



**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
DEPARTAMENTO DE GRADUACIÓN**

**TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN TELEINFORMÁTICA**

**ÁREA
TECNOLOGÍA APLICADA**

**TEMA
“PROTOTIPO DE MAQUINA CNC ENFOCADA A
IMPRESIÓN DE CIRCUITOS ELECTRONICOS PARA LOS
ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
INDUSTRIAL”**

**AUTOR
BARRERA CHALEN CRISTHIAN ALBERTO**

**DIRECTOR DEL TRABAJO
ING. TELECOM. VEINTIMILLA ANDRADE JAIRO GEOVANNY, MBA.**

GUAYAQUIL, SEPTIEMBRE 2018

Declaración de Autoría

“La responsabilidad del contenido de este trabajo de Titulación, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad de Guayaquil”

Barrera Chalen Cristhian Alberto

C.C. 0953608981

Dedicatoria

Este trabajo de titulación se lo dedico a mi padre Luis William Barrera Chalen y mi madre Delia Marlene Chalen Quinde, quienes me han apoyado siempre a lo largo de toda la carrera para poder terminar mis estudios sin problema alguno.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por haberme dado las habilidades y conocimientos necesarios en mi vida estudiantil y por haberme permitido culminar una etapa más en mi vida como lo es la universidad, dejándome de esta manera haber cumplido otra de mis metas.

Agradezco a mis padres que a han sido los responsables de mi educación y buena formación desde pequeño, además de que han sabido aconsejarme en momentos oportunos y me han apoyado siempre a lo largo de toda mi carrera dándome la fuerza para levantarme cada día y dar lo mejor de mí, haciéndolos de esta manera una parte indispensable de mi vida tanto en el ámbito personal como en el ámbito estudiantil.

Quiero agradecer también a todos los profesores que me guiaron durante estos cinco años que duro la carrera y me compartieron sus conocimientos, experiencias y anécdotas que me servirán al momento de ejercer la profesión.

Índice General

N.º	Descripción	Pág.
	Introducción	1

Capítulo I EL Problema

N.º	Descripción	Pág.
1.1	Planteamiento del Problema	2
1.2	Objeto de investigación	3
1.3	Formulación y Sistematización del Problema	3
1.3.1	Formulación del Problema	3
1.3.2	Sistematización del Problema	3
1.4	Objetivos de la Investigación	4
1.4.1	Objetivo General	4
1.4.2	Objetivos específicos	4
1.5	Justificación e importancia	4
1.6	Delimitación	5
1.7	Alcance	5

Capítulo II Marco Teórico

N.º	Descripción	Pág.
2.1	Antecedentes de la investigación	6
2.2	Marco teórico	7
2.2.1	Control numérico computarizado (CNC)	7
2.2.2	Aplicaciones del CNC	7
2.2.3	Mecanizado de piezas	8
2.2.4	Programación del control numérico	8
2.2.5	Código G	9
2.2.6	Fresadora	9
2.2.7	Motores paso a paso	10
2.2.8	Arduino	11
2.2.9	CNC Shield	13

N.º	Descripción	Pág.
2.2.10	Controlador de motores A4988	13
2.2.11	Controlador de motores DRV8825	14
2.2.12	Circuitos impresos	15
2.3	Marco Conceptual	18
2.3.1	Softwares para el correcto uso de la CNC	18
2.4	Marco Legal	20

Capítulo III

Metodología

N.º	Descripción	Pág.
3.1	Descripción del proceso metodológico	22
3.2	Diseño de la investigación	22
3.3	Enfoque de la investigación	22
3.3.1	Metodología Bibliográfica	22
3.3.2	Metodología Experimental	23
3.3.3	Metodología Descriptiva	23
3.4	Población y muestras	23
3.4.1	Selección de la muestra	23
3.4.2	Resultados	24
3.4.3	Análisis Teórico de la Encuestas	31
3.4.4	Entrevista informal a Docentes	32

Capítulo IV

Desarrollo de la propuesta de investigación

N.º	Descripción	Pág.
4.1	Propuesta	34
4.2	Materiales para la construcción de la CNC	34
4.3	Construcción del cuerpo de la CNC	39
4.4	Instalación de las librerías de GRBL en Arduino	43
4.5	Calibración de los controladores A4988	44
4.6	Configuración del GRBL	47
4.7	Manejo de EasyEDA	49

N.º	Descripción	Pág.
4.8	Transformación a código G mediante Inkscape	50
4.9	Puesta en marcha	56
4.10	Conclusiones y Recomendaciones	57
4.10.1	Conclusiones	57
4.10.2	Recomendaciones	58
	Anexos	60
	Bibliografía	65

Índice de Figuras

N.º	Descripción	Pág.
1	Ejemplo de código G	9
2	Imagen de una Fresadora	10
3	Motor paso a paso	10
4	Imán de Motor paso a paso	11
5	Arduino Uno	12
6	CNC Shield	13
7	Controlador A4911	14
8	Controlador DRV8825	14
9	Circuitos impresos en baquelita	15
10	Circuitos Sided Plates Holes	16
11	Circuitos Multicapas	16
12	Circuito perforado	16
13	Circuito realizado en fibra de vidrio	17
14	Circuito realizado en teflón	17
15	Interfaz del software EasyEDA	19
16	Interfaz del software Inkscape	19
17	Interfaz del Software Universal Gcode Sender	20
18	Porcentaje de personas que han escuchado acerca de las maquina CNC	24
19	Cantidad de personas que consideran necesario realizar los circuitos en baquelita	25
20	Grafica de la frecuencia con la que estudiantes realizan proyectos de ámbito electrónico	26
21	Grafica de los métodos con lo realizan circuitos impresos	27
22	Porcentaje de estudiantes que ha tenido problemas creando circuitos impresos	28
23	Porcentaje de estudiantes que tiene conocimientos acerca de software para diseño de circuitos electrónicos.	29
24	Cantidad de estudiantes que están dispuestos a aprender cómo usar correctamente una CNC.	30
25	Porcentaje de estudiantes que usarían una maquina CNC.	31

N.º	Descripción	Pág.
26	Imagen del prototipo de maquina CNC construido	34
27	Rodamientos lineales modelo SC8UU	35
28	Motores paso a paso Nema 17	36
29	Soportes para motores nema 17	36
30	Acoples flexibles de 5 a 8mm	37
31	Moto-tool truper de 140w3	37
32	Modulo Shield CNC	38
33	Controladores A4988	38
34	Alimentación de 12V a 2A	39
35	Corte de madera realizado por una cortadora a laser	39
36	Piezas de madera cortadas a laser	40
37	Cuerpo principal de la maquina CNC armado	40
38	Pieza donde reposa el eje X y Z armada	41
39	Armado el eje Y	41
40	Calibración de la varilla roscada	42
41	Eje del motor y varilla roscada unidas mediante acople flexible	42
42	Maquina CNC con todos los componentes ensamblados	43
43	Prototipo de CNC con acabado de pintura naranja	43
44	Imagen añadiendo la librería GRBL	44
45	Imagen de la instalación de GRBL para Arduino	44
46	Ubicación de la resistencia de censado en controladores A4988	45
47	Montaje de la parte electrónica de la Maquina CNC	46
48	Calibración de controladores de motores de 1.5 Amperios	46
49	Calibración de controlador de motor de 1.2 Amperios	47
50	Conexión del puerto COM de Arduino en el programa Universal Gcode Sender	47
51	Circuito realizado en EasyEDA.	49
52	Diseño de circuito en PCB	50
53	Imagen lista para transformase a JPG	50
54	Ventana de configuración sobre los parámetros de la imagen.	51
55	Ventana para configurar opciones de vectorización de la imagen	51
56	Diferencias entre una imagen vectorizada y una imagen normal	52

N.º	Descripción	Pág.
57	Distintos nodos que conforman a una imagen vectorizada	52
58	Desvío dinámico realizado en la imagen de muestra	53
59	Menú de opciones de configuraciones de las herramientas para Código G	53
60	Configuración de la profundidad a la que trabajara la herramienta de fresado	54
61	Opciones de Herramientas predeterminadas	54
62	Configuración de los parámetros feed y diameter	54
63	Ventana de opciones para transformar a código G la imagen.	55
64	Esquema del Trayecto que tendrá la imagen al momento del mecanizado de esta	55
65	Archivos de extensión. ngc que contienen las imágenes convertidas en código G	56
66	Simulación del recorrido de la herramienta al momento del mecanizado	56
67	Captura de cómo debería quedar la imagen para la creación los huecos	57
68	Captura de cómo debería quedar la imagen para el corte de los bordes de la baquelita	57

Índice de tablas

N.º	Descripción	Pág.
1	Comparación de diferentes tipos de Arduino.	12
2	Cantidad de personas que han escuchado acerca de las maquina CNC	24
3	Cantidad de personas que consideran necesario realizar los circuitos en	25
4	Frecuencia con la que estudiantes realizan proyectos de ámbito electrónico.	26
5	Métodos que los estudiantes usar para crear circuitos impresos.	27
6	Cantidad de estudiantes que ha tenido problemas creando circuitos impresos	28
7	Cantidad de estudiantes que tiene conocimientos acerca de software para diseño de circuitos electrónicos.	29
8	Cantidad de estudiantes que están dispuestos a aprender cómo usar correctamente una CNC.	30
9	Cantidad de estudiantes que usarían una maquina CNC.	31
10	Lista de comandos para configurar parámetros del GRBL.	48

Índice de anexos

N.º	Descripción	Pág.
1	Artículos del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos	61
2	Modelo de Encuesta realizada a los estudiantes.	63
3	Medidas del Prototipo de maquina CNC	65



**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA**

UNIDAD DE TITULACIÓN

**“PROTOTIPO DE MAQUINA CNC ENFOCADA A IMPRESIÓN DE
CIRCUITOS ELECTRONICOS PARA LOS ESTUDIANTES DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL”**

Autor: Barrera Chalen Cristhian Alberto.

Tutor: Ing. Veintimilla Andrade Jairo Geovanny, MBA.

Resumen

Actualmente en muchas de las carreras de carácter tecnológico es normal encontrar en sus mallas materias relacionadas con la electrónica, en donde las clases impartidas no solo quedan en la teoría si no que pasan también a la práctica y los estudiantes deben comprobar que pueden obtener los mismos resultados de los simuladores ejecutados con componentes reales. La presente investigación se enfoca en la construcción de un prototipo de máquina de control numérico computarizado (CNC) para los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Industrial de tal manera que este prototipo este compuesto de materiales que se puedan encontrar fácilmente y no representen un obstáculo al momento de la construcción. Este tipo de maquina tiene muchos usos distintos, pero el prototipo estará enfocado únicamente al mecanizado de circuitos impresos por medio del fresado de la capa de cobre de la baquelita con la idea de facilitar el trabajo a los estudiantes con sus distintos proyectos de carácter electrónico. Se realizaron encuestas para comprobar el grado de aceptación de este tipo de maquina en los estudiantes y profesores obteniendo un resultado favorable y observando la inquietud y la curiosidad de los estudiantes hacia las nuevas tecnologías que emergen día a día para finalmente desarrollar un prototipo basado en sus necesidades.

Palabras clave: Control numérico computarizado, Circuitos impresos, mecanizado, baquelita.



**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA**

UNIDAD DE TITULACIÓN

**“PROTOTYPE OF CNC MACHINE FOCUSED ON PRINTING OF
ELECTRONIC CIRCUITS FOR STUDENTS OF THE FACULTY OF
INDUSTRIAL ENGINEERING”**

Author: Barrera Chalen Cristhian Alberto.

Advisor: SE. Veintimilla Andrade Jairo Geovanny, MBA.

Abstract

Currently, in many of the technological careers is normal to find in their curricular meshes subjects related to electronics, where the classes taught not only remain in the theory but also go to practice and students should check that they can get the same results of the simulators executed with real components. The present investigation focuses on the construction of a computer numerical control (CNC) prototype for the students of the Faculty of Industrial Engineering in such a way that this prototype is composed of materials that can be easily found and do not represent an obstacle to the moment of construction. This type of machine has many different uses, but the prototype will be focused only on the machining of printed circuits by means of the milling of the Bakelite copper layer with the idea of facilitating the work of the students with their different electronic projects. Surveys were conducted to verify the degree of acceptance of this type of machine in students and teachers obtaining a favorable result and observing the restlessness and curiosity of the students towards the new technologies that emerge every day to finally develop a prototype based on their needs.

Keywords: Computerized numerical control, printed circuits, machining, bakelite.

Introducción

Gracias al internet actualmente el mundo tecnológico se encuentra en una constante evolución debido a la facilidad con la que ahora se accede y se comparte la información desde distintas partes del planeta dando así el nacimiento a los softwares libres, este tipo de software sin licencia y accesible a todo el mundo permite que miles de programadores revisen, corrijan fallos y optimicen dicho software teniendo una evolución constante del mismo y no solo quedando en el software si no también en el hardware es así como se dio el nacimiento de Arduino una placa multifuncional con software y hardware libre. Con el nacimiento de Arduino miles de personas dieron rienda suelta a su imaginación creando una gran cantidad de proyectos electrónicos que sean compatibles con este y debido al su fácil uso y comprensión incentivaban a más personas a interesarse en la tecnología y realizar dichos proyectos por si mismos entre uno de los ejemplos más importantes tenemos la impresora 3D.

Todas las universidades en general buscan siempre estar a la vanguardia con la tecnología creando carreras que puedan generar profesionales que satisfagan la demanda laboral que afronta la sociedad con la evolución constante de estas tecnologías, la Universidad Estatal de Guayaquil estar siempre en constante evolución y para no quedarse atrás creo diferentes carreras de carácter tecnológico acogiendo a miles de estudiantes que desean estudiar carreras de este tipo, estas carreras tecnológicas usualmente están relacionadas con materias en donde le estudiante tiene que diseñar y elaborar circuitos, una vez impartida la teoría los maestros pasan a usar simuladores para practicar como realizar estos circuitos de tal manera que no exista peligro si los estudiantes se confunden y estos puedan familiarizarse y experimentar con los distintos componentes electrónicos pero contar solo con resultados de simulaciones no es lo más adecuado por lo que el siguiente paso es recrear lo realizado en la simulación con componentes electrónicos reales y comparar resultados para ver la diferencia entre una simulación y la realidad.

Este proyecto tiene como finalidad crear un prototipo de una máquina de control numérico computarizado que facilite a los estudiantes a crear circuitos impresos de sus distintos proyectos enviados por sus maestros en la universidad. Esto les permitirá a los estudiantes el crear sus circuitos dentro de la institución y no tener los problemas que se tendría con los diferentes métodos que existen para la creación de circuitos impresos, los cuales suelen ser laboriosos e incluir químicos dañinos para la salud.

Capítulo I

El Problema

1.1 Planteamiento del Problema

En la actualidad en muchos hogares y empresas ya se cuenta con máquinas automáticas que basadas en electrónica permite que uno o varios procesos se automaticen, debido al creciente mercado y la competitividad no solamente existen profesionales que reparen o den mantenimiento a estas máquinas tanto en hardware como en software, sino que también actualmente existen profesionales que diseñan equipos o maquinas hechos a la medida y debido a la popularización de la impresora 3D y a que cada vez es más común encontrar software libre, ha dado rienda suelta a la imaginación de muchas personas de tal manera que pueden existir una o más variantes de la misma maquina teniendo la misma estructura pero enfocadas a tareas específicas.

Debido a la constante evolución de estas tecnologías las universidades se vieron en la necesidad de adaptarse a los cambios e implementar carreras que se adaptaran a estos cambios, por consiguiente, nacieron carreras como Ingeniería en Mecatrónica, Electrónica, Teleinformática, etc. En algún punto de las carreras de este ámbito se llega al tema de diseño de sistemas electrónicos, tema que si bien se imparte de manera teórica la práctica es fundamental para entender cada uno de los puntos que se llegase a ver, sin embargo, antes de saltar a la práctica existe un paso intermedio que son los simuladores virtuales como pueden ser Proteus, NI Elvis, NI Multisim, etc. Estos simuladores permiten a los estudiantes experimentar con diversos componentes electrónicos al momento de diseñar sus circuitos además de que podrán comprobar si el diseño creado funciona correctamente, una vez haya culminado esta etapa de experimentación los estudiantes procederán a ensamblar los componentes electrónicos en sus tablas de pruebas (protoboard).

Existen muchos proyectos que son realizados por estudiantes a lo largo de las diferentes carreras que existen en la Facultad de Ingeniería Industrial, muchos de estos proyectos la mayoría de las veces son prototipos que necesitan componentes electrónicos para formar un circuito eléctrico, los cuales van colocados y ordenados en una baquelita de cobre mediante el esquema de un circuito que se tiene preparado con anterioridad, normalmente se suelen usar baquelitas que ya vienen previamente perforadas pero el soldar y unir los componentes en estos suele ser una tarea difícil y además pueden surgir varios errores ocasionando que alguno de los componentes se puedan quemar.

La mejor manera es realizar el diseño de una placa de circuito impreso con las pistas y buses que van a interconectar los diferentes componentes, pero mandar a realizar este tipo

de placas tiene un costo alto dependiendo de cuantos componentes vayas a usar y si se lo realiza de manera manual con los químicos necesarios para corroer el cobre y formar las pistas puede ser un proceso bastante tedioso debido a que si no usas la cantidad de químicos correcta puedes interconectar diferentes pistas y ocasionar un corto.

Al contar con una maquina CNC en la facultad los estudiantes no tendrán que complicarse tanto al momento de hacer sus circuitos impresos con los puntos antes mencionados y obtendrán un resultado limpio y preciso, listo para montar todos los componentes electrónicos.

1.2 Objeto de investigación

Una máquina de control numérico computarizado (CNC) tiene muchos usos dependiendo del tipo de herramienta que se coloque en su eje Z, estos usos van desde fresar madera y aluminio si se usa una fresadora, cortar metales blandos, madera y plástico si se usa una pistola laser, o incluso transformarla en una impresora 3D si se usa un extrusor.

El propósito de este proyecto es realizar un prototipo de CNC que permita crear circuitos impresos en baquelitas, con el fin de que los estudiantes de la facultad de Ingeniería Industrial puedan usar este prototipo para poder realizar los proyectos electrónicos que se les presenten a lo largo de la carrera de una forma más fácil, rápida y ecológica.

1.3 Formulación y Sistematización del Problema

1.3.1 Formulación del Problema.

¿Puede una maquina CNC ayudar a crear circuitos impresos en baquelitas de una manera mucho más rápida y eficiente comparada a los métodos convencionales que existen hoy en día de tal manera que los estudiantes de la facultad de ingeniería industrial puedan hacer uso de ella para sus proyectos?

1.3.2 Sistematización del Problema.

Actualmente existen varios métodos para crear placas de circuitos impresos tanto de una manera profesional como de una manera casera, sin embargo cada uno de ellos tiene algunas desventajas como costo elevado o el nivel de dificultad al momento de realizarlo de manera casera siendo esta última bastante tediosa y propensa a errores, este proyecto busca que los estudiantes puedan crear sus placas de circuitos eléctricos de una manera relativamente fácil donde el único material necesario será la baquelita de cobre.

Para llevar a cabo este proyecto de titulación se deberá dar solución a las siguientes preguntas:

- ¿Qué metodología se usará para la recopilación de información acerca de que tan factible seria tener una maquina CNC en la facultad de ingeniería industrial?
- ¿Cuáles son las partes y piezas más adecuadas para la construcción de una maquina CNC?
- ¿Qué beneficios ofrecerá el tener una maquina CNC para los estudiantes de la facultad de ingeniería industrial?
- ¿Como se demostrará el correcto funcionamiento del prototipo de la maquina CNC?

1.4 Objetivos de la Investigación

1.4.1 Objetivo General.

Realizar un prototipo de una maquina CNC que permita crear circuitos en baquelitas para los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Industrial.

1.4.2 Objetivos específicos

- Realizar un estudio acerca de la necesidad de una maquina CNC para la impresión de circuitos en baquelitas en la Facultad de Ingeniería Industrial.
- Analizar las diferentes partes y piezas que se usaran en el diseño de la maquina CNC.
- Elaborar el prototipo de maquina CNC con las partes y piezas para su correcto funcionamiento.
- Realizar pruebas de funcionamiento del prototipo imprimiendo circuitos en baquelitas.

1.5 Justificación e importancia

Los estudiantes a lo largo de la carrera por la que cursan en la facultad de ingeniería industrial tienen la necesidad de crear circuitos electrónicos los cuales una vez probados en un protoboard se transfieren a una baquelita de cobre la cual debe tener impreso las pistas y buses que van a conectar los componentes eléctricos para sus proyectos.

La máquina CNC les permitirá a los estudiantes crear su placa de circuitos impresos de una manera fácil, rápida y ecológica, ya que el método tradicional es un tanto complejo en este se usan químicos como el cloruro férrico el cual es un gas toxico y hay que tener cuidado de no respirarlo al momento de la reacción química, con el que se crean las pistas

en la baquelita luego que el cobre se vaya quemando, este proceso es tardado y si lo descuidas o dejas mucho tiempo la baquelita en la reacción química, las pistas podrían desaparecer o podría crearse algún tipo de conexión que puede ocasionar un corto en el circuito.

Por otro lado, la maquina CNC solo necesita una imagen del circuito eléctrico que se desea imprimir, esta será procesada por programas que enviaran información a la máquina para que empiece a crear las pistas en la placa mediante un taladro, este método para grabar circuitos impresos tiene menor probabilidad de errores además de que no se está expuesto a químicos dañinos para la salud.

1.6 Delimitación

Una CNC es una máquina que permite realizar gravados con relieve en distintos materiales blandos, creando un sin número de posibilidades de cómo usarla sin embargo el prototipo que se creara se usara únicamente para imprimir circuitos en baquelita de tal manera que ayude a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Industrial con sus proyectos electrónicos que se les presenten a lo largo de su carrera.

1.7 Alcance

El prototipo será una máquina de control numérico computarizado CNC de 3 ejes, esta operará mediante un Arduino y permitirá la creación de circuitos impresos mediante el fresado de la capa de cobre creando de esta manera las pistas, el área de trabajo de la maquina nos permitirá crear circuitos de hasta 20x13cm.

Este prototipo tendrá un tiempo de trabajo de hasta 3 horas diarias teniendo en cuenta que por cada ciclo de media hora la maquina deberá descansar 15 minutos, de no tener en cuenta este enunciado la vida útil de la máquina de disminuirá enormemente.

Capítulo II

Marco Teórico

2.1 Antecedentes de la investigación

Se puede mencionar que existieron 4 generaciones de máquinas CNC de acuerdo con la evolución de los componentes electrónicos usados para la creación de esta.

- Válvulas electrónicas y relés
- Transistores
- Circuitos integrados
- Microprocesadores

Las primeras máquinas de control numérico computarizado (CNC) se construyeron entre los años 40 y 50, las cuales estaban basadas en máquinas existentes cuyos motores seguían instrucciones dadas en una tarjeta perforada (Lasheras, 2013).

En 1942 un fabricante de componentes de avión al tener problemas para mecanizar una pieza calculó los puntos de trayectoria que conformaban la pieza y los introdujo en una máquina automática para resolver su problema, 5 años más tarde un fabricante de hélices de helicópteros implementó un sistema que leía las trayectorias de puntos grabadas en tarjetas perforadas y mediante esto era capaz de mover los ejes de una máquina, estos fueron los precursores de las CNC actuales y en 1953 se nombró a este tipo de métodos como “Control Numérico” por el MIT (Massachusetts Institute of Technology).

En 1957 se creó la primera instalación comercial de equipo de control numérico, estas primeras máquinas fueron de creación estándar como las fresadoras y taladros actuales, el control numérico por computador nació a finales de los 60's, estos funcionaban mediante programas en la memoria del ordenador y se podían adaptar fácilmente a diferentes funciones modificando el programa, el principal problema en esta época era el tamaño y costo de los computadores por lo que generalmente se tenía un ordenador central conectado a varias máquinas y herramientas las cuales contaban con tiempo compartido para la función y control de estas.

Se realizaron muchas investigaciones debido a la aparición de estas primeras máquinas y gracias a la evolución de los computadores, en 1972 aparece la primera máquina de control numérico computarizado, la cual permitía interpretar ecuaciones matemáticas y generar las trayectorias a mecanizar mediante cálculos realizados previamente.

Posteriormente comenzaron a utilizar programas con instrucciones específicas las cuales se ejecutaban en una computadora, el mecanizado antes pasaba por una simulación para que

no exista ningún error y así el diseño se obtenga reduciendo el tiempo de maquinado y ejecución. (Pabla, 1994).

Este tipo de máquinas fueron creadas para crear piezas metálicas que no se podían copiar manualmente de tal manera que se pudieran mecanizar en muchas veces y que la tasa de error sea baja, con el avance de la tecnología se fueron adaptando nuevas ideas a la CNC permitiendo crear diseños más complejos en diferentes materiales como madera, plástico, espuma, telas entre otros y dando nacimiento a nuevas máquinas como la impresora 3D y la cortadora laser.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Control numérico computarizado (CNC)

El control numérico es el conjunto de operaciones realizadas por maquinas a través de instrucciones codificadas al control de la máquina, estas instrucciones son combinaciones de dígitos símbolos y letras del alfabeto colocados en un orden lógico y formato determinado.

Un sistema de control numérico computarizado no es lo mismo que un sistema de control numérico, ambos trabajan procesando codificaciones para la creación de una pieza y la diferencia radica en que con los sistemas de controles usan funciones lógicas fijas las cuales no pueden ser modificadas una vez ingresadas en la unidad de control, por otro lado los sistemas computarizados trabajan con microprocesadores y registros de memoria lo cual permite el poder modificar libremente las funciones lógicas.

2.2.2 Aplicaciones del CNC

Existen diferentes tipos de trabajos que puede realizar una máquina de control numérico computarizado dependiendo de qué herramienta se use y la finalidad que va a tener la máquina. Entre las aplicaciones más comunes se encuentran:

2.2.2.1 Impresora 3D

Este tipo de maquina con control numérico computarizado se usa para crear figuras de plástico en 3D mediante un Extrusor que derrite el plástico para formar piezas que se hayan diseñado previamente.

2.2.2.2 Maquina de corte laser

Se usa una máquina que maneja un láser de alta potencia para cortar maderas y metales blandos con el objetivo de obtener piezas cortadas a precisión las cuales serían muy difíciles de cortar manualmente debido a las formas complicadas que tendrían.

2.2.2.3 Maquinas fresadoras

Este tipo de maquinaria usa el control numérico computarizado para mecanizar piezas en madera con una fresadora, esta permite cortar, perforar y crear piezas con relieve en madera y metales blandos.

2.2.2.4 Tornos

Esta máquina utiliza el control numérico computarizado para crear piezas mediante el desgastado del material que gira a una alta velocidad.

2.2.3 Mecanizado de piezas

Para mecanizar una pieza con una CNC se utiliza un conjunto de coordenadas generado mediante un programa en una computadora, este sistema funciona mediante la interpretación de estas coordenadas para mover la herramienta con los distintos ejes

El lenguaje usado para controlar los movimientos de la maquina mediante la creación de códigos y parámetros es llamado código G, este código especifica que eje mover a que velocidad, dirección y hasta qué punto debe moverlo para el correcto mecanizado de la pieza que se desea realizar.

2.2.4 Programación del control numérico

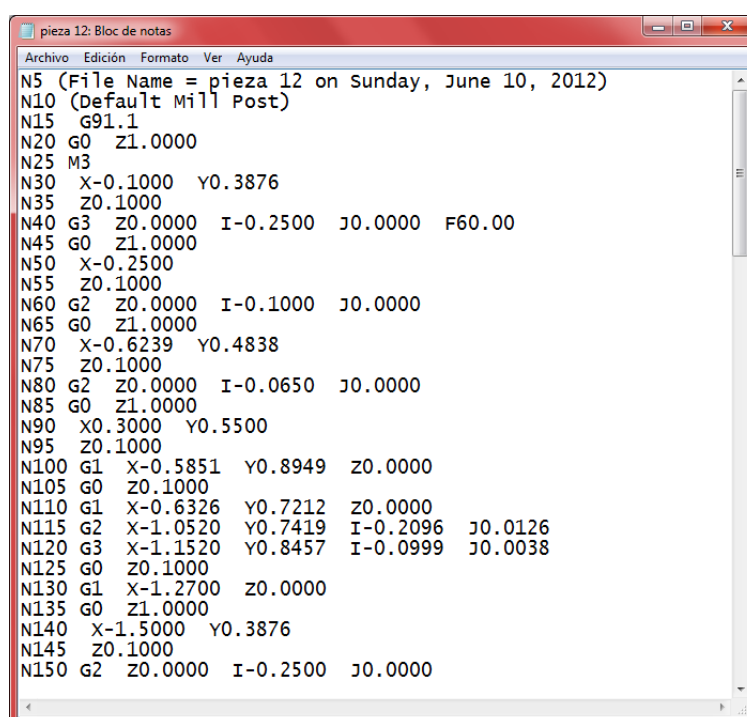
Para realizar un trabajo en una máquina de control numérico computarizado es necesario tener la programación en código G de la figura que se desea mecanizar, esto se puede hacer de dos maneras, manualmente y de forma automática.

Los mecanizados realizados de forma manual suelen ser figuras con formas simples en las cuales la programación no es tan extensa y difícil, por otro lado si se requiere mecanizar una pieza bastante compleja la programación para esta va a ser muy extensa y la probabilidad de cometer errores es muy alta, por ello se crearon las tecnologías de fabricación asistida por computadora (CAM) y las tecnologías de diseño asistido por computadora (CAD) las cuales son un parte fundamental en el mecanizado de piezas complejas.

2.2.5 Código G

“El G-Code (o código G, en castellano) es el nombre de un lenguaje de descripción de operaciones para máquinas de control numérico por ordenador (CNC) que puede ser usado también como lenguaje de programación para controlar estos dispositivos para simplificar operaciones utilizando, por ejemplo, bucles.” (Ventura, 2014)

Existen programas para transformar imágenes y diseños tridimensionales a código G, estas imágenes y diseños se transforman en un conjunto de coordenadas que son las encargadas de proporcionarle información a los motores en los ejes X, Y y Z para moverse y posicionar la fresadora en la posición adecuada para de esta manera realizar el trazado de la imagen o el diseño que se haya cargado anteriormente.



```

N5 (File Name = pieza 12 on Sunday, June 10, 2012)
N10 (Default Mill Post)
N15 G91.1
N20 G0 Z1.0000
N25 M3
N30 X-0.1000 Y0.3876
N35 Z0.1000
N40 G3 Z0.0000 I-0.2500 J0.0000 F60.00
N45 G0 Z1.0000
N50 X-0.2500
N55 Z0.1000
N60 G2 Z0.0000 I-0.1000 J0.0000
N65 G0 Z1.0000
N70 X-0.6239 Y0.4838
N75 Z0.1000
N80 G2 Z0.0000 I-0.0650 J0.0000
N85 G0 Z1.0000
N90 X0.3000 Y0.5500
N95 Z0.1000
N100 G1 X-0.5851 Y0.8949 Z0.0000
N105 G0 Z0.1000
N110 G1 X-0.6326 Y0.7212 Z0.0000
N115 G2 X-1.0520 Y0.7419 I-0.2096 J0.0126
N120 G3 X-1.1520 Y0.8457 I-0.0999 J0.0038
N125 G0 Z0.1000
N130 G1 X-1.2700 Z0.0000
N135 G0 Z1.0000
N140 X-1.5000 Y0.3876
N145 Z0.1000
N150 G2 Z0.0000 I-0.2500 J0.0000
  
```

Figura 1. Ejemplo de código G. Información tomada del repositorio de imágenes de Google. Elaborado por el autor.

2.2.6 Fresadora

“Una Fresadora es una máquina herramienta utilizada para realizar mecanizado por arranque de viruta mediante el movimiento de una herramienta rotativa de varios filos de corte denominada fresa. En las fresadoras tradicionales, la herramienta o fresa gira en una posición fija y el desbastado se realiza acercando la pieza a la herramienta.” (Bavaresco, 2016).

Las Fresadoras eran las encargadas de mecanizar distintas piezas que no podían ser copiadas manualmente en grandes cantidades.



Figura 2. Fresadora de madera. Información tomada de Ferrec. Elaborado por el autor.

2.2.7 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. Estos motores son simples de operar en una configuración de lazo cerrado y debido a su tamaño proporcionan un excelente torque a baja velocidad.” (Jennings, 2002).

Estos motores son utilizados para realizar trabajos que requieren mucha precisión debido a que estos pueden moverse por pasos que pueden ir desde 90° hasta 1.8° , es por ello por lo que son usados en las máquinas de control numérico computarizado ya que estas necesitan de un movimiento preciso para poder mecanizar piezas sin error alguno y esto es gracias a que los controladores mueven el motor dependiendo de la secuencia de pasos que se haya escogido con anterioridad.

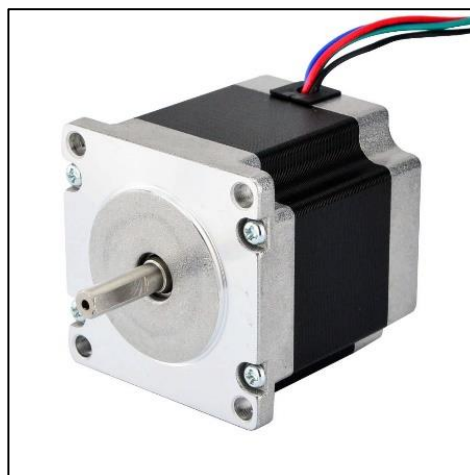


Figura 3. Motor paso a paso. Información tomada de Electronilab. Elaborado por el autor.

2.2.7.1 Tipos de motores paso a paso

Existen diferentes tipos de motores paso a paso entre los tres principales tenemos: los motores de imán permanente, los de reluctancia variable y los híbridos. Los motores de imán permanente son de baja revolución y bajo costo, el rotor no posee dientes y su imán está anclado permanentemente en la estructura del motor de tal manera que el rotor se encuentra magnetizado con los polos norte y sur creando de esta manera el flujo creado por los imanes permite tener unos pasos entre 7.5° y 15° .

Los motores de reluctancia variable permiten la rotación del eje mediante un estator, con bobinas que se energizan con corriente y atraen a los múltiples dientes que conforman el rotor.

Los motores híbridos son los que mejor desempeño tiene ya que juntas características de los dos mencionados con anterioridad teniendo un rotor con múltiples dientes e imanes permanentes alrededor del eje lo cual genera un mejor flujo magnético y un mejor torque, los ángulos de pasos que tiene este tipo de motores vería entre $0,9^\circ$ y $3,6^\circ$.

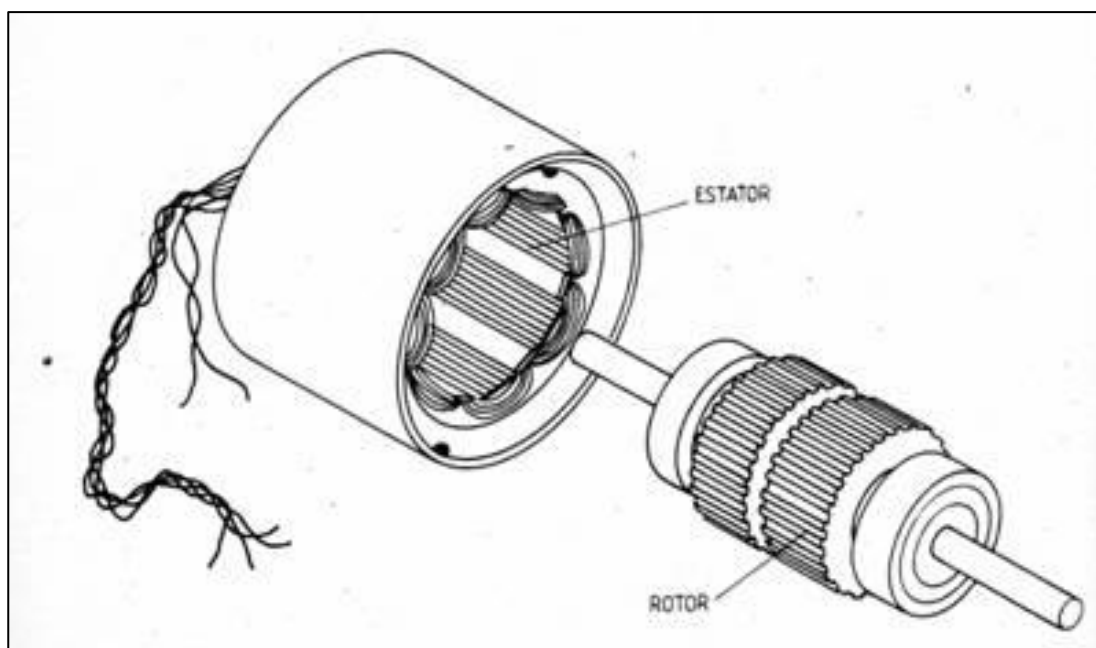


Figura 4. Imán de Motor paso a paso. Información tomada de imágenes de Google. Elaborado por el autor.

2.2.8 Arduino

“El Arduino es una placa basada en un microcontrolador, específicamente un ATMEL. Un microcontrolador es un circuito integrado (podríamos hablar de un microchip) en el cual se pueden grabar instrucciones. Estas instrucciones se escriben utilizando un lenguaje de programación que permite al usuario crear programas que interactúan con circuitos electrónicos.” (García, 2015).

Tabla 1. Comparación de diferentes tipos de Arduino.

Prestaciones	Uno	PRO	Nano	Mega
Microcontrolador	Atmega328V	ATmega328V	ATmega168	ATmega2560
Voltaje de funcionamiento	5v	3.3v	5v	5v
Pines I/O Digitales	14	14	14	54
Pines analógicos	6	8	8	16
Memoria flash	32 KB	32KB	32KB	256KB
Sram	2 KB	2KB	2KB	8KB

Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor

Como podemos observar en la tabla de comparaciones casi todos los Arduinos tienen las mismas prestaciones en cuanto a memorias y voltaje con la diferencia del Arduino Mega que sobrepasa enormemente a los otros, pero no usaremos este debido a que no existe un CNC shield que este específicamente adaptado a este.

El Arduino nano también es una opción si queremos que la parte electrónica no sobresalga demasiado en la máquina, existe un CNC shield para el Arduino nano, pero este no guanta voltajes superiores a 12v.

Para la construcción de la CNC se usará un Arduino uno ya que no necesitamos de más prestaciones para el proyecto que tenemos en mente, además de que el Arduino uno es compatible con el CNC shield, se ejecutara una librería para la placa que servirá como intérprete del código G en donde se configurara parámetros como la velocidad y la aceleración que tendrán los motores además se calibrara la distancia de pasos con la que se moverán y todos estos datos serán enviados a los controladores y posteriormente a los motores.

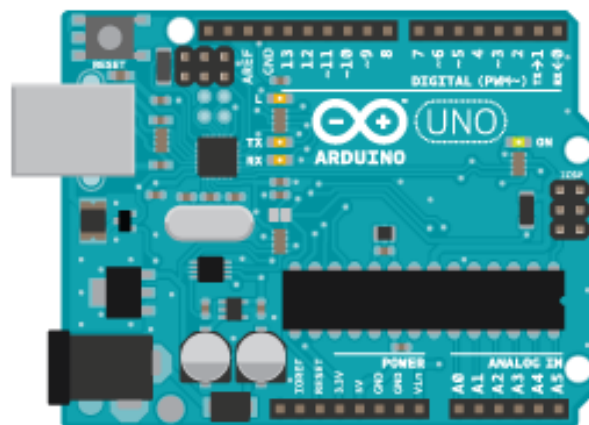


Figura 5. Arduino Uno. Información tomada de Arduino. Elaborado por el autor.

2.2.9 CNC Shield

Es una de las tantas placas compatibles con Arduino, pero está en específico ayuda a simplificar la parte electrónica de la CNC así evitando cualquier fallo por algún error al momento de conectar los controladores al Arduino, esta placa cuenta con 4 entradas para colocar diferentes tipos de controladores para los motores paso a paso, este tipo de placa admite hasta 4 motores y cuenta con la posibilidad de duplicar uno de ellos, se pueden ajustar los pasos de los motores a pasos completos, medios pasos, micro pasos, etc. con los jumper que se colocan en los pines M0, M1 y M2.

Este CNC shield necesita una alimentación externa de 12 a 24V para alimentar a los motores, además de que trae consigo muchas más ventajas como el hecho de poder agregar fines de carrera a la máquina, adaptarlo para enviar las ordenes de manera inalámbrica desde la PC hasta la CNC, y adaptarles botones externos para pausar el mecanizado, reanudarlo o abortarlo.

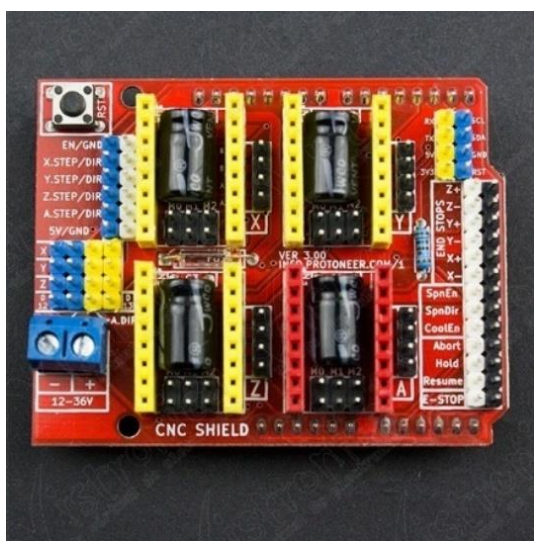


Figura 6. CNC Shield. Información tomada de imágenes de Google. Elaborado por el autor.

2.2.10 Controlador de motores A4988

“El controlador para motor a pasos A4988 cuenta con ajuste de corriente, protección de sobre corriente y sobre temperatura y 16 resoluciones de “micro-stepping” para lograr hasta 1/16 de paso. Opera en un rango de 8 a 35 volts y puede entregar hasta 1A por fase sin la necesidad de utilizar un disipador de calor o sistema de ventilación forzado. Se pueden lograr corrientes de hasta 2A utilizando disipadores de calor y ventiladores.” (Allegro MicroSystems).

Este tipo de controladores se diferencian del resto por el bajo rango de operatividad que tienen ya que, al poseer un rango tan bajo, pueden trabajar perfectamente con el Arduino sin

quemarlo, si se usara otro tipo de controladores se necesitaría una fuente de alimentación con más amperaje y eso podría dañar nuestro Arduino.

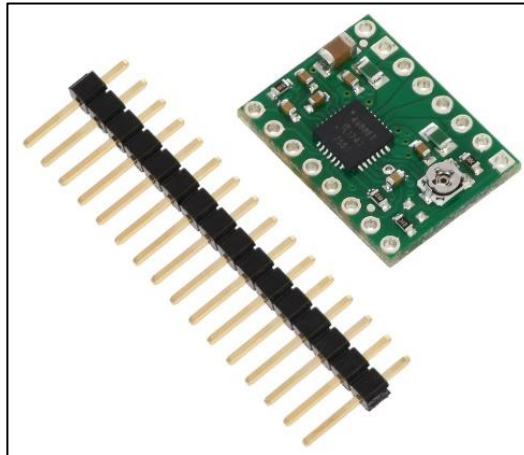


Figura 7. Controlador A4911. Información tomada de imágenes de Google. Elaborado por el autor.

2.2.11 Controlador de motores DRV8825

Este tipo de controladores tienen ciertas ventajas con respecto a los anteriores los que los hace una mejor opción dependiendo del tipo de trabajo que vaya a realizar tu CNC, la principal ventaja es que soportan hasta 45V comparado con los 35V del anterior, pero el Arduino no soporta esos voltajes por lo que no sería adecuado el usarlos, otro punto a favor es que soportan hasta 1,5 A sin la necesidad de un disipador, eso hace que la maquina pueda trabajar más tiempo seguido sin descanso y en cuestiones de configuración el A4988 soporta hasta 16 micro pasos solamente, comparado con los 32 micro pasos del DRV8825 sin embargo si no se alimenta con la potencia necesaria a los motores lo único que se obtendrá será una pérdida de pasos.

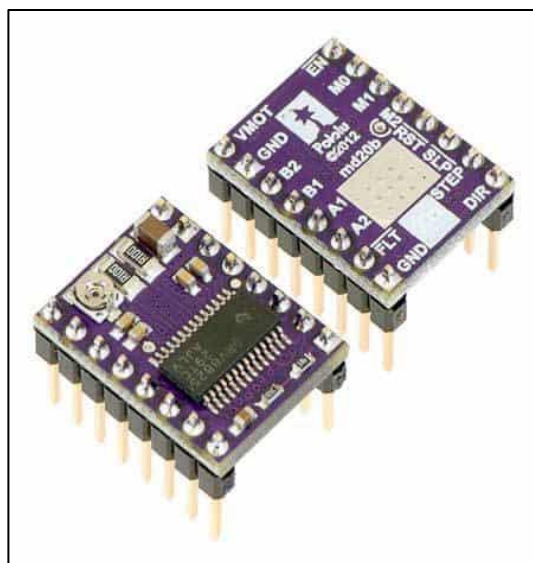


Figura 8. Controlador DRV8825. Información tomada de imágenes de Google. Elaborado por el autor.

2.2.12 Circuitos impresos

“El circuito impreso también conocido como PCB, se encarga de sostener de forma mecánica y de conectar eléctricamente componentes electrónicos. Para lograr este trabajo utiliza pistas o rutas de material conductor; los cuales se graban desde hojas de cobre laminadas encima de un sustrato no conductor. Estos circuitos generalmente presentan una elevada fiabilidad; además son muy baratos, robustos, y en muchas ocasiones necesita un mayor esfuerzo para el posicionamiento de los componentes.” (ARQUIS, 2012).

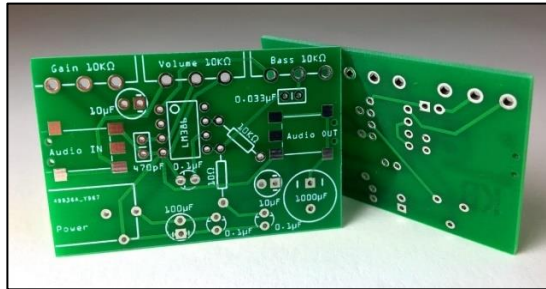


Figura 9. Circuitos impresos en baquelita. Información tomada de imágenes de Google. Elaborado por el autor.

Existen diferentes tipos de circuitos impresos dependiendo del número de capas por el cual este conformado el mismo, los más sencillos son de una sola capa, pero los que se usan más comercialmente son normalmente los de dos capas, es decir que cuenta con un diseño de un circuito de lado y lado. Dependiendo de las complejidades del diseño del circuito estos pueden contar desde ocho o más capas.

2.2.12.1 Tipos de circuitos

2.2.12.1.1 Sided Plates Holes

Es un circuito de bajo coste de fabricación, sin embargo, su estructura es compleja y complicada, aunque permite tener conexión de cara a cara ya que posee unos orificios metalizados que permiten tener continuidad entre la capa superior e inferior.

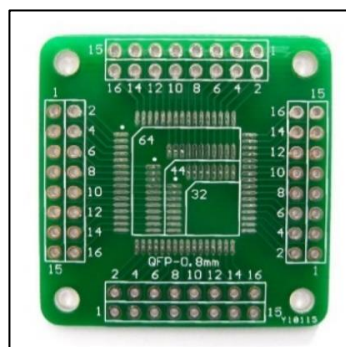


Figura 10. Circuitos Sided Plates Holes. Información tomada de imágenes de Google. Elaborado por el autor.

2.2.12.1.2 Multicapa

Este es el PCB más utilizado comercialmente debido a su gran flexibilidad para trabajar, generalmente poseen entre 8 a 10 capas que suelen encontrarse dentro del sustrato (Arqhys, 2012), en la imagen se puede apreciar las distintas capas que conforman el PCB multicapa.

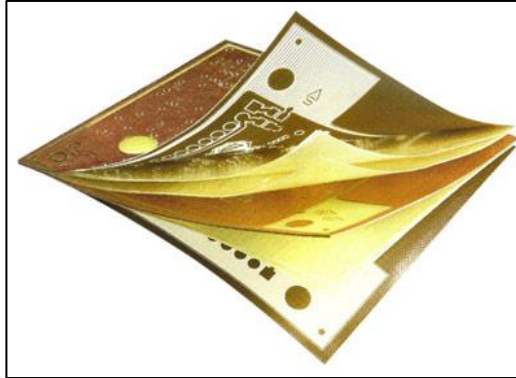


Figura 11. Circuitos Sided Plates Holes. Información tomada de imágenes de Google. Elaborado por el autor.

2.2.12.1.3 Two-Sided Non-Plated Holes

Este tipo de PCB posee huecos, pero sin conexión entre ambas caras, para lograr continuidad se debe soldar cada uno de los nodos, normalmente se lo conoce como circuito perforado.

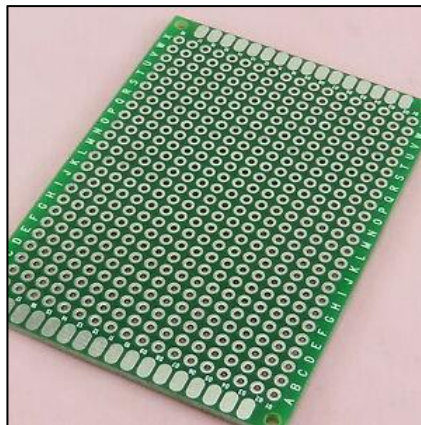


Figura 12. Circuito perforado. Información tomada de imágenes de Google. Elaborado por el autor.

2.2.12.2 Tipos de materiales usados para crear el PCB

2.2.12.2.1 Baquelita

La baquelita es un material sintético y aislante sobre el cual se va a crear un circuito eléctrico en la parte superior se encuentra una fina capa de material conductor el cual va a permitir la comunicación entre nuestros diferentes componentes electrónicos, pero antes de eso debe ser removido de tal forma que solo queden las pistas necesarias que va a usar el circuito.

2.2.12.2.2 Fibra de vidrio

Este tipo de material es más resistente que la baquelita y es usado generalmente porque es más duradero y se pueden observar los puentes que conectan las distintas capas.

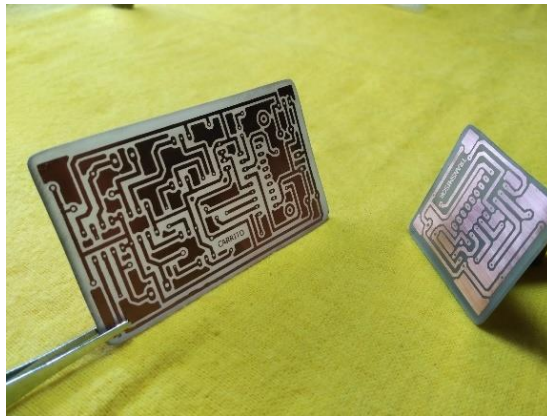


Figura 13. Circuito realizado en fibra de vidrio. Información tomada de imágenes de Google. Elaborado por el autor.

2.2.12.2.2 Teflón

Las placas de teflón son más costosas que las anteriores, pero de la misma forma son de mejor calidad debido a que este material no tiende a absorber humedad, además de que es un excelente dieléctrico.

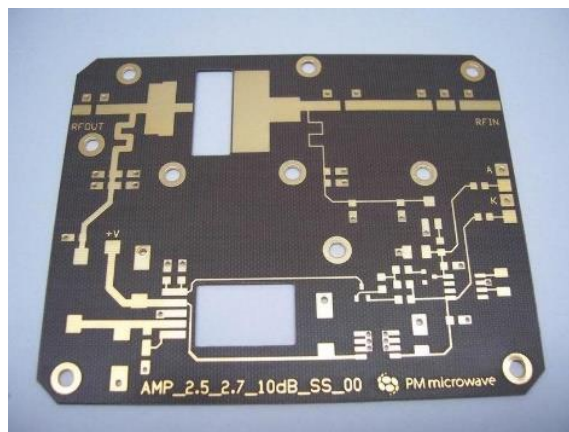


Figura 14. Circuito realizado en teflón. Información tomada del repositorio de imágenes de Google. Elaborado por el autor.

2.2.12.3 Técnicas para elaboración de circuitos impresos

2.2.12.3.1 Ataque Químico

Para realizar esta técnica de creación de PCB primero se tiene que diseñar el circuito mediante algún software computacional, este se lo transferirá a la parte de cobre de la baquelita mediante algunos de los siguientes métodos y posteriormente se lo sumergirá en cloruro férrico para que elimine el excedente de cobre.

2.2.12.3.1.1 Método manual

Este método es usado para crear circuitos sencillos, para ello diseñamos manualmente el circuito electrónico y procedemos a calcar el diseño en la parte de cobre con un marcador permanente.

2.2.12.3.1.2 Método del Papel acetato

En este método se imprimirá el diseño del circuito eléctrico creado por computadora en papel acetato, se procederá a colocar el lado del papel que tiene la tinta contra el lado de cobre que tiene la baquelita y se aplicará calor por medio de una plancha, tenemos que planchar el acetato contra la placa hasta que la tinta se desprenda de este y quede en la baquelita.

2.2.12.3.1.2 Método de la impresora láser

Este método es muy similar al anterior con la diferencia de que en lugar de usar papel acetato se usará papel fotográfico con el diseño impreso mediante una impresora láser, este es el método más efectivo para transferir la tinta a la placa de cobre de tal manera que el quemado del cobre con el químico no afecte las pistas con las que se va a trabajar.

2.3 Marco Conceptual

2.3.1 Softwares a usar para el correcto uso de la CNC

Para que la CNC realice el mecanizado del impreso primero se deben realizar una serie de pasos en distintos softwares, primero debemos realizar el diseño del circuito electrónico y guardarlo como imagen, luego esa imagen la vectorizamos y la convertimos en código G, finalmente se carga el código G en el programa que interpreta el mismo y este último es el que se encarga de darle las órdenes a los motores, a continuación se enlistarán los programas usados en este proyecto.

2.3.1.1 EasyEDA

Este software es donde se crearán los diseños de los circuitos electrónicos, este software cuenta con una amplia biblioteca de componentes electrónicos de donde escogeremos los más adecuados para nuestro diseño, una vez que se haya realizado el diseño este programa te permitirá pasar el diseño a PCB donde se podrá ubicar los componentes electrónicos libremente y dibujar las pistas del circuito, posteriormente nos dejará guardar el diseño del PCB en formato de imagen.

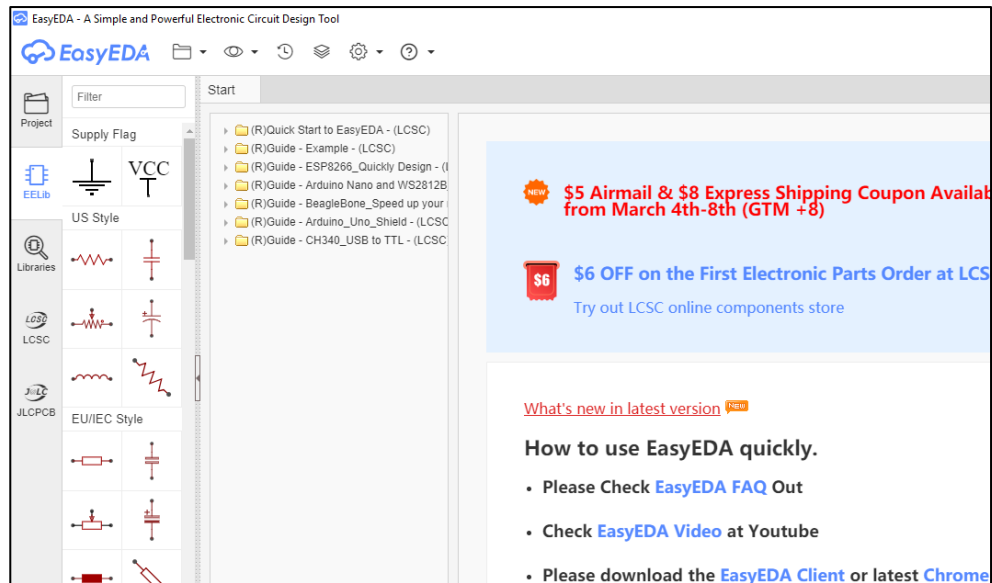


Figura 15. Interfaz del software EasyEDA. Información tomada de PC-BARRERA. Elaborado por el autor.

2.3.1.2 Inkscape

Este software es el encargado de vectorizar las imágenes del diseño PCB generadas en EasyEDA, además es en este programa que se modificaran parámetros como el tipo de herramienta que se va a usar para el fresado, el diámetro de la herramienta, la velocidad de fresado, el punto de origen del trabajo y a que profundidad trabajara la herramienta, una vez configurados todos estos parámetros se procederá con la transformación de la imagen vectorizada a código G, el tipo de archivo que se generara es de extensión ngc .

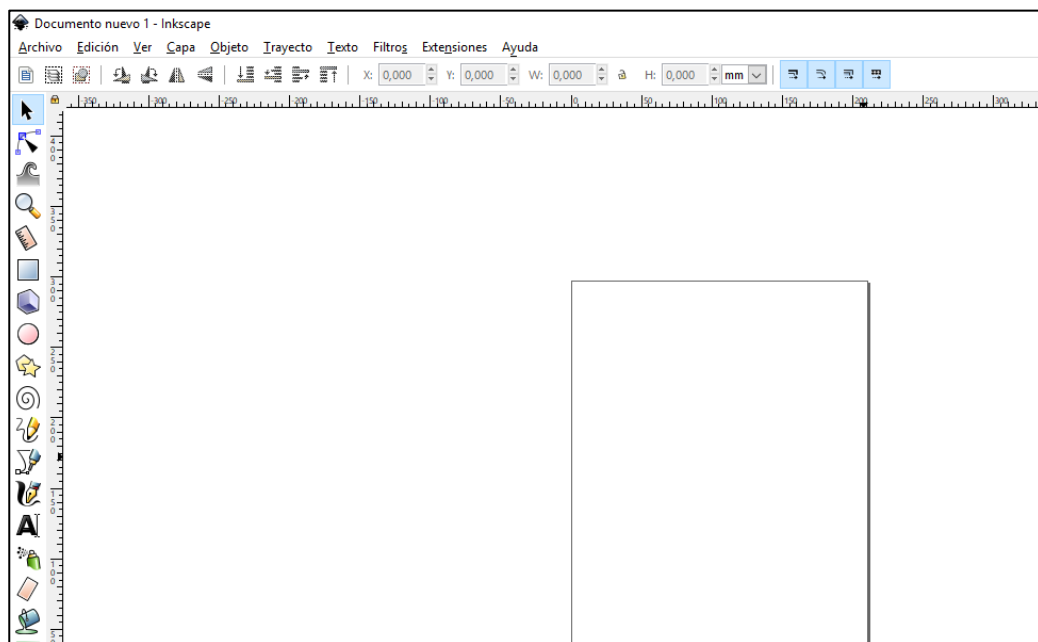


Figura 16. Interfaz del software Inkscape. Información tomada de PC-BARRERA. Elaborado por el autor.

2.3.1.3 Universal Gcode Sender

Este es el Software que leerá los archivos en código G, mantendrá conexión con el GRBL instalado en el Arduino y servirá de interprete para que los motores puedan moverse según los parámetros que le hayamos configurado con anterioridad.

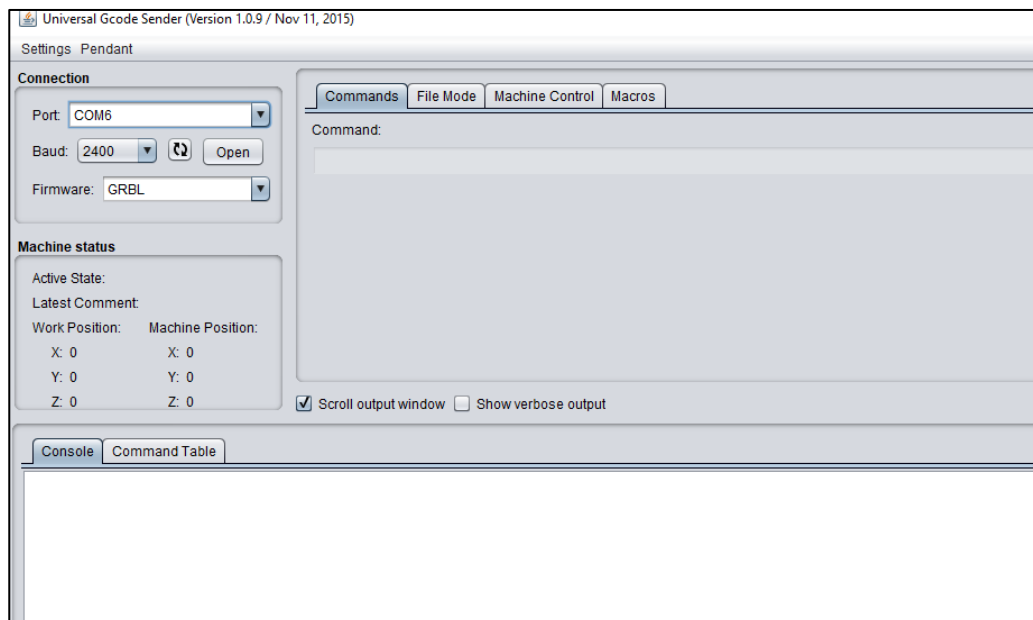


Figura 17. Interfaz del Software Universal Gcode Sender. Información tomada de PC-BARRERA. Elaborado por el autor.

2.4 Marco Legal

Según el Código orgánico de la economía social de los conocimientos, se ha determinado que los siguientes artículos están directamente relacionados con el proyecto “Prototipo de maquina CNC enfocada a impresión de circuitos electrónicos para los estudiantes de la facultad de Ingeniería Industrial”.

2.4.1 Artículo 5

Este artículo habla sobre el sistema nacional de ciencia y tecnología el cual comprende el conjunto de normas políticas, instrumentos, procesos, instituciones, entidades e individuos que participan en innovando y creando para generar ciencia y tecnología, además de potenciar los conocimientos tradicionales para generar valor y riqueza a la sociedad.

2.4.2 Artículo 277

En este artículo se habla de que el estado debe impulsar proyectos del buen vivir, promover e impulsar la ciencia y tecnología que tengan que ver con las actividades de iniciativa creativa comunitaria y comunitaria como lo es nuestro proyecto.

2.4.3 Artículo 385 y 386

Los artículos hablan de que el sistema de ciencia y tecnología e innovación respete el ambiente y genere, adapte o difunda conocimientos científicos y tecnológicos capaces de fortalecer y potenciar los conocimientos tradicionales y así se desarrolle mejoras tecnológicas e innovaciones que eleven la eficiencia y productividad de la producción nacional.

2.4.4 Artículo 387

El estado será responsable de fomentar la investigación científica y tecnológica, además de garantizar la libertad de creación e investigación en el marco del respeto a la ética, la naturaleza y el ambiente.

Capítulo III

Metodología

3.1 Descripción del proceso metodológico

Este trabajo tiene como objetivo principal el desarrollo del prototipo de una máquina de control numérico computarizado (CNC) para la facultad de Ingeniería Industrial para facilitar la creación de circuitos impresos a los estudiantes. Con este método diferente de los habituales, se puede crear placas de circuitos impresos de una manera mucho más rápida y con una probabilidad muy baja de que existan errores en las pistas de este.

Para comenzar con el desarrollo del prototipo se debe tener una idea clara del diseño que se va a usar, además de haber escogido las piezas que se va a usar en el prototipo pensando en la utilidad que se le va a dar, también se deben tener conocimientos sobre cómo manejar las herramientas que se usaran para lograr que el prototipo funcione correctamente.

3.2 Diseño de la investigación

Esta será una investigación de carácter cualitativo para poder entender el nivel de conocimientos que poseen los estudiantes de la facultad de Ingeniería Industrial acerca del uso de una maquina CNC, además de conocer el grado de aceptación que tendría el prototipo y con qué métodos los estudiantes crean sus circuitos impresos actualmente.

Se hará uso de varios tipos metodologías como la bibliográfica, experimental y descriptiva además de herramientas de recolección de datos como encuestas, las cuales ayudaran a entender que tan viable es el proyecto.

3.3 Enfoque de la investigación

Para el desarrollo de este proyecto se hizo uso de metodología bibliográfica, experimental y descriptiva, tomando en cuenta las bases bibliográficas que existen acerca de los distintos modelos y usos de las maquinas CNC, además de la comparativa entre distintas piezas que se podrían usar en el prototipo de tal manera que se pueda determinar las piezas y el modelo óptimo para poder cumplir el propósito de nuestro prototipo de CNC.

3.3.1 Metodología Bibliográfica

Este tipo de investigación permite explorar bibliográficamente distintas investigaciones de diferentes fuentes como documentos en línea, revistas, artículos, papers, las cuales usaremos para hacer un levantamiento de información como base teórica en el proyecto,

toda esta información referente a los distintos modelos, piezas y softwares que conforman una CNC.

3.3.2 Metodología Experimental

Esta metodología se usará para escoger las piezas óptimas para el prototipo que estamos armando ya que existen diversidad de estas y se debe escoger las que se acoplen más a la idea del proyecto que es crear una CNC para hacer circuitos impresos, de esta manera evitaremos hacer gastos innecesarios y abaratar costos.

También se deberá experimentar con los diferentes softwares que existen para usar una maquina CNC y encontrar el que sea más intuitivo de tal manera que no sea complicado de usar para alguien que no tiene mucho conocimiento en el tema ya que la finalidad del proyecto es crear un prototipo que pueda ser usado por los estudiantes de la facultad.

3.3.3 Metodología Descriptiva

Este tipo de metodología permitirá medir los parámetros o variables que nos planteemos en el proyecto mediante encuestas realizadas a los estudiantes, con ellas podemos comprobar el nivel de aceptación que tienen los estudiantes con respecto al prototipo además de medir los conocimientos que estos poseen con respecto a las CNC y los métodos de fabricación de circuitos impresos.

3.4 Población y muestras

Escoger la población es uno de los puntos más importantes de la investigación, ya que esta nos permite que el estudio realizado se enfoque de una manera correcta y la información estadística obtenida sea confiable.

3.4.1 Selección de la muestra

Para la encuesta se escogió como población a los estudiantes de la facultad de Ingeniería Industrial, y como muestra se escogió a los estudiantes de cursos donde se impartían materias relacionadas con la electrónica y componentes electrónicos de tal forma que estos estudiantes estaban directamente relacionados al proyecto de la CNC dando como resultado 6 cursos con 30 estudiantes, haciendo una muestra de 180 estudiantes.

3.4.2 Resultados

Los resultados de la encuesta serán mostrados en tablas para luego ser analizados

1. ¿Ha escuchado usted acerca del uso de las máquinas de control numérico computarizado (CNC), para la creación de circuitos impresos?

Tabla 2. Cantidad de personas que han escuchado acerca de las maquina CNC

N.º	Respuesta	Cantidad	Porcentaje
1	Para nada	63	35%
2	Poco	40	22%
3	Lo dudo	14	8%
4	Quizás	38	21%
5	Efectivamente	25	14%
Total		180	100%

Información tomada de PC- BARRERA. Elaborado por el autor.

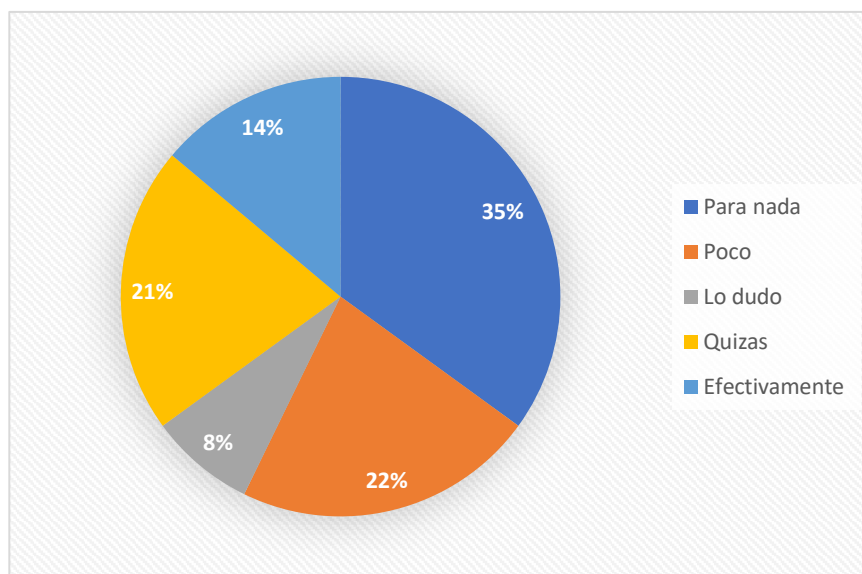


Figura 18. Porcentaje de personas que han escuchado acerca de las maquina CNC. Información tomada de PC-BARRERA. Elaborado por el autor.

Análisis: Al preguntarle a las personas si habían escuchado acerca de las maquinas CNC se puede observar que el mientras que s el 31% no sabía que era de lo que se hablaba, el 22% había escuchado poco, el 8 % lo dudaba el 21% quizás había escuchado de las CNC y 14% de las personas si tenía conocimiento de esta. Podemos decir que el porcentaje de gente que desconocía la CNC es mucho mayor que los que si tienen conocimiento de ella.

2. ¿Considera usted necesario el pasar los circuitos realizados en un protoboard a una baquelita?

Tabla 3. Cantidad de personas que consideran necesario realizar los circuitos en baquelita.

N.º	Respuesta	Cantidad	Porcentaje
1	Para nada	4	2%
2	Poco	18	10%
3	Lo dudo	12	7%
4	Quizás	69	38%
5	Efectivamente	77	43%
Total		180	100%

Información tomada de PC-BARRERA. Elaborado por el autor.

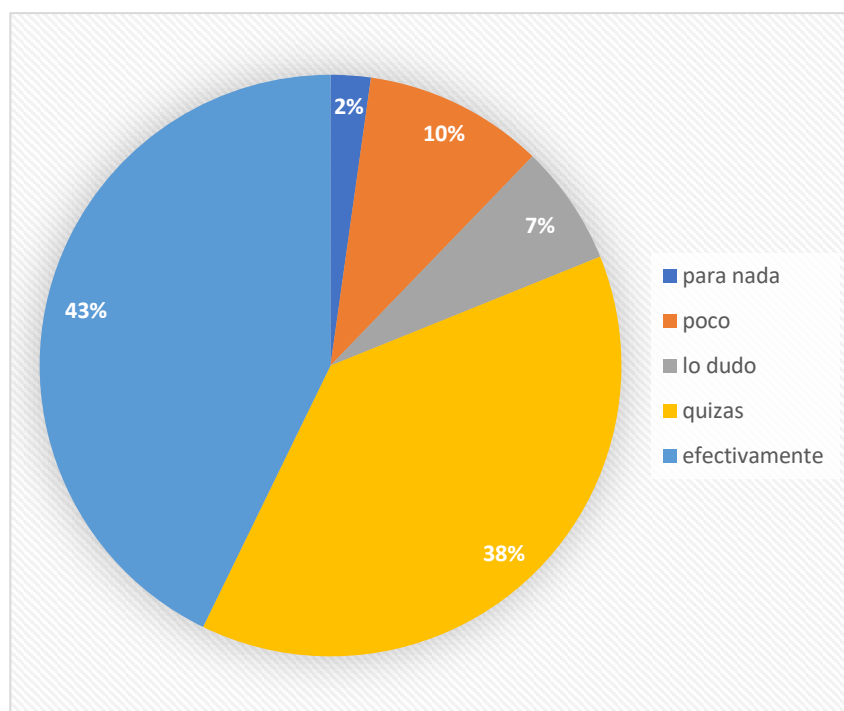


Figura 19. Cantidad de personas que consideran necesario realizar los circuitos en baquelita. Información tomada de PC-BARRERA. Elaborado por el autor.

Análisis: AL preguntarle a los estudiantes si veían necesario el pasar un circuito electrónico de un protoboard a una baquelita el 2% dijo que no era para nada necesario, el 10% dijo q era muy poco necesario, el 7% dudaba si era necesario o no mientras que el 38% decía que quizás era necesario y el 43% que era muy necesario. De esto podemos concluir que una maquina CNC sería muy bien recibida en la facultad debido a que más del 81 % de los estudiantes consideraban necesario el presentar un proyecto en baquelita.

3. ¿Con que frecuencia realiza proyectos en los que esté involucrado el uso de circuitos hechos en baquelitas?

Tabla 4. Frecuencia con la que estudiantes realizan proyectos de ámbito electrónico.

N.º	Respuesta	Cantidad	Porcentaje
1	Nunca	29	16%
2	Pocas veces	72	40%
3	Regularmente	53	29%
4	Muchas veces	26	15%
Total		180	100%

Información tomada de PC-BARRERA. Elaborado por el autor.

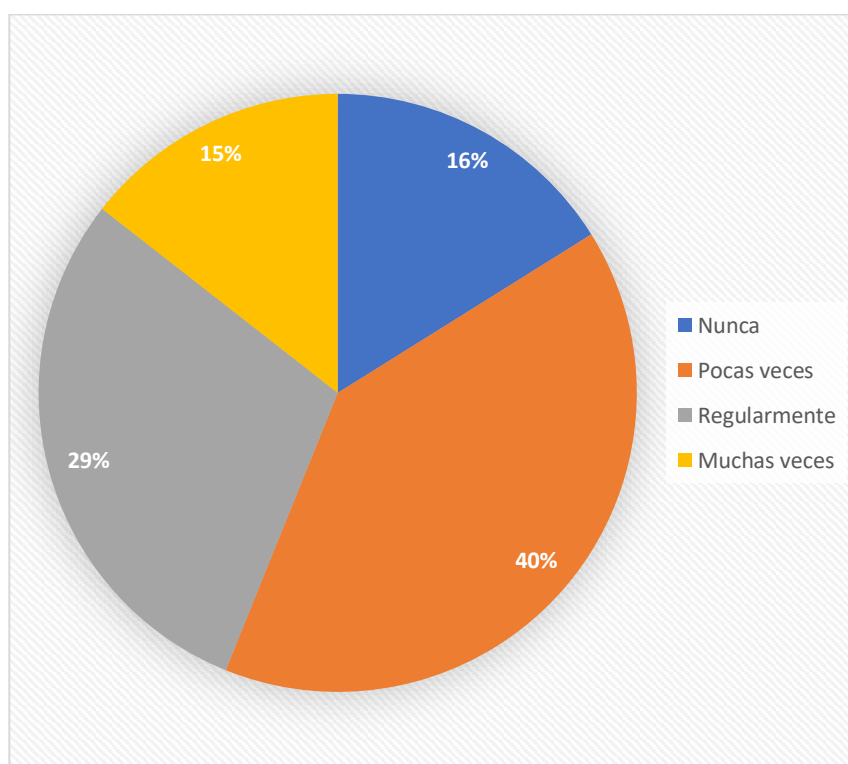


Figura 20. Gráfica de la frecuencia con la que estudiantes realizan proyectos de ámbito electrónico. Información tomada de PC-BARRERA. Elaborado por el autor.

Análisis: Al preguntarle a los estudiantes con qué frecuencia tenían proyectos donde tengan que realizar circuitos impresos nos encontramos con que el 16% nunca los tiene, el 40 % de los estudiantes hacen este tipo de proyectos pocas veces, el 29% los realiza regularmente y el 15% de los estudiantes siempre tienen este tipo de proyectos. Podemos concluir que, aunque el 16 % de los estudiantes no realiza ningún tipo de proyectos en la que intervendría la CNC el 84% de los estudiantes si le diera algún uso a la CNC.

4. ¿Qué métodos ha usado para la creación de circuitos impresos en sus proyectos?

Tabla 5. *Métodos que los estudiantes usar para crear circuitos impresos.*

N.º	Respuesta	Cantidad	Porcentaje
1	Crear pistas por medio de compuestos químicos	28	15%
2	Usar baquelitas que viene previamente perforadas	73	41%
3	Mandar a crear el circuito impreso a locales especializados	28	15%
4	Crear el circuito impreso por medio de una maquina CNC	10	6%
5	Otro	41	23%
Total		180	100%

Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

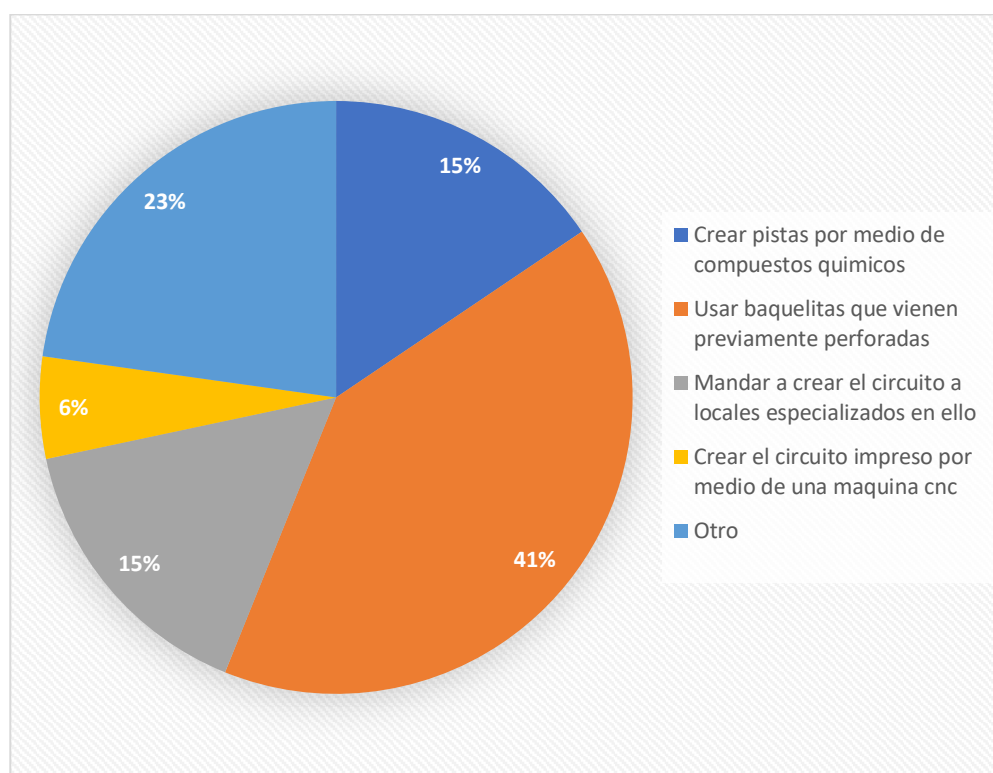


Figura 21. *Gráfica de la frecuencia con la que estudiantes realizan proyectos de ámbito electrónico. Información tomada de PC-BARRERA. Elaborado por el autor.*

Análisis: Al preguntarle a los estudiantes acerca de los métodos con los cuales ellos crean circuitos impresos pudimos obtener que el 15% realiza el quemado de las pistas mediante cloruro férrico, el 41% suelda sus componentes eléctricos en baquelitas perforadas, el 15% de los estudiantes paga para que le hagan las placas en locales profesionales, el 6% ah creados circuitos usando una CNC y el 23% crea sus circuitos impresos con métodos diferentes.

5. ¿Alguna vez ha tenido problemas creando circuitos impresos con diferentes métodos diferentes al método de una CNC?

Tabla 6. Cantidad de estudiantes que ha tenido problemas creando circuitos impresos.

N.º	Respuesta	Cantidad	Porcentaje
1	Para nada	29	16%
2	Poco	38	21%
3	Lo dudo	18	10%
4	Quizás	53	30%
5	Efectivamente	42	23%
Total		180	100%

Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

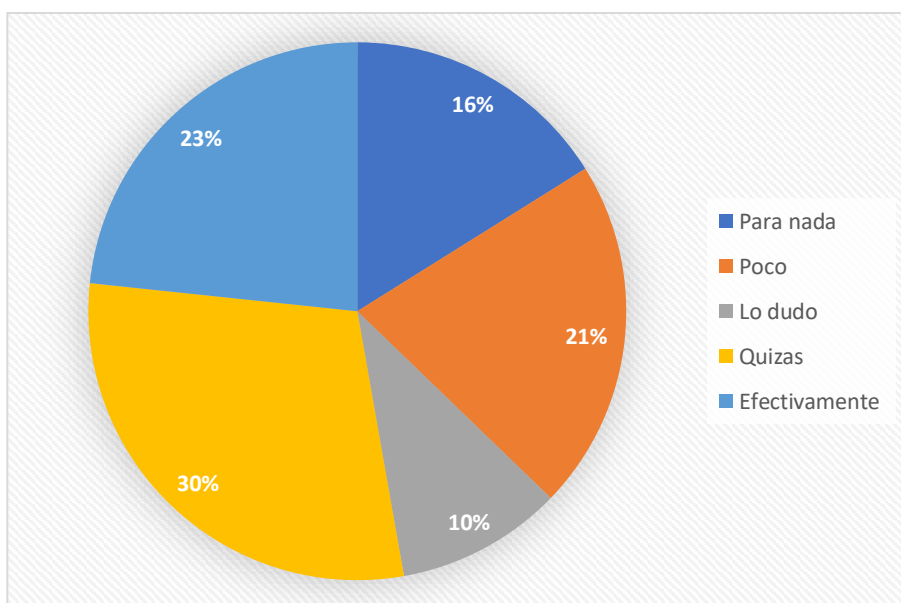


Figura 22. Porcentaje de estudiantes que ha tenido problemas creando circuitos impresos. Información tomada de PC-BARRERA. Elaborado por el autor.

Análisis: Al preguntar a los estudiantes si alguna vez ha tenido fallas al momento de crear un circuito impreso mediante los diferentes métodos que existen exceptuando el de la CNC nos encontramos con que el 16% nunca ha tenido errores, el 21% ha tenido muy pocos errores, el 10% duda haberse equivocado el 30% asegura que quizás han tenido fallas y el 23% si ha tenido un error efectivamente, con esto podemos decir que la probabilidad de que te ocurra algún tipo de error al crear un circuito impreso con alguno de estos métodos es del 53%.

6. ¿Tiene algún conocimiento en manejo de software para diseñar circuitos electrónicos impresos?

Tabla 7. Cantidad de estudiantes que tiene conocimientos acerca de software para diseño de circuitos electrónicos.

N.º	Respuesta	Cantidad	Porcentaje
1	Para nada	61	34%
2	Poco	59	33%
3	Lo dudo	17	9%
4	Quizás	25	14%
5	Efectivamente	18	10%
Total		180	100%

Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

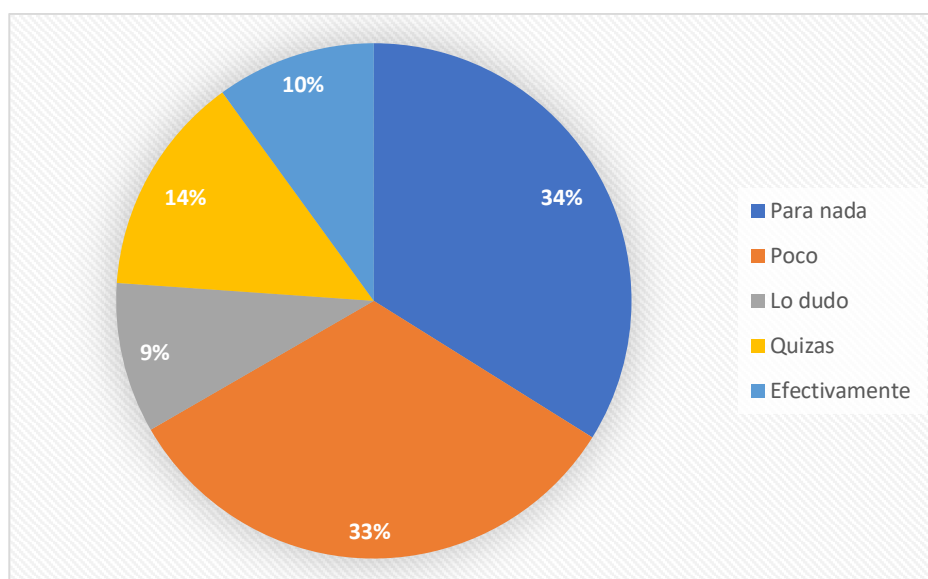


Figura 23. Porcentaje de estudiantes que tiene conocimientos acerca de software para diseño de circuitos electrónicos. Información tomada de PC-BARRERA. Elaborado por el autor.

Análisis: Al preguntar a los estudiantes si tienen algún conocimiento en software para crear circuitos impreso, el 34% respondió que no tenía ningún conocimiento, el 33 % que sabía poco acerca de este tipo de software, el 9% dudo acerca si conocía o no ese tipo de programa el 14% quizás sabia manejar ese tipo de programas y el 10% si sabía manejar ese tipo de software, debido a que solo una pequeña minoría de estudiantes sabia como usar este tipo de software, se debería instruir los estudiantes a cómo usar este tipo de software ya que son un paso impórtate al momento de configurar la CNC.

7. ¿Estaría dispuesto a aprender cómo utilizar correctamente una maquina CNC para crear un circuito impreso correctamente?

Tabla 8. Cantidad de estudiantes que están dispuestos a aprender cómo usar correctamente una CNC.

N.º	Respuesta	Cantidad	Porcentaje
1	Para nada	6	3%
2	Poco	9	5%
3	Lo dudo	8	5%
4	Quizás	40	22%
5	Efectivamente	117	65%
Total		180	100%

Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

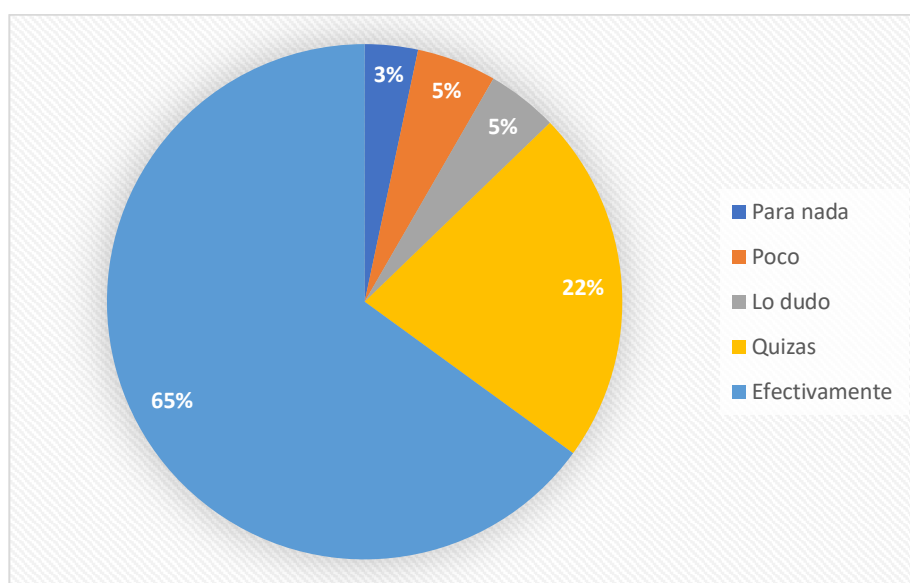


Figura 24. Cantidad de estudiantes que están dispuestos a aprender cómo usar correctamente una CNC. Información tomada de PC-BARRERA. Elaborado por el autor.

Análisis: Se les pregunto a los estudiantes si estarían dispuestos a aprender a cómo manejar una CNC para crear un circuito impreso correctamente, el 3% no mostro interés, el 5% estaba poco interesado, un 5% de los estudiantes estaba dudoso mientras que un 22% quizás estaban dispuestos a aprenderlo y un 65% quería aprender cómo manejar una CNC correctamente, esto refuerza la idea del punto anterior ya que un 65% de estudiantes se encuentra muy interesado en cómo manejar una maquina CNC correctamente para crear sus circuitos impresos.

8. ¿Si se implementa una maquina CNC en la facultad estaría dispuesto a usarla para crear circuitos impresos?

Tabla 9. Cantidad de estudiantes que usarían una maquina CNC.

N.º	Respuesta	Cantidad	Porcentaje
1	Para nada	10	6%
2	Poco	11	6%
3	Lo dudo	8	4%
4	Quizás	25	14%
5	Efectivamente	126	70%
Total		180	100%

Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

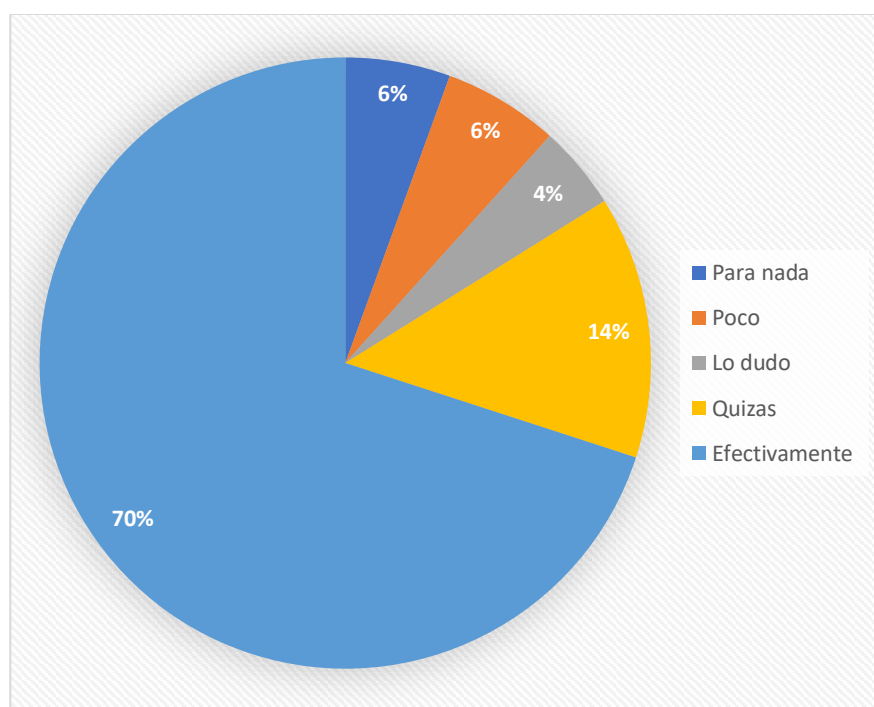


Figura 25. Porcentaje de estudiantes que usarían una maquina CNC. Información tomada de PC-BARRERA. Elaborado por el autor.

Análisis: Se les pregunto a los estudiantes si estarían dispuestos a usar una maquina CNC si se llega a implementar en la facultad, el 6% no mostro interés, otro 6% la usaría poco, un 4 % dudaba si iba a hacer uso de ese tipo de maquina en la facultad, un 14% quizás iban a darle un buen uso a la CNC y un 70% de estudiantes iban a darle un uso efectivo a ese tipo de maquina si se llegara a implementar en la universidad.

3.4.3 Análisis Teórico de la Encuestas

Se realizó una encuesta que consta de 8 preguntas relacionadas de una u otra forma con la CNC, las encuestas se realizaron en cursos donde los estudiantes recibían clases de materias relacionadas de alguna forma con la electrónica ya que la probabilidad de que los profesores envíen proyectos de carácter electrónico era muy alta y el beneficio de tener una maquina CNC en la facultad iba a impactar positivamente en ellos.

Una vez realizada la encuesta y con los datos de los estudiantes obtenidos podemos saber basándonos en la primera pregunta que más de la mitad de los encuestados no sabía siquiera que era una maquina CNC, pero así mismo una vez comprendido el funcionamiento y objetivo de una maquina CNC según la octava pregunta de la encuesta una gran parte de los estudiantes está de acuerdo que si existiese una CNC en la facultad le daría un gran uso.

También se comprobó con qué frecuencia los estudiantes realizaban proyectos de carácter electrónico teniendo así un 44% de estudiantes que realiza proyectos siempre o de manera regular teniendo así una base para los posibles estudiantes que le darían uso al prototipo de CNC, la gran mayoría de estudiantes que crea circuitos electrónicos los realizan en baquelitas que vienen previamente perforadas ya que de esta forma se evitan el tedioso método de crear circuitos impresos con el método químico, siempre existe la posibilidad que existan errores al crear circuitos con estos métodos mencionados anteriormente debió a que se realizan de manera manual, solo una pequeña parte de los encuestados no suele cometer errores en la creación de circuitos mientras a los demos les sucede frecuentemente, increíblemente el 16% de los entrevistados ha creado alguna vez circuitos impresos usando una maquina CNC y esta cantidad coincide con el porcentaje de los alumnos que no suelen tener errores al momento de crear sus circuitos.

Anteriormente ya se había mencionado que los estudiantes se encontraban muy interesados en este tipo de máquina y es que, aunque un 67% tiene poco o nada de conocimientos acerca de software para diseño de circuitos impresos un 65% de los encuestados están de acuerdo en que quieren aprender a manejar correctamente todos los softwares implicados en la creación de circuitos impresos mediante una CNC viendo así que el grado de aceptación e interés del proyecto es muy grande por parte de aquellos que estarán personalmente involucrados con el mismo.

3.4.4 Entrevista informal a Docentes

Se realizó una entrevista a algunos docentes con las siguientes preguntas, para tener en cuenta el grado de aceptación que tendrían ellos con una máquina CNC en la facultad y si le darían uso alguno si se dispone de alguna.

1. ¿En las materias que usted ha impartido en la facultad alguna vez ha enviado proyectos relacionados con la electrónica?

Todos los profesores que tienen materias relacionados con componentes electrónicos han enviado proyectos en todos los semestres que imparten clases, eso dice mucho del uso que se podría dar a una CNC en la facultad.

2. ¿Considera necesario que se presenten los proyectos directamente en baquelita o en protoboard?

Algunos profesores prefieren que se presenten los proyectos en protoboard para que tengan oportunidad a cambiar los componentes por si sucede algún error, no obstante, no descartan la posibilidad de que se pase el circuito a baquelita una vez ya este todo comprobado y funcionando correctamente.

3. ¿Le agradaría la idea de tener una máquina CNC en la facultad?

Los profesores encuentran interesante la idea de tener una máquina en la facultad, ya que les da la posibilidad a los estudiantes de trabajar con un método distinto.

4. ¿Si se dispone de una máquina CNC en la facultad invitaría a los alumnos a que las usen para sus proyectos?

Los profesores aseguran que si invitaran a los alumnos a usar la máquina CNC de la facultad para presentar los proyectos que les envían, como una forma opcional de entregarlo de una manera más presentable.

Capítulo IV

Desarrollo de la propuesta de investigación

4.1 Propuesta

Tal y como esta descrito en la delimitación del proyecto será un prototipo de una maquina CNC que trabajará realizando únicamente circuitos impresos para los estudiantes de la facultad de ingeniería industrial, se buscará usar los materiales más económicos para abaratar costos de tal manera que no perjudique el rendimiento del prototipo.



Figura 26. Imagen del prototipo de maquina CNC construido. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

4.2 Materiales para la construcción de la CNC

4.2.1 Madera MDF

Para la estructura de la maquina CNC se escogió usar madera MDF de 12mm de espesor ya que para evitar problemas al momento de cortar la madera de forma manual y existan fallos milimétricos se decidió cortar las piezas a laser, para que la máquina laser cortara la madera sin ningún inconveniente esta tenía que tener como máximo 12mm de espesor y debía ser madera suave por ello se optó por madera MDF, se realizaron pruebas con otro tipo de madera y diferente espesor pero los resultados no fueron los esperados teniendo dificultad al momento del armado por fallas en el corte laser.

Al realizar el diseño de la maquina en AutoCAD y ordenar de manera más optimas las piezas a cortar, se estableció que la medida de la plancha de madera MDF debía ser de 80x80 cm.

4.2.2 Varilla roscada

Esta varilla es la que permite la transmisión de poder del motor a los ejes, para que exista movimiento en cada uno de los ejes, se usó una varilla de 8mm de diámetro y 1 hilo, de 40cm para el eje Y, 35cm para el eje X y 28cm para el eje Z.

Se usaron tuercas para que la varilla enrosque en ellas, estas estarán sujetas a cada eje por una pieza de madera.

4.2.4 Varilla lisa

Esta varilla permitirá el movimiento uniforme de cada uno de los ejes, el grosor escogido es de 8mm y cada eje contara con un par de ellas teniendo así el eje Y dos varillas de 35cm, el eje X dos varillas de 30cm y el eje Z dos varillas de 23cm.

4.2.5 Rodamientos lineales

Estos en conjunto con las varillas son los que permiten el movimiento de los ejes sin que exista algún tipo de fricción ya que por dentro contienen pequeñas bolitas que permiten que la varilla se deslice sin ninguna resistencia, se usaron 12 rodamientos lineales modelo SC8UU los cuales cuentan con una base de aluminio en donde atornillarlos y el diámetro de su centro es de 8mm.



Figura 27. Rodamientos lineales modelo SC8UU. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

4.2.6 Motores paso a paso

Se escogieron tres motores paso a paso nema 17, uno por cada eje debido a que la maquina CNC será empleada únicamente para mecanizar circuitos impresos en baquelita, si se usase una medida de motor paso a paso más grande este requerirá de más potencia teniéndose así que usar controladores que resistan más amperaje y eso conllevaría a cambiar toda la parte eléctrica del prototipo por partes más costosas.

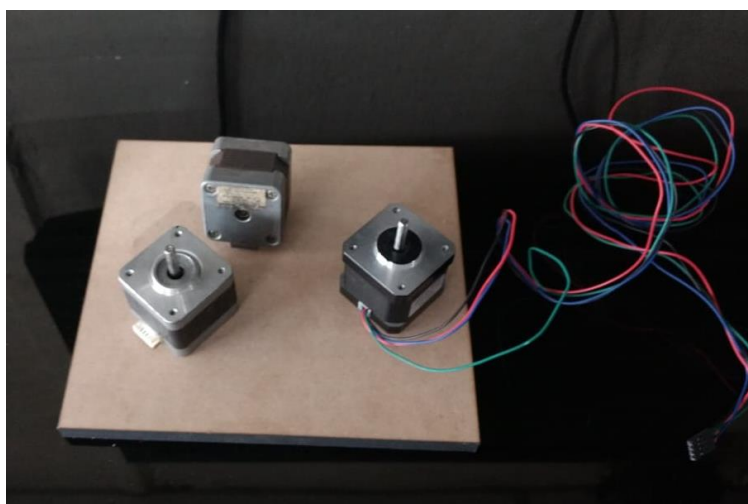


Figura 28. Motores paso a paso Nema 17. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

4.2.7 Soportes para motores nema 17

Para evitar colocar los motores directamente atornillados en la madera se usó un soporte para cada motor y de esta manera se pueden colocar los motores para que queden perfectamente alineados con el eje, adicional se usó un soporte más para colocar la herramienta fresadora.



Figura 29. Soportes para motores nema 17. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

4.2.8 Acoples flexibles

Se usaron 3 acoples flexibles de 5mm a 8mm, uno por cada motor, estos son colocados en el eje del motor y en un extremo de las varillas roscadas, al ser flexible sirve para corregir cualquier mínimo desperfecto que pueda haber entre la alineación del motor y la varilla roscada



Figura 30. Acoples flexibles de 5 a 8mm. Información tomada de repositorio de imágenes de Google. Elaborado por el autor.

4.2.9 Dremel

La herramienta que se usará para el fresado de la baquelita será un Moto-tool Truper modelo moto A de 140W, esta especie de mini taladros es usado para todo tipo de tareas manuales que requieran una mayor precisión la cual los taladros comunes no pueden ofrecer.



Figura 31. Moto-tool truper de 140w. Información tomada de repositorio de imágenes de Google. Elaborado por el autor.

4.2.10 Arduino Uno

Se decidió usar un Arduino uno ya que es la opción más económica y eficiente al momento de armar una CNC debido a que ya existen librerías creadas para este tipo de

máquinas, con la librería GRBL que se le instalará al Arduino este podrá modificar muchos parámetros de la maquina CNC como aceleración, pasos por milímetro, etc. Además de poder interpretar el código G y mover correctamente los motores.

4.2.11 CNC shield

Esta Shield esta creada específicamente para usarse con el Arduino Uno y usarse para una maquina CNC, se decidió usarla ya que simplifica enormemente toda la parte electrónica de la maquina teniendo solo que colocar correctamente los drivers en la parte superior del shield y alimentar el mismo con un voltaje de 12 a 24V.



Figura 32. Modulo Shield CNC compatible con Arduino. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

4.2.12 Controladores

Para que los motores puedan funcionar correctamente es necesario el uso de controladores, los cuales se deben escoger dependiendo del tipo de motores que se estén usando en la maquina CNC, en el caso del prototipo realizado se usaron 3 controladores A4988 uno por cada motor, estos están equipados con un disipador de aluminio ubicado en el microchip para evitar el sobrecalentamiento.



Figura 33. Controladores A4988 equipados con disipadores. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

4.2.13 Fuente de poder de 12v

Se debe usar una fuente de alimentación de 12V- 24V de corriente continua para alimentar el CNC Shield, para el proyecto se usará un cargador de laptop que cuenta con un transformador que entrega el voltaje necesario para alimentar el CNC shield.



Figura 34. Alimentación de 12V a 2A. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

4.3 Construcción del cuerpo de la CNC

Para la construcción de prototipo en primer lugar debemos construir el cuerpo donde irán acoplados todos los componentes que harán funcionar a la máquina, este cuerpo puede ser construido en diferentes materias, como aluminio, madera, acrílico, etc.

Para nuestro prototipo usaremos madera MDF de 12mm de espesor, se procederá a cortar la madera según las medidas estipuladas en el Anexo 6. Se corto la madera MDF en una cortadora laser para evitar fallos milimétricos al momento del armado y que posteriormente la maquina presente problemas de calibración.



Figura 35. Corte de madera realizado por una cortadora a laser. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.



Figura 36. Piezas de madera cortadas a laser. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

Se procede al armado del cuerpo principal de la maquina la cual soportara todos los ejes, todo el armado de las diferentes piezas se realiza con goma blanca y tornillos autoperforantes de una pulgada para madera, de esta manera las piezas que conforman a máquina quedaran bien sujetas y no se separaran con el tiempo.



Figura 37. Cuerpo principal de la maquina CNC armado. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

Para el armado de la pieza que sostendrá al eje X y al eje Z se procederá con el mismo método con el que se armó la anterior parte, con la diferencia de que en este se colocara los rodamientos lineales que, en conjunto con las varillas lisas de aluminio, servirán como guías para ambos ejes.



Figura 38. Pieza donde reposa el eje X y Z armada. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

La siguiente parte que se debe armar es el lugar donde se encuentra el área de trabajo, este es movido por el eje Y, también se colocaran los rodamientos lineales para que la pieza se pueda deslizar sin ningún inconveniente. Para que la varilla roscada mueva cualquier eje este se debe enroscar de alguna manera, en este proyecto se usó una tuerca la cual esta encajada a presión en un cuadrado de madera, esta pieza cuadrada deberá estar correctamente alineada con los agujeros que están cortados en los extremos de los 3 ejes, de esta forma se permitirá la correcta transferencia de energía del motor a la varilla roscada y se evitara la perdida de pasos, para evitar la fricción entre la varilla roscada y la madera en cada uno de los extremos de la varilla se deberá colocar rulimanes encajados a presión en la madera

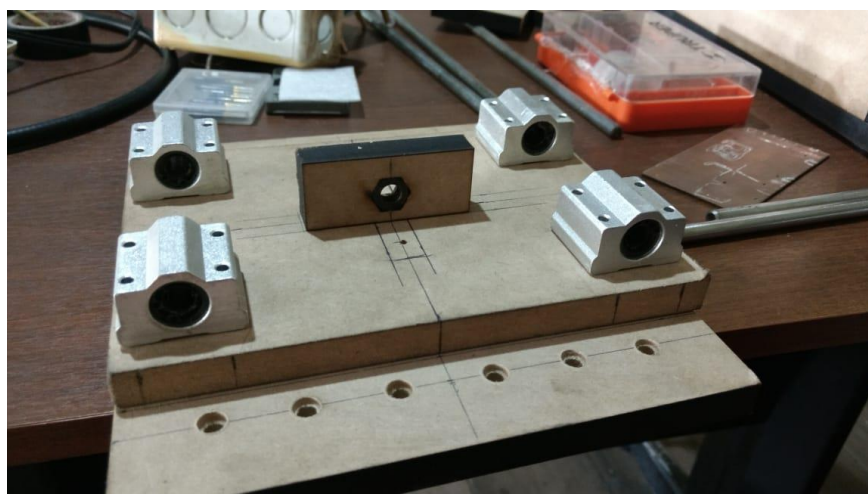


Figura 39. Armado el eje Y. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

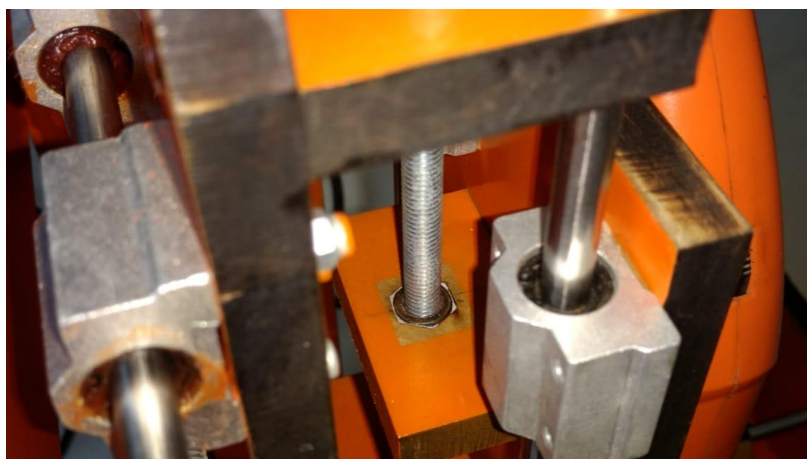


Figura 40. Calibración de la varilla roscada. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

Una vez armada toda la estructura de la maquina CNC se procede a colocar los motores, para ello se usó soportes de motores nema 17, estos al tener un ángulo de 90° permiten colocar los motores de manera paralela a cada uno de los ejes en los que se van a colocar, para unir el eje de los motores a las varillas roscadas se utilizaron acoples flexibles ya que estos corrigen cualquier desperfecto que puedan tener los motores al momento de la alineación del eje, se deben ajusta los cuatro tornillos que se encuentran en el acople con una llave Allen para que queden fijos y no se suelten al momento del funcionamiento de la máquina.



Figura 41. Eje del motor y varilla roscada unidas mediante acople flexible. Elaborado por el autor.

Para colocar la herramienta que fresara el cobre de la baquelita (Dremel) se usó el mismo tipo de soporte que el de los motores debido a que encajaba perfectamente y quedaba totalmente estática.



Figura 42. Máquina CNC con todos los componentes ensamblados. Información tomada de PC-Barrera Elaborado por el autor.

Como último paso en el armado del cuerpo de la máquina CNC y de manera opcional se procedió a pintar toda la máquina para que quedase con un acabado más estético y agradable a la vista.



Figura 43. Prototipo de CNC con acabado de pintura naranja. Información tomada de PC-Barrera Elaborado por el autor.

4.3 Instalación de las librerías de GRBL en Arduino

Se deben descargar las librerías del GRBL tenemos que realizar los siguientes pasos

1. Descargamos el software de Arduino y las librerías en formato .ZIP del GRBL
2. Conectamos el Arduino a la Pc
3. Una vez descarga abrimos nuestra interfaz de Arduino y nos vamos a Programa/ incluir librería/ Añadir librería .ZIP y se busca el lugar donde se guardó la librería
4. Luego nos vamos a Archivos/ Ejemplos/ GRBLtoArduino
5. Subimos la librería al Arduino

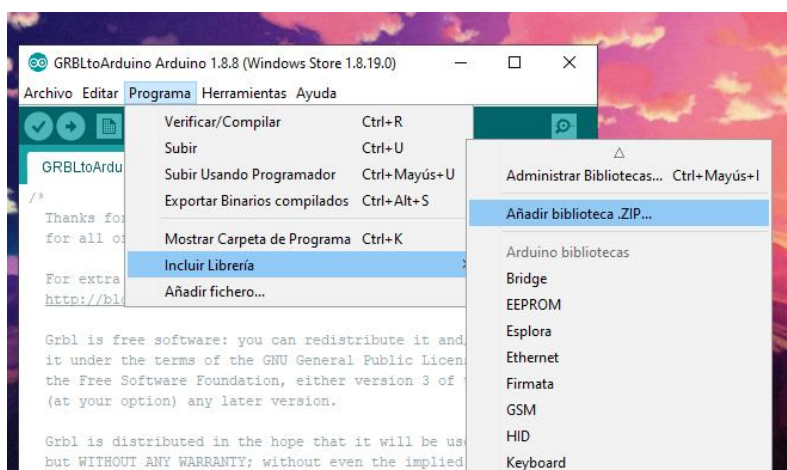


Figura 44. Imagen añadiendo la librería GRBL. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

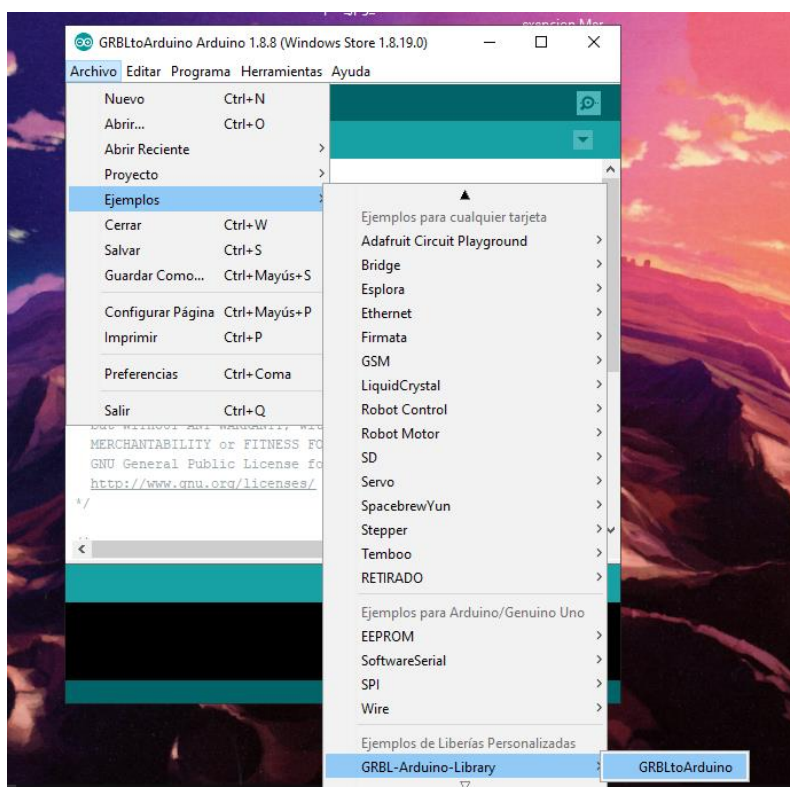


Figura 45. Imagen de la instalación de GRBL para Arduino. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

4.3 Calibración de los controladores A4988

Se deben calibrar los controladores para limitar la corriente con la que se va a alimentar a los motores y así evitar dañarlos, para una correcta calibración se deben conocer una serie de datos de los motores y los controladores ya que los controladores, aunque son del mismo modelo pueden tener diferentes tipos de componentes electrónicos y podemos estropearlos si no tenemos cuidado.

La fórmula usada para calcular el voltaje de referencia con la que debemos calibrar los drivers es la que nos da el fabricante.

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

Donde:

I_{max} = Corriente máxima que soporta el motor

R_s = Resistencia de censado del controlador

V_{ref} = voltaje de referencia al que debemos llevar el controlador



Figura 46. Ubicación de la resistencia de censado en controladores A4988. Información tomada de Repositorio de imágenes de Google. Elaborado por el autor.

En el caso del proyecto se cuenta con un motor de 1.2 Amperios y dos motores de 1,5 Amperios, la resistencia de censado es de 0.2Ohms, el valor 8 en la fórmula es una constante para el controlador A4988 si se tiene un controlador diferente esa constante variara y se debe buscar el valor adecuado en el datasheet de dicho componente.

Nuestra maquina va a trabajar en modo de pasos completos por lo que el resultado obtenido se lo tendrá que dividir para el 70%

$$V_{ref} = 1.2 (8 \times 0.2) = 1.92/70\% = 1.34$$

$$V_{ref} = 1.5 (8 \times 0.2) = 1.68/70\% = 1.68$$

Una vez que tenemos los valores calculados para cada motor se coloca el CNC shield en el Arduino y luego colocamos los drivers encima del CNC shield quedando como en la figura 47. Hay que tener en cuenta que los drivers que estamos usando tienen un límite en el voltaje de referencia de 1.50 por lo tanto los dos motores de 1.5A no estarán trabajando a su máxima capacidad, pero eso no quiere decir que vayan a fallar.

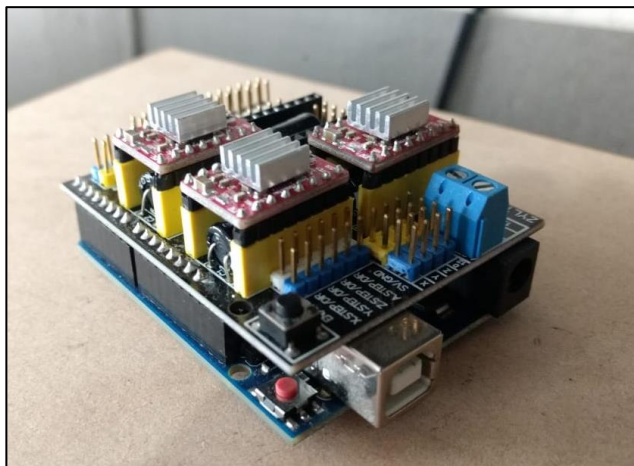


Figura 47. Montaje de la parte electrónica de la Máquina CNC. Elaborado por el autor.

Conectamos el Arduino al Pc, no se debe conectar el CNC shield a la alimentación externa de 12V esta calibración se hace únicamente con la energía entregada por el Arduino, con un multímetro conectamos el polo negativo con una pinza en la tierra del shield y con el polo positivo con otra pinza conectamos a un destornillador pequeño con el cual moveremos el pequeño potenciómetro colocado en el controlador para poder realizar la calibración hasta que alcancemos el valor del Voltaje de referencia previamente calculado, finalmente se conecta el cable de alimentación de 12V al CNC Shield para alimentar los motores.

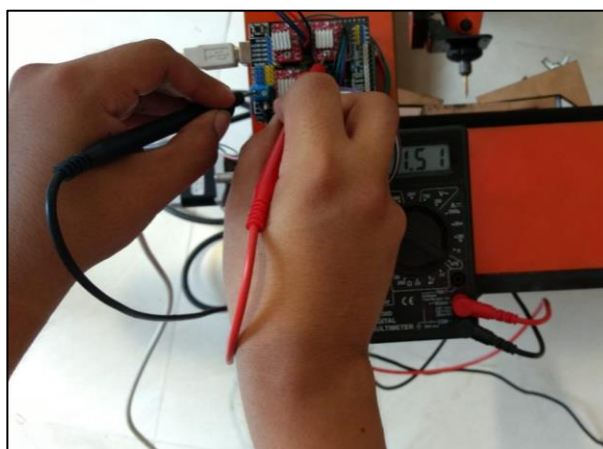


Figura 48. Calibración de controladores de motores de 1.5 Amperios. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

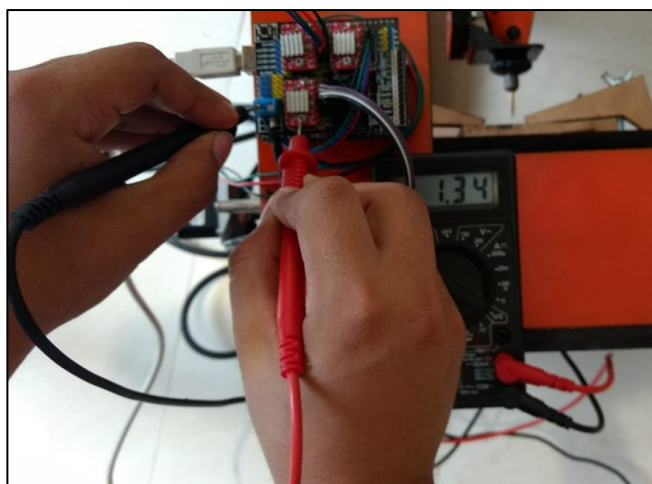


Figura 49. Calibración de controlador de motor de 1.2 Amperios. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

4.4 Configuración del GRBL

Para realizar la configuración del GRBL primero se necesita descargar el software de Universal GCode Sender, una vez descargado se descomprime y se abre el ejecutable, una vez abierto se escoge el puerto COM al que está conectado el Arduino y en la parte de abajo donde dice Firmware se selecciona GRBL, se da clic en Open para abrir el puerto seleccionado.

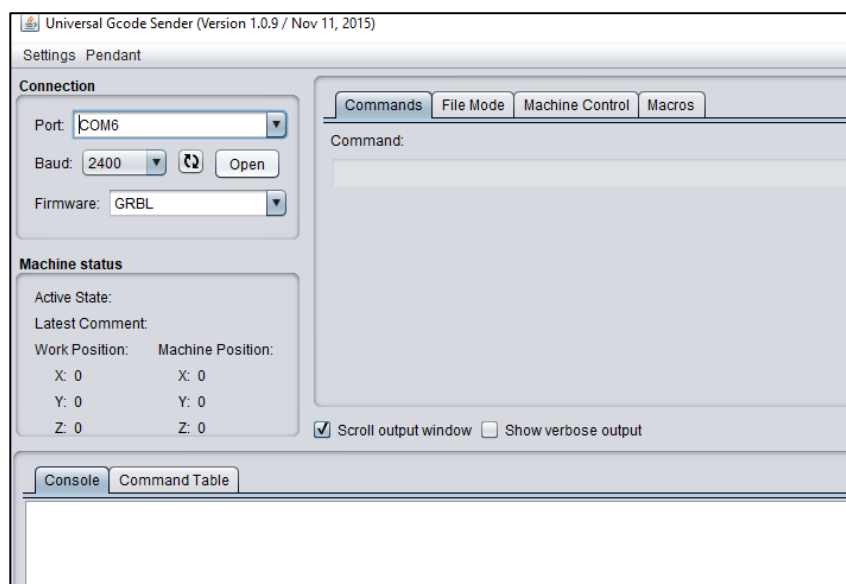


Figura 50. Conexión del puerto COM de Arduino en el programa Universal Gcode Sender. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

Una vez abierto el puerto ya podremos mover los motores manualmente desde la pestaña Machine Control para verificar que todo está conectado y funciona correctamente, luego se procederá a configurar los parámetros del GRBL.

En la pestaña comandos se ingresará el siguiente comando “\$\$”, este comando desplegará todas las opciones de configuración del GRBL.

Tabla 10. *Lista de comandos para configurar parámetros del GRBL.*

Configuraciones y valores de muestra	Descripción
\$ 0 = 160.000	x, step/mm
\$ 1 = 160.000	y, step/mm
\$ 2 = 160.000	z, step/mm
\$ 3 = 10	step pulse, usec
\$ 4 = 600.000	default feed, mm/min
\$ 5 = 600.000	default seek, mm/min
\$ 6 = 192	step port invert mask, int:11000000
\$ 7 = 25	step idle delay, msec
\$ 8 = 10.000	Acceleration, mm/sec^2
\$ 9 = 0.050	junction deviation, mm
\$ 10 = 0.100	arc, mm/segment
\$ 11 = 25	n-arc correction, int
\$ 12 = 3	n-decimals, int
\$ 13 = 1	report inches, bool
\$ 14 = 1	auto start, bool
\$ 15 = 0	invert step enable, bool
\$ 16 = 0	hard limits, bool
\$ 17 = 0	homing cycle, bool
\$ 18 = 0	homing dir invert mask
\$ 19 = 25.000	homing feed, mm/min
\$ 20 = 25.000	homing seek, mm/min
\$ 21 = 100	homing debounce, msec
\$ 22 = 1.000	homing pull-off, mm

Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

En la configuración de GRBL se cambiaron los siguientes parámetros después de hacer distintos tipos de pruebas y errores para que la maquina funcione correctamente, se cambió la opción 0,1 y 2 por 160, este es el número de pasos que tiene que dar el motor para avanzar

un milímetro, se cambiaron las opciones 4 y 5 que es la velocidad con las que se mueven los ejes con y sin carga, también se cambió la opción 8 por el valor que tiene actualmente, este valor es la aceleración que tiene el motor entre un movimiento y otro, luego de eso se dejaron los demás valores tal y como se muestra en la tabla.

4.5 Manejo de EasyEDA

EasyEDA es un programa para crear esquemas de circuitos impresos, esta plataforma funciona tanto de forma online como de forma offline descargándose el software a la computadora, para crear esquemas con los circuitos impresos se deben seguir los siguientes pasos.

Ejecutamos el programa EasyEDA y escogemos la opción new schematic, se nos abrirá un lienzo en blanco para trabajar, aquí es donde escogeremos los componentes electrónicos que vamos a usar en el diseño de nuestro circuito electrónico, una vez hayamos escogidos los componentes del lado izquierdo del programa y armado nuestro diseño en la parte superior derecha del programa se encuentra una opción para convertir el trabajo a PCB

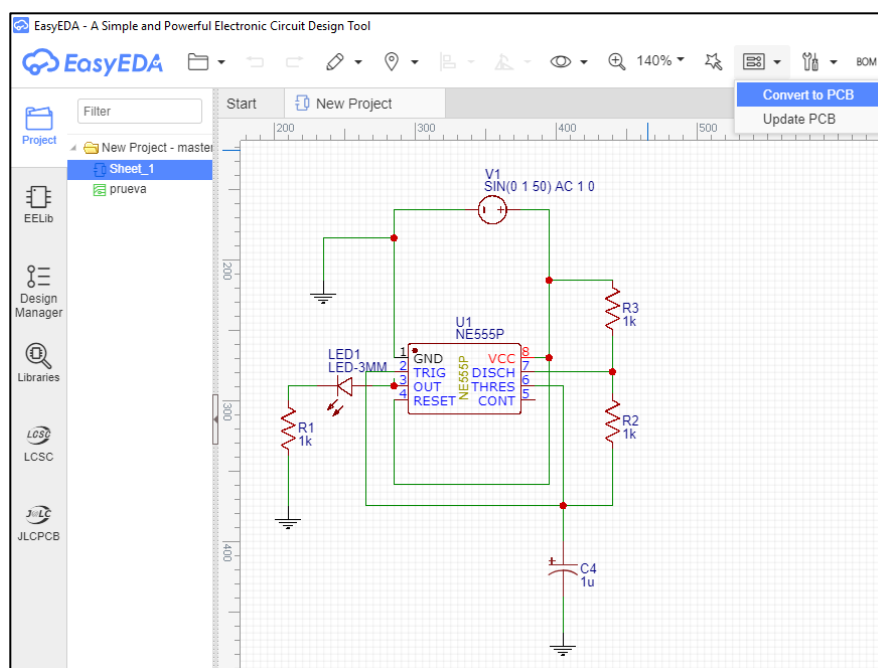


Figura 51. Circuito realizado en EasyEDA. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

Una vez dentro de la nueva interfaz nos aparecerán todos los componentes de una manera similar a como se verían en físico, moveremos cada una de las piezas hasta una posición que nos guste, una vez concluido esto nos tocara unir las pistas de los componentes y para esto nos tocara modificar la opción de anchura de las pistas de 10 a 80 para que en el momento de mecanizado de la placa no existan errores.

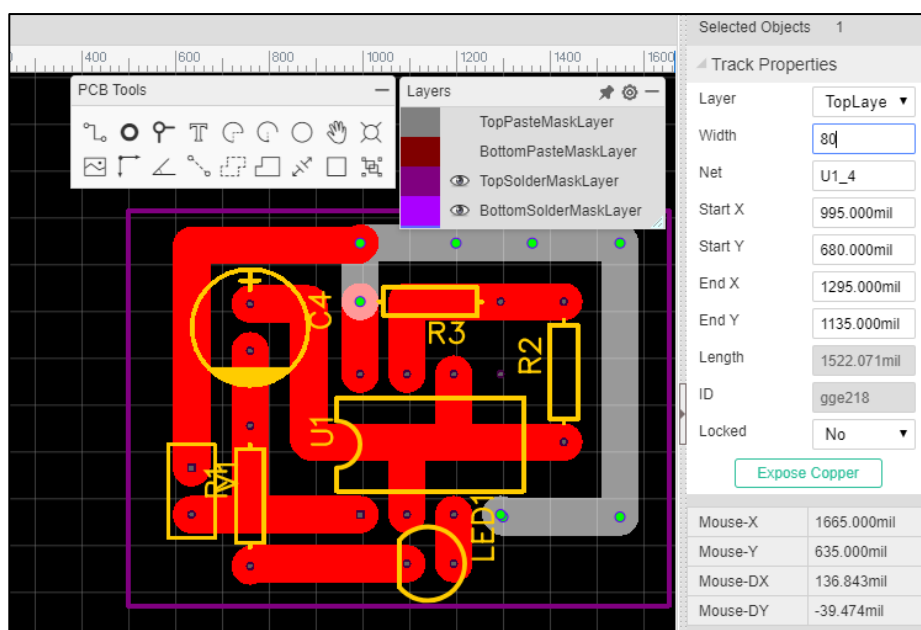


Figura 52. Diseño de circuito en PCB. Información tomada de PC-Barrera Elaborado por el autor.

Se puede observar que quedan unos círculos y cuadrados donde se encuentran las terminaciones de los componentes electrónicos, al momento del mecanizado la maquina no los reconocerá como huecos y no hará el trabajo correctamente, para evitar ese problema al hacer clic en esos objetos se deberán cambiar los parámetros que se encuentran en la parte izquierda, los cuales son Altura=10, Anchura=10 y Orificio=0.1

Una vez terminado ese proceso se ocultan las demás capas del impreso y solo se deja la capa de las pistas la cual es de color rojo y se procede a guardar el archivo como una imagen jpg.

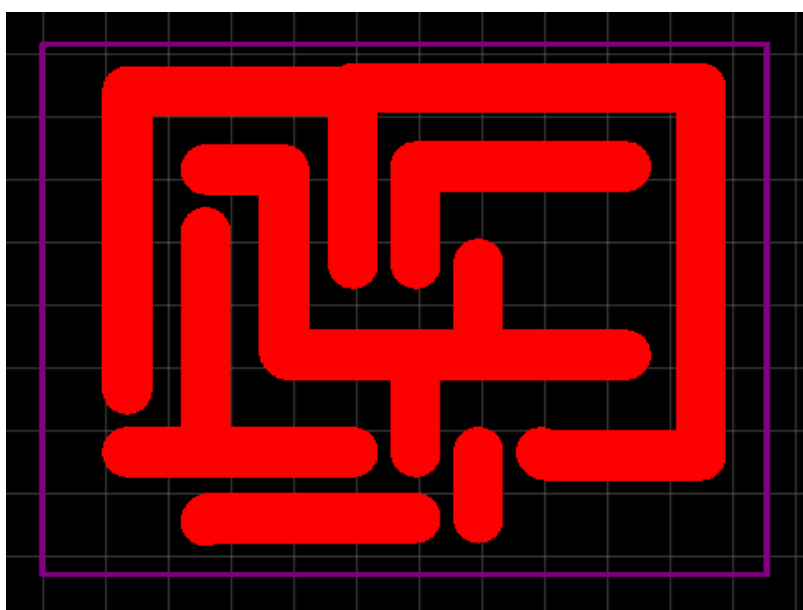


Figura 53. Imagen lista para transformarse a JPG. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

4.6 Transformación a código G mediante Inkscape

Lo primero que se debe realizar es descargar el software de Inkscape de su página oficial, una vez ya lo tengamos descargado y ejecutándose nos iremos a la pestaña archivo y escogeremos la opción de importar, se busca la imagen del diseño de circuito electrónico que se realizó con anterioridad, aparecerá una ventana con varias opciones las cuales no se editaran y se procederá a aceptar.

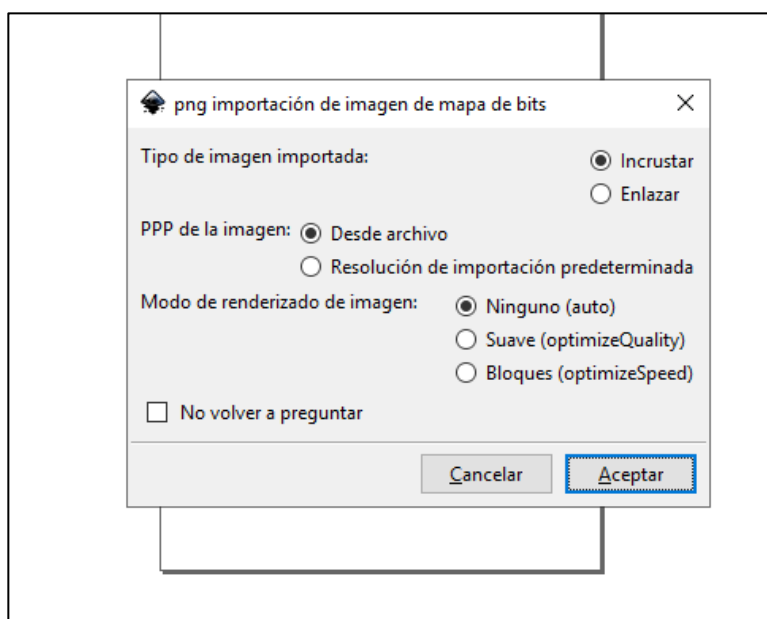


Figura 54. Ventana de configuración sobre los parámetros de la imagen. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

Seleccionamos la imagen con el cursor y en la pestaña trayecto se buscará la opción vectorizar mapa de bits, en la ventana que se abrirá se podrá editar la opción de corte de luminosidad, esta permitirá que el programa detecte mayor o menormente los bordes que contrastan para que la imagen se pueda vectorizar correctamente.

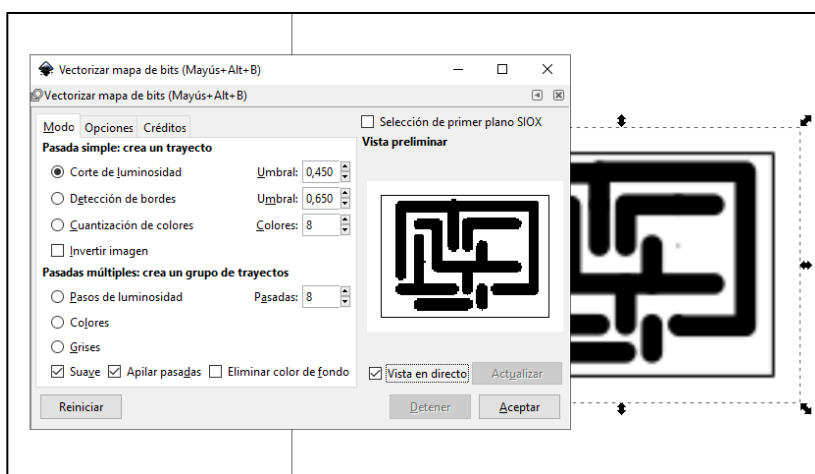


Figura 55. Ventana para configurar parámetros de la vectorización de la imagen. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

Se obtendrán dos imágenes similares con la diferencia de que una esta vectorizada y la otra no, se eliminara la primera imagen que importamos y nos quedaremos solo con la que vectorizamos la cual colocaremos en la esquina inferior izquierda concretamente en el punto (0,0), como siguiente paso nos dirigimos a trayecto y con la imagen seleccionada le hacemos clic a la opción de desvío dinámico, con esta opción activada podremos quitar el marco negro que rodea las pistas seleccionando los nodos que lo conforman para solo quedarnos con las pistas, a partir de este punto es importante no mover para nada la imagen o se saldrá del punto (0,0).

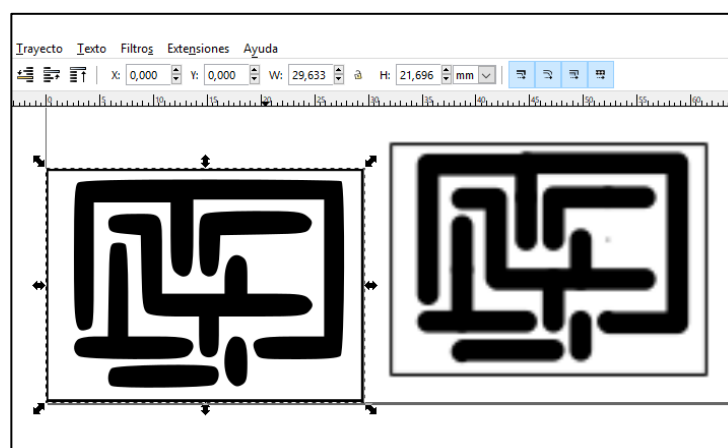


Figura 56. Diferencias entre una imagen vectorizada (izquierda) y una imagen normal (derecha). Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

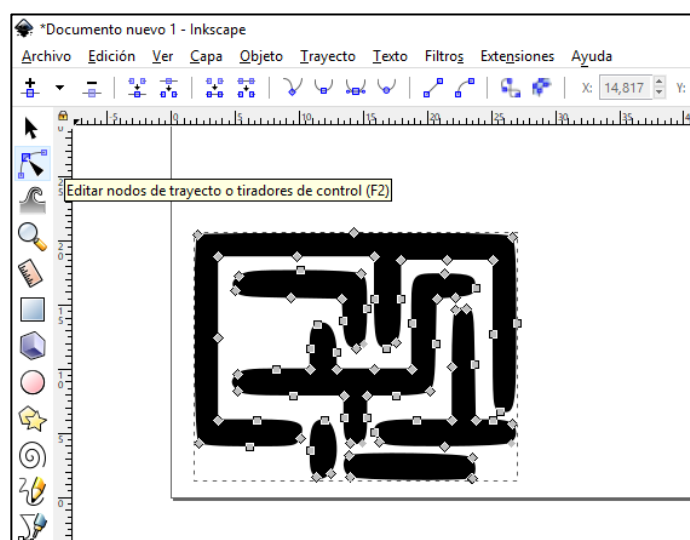


Figura 57. Distintos nodos que conforman a una imagen vectorizada. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

Una vez tengamos la imagen vectorizada se debe reflejar la imagen horizontalmente ya que al momento del fresado del circuito este se realiza en la cara posterior de la baquelita la cual esta recubierta de cobre.

Como siguiente paso se debe ir a la pestaña trayecto donde se escogerá la opción desvío dinámico, esta opción agrupara todos los nodos que conforman la imagen para que esta no se pueda deformar.

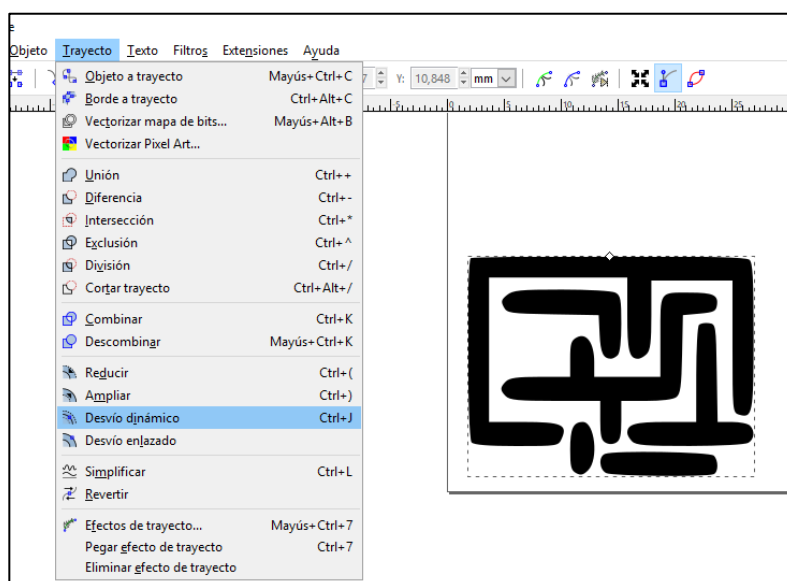


Figura 58. Desvío dinámico realizado en la imagen de muestra. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

Se procederá a la pestaña Extensiones/Gcodetools y le daremos clic a la opción puntos de orientación, aquí es donde se configura la profundidad a la que va a cortar o a fresar la máquina editando la opción Profundidad Z la cual se encuentra en unidades milimétricas negativas.

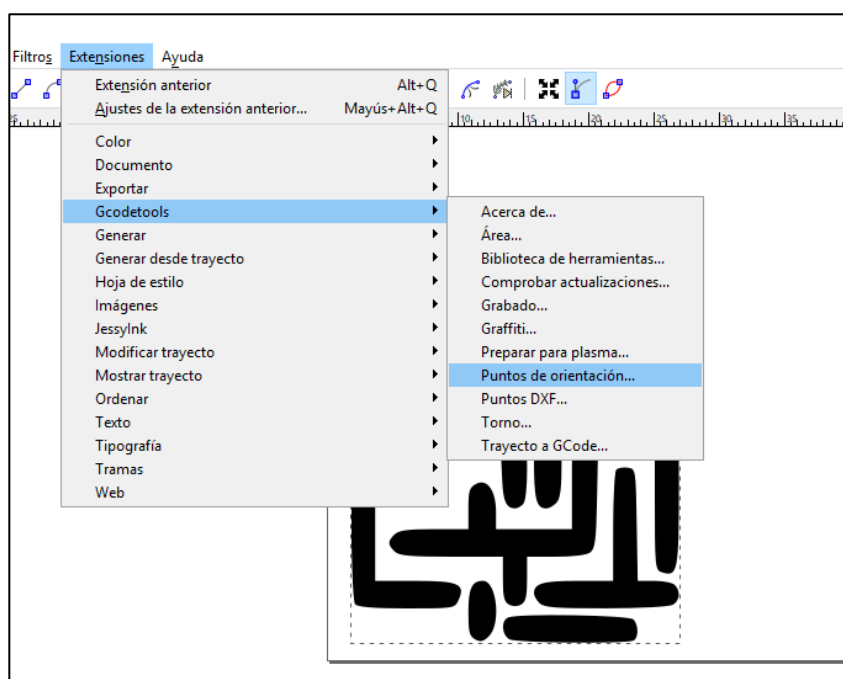


Figura 59. Menú de opciones de configuraciones de las herramientas para Código G. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

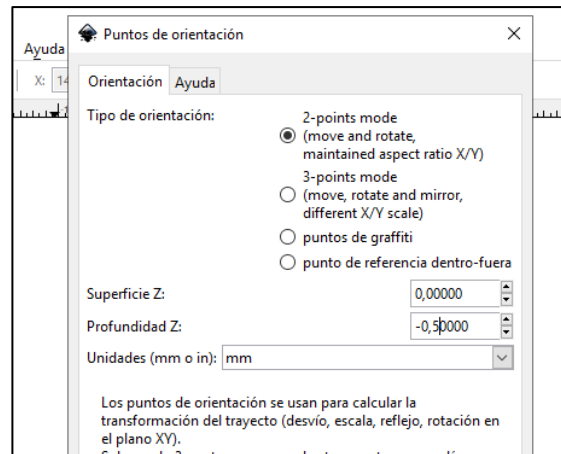


Figura 60. Configuración de la profundidad a la que trabajara la herramienta de fresado. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

En la misma pestaña escogeremos la opción de bibliotecas de herramientas y se nos muestran distintos tipos de formas de herramientas con las que se puede usar la máquina, para nuestro trabajo escogeremos la opción del cilindro y damos clic en aplicar y cerramos la ventana, se generara un cuadro verde con diferentes opciones, en ese lugar modificaremos el diámetro de la broca que estemos usando, y también modificaremos el “feed” que es la velocidad con la que va a realizar el trazado la máquina a 100.

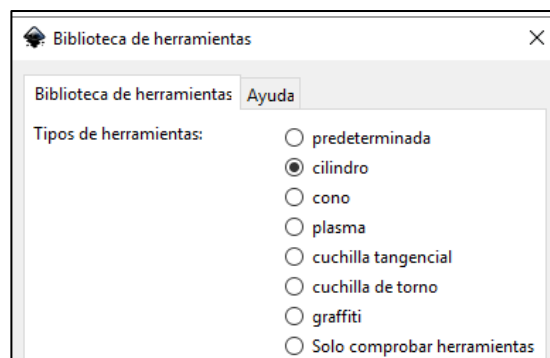


Figura 61. Opciones de Herramientas predeterminadas. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

name	Cylindrical cutter
id	Cylindrical cutter 0001
diameter	3
feed	100
penetration angle	90
penetration feed	100
depth step	1
tool change gcode	(None)

Figura 62. Configuración de los parámetros feed y diameter. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

Finalmente nos iremos a Trayecto a Gcode, escogeremos un directorio en la pestaña de preferencias, en ese lugar es donde se guardará el archivo de código G, también se puede escoger la altura a la que se moverá el eje z cuando no esté fresando, aceptamos y listo ya estarán listas las pistas de los circuitos en Código G.

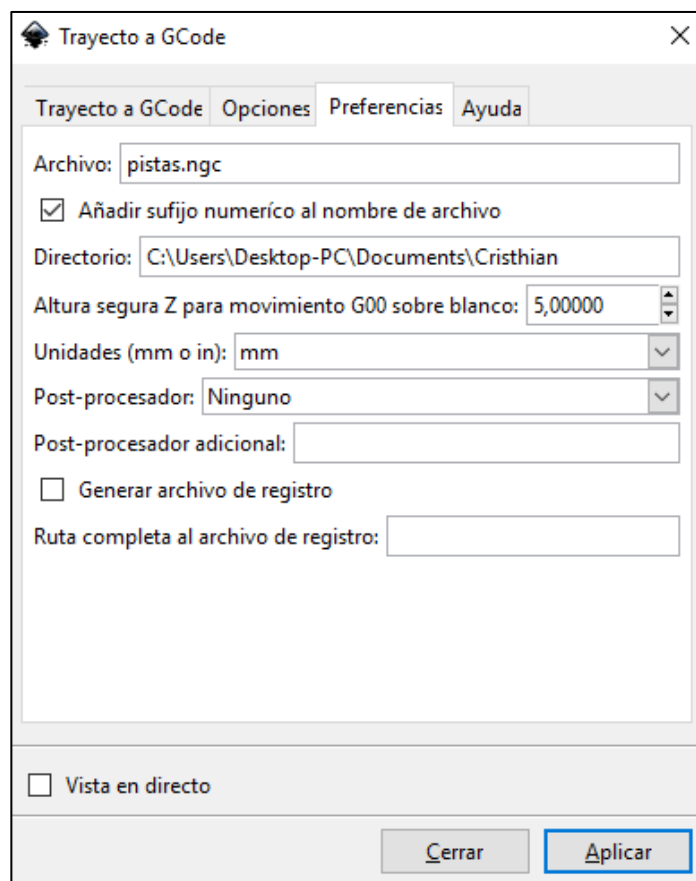


Figura 63. Ventana de opciones para transformar a código G la imagen. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

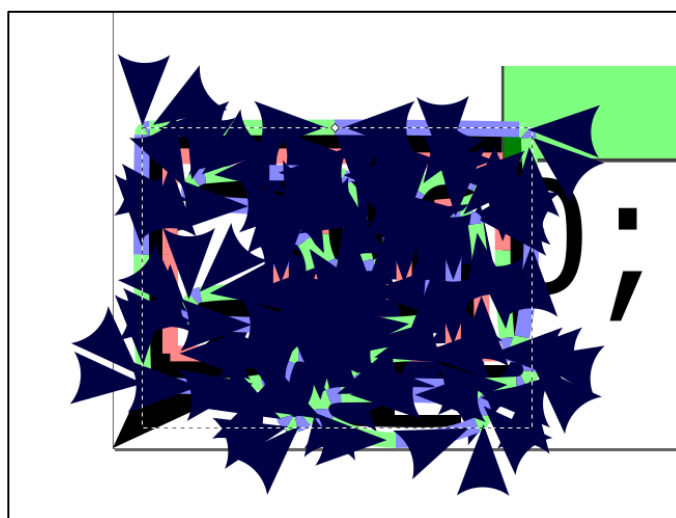


Figura 64. Esquema del Trayecto que tendrá la imagen al momento del mecanizado de esta. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

4.7 Puesta en marcha

Para que la maquina empiece a mecanizar nuestro circuito impreso se ejecuta el Universal Gcode Sender y en la pestaña de File Mode se selecciona la opción Browse, se abrirá una ventana donde buscaremos nuestro archivo con el código G de las pistas a mecanizar, este tipo de archivos que están en formato de código G terminan en la extensión. `.ngc`, una vez encontrado lo cargamos al programa.

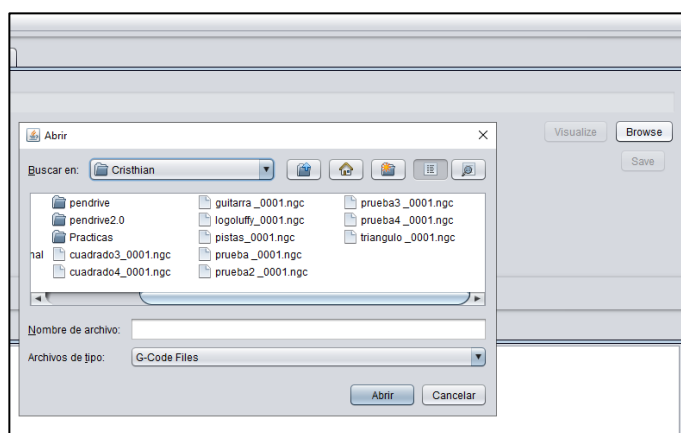


Figura 65. Archivos de extensión. `.ngc` que contienen las imágenes convertidas en código G. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

Se ubica la herramienta en la esquina inferior izquierda de la baquelita donde se quiere que frese la máquina, ya que ese es el punto que definimos como (0,0) en el Inkscape, nos vamos a la pestaña Machine Mode y le damos clic al botón Reset Zero desde ese momento la maquina reconoce ese punto como (0,0) una vez ya tengamos todo bien posicionado le damos clic a la opción Send para que envíe el archivo de código G al Arduino y posteriormente a los motores para que se empiezan a mover y a realizar el mecanizado de la placa.

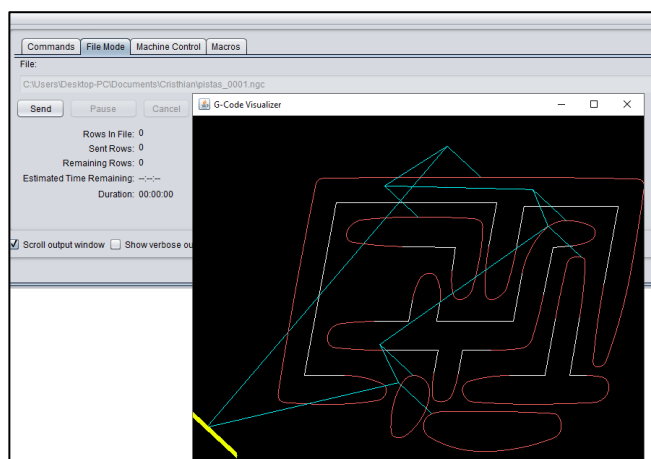


Figura 66. Simulación del recorrido de la herramienta al momento del mecanizado. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

Cabe mencionar que este proceso que ha sido explicado se tiene que replicar dos veces más sin mover la placa del lugar donde ha sido ubicada, el proceso se empieza a replicar desde que estábamos usando el EasyEDA, tan solo tenemos que ocultar la capa de las pistas y dejar activa la capa de los huecos y seguir con todo el proceso nuevamente, de igual manera se procede a hacer los mismo para cortar la placa ya terminada del resto de la baquelita ahora escondiendo todas las capas y solo dejando el borde del circuito.

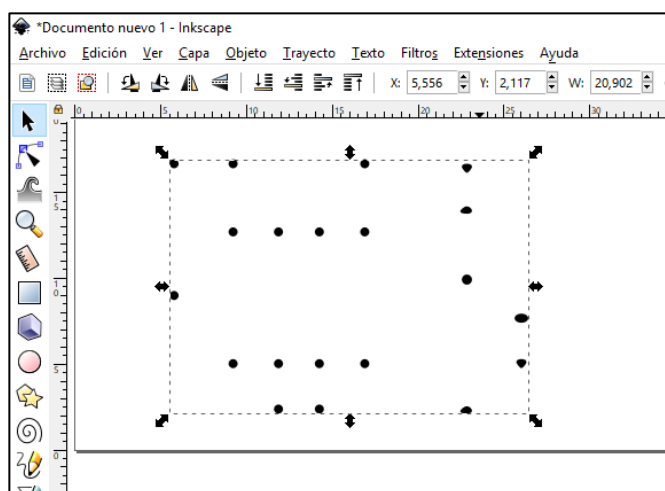


Figura 67. Captura de cómo debería quedar la imagen para la creación los huecos en la baquelita. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

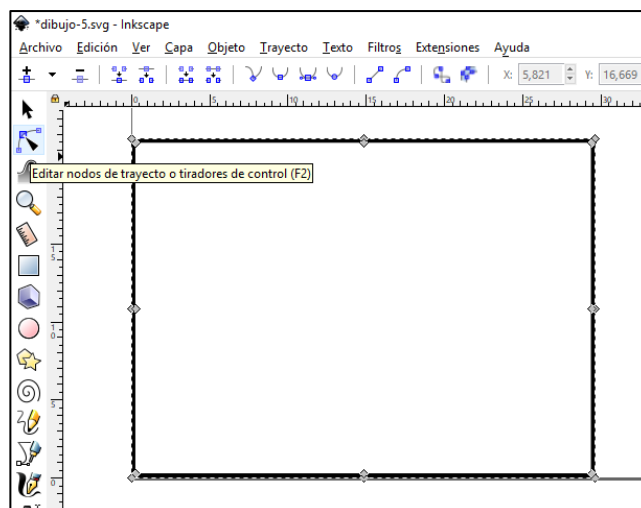


Figura 68. Captura de cómo debería quedar la imagen para el corte de los bordes de la baquelita. Información tomada de PC-Barrera. Elaborado por el autor.

4.4 Conclusiones y Recomendaciones

4.4.1 Conclusiones

- De acuerdo con las encuestas realizadas a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Industrial se determinó que, aunque una gran parte no conocía acerca de la existencia de las maquinas CNC, se mostraban interesados en el tema y estaban de acuerdo con

que este tipo de herramienta les iba a ser útil a lo largo de su carrera por tanto si se llegase a implementar en la facultad los estudiantes le darían un buen uso a la máquina.

- Según las entrevistas realizadas a algunos profesores, estos se encuentran bastante interesados en tener una máquina de este tipo en la facultad debido a que todos los semestres ellos suelen enviar proyectos de carácter electrónico a sus alumnos e incentivarían a los mismos a hacer uso de este nuevo tipo de tecnología para la creación de circuitos impresos.
- El diseño que se realizó para la maquina CNC busco la manera de optimizar el espacio para tener un área de trabajo de tamaño considerable, proporcional al tamaño del prototipo teniendo en cuenta que mientras más grande sería el prototipo, más costoso iba a ser su producción.
- Las interfaces de los softwares escogidos son fáciles de entender de tal manera que no represente un reto para los estudiantes al momento de realizar el mecanizado de un circuito impreso, todo el proceso de diseño y transformación del circuito se puede hacer independientemente de la máquina, teniendo solo que ingresar los archivos con código G a la máquina.
- Este prototipo de maquina CNC cumple su función de elaborar circuitos impresos en baquelita por medio del fresado del cobre dando como resultado la creación de las pistas, esta máquina puede realizar circuitos de hasta 20x13cm y puede trabajar hasta un periodo máximo de 3 horas por día con ciclos de trabajo de 30 minutos y 15 minutos de descanso, esto limitado por la herramienta que realiza el fresado.

4.4.2 Recomendaciones

- Se recomienda usar guías lineales en lugar de rodamientos lineales debido a que los rodamientos suelen tener pequeñas fugas entre el rodamiento y la varilla lisa que no se pueden corregir independientemente de que la calibración de la máquina, las guías lineales al venir los ejes y rodamientos en un mismo kit la probabilidad de que exista esa fuga es menor.
- Se deben calibrar correctamente los controladores con las fórmulas oficiales que existen en los datasheets oficiales para evitar que los motores no funcionen bien o en el peor de los casos dañarlos.

- Se recomienda usar una herramienta de fresado diferente ya que la actual cuenta con una limitante de tiempo de trabajo de 3 horas por cada día
- Se recomienda crear un pequeño curso para que los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Industrial tengan pleno conocimiento de cómo manejar los softwares que se usan en el proceso de la creación de un circuito impreso mediante una maquina CNC.
- Se debe alinear correctamente el eje de los motores con la varilla roscada, de tal manera que al girar la varilla manualmente no exista ningún tipo de resistencia, de haberla se debe desarmar todo el eje para realizar el ajuste necesario para su correcto funcionamiento.

ANEXOS

Anexo 1

Artículos del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos

Artículo 5: Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología, Innovación y Saberes Ancestrales

Comprende el conjunto coordinado y correlacionado de normas, políticas, instrumentos, procesos, instituciones, entidades e individuos que participan en la economía social de los conocimientos, la creatividad y la innovación, para generar ciencia, tecnología, innovación, así como rescatar y potenciar los conocimientos tradicionales como elementos fundamentales para generar valor y riqueza para la sociedad.

Artículo 142: Tecnologías Libres

Se entiende por tecnologías libres al software de código abierto, los estándares abiertos, los contenidos libres y el hardware libre. Los tres primeros son considerados como Tecnologías Digitales Libres. Se entiende por software de código abierto al software en cuya licencia el titular garantiza al usuario el acceso al código fuente y lo faculta a usar dicho software con cualquier propósito. Especialmente otorga a los usuarios, entre otras, las siguientes libertades esenciales:

1. La libertad de ejecutar el software para cualquier propósito.
2. La libertad de estudiar cómo funciona el software, y modificarlo para adaptarlo a cualquier necesidad. El acceso al código fuente es una condición imprescindible para ello.
3. La libertad de redistribuir copias.
4. La libertad de distribuir copias de sus versiones modificadas a terceros.

Artículo 143: Del Hardware Libre

Las instituciones u organismos de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación, así como los Planes Nacionales de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología, Fortalecimiento del Talento Humano, Becas y Saberes Ancestrales, deberán apoyar en sus planes de investigación el uso e implementación de hardware Libre. En caso de existir hardware libre desarrollado en el país, éste tendrá preferencia para contratarlo por parte del Estado.

Artículo 277

Que, el artículo 277 de la Constitución prevé que son deberes generales del Estado para la consecución del buen vivir promover e impulsar la ciencia, la tecnología, las artes, los

conocimientos tradicionales y, en general, las actividades de la iniciativa creativa comunitaria, asociativa, cooperativa y privada.

Artículo 387

Que, el artículo 387 de la Constitución prevé que será responsabilidad del Estado facilitar e impulsar la incorporación a la sociedad del conocimiento para alcanzar los objetivos del régimen de desarrollo; promover la generación y producción de conocimiento, fomentar la investigación científica y tecnológica, y potenciar los conocimientos tradicionales, para así contribuir a la realización del buen vivir; asegurar la difusión y el acceso a los conocimientos científicos y tecnológicos, el usufructo de sus descubrimientos y hallazgos en el marco de lo establecido en la Constitución y la Ley; garantizar la libertad de creación e investigación en el marco del respeto a la ética, la naturaleza, el ambiente, y el rescate de los conocimientos ancestrales y; reconocer la condición de investigador de acuerdo con la Ley.

Artículo 385 y 386

Que, los artículos 385 y 386 de la Constitución prevén que el sistema nacional de ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales, en el marco del respeto al ambiente, la naturaleza, la vida, las culturas y la soberanía, tendrá como finalidad generar, adaptar y difundir conocimientos científicos y tecnológicos; recuperar, fortalecer y potenciar los conocimientos tradicionales; desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la

producción nacional, eleven la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyan a la realización del buen vivir.

***Anexo 1:** Artículos del código orgánico de la economía de la economía social de los conocimientos. Información tomada del código orgánico de la economía social de los conocimientos. Elaborado por el autor.*

Anexo 2

Encuesta acerca del uso de una impresora CNC para creación de circuitos impresos en la facultad de ingeniería industrial

La realización de la siguiente encuesta tiene como objetivo conocer que tanto sabes acerca de los circuitos impresos además de conocer tu opinión sobre la implementación de una maquina CNC en la facultad.

1. ¿Ha escuchado usted acerca del uso de las máquinas de control numérico computarizado (CNC), para la creación de circuitos impresos?

- ☐ Para nada
- ☐ Poco
- ☐ Lo dudo
- ☐ Quizás
- ☐ Efectivamente

2. ¿Considera usted necesario el pasar los circuitos realizados en un protoboard a una baquelita?

- ☐ Para nada
- ☐ Poco
- ☐ Lo dudo
- ☐ Quizás
- ☐ Efectivamente

3. ¿Con que frecuencia realiza proyectos en los que esté involucrado el uso de circuitos hechos en baquelitas?

- ☐ Nunca
- ☐ Pocas veces
- ☐ Regularmente
- ☐ Muchas veces

4. ¿Qué métodos ha usado para la creación de circuitos impresos en sus proyectos?

- ☐ Crear las pistas por medio de compuestos químicos (cloruro férrico)
- ☐ Usar baquelitas que vienen previamente perforadas
- ☐ Mandar a crear el circuito impreso a locales especializados en ello
- ☐ Crear el circuito impreso por medio de una maquina CNC
- ☐ Otro.

5. ¿Alguna vez ha tenido problemas creando circuitos impresos con diferentes métodos diferentes al método de una CNC?

- ☐ Para nada
- ☐ Poco
- ☐ Lo dudo
- ☐ Quizás
- ☐ Efectivamente

6. ¿Tiene algún conocimiento en manejo de software para diseñar circuitos electrónicos impresos?

- ☐ Para nada
- ☐ Poco
- ☐ Lo dudo
- ☐ Quizás
- ☐ Efectivamente

7. ¿Estaría dispuesto a aprender cómo utilizar correctamente una maquina CNC para crear un circuito impreso correctamente?

- ☐ Para nada
- ☐ Poco
- ☐ Lo dudo
- ☐ Quizás
- ☐ Efectivamente

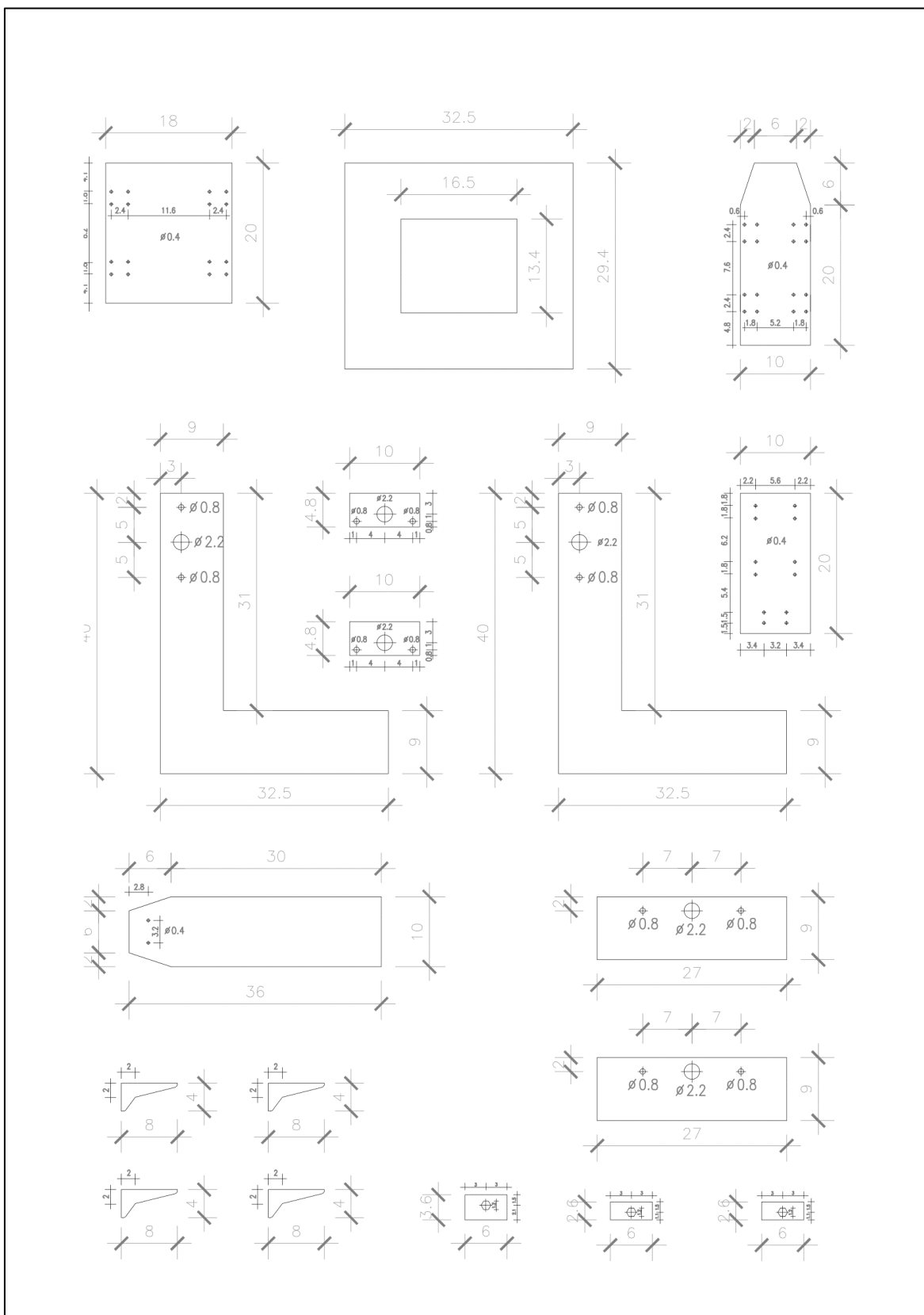
8. ¿Si se implementa una maquina CNC en la facultad estaría dispuesto a usarla para crear circuitos impresos?

- ☐ Para nada
- ☐ Poco
- ☐ Lo dudo
- ☐ Quizás
- ☐ Efectivamente

Anexo 2: Encuestas realizadas a los estudiantes. Información tomada de PC-BARRERA. Elaborado por el autor.

Anexo 3

Medidas del Prototipo de maquina CNC



Anexo 3: Medidas del prototipo de maquina CNC. Información tomada de PC-BARRERA. Elaborado por el autor

Bibliografía

- Anonimo. (2014). Artículo online sobre la historia y evolución del CNC. *Industria & Empresas*.
- Arqhys. (2012). Artículo de revista que habla sobre los circuitos impresos . *ARQHYS*.
- Bavaresco, G. (2016). Artículo online acerca de la historia y funcionamiento de la fresadora. *GABP Ingeniería*, 1-16.
- Gil, J., Alonso, D., & Martinez, F. (2014). Artículo científico que trata sobre un prototipo de maquina fresadora CNC para circuitos impresos. *Tekhne*, 23-38.
- Gonzalez, A. G. (2015). Artículo online que trata la definicion de arduino y sus distintos usos. *Panamahitek*, 1.
- Guillen, C., Duque, A., Buelvas, D., Grau, K., & Ochoa, C. (2016). Artículo científico sobre la revisión de sistemas de fresado CNC para elaboración de placas de circuitos impresos PCB. *Investigación y desarrollo en TIC*, vol 7, 61-66.
- Jennings, S., & Huntley, J. (2002). Artículo de revista que trata sobre motores paso a paso, sus beneficios, las categorías básicas, sus características y las ventajas que ofrecen según su número de fases. *Sena, Informador Técnico Vol. 65*, 47-58.
- Orozco, J., Garcia, E., Santillan, C., Serrano, C., & Cayan, J. (2018). Artículo científico que habla sobre la elaboración de una CNC de 3 ejes para el ruteo de pistas y taladro de circuitos impresos(PCBs). *3C Tecnologia: Glosas de innovacion aplicadas a la pyme*, 28-47.
- Rangel, H., & Sevilla, L. (s.f.). Artículo científico sobre un prototipo de maquinado para fabricación de circuitos impresos con fresadora. *Edutecne*, 1-7.
- Roberto, J., & Deras, I. (2014). Artículo científico que trata de la aplicación integrada para construcción de PCBs mediante tecnologia CNC y ajuste automatico a la superficie. *Innovare*, 27-41.
- Ventura, V. (2014). Artículo de revista que habla sobre el codigo G. *Polaridad*.