R \times L_R^{\frac{1}{a}} = F_D \times L_D^{\frac{1}{a}} \quad \text{Ecuación 28}$$

“En este caso, las unidades de  $L_R$  y  $L_D$  son revoluciones y los subíndices R y D representan a las vidas nominal y deseada. En ocasiones es conveniente expresar la vida en horas a una velocidad dada” (Budynas & Nisbett, 2012).

En consecuencia, cualquier vida  $L$  en revoluciones puede expresarse como:

$$L = 60 \times L \times n \quad \text{Ecuación 29}$$

Donde  $L$  está en horas,  $n$  en rev/min y 60 min/h es el factor de conversión adecuado. Al reemplazar la expresión 9 en la ecuación 6 tenemos:

$$F_R \times (L_R \times n_R \times 60)^{\frac{1}{a}} = F_D \times (L_D \times n_D \times 60)^{\frac{1}{a}} \quad \text{Ecuación 30}$$

Despejando  $F_R$  de la ecuación se tiene:

$$C_{10} = F_R = F_D \times \left( \frac{L_D \times n_D \times 60}{L_R \times n_R \times 60} \right)^{\frac{1}{a}} \quad \text{Ecuación 31}$$

Donde:

$C_{10}, F_R$  : *clasificación de catálogo, lbf o kN*

$L_R$ : *vida nominal en horas*

$n_R$ : *velocidad nominal, rpm*

$F_D$ : *carga radial deseada, lbf o kN*

$L_D$ : *vida deseada, horas*

$n_D$ : *velocidad deseada, rpm*

## 9. PREGUNTAS CIENTÍFICAS

Las preguntas científicas planteadas en base a los objetivos de la investigación se estructuran a continuación:

- ¿De qué manera se pueden identificar las necesidades de los estudiantes de la carrera de Electromecánica, para determinar características elementales de un procedimiento de elaboración de PCB amigable y moderno?
- ¿Cuáles son las alternativas de diseño y los parámetros deseables por la institución en base a las necesidades descubiertas?
- ¿Cómo se puede implementar la máquina CNC para la elaboración de las placas de circuito impreso?

## 10. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

### 10.1. Tipos de investigación

En el presente proyecto se sigue una investigación mixta, desde el enfoque cuantitativo y cualitativo.

### **10.1.1. Investigación cualitativa**

“El enfoque cualitativo se basa en búsqueda de literatura y modelos probados en bases científicas como Google académico y demás artículos científicos”, así como lo enuncia (Quecedo & Castaño, 2003) que la investigación cualitativa es de tipo inductivo cuando comienza con la recogida de datos, haciendo uso de la herramienta de la observación, a partir de las que construye sus teorías, tratando de que esta justifique los datos obtenidos. Es decir, con el análisis de los fenómenos de semejanza estudiados se genera una teoría explicativa.

Esta investigación permite abarcar una variedad de datos e información no numérica con esto es posible comprender y desarrollar teorías las mismas que nos permitirán llegar a la identificación y solución del problema a investigar.

### **10.1.2. Investigación Cuantitativa**

La investigación cuantitativa es de carácter deductivo, ya que comienza con un sistema enfocado con la parte teórica, generando conceptos de operación y definiciones de una teoría, las que se aplica en forma empírica sobre ciertos datos, enfocados en alcanzar datos que afirmen una teoría.

## **10.2. Plan de recolección de la información**

Optamos por la herramienta de recolección de información por medio de la observación de campo, analizando el proceso actual de los estudiantes para la elaboración de las placas de circuito impreso, entendiendo las dificultades, las posibilidades, los riesgos, las ventajas y desventajas, y contrastando con información recolectada de investigación bibliográfica y científica.

## **10.3. Plan de procesamiento de la información**

Para el procesamiento adecuado de la información se van a seguir varios lineamientos entre los cuales podemos mencionar los siguientes:

- Revisar los datos iniciales obtenidos mediante observación directa de los métodos para la elaboración de placas PCB por parte de los estudiantes.
- Presentar los criterios de diseño en base a investigaciones realizadas,

- Estimar los parámetros necesarios para el diseño de los componentes.
- Elegir los componentes en función de los requerimientos del diseño, análisis de alternativas y en base a la disponibilidad en el mercado
- Analizar e interpretar los resultados obtenidos en la conformidad de los estudiantes y docentes, al manejar una herramienta de última tecnología para sus prácticas.
- Procesar los datos obtenidos experimentalmente para llegar a obtener las mejores conclusiones.

## 10.4. Selección de alternativas de diseño

### 10.4.1. Estructura de fresadora

#### Alternativa 1. Estructura de madera

Una de las alternativas para la construcción de la estructura de la máquina fresadora es en material liviano como la madera.

Presenta grandes ventajas económicas de fácil construcción, así como también desventajas de pérdida de precisión y disminución de la vida útil de la máquina.

**Figura 18.** Estructura de madera de Fresadora CNC



**Fuente:** (Caly & Ruiz, 2017)

#### Alternativa 2. Estructura en acero

La construcción de la estructura de la máquina en acero, se tiene grandes ventajas de rigidez, garantizando la precisión en la operación, además de permite un ciclo de vida extenso, pues ante las sollicitaciones el desgaste será mínimo.

Las desventajas son en la parte económica y la dificultad para la construcción, además de ser una máquina de alto peso.

### Alternativa 3. Estructura de aluminio

El aluminio es uno de los materiales con grandes beneficios, pues es resistente a la corrosión, es ligero, y de fácil manipulación para la conformación.

La estructura de fresadora sería de carácter semirrígida, con capacidad de soportar las sollicitaciones de la fabricación de PCB, sin afectarla, el ciclo de vida sería de un valor medio, en comparación a la madera y acero.

“La aleación de aluminio 2024 tiene una resistencia muy alta, ligeramente superior a la de la aleación 2014. Su alta resistencia a la fatiga constituye una ventaja en las estructuras y piezas que exigen una buena relación resistencia-peso” (Gamba & Peña, 2016).

**Figura 19.** Estructura CNC de aluminio



Fuente: [www.ruxtor.com](http://www.ruxtor.com)

Para la selección de alternativas, usamos una matriz de evaluación ponderada en base a criterios de diseño y funcionalidad.

**Tabla 12.** Clasificación de criterios y puntuación

Calificación del criterio	Puntuación
Muy inadecuado	1
Inadecuado	2
Adecuado	3
Muy adecuado	4

Fuente: Tapia N. y Velez J.

Se consideraron los siguientes criterios en base a lo descrito:

- Eficiencia: Se consideró este criterio debido a las pérdidas energéticas que reducen las ganancias, siendo este el de mayor prioridad.
- Confiabilidad: Este criterio permite evaluar el desempeño de la recicladora en los momentos críticos de solicitud del equipo, siendo este un factor importante en el diseño.
- Mantenimiento: Se consideró este criterio debido a que se debe evaluar con facilidad el mantenimiento de la máquina.
- Peso: Se consideró este criterio debido a que la recicladora debe ser transportable.
- Ruido: Este criterio considera el cuidado del sentido auditivo del operario.

**Tabla 13.** Selección de alternativas

		Alternativas					
		Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
Criterio	Ponder.	Punt.	Ponder.	Punt.	Ponder.	Punt.	Ponder.
Eficiencia	20 %	1	0.05	4	0,2	4	0.2
Precisión	20%	1	0.05	4	0,2	4	0.2
Mantenimiento	20 %	3	0.15	3	0.15	4	0.2
Costo	20 %	4	0.2	1	0.05	3	0.15
Ciclo de vida	20 %	2	0.1	4	0,2	3	0.15
Total	100 %		0,55		0,8		0,9
Rank.			3		2		1

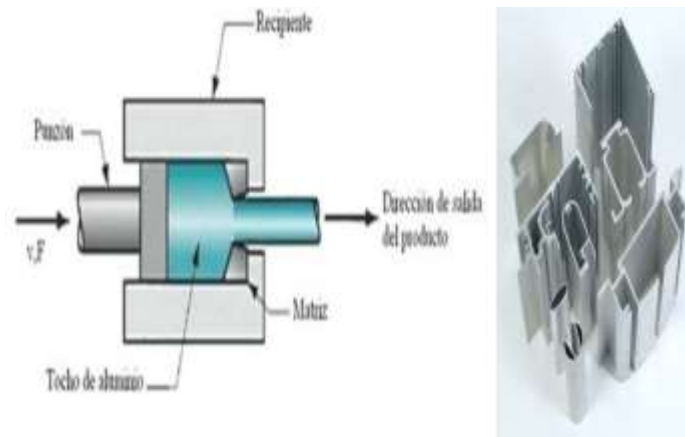
Fuente: Tapia N. y Velez J.

De los resultados obtenidos se aprecia que la alternativa mejor puntuada es la numero 3. Por lo que se diseña la fresadora CNC, con este criterio.

#### 10.4.2. Extrusión de aluminio

“Las aleaciones de aluminio han tomado gran importancia en las estructuras, así como la geometría de la sección de los perfiles, con la extrusión es posible conseguir gran variedad de estos perfiles, la optimización de barras portantes con paredes delgadas rigidizadas, son una alternativa, y se lo puede conseguir mediante el proceso de extrusión del aluminio” (Montanaro & Rivas, 2014).

“Es importante aclarar que la extrusión es un proceso tecnológico, utilizado para formar diferentes formas de secciones, y consiste en empujar el material a temperaturas maleables, a través de una matriz con la forma esperada” (Kutanova, 2009).

**Figura 20.** Extrusión del aluminio

Fuente: (Galamk Aluminium, 2014)

“La importancia de tener cada vez materiales más ligeros y económicos, desarrolla esta industria, de las nuevas formas estructurales de aluminio extruido, con el objetivo de obtener una eficiencia práctica y estética en los materiales estructurales, las aplicaciones pueden ser tanto en edificaciones estructurales como en máquinas y otros elementos de soporte” (Montanaro & Rivas, 2014).

Las ventajas que ofrecen estos perfiles, es que no necesitan ser soldados, es suficiente con atornillarlos entre sí, o con ayuda de elementos de anclaje.

**Figura 21.** Perfiles de aluminio extruidos

Fuente: (ITEM, 2018)

#### 10.4.3. Componentes de la estructura

Los componentes principales de la estructura se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 14.** Componentes estructurales de la fresadora CNC

Tornillos sin fin	
Perfiles de aluminio	
Ejes de deslizamiento	
Chumaceras	
Tornillos de sujeción	



Base de maquinado	
Soportes	

Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

#### 10.4.4. Selección de software

Es indispensable el uso de software para diseñar el circuito que se requiere imprimir sobre la placa PCB, por más condiciones de accesibilidad y de compatibilidad el más óptimos es el Proteus 8 Profesional, En este programa se realizará el diseño electrónico y el esquema de las pistas, perforaciones, los mismos que se generan como archivos Gerber y Excellon.

Por otro lado, se requiere un segundo software para convertir los archivos Gerber y Excellon en códigos G, el seleccionado es FlatCAM, pues es compatible con Proteus, ya que, con esta aplicación será posible generar los códigos G para que sean interpretados por la fresadora CNC.

#### 10.4.5. Líneas de programación con códigos G y M

- 1: G21 Comienzo de uso de unidades métricas
- 2: G90 Coordenadas absolutas
- 3: G94 Velocidad de corte expresado en avance por minutos
- 4: F 215 Velocidad de avance
- 5: G00 Z 1.6000 Posicionamiento rápido (sin maquinar)

- 6: M03 Hacer girar el husillo en sentido horario
- 7: G4 P1 Pausa de 10 segundos
- 8: G00 X 2.0400 Y 39.130 Coordenadas absolutas
- 9: G01 Z -1.9000 Interpolación lineal
- 10: G01 X 2.0400 Y -1.250 Interpolación lineal
- 11: G01 X -39.55000 Y -1.2 Interpolación lineal
- 12: G00 Z 1.6000 Coordenadas absolutas
- 13: G00 X 42.8500 Y -1.2 Coordenadas absolutas
- 14: G01 Z -1.9000 Interpolación lineal
- 15: G01 X -84.4400 Y -1.2 Interpolación lineal
- 16: G01 X -84.4400 Y 39.1 Interpolación lineal
- 17: G00 Z 1.6000 Coordenadas absolutas
- 18: G00 X -84.4400 Y 42.4 Coordenadas absolutas
- 19: G01 Z -1.9000 Interpolación lineal
- 20: G01 X -84.4400 Y 82.8 Interpolación lineal
- 21: G01 X -42.8500 Y 82.8 Interpolación lineal
- 22: G00 Z 1.6000 Coordenadas absolutas
- 23: G00 X -39.55000 Y 82.8 Coordenadas absolutas
- 24: G01 Z -1.9000 Interpolación lineal
- 25: G01 X 2.0400 Y 82.810 Interpolación lineal

26: G01 X 2.0400 Y 42.430 Interpolación lineal

27: G00 Z 1.6000 Coordenadas absolutas

28: G00 Z 1.6000 Coordenadas absolutas

29: G00 X 0 Y 0 Coordenadas absolutas

30: M05 Frenar el husillo

#### 10.4.6. Selección de controlador

El controlador compatible con los softwares seleccionados y que cumpla con las funciones requerida de la maquina fresadora CNC es el, Controlador CNC USB, tiene fácil conexión por USB, es muy factible de adquirirlo y de conectarlo, por tanto, **Z**proyecto de estudio.

**Figura 22.** Controlador CNC USB



**Fuente:** Tapia N. y Velez J.

#### 10.4.7. Selección de herramientas de corte

Las herramientas de corte son compatibles con placas PCB, SMT, CNC, molde, grabado, fibra de plástico, fibra de carbono, cooper, placa de circuito impreso, otras láminas de precisión respetuosas con el medio ambiente.

La precisión es alta, proporciona una buena capacidad de carga de chips, mejorando la capacidad de la herramienta para eliminar material. Las puntas con borde de corte afilado, mejora la eficiencia de trabajo grande, sin resplandores ni rasguños dejados. Las fresas para el maquinado de las PCB es el carburo de tungsteno.

**Figura 23.** Fresas para mecanizado de PCBs

**Fuente:** Tapia N. y Velez J. (2022)

En la siguiente tabla se muestran las características de las fresas y brocas para el mecanizado de las placas de circuito impreso.

**Tabla 15.** Herramientas para fresado de CNC

Mecanizado	Herramienta	Características
Trazado de pistas	Fresa	$d = 0.10 - 0.25 - 0.35 \text{ mm}$ Tipo: V
Trazado de borde	Fresa	$d = 0.5 - 1 - 2 \text{ mm}$ Tipo: V
Perforaciones	Broca	$d = 0.75 - 0.80 - 1 - 1.2 \text{ mm}$

**Fuente:** Tapia N. y Velez J. (2022)

#### 10.4.8. Mecanizado fresadora CNC en materiales no ferrosos

Las placas de circuito impreso generalmente están formadas por un material conductor donde se realiza el trazado de las pistas comúnmente cobre además de este material existen PCB que tiene como material conductor el aluminio, plata y aleaciones con bajo contenido de oro.

Con la fresadora CNC implementada es posible mecanizar materiales no ferrosos tales como cobre, bronce, cerámica mecanizable, níquel y plata. Algunos de estos materiales son mecanizados como conductores en circuitos eléctricos y otros como la cerámica mecanizable se aplican como aislantes eléctricos.

A continuación, se muestra una tabla con la velocidad de corte y las revoluciones por minuto del motor herramienta.

**Tabla 16.** Parámetros de mecanizado en materiales no ferrosos

Material	Velocidad de corte (m/seg)	R.P.M
Cobre	25	7900
Níquel	25	7950
Cerámica mecanizable	15	4800
Bronce corriente	15	4800
Cristal mecanizable	25	7950
Plata	25	7900

**Fuente:** Tapia N. y Velez J. (2022)

#### 10.4.9. Selección del motor herramienta

“El concepto de motor spindle, encierra varias acepciones y hoy vamos a dar luz al tema. Spindle en inglés, significa huso o husillo, existen varios tipos de husillos en el mercado para máquina herramienta.

Una de sus características es el sistema de accionado que puede ser por transmisión de correa o bien por acoplamiento de mordaza con junta” (GDM, 2021).

El motor herramienta ensamblando en la fresadora CNC cumple con las características para el mecanizado de pistas, perforaciones y bordes de las placas de circuito impreso, cuenta con una potencia de 200 W y 8000 revoluciones por minuto.

**Figura 24.** Motor herramienta



Fuente: Tapia N. y Jordan Velez (2022)

#### 10.4.7 Selección de motores paso a paso

“Los motores paso a paso son dispositivos electromagnéticos, rotativos, incrementales que convierten pulsos digitales en rotación mecánica. La cantidad de rotación es directamente proporcional al número de pulsos y la velocidad de rotación es relativa a la frecuencia de los pulsos” (Huntley).

La máquina CNC necesita ejecutar movimientos en los ejes x, y, z con un mínimo margen de error por esto es importante el uso de motores paso a paso, los motores ensamblados cumplen los parámetros, cada pulso eléctrico permite un giro de  $1.8^\circ$ , su consumo de corriente es de 2 amperios.

**Figura 25.** Motor paso a paso

Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

## 10.5. Cálculo de parámetros de fresado y taladrado

### 10.5.1. Resultados de fresado

Los cálculos obtenidos mediante los parámetros de fresado se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 17.** Resultados de fresado para el dimensionamiento de la CNC

Parámetros	Fórmula	Resultado
Número de revoluciones	$n = \frac{V_c \times 1000}{D_c \times \pi}$	7957 R. P. M
Velocidad de corte	$V_c = \frac{\pi \times D_c \times n}{1000}$	25 m/min
Velocidad de avance	$V_f = f_z \times n$	215 m/min
Grosor máximo de viruta	$h_{ex} = f_z \times \sin KAPR$	0.02 mm
Fuerza de corte	$f_c = f_k \times a_c$	21.6 N
Potencia de corte	$P_c = \frac{a_e \times a_p \times V_f}{60 \times 1000}$	36 W
Potencia eléctrica	$P_e = \frac{100 \times P_c}{n_e}$	42.35 W
Potencia eléctrica requerida	$P_{er} = P_e \times F_s$	64 W

Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

Se elige un motor splinde o herramienta cuya potencia supere los 64 W.

### 10.5.2. Resultados de taladrado

Los cálculos obtenidos mediante los parámetros de taladrado se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 18.** Resultado de taladrado para el dimensionamiento de la CNC

Parámetros	Fórmula	Resultado
------------	---------	-----------

Número de revoluciones	$n = \frac{V_c \times 1000}{D_c \times \pi}$	7957 R.P.M
Velocidad de avance	$V_f = f \times n$	25 m/min
Fuerza de empuje en el eje X	$F = 11.4 \times F_m \times d(100 \times f)^{0.85}$	15.86 N
Potencia de corte	$P_c = 1.25 \times d^2 \times F_m(0.05 + 1.5 \times f)$	20.92 W
Potencia eléctrica	$P_e = \frac{100 \times P_c}{n_e}$	24.61 W
Potencia eléctrica requerida	$P_{er} = P_e \times F_s$	36.91 W

Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

La potencia requerida para el taladrado es de 37 W.

### 10.5.3. Resultados de potencia y toque de mecanismos sin fin

Los cálculos obtenidos de los mecanismos que transmiten el movimiento circular el lineal se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 19.** Resultados para mecanismo fin.

Mecanismo sin fin	Potencia	Torque
Eje X	51.22 W	40.10 N/mm
Eje Y	59.43 W	62.45 N/mm
Eje Z	36.34 W	38 N/mm

Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

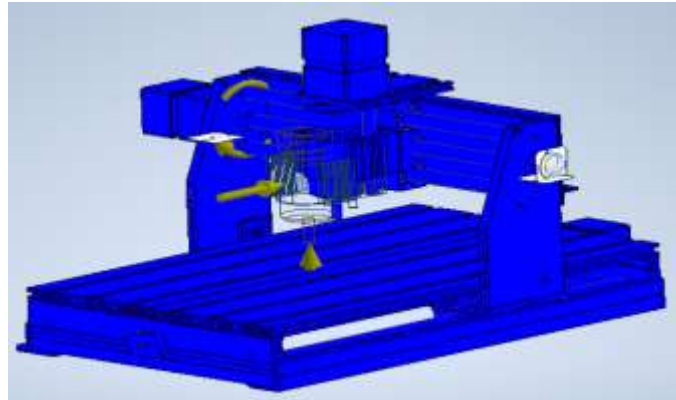
Se establece un diámetro de los tornillos sin fin de los tres ejes de 11 mm el mismo que será capaz de soportar los parámetros de potencia y toque para poder ejercer movimientos exactos en el mecanizado.

El motor splinde o herramienta implementado en la máquina fresadora CNC tiene una potencia de 200 W y 8000 revoluciones por minuto, con esto es posible un correcto mecanizado en el trazado de pistas, bordes y las perforaciones, se podrá mecanizar materiales no ferrosos como el cobre, bronce, plata, entre otros.

### 10.5.4. Análisis de resistencia

Analizamos la resistencia del tornillo sin fin principal, para determinar la confiabilidad del diseño del mismo, el cual es de diámetro de 12 mm. Lo simulamos en el software Autodesk Inventor, aplicando las cargas calculadas anteriormente.

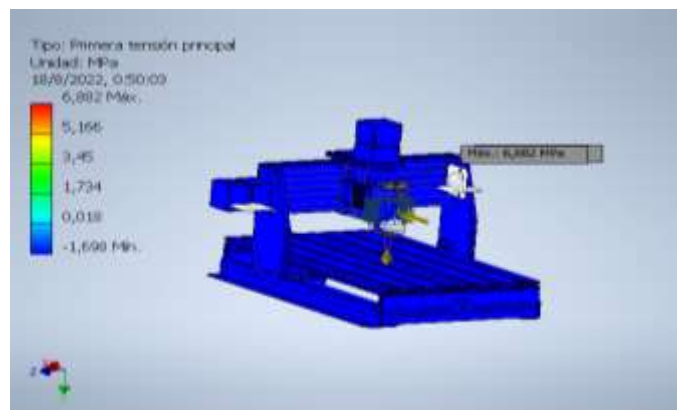
**Figura 26.** Diagrama de cargas



**Fuente:** Tapia N. y Velez J. (2022)

Se obtiene las tensiones máximas, con valor de 6,8 Mpa, según la figura de simulación de esfuerzos.

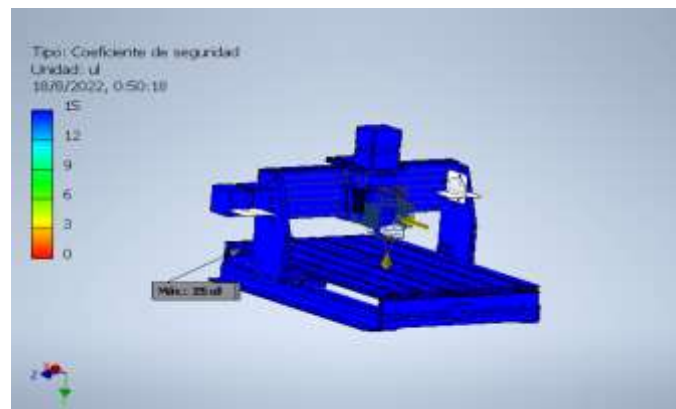
**Figura 27.** Tensiones máximas



**Fuente:** Tapia N. y Velez J. (2022)

Verificamos el factor de seguridad del diseño, el cual se obtiene con un valor máximo de 15, por tanto, el diseño es confiable y seguro en cuanto a resistencia mecánica.

**Figura 28.** Factor de seguridad de diseño



**Fuente:** Tapia N. y Velez J. (2022)



## 10.6. Especificaciones

Se establecen las siguientes dimensiones de las especificaciones para el diseño de la máquina CNC:

- Estructura de aluminio de dimensiones generales de 50 x 60 cm, correspondiente a la mesa, y una altura de 40 cm.
- Transmisión de tornillo y tuerca.
- Fuente de movimiento con motores de paso.
- Voltaje de operación de 110V.
- Lenguaje de operación CODIGO G.
- Volumen útil de trabajo 30 x 40 x5 cm en los ejes X, Y y Z.
- Potencia de motor herramienta: 200 W.
- Herramientas de corte en carburo de tungsteno.

## 11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Se realiza la toma de datos de la elaboración de 3 tipos de PCBs, para analizar el comportamiento de los parámetros y análisis de resultados.

### 11.1. Medición de consumos y costos en la elaboración de placas PCB

Para poder obtener el consumo y los costos de elaboración de realizaron tres pruebas con el trazado de pistas, borde y perforaciones. Durante la elaboración de placas PCB de dimensiones 26x32; 26x40 y 40x42 mm, se mide el consumo de energía eléctrica y el tiempo de operación, se expresa en la siguiente tabla:

**Tabla 20.** Parámetros de consumo

PCB (mm)	TIEMPO DE ELABORACIÓN (min)	POTENCIA USADA (kW)	CONSUMO DE ENERGÍA (kW/h)	COSTO DEL kW/h	PRECIO DE BAQUELITA	COSTO TOTAL
26x32	10:00 min	1,02	0,51	\$ 0,09	\$ 0,10	\$ 0,19
26x40	12:00 min	1,02	0,55	\$ 0,09	\$ 0,12	\$ 0,21
40x42	20:00 min	1,02	0,58	\$ 0,09	\$ 0,17	\$ 0,26

Fuente: Tapia N. y Velez J.

Analizando los datos obtenidos de la medición, se aprecia que los costos de operación incluido material son fluctúan entre 0,19 y 0,26 dólares, lo cual es un valor bajo, en comparación a otros métodos.

Los tiempos de operación registran como máximo 20 min, indicador de que es un tiempo aceptable para la elaboración de una de estas placas. En la siguiente imagen se evidencia la operación de la máquina, en la elaboración de las PCB.

**Figura 29.** Elaboración de placas PCB



**Fuente:** Tapia N. y Velez J.

## 11.2. Costo de PCB por centímetro cuadrado

Luego de realizar el mecanizado de PCB de diferentes medidas se puede obtener un cálculo de costo en dólares por cada centímetro cuadrado. Para la fabricación de PCB se necesita de la materia prima que es la baquelita, el costo promedio de este elemento es de \$ 2.00 con medida de 10x20 cm es decir 200 cm<sup>2</sup>, adicional a esto se incluye el consumo energético de la máquina CNC el cual es muy bajo 1.02 kW/h, el mecanizado de una placa de circuito impreso de 16.8 cm<sup>2</sup> tarda un promedio de 20 minutos incluyendo el trazado de pistas, bordes y perforaciones.

Como resultado se obtiene que el costo de cm<sup>2</sup> de las PCB incluyendo el consumo energético de la maquina CNC es de \$ 0.02. Este precio puede tener un mínimo margen de variación según el tiempo de mecanizado, ya que a mayores dimensiones de placa a mecanizar mayor será el consumo energético.

### 11.3. Proceso de diseño y mecanizado de PCB

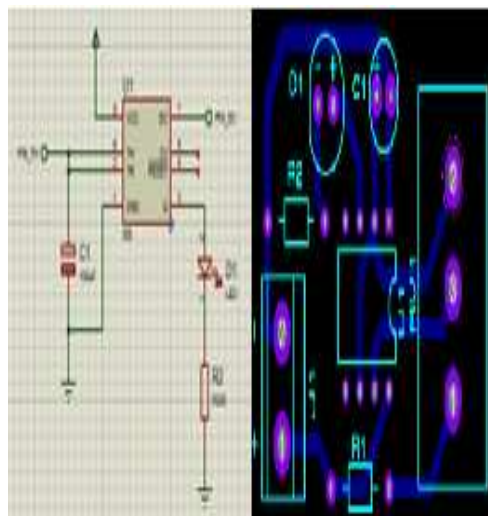
Para el proceso de diseño y mecanizado de las placas de circuito impreso es necesario el uso de software de diseño eléctrico, un programa para generación de códigos G y finalmente un controlador para el mecanizado.

#### 11.3.1. Diseño de pistas y perforaciones

El diseño de pistas y perforaciones se lo realiza mediante Proteus 8 Profesional el cual es un programa de diseño eléctrico donde se puede obtener los elementos electrónicos que se ensamblan en las placas de circuito impreso mediante un esquema eléctrico, posteriormente con el uso de diseño de PCB se realiza el trazado de las pistas y perforaciones con medidas iguales a las que se ocuparan en el mecanizado.

Este software genera archivos Gerber y Excellon para posteriormente ser convertidos en códigos G.

**Figura 30.** Esquema eléctrico y trazado de pistas



**Fuente:** Tapia N. y Velez Jordan (2022)

#### 11.3.2. Generar códigos G en FlatCAM

FlatCAM es un programa que permite convertir los archivos generados en Proteus tanto Gerber que corresponde a las pistas y Excellon en código G, adicional a ello es posible generar el borde de las placas de circuito impreso.

FlatCAM permite establecer parámetros del mecanizado como la velocidad de avance, profundidad de corte axial y altura de trabajo del eje z.

**Figura 31.** Parámetros de mecanizado en FlatCAM

**Fuente:** Tapia N. y Velez J. (2022)

### 11.3.3. Mecanizado de PCB en CNC USB Controller

El controlador CNC USB permite ejecutar el mecanizado de las placas de circuito impreso mediante la interpretación de código G, con esto es posible realizar el trazado de pistas, bordes y perforaciones. Se recomienda realizar primero el mecanizado de pistas, luego el borde de la placa de circuito impreso y finalmente las perforaciones, de esta manera se facilitará el cambio de la herramienta.

## 12. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

El presupuesto para la implementación de la fresadora CNC para la elaboración de placas PCBs, es el descrito en la siguiente tabla:

Rubro	Materiales	Costo (usd)
	Descripción	
	Perfiles de aluminio	200
	Eje de transmisión	100
	Correas sincrónicas	50

Motores de paso	100
Controlador	60
Elementos eléctricos	20
Husillo	30
Fresas	35
<b>Sub total</b>	<b>595</b>

**Fuente:** Tapia N. y Velez J.

**Tabla 22. Costos de maquinado**

Rubro	Maquinado	Costo (usd)
	Descripción	
	Uso máquina	25
	Mano de obra	50
	<b>Sub total</b>	<b>75</b>

**Fuente:** Tapia N. y Velez J.

**Tabla 23. Costo de montaje**

Rubro	Montaje	Costo (usd)
	Descripción	
	Montaje de elementos mecánicos	30
	Montaje eléctrico	30
	<b>Sub total</b>	<b>60</b>

**Fuente:** Tapia N. y Velez J.

## 13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 13.1. Conclusiones

La máquina fresadora CNC implementada, tiene capacidad de mecanizar las placas de circuito impreso en un tiempo de 20 minutos en PCB con dimensiones de 40x40 mm incluyendo el trazado de pistas, borde y perforaciones.

En la construcción de la fresadora CNC, se requiere de alta precisión, los elementos y mecanismos que garantizan esto, son el par tornillo sin fin y la tuerca, acoplados a los motores de paso, con una rapidez de mecanizado de 80mm/segundo y una resolución de  $\pm 0.1$  mm en los tres ejes.

Para el diseño de la maquina fresadora CNC, teniendo en cuenta que la aplicación es de bajo esfuerzo, la estructura se permite ser liviana, las propiedades que tiene la aleación de aluminio 2024, presenta ventajas en las estructuras con la relación resistencia-peso.

### 13.2. Recomendaciones

Se recomienda operar el mecanizado de la máquina CNC a una velocidad trazado de 2 mm/segundo, para garantizar la buena operación, mantener a los elementos y reducir riesgos de seguridad en los estudiantes u operadores de la máquina.

Luego del mecanizado de las pistas, bordes y perforaciones se recomienda el uso de una lija de grano 360 sobre la superficie de las PCB, además es necesario realizar limpiezas periódicas luego de cada operación, pues el material desprendido al ser partículas diminutas, se aloja fácilmente en los componentes, provocando desgastes y fallas de operación.

Se recomienda capacitar a los operadores de la máquina en cuanto al funcionamiento y mantenimiento, para evitar riesgos de seguridad de los mismos, además de cuidar del correcto funcionamiento de la máquina y su respectivo mantenimiento.

## 14. REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA

Alciro Org. (2010). Plotter router fresadora cnc.

Ayala, W. (2019). MÁQUINA PARA LA FABRICACIÓN DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESO PARA. Universidad Técnica del Norte.

Bellido, M. (2021). Normas Básicas y Recomendaciones en el Diseño de pcbs. Obtenido de file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Tema5-normasbasicasyrecomendacionesendisenopcb.pdf

BUNGARD. (2017). CNC machine CCD/MTC/XL . Obtenido de <https://www.bungard.de/en/machines/cnc-machines/ccd-mtc-xl>

Caly, G., & Ruiz, A. (2017). Implementación de Máquina CNC para el Laboratorio de Mecatrónica Institución Universitaria Pascual Bravo. Institución Universitaria Pascual Bravo.

Caram, J. P. (2019). Flatcam. Obtenido de <http://flatcam.org/manual/es/introduction.html>

Conti, F. (2005). Motores paso a paso. Buenos Aires: Alsina.

- Corella, J., & Cadena, A. (2018). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO ROUTER CNC. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/14853>
- Corella, J., & Cadena, A. (2018). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO ROUTER CNC. Obtenido de <file:///E:/T-ESPE-040372.pdf>
- Espinoza, I. (13 de Septiembre de 2017). Como hacer circuitos impresos con el método de planchado. Obtenido de <http://www.electronicaivanespinoza.com/2017/09/como-hacer-circuitos-impresos-con-el.html>
- Gaibor, J., & Carrión, C. (2015). Diseño e Implementación de una Máquina CNC para la Fabricación de Placas de Circuito Impreso para Componentes SMD. Escuela Politécnica del Chimborazo.
- Gamba, C., & Peña, M. (2016). COMPARACIÓN DE DOS LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN EN CNC. UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, 22.
- Gamba, J., & Peña, M. (2016). COMPARACIÓN DE DOS LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN EN CNC. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3384/juancarlosgambasanchez2016.pdf?Sequence=3&isallowed=y>
- GDM. (11 de Junio de 2021). MOTOR SPINDLE, EXPLICACIÓN DEL CONCEPTO. Obtenido de <https://www.generaldrivermotor.com/motores/motor-spindle-explicacion-del-concepto/>
- Groover, M. (1997). Fundamentos de Manufactura Moderna. México: Prentice-Hall Hispanoamerica, S.A.
- Guallichico, D., & Zambrano, C. (2012). Programación e implementación de un pantógrafo CNC para oxicorte. Escuela Politécnica Nacional.

- Guillen, C., Duque, A., Buelvas, D., Grau, K., & Ochoa, C. (2016). Revisión de Sistemas de Fresado CNC para la elaboración de placas de circuitos Impresos PCB. *Revista I+D en TIC*, 61-66.
- Huntley, J. (s.f.). MOTORES PASO A PASO. Obtenido de [http://www.sapiens.itgo.com/motores\\_por\\_pasos](http://www.sapiens.itgo.com/motores_por_pasos)
- Jiménez, D., & Almeida, B. (2016). Implementación y Aprovechamiento de la Tecnología CNC en Modelado de Productos de Grabado Metálico a Partir de un Diseño CAD. Escuela Politécnica del Chimborazo.
- Kutanova, N. (2009). Cross-sectional instability of aluminium extrusions with complex cross-sectional shapes. Technische Universiteit Eindhoven.
- Laverde, A. (s.f.). Adelta Technologies. Obtenido de <https://www.aldeltatec.com/blog-diseno-con-normas-y-certificaciones/norma-ipc-2221b-para-diseno-de-pcb-actualizacion/#queesipc>
- Lopez, A., Ortiz, E., Padilla, G., & Tabares, H. (2013). Diseño y manufactura de prototipo de fresadora vertical cnc. México: Instituto Politécnico Nacional.
- LPKF. (2017). Especialista en aplicaciones de RF y microondas. Obtenido de <https://www.lpkfusa.com/datasheets/prototyping/s103.pdf>
- Mochón, J. (2010). Introducción a los sistemas para CAD / CAM / CIM / CAE / CAL /CAI – Estado actual y perspectivas. Academia.
- Montanaro, M., & Rivas, I. (2014). PRESENCIA DE RIGIDIZADORES EN LOS PERFILES DE ALUMINIO. Asociación de Ingeniero Estructurales.
- Ocampo, J., & Déras, I. (2014). Aplicación Integrada para Construcción de pcbs mediante Tecnología CNC y Ajuste Automático a la Superficie. *Innovare*, 27- 41.
- Ocampo, J., & Deras, I. (2015). Aplicación integrada para Construcción de pcbs mediante tecnología CNC. *Innovare revista de ciencia y tecnología*, 27 - 41.



- Orozco, J., & Álvarez, C. (2019). Aprendizaje de coordenadas absolutas y relativas empleando el juego de estrategia Batalla Naval. *Educación en Ingeniería*, 72-73.
- Ourpcb. (s.f.). Materiales Para PCB – La Guía Definitiva Para la Fabricación de PCB. Obtenido de [https://www.ourpcb.com/materiales-para-pcb.html#Laminado\\_revestido\\_de\\_cobre\\_CCL](https://www.ourpcb.com/materiales-para-pcb.html#Laminado_revestido_de_cobre_CCL)
- Pérez, M., & Quintos, R. (2018). Diseño de una máquina CNC para grabados en madera. Universidad César Vallejo.
- Quecedo, R., & Castaño, C. (2003). Introducción a la metodología de la Investigación cualitativa. *Revista de Psicodidáctica*, 5 - 40.
- Rey, F. (2013). Como hacer una placa de circuito impreso. Tutorial Placas.
- Rodríguez, F., & González, G. (2018). Automatización de una planta industrial de alimentación mediante control distribuido. *Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información*.
- SANDVIK Coromat. (s.f.). Fórmulas y definiciones del mecanizado. Obtenido de <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/aboutus/pages/default.aspx>
- Schvab, L. (2011). Máquinas y herramientas. Buenos Aires: Ministerio de educación Instituto Nacional de Educación Tecnológica.
- Sejas, M. (2017). Implementación de un prototipo de grabado de placas impresas PCB con software y hardware libre. UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES.
- Silvestre, S., Salazar, J., & Marzo, J. (2019). Proceso de diseño y fabricación de una placa. *Movet*, 1-49.

## 15. ANEXOS

### Anexo 1. Evidencia fotográfica

**Fotografía 1:** Armado de bases



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

**Fotografía 2:** Ajuste de base de motor a paso



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

**Fotografía 3:** Fijación de soporte eje Y



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

**Fotografía 4:** Trazado de pistas de PCB



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

## Anexo 2. Manual para la fabricación de PCB

### Introducción

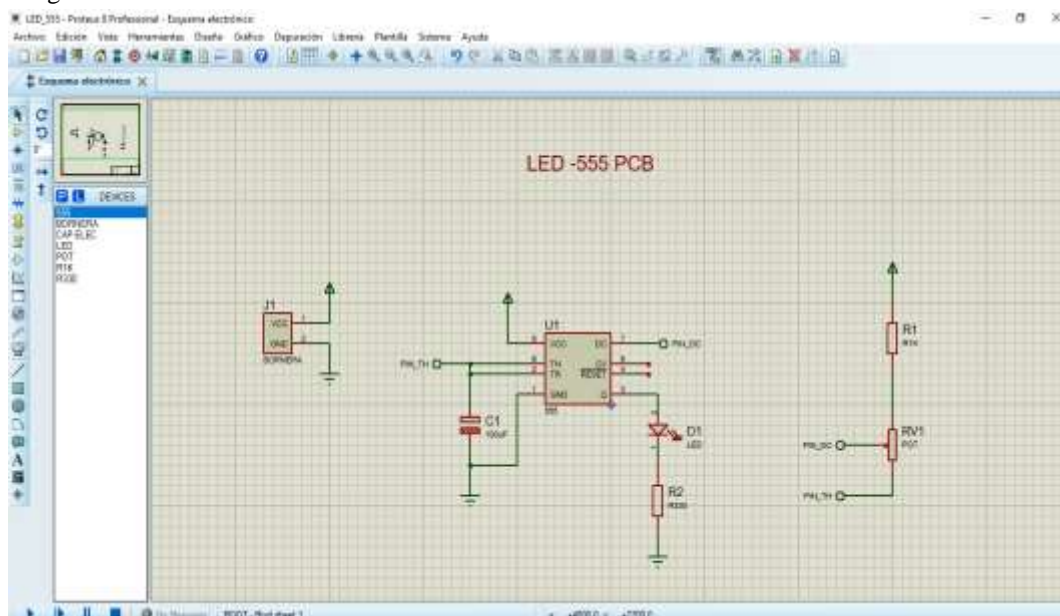
En el presente manual se demuestra los pasos a seguir para la elaboración de PCB mediante el método CNC, se muestra como es el diagrama eléctrico, el diseño de la PCB, y la creación de los archivos Gerber y Excellon en el programa Proteus 8 Profesional. Luego se muestra como convertir dichos archivos en Código G con la mediante el programa FlatCAM, seguido de esto se recurre al programa CAMotics, el mismo que es un simulador de código abierto que permite demostrar el grabado de pistas, las perforaciones y bordes de las PCB, una vez comprobado el correcto diseño se procede a la elaboración de las PCB mediante la ayuda del programa CNC USB Controller.

### Procedimiento para elaboración de PCB

#### Diagrama del circuito y diseño de PCB en Proteus 8 Profesional.

##### Paso 1

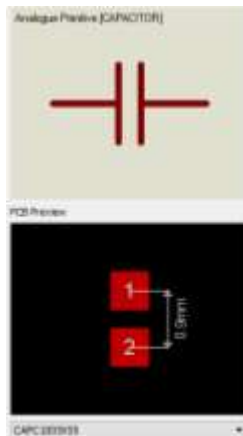
Diagrama eléctrico de PCB



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

Como primer paso se debe tener un previo diseño del circuito a ser representado en la PCB, es importante que cada elemento tenga una presentación en diseño 3D, como se muestra a continuación.

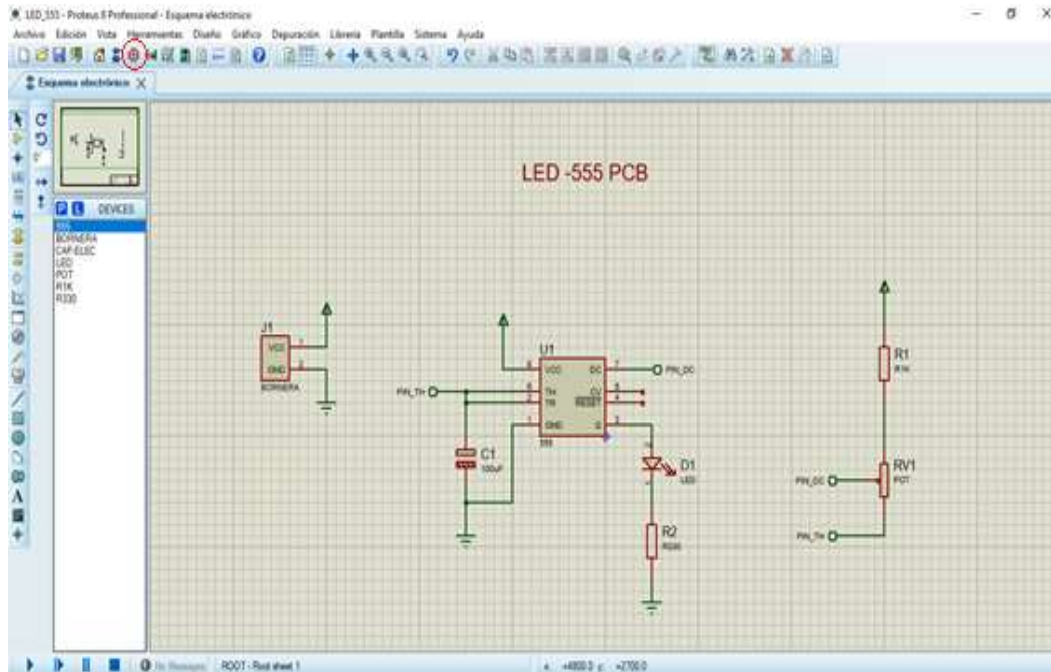
## Simbología de un capacitor



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

## Paso 2

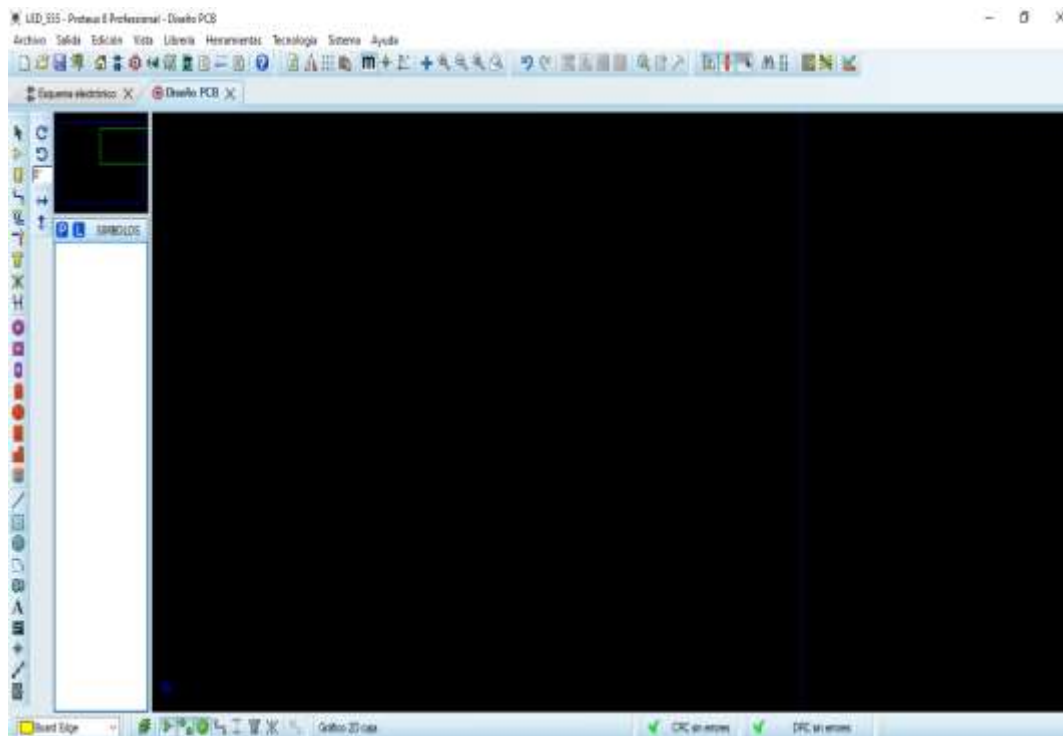
### Selección de diseño PCB



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

Luego del diseño esquemático se procede a la selección del botón Diseño PCB, el mismo que desplegará la siguiente ventana:

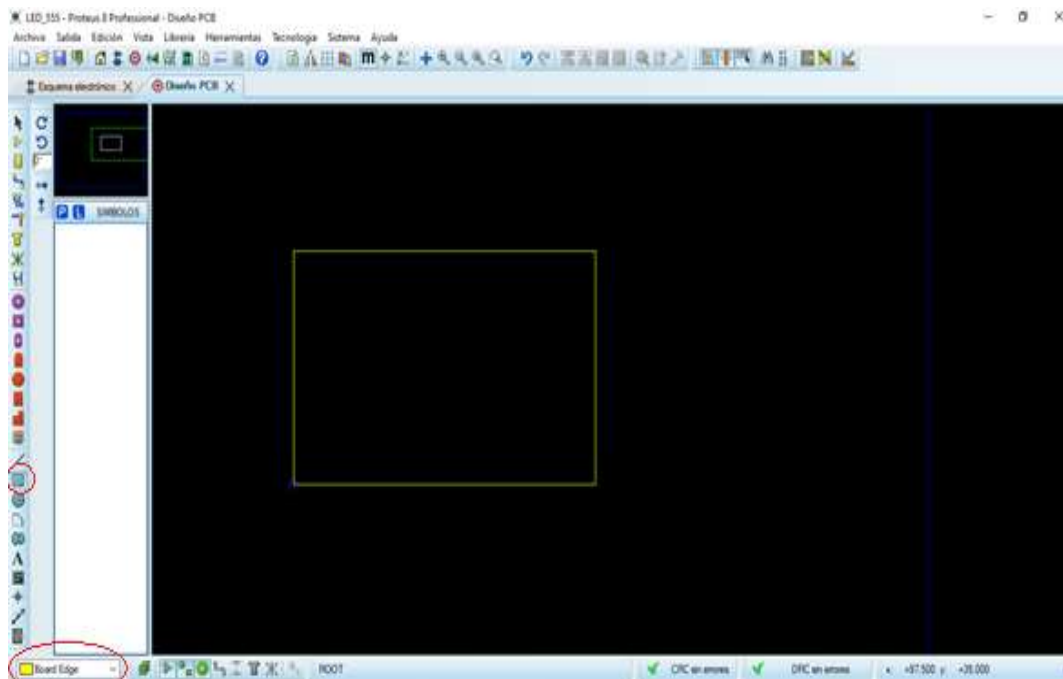
## Ventana para diseño de PCB



**Fuente:** Tapia N. y Velez J. (2022)

## Paso 3

### Diseño de borde de PCB

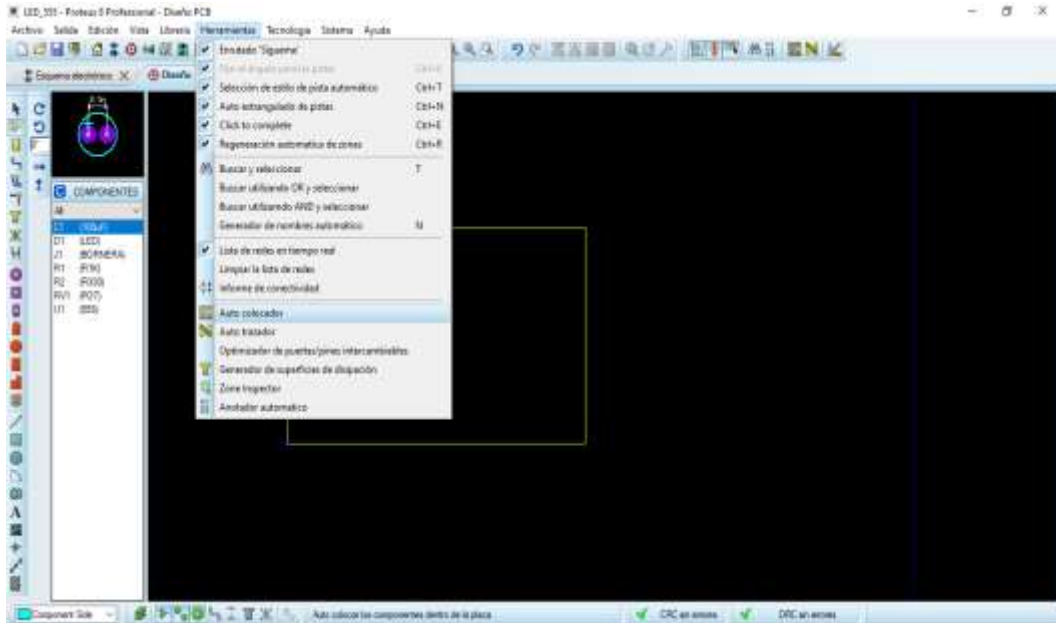


**Fuente:** Tapia N. y Velez J. (2022)

Seleccionamos el Modo Grafico 2D y luego Board Edge, con ellos será posible dimensionar el área de la PCB. Es importante fijar el borde de la PCB lo más cerca al punto de origen.

## Paso 4

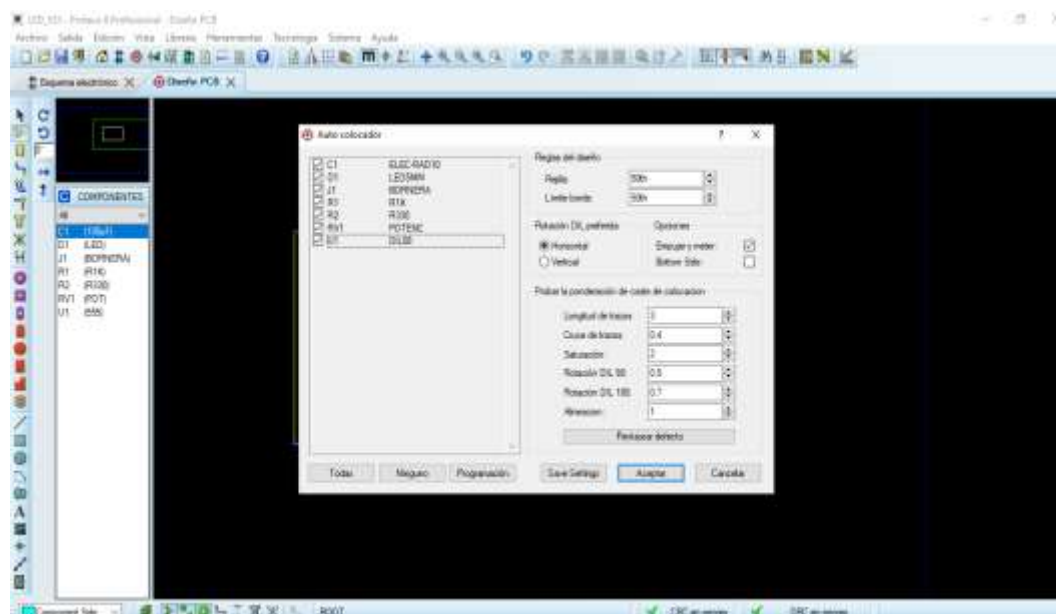
### Ventana de colocación de componentes



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

Seleccionamos el botón Herramientas y luego la opción auto colocadora. Se dará origen a una nueva ventana.

### Ventana donde se muestran los componentes

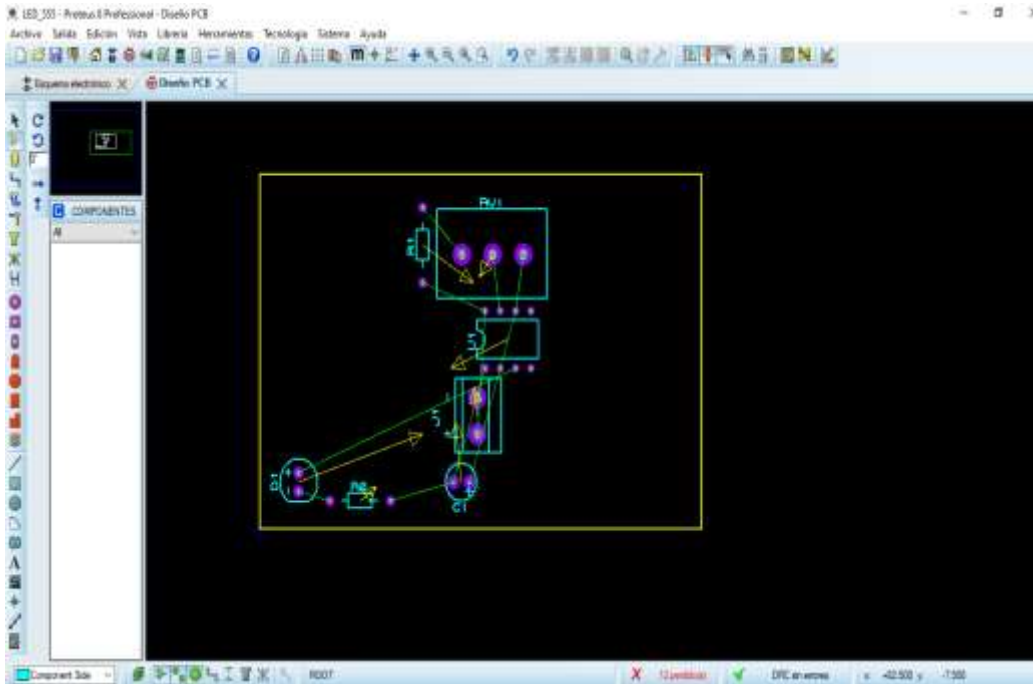


Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

En dicha ventana se deberá seleccionar todos los elementos electrónicos presentes en la PCB, como se muestra en la siguiente ventana:

Al seleccionar el botón Aceptar los componentes se colocarán de manera automática, pero de una forma desordenada. Para ordenarlos se debe seleccionar cada elemento y moverlo con las diferentes opciones que nos da el programa, como se muestra:

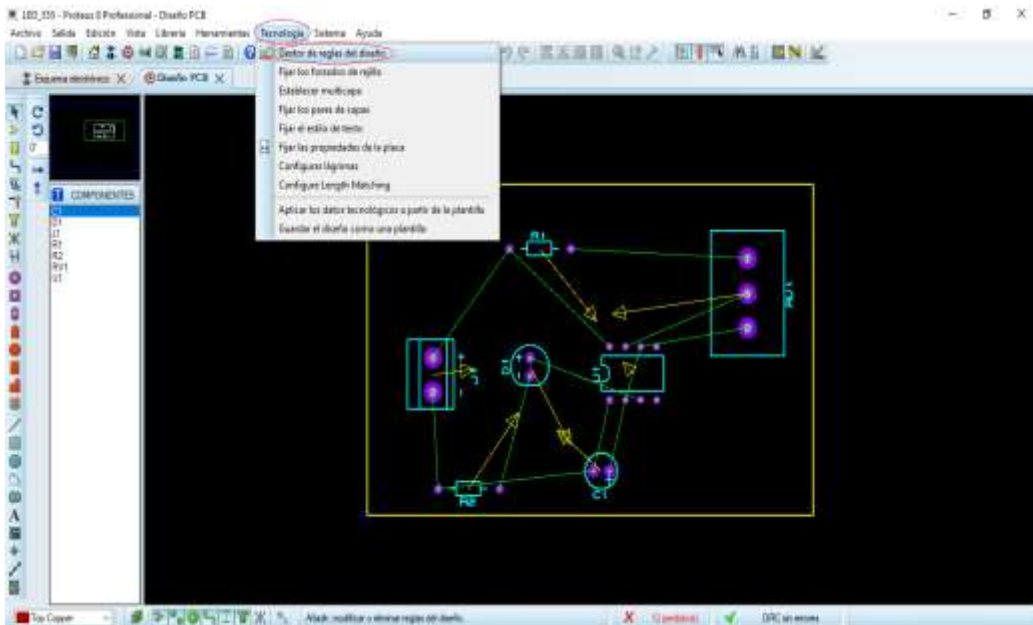
Componentes ubicados dentro del borde



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

## Paso 5

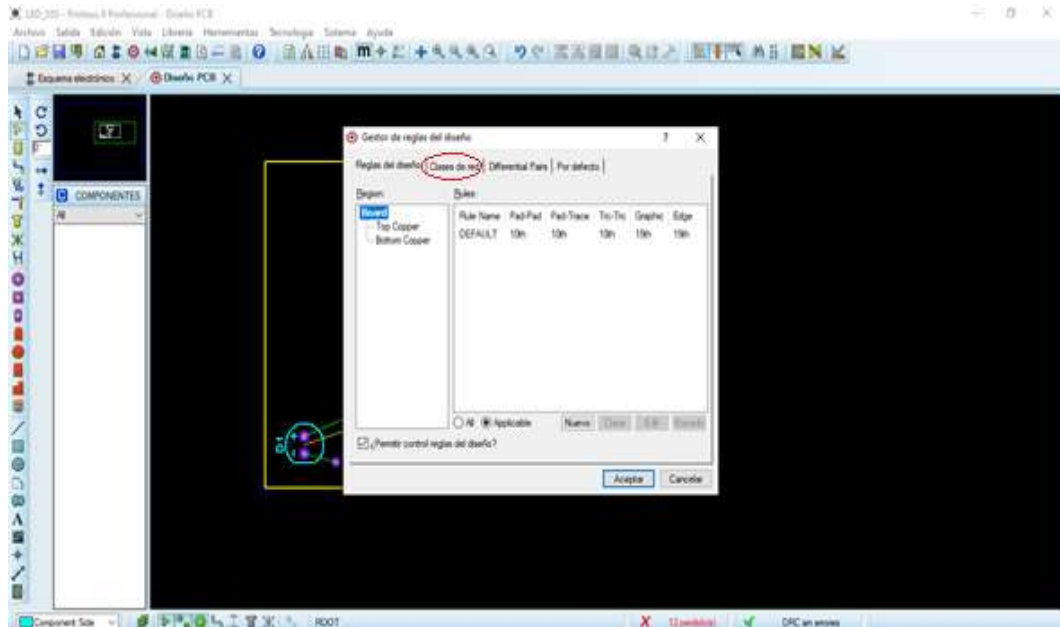
Ventana para el trazado de pistas



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

Diseño de pistas: se debe seleccionar el botón Tecnología luego Gestor de reglas de diseño, donde se desplegará la siguiente ventana.

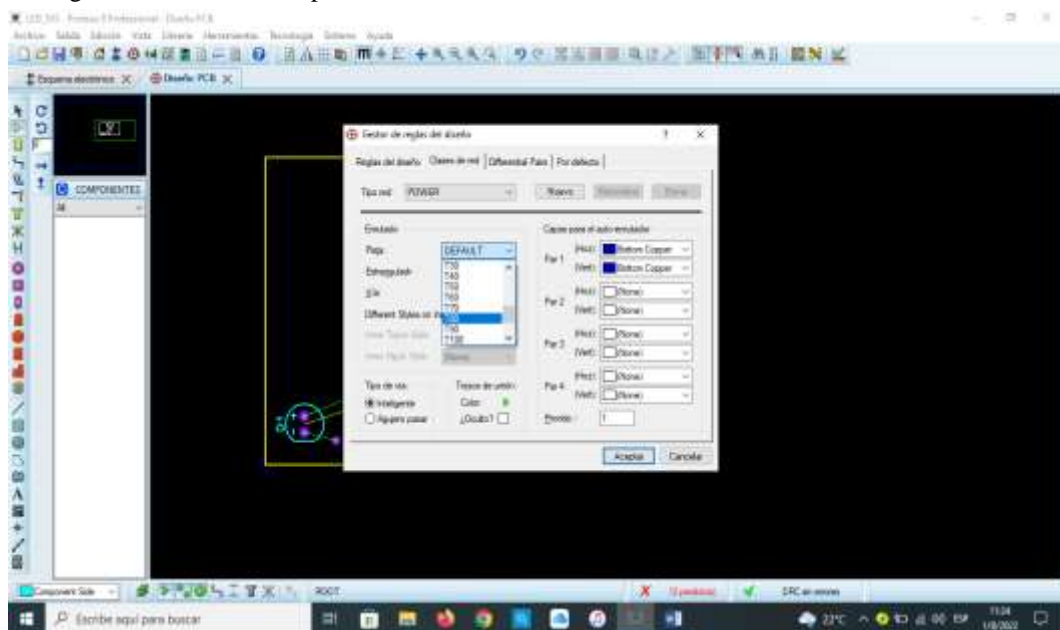
#### Configuración de reglas de diseño



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

Se debe seleccionar en el botón Clases de red para ajustar los parámetros de las pistas.

#### Configuración del ancho de pistas



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

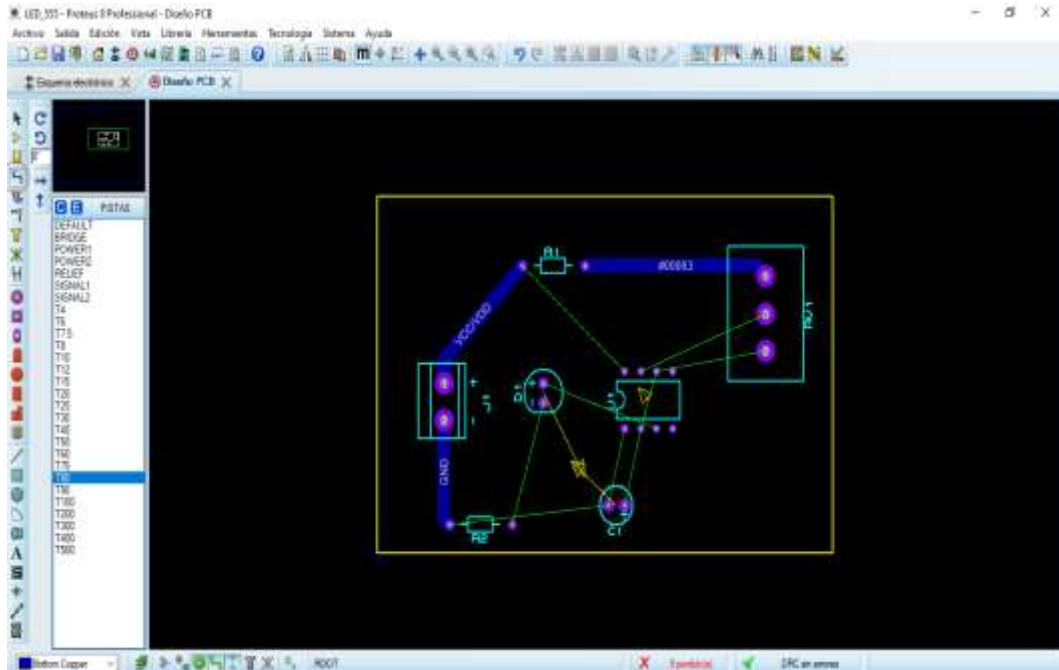
En el botón Default, tanto en signal como power seleccionamos el ancho de las pistas. Es recomendable usar entre T80, T100 y T200. En el botón capas para el auto enrutador seleccionamos las opciones Bottom Copper.



Presionamos aceptar y los parámetros se ajustarán acorde a lo establecido.

## Paso 6

### Diseño de pistas de la PCB



**Fuente:** Tapia N. y Velez J. (2022)

Seleccionamos el Modo Pista y procedemos a ejecutar cada una de las pistas acorde a los parámetros. Otra de las opciones para el diseño de pista es ir a la opción Herramientas y luego seleccionar Auto trazador.

Botón para el auto trazado de las pistas

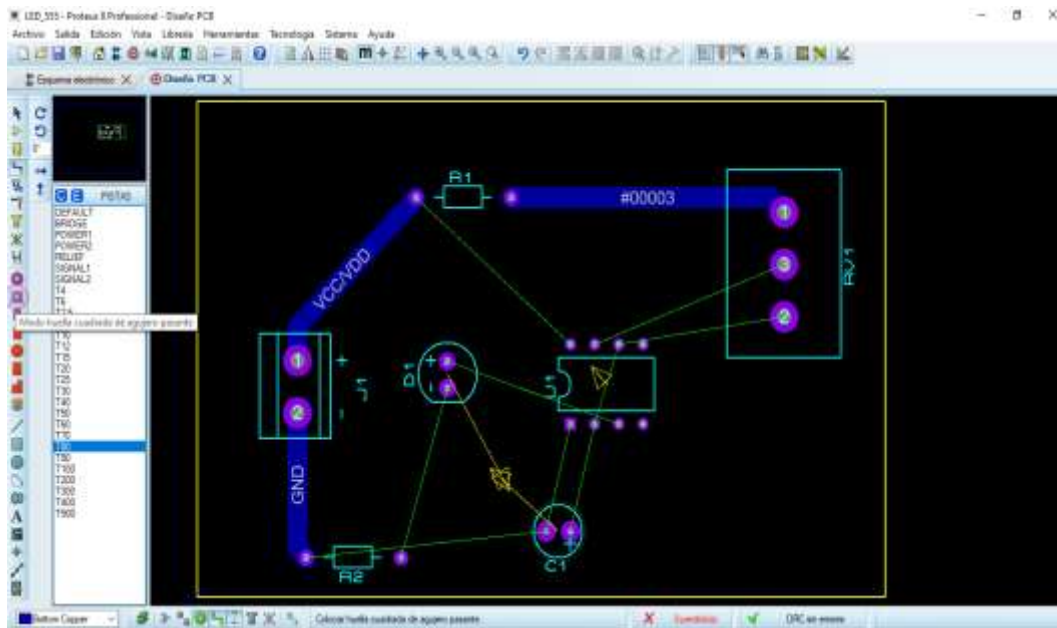


**Fuente:** Tapia N. y Velez J. (2022)

## Paso 7

Perforaciones: se procede a seleccionar el Modo Huella Cuadrada donde se da origen a los parámetros de las perforaciones.

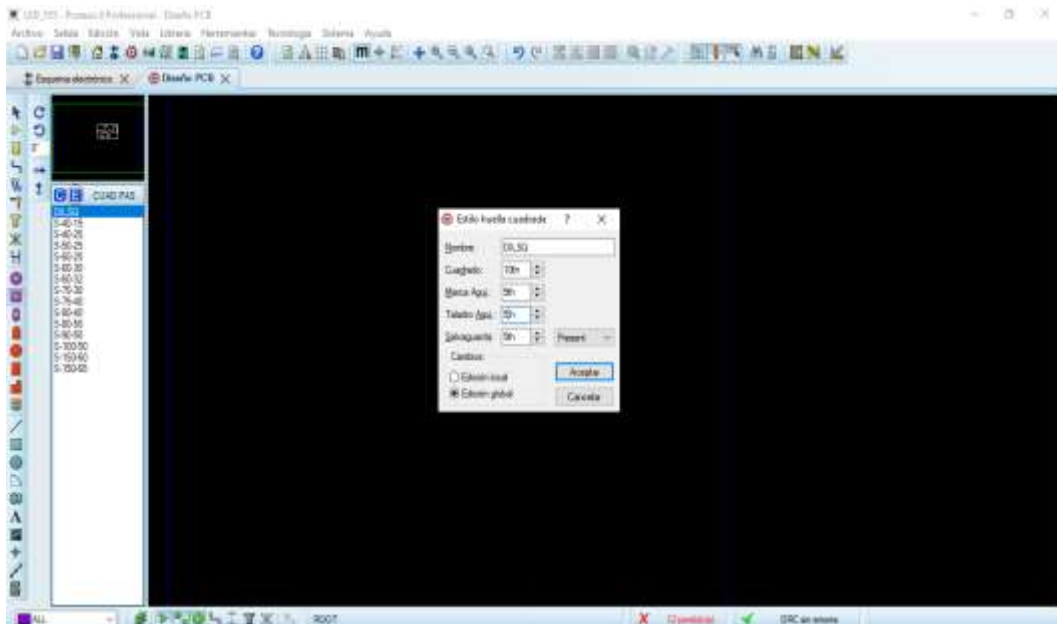
## Trazado manual de las pistas



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

Presionamos en el icono E y creamos nuevos estilos de las perforaciones. Se recomienda las siguientes medidas: 10th, 5th, 5th, 5th.

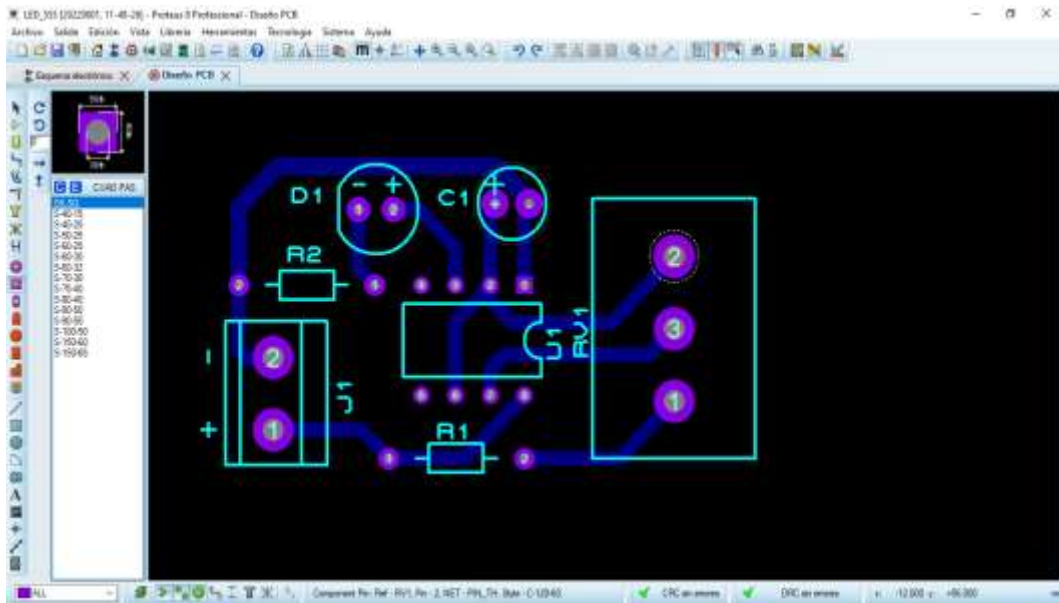
Configuración para las perforaciones.



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

Presionamos en aceptar, de esta manera se guardarán los parámetros seleccionados.

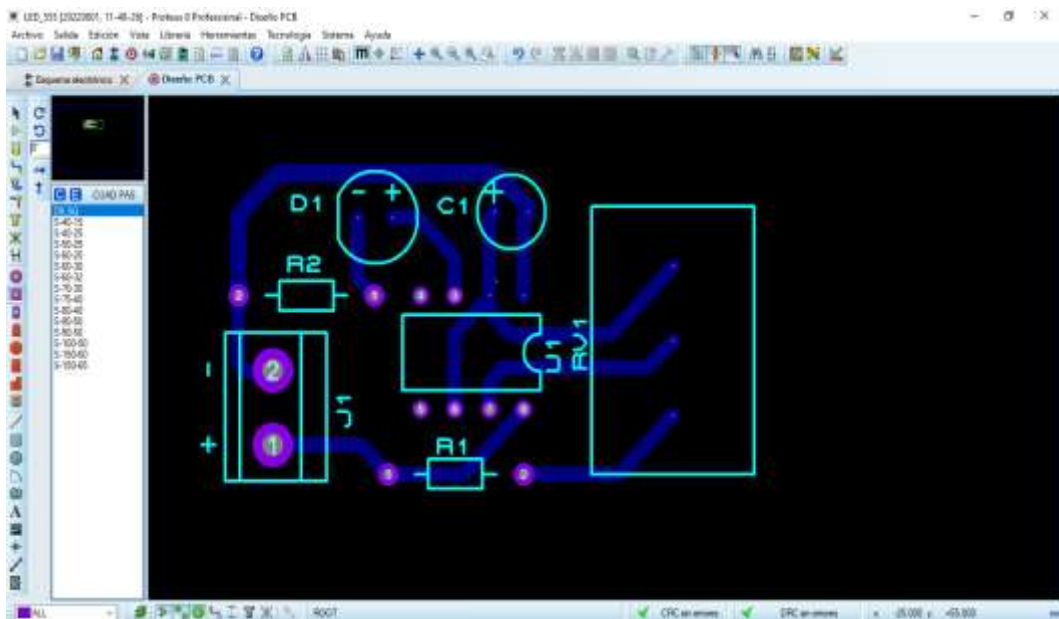
Selección del nuevo diseño de perforaciones.



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

Seleccionamos cada uno de los agujeros dando origen a nuevos tipos de perforaciones. Las perforaciones cambiaran por unas de menos tamaño como se muestra en la imagen:

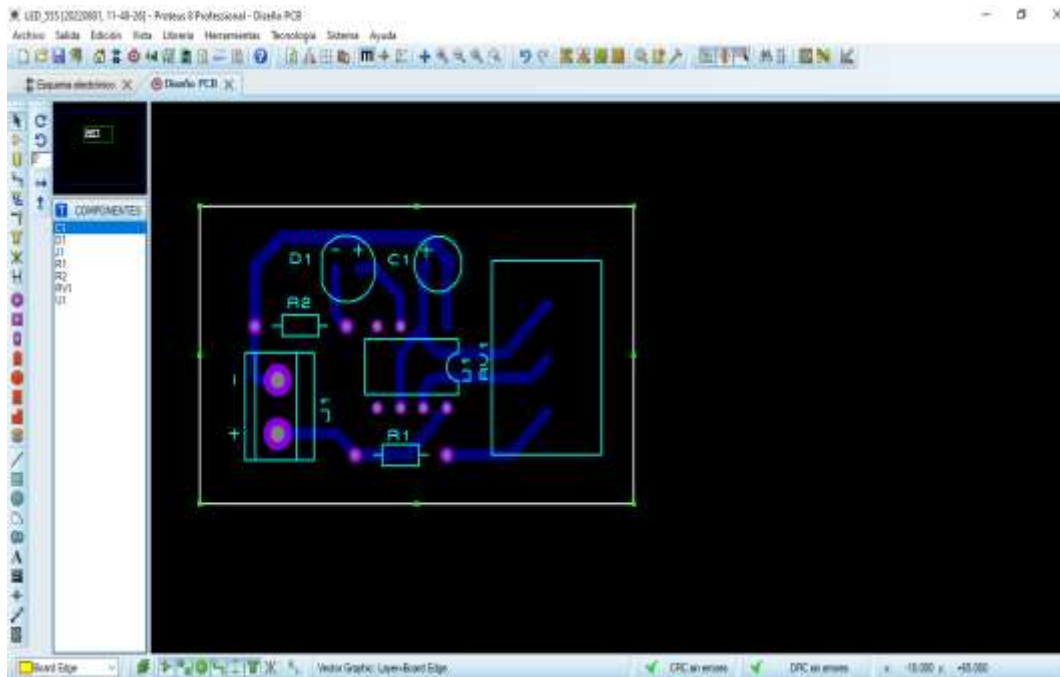
Cambio de tamaño de perforaciones.



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

## Paso 8

### Borrado del borde de la PCB

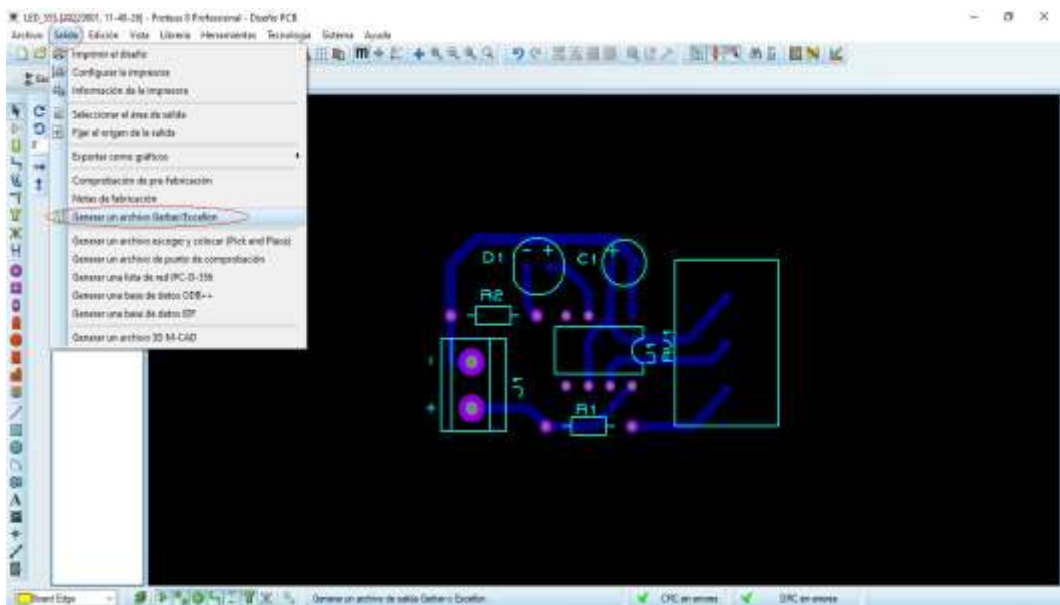


**Fuente:** Tapia N. y Velez J. (2022)

Borde: al presionar en Modo componente se podrá seleccionar el borde de la PCB en este caso lo eliminaremos, se lo realizará de manera más fácil en la aplicación FlatCAM.

## Paso 9

### Generación de archivos Gerber/Excellon



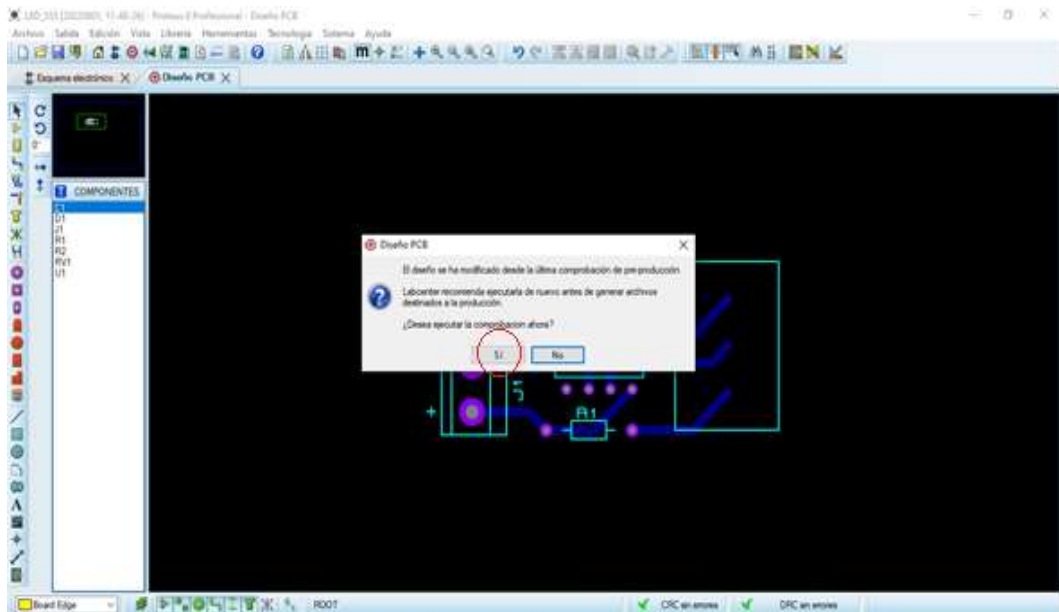
**Fuente:** Tapia N. y Velez J. (2022)

## Generar archivos Gerber y Excellon

### Paso 1

Para generar dichos archivos se debe seleccionar el botón de Salida y luego la opción Generar un archivo Gerber y Excellon, a continuación, se desplegará la siguiente ventana:

Ventana para guardar los archivos generados

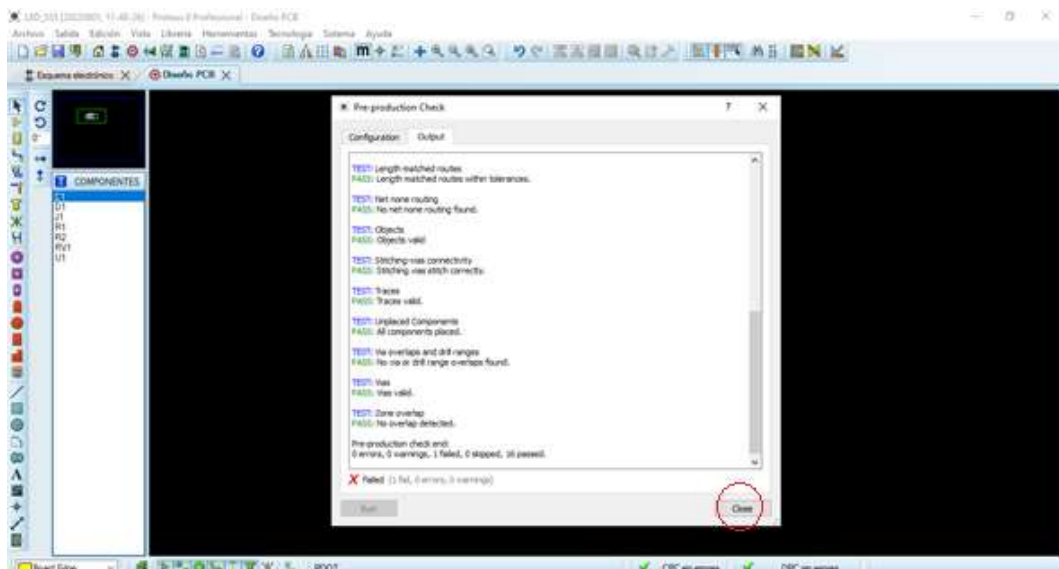


Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

### Paso 2

Se debe seleccionar en la opción Si, seguido de ello se desplegará otra ventana:

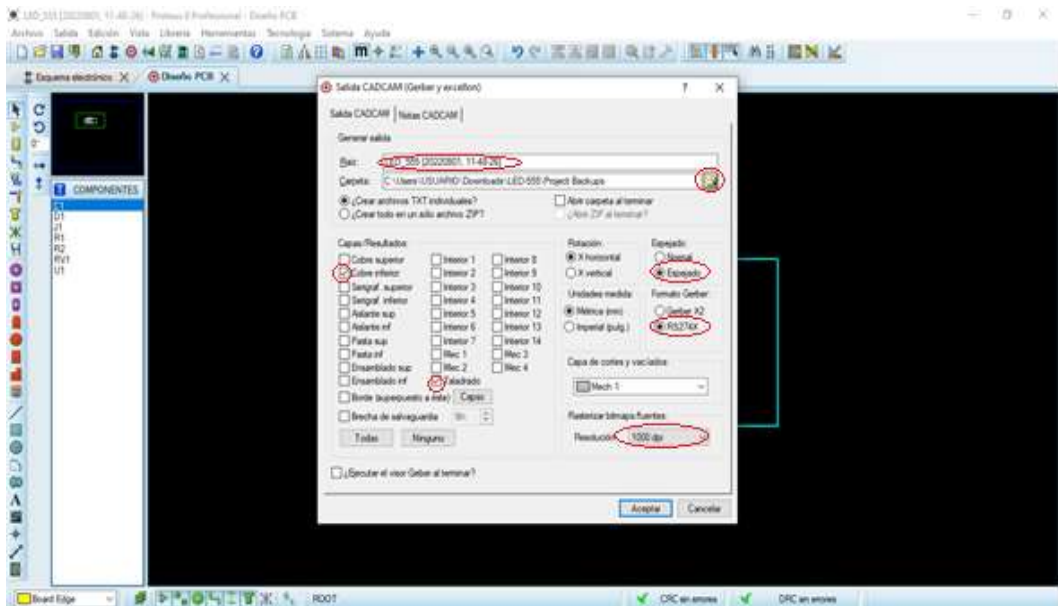
Creando archivos Geber/Excellon



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

Seleccionamos la opción Close.

Ventana de confirmación

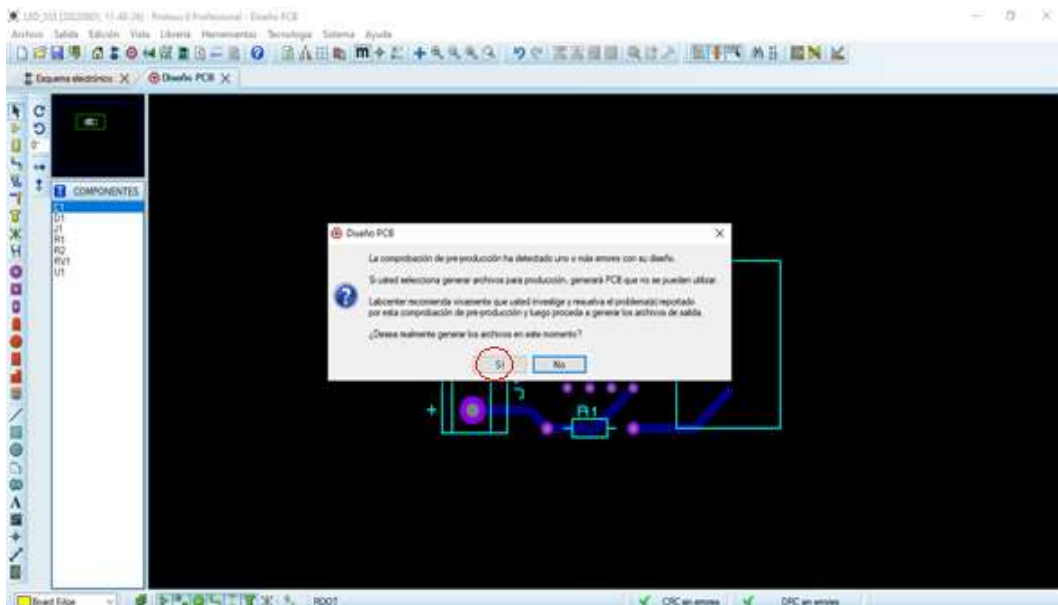


Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

Paso 2

Seleccionamos la opción Si, para continuar con el procedimiento.

Configuración para el mecanizado de pistas y perforaciones



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

Ajustamos los siguientes parámetros:

- Nombre del archivo.
- Carpeta de destino.

- Cobre inferior.
- Taladrado
- Espejado.
- Formato Gerber RS274X.
- Resolución 1000 dpi.

Seguido de seleccionar estos parámetros se elige la opción aceptar y los archivos se guardarán en la carpeta seleccionada.

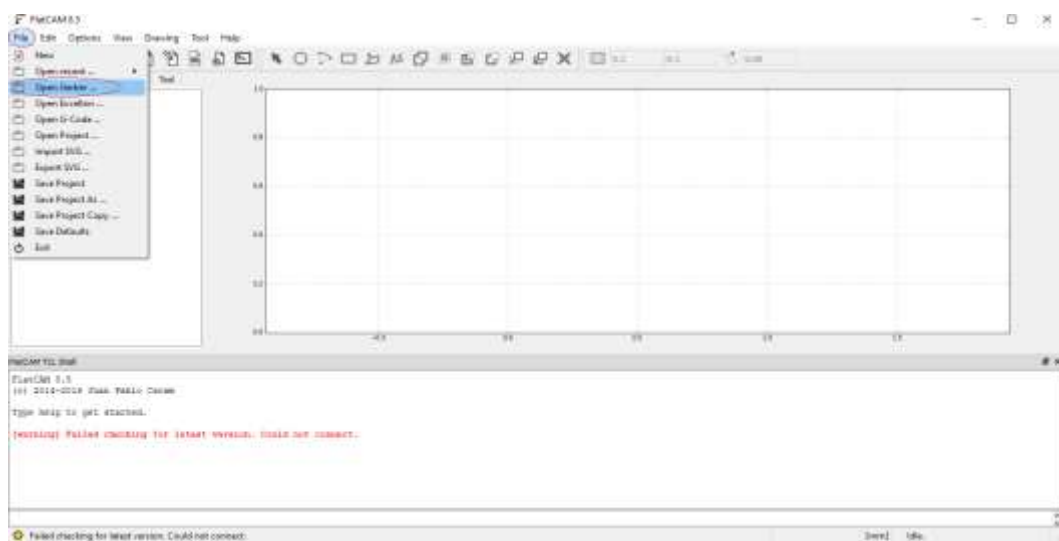
### Generar Códigos G mediante la aplicación FlatCAM

Es importante seleccionar correctamente la escala de medidas, se recomienda en mm. Para ello se debe seleccionar en Options y luego la unidad de medida deseada.

### Pistas

#### Paso 1

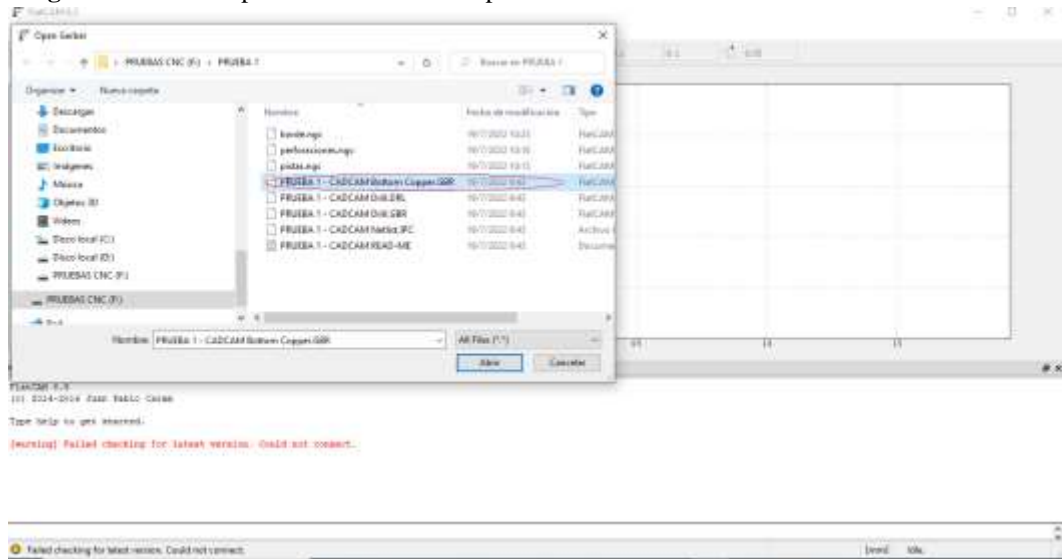
Ubicación del archivo Gerber



**Fuente:** Tapia N. y Velez J. (2022)

En la aplicación FlatCAM se selecciona la opción File, luego en Open Gerber.

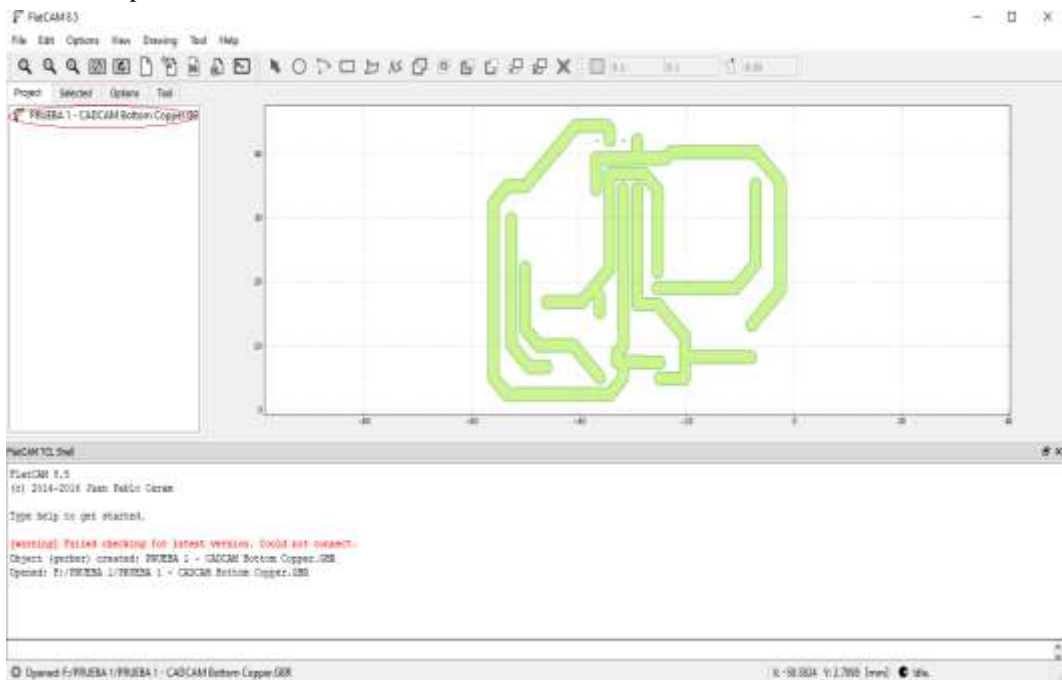
**Figura 60.** Archivo para el mecanizado de pistas



**Fuente:** Tapia N. y Velez J. (2022)

Se selecciona el archivo Bottom Copper.GBR el mismo que contiene las pistas de la PCB.

Diseño de pistas a mecanizar



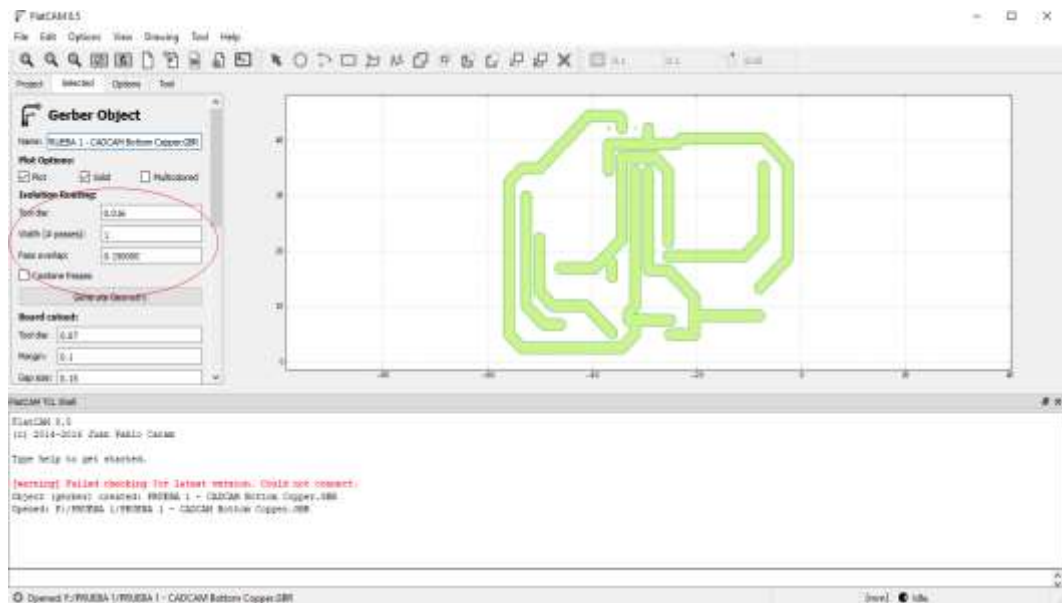
**Fuente:** Tapia N. y Velez J. (2022)

Paso 2

Se abrirá el archivo seleccionado, luego damos doble clic en el archivo generado.



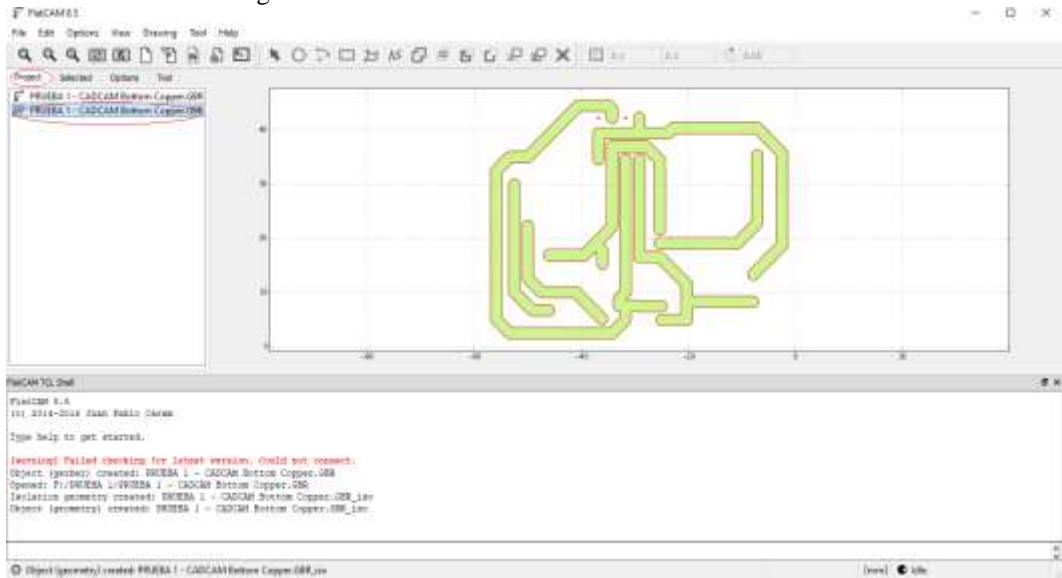
## Ajustes de parámetros de mecanizado de pistas



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

Procedemos a ajustar los siguientes parámetros: Tool dia: diámetro de la broca, generalmente 0.1. Width: número de pasadas, 1 pasada. Pass overlap: 5. Seleccionamos la opción combine passes. Luego clic Generate Geometry.

## Ubicación del archivo generado

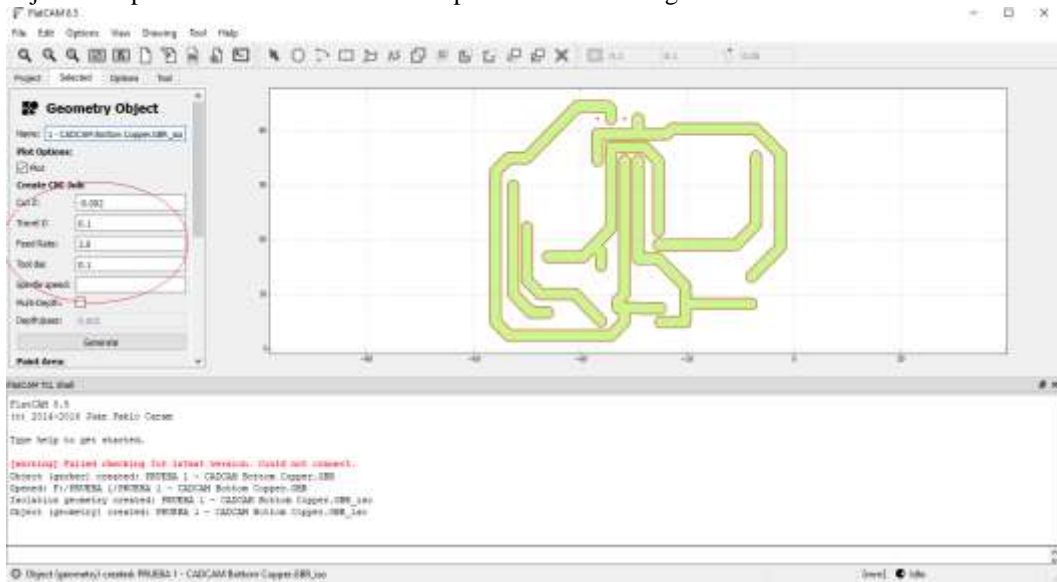


Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

## Paso 4

Regresamos a la opción Project y se puede apreciar un nuevo archivo, seleccionamos el mismo con doble clic.

Ajustes de parámetros de mecanizado de pistas en el archivo generado



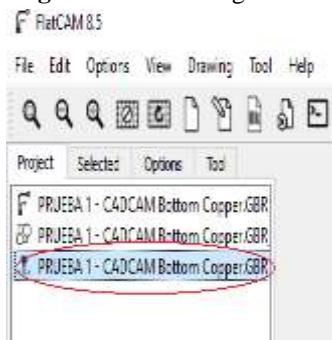
**Fuente:** Tapia N. y Velez J. (2022)

Se muestra el siguiente menú, donde configuramos los siguientes parámetros:

- Cut Z: Corte en Z de la broca: recomendado -0.05 y 0.07 mm.
- Travel Z: Altura de movimiento en Z: recomendando entre 1.5 y 2 mm.
- Feed Rate: Velocidad de avance: recomendado entre 40 o 50.
- Tool dia: Herramienta: generalmente 0.1.
- Luego clic en Generate Geometry.

Se debe regresar a la opción Project y seleccionar con doble clic el nuevo archivo:

**Figura 65.** Archivo generado

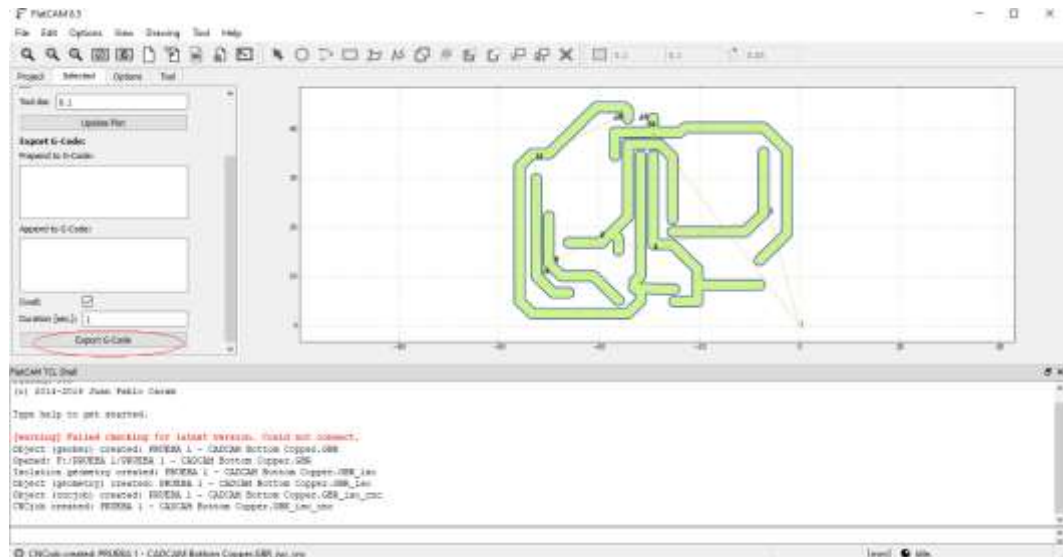


**Fuente:** Tapia N. y Velez J. (2022)

## Paso 5

Luego de elegir el nuevo archivo se desplegará la siguiente ventana:

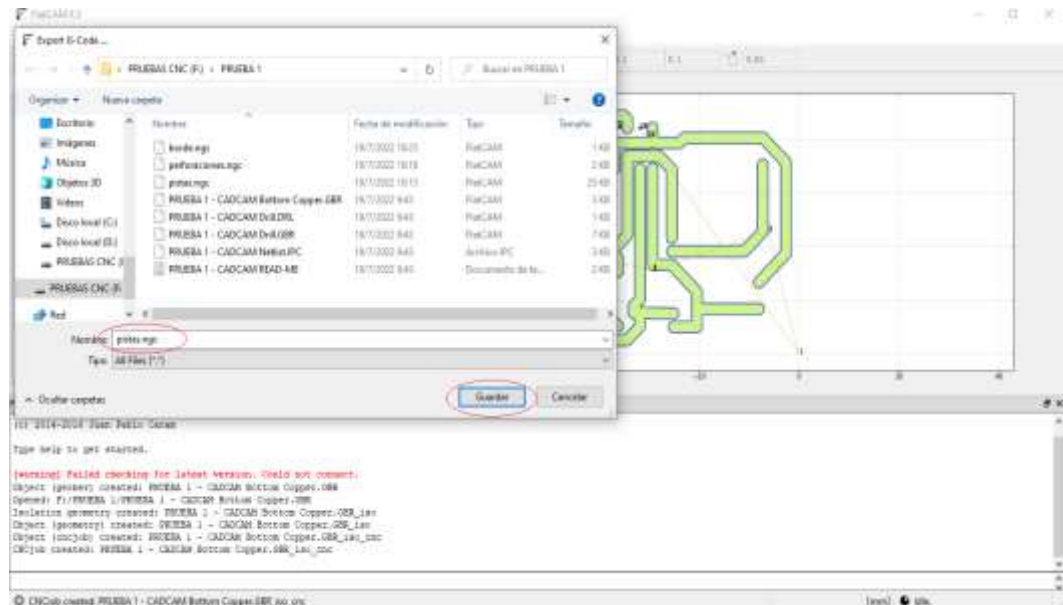
### Exportar archivo en código G



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

Seleccionamos la opción Export G-Code y se desplegará una ventana donde se debe guardar el archivo.

### Guardado de archivo



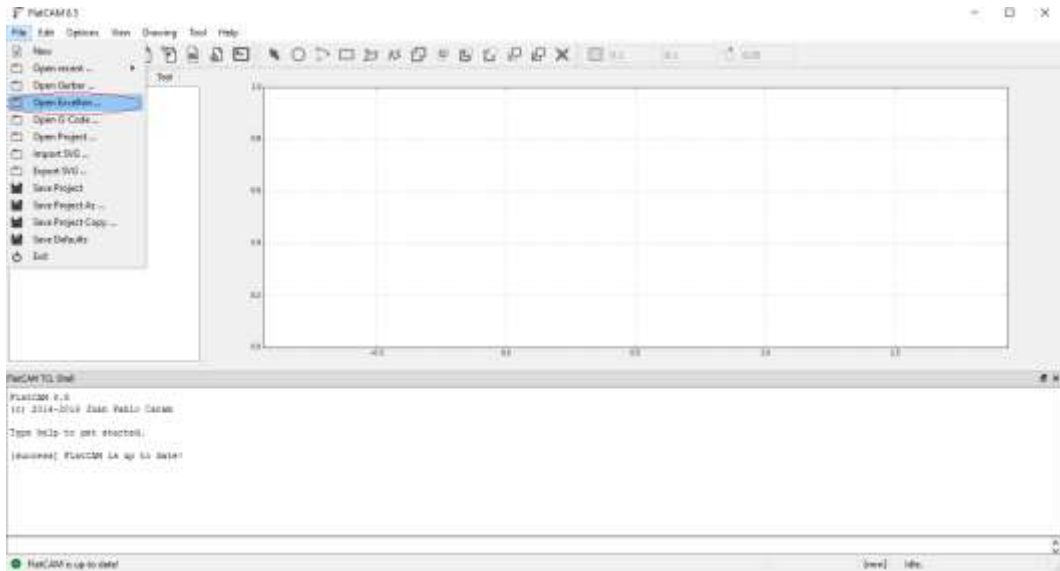
Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

Se debe asignar un nombre a nuestro archivo con la extensión .ngc (pistas.ngc) debido a que esta es la extensión va a comprender la CNC.

## Perforaciones

### Paso 1

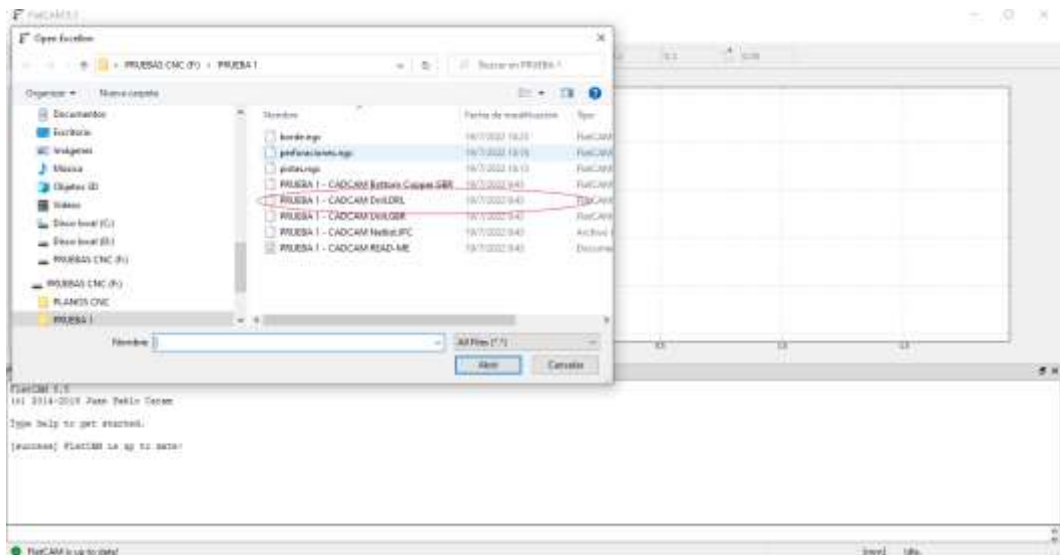
Archivo Excellon de perforaciones



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

En la aplicación FlatCAM se selecciona la opción File, luego en Open Gerber.

Ubicación del archivo de perforaciones

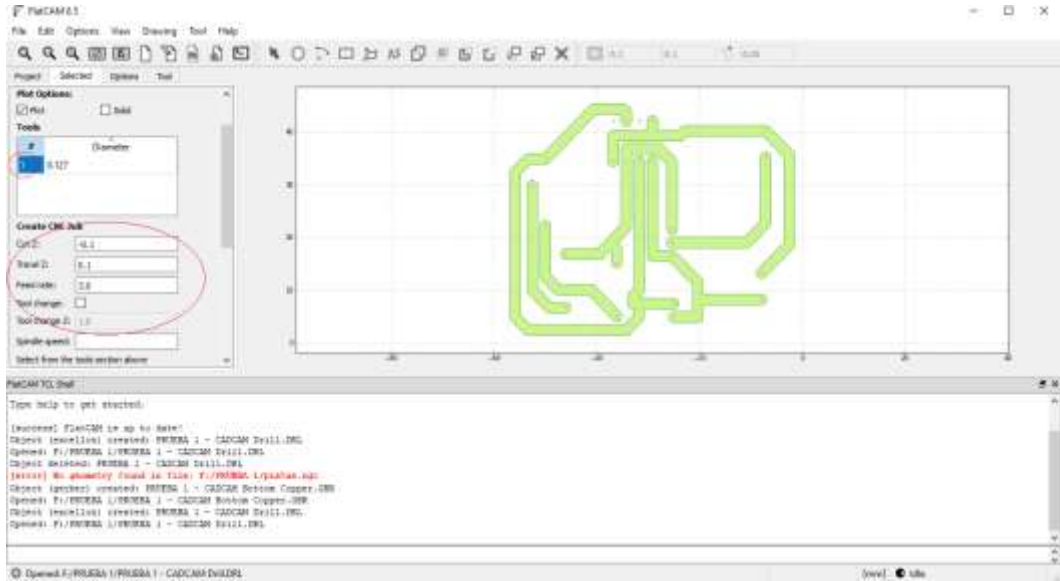


Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

Se selecciona el archivo DriL.DRL el mismo que contiene las perforaciones de la PCB. Con doble Clic seleccionamos el archivo generado.

## Paso 2

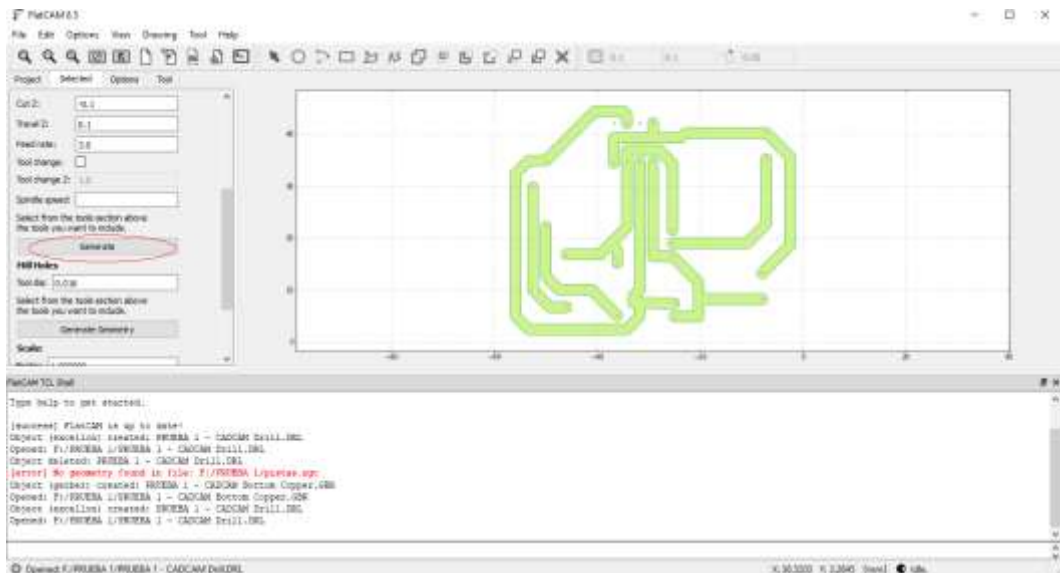
### Configuración de los parámetros de perforación



**Fuente:** Tapia N. y Velez J. (2022)

Se debe seleccionar en la opción Tools el número 1. Luego se procede a configurar los siguientes parámetros: Cut Z: corte en Z, dependerá del espesor de la baquelita. Entre -1.5, -2, -2.5 y -3. Travel Z: subida del eje Z, valor similar positivo al del corte en Z. Entre 1.5, 2, 2.5 y 3. Feed rate: Velocidad del corte. Se recomienda en 60. Luego de ello seleccionamos la opción Generate.

### Generación de nuevo archivo

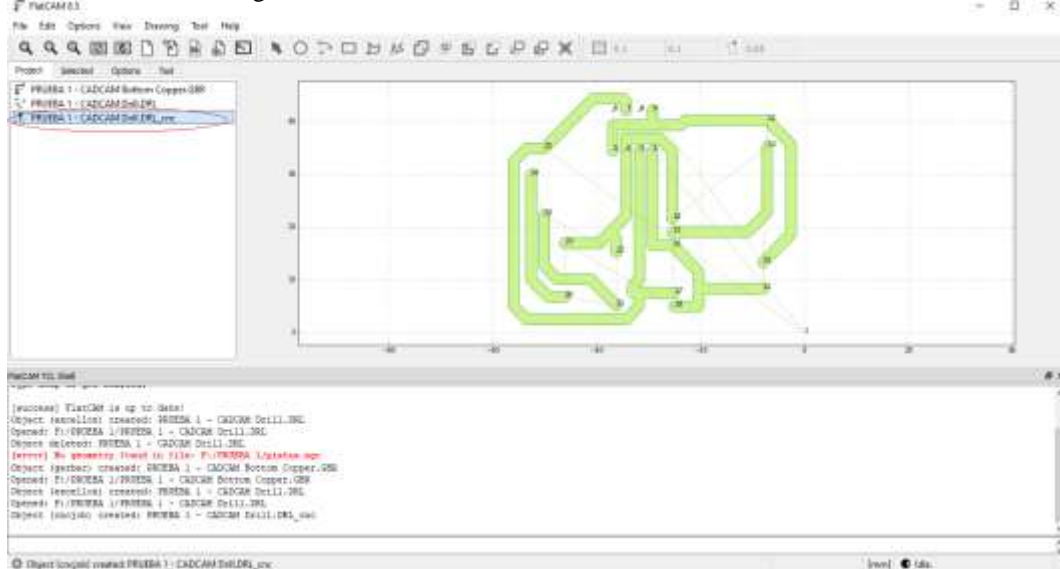


**Fuente:** Tapia N. y Velez J. (2022)

### Paso 3

Selección con doble clic el archivo generado en la opción Project.

#### Selección del archivo generado

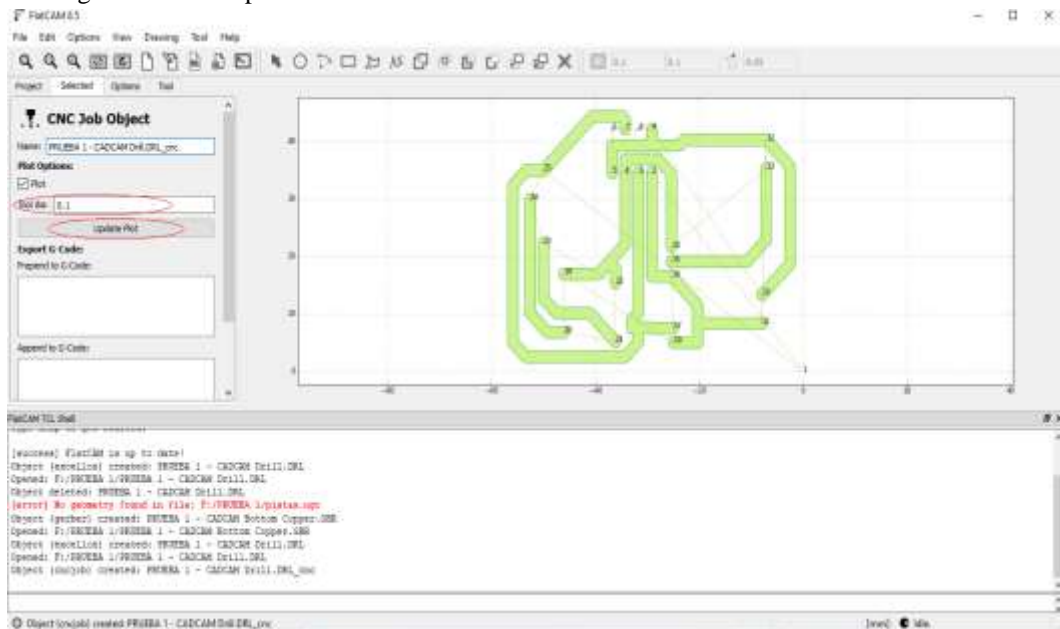


Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

### Paso 4

Luego ajustamos el parámetro Tool dia en 1.0 y seleccionamos la opción Update Plot.

#### Configuración de las perforaciones

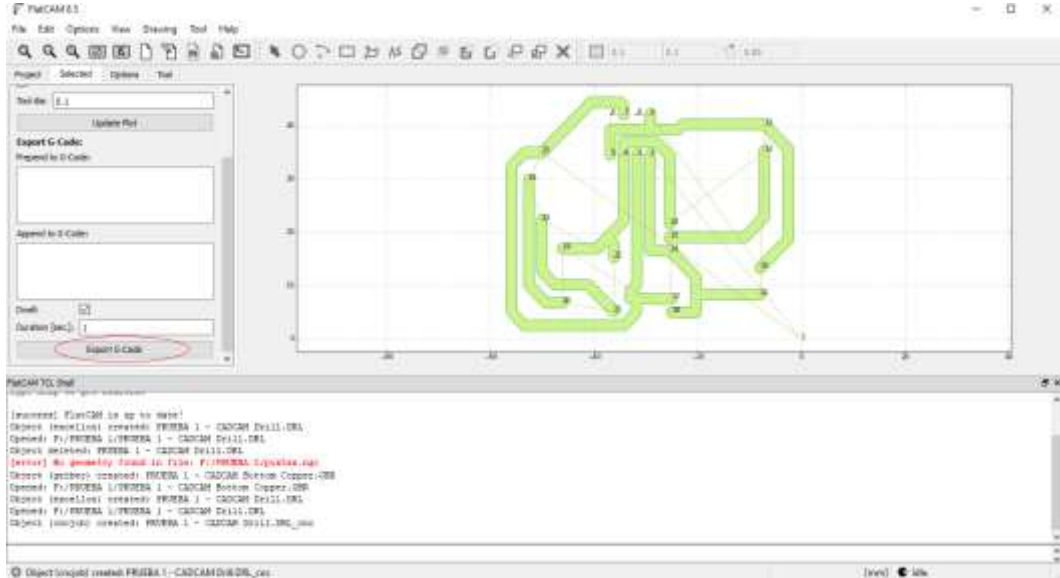


Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

## Paso 5

Luego procedemos a generar el código G como se muestra en la siguiente ventana:

Archivo de perforaciones en código G



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

Seguido de ello se debe guardar el archivo de manera similar al archivo de pistas. Se debe seleccionar la carpeta de destino luego colocar un nombre con la extensión .ngc (perforaciones.ngc).

## Borde de la PCB

### Paso 1

Para ello es necesario acudir al archivo que se generó en un comienzo. Primer archivo que se encuentra en la opción Project.

Configuración del borde de la PCB

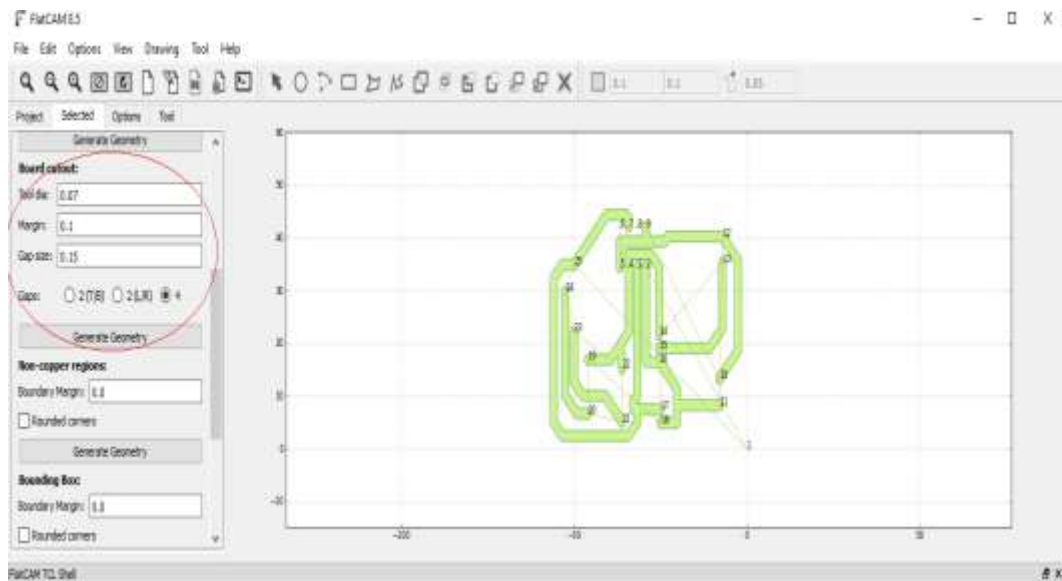


Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

## Paso 2

Luego de seleccionar el archivo se deberá configurar los siguientes parámetros, desplazándonos a la opción Board cutout: Tool dia: borde de corte, se recomienda 3 mm. Margin: margen, se recomienda entre 3 y 5 mm. Gap size: espacio entre los cortes. Espacio mínimo 0.3 mm.

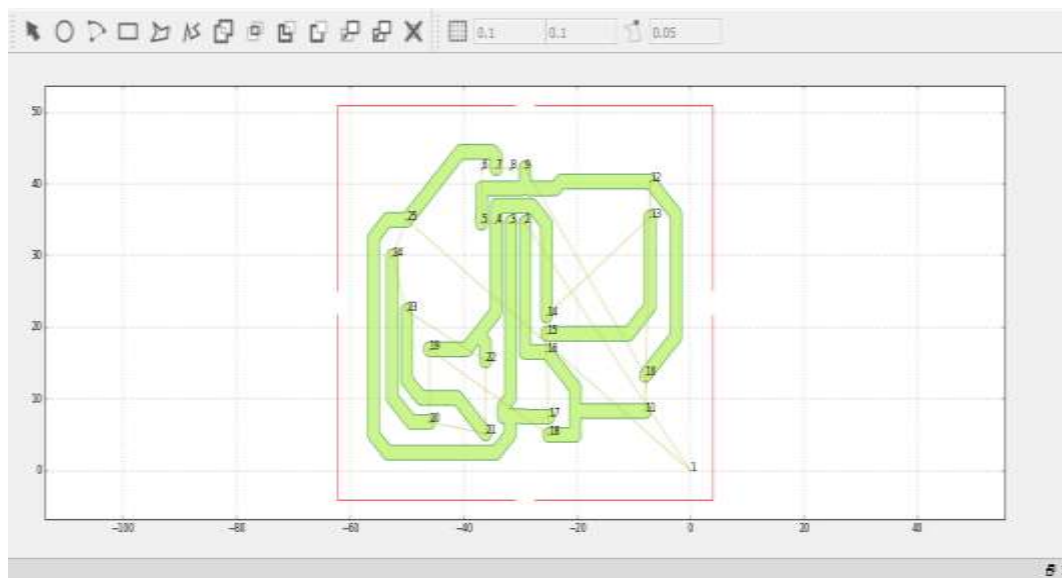
### Configuración del borde de la PCB



**Fuente:** Tapia N. y Velez J. (2022)

Seguido de ello se debe seleccionar la opción Generate Geometry, y se establecerá el borde de corte, como se muestra a continuación:

### Borde de la PCB



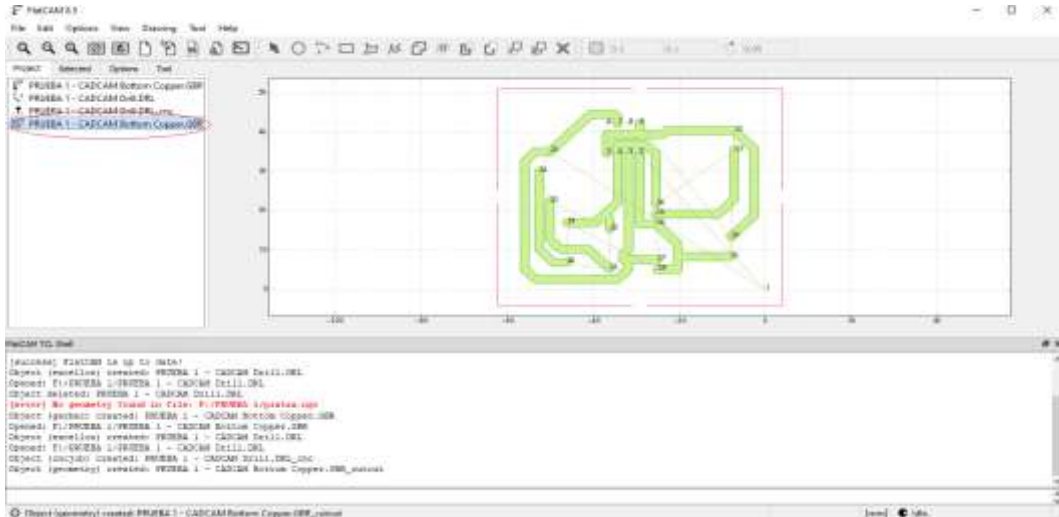
**Fuente:** Tapia N. y Velez J. (2022)



### Paso 3

Luego nos dirigimos a Project y seleccionamos en nuevo archivo que se generó.

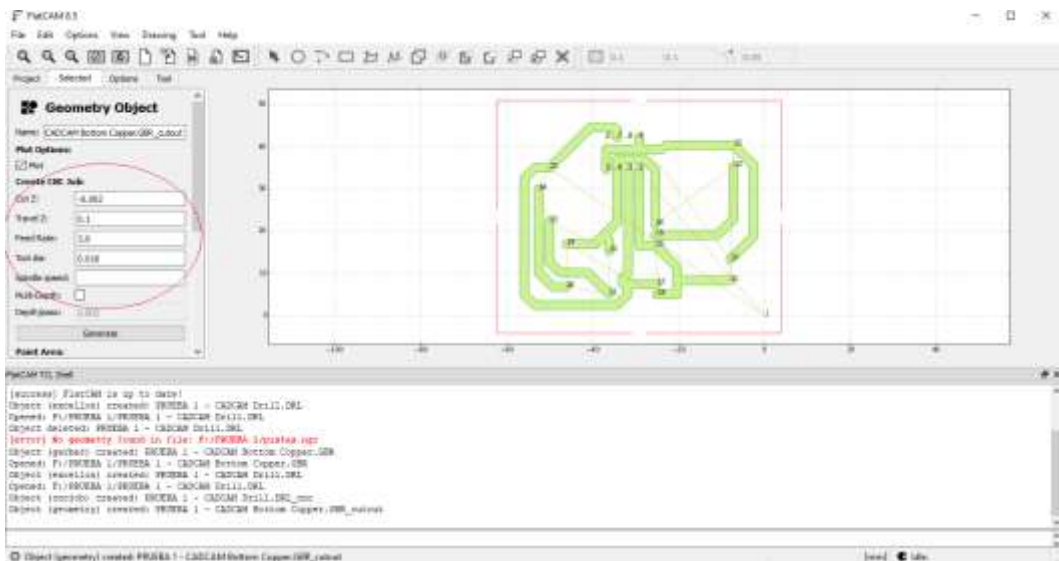
Nuevo archivo del borde



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

Se desplegará la siguiente ventana.

Parámetros del borde



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

En esta venta debemos ajustar los siguientes parámetros:

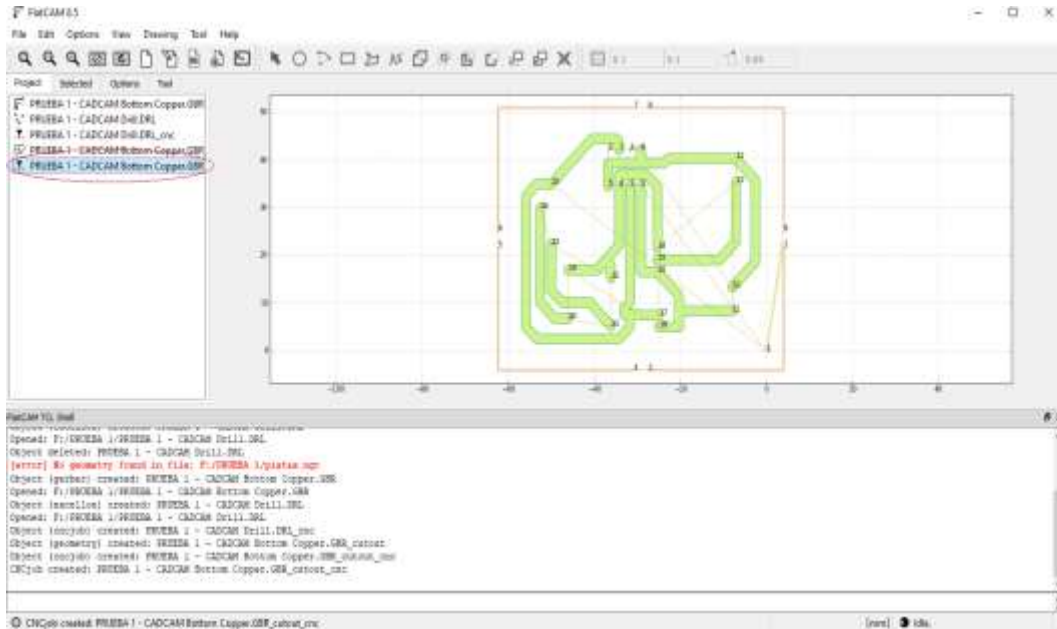
- Cut Z: corte en Z, deberá tener una medida un poco mayor a la de la placa. Entre 0.1 mm más o del mismo espesor que la placa.
- Travel Z: subida del eje Z. valores similares al corte en Z.
- Feed rate: Velocidad del corte. Se recomienda en 60.
- Tool dia: espesor de herramienta de corte. Entre 0.3.

Luego de configurar estos parámetros, se debe seleccionar la opción Generate.

## Paso 4

Seleccionamos el archivo generado y elegimos la opción Export G-Code.

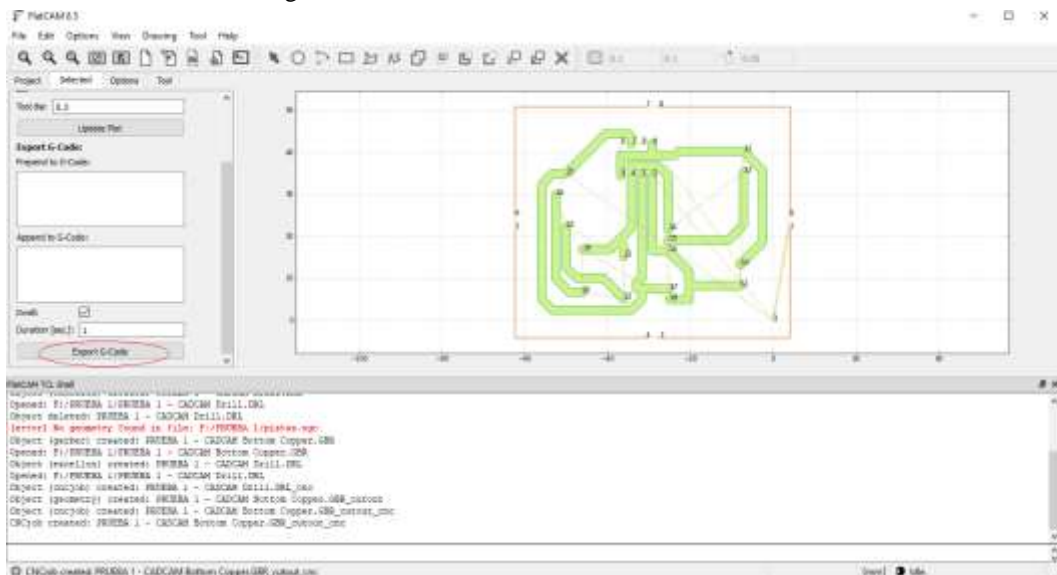
Nuevo archivo de borde



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

Seguido de ello se debe guardar el archivo de manera similar al archivo de perforaciones. Se debe seleccionar la carpeta de destino luego colocar un nombre con la extensión .ngc (borde.ngc).

Archivo de borde en código G



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

## Maquinado de pistas, perforaciones y borde en CNC USB Controller

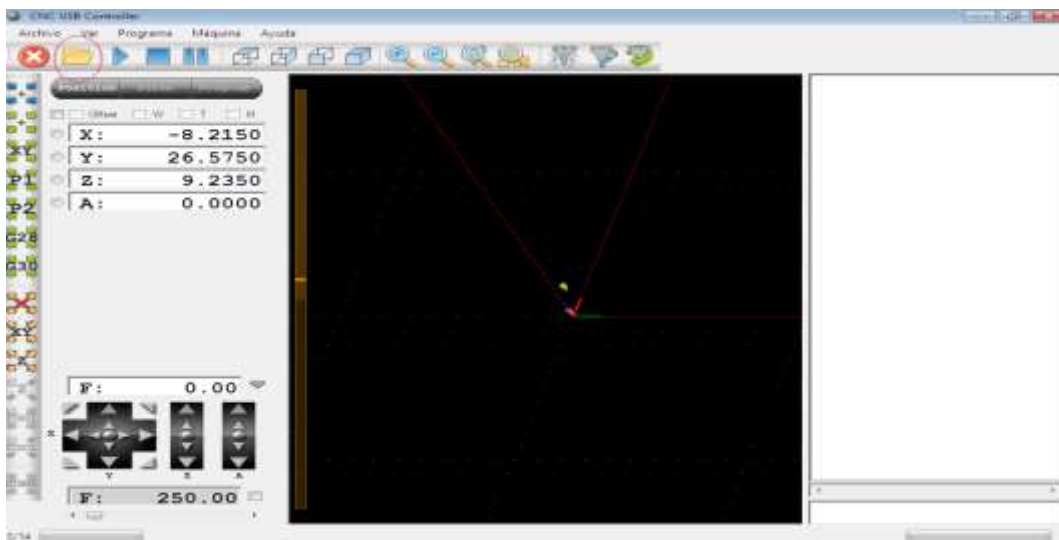
Luego de haber generado los archivos en Código G, con la extensión .ngc se procede al mecanizado de las PCB.

### Mecanizado de pistas

#### Paso 1

Seleccionamos la opción Abrir y se procede a la selección del Archivo que contiene el mecanizado de las pistas, como se muestra a continuación:

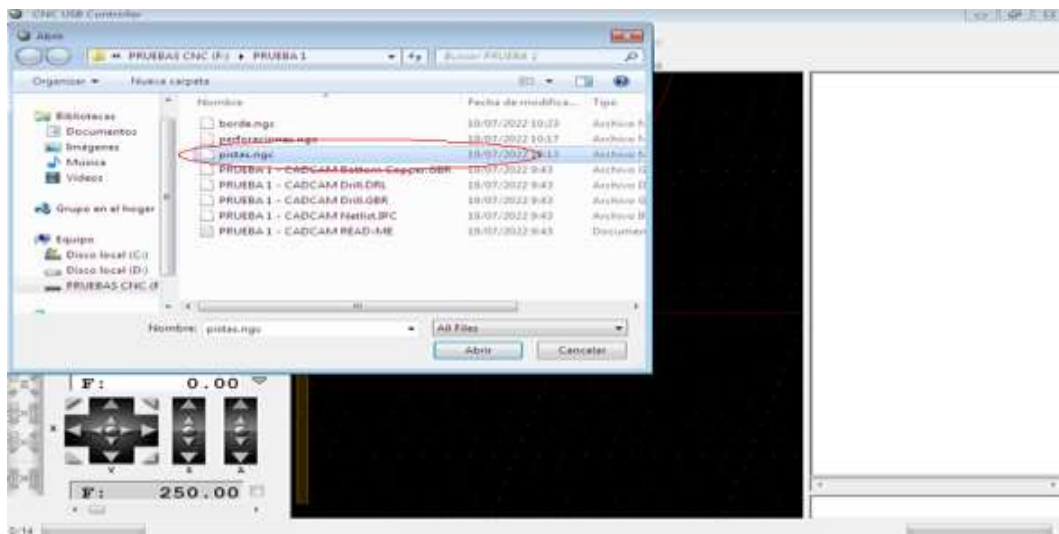
Icono para búsqueda de archivos



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

A continuación, se desplegará la siguiente ventana donde se encuentra el archivo de las pistas.

Archivo de pistas

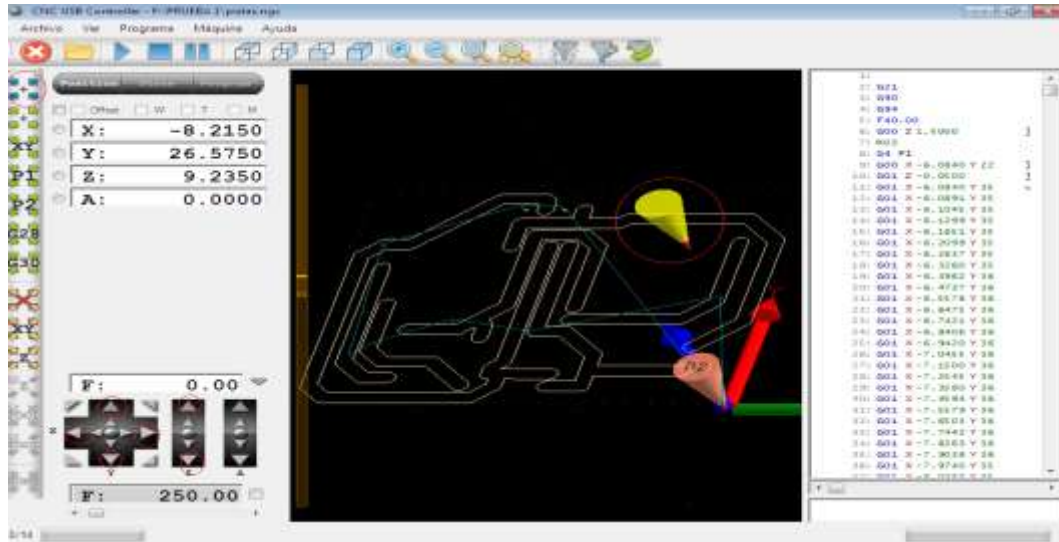


Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)


## Paso 2

Una vez seleccionado el archivo se mostrará la siguiente ventana donde se deberá fijar algunos parámetros.

Representación del mecanizado de pistas



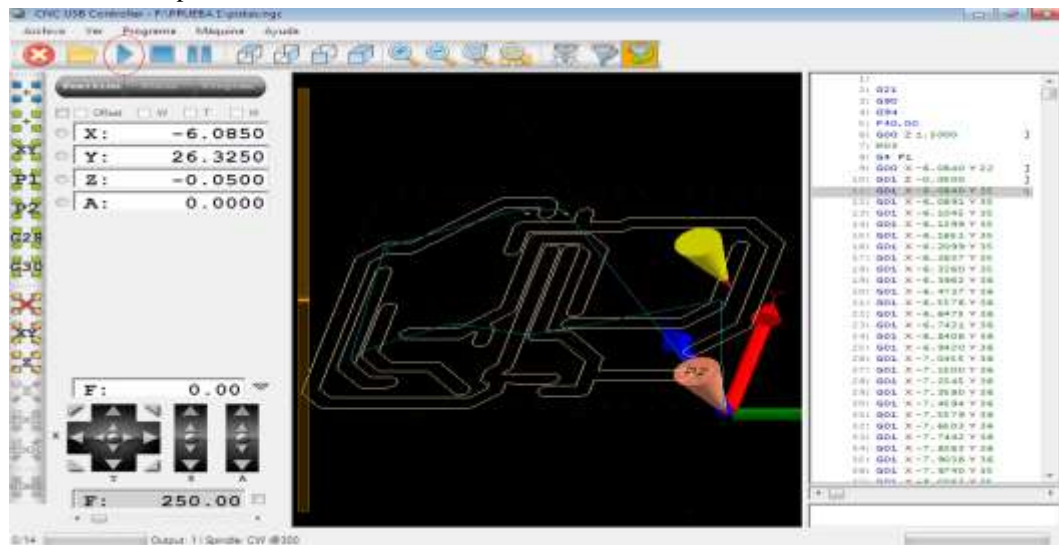
Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

Con los indicadores de posicionamiento se procede a ajustar la posición o el punto de inicio, seguido de ellos se selecciona la opción Fijar Posición-Cero 

## Paso 3

Luego de fijar la posición cero se selecciona el botón inicio como se muestra en la figura y se empezara con el mecanizado de las pistas.

Mecanizado de pistas



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

## Mecanizado del borde

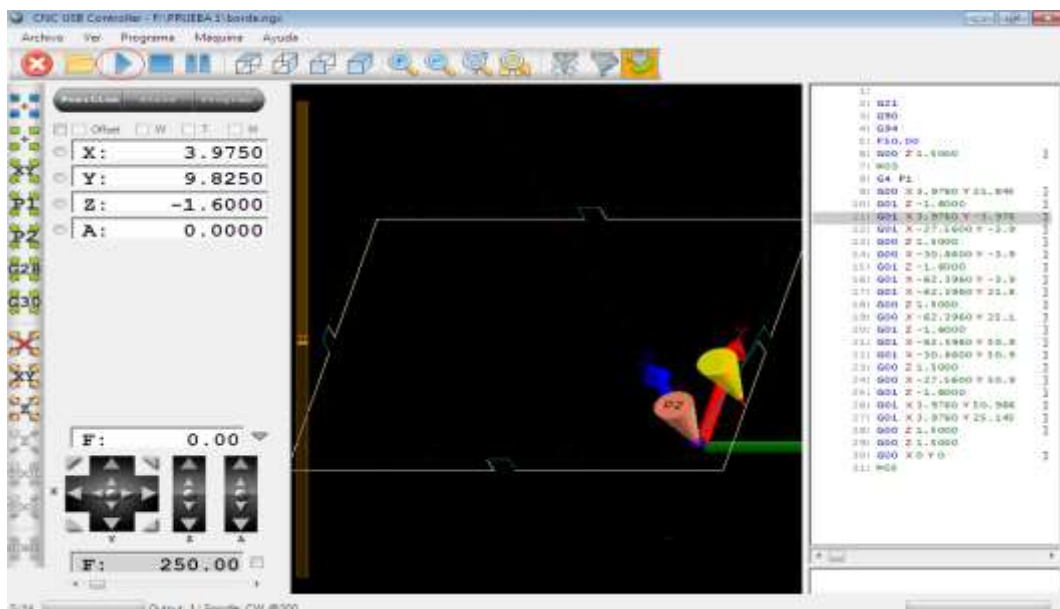
### Paso 1

Luego de terminar con el maquinado de las pistas la máquina CNC fijara automáticamente la fresa en la posición cero.

Seguido de ello conveniente comenzar con el mecanizado del borde de la PCB, con la finalidad hacer un solo cambio de la fresa.

Abrir la ubicación del archivo de pistas, ajustar la altura del eje solo en Z, fijar la posición cero y seleccionar la opción de inicio.

### Mecanizado de borde



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

## Perforaciones

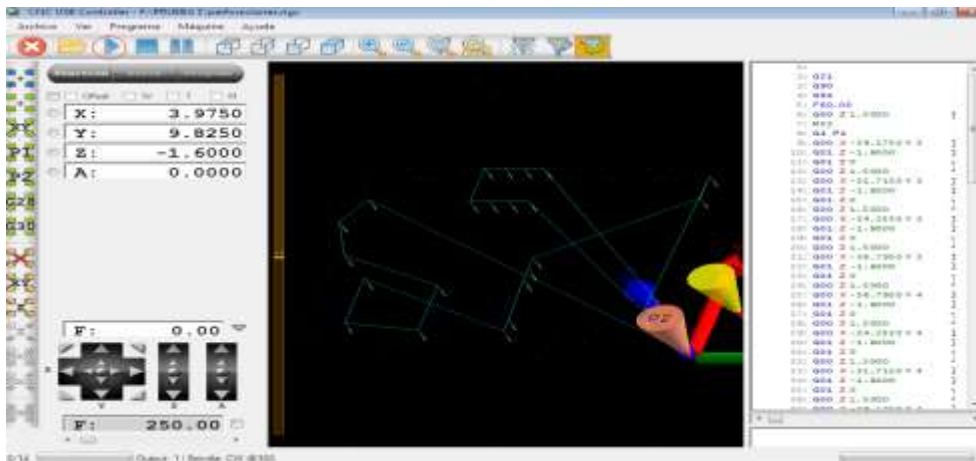
### Paso 1

De manera manual se debe hacer un paro al motor que contiene el usillo para proceder al cambio de broca. Con las herramientas se procede a aflojar el mandril y colocar la fresa con la medida indicadas entre 0.8, 0.9 y 1.0 mm.

Para el maquinado de las perforaciones, los pasos a seguir son similares a los de pistas y borde.

Se debe ubicar en la carpeta que contiene el archivo de las perforaciones, una vez abierto el archivo se selecciona la opción inicio y se procederá al mecanizado de las perforaciones.

## Mecanizado de borde



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

Luego de ello será posible proceder a lijado de la PCB con una lija de grano fino (320) para quitar los excesos de material con ello se aclararán las pistas. Una opción es comprobar la continuidad de las pistas con un multímetro, para verificar que no exista un cortocircuito.

### Anexo 3. Manual de mantenimiento preventivo

En el presente manual de mantenimiento se muestra cómo realizar la limpieza y lubricación de los componentes fijos y móviles de la fresadora CNC.

#### Diariamente

- Revisión visual de la base de maquinado.
- Visualizar el nivel y centrado de la máquina CNC.
- Luego de culminar una operación de mecanizado de PCB, proceder a una limpieza de la base de maquinado, con una brocha de cerdas finas o un cepillo de nylon.

#### Nivelación de la fresadora CNC



Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

#### Semanalmente

- Verificación de ruidos extraños a los del mecanizado.

- Limpieza de los tornillos de sujetan la base y las PCB.

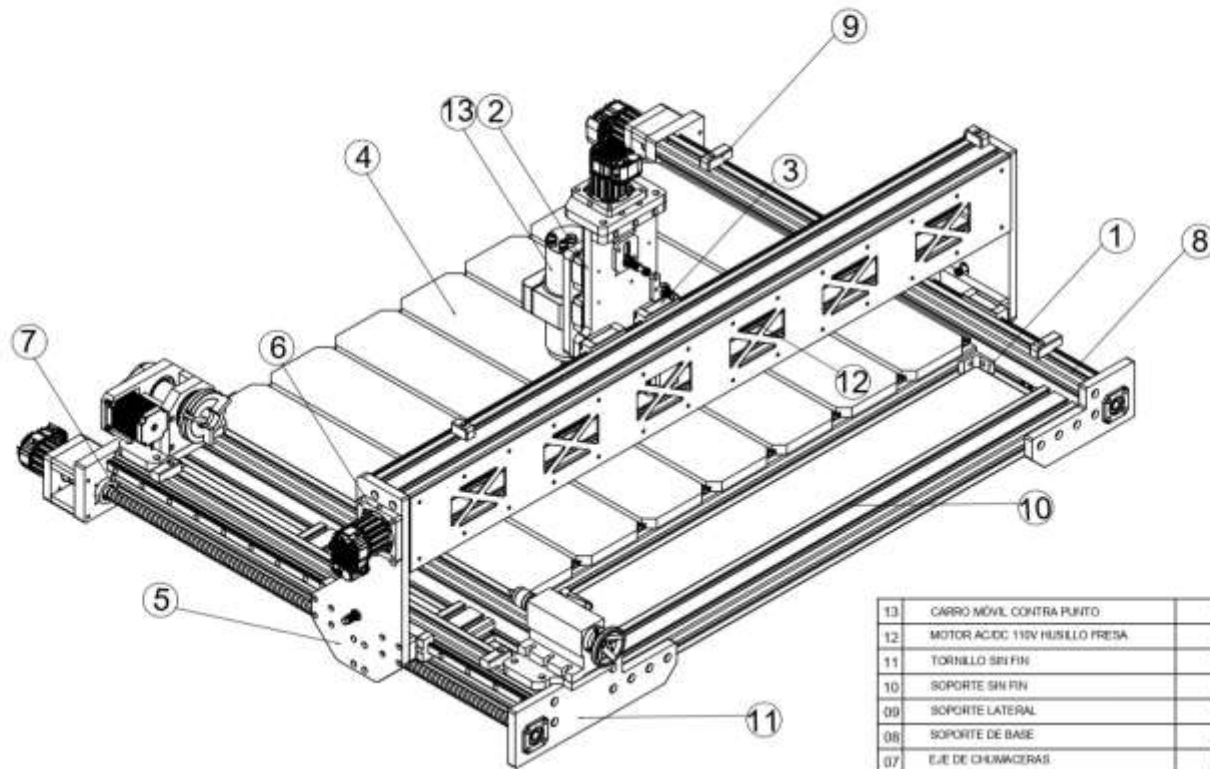
Tornillos de sujeción de base y la baquelita



**Fuente:** Tapia N. y Velez J. (2022)

#### Mensualmente

- Inspección del cableado en general.
- Limpieza y lubricación de los tornillos de potencia y los ejes. Se recomienda una limpieza con una brocha de cerdas finas de todos los elementos móviles, luego de ello aplicación de WD-40 obtener una mejor limpieza, seguido de ellos la lubricación con grasa tanto de los tornillos de potencia como los ejes.
- Ajuste de los tornillos de sujeción de los componentes estructurales de la CNC.



13	CARRO MÓVIL CONTRA PUNTO	-	GLB	01	10.54	ADQUIRIDO
12	MOTOR AC/DC 110V HUSILLO FRESA	-	GLB	04	8.50	ADQUIRIDO
11	TORNILLO SIN FIN	12	AISI 304	01	3.48	CONSTRUIDO
10	SOPORTE SIN FIN	11	ALUMINIO	01	12.10	CONSTRUIDO
09	SOPORTE LATERAL	10	AISI 304	01	2.03	CONSTRUIDO
08	SOPORTE DE BASE	09	AISI 430	01	0.28	CONSTRUIDO
07	EJE DE CHUMACERAS	08	AISI 304	01	1.80	CONSTRUIDO
06	TORNILLO SIN FIN	07	AISI 304	01	3.20	CONSTRUIDO
05	CHUMACERA	06	AISI 304	04	12.80	CONSTRUIDO
04	BASE DE PARANTE	05	AISI 304	01	0.85	CONSTRUIDO
03	BASE DE MAQUINADO	04	AISI 304	01	8.36	CONSTRUIDO
02	BASE DE HUSILLO	03	ALUMINIO	01	1.25	CONSTRUIDO
01	BASE DE CABLES	02	ACERO GALVANIZADO	01	0.25	CONSTRUIDO
00	ENSAMBLE GENERAL DE LA CNC	01	Varios	01	45.00	CONSTRUIDO
***	DENOMINACIÓN	N° DIBUJO	MATERIAL	CANTIDAD	PESO (kg)	OBSERVACIONES

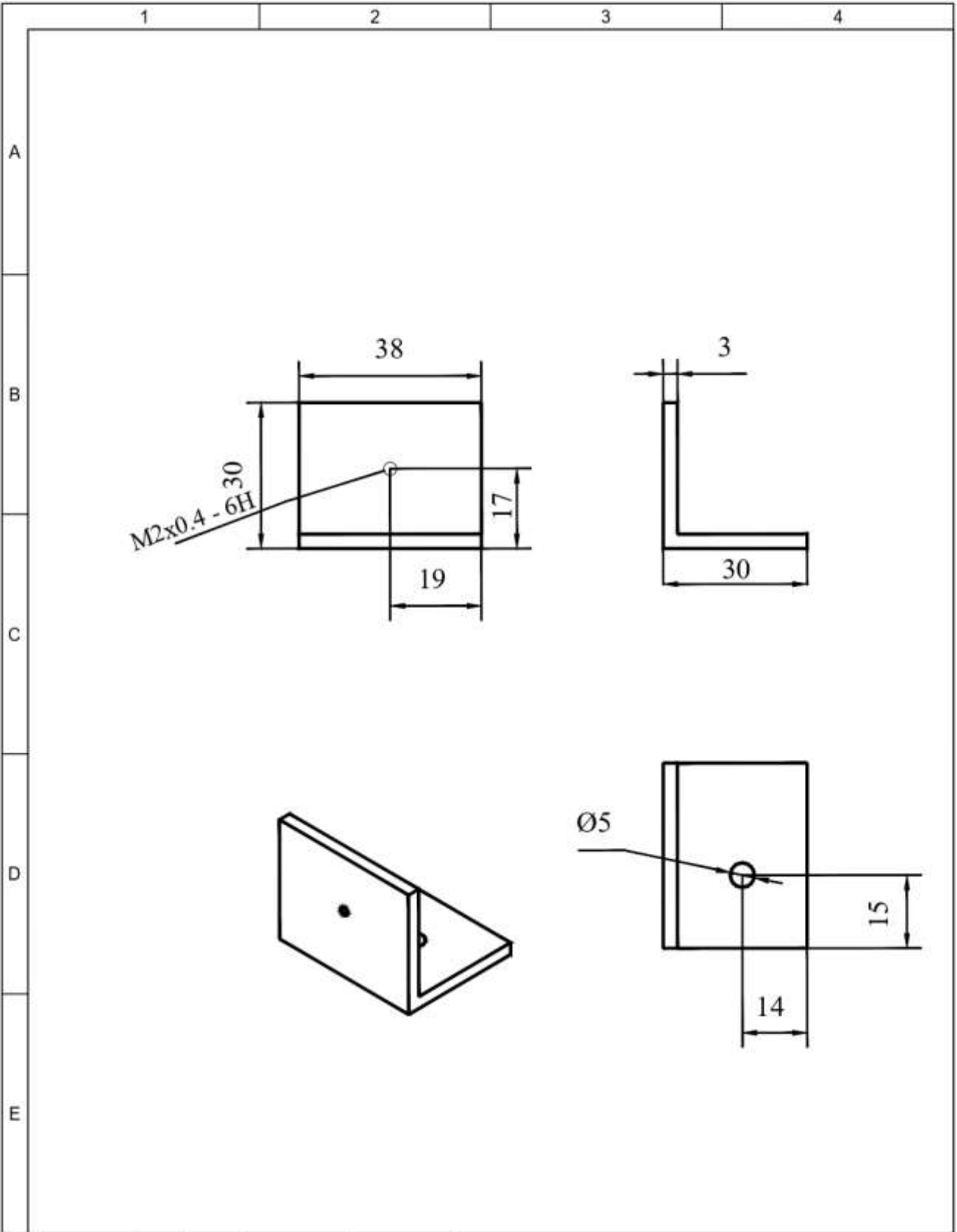
Tolerancias:		Pesa:		<b>MATERIALES:</b>	
Varias		45 kg.			
Fecha:		Nombre:		<b>ENSAMBLE GENERAL CNC</b>	
Dib: 26/08/2022		Tapiá, Víctor			
Rev: 26/08/2022		Ing. Paredes-Arce			
Apr: 26/08/2022		Ing. Paredes-Arce			
Edición:		Modificación:		Número de dibujo:	
Fecha:		Nombre:		1 de 12	
				Escala 1:1	



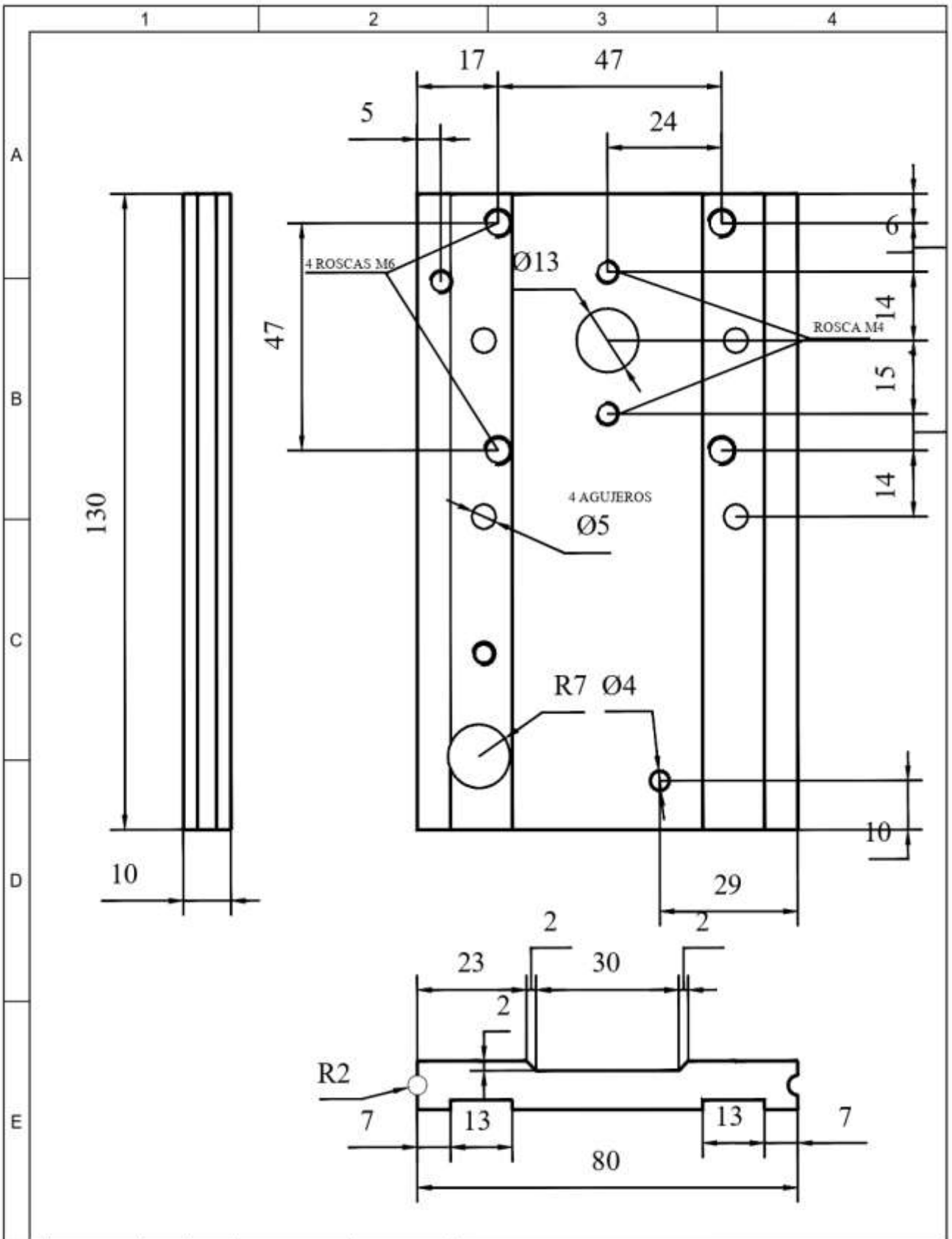
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



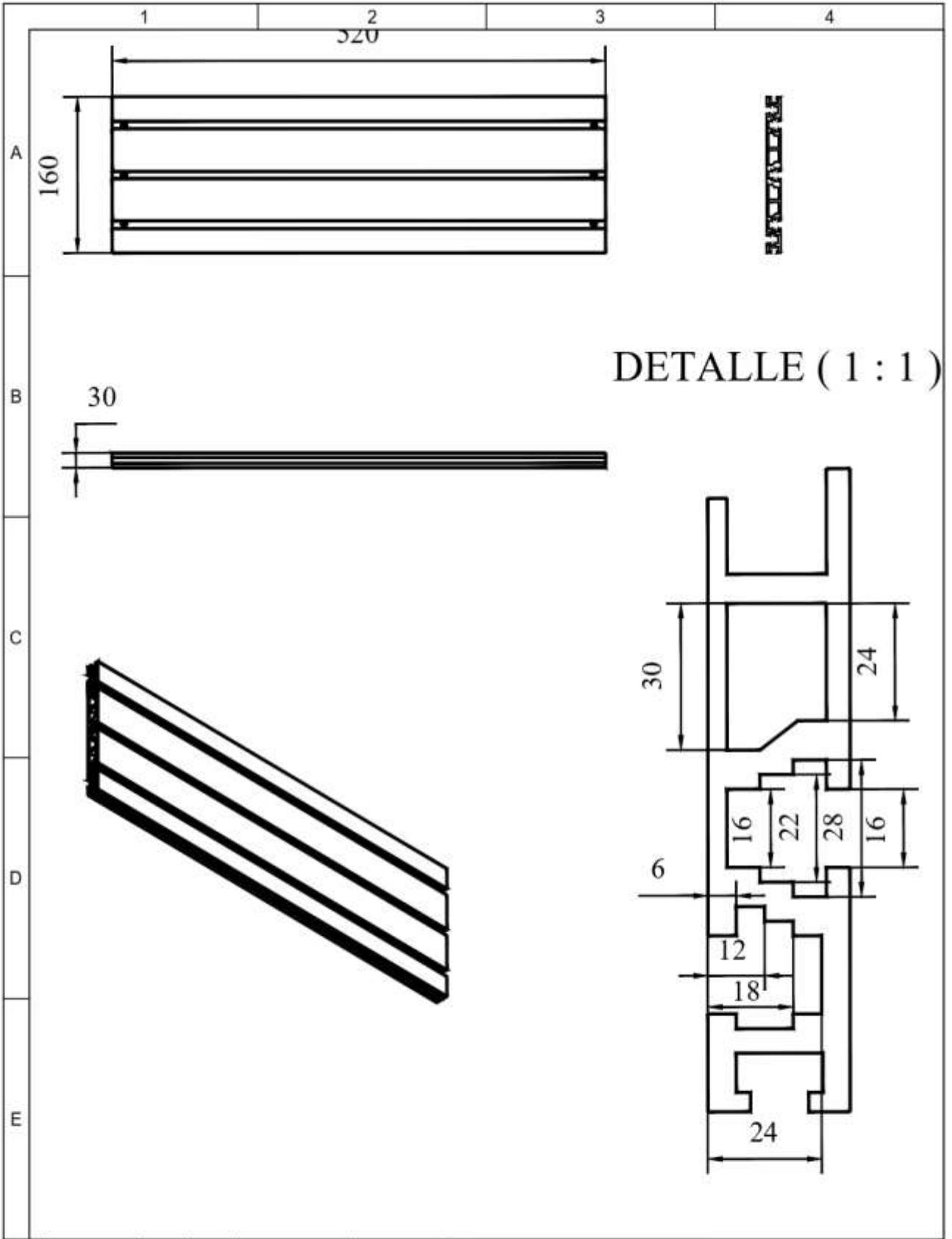




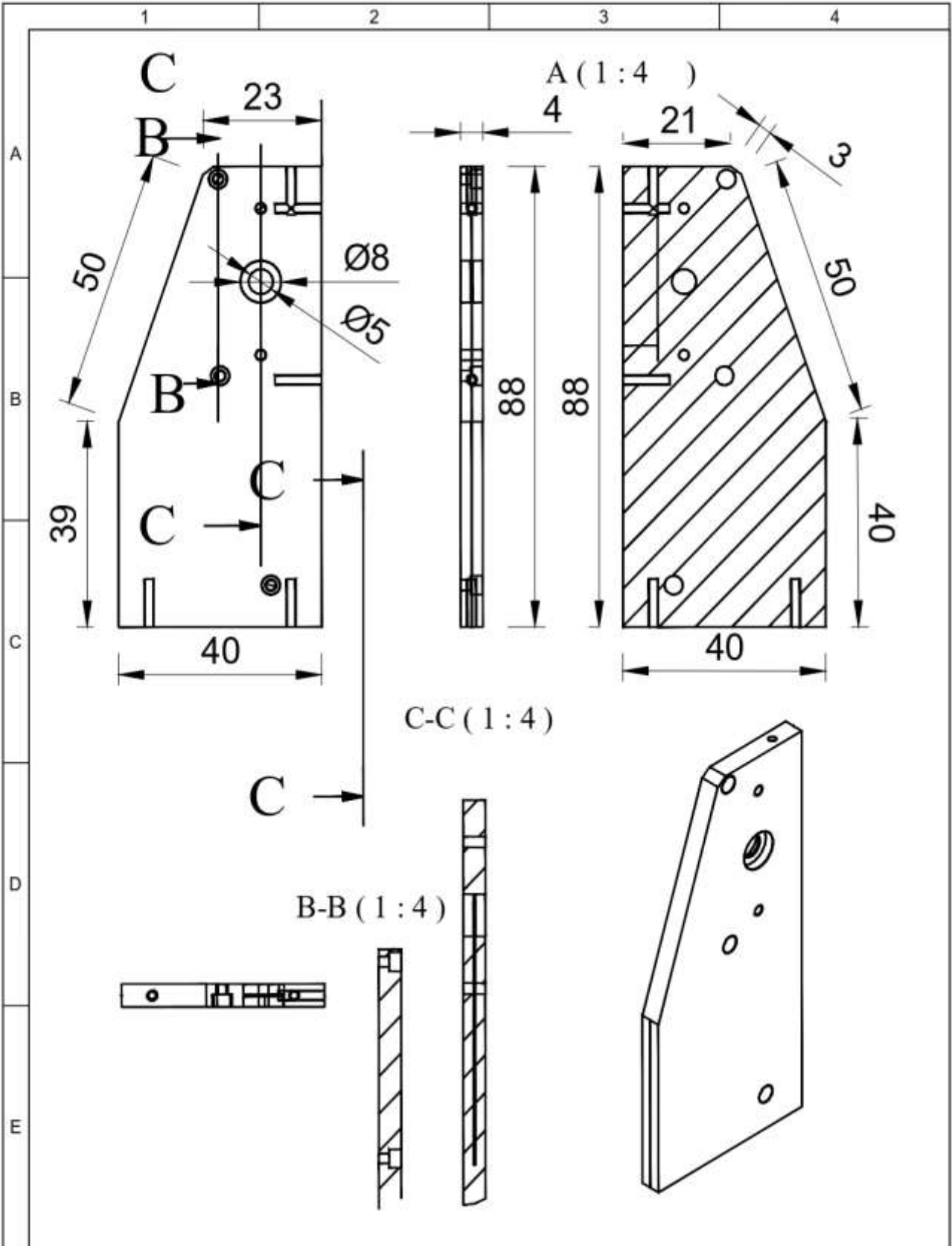
				Tolerancias:	Peso:	<b>MATERIALES:</b>			
				ninguna	0.25 kg			<b>ACERO GALVANIZADO</b>	
				Fecha:	Nombre:	<b>BASE DE CABLES</b>			
				Db. 29/08/2022	Tapia, Vélez			Escala 1:1	
				Rev. 29/08/2022	Ing. Francisco Alcocer				
				Aprob. 29/08/2022	Ing. Francisco Alcocer	Número de dibujo:			
						2 de 12			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)			



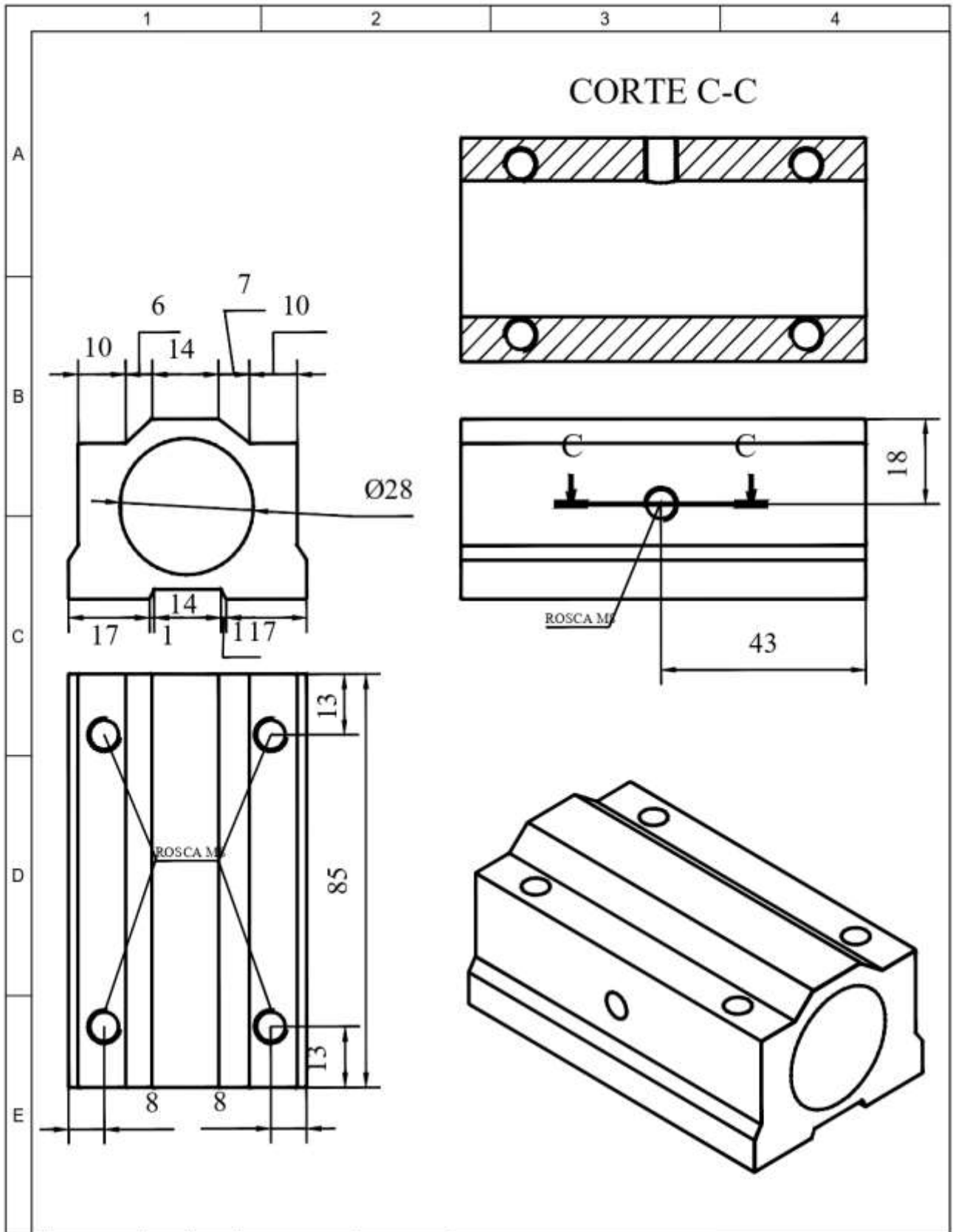
				Tolerancias: +0.5	Peso: 1.25 kg	<b>MATERIALES:</b> <b>ALUMINIO</b>	
				Fecha: 29/08/2022	Nombre: Tapia, Vélez	BASE DE HUSILLO	
				Rev. 29/08/2022	Ing. Francisco Alcover		
				Aprob. 29/08/2022	Ing. Francisco Alcover		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b>			Número de dibujo: 3 de 12 (Sustitución)
							Escala 1:1  



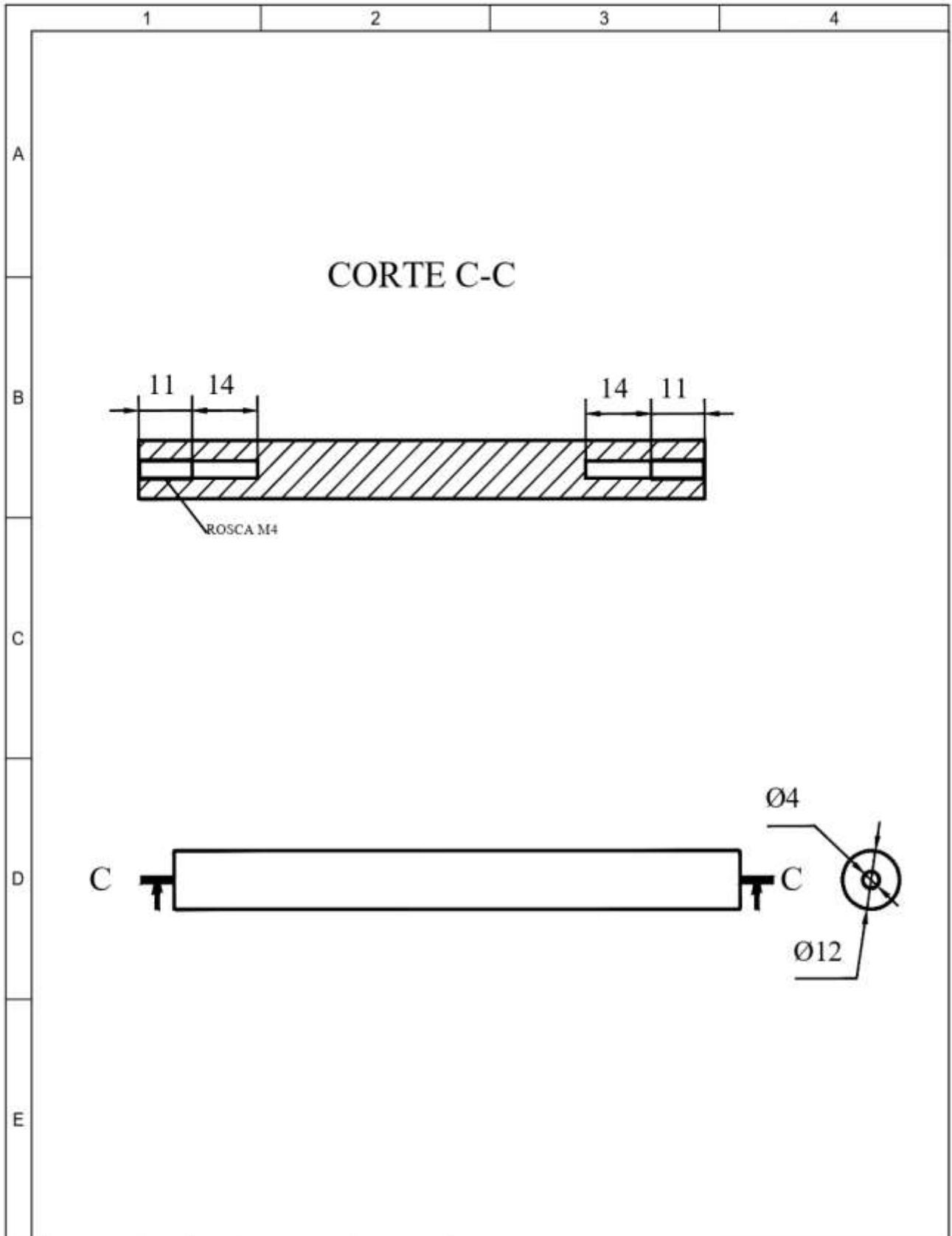
				Tolerancias: +0.5	Peso: 8.36 kg	<b>MATERIALES:</b>  <b>AISI 304</b>	Escala 1:1	
				Fecha: 29/08/2022	Nombre: Tapia, Vélez			
				Dib.:	29/08/2022	BASE DE MAQUINADO	Número de dibujo:  4 de 12	
				Rev.:	29/08/2022			Ing. Francisco Alcocer
				Aprob.:	29/08/2022			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Señalización)		



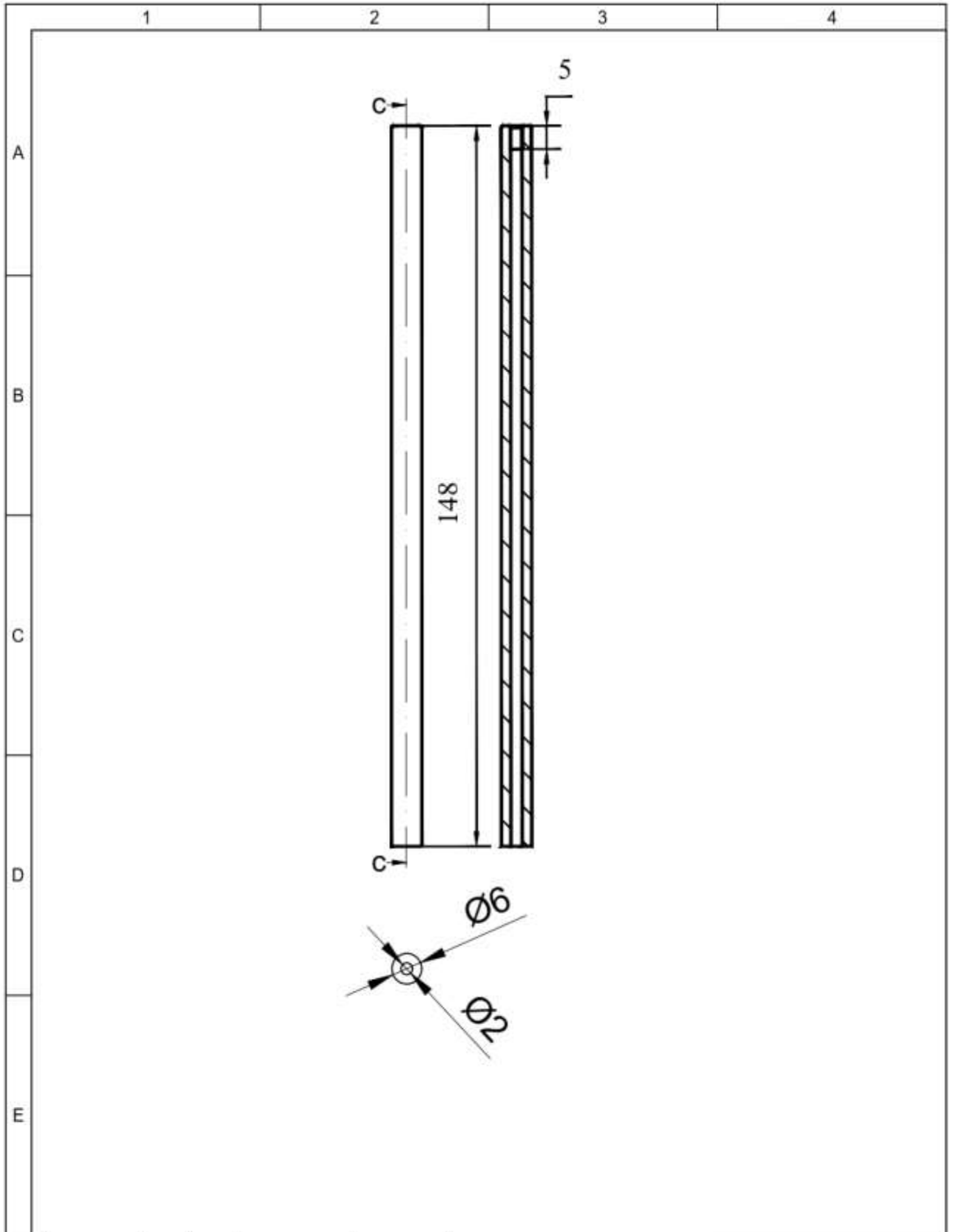
				Tolerancias:	Peso:	<b>MATERIALES:</b>	<b>ALUMINIO 2024</b>
				+0.5	0.85 kg		
				Fecha:	Nombre:	<b>BASE DE PARANTE</b>	Escala 1:1
				Dib. 29/08/2022	Tapia, Vélez		
				Rev. 29/08/2022	Ing. Francisco Alcazar		
				Aprob. 29/08/2022	Ing. Francisco Alcazar	Número de dibujo: 5 de 12 (Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b>			



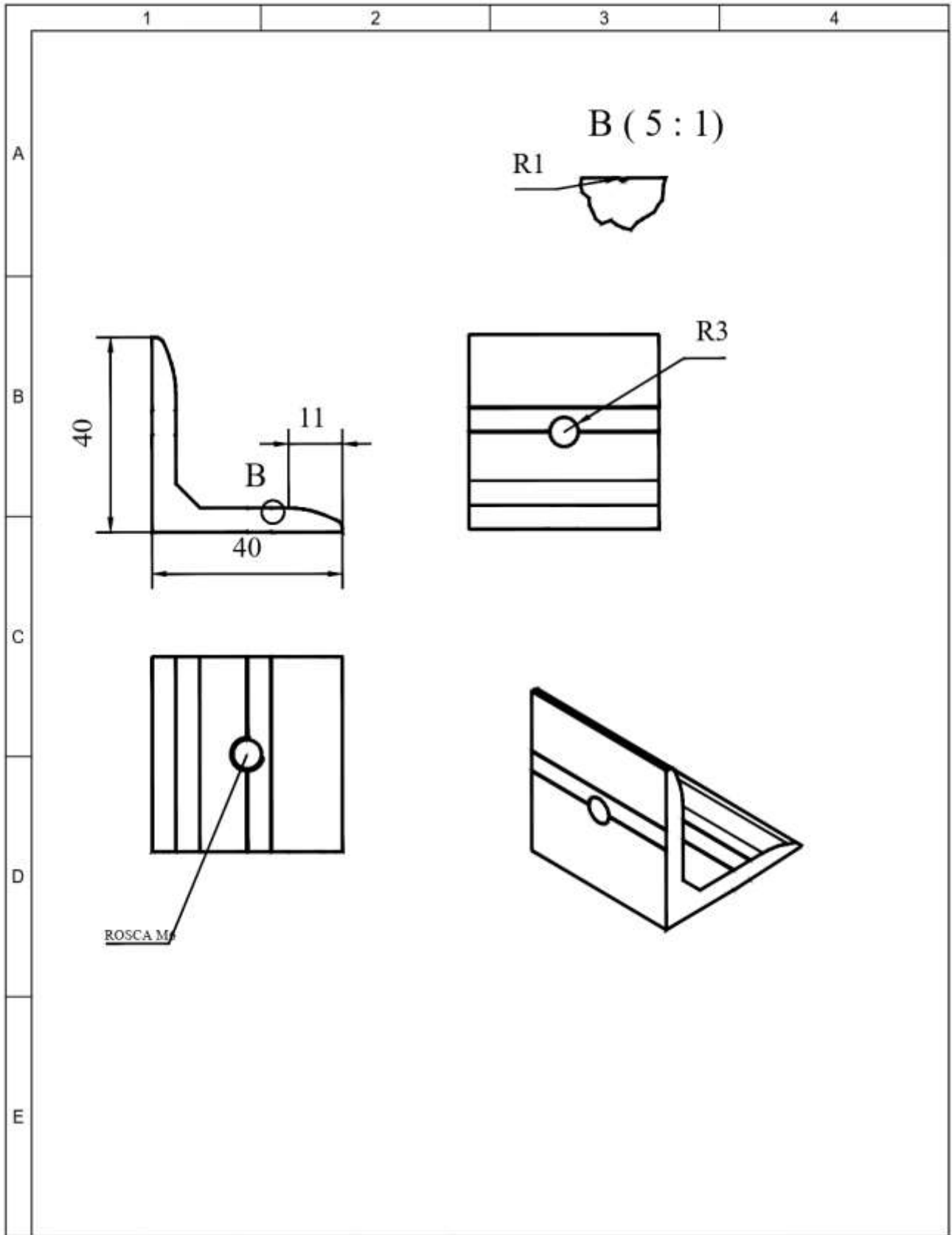
				Tolerancias: +0.5	Peso: 3.2 kg	<b>MATERIALES:</b>  <b>AISI 304</b>	
				Fecha: 29/08/2022	Nombre: Tapia, Vélez	<b>CHUMACERA</b>	
				Rev. 29/08/2022	Ing. Francisco Alcocer		
				Aprob. 29/08/2022	Ing. Francisco Alcocer		
				<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b>		Número de dibujo: 6 de 12 <small>(Sustitución)</small>	Escala 1:1
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				





				Tolerancias: +0.5	Peso: 35 kg	<b>MATERIALES:</b>  <b>AISI 304</b>	
				Fecha:	Nombre:	<b>TORNILLO SIN FIN</b>	Escala 1:20
				Dib: 29/08/2022	Tapia, Vélez		
				Rev: 29/08/2022	Ing. Francisco Alcocer		
				Aprob: 29/08/2022	Ing. Francisco Alcocer		
				<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b>		Número de dibujo: 7 de 12	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

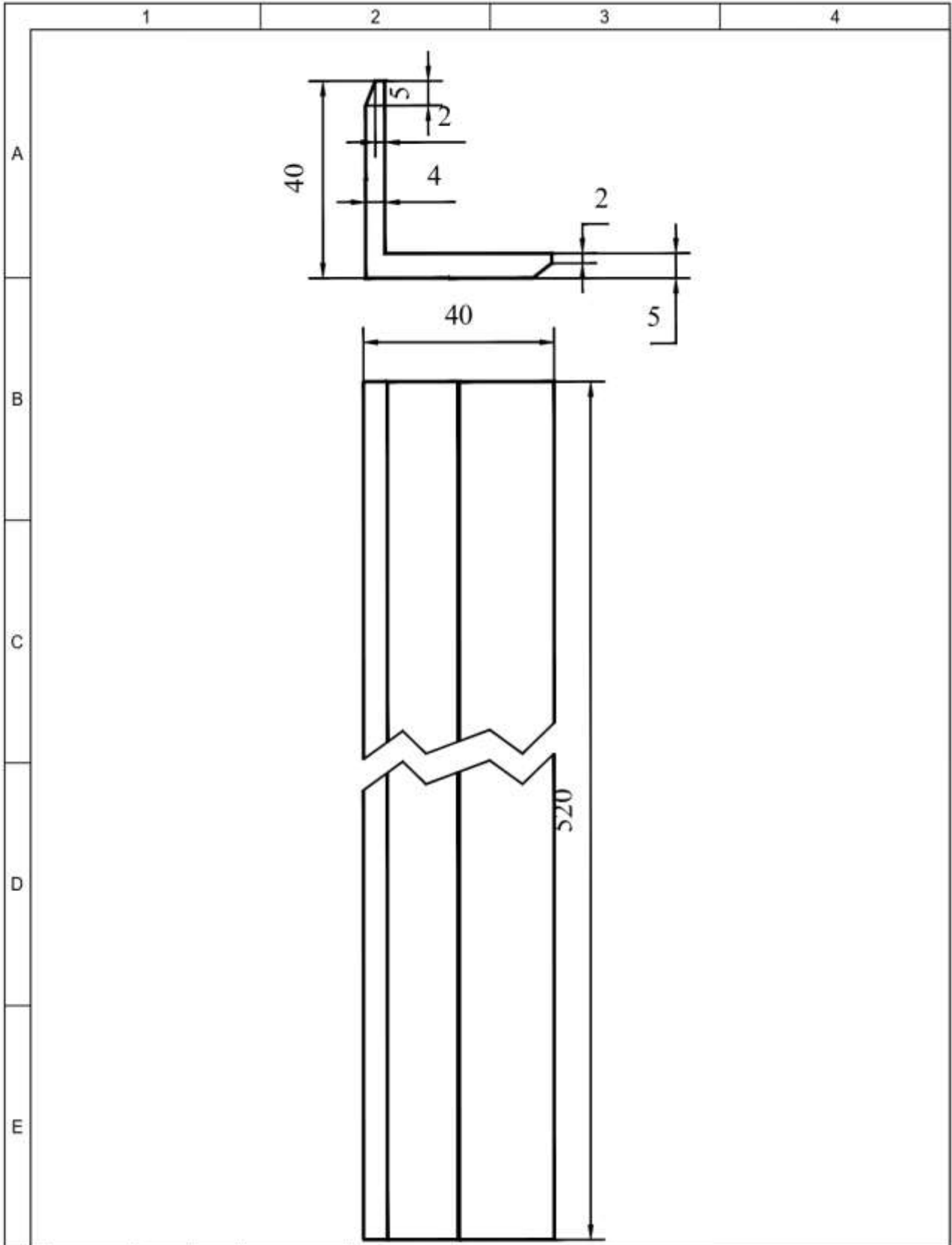


				Tolerancias: +0.5	Peso: 1.80 kg	<b>MATERIALES:</b>  <b>AISI 304</b>	
				Fecha:	Nombre:	<b>EJE DE CHUMACERAS</b>	
				Dib. 29/08/2022	Tapia. Vélez		
				Rev. 29/08/2022	Ing. Francisco Alcocer		
				Aprob. 29/08/2022	Ing. Francisco Alcocer	Escala 1:10	
				<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b>		Número de dibujo:  8 de 12	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

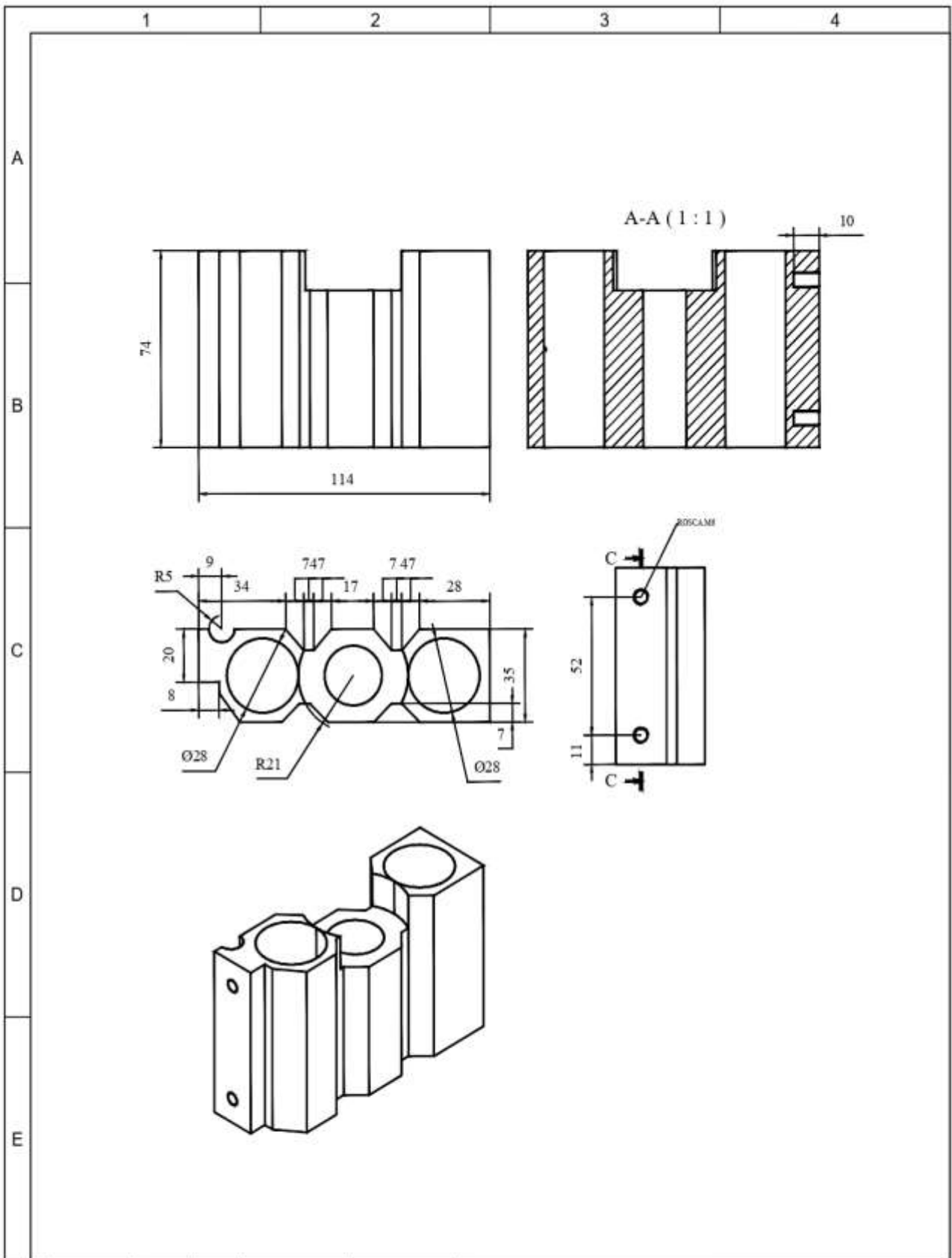


				Tolerancias: +0.5	Peso: 0.28 kg	<b>MATERIALES:</b>  <b>AISI 430</b>	Escala 1:4
				Fecha: 29/08/2022	Nombre: Tapia, Vélez		
				Rev. 29/08/2022	Ing. Francisco Alcocer	<b>SOPORTE DE BASE</b>	Número de dibujo: 9 de 12 <small>(Sustitución)</small>
				Aprob. 29/08/2022	Ing. Francisco Alcocer		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b>			

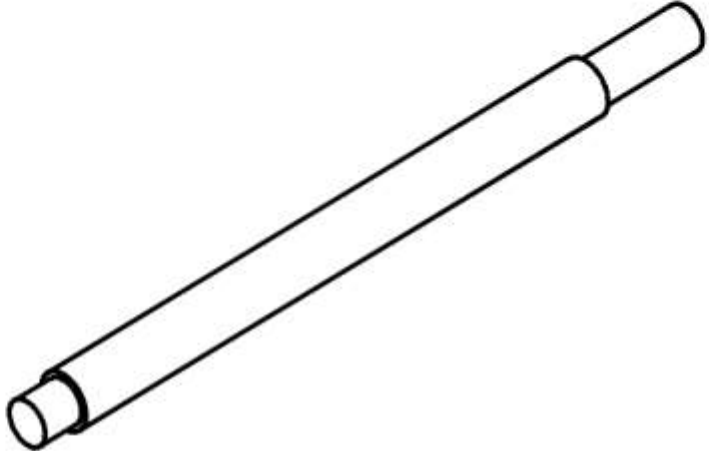
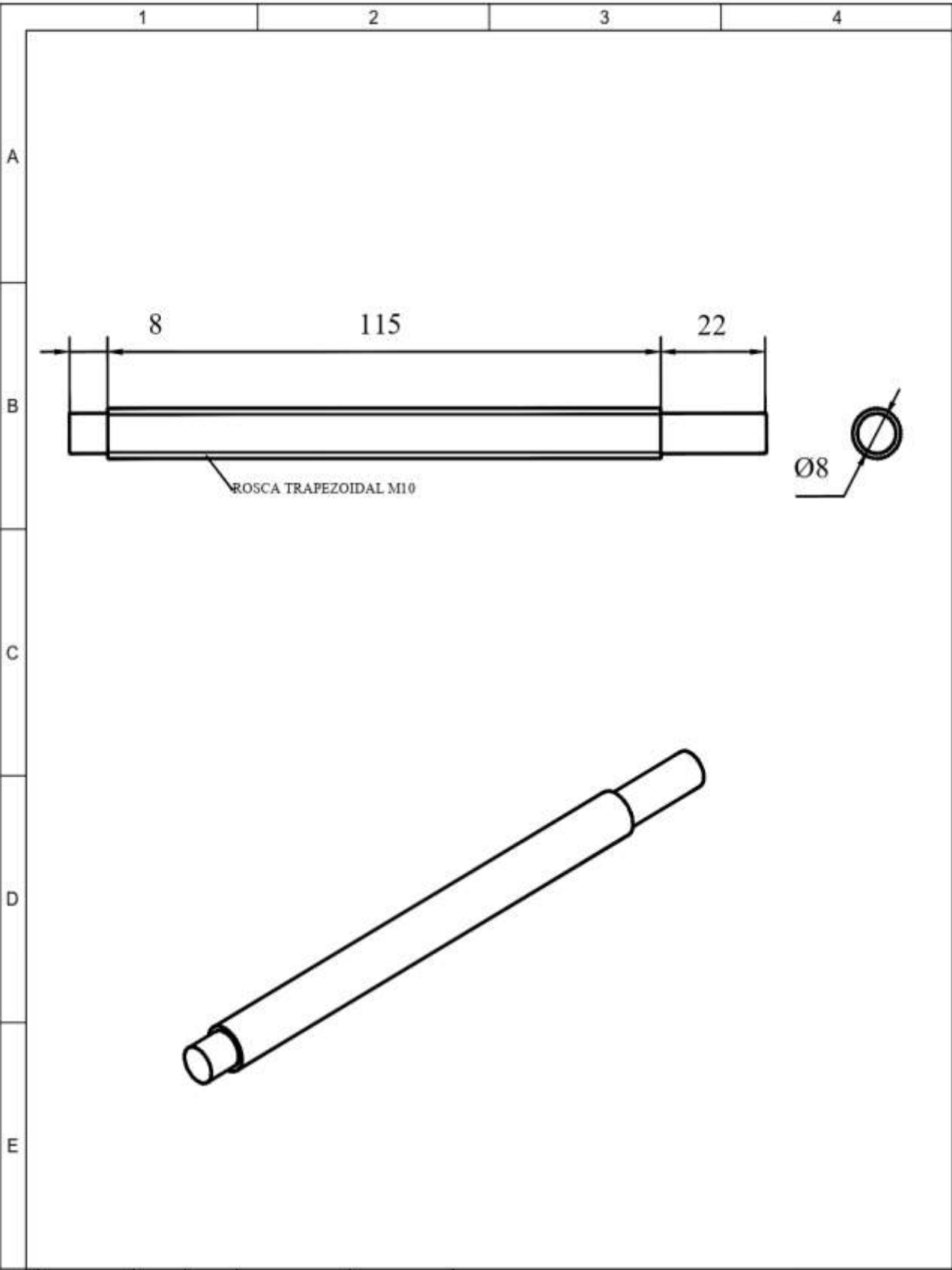




				Tolerancias:	Peso:	<b>MATERIALES:</b>	
				+0.5	2.03 kg	<b>AISI 304</b>	
				Fecha:	Nombre:	<b>SOPORTE LATERAL</b>	Escala 1:1
				Dib. 29/08/2022	Tapia, Vélez		
				Rev. 29/08/2022	Ing. Francisco Alcover		
				Aprob. 29/08/2022	Ing. Francisco Alcover		
				<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b>		Número de dibujo:	
						10 de 12	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sucesión)	



				Tolerancias:	Peso:	<b>MATERIALES:</b>	<b>ALUMINIO</b>
				+0.5	12.10		
				Fecha:	Nombre:	<b>SOPORTE DE SINFIN</b>	Escala 1:2
				Dib. 29/08/2022	Tapia, Véliz		
				Rev. 29/08/2022	Ing. Francisco Alcover		
				Aprob. 29/08/2022	Ing. Francisco Alcover		
				<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b>		Número de dibujo:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			11 de 12 (Sustitución)	



				Tolerancias:	Peso:	<b>MATERIALES:</b>	
				+0.5	3.48 kg	<b>AISI 430</b>	
				Fecha:	Nombre:	TORNILLO SIN FIN	Escala 1:5
				Dib. 29/08/2022	Tapia, Vélez		
				Rev. 29/08/2022	Ing. Francisco Alcazar		
				Aprob. 29/08/2022	Ing. Francisco Alcazar		
						Número de dibujo:	
						12 de 12	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	<small>(Sustituir)</small>			

**Anexo 4. Datos del docente tutor**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**DATOS PERSONALES**

**APELLIDOS:** PAREDES ANCHATIPÁN

**NOMBRES:** ALEX DARWIN

**ESTADO CIVIL:** SOLTERO

**CEDULA DE CIUDADANÍA:** 0503614935

**NÚMERO DE CARGAS FAMILIARES:** 0

**LUGAR Y FECHA DE NACIMIENTO:** LATACUNGA, 21 DE MARZO DE 1991

**DIRECCIÓN DOMICILIARIA:** PUJILÍ, LUIS ANTONIO RIVADENEIRA Y JUAN SALINAS

**TELÉFONO CONVENCIONAL:** 032 723 485

**TELÉFONO CELULAR:** 0987259422

**EMAIL INSTITUCIONAL:** alex.paredes4935@utc.edu.ec



**ESTUDIOS REALIZADOS Y TÍTULOS OBTENIDOS**

<b>NIVEL</b>	<b>TITULO OBTENIDO</b>	<b>AÑO DE REGISTRO</b>	<b>INSTITUCIÓN</b>
TERCER	Ingeniero en Electrónica e Instrumentación	2015	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Extensión Latacunga
CUARTO	Máster Universitario en Automática y Robótica	2018	Universidad de Alicante - España

**HISTORIAL PROFESIONAL**

<b>PERIODO</b>	<b>OCUPACIÓN</b>	<b>CENTRO</b>	<b>DEPARTAMENTO</b>	<b>LUGAR</b>
2021-Actual	Docente	Universidad Técnica de Cotopaxi	Electromecánica	La Maná
2021	Supervisor de Calidad	Dimenzur Cia. Ltda.	Eléctrica e Instrumentación	Tapir A – Bloque 17
2020-2021	Supervisor de Calidad	Dimenzur Cia. Ltda.	Eléctrica e Instrumentación	Cuyabeno – Bloque 58
2019-2020	Docente	Universidad Técnica de Cotopaxi	Electromecánica	La Maná
2019	Docente	Escuela de	Herramientas	Ambato

		Formación de Soldados del Ejército ESFORSE	de del	Ofimáticas	
2019	Docente	Escuela de Formación Soldados del Ejército ESFORSE	de del	Fundamentos Matemáticos	Ambato
2016	Técnico Especialista	Constructora Norberto Odebrecht		Eléctrica e Instrumentación	Pascuales - Cuenca
2015	Técnico	Tecnus		Mantenimiento Técnico Instrumental	Quito
2014	Docente	Unidad Educativa Sagrado Corazón de Jesús		Matemática – Informática Aplicada	Latacunga

**UNIDAD ADMINISTRATIVA O ACADÉMICA EN LA QUE LABORA:** Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

**ÁREA DEL CONOCIMIENTO EN LA CUAL SE DESEMPEÑA:** Ingeniería, industria y construcción.

**FECHA DE INGRESO A LA UTC:** Noviembre 2021

**Fuente:** Tapia N. y Velez J. (2022)

Anexo 5. Datos personales de los estudiantes

**CURRICULUM VITAE**

**DATOS PERSONALES**

**APELLIDOS:** TAPIA GAIBOR

**NOMBRES:** NELSON DAVID

**ESTADO CIVIL:** SOLTERO

**CEDULA DE CIUDADANÍA:** 0503925075

**NÚMERO DE CARGAS FAMILIARES:** 0

**LUGAR Y FECHA DE NACIMIENTO:** LA MANÁ, 10 DE JULIO DE 1992

**DIRECCIÓN DOMICILIARIA:** LA MANÁ, AV. AMAZONAS Y GALO PLAZA

**TELÉFONO CONVENCIONAL:** 032 687 952

**TELÉFONO CELULAR:** 0969576285

**EMAIL INSTITUCIONAL:** nelson.tapia5075@utc.edu.ec



**ESTUDIOS REALIZADOS**

<b>NIVEL</b>	<b>INSTITUCIÓN</b>
PRIMARIA	Escuela Narciso Cerda Maldonado
SECUNDARIA	Instituto Tecnológico Superior La Maná
TERCER	Universidad Técnica de Cotopaxi

**TITULOS OBTENIDOS**

<b>TÍTULO</b>	<b>AÑO DE REGISTRO</b>
Bachiller en Ciencias Sociales	2010
Conductor Profesional Licencia Tipo C	2014

**CURSOS DE CAPACITACIÓN**

<b>CURSO</b>	<b>INSTITUCIÓN</b>
Instalaciones eléctricas domiciliarias	UTC
Auxiliar en domótica	COORED
Torno y fresa	CENTRO TÉCNICO QUEVEDO
Prevención en riesgos laborales	COORED
Manejo de dispositivos de conversión de energía	UTC
IV Congreso Internacional de Investigación Científica	UTC

Fuente: Tapia N. y Velez J. (2022)

## CURRICULUM VITAE

### DATOS PERSONALES

**APELLIDOS:** VELEZ PEÑARRIETA

**NOMBRES:** JORDAN ARIEL

**ESTADO CIVIL:** SOLTERO

**CEDULA DE CIUDADANÍA:** 0504258021

**NÚMERO DE CARGAS FAMILIARES:** 0

**LUGAR Y FECHA DE NACIMIENTO:** LOS RIOS, 21 DE FEBRERO DEL 2000

**DIRECCIÓN DOMICILIARIA:** LA MANÁ, RCTO. SAN AGUSTÍN

**TELÉFONO CONVENCIONAL:** N/A

**TELÉFONO CELULAR:** 0980855958

**EMAIL INSTITUCIONAL:** jordan.velez8021@utc.edu.ec



### ESTUDIOS REALIZADOS

NIVEL	INSTITUCIÓN
PRIMARIA	Escuela Fiscal Mixta "1 de Abril"
SECUNDARIA	Unidad Educativa Rafael Vascones Gómez
TERCER	Universidad Técnica de Cotopaxi

### TITULOS OBTENIDOS

TITULO	AÑO DE REGISTRO
Bachiller Técnico Nacional en Electromecánica	2010

### CURSOS DE CAPACITACIÓN

CURSO	INSTITUCIÓN
Auxiliar en domótica	COORED
Torno y fresa	CENTRO TÉCNICO QUEVEDO
Prevención en riesgos laborales	COORED
Manejo de dispositivos de conversión de energía	UTC
IV Congreso Internacional de Investigación Científica	UTC

**Fuente:** Tapia N. y Velez J. (2022)



## ***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 al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“IMPLEMENTACIÓN DE UNA FRESADORA AUTOMATIZADA MEDIANTE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO PARA LA ELABORACIÓN DE PCB PARA LA CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”** presentado por: **Tapia Gaibor Nelson David y Velez Peñarrieta Jordan Ariel** egresados de la Carrera de: **Ingeniería Electromecánica**, perteneciente a la Facultad de **Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

La Maná, agosto del 2022

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:

SEBASTIAN  
FERNANDO  
RAMONAMORES

Mg. Ramón Amores Sebastián Fernando  
**DOCENTE DEL CENTRO DE  
IDIOMAS C.I: 050301668-5**



## Anexo 6. Certificado de anti plagio



### Document Information

Analyzed document	PROYECTO-TAPIA NELSON-VELEZ JORDAN.pdf (D143264520)
Submitted	2022-08-25 20:34:00
Submitted by	
Submitter email	yoandrys.morales@utc.edu.ec
Similarity	4%
Analysis address	yoandrys.morales.utc@analysis.orkund.com

### Sources included in the report

<b>SA</b>	<b>TESIS MAQUINA CNC PARA CIRCUITOS PCBS_2018-08-08.pdf</b> Document TESIS MAQUINA CNC PARA CIRCUITOS PCBS_2018-08-08.pdf (D40776981)	8
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.aldeiatec.com/blog-diseno-con-normas-y-certificaciones/norma-ipc-2221b-para-diseno-de-pcb-actualizacion/">https://www.aldeiatec.com/blog-diseno-con-normas-y-certificaciones/norma-ipc-2221b-para-diseno-de-pcb-actualizacion/</a> Fetched: 2022-08-25 20:35:00	1
<b>SA</b>	<b>1530733388_738__Codigos_cnc.docx</b> Document 1530733388_738__Codigos_cnc.docx (D40714862)	2
<b>W</b>	URL: <a href="http://flatcam.org/manual/es/introduction.html">http://flatcam.org/manual/es/introduction.html</a> Fetched: 2022-08-25 20:35:00	1
<b>SA</b>	<b>1566094522_919__Programación_ISO_informe_2..pdf</b> Document 1566094522_919__Programación_ISO_informe_2..pdf (D54869517)	1
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.generaldrivermotor.com/motores/motor-spindle-explicacion-del-concepto/">https://www.generaldrivermotor.com/motores/motor-spindle-explicacion-del-concepto/</a> Fetched: 2022-08-25 20:35:00	1
<b>SA</b>	<b>Proyecto de titulación - Michael Pita.docx</b> Document Proyecto de titulación - Michael Pita.docx (D99477766)	1
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.ourpcbar.com/materiales-para-pcb.html">https://www.ourpcbar.com/materiales-para-pcb.html</a> Fetched: 2022-08-25 20:35:00	1

### Entire Document

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN LA MANÁ FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS-CIYA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico AUTORES: Nelson David Tapia Gaibor Jordan Ariel Velez Peñarrieta TUTOR: Ing. M.Sc. Alex Darwin Paredes Anchatipán PORTADA LA MANÁ-ECUADOR AGOSTO-2022 "IMPLEMENTACIÓN DE UNA FRESADORA AUTOMATIZADA MEDIANTE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO PARA LA ELABORACIÓN DE PCB PARA LA CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI"