

TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO

VIDA NUEVA

SEDE MATRIZ



TECNOLOGÍA SUPERIOR EN ELECTROMECAÁNICA

TEMA

IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA CNC APLICANDO ARDUINO PARA LA
IMPRESIÓN Y PERFORACIÓN DE CIRCUITOS IMPRESOS.

PRESENTADO POR

SAGÑAY OÑA DANIEL ISAAC

TUTOR

ING. RUIZ GUANGAJE CARLOS RODRIGO MG.

FECHA

AGOSTO 2023

QUITO – ECUADOR

Tecnología Superior en Electromecánica

Certificación del Tutor

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Aplicación Práctica con el tema:
“Implementación de una máquina CNC aplicando Arduino para la impresión y perforación de circuitos impresos.”, presentado por el ciudadano Sagñay Oña Daniel Isaac, para optar por el título de Tecnólogo Superior en Electromecánica, certifico que dicho proyecto ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador que se designe.

En la ciudad de Quito, del mes de agosto de 2023.

Tutor: Mg. Ruiz Guangaje Carlos Rodrigo

C.I.: 0604030635

Tecnología Superior en Electromecánica

Aprobación del Tribunal

Los miembros del tribunal aprueban el Proyecto de Aplicación Práctica, con el tema: “Implementación de una máquina CNC aplicando Arduino para la impresión y perforación de circuitos impresos”, presentado por el ciudadano Sagñay Oña Daniel Isaac, facultado en la carrera Tecnología Superior en Electromecánica.

Para constancia firman:

Ing.

C.I.:

DOCENTE TUVN

Ing.

C.I.:

DOCENTE TUVN

Ing.

C.I.:

DOCENTE TUVN

Ing.

C.I.:

DOCENTE TUVN

Tecnología Superior en Electromecánica

Cesión de Derechos de Autor

Yo, Sagñay Oña Daniel Isaac portador de la cédula de ciudadanía 1754227302, facultado en la carrera Tecnología Superior en Electromecánica autor de esta obra, certifico y proveo al Tecnológico Universitario Vida Nueva usar plenamente el contenido de este Proyecto de Aplicación Práctica con el tema “Implementación de una máquina CNC aplicando Arduino para la impresión y perforación de circuitos impresos”, con el objeto de aportar y promover la cultura investigativa, autorizando la publicación de mi proyecto en la colección digital del repositorio institucional, bajo la licencia Creative Commons: Atribución-NoComercial-Sin Derivadas.

En la ciudad de Quito, del mes de agosto de 2023.

Sagñay Oña Daniel Isaac

C.I.: 1754227302

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios por dar la vida, salud, la sabiduría, y la fortaleza, por permitirme culminar con éxito tan anhelada carrera.

Este trabajo de Integración Curricular realizado previo a la obtención del título de tercer nivel de Tecnología Superior en Electromecánica, lo dedico con todo mi corazón a mis padres que sin ellos no habría logrado, que brindaron su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona, dedico a mi Abuelita María Clara, ya que descansa en paz, por sus sabios consejos y el amor que me ha dado.

En esta misión de estudiar Electromecánica, la dedico a mis padres por su apoyo incondicional en la parte moral y económico para llegar a ser un profesional, mi gratitud será eterna. Dedico también este trabajo curricular a todos los compañeros y amigos que me brindaron sus conocimientos y apoyo cuando más se necesitó a lo largo de esta carrera.

Daniel Isaac Sagñay Oña

Agradecimiento

Gracias a Dios por haber dado la vida y ser luz en mi camino, por dar sabiduría y fortaleza para alcanzar mi objetivo de mi carrera. Agradezco a mis queridos padres por ser fuente de inspiración, motivación, confianza, por su apoyo incondicional y paciencia, que siempre me apoyaron en toda mi formación profesional.

Agradezco al Ing. Carlos Ruiz MG y los docentes de la carrera de Electromecánica del Instituto Tecnológico Universitario Vida Nueva por enseñar todo lo que sé y más que eso, por guiarme para ser una mejor persona y profesional. También doy gracias a mis amigos y compañeros por los agradables momentos que he compartido, un especial agradecimiento a las personas que han brindado su apoyo, su ánimo y consejos durante los años de estudio.

Daniel Isaac Sagñay Oña

Tabla de contenido

Resumen	10
Abstract	11
Introducción	12
Antecedentes	14
Justificación	15
Objetivos	17
Objetivo General	17
Objetivos Específicos	17
Marco Teórico	18
Electrónica	18
Metrología	19
Programación	20
Placas PCB	21
Arduino	22
Servomotores	23
Shield	23
Driver A4988	24
Fuente de voltaje	24
Motor Pasos a Paso	25
Eje	26
Rodamientos	27
Herramienta de corte	28

	9
Acoples flexibles	28
Metodología y Desarrollo del Proyecto	30
Diseño de la estructura mecánica	30
Construcción de torres	30
Construcción del eje Y	31
Construcción del eje X	32
Unión de los ejes Y, X, Z.	33
Conexiones eléctricas	34
Conexión de motores CNC Shield Arduino + 3 Driver A4988	34
Programación de la maquina CNC	35
Programación del GRBL	35
Configuración	35
Configuración en UNIVERSAL G CODE SENDER	36
Configuración de los motores en UNIVERSAL G CODE SENDER	37
Diseño de PCBs	37
Diseño de diagramas en Proteus	37
Vectorizar Imágenes	38
Tallado en CNC	39
Propuesta	41
Conclusiones	44
Recomendaciones	45
Referencias	46
Anexos	49

Resumen

Es sumamente relevante la enorme importancia que poseen los aparatos electrónicos en nuestras labores cotidianas. Estos dispositivos electrónicos cuentan con un elemento fundamental denominado “placa de circuito impreso”, la cual conecta cada uno de los componentes electrónicos que forman parte de un circuito. La placa de circuito impreso es uno de los elementos más importantes, el objetivo de este proyecto de titulación es la implementación de una máquina CNC aplicando Arduino para la impresión y perforación de circuitos impresos a través de un método de fresado de tres ejes (X, Y, Z), mejorando el proceso de impresión y perforación, ya que el proceso manual lleva a cometer errores. El diseño mecánico de la máquina CNC fue elaborado desde un software de diseño CAD, se decidió seleccionar madera por la facilidad de unión de las piezas, su dureza y ligereza, por otro parte, el sistema electrónico se enfocó en la utilización de una tarjeta electrónica junto con los controladores de los motores paso a paso. Se utilizó un software de diseño PCB que pueda crear un archivo de formato JPG y para después transformar a código G en un software creado para este tipo de trabajos se implementó un sistema de control utilizando Arduino el cual interpreta coordenadas de posición del Código

G. La última etapa del proyecto se realizó el funcionamiento de la máquina CNC, verificando pruebas como el desplazamiento de los ejes de manera automática. De la misma manera se corrigió los fallos que se presentó en la velocidad y desplazamiento, garantizando un alto nivel de diseño e impresión de las placas PCB

Palabras Clave: MAQUINA CNC, PLACAS PCB, CÓDIGO G, TARJETA ELECTRÓNICA.

Abstract

It is of the utmost importance the relevance that electronic devices have in our daily activities. These electronic devices have a fundamental element called “printed circuit board” which connects every single electric component that is part of the circuit. The printed circuit board is one of the most important elements, the objective of this degree project is the implementation of a CNC machine using Arduino for the printing and drilling of printed circuit boards through a three-axis milling method (X, Y, Z) improving both the printing and drilling process due to the fact the manual process is prone to make mistakes. The mechanical design of the CNC machine was developed from a CAD design, it was decided to select wood due to the ease for joining parts, its hardness, and its lightness, by the same token, the electric system was focus on the use of an electric card together with the stepper motor controllers. We used a PCB design software that is capable of creating a JPG file and then transformed it into G-code in a software specifically created for this type of work, a control system using Arduino which interprets position coordinates of the code was also implemented.

G. The last stage of the project was the operation of the CNC machine, verifying tests such as the displacement of the axes automatically. In the same way, we corrected the faults that were presented in the speed and displacement, ensuring a high level of design and printing of the PCB boards.

Keywords: CNC MACHINE, PCB CIRCUIT BOARDS, G-CODE, ELECTRIC CARD.

Introducción

En el contexto actual, la fabricación de circuitos impresos es una necesidad esencial en la industria electrónica. Según Masabanda Wilson, en su tesis “Desarrollo de un sistema de inspección automático de PCB mediante visión artificial” se dice que; “durante la fabricación producen errores, tales como: daños en pistas, que pueden causar graves daños a corto o largo plazo en el funcionamiento del circuito” (Masabanda, 2018).

Tomando en cuenta esto, las PCB son fundamentales en la construcción de dispositivos electrónicos, desde teléfonos móviles hasta sistemas de control industrial. De igual manera, García (2009) explica que “Actualmente las tendencias de la automatización en la industria, exigen el empleo de equipo especial para controlar y llevar a cabo los procesos de fabricación, con una facilidad de operación y mayor exactitud”, por tal motivo, la implementación de máquinas CNC (Control Numérico por Computadora) ha revolucionado el proceso de diseño y fabricación de PCB, permitiendo una mayor precisión y eficiencia en comparación con los métodos tradicionales. A nivel mundial, la demanda de PCB ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años.

Por consiguiente, también dice el Ingeniero Adolfo Mora en su artículo Actualidad y la electrónica que: “La carrera en la electrónica entre los países más avanzados o entre las empresas más poderosas de esos países, radica en ver quién saca primero al mercado la siguiente generación de memorias, o la siguiente generación de microprocesadores de mayor velocidad y desempleo” Mora (1992), esto significa que la industria electrónica se ha expandido rápidamente, impulsada por la evolución de la tecnología y la digitalización en diferentes sectores.

Países como China, Estados Unidos, Alemania y Japón son líderes en la producción y exportación de PCB, y han adoptado tecnologías avanzadas, como las máquinas (García 2009) CNC, para mejorar la calidad y la productividad. El rápido avance de la electrónica de consumo, la industria automotriz, la comunicación y otros sectores ha generado una creciente demanda de PCB en todo el mundo. Además, la tendencia hacia dispositivos más pequeños y ligeros ha aumentado la necesidad de PCB más compacta y complejas, lo que requiere tecnologías de fabricación avanzadas y precisas.

A nivel nacional, según Figueroa (2021) “Los estudiantes en formación deberían conocer las características principales de lo que es diseñar un circuito electrónico, favoreciendo el aprendizaje, el desempeño y la rapidez a la hora de desarrollar un diseño de circuito impreso”.

Esto favorece a que la industria electrónica siga teniendo un crecimiento significativo en los últimos años. Sin embargo, la mayoría dependen de la importación de PCB debido a la falta de infraestructura y tecnología adecuadas para su producción local.

La implementación de una máquina CNC para el diseño e impresión de PCB en Ecuador representa una oportunidad para fortalecer la industria electrónica local. Esto permitiría reducir la dependencia de las importaciones y fomentar el desarrollo de capacidades técnicas y de fabricación en el país.

Antecedentes

El CNC tuvo sus inicios en la industria de aviación durante la Segunda Guerra Mundial, nació con el objetivo de mejorar la producción de piezas para que tuvieran mayor exactitud y precisión. El concepto de Control Numérico fue desarrollado por John Parsons, con el objetivo de producir mejoras en la industria de aviación, con esto se iniciaron una serie de estudios y proyectos en el Instituto Tecnológico de Massachussets en 1949. En 1951, el sistema fue ensamblado, y comenzó la aplicación de los estudios. En 1953 se tenía suficiente información para describir el uso práctico de esta y el posible desarrollo, la primera máquina CNC redujo la producción de 8 horas a 15 minutos fue desarrollada por John Runyon. En 1956, la Fuerza Aérea de Estados Unidos aceptó la propuesta para producir el lenguaje de programación de control numérico (McPherson, 2014).

La evolución de las máquinas CNC ha progresado por el avance de la electrónica y software como CAD y CAM que mejoran la precisión, velocidad, estos avances han mejorado las máquinas CNC haciendo las herramientas fundamentales en la industria moderna.

El uso de Arduino en máquinas CNC se ha vuelto más común en los últimos años, ya que ofrece una alternativa más asequible y flexible a los controladores CNC comerciales. Los proyectos de máquinas CNC con Arduino han sido impulsados por la comunidad maker y la capacidad de programación y control que ofrece la plataforma (López).

Los antecedentes del software utilizado en una máquina CNC con Arduino se basan en la necesidad de contar con herramientas de control numérico accesibles y flexibles, como el GRBL es un firmware para el control de máquinas CNC, está pensado para usarse en placas Arduino con un microcontrolador, ya que permite configurar el control y desplazamiento de nuestra máquina (Ángel 2019).

Justificación

Los circuitos impresos son esenciales en la fabricación de dispositivos, sistemas electrónicos, y su fabricación requiere procesos eficientes y precisos. Para la industria electrónica, los sistemas de fabricación de placas, circuito impreso son eficientes y actualizados que satisfagan las necesidades actuales del mercado. Además, los procesos de fabricación, circuitos impresos son más accesibles y económicos que nunca, lo que permite mejorar la calidad y reducir los costes en la fabricación de componentes electrónicos. En este sentido, es importante que los circuitos impresos estén a la vanguardia de las grandes empresas nacionales e internacionales, asegurando su funcionalidad y el cumplimiento de los parámetros de diseño.

Además, esta tecnología permite mejorar la precisión y calidad de los circuitos impresos, agilizando los tiempos de producción y reduciendo los costes de producción. Los beneficios que aporta a la fabricación de las placas PCB con la máquina CNC promueven al desarrollo económico, a la competitividad de la eficacia y eficiencia.

De igual forma, el uso de máquinas CNC en el proceso de impresión de circuitos permite automatizar un proceso productivo mayor, logrando cambiar el diseño en cualquier momento sin necesidad de crear nuevas placas. El empleo de esta tecnología también es amigable con el medio ambiente y reduce la utilización de químicos tóxicos en el proceso de producción.

La producción masiva de estos circuitos de manera económica y eficiente se ha tornado en un objetivo predominante en la mayoría de los casos. Otra ventaja importante de la producción masiva de placas PCB, con máquinas CNC, es su capacidad para adaptarse lo hace ideal para la producción en grandes cantidades y para satisfacer la demanda del mercado en tiempos cortos.

El proyecto planteado dará los beneficios de realizar trabajos de manera precisa con gran exactitud, ahorrando tiempo. Además, esta máquina CNC será capaz de moverse en tres ejes al mismo tiempo, ejecutando trayectorias tridimensionales que darán una mejor precisión en el fresado y perforado de las placas de baquelita.

Objetivos

Objetivo General

Construir una máquina CNC aplicando Arduino para la impresión y perforación de circuitos impresos en la optimización de los tiempos en el proceso de elaboración de las placas PCB.

Objetivos Específicos

- Identificar las tecnologías CNC disponibles en el mercado, optar por la más adecuada para el diseño e impresión de placas PCB.
- Diseñar una máquina CNC especializada para el diseño e impresión de placas PCB que cumpla con los estándares de precisión y calidad requerida en la industria electrónica.
- Realizar pruebas, validaciones de la máquina CNC de su funcionalidad, confiabilidad y capacidad de respuesta en diferentes escenarios de diseño e impresión de placas PCB, garantizando un alto nivel de eficiencia y calidad en la producción.

Marco Teórico

Electrónica

La electrónica es una ciencia que estudia las señales eléctricas que se encarga del desarrollo de dispositivos, circuitos y sistemas que utilizan corrientes eléctricas y el control del flujo de electrones para realizar diversas funciones.

Estos dispositivos electrónicos pueden ser tan simples como un interruptor o tan complejos como un ordenador o un sistema de comunicación. Se basa en la teoría y los principios de la electricidad, que involucran el movimiento de los electrones a través de materiales conductores. Usa componentes electrónicos, como resistencias, condensadores, inductores, transistores, diodos y circuitos integrados, para controlar y manipular la corriente eléctrica y el voltaje. Los circuitos analógicos trabajan con señales eléctricas continuas, mientras que los circuitos digitales manipulan señales discretas que representan información binaria (0 y 1) (Braga 2019).

Figura 1

Electrónica



Nota. El grafico fue tomado Electrónica Industrial Moderna Maloney 2006

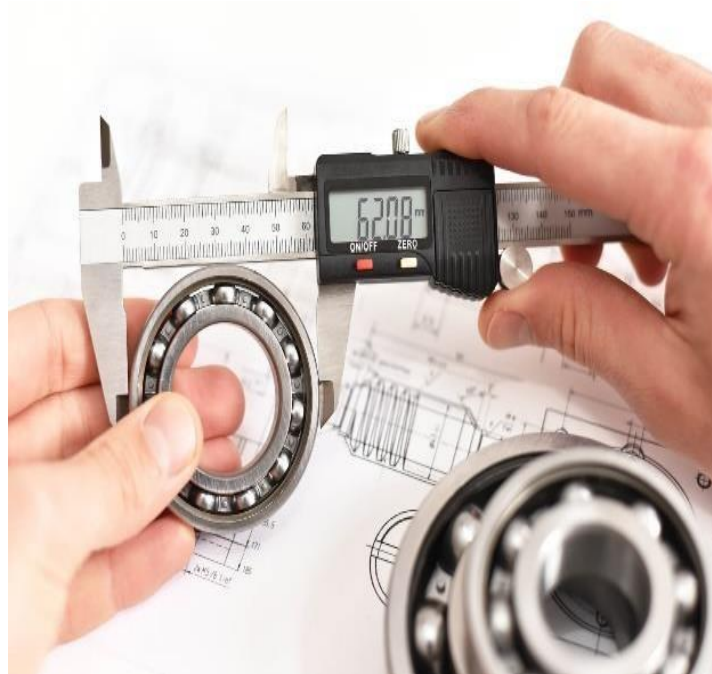
Metrología

La metrología es la ciencia y técnica que tiene como objetivo el estudio de los sistemas de pesos, medidas y determina las magnitudes físicas, garantizando la normalización mediante la trazabilidad, acortando la incertidumbre de las medidas en un campo de tolerancia, incluye todos los aspectos relacionados con las medidas, tanto teóricas como prácticas de los sistemas de pesos y medidas. Ejerciendo tanto en ámbitos científico, industrial, y legal. (Higinio 2012, p11).

La metrología se divide en tres grandes temas, la metrología científica juega un papel importante en el desarrollo de los tipos de medición, lo que a su vez garantiza la coherencia y la comparabilidad de las mediciones realizadas en todo el mundo. Es de suma importancia para la física, la química, la ingeniería, la medicina, la geología y otros campos de la ciencia y la tecnología (Harris, 2023).

La metrología Industrial “es una disciplina importante en la fabricación, que cubre varias funciones clave para garantizar la calidad y precisión de los productos y procesos. La calibración de instrumentos como calibradores, micrómetros y medidores de espesor asegura su precisión y confiabilidad” (Graff, 1973,). La metrología legal “se ocupa de la regulación, aprobación de reglamentos, disposiciones legales relacionadas con las medidas y los instrumentos de medida relacionados con las transacciones cuantitativas utilizados en los negocios, la industria” (Marbán & Pellecer 2003).

La metrología es seguramente la ciencia más antigua del mundo y el conocimiento sobre su aplicación es una necesidad fundamental en la práctica de todas las profesiones con fundamento científico, porque la medición permite conocer, de forma cuantitativa, las propiedades físicas y químicas. El adelanto en la ciencia siempre ha estado íntimamente ligado a los avances en la capacidad de medición.

Figura 2*Metrología*

Nota. La imagen fue tomada de Sistema Interamericano de metrología.

Programación

La programación es el proceso de escribir y desarrollar un conjunto de instrucciones o código que permite a una computadora realizar una tarea específica. En otras palabras, es la habilidad de crear software y aplicaciones mediante la escritura de algoritmos y lógica de programación. La programación se basa en lenguajes de programación, que son conjuntos de reglas y sintaxis utilizados para comunicarse con la computadora. Estos lenguajes pueden ser de alto nivel, como Python, Java o C#, o de bajo nivel, como C o ensamblador. Cada lenguaje tiene sus propias características y se emplea en diferentes contextos, se usa en una amplia gama de campos y aplicaciones.

Desde el desarrollo de aplicaciones móviles y sitios web hasta la creación de sistemas operativos, software de análisis de datos y mucho más (Perry 2006).

Figura 3

Programación

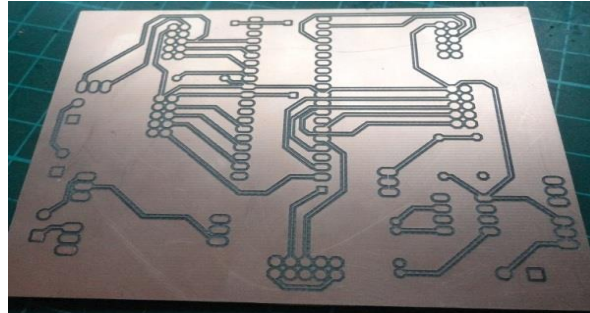


Nota. El grafico fue tomado de Lenguajes de programación y procesadores.

Placas PCB

Una placa PCB (Printed Circuit Board, por sus siglas en inglés), es una placa plana que se utiliza para sostener y conectar componentes electrónicos entre sí. Está fabricada con un material aislante, generalmente fibra de vidrio laminada con cobre en uno o ambos lados, y en ella se encuentran trazadas pistas conductoras de cobre que permiten la interconexión eléctrica entre los componentes (Hill 2015).

La placa PCB juega un papel fundamental en la elaboración y funcionamiento de los dispositivos electrónicos modernos, ya que proporciona la estructura física y las conexiones eléctricas necesarias para que los circuitos funcionen correctamente.

Figura 4*Placas PCB*

Nota. Proporcionan una forma compacta y organizada de interconectar varios componentes electrónicos, imagen extraída Proceso de diseño y fabricación de una placa de circuito impreso.

Arduino

Arduino es una tarjeta electrónica que dependiendo de su programación puede conectar con el entorno electrónico, “Arduino es una plataforma de hardware y software de código abierto diseñada para facilitar la creación de proyectos electrónicos interactivos. Consiste en una placa de desarrollo con microcontrolador y un entorno de programación fácil” (Córcoles & Muñoz, 2017).

Figura 5*Arduino UNO*

Nota. Es una placa de microcontrolador que sirve para crear una amplia variedad de proyectos extraída del sitio web La página web oficial de Arduino.

Servomotores

Fraile García, (2021), dice que los servomotores “son motores síncronos que trabajan en bucle cerrado dentro de un sistema que estará conformado principalmente por un dispositivo de control externo”. (p.20). Por este motivo, los servomotores son altamente precisos y se pueden encontrar en una amplia variedad de tamaños y formas, la manera de control de voltaje los hace apetecible para la construcción de proyectos.

Figura 6

Servomotores



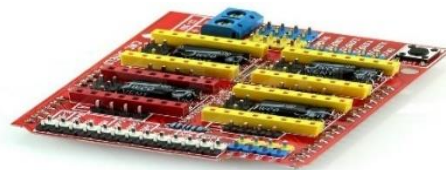
Nota. Los servomotores son actuadores rotativos extraída de Pistas Educativas

Shield

Según Boxall, (2012) dice que la Shield “es simplemente una placa de circuito impreso que se coloca sobre la placa Arduino y se conecta a ella mediante el acoplamiento de sus pines sin necesidad de alguna otra conexión externa.”

Figura 7

Shield



Nota. Es un módulo de expansión que se usa principalmente en máquinas de grabado e impresión, extraída de International journal of molecular sciences.

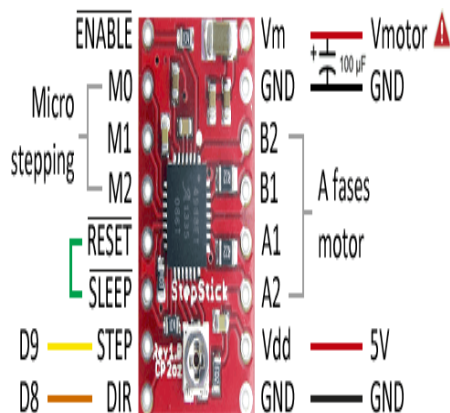
Driver A4988

Para García, (2020) “es un controlador de motor paso a paso de alto rendimiento fabricado por Allegro MicroSystems. Proporciona una interfaz fácil de usar para controlar motores paso a paso bipolares mediante señales de pulso y dirección.”

El chip A4988 está diseñado para ofrecer una conducción suave y silenciosa de los motores, al tiempo que permite un control de corriente ajustable.

Figura 8

Driver A4988



Nota. Es un controlador de motor paso a paso de fácil operación, extraída de Diseño y Construcción De Una CNC Láser para Grabado en Madera.

Fuente de voltaje

Una fuente de voltaje es un dispositivo electrónico que suministra energía eléctrica a un circuito o dispositivo en forma de corriente eléctrica con una tensión específica. La fuente de voltaje toma una forma de energía primaria, como la energía de la red eléctrica o la energía almacenada en una batería, y la convierte en una corriente eléctrica controlada y estable que cumple con los requisitos de voltaje del circuito o dispositivo al que se conecta (Malvino & Bates 2015).

Figura 9

Fuente de voltaje



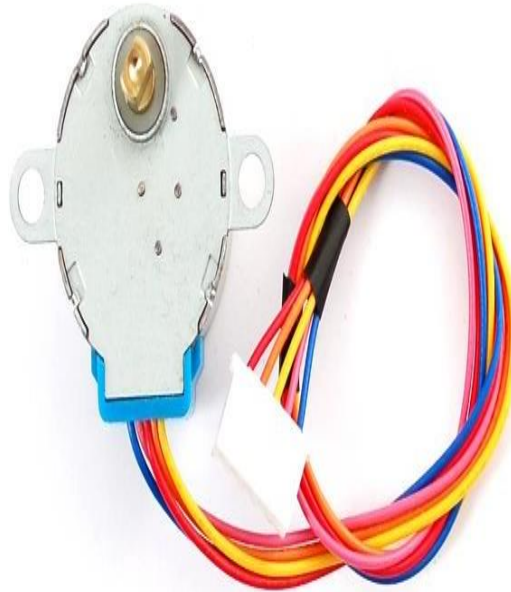
Nota. Una fuente de voltaje es un dispositivo que suministra voltaje, extraída de Fuentes de voltaje y corriente DC a partir de fuente AC.

Motor Pasos a Paso

En la actualidad los motores paso a paso, así como los servomotores, son de mucho uso para los procesos de producción:

Es un dispositivo electromecánico que convierte señales eléctricas en movimientos discretos, incrementales o pasos angulares. Estos motores son ampliamente utilizados en aplicaciones que requieren un posicionamiento preciso, como en máquinas CNC, impresoras 3D y robots industriales. Los motores paso a paso funcionan mediante la activación secuencial de sus bobinas para generar campos magnéticos que atraen o repelen imanes permanentes, lo que resulta en un movimiento angular controlado (Hughes 2013).

Los motores paso a paso son dispositivos fiables y precisos que se usan en una amplia variedad de aplicaciones industriales y de automatización.

Figura 10*Motor paso a paso*

Nota. Es un dispositivo electromecánico que convierte impulsos eléctricos en movimientos angulares discretos, extraída de Informador Técnico.

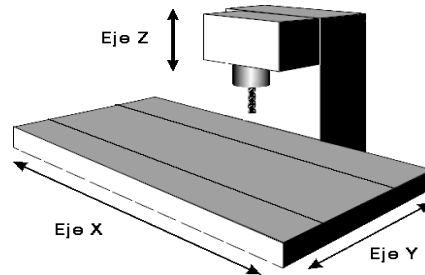
Eje

El eje es una línea imaginaria alrededor de la cual un objeto, como una pieza de trabajo o una herramienta de corte, gira o se mueve. Las máquinas CNC típicamente tienen tres ejes principales: el eje X, que se refiere al movimiento horizontal, el eje Y, que se refiere al movimiento vertical, y el eje Z, que se refiere al movimiento en profundidad. Estos ejes permiten el posicionamiento y el mecanizado en tres dimensiones, lo que brinda flexibilidad y precisión en las operaciones de mecanizado (Perea, 2013).

Los ejes son componentes esenciales en la maquinaria moderna y están disponibles en diferentes diseños para atender a una amplia variedad de necesidades.

Figura 11

Eje



Nota. Son las direcciones en las que puede moverse siendo los ejes principales X, Y, Z, extraída del sitio Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías.

Rodamientos

Un rodamiento, también conocido como cojinete, es un componente mecánico diseñado para reducir la fricción entre dos partes móviles de una máquina o mecanismo. Está compuesto por una serie de elementos rodantes (como bolas o rodillos) que se encuentran dentro de una estructura llamada anillo interior y anillo exterior. Los rodamientos permiten que las partes móviles giren o se desplacen suavemente y con menor fricción, lo que mejora la eficiencia y reduce el desgaste en el mecanismo. (Tedric 2006).

Figura 12

Rodamiento



Nota. Se usa para soportar el tornillo de desplazamiento del eje, extraída Nuevas metodologías no invasivas de diagnóstico de defectos incipientes en rodamientos de bola.

Herramienta de corte

Una herramienta de corte es un dispositivo utilizado en el mecanizado y la fabricación para eliminar material de una pieza de trabajo mediante el corte, deformación. Estas herramientas están diseñadas con filos afilados especiales que realizan cortes precisos en la pieza de trabajo, las herramientas de corte pueden ser brocas, fresas, cuchillas, machuelos dependiendo de la aplicación y el material a mecanizar (Schwab 2011).

Figura 13

Herramienta de corta



Nota. Broca tipo lanza para grabar de 10° 0.4mm, extraído de la página web Broca para grabado CNC lanza 10° 0.4mm - Maker Creativo Store.

Acoples flexibles

Los acoples flexibles son dispositivos utilizados para conectar y transmitir el movimiento entre dos ejes o componentes mecánicos, permitiendo cierto grado de desalineación y compensando vibraciones y cargas no uniformes. Estos acoples están diseñados con materiales flexibles, como elastómeros o elementos de resorte, que pueden doblarse, torcerse o deformarse para acomodar pequeñas desviaciones o movimientos entre los ejes conectados (Isaza & González 1981).

Por esta razón, los acoples flexibles son esenciales para garantizar una transmisión de energía y movimiento segura y eficiente en la maquinaria moderna.

Figura 14

Acoples flexibles



Nota. Son ampliamente utilizados debido a sus ventajas, como la capacidad de compensar desalineaciones, extraída de Los transportes en la ingeniería industrial.

Metodología y Desarrollo del Proyecto

El presente proyecto tiene la finalidad de construir una máquina CNC que agilice los procesos de fabricación de placas PCB, el control se realiza por medio de Arduino.

Diseño de la estructura mecánica

Se diseñó la estructura de máquina CNC en el software AutoCAD, determinado el tamaño, dimensiones de la máquina y las guías donde se ubica los motores que se utiliza. La estructura de la máquina CNC fue realiza de madera MDF por ser duradera, económico y versátil.

Construcción de torres

Como primer paso se cortó 6 pedazos de 30 cm x 7 cm / 18 mm que sirven para construir el eje Y, las torres del eje X donde se sostendrá al eje Z.

Figura 15

Armado de las torres de los ejes Y, X



Nota. Se realizo perforaciones para colocar los Tornillos madera 40mm que sostendrán los ejes Y, X.

Construcción del eje Y

Para la base del soporte del eje Y se utilizó la madera de 30 cm x 70 cm / 18 mm, en la cual se agujeró de 22 mm de diámetro y tres agujeros pequeños de 3 mm donde se ubicó el motor y el acople flexible, se perforó también 2 agujeros más para ubicar los soportes de ejes de 8 mm a una distancia del motor de 6.50 cm a cada lado. La construcción de la cama del eje Y se realizó con una madera cortada a 20 cm x 20 cm / 18 mm, en el cual se perforan 32 agujeros donde se ubicarán los rodamientos lineales, los cuales se ubicarán a 23 mm del borde de los 4 lados de la madera, en la mitad de la madera se ubicará una camisa la cual se usará para colocar el tornillo infinito, donde está enganchado en un rodamiento de 8 mm que será el que desplace la cama con la ayuda del motor.

Figura 16

Construcción del eje Y



Nota. Se realiza medidas precisas para la perforación de los agujeros del eje Y.

Construcción del eje X

Para la construcción del eje X se utilizan dos pedazos de madera de 30 cm x 70 cm / 18 mm, para las torres que se encargaran del movimiento de la máquina de izquierda a derecha, la construcción de las torres se basó en la del eje Y ubicando dos Soportes, el Eje que se encuentran en la parte alta de la torre, el eje X será el encargo de soportar el peso del eje Z.

Figura 17

Construcción del eje X



Nota. Se utilizan medidas exactas para que el eje se pueda desplazar sin ningún problema.

Construcción del eje Z

Para la construcción del eje Z se utilizan cuatro pedazos de madera en diferente medida que da la forma de un cajón, la tabla de 20 cm x 10 cm / 15 mm, se utiliza para ubicar cuatro rodamientos lineales y una camisa por donde pasa el tornillo infinito, el cual da movimiento del eje X. La tabla de 10 cm x 5,5 cm / 18 mm se utiliza para ubicar el motor y los ejes acerados que van en forma vertical. Para la tabla de 13 cm x 10 cm / 15 mm se ubica el soporte del Dremmel 3000 Mototool en la parte frontal de la tabla, en la parte posterior se coloca cuatro rodamientos lineales y la camisa con el tornillo infinito que realiza la función de subir y bajar al Dremmel 3000 Mototool, la tabla de 10 cm x 7 cm / 18 mm que se sitúa el rodamiento y efectuará el pase de los ejes acerados.

Figura 18*Construcción del eje Z*

Nota. La construcción del eje Z tiene medidas exactas y precisas.

Unión de los ejes Y, X, Z.

Para unión de los tres ejes se utiliza tornillos de madera 40 mm que acoplará la torre de eje X con la cama del eje Y, para la unión del eje Z con el eje X se atravesaron los ejes acerados por los rodamientos lineales ubicados en la tabla de 20 cm x 10 cm / 15 mm del eje Z.

Figura 19*Unión de los ejes Y, X, Z*

Nota. Unión de todos los ejes para dar forma a la máquina CNC.

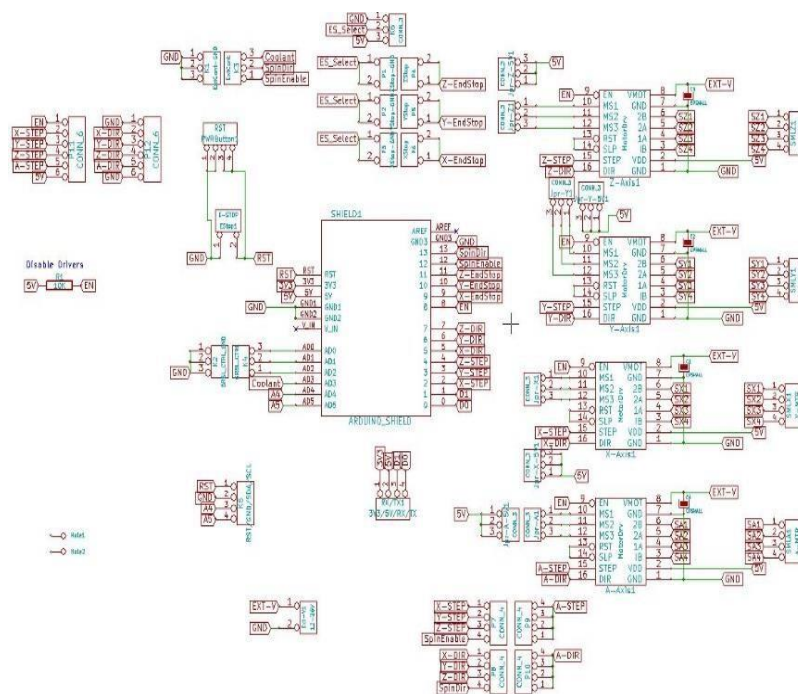
Conexiones eléctricas

Conexión de motores CNC Shield Arduino + 3 Driver A4988

Para la instalación de los motores se utiliza una CNC Shield que se coloca en la parte superior del Arduino UNO, donde se ubican los tres drivers A4988 y sus disipadores de calor, la cual es alimentada por una fuente de voltaje de 12 voltios. Cada uno de los motores fue calibrado a un voltaje diferente porque no todos los motores funcionan con un mismo voltaje, en el motor del eje Y su voltaje es 4.48v, en el motor del eje X es de 4.70v, y el motor del eje Z es de 3.94v de cada uno de los motores salen cuatro cables que van conectados a las entradas de la CNC Shield.

Figura 20

Conexión de motores CNC Shield Arduino + 3 Driver A4988



Nota. El diagrama se utiliza para ver las conexiones de la CNC Shield, como se conecta cada motor la imagen fue extraída del sitio web Dinastía Tecnológica.

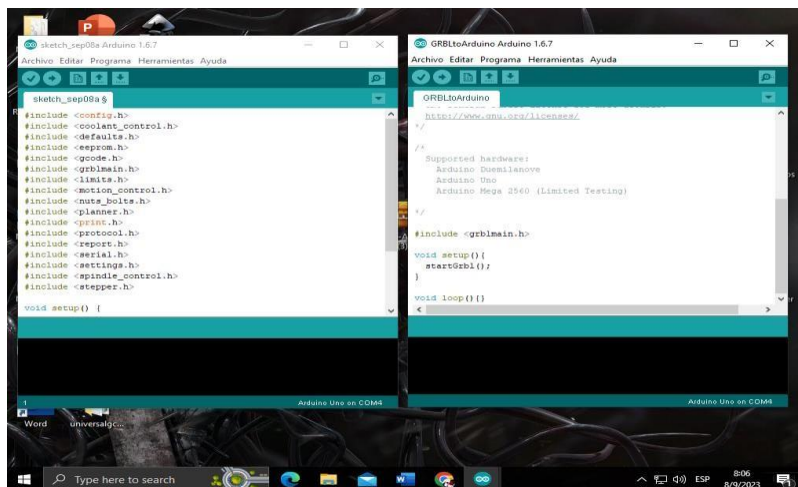
Programación de la maquina CNC

Programación del GRBL

La programación del GRBL se lo realiza desde la parte que dice programación, se da clic en incluir librería, en la parte final de la lista se encuentra GRBL- Arduino Library, se ubica el archivo hacer clic en ejemplos, buscar GRBL- Arduino Library se abre una nueva pestaña donde se encuentra el código y subir al Arduino.

Figura 21

Programación del GRBL



Nota. Librería y programa GRBL que se emplea para el control de la máquina CNC

Configuración

Para configurar se da clic en monitor serial y verificar que se encuentre conectado a 9600 delay se muestra la versión que se utiliza la cual es el GRVL 0.8, para obtener más información se inserta el símbolo de dólar \$ que muestra más especificaciones. La configuración inicial es escribir en el monitor serial doble signo del dólar \$\$, la cual señala como está la configuración inicial. Para configurar se necesita escribir el signo del dólar \$ y el valor que se usa es de 250 y dar clic en configurarlo.

Figura 22
Configuración

```

C0M4E (Arduino Uno)
1140 ($HOMING_STEP_ENABLE, bool)
1140 ($HARD_LIMITS, bool)
1170 ($HOMING_CYCLE, bool)
1180 ($HOMING_ZHOMING_MASK, int:100000000)
11820.000 ($HOMING_FEED, mm/min)
120=250.000 ($HOMING_FEED, mm/min)
121=100 ($HOMING_DEBOUNCE, msec)
122=1.000 ($HOMING_PULL-OFF, mm)
OK
OK
OK
114=200.000 (X, step/mm)
114=250.000 (Y, step/mm)
12=350.000 (Z, step/mm)
29=10 (step pulse, usec)
14=350.000 (DEFAULT FEED, mm/min)
15=500.000 (DEFAULT FEED, mm/min)
16=30 (step port invert mask, int:10000000)
17=25 (step idle delay, msec)
18=0.000 (ACCELERATION, mm/sec^2)
19=0.050 (JUNCTION DEVIATION, mm)
110=0.100 (ARC_SEGMENT)
111=25 (IN-ARC CORRECTION, int)
112=3 (IN-DECREASING, int)
113=0 (REPORT INCHES, bool)
114=1 (AUTO START, bool)
115=0 ($HOMING_STEP_ENABLE, bool)
116=0 ($HARD_LIMITS, bool)
117=0 ($HOMING_CYCLE, bool)
118=0 ($HOMING_ZHOMING_MASK, int:100000000)
118=25.000 ($HOMING_FEED, mm/min)
120=250.000 ($HOMING_FEED, mm/min)
121=100 ($HOMING_DEBOUNCE, msec)
122=1.000 ($HOMING_PULL-OFF, mm)
OK
OK

```

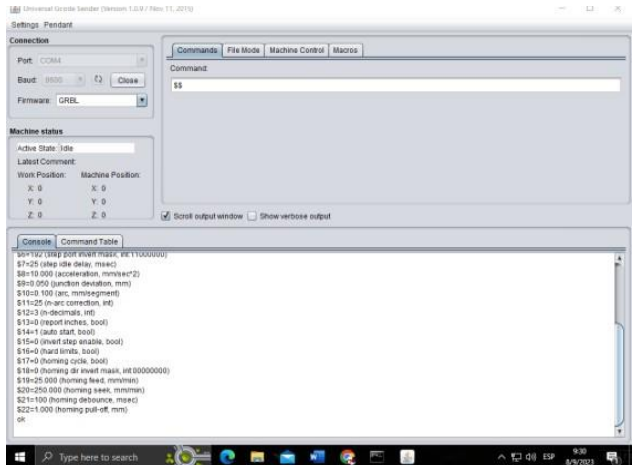
Nota. Se pueden cambiar los 22 parámetros usando el símbolo del dólar.

Configuración en UNIVERSAL G CODE SENDER

La configuración del universal G code sender se busca el nombre de nuestro Arduino, verificar que el Firmware este GRBL, se escribe doble signo \$\$ para ver los comandos que tiene el Arduino en el universal G code sender.

Figura 23

Configuración en UNIVERSAL G CODE SENDER



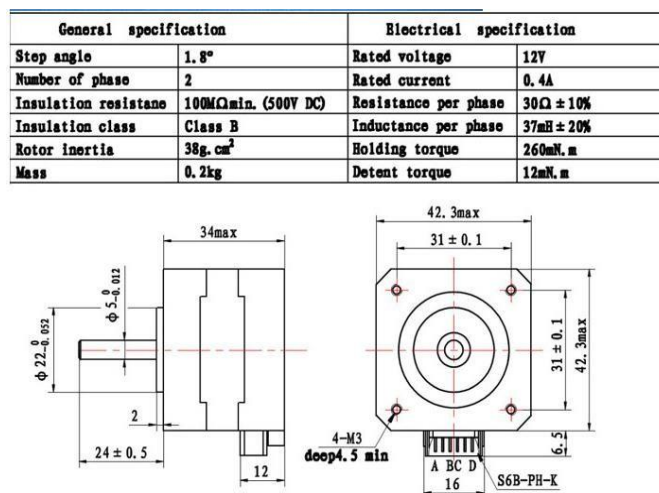
Nota. La configuración se realiza dependiendo de los pasos que tiene el motor es de 1.8 pasos para dar una vuelta necesita 200 pasos.

Configuración de los motores en UNIVERSAL G CODE SENDER

Al configurar los motores se tomó en cuenta el peso y la fuerza que se va a realizar, para la prueba de los motores se dirige a Machine Control, poner en milímetros y presiona a una de las direcciones, se utiliza el eje Y para ver cómo trabaja con el peso de la cama fresadora.

Figura 24

Configuración de los motores en UNIVERSAL G CODE SENDER



Nota. Placa de especificaciones de los motores paso a paso la imagen fue extraída del sitio web Dinastía Tecnológica

Diseño de PCBs

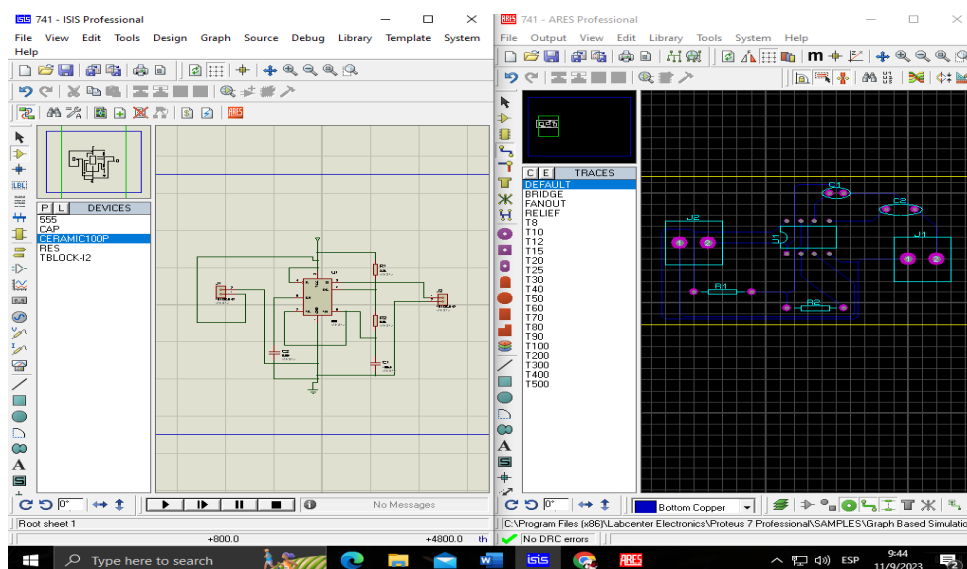
Diseño de diagramas en Proteus

Para realizar el diseño del circuito se utiliza Proteus que da la facilidad de poder pasar el circuito a PCB y diseñar a la dimensión que se requiera, la creación de la placa PCB se realiza un circuito simple como método de prueba, el circuito en cuestión es el encendido de un led con el circuito integrado 555 lo que procede a realizar la búsqueda de los elementos en el programa Proteus una vez ubicada se coloca cada componente, terminado todo el circuito se da clic en el apartado ARES.

Para poder pasar a modo PCB se da clic en 2D Graphics Box Mode y en Bottom Copper se obtiene un cuadrado que serán las dimensiones de la placa PCB, se extrae los componentes y se ubican, observa que todo esté en Bottom Copper para no tener errores, dar clic en Tools y buscar el apartado Desing Rule Manager todo en Bottom Copper una vez realizado eso, dar clic en ok se dirige a Auto ruteo y se da Clic en Begin Routing se observa cómo se crearon las pistas.

Figura 25

Diseño de diagramas en Proteus



Nota. La utilización de Proteus facilita el diseño de diagramas.

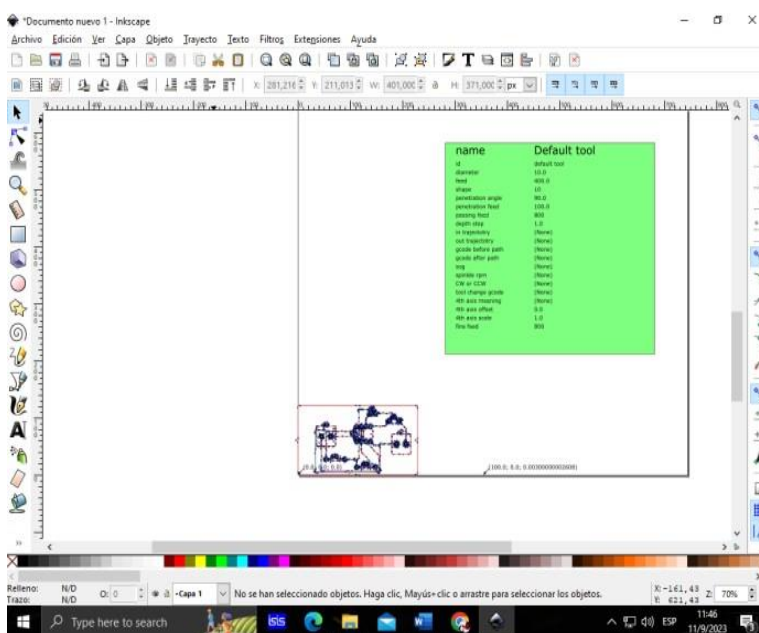
Vectorizar Imágenes

Para poder vectorizar imágenes se utiliza el programa Inkscape el cual usa una imagen en formato JPG. Luego la imagen se ubica en los puntos X, Y al 0,0 para que se pueda trabajar la máquina desde ese punto, se tiene que dar clic en trayectoria y en las opciones objeto de trayecto, borde de trayecto y en vectorizar mapa de Bits se despliega una ventana en la cual se puede ver cómo va a realizar el fresado se da en aceptar, se podrá observar un duplicado de la imagen que está vectorizando se borra la original, la duplicada se queda en 0,0 se dirige a la opción

Extensiones y se busca Gcodetools dar clic en el apartado que dice puntos de orientación y se muestra las coordenadas que va a tener, se vuelve a Gcodetools se da clic en trayecto a Gcode se abre una pestaña donde se busca preferencias se puede poner el nombre del archivo, pero siempre tiene que estar en ngc para poner los nombre y ver la carpeta donde se va a guardar el archivo se da clic en aplicar y se aparece un cuadro verde dando las especificaciones del trabajo y se puede ver a la imagen totalmente marca dando la ruta por donde va a realizar el frezado la máquina.

Figura 26

Vectorizar Imágenes



Nota. El programa Inkscape ayuda a convertir imágenes en código G.

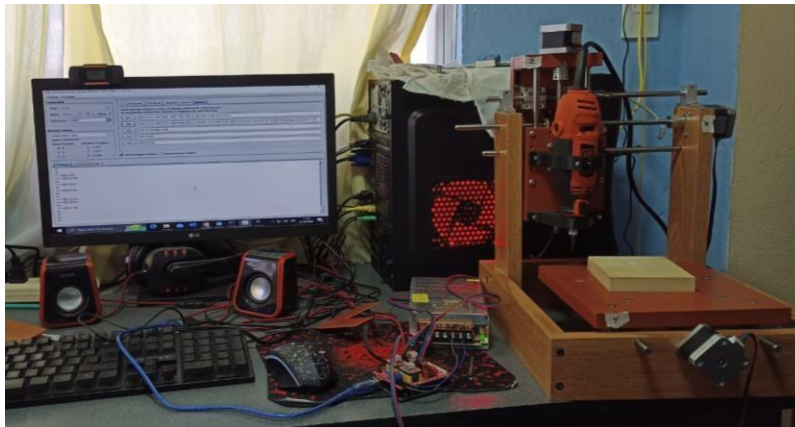
Tallado en CNC

Para el tallado de circuitos PCB se necesita ingresar al UNIVERSAL G CODE SENDER refrescar los puertos y verificar que esté el nombre del Arduino que se llama COM3 y dar clic en Open ver la venta de Consolo se encuentra un condigo que dice **** Connected to COM3 @

9600 baud *****, y se dirige al File Mode se da Clic en Browse se despliega una ventana donde están las imágenes vectorizadas, se elige la que lleva el nombre de circuito 1 antes de que comience a realizar el tallado se escoge el punto 0,0 se tiene que ir a Machine Control y poder ubicar el punto moviendo los tres ejes ya identificados el punto 0,0 se da clic en Reset Zero, vuelve a File Mode presiona Send y comienza a tallar la máquina CNC la duración se puede ser entre 4 a 5 minutos dependiendo de la dificultad del circuito.

Figura 27

Tallado en CNC



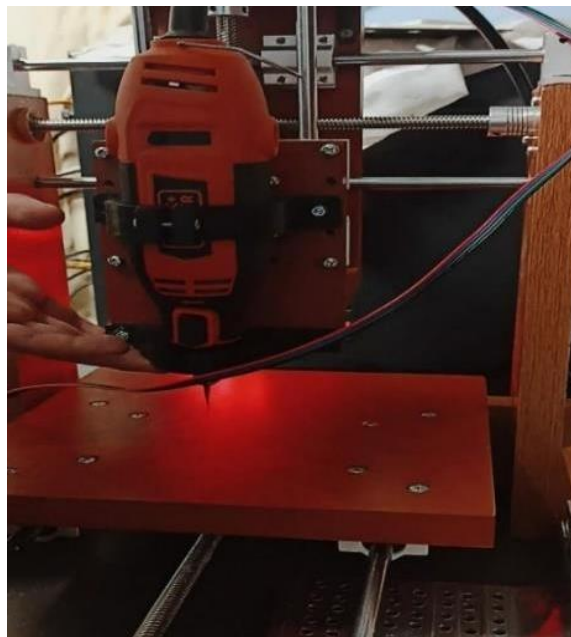
Nota. El tallado en CNC facilita la fabricación de PCB, ya que disminuye los procesos de la forma tradicional y cuida la salud.

Propuesta

Ya finalizado la construcción de la máquina CNC comienza la fase de pruebas para ver el funcionamiento, para lo cual se decidió crear un código que la máquina sea capaz de tallar un cuadrado en madera, era lo más sencillo para tomarlo como prueba. Mientras la máquina iniciaba el tallado se detectó falla, en el rodamiento lineal de Eje Z, que el motor se atasca y se recalienta el driver, para lograr que esto no suceda se decidió quitar dos tornillos a cada uno de los cuatro ejes lineales notando una mejor exactitud y evitando que se recaliente los drivers.

Figura 28

Falencia con el eje Z

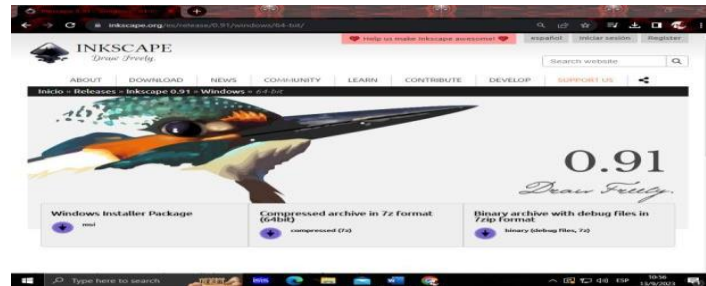


Nota El peso que tiene el eje Z y una mala alineación que se tiene en los rodamientos lineales se dio a una quema de un fusible en la CNC Shield.

La fase de pruebas dio otro error que es la vectorización de imágenes, que realiza escalas de gran tamaño, la corrección de esto fue el cambio de la versión del Inkscape, la que se utiliza es la Inkscape 0.91-1 que facilita la vectorización.

Figura 29

Versión del Inkscape



Nota. Las versiones del Inkscape son muy importantes ya que las versiones actuales tienen algún error para poder pasar al código G al momento de realizar el tallado.

Al momento de realizar el tallado se toma en cuenta que necesita los sostenedores para que no se mueva la placa, ya que solo con la presión de las manos era muy inestable y se salía de la línea de tallado, se pensó es mandar a realizar cuatro sujetadores de cama fresados los cuales se ubica en forma de cuadrado, dos se colocan a una altura de 7.5 cm desde el borde de la cama dos superiores 3 cm desde el borde hacia abajo.

Figura 30

Sujetador Cama Fresado



Nota. El sujetador cama fresado es muy necesario para realizar el tallado.

Después de las pruebas y verificar su correcto funcionamiento se detectó un problema que era la conexión del Dremmel y la fuente de poder de 12v, los dos trabajan con 120v alternos, la solución que vi es hacer una pequeña caja donde se sitúa dos Switch Uno que prenda a la fuente de poder y el otro al Dremmel para verificar eso, se ubica dos luces piloto de color verde que verifica que se encuentran encendidos.

Figura 31

Conexión Dremmel fuente de poder



Nota. Para la conexión del Dremmel y la fuente se realiza una sola entrada de voltaje.

Por último, se instaló la fuente de poder y el Arduino en el lado derecho de la estructura por comodidad y la caja de conexión cubre al Arduino y la Shield para dar seguridad, en la parte posterior de la estructura se acomodó los cables de conexión de los motores para no tener inconvenientes al momento de realizar los trabajos de tallado.

Figura 32

Montaje final de la máquina CNC



Nota. Todos los elementos que se colocaron son útiles para el funcionamiento de la CNC.

Conclusiones

Tomando en cuenta los componentes que se preñen utilizar es importante leer manuales e investigar las especificaciones, buscando encontrar datos como niveles de voltaje que puede llegar a soportar ya sea un PLC o un relé, en caso no encontrar manuales de los dispositivos verificar la placa de datos que se encuentra en los mismos dispositivos e identificar si se está hablando de bobinas o contactos.

El sistema, el control de desplazamiento de cada uno de los ejes Y, X, Z con motores paso a paso y la tarjeta electrónica Arduino facilito el trabajo de desplazamiento de las estructuras de la base, torres laterales y horizontales en la máquina CNC.

La elección de los elementos electrónicos fue los más importantes para efectuar el control numérico computarizado con la incorporación del sistema de control GRBL, la Shield CNC con su driver A4988, y el Arduino Uno, lo que permitió poner en funcionamiento de la máquina CNC.

Se realiza el ensayo de funcionamiento obteniendo resultados positivos en las pruebas de la máquina para confirmar su correcto movimiento de desplazamiento en los tres ejes, resaltando los beneficios y ventajas de utilizar máquina CNC.

Recomendaciones

Verificar las conexiones de los motores de la máquina y a su vez la conexión de la interfaz de comunicación entre el Arduino y el ordenador, esto para que al momento del fresado no existan pérdidas de material por la mala conexión de la misma.

Tomar en cuenta de que la baquelita se encuentra sujeta a la cama antes de comenzar con el impreso, y los dispositivos sean adecuados para evitar movimientos no deseados durante el proceso de realizar el circuito en baquelita.

Cuando se realiza la programación se debe tomar en cuenta los tamaños de los productos a construir, para calcular de manera adecuada los tamaños de las PCB a construir para generar una vectorización adecuada y de esta manera los circuitos sean claros y adecuados.

El tiempo de fresado de la máquina no debe exceder a 20 minutos como límite porque los motores se calientan excesivamente; si el fresado de la PCB no ha terminado aún, se puede pausar el proceso a través de GCODESENDER y apagar el motor tool luego de esto se puede continuar con el fresado.

Hacer trabajar a la máquina bajo supervisión para evitar daño de la misma, ante cualquier problema que se presente. Una forma muy recomendable de responder ante un problema es usando los botones que se encuentran ubicados en la parte superior de la caja que protege al Arduino.

Referencias

- Angel, M. (2019, 6 de marzo). GRBL - Configuración - MBrobotics.
MBrobotics. <https://mbrobotics.es/blog/grbl-configuracion/>
- Andino, V. M. F., Cascante, J. C. C., Flores, D. I. C., & Cali, D. G. P. (2020). Diseño y Construcción De Una CNC Láser para Grabado en Madera. TECH Carlos Cisneros, (01).
- ALKASALIAS, Twana, et al. Fibroblasts in the tumor microenvironment: shield or spear? International journal of molecular sciences, 2018, vol. 19, no 5, p. 1532.
- Banzi, M., Cuartielles, D., Igoe, T., Martino, G. y Mellis, D. (2014). Arduino. La página web oficial de Arduino en <http://arduino.cc>.
- Bellas, F. G., Unanue, R. M., & Fernández, V. D. F. (2016). Lenguajes de programación y procesadores. Editorial Centro de Estudios Ramon Areces SA.
- Boxall, J. (2012). "Arduino Shields: A Comprehensive Guide to Understanding and Using Shields with Arduino". CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Braga, N. C. (2019). Electrónica Analógica. Editora NCB. (Obra original publicada en 2019)
- Córcoles, S. C., & Muñoz, A. M. (2017a). Aprende Arduino en un Fin de Semana: VersiónColor. Independently Published.
- Calos. (2018, 5 de junio). Origen del mecanizado CNC | Mecanica Curiel. Mecanica Curiel fabricación y construcción de mecanizados y montajes de precisión.
<https://mecanicacuriel.com/2018/06/05/origen-del-mecanizado-cnc/#:~:text=Los%20mecanizados%20CNC%20surgieron%20en,para%20controlar%20una%20máquina%20herramienta>
- Castro, O. J. L., & José, O. (2007). Nuevas metodologías no invasivas de diagnosis de defectos incipientes en rodamientos de bola. Madrid: Universidad Carlos III.

- Fraille García, J. C. (2021). Introducción al control remoto de servomotores industriales. (Obra original publicada en 2021)
- Fernández, G. M., Contreras, A. C., Herrera, V. G. H., & Olivera, M. V. M. (2017). Controlador multieje de posicionamiento de servomotores bldc implementado en fpga. *Pistas Educativas*, 39(125).
- García, I. C., Lagos, J. G., Urrego, L. F., & Delgado, P. Y. (2009). Diseño e Implementación de un Control CNC para Crear Modelos y Esculturas en Tercera Dimensión a Partir de un Diseño CAD. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 190.
- García, V. (2020, 5 de marzo). DESCRIPCIÓN DEL DRIVER A4988.
<https://www.diarioelectronicohoy.com/blog/descripcion-del-driver-a4988>
- Jennings, S. (2002). Motores paso a paso. *Informador Técnico*, 65, 47-58.
- Harris, E. (2023, 22 de mayo). Metrología, la ciencia de las mediciones. *La Estrella de Panamá*.
<https://www.laestrella.com.pa/economia/230519/230520-metrologia-ciencia-mediciones>
- Higinio Rubio Alonso. (2012). Marcombo.
- Hill, Winfield, H. P. (2015). *The Art of Electronics*. Cambridge University Press.
- Hughes, A. (2013). *Electric motors and drives: Fundamentals, types and applications*. Newnes, an imprint of Elsevier.
- Isaza, C., & Gonzale, B. (1981). *Acoplamiento*. (Obra original publicada en 1981)
- Lopez Hernandez, J. C. *CNC Arduino Proyecto | PDF | Control numerico | Impresión 3d*. Scribd.
<https://es.scribd.com/document/334408567/CNC-arduino-proyecto>
- Marbán, R. M., & Pellecer C, J. A. (2003). *METROLOGÍA LEGAL*. (Obra original publicada en 2003)
- Maloney, T. J. (2006). *Electronica Industrial Moderna*. Pearson Publications Company.

Marbán, R. M., & Pellecer, J. (2002). Metrología para no-metrólogos. Guatemala: Sistema Interamericano de metrología, SIM.

McPherson, E. (2014, 6 de agosto). Descubre la Historia detrás del Origen de las Máquinas CNC. CNC Machines | Blog. <https://blog.mmi-direct.com/espanol/descubre-la-historia-detrás-del-origen-de-las-máquinas-cnc>

Malvino & Bates. (2015). Electronic Principles. McGraw-Hill Education.

Miravete, A., & Larrodé, E. (1998). Los transportes en la ingeniería industrial (teoría). Reverte.

Perea, D. J. (2013). eje.

http://www.doctorjoseperea.com/libros/index.php?option=com_seoglossary&view=glossary&catid=1&id=1743.

Ponce, G. (2022). Universidad estatal del sur de manabí. Universidad Estatal Del Sur De Manabí, 8. [http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3558/1/PONCE ROBLES GABRIELA NICOLE.pdf](http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3558/1/PONCE%20ROBLES%20GABRIELA%20NICOLE.pdf)

Schvab, L. (2011). Máquinas y herramientas.

Salazar Soler, J., Silvestre Bergés, S., & Marzo, J. (2020). Proceso de diseño y fabricación de una placa de circuito impreso (PCB).

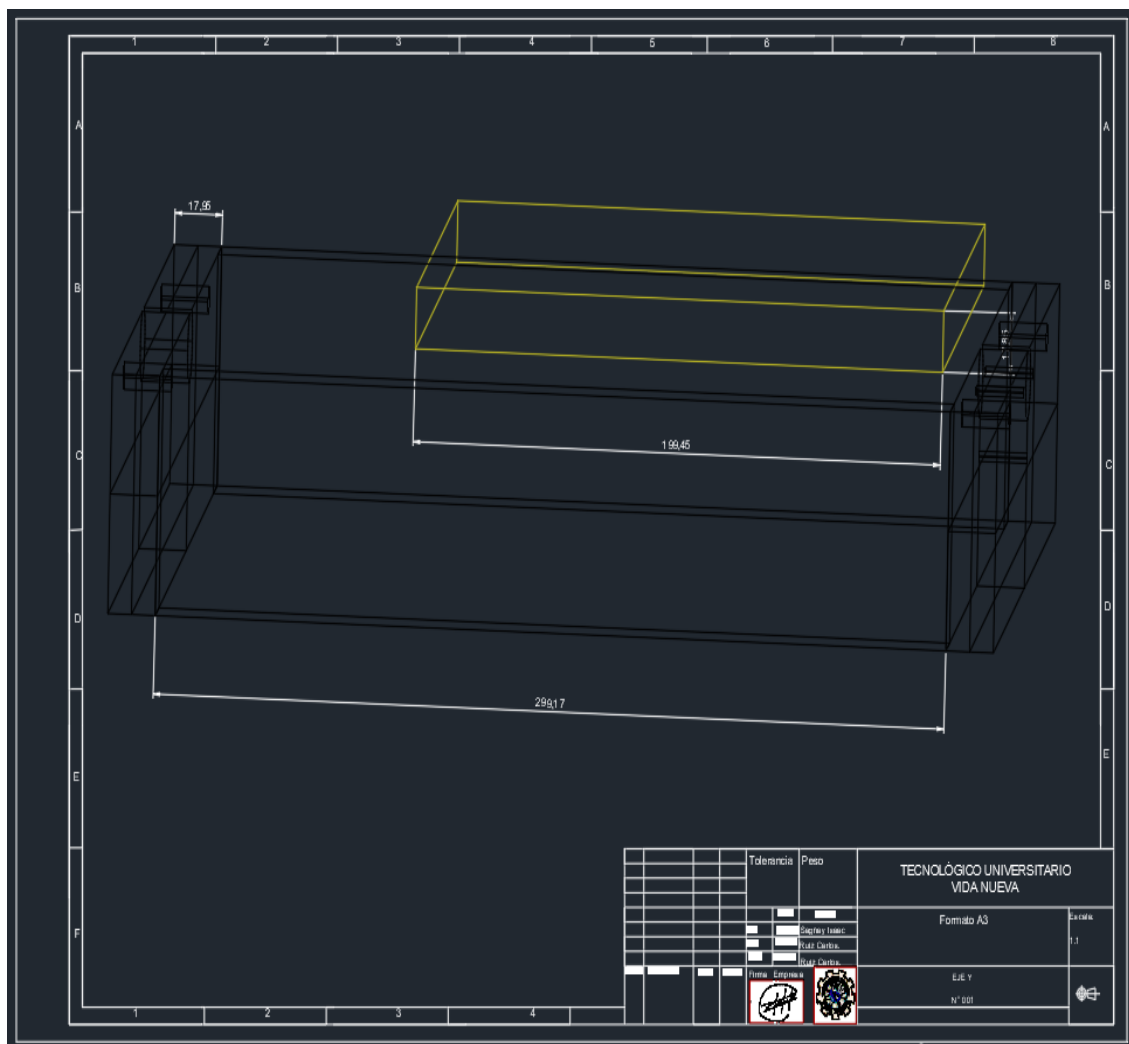
Tedric A., Harris Michael N., & Kotzalas. (2006). Rolling Bearing Analysis: Essential Concepts of Bearing Technology". CRC Press.

Villate Mora, A. M. (1992). Actualidad y la electrónica. Ingeniería e investigación, 27.

Anexos

Anexo 1

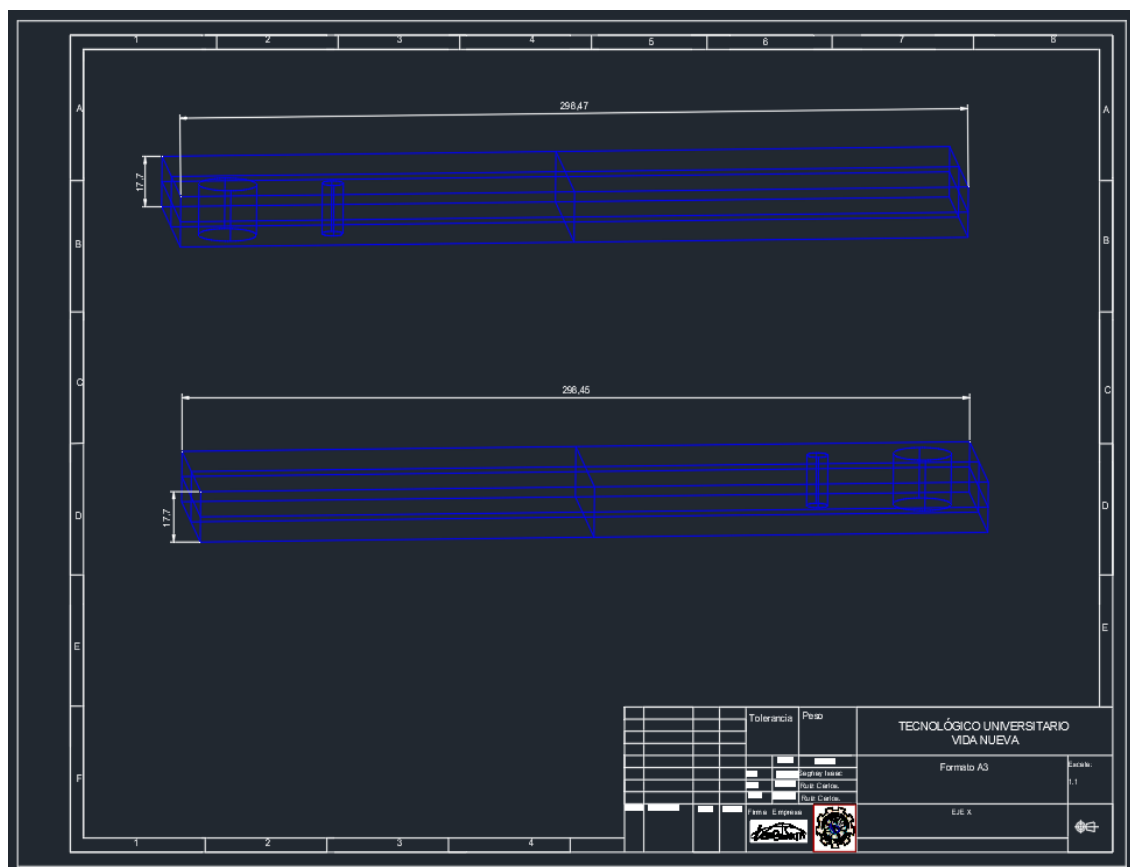
Plano del eje Y



Nota. Se puede observar las medidas del eje Y que lleva cuatro tablas de 30 cm por 70 cm y la cama tiene una medida de 20 cm por 18mm.

Anexo2

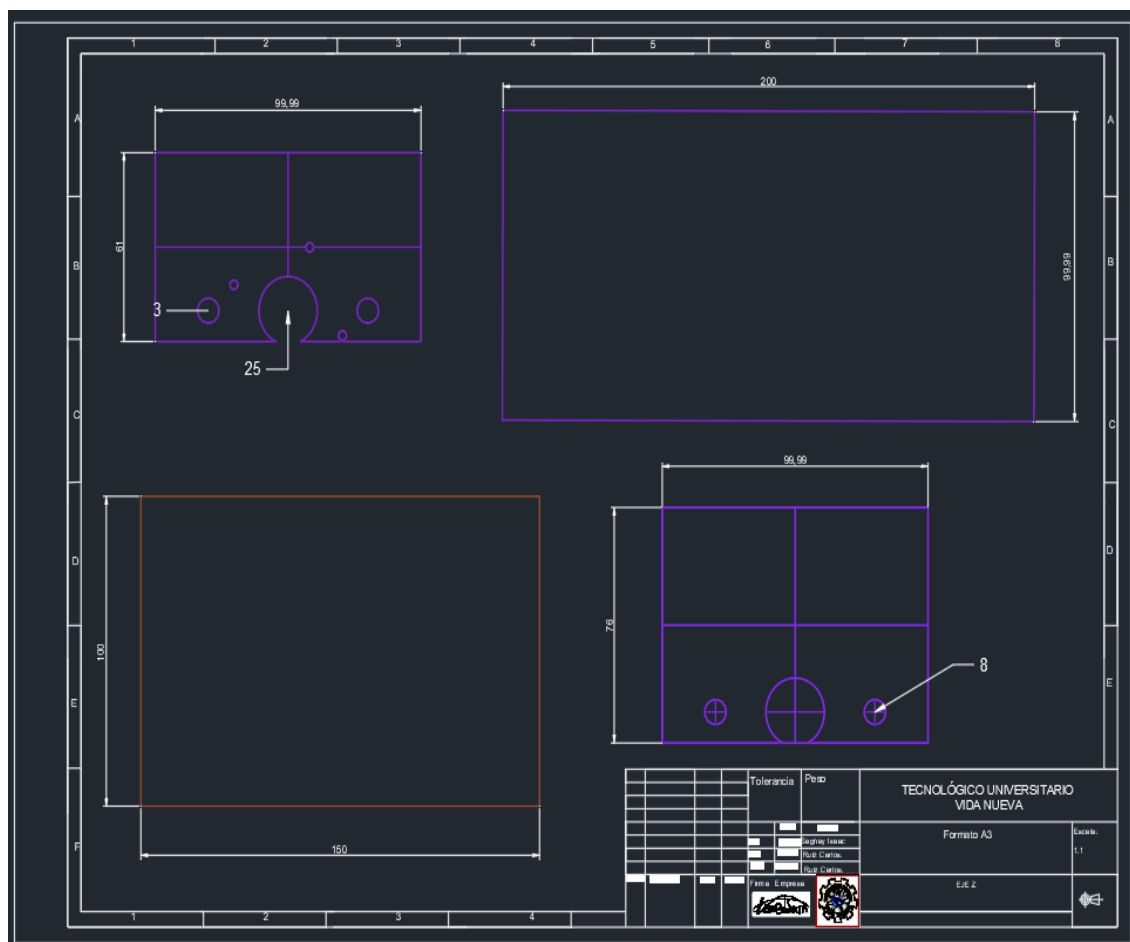
Plano del eje X



Nota. Las medidas del eje X son de 30 cm por 70 cm.

Anexo 3

Plano del eje Z



Nota El eje Z lleva cuatro tablas da la forma de un cajo la primera tabla lleva 14 cm por 10cm la segunda tabla es de 19cm por 9mm la tercera es de 9 cm por 6 cm y la cuarta tabla tiene una medida de 9cm por 7.5 cm que lleva agujeros de 8mm, 3mm y de 25 milímetros.

Anexo 4

Nota. Se está ubicando los elementos de la cama fresadora elaboración imagen propia.

Anexo 5

Nota. Como se observa se está armando la torre del eje X elaboración imagen propia.

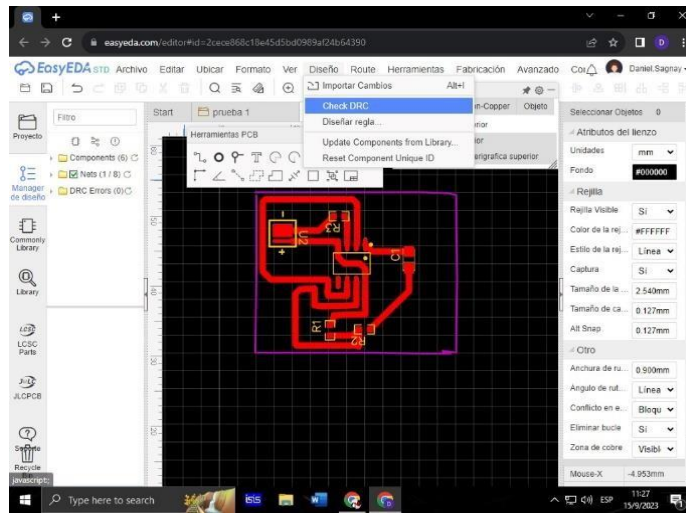
Anexo 6

Nota. Como se puede observar ya está el eje Z para colocar el motor imagen propia.

Anexo 7

Nota. Se instalo todos los elementos para la máquina CNC, elaboración imagen propia.

Anexo 8



Nota. Se realiza la creación de la PCB elaboración imagen propia.

Anexo 9



Nota. Se está realizando pruebas de fresado, elaboración es imagen propia.