



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CNC ROUTER PARA EL FRESADO
DE ALUMINIO PARA LA EMPRESA IMPRONIC SOLUTION”**

**PROPUESTA TECNOLÓGICA PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

AUTORES:

Adrian Ismael Guanoluisa Guanoluisa

Bryan Danilo Carrillo Parra

TUTOR:

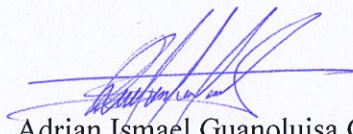
Ing. Luis Miguel Navarrete López

LATACUNGA, ABRIL 2024

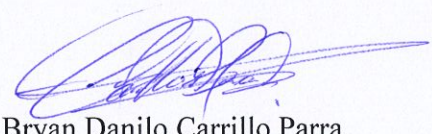
DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros Adrian Ismael Guanoluisa Guanoluisa con CI: 0550511356 y Bryan Danilo Carrillo Parra con CI: 0504019928; declaramos ser autores del presente Proyecto de Investigación: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CNC ROUTER PARA EL FRESADO DE ALUMINIO PARA LA EMPRESA IMPRONIC SOLUTION”**, siendo el ING. Luis Miguel Navarrete López, tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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



Adrian Ismael Guanoluisa Guanoluisa
CI: 0550511356

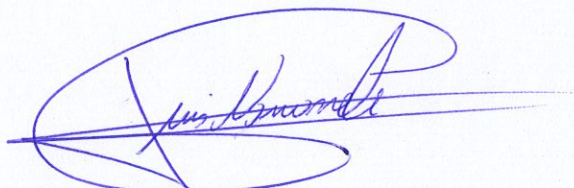


Bryan Danilo Carrillo Parra
CI: 0504019928

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: **“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA CNC ROUTER PARA EL FRESADO DE ALUMINIO”**, de Guanoluisa Guanoluisa Adrian Ismael y Carrillo Parra Bryan Danilo, de la carrera de Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Agosto del 2024



ING. Luis Miguel Navarrete López
CI: 1803747284
TUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: Adrian Ismael Guanoluisa Guanoluisa y Bryan Danilo Carrillo Parra con el título de Proyecto de titulación: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CNC ROUTER PARA EL FRESADO DE ALUMINIO PARA LA EMPRESA IMPRONIC SOLUTION”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

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

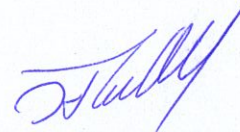
Latacunga, Agosto del 2024

Para constancia firman:



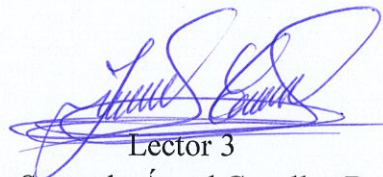
Lector 1 (Presidente)

MSc. Gonzalo Xavier Vizuet Fiallos
C.I: 1714631361



Lector 2

Ph.D. Héctor Luis Laurencio Alfonso
C.I: 1758367252



Lector 3

MSc. Segundo Ángel Cevallos Betún
CI: 0501782437

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer en primer lugar a Dios por darme la salud, guiarme y darme el intelecto necesario para realizar cumplir con este sueño.

Agradezco a mis padres, así como a mi hermana y sobrino, por estar siempre apoyándome incondicionalmente, dándome consejos para lograr esta meta, el esfuerzo brindado siendo el sustento esencial en toda mi formación universitaria.

También quiero agradecer a mis amigos los que me apoyaron a lo largo de este proceso académico, que siempre supieron ayudarme en momentos cruciales de mi vida tanto dentro como fuera de la Universidad.

Adrian

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiar mis pasos en este camino de conocimientos académicos, por darme salud y sabiduría

A mis padres, como a mi familia que me guiaron con virtudes de honestidad, trabajo duro y superación personal.

Agradecer a los docentes de la carrera de ingeniería electromecánica que nos brindan sus conocimientos y nos guían en la etapa de vida profesional.

Bryan

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a mis padres, mi hermana y mi sobrino que fueron los que siempre me apoyaron y confiaron en mí y en las metas que me he propuesto.

A todas las personas especiales de mi vida como mi familia y mis amigos que fueron quienes me impulsaron a seguir adelante hasta lograr alcanzar esta meta muy importante en mi vida.

Adrian

DEDICATORIA

El siguiente trabajo de titulación va dedicado a mis padres, hermana y familiares que siempre están presentes apoyando mi camino educativo y personal forjando a cumplir todos mis propósitos.

A docentes, amigos y compañeros los cuales gracias a su motivación y conocimiento logramos cumplir nuestros objetivos planteados.

Bryan

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CNC ROUTER PARA EL FRESADO DE ALUMINIO PARA LA EMPRESA IMPRONIC SOLUTION”

Autores:

GUANOLUISA GUANOLUISA ADRIAN ISMAEL

CARRILLO PARRA BRYAN DANILO

RESUMEN

El presente trabajo de titulación aborda el diseño y construcción de una CNC Router para el fresado de aluminio para la empresa IMPRONIC SOLUTION, mediante la creación de las piezas en el software fusión 360 las que fueron impresas en PLA fibra de carbono revestidas de resina epóxica líquida para aumentar su dureza en un grado de 90 de la escala Shore D, además se utilizaron motores a paso nema 17 para el movimiento de los 3 ejes que tiene la máquina, los mismos que aumentaron su torque inicial por un factor de 3.38 al acoplarlos a un sistema de transmisión de movimiento por medio de poleas y engranes metálicos, para ello la tarjeta controladora que es la encargada de enviar los pulsos PWM a cada motor es la MakerBase DLC 2.1 con sus respectivos drivers DVR8825, que una vez calibrados generan el movimiento con un torque máximo de 2,12 Nm, cabe recalcar que el eje X al soportar toda la estructura dispone de 2 motores acoplados en similares condiciones para obtener un torque de 4,24 Nm. En primera instancia, se realizó la recopilación de información de maquinaria CNC disponible en el mercado nacional e internacional, de esta manera se determinó que la precisión necesaria para igualar las condiciones de trabajo es de 0,05mm, posteriormente se generó la simulación en el software donde se determinó la carga máxima que puede soportar en cada uno de los ejes de acuerdo a la selección de los perfiles de aluminio para la estructura base, en el apartado electrónico se colocó los voltajes de referencia para cada motor en 1,875V tanto para el eje Y y para el eje Z, a diferencia del eje X que debido a que utilizará un voltaje de referencia de 3,75V. A continuación, se utilizó el software Universal G-Code Sender de plataforma abierta, en el cual se generó el código G a partir de un diseño cargado, donde se delimitó la velocidad de avance de acuerdo al material que vamos a fresar, la misma tiene un rango de 10 mm/s hasta

los 50mm/s. Finalmente se realizaron pruebas con materiales como madera, aluminio y fibra de vidrio PCB, determinando así que la precisión de la máquina es de 0,05mm en cada eje, asemejándose a la precisión de la maquinaria presente en el mercado nacional.

Palabras clave:

CNC router, Precisión, eficiencia, electrónico, control, aluminio

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS

THEME: “DESIGN AND CONSTRUCTION OF A CNC ROUTER FOR ALUMINUM MILLING FOR IMPRONIC SOLUTION COMPANY”

Authors:

**GUANOLUISA GUANOLUISA ADRIAN ISMAEL
CARRILLO PARRA BRYAN DANILO**

ABSTRACT

This degree work addresses the design and construction of a CNC Router for milling aluminum for the company IMPRONIC SOLUTION, by creating the parts in the software fusion 360 which were printed in PLA carbon fiber coated with liquid epoxy resin to increase its hardness to a degree of 90 on the Shore D scale, also used stepper motors nema 17 for the movement of the 3 axes that has the machine, the same that increased its initial torque by a factor of 3.38 by coupling them to a motion transmission system by means of pulleys and metallic gears, for this the controller card that is responsible for sending the PWM pulses to each motor is the MakerBase DLC 2.1 with their respective DVR8825 drivers, which once calibrated generate the movement with a maximum torque of 2.12Nm, it should be noted that the X axis to support the entire structure has 2 motors coupled in similar conditions to obtain a torque of 4.24Nm. In the first instance, the information of CNC machinery available in the national and international market was compiled, in this way it was determined that the accuracy required to match the working conditions is 0.05mm, Afterwards, the simulation was generated in the software where the maximum load that can be supported in each of the axes was determined according to the selection of the aluminum profiles for the base structure. In the electronic section, the reference voltages for each motor were set at 1.875V for both the Y axis and the Z axis, unlike the X axis, which will use a reference voltage of 3.75V. Next, the open platform Universal G-Code Sender software was used, in which the G-code was generated from a loaded design, where the feed rate was delimited according to the material to be milled, the same has a range of 10mm/s to 50mm/s. Finally, tests were carried out with materials such as wood, aluminum and fiberglass

PCB, determining that the accuracy of the machine is 0.05mm in each axis, similar to the accuracy of the machinery present in the domestic market.

Keywords:

CNC router, Precision, efficiency, electronic, control, aluminum

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN.....	III
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	IV
AGRADECIMIENTO	V
DEDICATORIA	VII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	XI
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
2.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	3
2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
2.2.1. Contextualización del problema:.....	3
2.2.2. Formulación del problema:	4
2.2.3. Problemas específicos:	4
2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN	4
2.3.1. Objeto de Investigación: Construir una Maquina CNC Router fresadora.....	4
2.3.2. Campo de Acción: Automatización y control.....	4
2.4. BENEFICIARIOS.....	4
2.4.1. Beneficiarios Directos	4
2.4.2. Beneficiarios Indirectos.....	5
2.5. JUSTIFICACIÓN	5
2.6.1. Objetivo General.....	6
2.6.2. Objetivos Específicos	6
2.7. SISTEMAS DE TAREAS.....	6
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	8
3.1. MECÁNICA ESTRUCTURAL.....	8

3.1.1.	Resistencia del material.....	8
3.1.2.	Disponibilidad y precio del mercado	9
3.1.3.	Aplicaciones Prácticas.....	9
3.2.	DINÁMICA DE MÁQUINAS	10
3.2.1.	Vibraciones y Resonancias:	10
3.2.2.	Análisis Modal:.....	10
3.2.3.	Amortiguamiento:.....	10
3.2.4.	Equilibrio Dinámico:.....	11
3.2.5.	Control de Movimiento:.....	11
3.3.	TEORIA DEL CONTROL NUMÉRICO	11
3.3.1.	Fundamentos del Control Numérico:	12
3.3.2.	Interpolación y Trayectoria de Herramienta:	12
3.3.3.	Control de Movimiento y Velocidad:	12
3.3.4.	Compensación de Errores:	13
3.3.5.	Sincronización de Ejes y Coordinación Multieje:.....	13
3.3.6.	Interfaz Hombre-Máquina (HMI) y Software de Control:.....	13
3.4.	CIENCIA DE MATERIALES	14
3.4.1.	Selección de Materiales para la Estructura:	14
3.4.2.	Propiedades del Aluminio como Material de Trabajo:.....	14
3.4.3.	Resistencia al Desgaste y Durabilidad de Herramientas de Corte:	15
3.4.4.	Comportamiento Térmico de los Materiales:.....	15
3.4.5.	Amortiguamiento de Vibraciones:.....	15
3.4.6.	Innovaciones en Materiales para Mejorar el Rendimiento:	16
3.5.	TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN.....	16
3.5.1.	Procesos de Maquinado de Precisión:.....	17
3.5.2.	Tecnologías de Corte y Formado:	17
3.5.3.	Soldadura y Unión de Materiales:.....	17

3.5.4.	Tratamientos Superficiales y Térmicos:	17
3.5.5.	Fabricación Aditiva y Prototipado Rápido:	18
3.5.6.	Automatización y Control de Calidad:	18
3.6.	ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO	18
3.6.1.	Costos de Diseño y Construcción:	19
3.6.2.	Costos de Operación y Mantenimiento:	19
3.6.3.	Beneficios Económicos:	19
3.6.4.	Retorno de la Inversión (ROI):	20
3.6.5.	Evaluación de Riesgos:	20
3.6.6.	Impacto en la Competitividad:	20
4.	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	21
4.1.	TIPOS DE INVESTIGACIÓN Y MÉTODOS	21
4.1.1.	Investigación de Campo y Bibliográfico.	21
4.2.	DISEÑO DEL PROYECTO	21
4.2.1.	Elección del mejor diseño	22
4.2.2.	Contextualización y planificación	22
4.2.3.	Diseño CAD	22
4.2.4.	Análisis estructural	23
4.3.	SELECCIÓN DE COMPONENTES	24
4.3.1.	Motores	27
4.3.2.	Transmisión del movimiento	27
4.3.3.	Splinder (Fresadora)	28
4.3.4.	Controladores y Electrónica	29
4.4.	CÁLCULOS	31
4.5.	CONSTRUCCIÓN	32
4.5.1.	Armado de la estructura	32
4.5.2.	Instalación de Componentes	34

4.5.3. Cableado e integración electrónica	35
4.6. SOFTWARE	36
4.7. CALIBRACIÓN Y PRUEBAS.....	38
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	39
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
6.1. CONCLUSIONES	51
6.2. RECOMENDACIONES.....	51
7. REFERENCIAS	52
Referencias	52
8. ANEXOS	54

INDICE DE TABLAS

Tabla 4. 1 Características del Perfil V-Slot.....	25
Tabla 4. 2 Características de las Impresiones	26
Tabla 4. 3 Características del riel MGN12	26
Tabla 4. 4 Características del carro MGN12H.....	27
Tabla 4. 5 Características del motor NEMA 17	27
Tabla 4. 6 Características de las poleas dentadas GT2	27
Tabla 4. 6 Características de las correas cerradas GT2	28
Tabla 4. 6 Características del Tornillo Sin Fin.....	28
Tabla 4. 7 Características de la Fresadora	29
Tabla 4. 8 Características de la Fuente de Alimentación	29
Tabla 4. 8 Características de la Placa MAKERBASE DLC V2.!	30
Tabla 4. 8 Características de los drivers	30
Tabla 4. 8 Características de las Finales de Carrera	30

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Elección del diseño para nuestra maquina

23

Figura 2. Configuración de la impresión 3D de las piezas	33
<i>Figura 3. Unión del perfil estructural</i>	33
<i>Figura 4. Instalación de Riel fija estructural</i>	34
<i>Figura 5. Instalación de carro móvil lineal</i>	34
<i>Figura 6. Instalación de motores y sistema de transmisión</i>	35
<i>Figura 7. Maquinas con todas sus partes instaladas</i>	35
<i>Figura 8. Cableado y conexión de cables en la placa</i>	36

1. INFORMACIÓN GENERAL

Tema del proyecto: Diseño y Construcción de una CNC Router para el fresado optimo y preciso del aluminio para la empresa INPRONIC SOLUTION

Modalidad de Titulación:

Propuestas Tecnológicas

Proyectos de Investigación

Carrera: Ingeniería Electromecánica

Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación:

Guanoluisa Guanoluisa Adrian Ismael

Carrillo Parra Bryan Danilo

Tutor Interno: ING. Navarrete López Luis Miguel

Tutor Externo: ING. Corrales Vargas Diego Paul

Área de Conocimiento

Área: Ingeniería, Industria y Construcción.

Sub área del conocimiento: Ingeniería y Profesiones Afines.

Sub área Específica conocimiento: Electrónica y automatización.

Línea de Investigación: Tecnología de la información y las comunicaciones, robótica, automatización y optimización de sistemas.

Sub líneas de investigación: Automatización e inteligencia artificial aplicado a procesos electromecánicos. Diseño construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos.

2. INTRODUCCIÓN

El fresado de aluminio es un proceso esencial para fabricar componentes de alta precisión en una variedad de sectores, incluyendo la manufactura, la aeroespacial y la automotriz. Para crear piezas complejas mediante la remoción controlada de materiales, se necesita maquinaria que funcione con gran precisión y durabilidad. Para este propósito, los CNC Routers de tres ejes, controlados por computadora, han demostrado ser herramientas versátiles y eficaces. La falta de optimización específica para trabajar con materiales como el aluminio y su elevado costo son los dos principales problemas de la mayoría de las máquinas comerciales que se encuentran en el mercado.

Debido a sus características mecánicas y térmicas, las máquinas de fresado requieren características particulares para el aluminio. Para asegurar resultados exactos sin comprometer la integridad de la herramienta o la pieza trabajada, es necesario contar con una estructura sólida y estable, así como con un sistema de refrigeración efectivo y motores fuertes. La complejidad de adaptar máquinas genéricas para el fresado de aluminio o los altos costos de las máquinas comerciales, sin embargo, limitan a muchas pequeñas y medianas empresas e instituciones educativas.

La necesidad de crear un CNC Router de tres ejes que no solo cumpla con los requisitos técnicos para fresar aluminio, sino que además sea económico y fácil de construir en este contexto. Con el fin de abordar tanto los desafíos técnicos como las limitaciones de costo, este proyecto de tesis se centra en la creación y diseño de un CNC Router optimizado para el fresado de aluminio. El propósito de la investigación es ofrecer una solución factible y viable que permita a una mayor cantidad de usuarios acceder a tecnologías avanzadas de fabricación, promoviendo así la innovación y la educación en este campo.

Enfatizando su capacidad para innovar y competir en mercados cada vez más exigentes, el desarrollo de esta máquina no solo facilitará la fabricación de componentes de alta precisión, sino que también contribuirá al progreso tecnológico de las pequeñas y medianas empresas e instituciones educativas.

2.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

En la empresa IMPRONIC SOLUTION ubicada en la ciudad de Latacunga dedicada al desarrollo de tableros electrónicos y elementos de sujeción para carrocerías de transporte urbano e interprovincial se realizan varios trabajos con metal base de aluminio 6063 t5, debido a que cada cliente tienen dimensiones diferentes de tablero y puntos de sujeción las piezas son enviados a fabricar en tornos y fresadoras aledañas para incluirlos en los módulos que llegan a las carrocerías, dichos elementos no superan un área de construcción de más de 20x20x4 cm de altura.

En el mercado nacional e internacional las fresadoras CNC que se encuentran disponibles que trabajan con aluminio superan las dimensiones requeridas, como es el caso de la marca BKB en la que las CNC Router ofertadas tienen un área de trabajo mínimo de 50x50x10 cm y un costo elevado, además que el software que utilizan es propio de la marca con lo que no se puede utilizar con código abierto, por ello nace la necesidad de diseñar y construir una máquina con un área de trabajo de 20x20x4 cm que permita el fresado de aluminio con una precisión mínima de 0,2 mm, de esta manera facilitara la creación de nuevos elementos de sujeción de distintas medidas según la solicitud del cliente, además que se utilizara la CNC para el fresado de placas PCB y acrílico necesarios para el desarrollo de los módulos electrónicos.

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.2.1. Contextualización del problema:

Describe la necesidad: La empresa IMPRONIC SOLUTION busca realizar componentes de aluminio de alta calidad de tamaños de hasta 20x20x4 cm. Para ello se necesita de una fresadora la cual en el mercado no es fácil de conseguir por su alto precio o por las dimensiones que puede llegar a tener la máquina.

Identifica las limitaciones de los equipos actuales: Muchas CNC Routers comerciales están diseñadas principalmente para trabajar con materiales más blandos, como madera o plástico, y no están optimizadas para el fresado de aluminio, que requiere mayor rigidez y potencia.

Propósito del proyecto: Crear una CNC router que sea capaz de fresar aluminio con precisión y eficiencia, cumpliendo con las especificaciones industriales requeridas por la empresa IMPRONIC SOLUTION que es a la cual va dirigido nuestro proyecto.

2.2.2. Formulación del problema:

Problema general: La falta de equipos CNC accesibles y eficientes para el fresado de aluminio en pequeñas y medianas industrias limita la capacidad de producir piezas de alta precisión y calidad.

Pregunta principal: ¿Cómo diseñar y construir una CNC router que sea capaz de fresar aluminio de manera eficiente y precisa, cumpliendo con los requerimientos industriales?

2.2.3. Problemas específicos:

Rendimiento y precisión: ¿Qué características mecánicas y electrónicas debe tener la CNC router para garantizar un fresado preciso del aluminio?

Selección de materiales: ¿Qué materiales y componentes son los más adecuados para la construcción de la estructura de la CNC router, considerando factores como la rigidez y la resistencia?

Control y software: ¿Qué sistema de control y software es el más adecuado para manejar las operaciones de fresado de aluminio en la CNC router?

Costos y accesibilidad: ¿Cómo se puede diseñar una CNC router que se ajuste al presupuesto impuesto por la empresa sin sacrificar la calidad del fresado?

2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1. Objeto de Investigación: Construir una Máquina CNC Router fresadora

2.3.2. Campo de Acción: Automatización y control

2.4. BENEFICIARIOS

2.4.1. Beneficiarios Directos

- Empresa Privada IMPRONIC SOLUTION, Estudiantes investigadores

2.4.2. Beneficiarios Indirectos

- Usuarios de la empresa

2.5. JUSTIFICACIÓN

La urgencia de brindar soluciones económicas y efectivas para la fabricación de componentes de alta precisión, en particular para las pequeñas y medianas empresas y los centros educativos, es el motivo del desarrollo de un CNC Router de tres ejes optimizado para el fresado de aluminio. La capacidad de innovación y producción en ambientes con recursos limitados se ve severamente limitada en la actualidad por el alto costo de las máquinas CNC comerciales adecuadas para trabajar con aluminio y por la falta de opciones optimizadas para este material.

El aluminio es un material ampliamente utilizado en diversas industrias debido a su ligereza, durabilidad y resistencia a la corrosión. Sin embargo, fresar aluminio de manera eficiente requiere una maquinaria con características específicas, como una estructura rígida, motores potentes y un sistema de refrigeración adecuado. Las máquinas comerciales que cumplen con estos requisitos suelen ser inasequibles para muchas pequeñas y medianas empresas y centros educativos, lo que restringe su acceso a la fabricación avanzada.

La creación de un CNC Router de tres ejes optimizado para el fresado de aluminio, con un enfoque en la accesibilidad y la precisión, permitirá a un mayor número de usuarios acceder a la tecnología de fabricación avanzada. Esto no solo fomentará la innovación y el desarrollo de productos personalizados, sino que también fortalecerá las capacidades de formación técnica en instituciones educativas, preparando a los estudiantes para enfrentar los desafíos de la industria moderna. Además, una solución económica y eficiente puede potenciar la competitividad de pequeñas empresas, permitiéndoles producir piezas de alta calidad sin necesidad de realizar grandes inversiones en maquinaria. En resumen, la justificación de este proyecto radica en la democratización del acceso a tecnologías de fabricación avanzada, promoviendo la innovación, el aprendizaje y el desarrollo económico en sectores con recursos limitados.

2.6. OBJETIVOS

2.6.1. Objetivo General

Construir un CNC Router de tres ejes optimizado para el fresado de aluminio, que sea accesible en términos de costo y que garantice precisión, eficiencia y durabilidad.

2.6.2. Objetivos Específicos

- Desarrollar un diseño estructural y seleccionar materiales adecuados que aseguren la rigidez y estabilidad necesarias para minimizar las vibraciones y asegurar alta precisión en el fresado.
- Identificar los componentes mecánicos (motores, sistemas de transmisión) y electrónicos (controladores, software) que ofrezcan el rendimiento óptimo para el fresado de aluminio, considerando la relación costo-beneficio.
- Realizar las pruebas necesarias para asegurar correcto funcionamiento de la CNC Router de tres ejes para validar su desempeño.

2.7. SISTEMAS DE TAREAS

En la Tabla 1.1 se presenta una programación de actividades organizadas según los objetivos específicos establecidos para este proyecto

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Desarrollar un diseño estructural y seleccionar materiales adecuados que aseguren la rigidez y estabilidad necesarias para minimizar las vibraciones y asegurar alta precisión en el fresado de aluminio	1) Investigar y escoger los mejores materiales para la construcción de la máquina. 2) Realizar pruebas de rigidez y resistencia en los materiales.	Información detallada de materiales y componentes óptimos que se usarán en el proyecto	Investigación bibliográfica. Investigación dispositivos Materiales
Identificar y configurar los componentes mecánicos (motores, sistemas de transmisión) y electrónicos (controladores, software) que ofrezcan el rendimiento óptimo para el fresado de aluminio, considerando la relación costo-beneficio	1) Investiga sobre componentes que se usan en una CNC 2) Desarrollo del software de control 4) Integración de componentes y pruebas	Instalar componentes que nos ayuden a tener una alta precisión en el fresado de aluminio.	Software de simulación. Equipos de medición.
Realizar la optimización del CNC Router de tres ejes, realizando pruebas de fresado en aluminio para validar su desempeño en términos de precisión, eficiencia, y durabilidad.	1) Desarrollar Pruebas de funcionamiento del proyecto	Validación del Sistema en Condiciones Operativas	Desarrollo de practica

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Definición: Una CNC Router (Control Numérico Computarizado) es una máquina controlada por computadora que utiliza un sistema de coordenadas para mover una herramienta de corte y realizar operaciones de mecanizado y corte en materiales como madera, plástico y metal.

Ventajas de las CNC Routers: Las CNC Routers ofrecen precisión, versatilidad y la capacidad de automatizar tareas, lo que las convierte en herramientas populares en la industria y en el ámbito del bricolaje.

Además de la precisión, una de las mayores ventajas de la CNC Router de tres ejes es su velocidad de producción. La máquina puede cortar y perfilar materiales a una velocidad constante y precisa, lo que significa que puede producir piezas en grandes cantidades en un tiempo mucho más corto que si se hiciera a mano. También es posible utilizar la máquina para crear piezas personalizadas en pequeñas cantidades, lo que la convierte en una herramienta muy versátil.

Otra ventaja importante de la CNC Router de tres ejes es su facilidad de uso. El software CAD y CAM hacen que la programación de la máquina sea muy sencilla, incluso para aquellos que no tienen experiencia en programación. Además, la máquina en sí es muy fácil de operar, lo que significa que los operadores pueden aprender a usarla rápidamente.

3.1.MECÁNICA ESTRUCTURAL

Para resistir las fuerzas producidas durante el fresado de aluminio, la estructura de un CNC Router debe ser robusta y rígida. Para crear una estructura que reduzca las vibraciones y las deformaciones, que pueden afectar la calidad y la precisión del fresado, es fundamental considerar la teoría de la resistencia y la elasticidad de los materiales. Considerando factores como la distribución de masas, la forma y las uniones de la estructura, los principios de análisis de tensiones y deformaciones permiten identificar los materiales y diseños que garantizan una alta rigidez estructural. [1]

3.1.1. Resistencia del material

El material a usarse en la parte estructural del proyecto debe tener la capacidad de resistir a las vibraciones que generan el movimiento de los motores y cada uno de sus sistemas

de transmisión, y de este modo evitar las deformaciones que se puedan crear, con la finalidad de que el producto a realizar sea preciso.

El material también debe resistir al cambio de temperatura, ya que por el trabajo que realiza la maquina la temperatura se puede llegar a elevar de manera drástica, otro de las características que debe tener es que debe ser resistente a la corrosión ya que no sabemos en los ambientes en los cuales se los llegaría a operar.

Por último, el material debe tener una gran durabilidad ya que la finalidad de este proyecto es evitar un elevado costo del mismo y para evitar gastos innecesarios debemos encontrar un material que cumplan con cada una de estas características. [2]

3.1.2. Disponibilidad y precio del mercado

Para realizar este proyecto debemos encontrar un material que esté disponible en el mercado y a su vez que no represente un gran cargo económico. Para ello realizamos el estudio de cada uno de los materiales que están en el mercado considerando las características que detallamos anteriormente y también del precio de cada uno de ellos.

Consideramos la calidad-precio para dar con la mejor opción en el material que usaremos para realizar nuestro proyecto, buscando que el mismo cumpla con todos los requerimientos necesarios para cumplir con la finalidad de este proyecto.

3.1.3. Aplicaciones Prácticas

Además de los aspectos teóricos, estos principios son esenciales para el diseño y la optimización de sistemas de ingeniería, incluidos la calidad de los materiales, su resistencia y conductividad térmica y calórica. Comprender cada una de estas características en los materiales nos permitirá conocer las cualidades de cada una y en que procesos se pueden llegar a usar.

Las aplicaciones de cada uno de los materiales son innumerables, pues se pueden llegar a usar en muchos proyectos de ingeniería que nos pueden ayudar a mejorar la calidad en la producción y creación de nuevas tecnologías, que estas nos permitan mejorar la calidad de vida de cada uno de las personas que llegan a ser beneficiarios en los proyectos de ingeniería. [2]

3.2. DINÁMICA DE MÁQUINAS

Para entender y mitigar las resonancias y vibraciones que pueden surgir durante el fresado, es fundamental tener un conocimiento de la dinámica de las máquinas. Para representar el comportamiento dinámico del CNC Router, se utilizan ecuaciones de movimiento basadas en la segunda ley de Newton. Los posibles problemas de resonancia, que pueden ser cruciales cuando se trabaja con materiales duros como el aluminio, se pueden encontrar mediante el análisis modal y el análisis de frecuencias naturales. Para crear sistemas que disminuyan las vibraciones, también se emplean principios de amortiguamiento. [3]

3.2.1. Vibraciones y Resonancias:

- Las imperfecciones en los componentes mecánicos, la aceleración y desaceleración de los ejes y las fuerzas de corte son algunos de los factores que pueden causar vibraciones en un CNC Router.
- La resonancia, un fenómeno en el que las vibraciones se amplifican a ciertas frecuencias, es particularmente importante en CNC Routers, ya que pueden disminuir la calidad del acabado superficial, provocar imprecisiones dimensionales y aumentar el desgaste de las herramientas. Calcular las frecuencias naturales de la estructura de la máquina y ajustar su diseño para que opere fuera de estos rangos críticos es fundamental para evitar resonancias. [4]

3.2.2. Análisis Modal:

- El análisis modal es una técnica que se utiliza para identificar las frecuencias naturales y los modos de vibración de la estructura del CNC Router. Este análisis permite diseñar una máquina que minimice las vibraciones al evitar las frecuencias resonantes durante el funcionamiento.
- En la construcción de un CNC Router para fresado de aluminio, se aplica el análisis modal para optimizar la rigidez y distribución de masa de la estructura, asegurando que las vibraciones no comprometan la precisión. [4]

3.2.3. Amortiguamiento:

- El amortiguamiento es un aspecto clave en la dinámica de máquinas, ya que se refiere a la capacidad de la estructura para disipar la energía de las vibraciones.

Un sistema de amortiguamiento efectivo es crucial para reducir las vibraciones no deseadas y mejorar la estabilidad durante el fresado.

- En el diseño de un CNC Router, se implementan materiales y técnicas que aumentan el amortiguamiento, como la adición de elementos amortiguadores o el uso de materiales compuestos que absorben las vibraciones. [3]

3.2.4. Equilibrio Dinámico:

- El equilibrio dinámico de los componentes móviles, como los husillos, motores y herramientas de corte, es esencial para evitar la generación de fuerzas desequilibradas que pueden inducir vibraciones. Un diseño adecuado debe asegurar que todos los componentes giratorios estén equilibrados para operar suavemente a altas velocidades.
- En el fresado de aluminio, donde se requieren altas velocidades de corte, un equilibrio dinámico adecuado es vital para mantener la precisión y prolongar la vida útil de la máquina y las herramientas. [5]

3.2.5. Control de Movimiento:

- El control preciso del movimiento de los ejes del CNC Router es fundamental para mantener la precisión durante el fresado. Los sistemas de control deben ser capaces de compensar cualquier vibración o inercia que pueda afectar el posicionamiento de las herramientas.
- La integración de sistemas de control avanzados, como controladores PID, ayuda a gestionar las dinámicas del movimiento, reduciendo errores y mejorando la calidad del fresado. [5]

3.3. TEORIA DEL CONTROL NUMÉRICO

El control numérico por computadora (CNC) se fundamenta en algoritmos que interpretan códigos de programación para controlar el movimiento preciso de los ejes de la máquina. La teoría del control numérico incluye el estudio de interpolación, la compensación de errores, y la sincronización de movimientos en tres ejes. También se considera el modelado matemático de sistemas de control en lazo cerrado y la implementación de controladores PID (Proporcional-Integral-Derivativo) para garantizar la precisión en el posicionamiento y la velocidad del CNC Router.

Es fundamental estudiar la teoría de control numérico cuando se construye un CNC Router para el fresado de aluminio para crear una máquina que pueda funcionar con alta precisión y confiabilidad. Al incorporar algoritmos sofisticados de control de movimiento, interpolación y compensación de errores, el CNC Router puede realizar las tareas de fresado de aluminio con la precisión necesaria para satisfacer las tolerancias exigentes de la industria actual. Esto mejora tanto la productividad y la eficiencia del proceso de manufactura como la calidad del fresado. [6]

3.3.1. Fundamentos del Control Numérico:

- La tecnología del control numérico (CNC) es capaz de programar movimientos de máquinas a través de instrucciones codificadas en un lenguaje específico (como el G-code).
- Para conseguir piezas con las tolerancias adecuadas en el fresado de aluminio, la precisión en la ejecución de estas instrucciones es fundamental. Controlan los desplazamientos de los ejes del CNC Router, la velocidad de rotación del husillo y otras funciones necesarias para realizar el fresado.

3.3.2. Interpolación y Trayectoria de Herramienta:

- El proceso de interpolación es cuando el CNC determina los puntos intermedios entre dos posiciones; esto permite que la herramienta se mueva de manera precisa y suave a lo largo de una trayectoria definida. Lineal, circular y helicoidal son los tipos de interpolación más comunes.
- El CNC Router debe poder realizar interpolaciones precisas para el fresado de aluminio, ya que cualquier desviación en la trayectoria puede provocar un acabado superficial deficiente o errores dimensionales. [7]

3.3.3. Control de Movimiento y Velocidad:

- La teoría de control numérico involucra algoritmos que gestionan la velocidad de avance de los ejes y la velocidad de rotación del husillo. Estos parámetros deben ser ajustados cuidadosamente para el fresado de aluminio, que requiere un balance entre la velocidad de corte y la carga aplicada a la herramienta.
- Los sistemas de control como el PID (Proporcional-Integral-Derivativo) son utilizados para ajustar la respuesta del sistema en tiempo real, asegurando que el

movimiento de los ejes sea exacto y estable, incluso bajo variaciones de carga o resistencia del material. [7]

3.3.4. Compensación de Errores:

- Los factores como la expansión térmica de los materiales, las deflexiones mecánicas y el backlash (holgura en los mecanismos de transmisión) pueden influir en la precisión del fresado en un CNC Router. Para corregir estos errores, la teoría de control numérico incluye métodos que modifican la trayectoria de la herramienta automáticamente para corregir las desviaciones.
- Para garantizar que las partes fresadas cumplan con las especificaciones precisas, estas compensaciones son esenciales en el fresado de aluminio, donde las tolerancias son limitadas. [8]

3.3.5. Sincronización de Ejes y Coordinación Multieje:

- En un CNC Router de tres ejes, la sincronización precisa entre los movimientos de los ejes X, Y, y Z es esencial para realizar cortes complejos y precisos en el aluminio. La teoría de control numérico asegura que todos los ejes se muevan en perfecta coordinación, siguiendo las trayectorias programadas con alta exactitud.
- La capacidad de realizar movimientos simultáneos y coordinados es crucial para operaciones como contorneado, ranurado, y taladrado en el fresado de aluminio, donde cualquier descoordinación puede resultar en errores significativos. [8]

3.3.6. Interfaz Hombre-Máquina (HMI) y Software de Control:

- El operador puede programar, monitorizar y ajustar los parámetros de la máquina gracias al software de control CNC y al HMI. Para facilitar el uso y maximizar la eficiencia operativa del CNC Router, un diseño intuitivo de la interfaz y un software robusto son esenciales.
- Para adaptarse a las condiciones cambiantes del material y garantizar un rendimiento óptimo, el software debe permitir ajustes precisos en tiempo real, como la compensación de herramientas o la velocidad de corte, en aplicaciones de fresado de aluminio. [7]

3.4. CIENCIA DE MATERIALES

El estudio de la ciencia de materiales es esencial para la construcción de un CNC Router de tres ejes diseñado para el fresado de aluminio. La correcta selección y aplicación de materiales, tanto en la estructura de la máquina como en las herramientas de corte, garantiza que el CNC Router pueda operar con alta precisión, durabilidad y eficiencia. Entender las propiedades térmicas, mecánicas, y de desgaste de los materiales permite optimizar el rendimiento del fresado, asegurando la calidad del producto final y la fiabilidad de la máquina en aplicaciones industriales exigentes.

La selección de materiales para la construcción del CNC Router y para las herramientas de corte se basa en principios de la ciencia de materiales. El aluminio, aunque ligero y resistente, presenta desafíos como la tendencia al sobrecalentamiento y la adhesión a las herramientas de corte. La ciencia de materiales proporciona el conocimiento necesario para seleccionar materiales de estructura que sean rígidos y livianos, y herramientas de corte con recubrimientos especiales que minimicen la fricción y el desgaste. Además, se estudian los mecanismos de disipación de calor y los sistemas de refrigeración, fundamentales para el fresado eficiente de aluminio. [9]

3.4.1. Selección de Materiales para la Estructura:

- Para resistir las fuerzas producidas durante el fresado de aluminio, la estructura del CNC Router debe ser estable y rígida. Debido a que debe proporcionar una alta relación rigidez/peso, reducir las vibraciones y mantener la precisión dimensional bajo cargas dinámicas, la selección de materiales para la estructura es crucial.
- Se emplean con frecuencia materiales como el aluminio estructural, el acero y los compuestos de fibra de carbono. Para aumentar su rigidez sin agregar peso excesivo, el aluminio, aunque ligero, puede ser combinado con refuerzos estructurales, lo cual es esencial para mantener la estabilidad del CNC Router. [9]

3.4.2. Propiedades del Aluminio como Material de Trabajo:

- La alta resistencia a la corrosión, la conductividad térmica y la baja densidad del aluminio lo hacen un material popular en la industria. Su maquinabilidad, sin

embargo, presenta dificultades particulares, como la inclinación a adherirse a las herramientas de corte y la producción de calor excesivo durante el fresado.

- Es crucial elegir herramientas de corte con recubrimientos específicos (como AlTiN o TiN) para reducir la fricción y evitar la acumulación de material para maximizar el fresado de aluminio. Para disipar el calor y prevenir la deformación térmica, también es necesario un sistema de refrigeración efectivo. [10]

3.4.3. Resistencia al Desgaste y Durabilidad de Herramientas de Corte:

- Debido a que el aluminio puede ser abrasivo, las herramientas de corte utilizadas en el fresado de aluminio deben ser extremadamente resistentes al desgaste. El conocimiento necesario para elegir y crear herramientas de carburo cementado, cermet o con recubrimientos de diamante, que brindan una durabilidad superior, se puede encontrar en la ciencia de materiales.
- La elección adecuada de materiales para las herramientas no solo aumenta la vida útil de las herramientas, sino que también garantiza un fresado preciso y de alta calidad, lo que reduce el tiempo de inactividad y la necesidad de cambios frecuentes. [9]

3.4.4. Comportamiento Térmico de los Materiales:

- La disipación del calor es fundamental para evitar deformaciones térmicas en la estructura y el material de trabajo del CNC Router durante el fresado de aluminio. Para diseñar una máquina que mantenga su precisión en diferentes condiciones de operación, es necesario estudiar la expansión térmica y la conductividad térmica de los materiales utilizados en la construcción del CNC Router.
- Para los componentes estructurales que requieren mantener la precisión dimensional a pesar de las variaciones de temperatura, se prefieren los materiales con baja expansión térmica, como las aleaciones específicas de aluminio o los compuestos. [10]

3.4.5. Amortiguamiento de Vibraciones:

- El amortiguamiento de vibraciones es otro aspecto clave que se aborda desde la ciencia de materiales. Los materiales seleccionados para la estructura del CNC Router deben tener propiedades que permitan absorber y disipar las vibraciones

generadas durante el fresado, ya que estas pueden afectar la precisión del corte y la calidad del acabado superficial.

- Los materiales compuestos o estructuras diseñadas con capas de materiales con diferentes propiedades de amortiguamiento pueden ser utilizados para minimizar las vibraciones no deseadas. [10]

3.4.6. Innovaciones en Materiales para Mejorar el Rendimiento:

- La ciencia de materiales también se enfoca en la investigación y desarrollo de nuevos materiales o combinaciones de materiales que puedan ofrecer mejoras en la construcción de CNC Routers. Esto incluye el uso de materiales avanzados como aleaciones ligeras de alta resistencia o materiales compuestos que mejoran la rigidez estructural sin incrementar el peso, y que pueden ofrecer mejores propiedades térmicas y de amortiguamiento.
- La integración de estos materiales innovadores puede resultar en una máquina más eficiente, con menor mantenimiento y mayor vida útil, adecuada para el fresado preciso de aluminio. [9]

3.5. TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN

Es necesario analizar las tecnologías de fabricación para construir un CNC Router de tres ejes destinado al fresado de aluminio. Gracias a la automatización y el control de calidad, así como a los procesos de maquinado de precisión, corte, soldadura, tratamientos superficiales y térmicos, el CNC Router cumple con los estándares más altos de durabilidad y precisión. Estas tecnologías permiten la creación de una máquina que pueda satisfacer las exigentes tolerancias y requisitos de la industria actual.

La construcción de la máquina CNC depende de los métodos de fabricación aditiva y sustractiva. Para garantizar que el CNC Router sea fácil de construir y mantener, se utilizan los principios de diseño para ensamblaje (DFA) y diseño para manufactura (DFM). Los husillos y las guías lineales, que deben cumplir con tolerancias rigurosas para garantizar la precisión del fresado, son ejemplos de procesos que están influenciados por la tecnología de fabricación. [11]

3.5.1. Procesos de Maquinado de Precisión:

- Los procesos de fresado, torneado y rectificado son fundamentales en la creación de los componentes del CNC Router. Para asegurar que las piezas, como los husillos, los ejes y las mesas de trabajo, cumplan con las tolerancias dimensionales necesarias para un funcionamiento preciso, estos procesos deben llevarse a cabo con gran precisión.
- Para reducir la fricción y garantizar un movimiento preciso y suave durante el fresado de aluminio, se requieren procesos de maquinado extremadamente precisos para fabricar husillos de bolas y guías lineales. [11]

3.5.2. Tecnologías de Corte y Formado:

- La construcción del CNC Router implica el uso de tecnologías de corte como el corte por láser, plasma o chorro de agua para dar forma a los componentes metálicos, incluyendo las piezas de aluminio estructurales. Estas tecnologías permiten cortes precisos y limpios, esenciales para mantener la integridad y precisión del ensamblaje final.
- Además, procesos de formado como el doblado y la extrusión se utilizan para fabricar piezas de aluminio con geometrías específicas, mejorando la rigidez estructural y reduciendo el peso. [11]

3.5.3. Soldadura y Unión de Materiales:

- Los procesos de soldadura, como la soldadura por arco o la soldadura TIG, son utilizados para unir componentes metálicos en la estructura del CNC Router. La calidad de estas uniones es crucial para asegurar la rigidez y estabilidad de la máquina durante el fresado.
- La adhesión y el uso de tornillos de alta precisión también son comunes en las uniones, especialmente en componentes que requieren desmontaje o ajuste. La selección del proceso de unión adecuado influye directamente en la durabilidad y precisión del CNC Router. [12]

3.5.4. Tratamientos Superficiales y Térmicos:

- Los tratamientos térmicos, como el temple y revenido, son aplicados a componentes críticos del CNC Router para mejorar su dureza y resistencia al desgaste. Estos

tratamientos son esenciales para garantizar que partes como husillos y engranajes puedan soportar las cargas repetitivas y las condiciones de trabajo intensivas del fresado de aluminio.

- Los tratamientos superficiales, como el anodizado o recubrimientos cerámicos, son utilizados para proteger las superficies de aluminio de la corrosión y el desgaste, lo que extiende la vida útil de los componentes y mantiene la calidad del fresado. [12]

3.5.5. Fabricación Aditiva y Prototipado Rápido:

- La fabricación aditiva, como la impresión 3D, se puede utilizar en las etapas iniciales del desarrollo del CNC Router para crear prototipos rápidos de componentes complejos. Esta tecnología permite iterar y mejorar diseños antes de pasar a la producción en masa, ahorrando tiempo y costos.
- En algunos casos, la fabricación aditiva también se puede utilizar para producir componentes finales, especialmente aquellos con geometrías complicadas que serían difíciles o costosas de fabricar mediante métodos tradicionales. [12]

3.5.6. Automatización y Control de Calidad:

- La integración de sistemas automatizados en la fabricación del CNC Router, como robots de ensamblaje o máquinas de medición por coordenadas (CMM), asegura que cada componente cumpla con las especificaciones exactas. Estos sistemas permiten realizar controles de calidad en tiempo real, detectando y corrigiendo errores antes de que se complete el ensamblaje.
- El uso de tecnologías de control de calidad avanzadas, como la inspección láser o la tomografía computarizada (CT), garantiza que los componentes críticos sean producidos con la máxima precisión, lo cual es esencial para el rendimiento del CNC Router en el fresado de aluminio. [11]

3.6. ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO

Es esencial emplear métodos de análisis de costo-beneficio para hacer que el CNC Router sea accesible. Se utilizan principios de ingeniería y economía para elegir los materiales y componentes que brinden el mejor rendimiento al menor costo posible. El costo de adquisición, el mantenimiento y la vida útil del equipo, así como la relación entre el costo y la velocidad o precisión de fresado, se toman en cuenta.

Un análisis de costo-beneficio es necesario para determinar la viabilidad económica de la construcción de un CNC Router para el fresado de aluminio. Los costos de diseño, construcción y operación se equilibran con los beneficios económicos de la mayor eficiencia, calidad y capacidad de producción que ofrece la máquina. Asegurando que la inversión en el CNC Router sea rentable y que la empresa sea más competitiva en el mercado, un análisis detallado y preciso permite tomar decisiones informadas. [13]

3.6.1. Costos de Diseño y Construcción:

- Los costos iniciales incluyen el diseño, la ingeniería, la adquisición de materiales, y la fabricación de los componentes del CNC Router. Estos costos varían según la complejidad del diseño, la calidad de los materiales utilizados, y la tecnología de fabricación empleada.
- También se consideran los costos asociados con la adquisición de software de control, sensores y sistemas de automatización, así como los gastos en mano de obra especializada para el ensamblaje y calibración de la máquina. [13]

3.6.2. Costos de Operación y Mantenimiento:

- Una vez construido, el CNC Router incurre en costos operativos como el consumo de energía, los insumos (como herramientas de corte y lubricantes), y los costos de mantenimiento regular. Es esencial calcular estos costos para estimar el gasto anual y el impacto en el flujo de caja.
- El mantenimiento preventivo y correctivo es un factor clave en los costos a largo plazo, ya que garantiza que la máquina opere de manera eficiente y prolonga su vida útil. Se deben considerar los costos de repuestos y la posible capacitación de personal para realizar el mantenimiento.

3.6.3. Beneficios Económicos:

- Los beneficios principales provienen de la capacidad del CNC Router para aumentar la eficiencia y productividad en la fabricación de piezas de aluminio. Un fresado preciso y rápido reduce el tiempo de producción y mejora la calidad del producto, lo que puede traducirse en mayores ingresos.

- El uso de un CNC Router permite la producción de piezas con tolerancias estrictas y diseños complejos, lo que puede abrir nuevas oportunidades de negocio en sectores que requieren alta precisión, como la aeroespacial o la automotriz.

3.6.4. Retorno de la Inversión (ROI):

- El análisis de costo-beneficio permite calcular el retorno de la inversión (ROI) de la construcción del CNC Router. Esto se hace comparando los costos totales con los ingresos proyectados y otros beneficios económicos a lo largo del tiempo. Un ROI positivo indica que la inversión es financieramente viable.
- El tiempo necesario para alcanzar el punto de equilibrio, donde los ingresos compensan los costos iniciales y operativos, es una métrica importante. Un período de retorno más corto es deseable, ya que implica que la inversión comenzará a generar ganancias en un plazo relativamente breve.

3.6.5. Evaluación de Riesgos:

- Parte del análisis de costo-beneficio incluye la evaluación de riesgos financieros y operativos, como la fluctuación en los precios de materiales, los cambios en la demanda del mercado, y posibles fallas técnicas. Identificar y mitigar estos riesgos es crucial para asegurar la rentabilidad del proyecto.
- Se pueden realizar análisis de escenarios para prever cómo diferentes condiciones económicas o técnicas podrían afectar los costos y beneficios, ayudando a preparar estrategias de contingencia.

3.6.6. Impacto en la Competitividad:

- La inversión en un CNC Router puede mejorar la competitividad de la empresa al reducir costos de producción, mejorar la calidad del producto y permitir la producción de piezas complejas que de otro modo no serían viables. Estos factores pueden ayudar a captar nuevos clientes y expandir el mercado.
- Además, el uso de tecnología avanzada como un CNC Router puede posicionar a la empresa como un líder en innovación, lo cual es un beneficio intangible pero valioso en mercados competitivos.

Estos fundamentos teóricos proporcionan el marco necesario para abordar el diseño, la construcción y la optimización de un CNC Router de tres ejes específicamente destinado al fresado de aluminio. Integrando estos principios, se busca crear una máquina que no solo sea precisa y eficiente, sino también accesible y adecuada para un amplio rango de aplicaciones industriales y educativas. [13]

4. METODOS Y PROCEDIMIENTOS

El siguiente capítulo describe los métodos, procedimientos, materiales y componentes que conforman en el diseño y la construcción de una CNC Router de tres ejes para fresado de aluminio.

4.1. TIPOS DE INVESTIGACIÓN Y MÉTODOS

En este punto observamos los tipos de investigación y métodos que se utilizaron en nuestro proyecto que estaremos dando la respectiva información:

4.1.1. Investigación de Campo y Bibliográfico.

Se realizó la búsqueda en máquinas comerciales para de este modo descubrir cuáles son los componentes más usados en las CNC comerciales, para de este modo mediante el estudio en artículos, libros, páginas web, encontrar los componentes que sean los necesarios para poder cumplir con las especificaciones requeridas para el proyecto.

4.1.2. Investigación Experimental

Una vez realizado el proyecto, se procedió a realizar las pruebas necesarias como las calibraciones en cada uno de los ejes, para que el movimiento sea preciso y armónico, también se realizaron pruebas de trabajo a través del fresado de distintos tipos de materiales, ya sean blandos, como: el plástico, la baquelita y la madera, para verificar la fuerza y precisión de la máquina construida; finalmente se realizaron pruebas en Aluminio que es el material para el cual se construyó esta CNC.

4.2. DISEÑO DEL PROYECTO

Para realizar este proyecto se inició con el diseño del mismo, realizando el estudio necesario para poder elegir cada uno de sus componentes y teniendo en cuenta como

referencias a CNC comerciales para realizar una mejora en componentes, pero que en cuestión a precios sean más accesibles a público con un presupuesto limitado.

4.2.1. Elección del mejor diseño

Mediante el estudio y búsqueda en CNC comerciales, se realizó el diseño que mejor se adapta a este proyecto, para que de este modo pueda cumplir con las funciones para la cual será elaborada, tomando en cuenta que la finalidad del mismo es que sea compacto y económico.

Este diseño se elaboró en el programa Fusión 360, que es un programa diseño asistido por computadora con el cual se diseñó la máquina, con las medidas necesarias que son el requerimiento de la empresa a la cual está dirigido este proyecto.

4.2.2. Contextualización y planificación

Se procedió a definir los objetivos de la máquina que a continuación iremos detallando cada uno de ellos, que nos ayude a optimizar las funciones de misma, en este punto encontramos:

- **Tipo de fresado:** Para este proyecto tenemos como finalidad que el fresado del aluminio vaya desde el desgaste de material para formar perfiles estructurales con diseño hasta el fresado de componentes de alta precisión con pequeños detalles.
- **Dimensiones de la Máquina:** Hay que tomar en cuenta las dimensiones que llevara nuestro proyecto ya que se trata de un modelo robusto pero compacto, para que sea fácil de transportar y pueda realizar su trabajo en cualquier zona de una empresa. Sin embargo, hay que tener en cuenta que nuestro proyecto puede ser modificado en sus dimensiones dependiendo de la necesidad de cada uno de los clientes que busquen los servicios de nuestra máquina.
- **La precisión requerida:** El proyecto requiere de una precisión muy exacta ya que habrá componentes que tengan detalles milimétricos y que su uso sea específico.

4.2.3. Diseño CAD

Se utilizo softwares de diseño asistido por computadora (CAD) para disponer de un modelo 3D y de este modo tener una manera de modificar y de pre-visualizar la máquina.

Para esta etapa se dispone de varios programas, como SolidWorks, Fusión 360 o AutoCAD que son los más comunes usados para esta finalidad.

En nuestro caso, se usó el programa fusión 360 con licencia estudiantil, la cual nuestra universidad tiene el acceso, con la finalidad de que en caso de ser necesario poder realizar cambios en el modelo, ya sean las dimensiones de las piezas como también el añadir o extraer algún componente que conformen esta máquina.

Se diseñó pieza por pieza que serán las que conformen el proyecto y después de que estén listas las uniremos gracias a las funciones que este programa presenta para tener la pre visualización de nuestro trabajo finalizado como lo mostraremos en la figura 1.



Figura 1. Elección del diseño para nuestra maquina

4.2.4. Análisis estructural

Se realizó la evaluación de la estructura de la fresadora para asegurarnos que pueda soportar las fuerzas que se aplican durante el movimiento de cada uno de sus ejes en el fresado del aluminio, para ello se utilizó el análisis de elementos finitos para simular las tensiones y deformaciones. El cálculo se realizó de la siguiente manera:

Para se realiza los cálculos del centro de gravedad en la estructura de aluminio del eje x, para ello se utilizó las siguientes formulas:

$$(X \text{ c.g.}) * (\Sigma A_i) = \Sigma (A_i * X_i) \quad (1)$$

$$X \text{ c.g.} = \frac{\Sigma (A_i * X_i)}{(\Sigma A_i)} \quad (2)$$

Con la ecuación (1) realizamos en despeje de la variable que necesitamos y con ello obtenemos la nueva ecuación (2) con la se procede al calculo del centro de gravedad en el eje X obteniendo este resultado, procedemos con los siguientes cálculos.

$$(Y \text{ c.g.}) * (\Sigma A_i) = \Sigma (A_i * Y_i) \quad (3)$$

$$c.g. = \frac{\Sigma (A_i * Y_i)}{(\Sigma A_i)} \quad (4)$$

Con la ecuación (3) se realiza el despeje como se hizo anteriormente y así obtenemos una nueva ecuación (4), con la misma realizamos el calculó del centro de gravedad en el eje Y. Puesto a que se necesita del cálculo de toda la estructura para descubrir el centro de gravedad de todo nuestro eje estructural.

$$I_{OX} = \frac{b * h^3}{12} \quad (5)$$

$$I_{Ox} = \frac{b * h^3}{12} \quad (6)$$

Las ecuaciones (5) y (6) nos ayudan a encontrar el punto de inercia de los ejes X y Y. Esto se debe a que el calculo de los mismos se vienen dados gracias al teorema de Steiner.

Se elige el centro de gravedad calculado anteriormente.

Para el eje Z no se presenta un punto de gravedad ya que esta es la parte que genera la tensión en el resto de ejes, y mediante si movimiento del mismo aumenta o reduce la tensión en cada una de las correas que genera el punto de mayor tensión en nuestra máquina.

Una vez realizado este análisis comprobamos si nuestro proyecto necesita algún ajuste para que de este modo las vibraciones que se generan por el movimiento sean mínimas o nulas así logrando evitar que se pierda la precisión en el fresado de los componentes que se están trabajando.

4.3. SELECCIÓN DE COMPONENTES

Una vez realizada la investigación necesaria procedemos con la selección de los materiales y componentes que usaremos en cada una de las partes de este proyecto, los mismos que deben tener las características necesarias para que el trabajo sea eficiente y

preciso teniendo en cuenta también que su precio debe ajustarse al presupuesto presentado por la empresa a la cual está siendo dirigida. Para ello a continuación se presentará cuáles son los elementos que hemos escogido para la presentación del proyecto, detallando en que serán usados y las características presenta cada una de ellas.

Estructura

Es la parte más rígida y dura de nuestro proyecto, la cual soportara todo el movimiento y las vibraciones que la misma generara, por ello se debe encontrar materiales que sean resistentes y duraderos, con las características necesarias para que el daño que pueda presentar el fresado sea mínimo o en un mejor caso sea nulo.

- Para la base estructural usamos el perfil estructural V-slot de 20x20, debido a la gran durabilidad y rigidez que esta presenta.


DISPOSITIVO	CARACTERISTICAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Gran durabilidad • Resistencia a la corrosión • Presta la rigidez necesaria • Es fácil de manejar • Aluminio 6063 T-5

Tabla 4. 1 Características del Perfil V-Slot

- Las piezas que se diseñaron previamente para nuestra maquina se realizará la impresión en una impresora 3D para su mayor precisión, la misma que estará compuesta por el filamento PLA fibra de Carbono y tendrá una porosidad del 60% con la finalidad de usar resina epóxica para su mayor durabilidad y resistencia.


DISPOSITIVO	CARACTERISTICAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Filamento PLA fibra de Carbono • Se funde a 250°C. • Porosidad de un 60% • Material fuerte, resistente y biodegradable • Diseños compactos y resistentes

Tabla 4. 2 Características de las Impresiones

Guías Lineales

- Para el movimiento de los ejes usamos las guías lineales tipo riel MGN12, y estas a su vez están unidas a la chumacera cuadrada o carro lineal MGN12H que está diseñada para moverse por el riel de un modo armónico.

DISPOSITIVO	CARACTERISTICAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Material resistente (Acero) • Ancho 12mm • Soporta las vibraciones • Facilidad para instalar • Mejora la precisión

Tabla 4. 3 Características del riel MGN12

DISPOSITIVO	CARACTERISTICAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Material Resistente (acero al carbono) • Tiene alta precisión • Tiene facilidad de instalación • Movimiento liso y armonico

Tabla 4. 4 Características del carro MGN12H

4.3.1. Motores

Para este proyecto se usarán los motores NEMA 17 que son los motores que se usan comúnmente en todo tipo de CNC, gracias a las características que este presenta y a su fácil configuración para el trabajo que vaya a ser utilizado. Este motor presenta un Par Nominal de 0,4 NM y una velocidad nominal de 1-1000 rpm, la misma que puede ser modificada y controlada a partir de una placa base para su mayor eficiencia y precisión.

DISPOSITIVO	CARACTERISTICAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Torque necesario • Fácil programación y configuración • Soporta el cambio de temperaturas • Presenta gran velocidad nominal • Es compacta y no tiene un peso elevado

Tabla 4. 5 Características del motor NEMA 17

4.3.2. Transmisión del movimiento

Una vez realizado el estudio necesario se llegó a la conclusión de que el mejor sistema para realizar el movimiento en los ejes X y Y, por medio de poleas y correas las mismas que por medio del movimiento del motor la transfieren a otra correa de mayor tamaño la misma que realiza el movimiento por toda el área de trabajo. Para nuestro eje Z también se transmite el movimiento desde el motor por medio de poleas y correas, pero el movimiento del eje se lo lleva por medio de un tornillo sin fin.


DISPOSITIVO	CARACTERISTICAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Material Resistente • Transmisión de movimiento eficiente • No presenta gastos en sus dientes • Se puede modificar su ajuste dependiendo la necesidad

Tabla 4. 6 Características de las poleas dentadas GT2


DISPOSITIVO	CARACTERISTICAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Material Resistente “Goma con refuerzo de fibra” • Transmisión de movimiento eficiente • Tiene un paso de 2mm • Ancho de 6mm

Tabla 4. 7 Características de las correas cerradas GT2


DISPOSITIVO	CARACTERISTICAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Material Resistente “Acero Endurecido” • Se usa para la transición de dos ejes perpendiculares • Su uso es ilimitado dependiendo su tipología

Tabla 4. 8 Características del Tornillo Sin Fin

4.3.3. Splinder (Fresadora)

La elección de la fresadora adecuada para el fresado de aluminio es importante y esta debe tener las características como la capacidad de manejar altas velocidades y nos proporcione el torque suficiente.

Por tal motivo elegimos una fresadora Bosch, que tiene una gran fuerza de trabajo que es de $\frac{3}{4}$ HP (550W) que es el necesario para degastar el aluminio que es el material para el cual está siendo creada nuestra CNC, también tiene un gran número de revoluciones que llegan hasta los 33 000 rpm, a su vez esta fresadora presenta un diseño muy compacto y ligero que permite su fácil instalación y es de fácil manejo.


DISPOSITIVO	CARACTERISTICAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Tiene una gran potencia 550W • Alta velocidad en vacío 33 000 rpm • Se puede usar muchas boquillas para su uso • Es ligera de un peso de 1,4 kg

Tabla 4. 9 Características de la Fresadora

4.3.4. Controladores y Electrónica

La parte electrónica también es muy importante para nuestro proyecto ya que por medio de estos componentes se puede realizar todo tipo de manejo en el resto de componentes y esta es la que comunica la parte de la programación con la parte de movimiento y trabajo de la máquina.

- Para ello se usó una fuente de alimentación que nos permite transformar los 120V en 12V que son los necesarios para poner en funcionamiento la placa y motores que se necesitan energizar en este proyecto. Esta fuente de alimentación se encuentra en un CPU de mesa, la misma que genera el amperaje necesario, y viene listo para la conexión a componentes externos, los que nos a facilita el trabajo en la parte eléctrica y electrónica.

DISPOSITIVO	CARACTERISTICAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Convertidor de 120V a 12V • Viene listo para su instalación • Tiene protecciones para ayudar a un funcionamiento optimo

Tabla 4. 10 Características de la Fuente de Alimentación

- Se usó la placa MAKERBASE DLC V2.1, la que ya viene preparada para el montaje de una CNC, la misma que permite la fácil conexión de los componentes que se usan para el movimiento de cada uno de los ejes de esta CNC.


DISPOSITIVO	CARACTERISTICAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Placa de 32 bits • Permite usar los tres ejes, con doble eje X • Permite la conexión con pantallas TFT • Envío de datos, directo al CNC

Tabla 4. 11 Características de la Placa MAKERBASE DLC V2.!

- Se usaron Drivers, DRV8825 que se calibran con 517 pasos y el DRV4988 que se calibran con 207 pasos, donde representa los pilosos PWM que van a mover al motor por 1cm lo que nos permitirá calibrar el voltaje e intensidad nominal que usará cada uno de los motores para su funcionamiento.


DISPOSITIVO	CARACTERISTICAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Se usa para motores paso a paso bipolares • Fácil control • Permite limitar el voltaje • Protección de corto a tierra

Tabla 4. 12 Características de los drivers

- Se usó componentes como finales de carrera que son piezas muy importantes para esta CNC ya que los mismos nos permiten definir los límites de trabajo que tendrá esta fresadora.


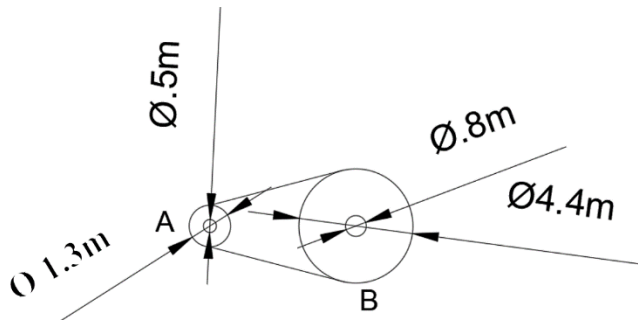
DISPOSITIVO	CARACTERISTICAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Nos permite limitar el área de trabajo • Nos ayuda a establecer un punto home • Tiene una fácil instalación

Tabla 4. 13 Características de las Finales de Carrera

4.4. CÁLCULO DE PARAMETROS NECESARIOS

- Cálculos del sistema de Transmisión Polea – Banda



Datos:

$$\varnothing A = 13 \text{ mm}$$

$$\varnothing B = 44 \text{ mm}$$

$$\text{Rpm} A = 600 \text{ rpm}$$

Utilizamos la siguiente fórmula para la relación de transmisión.

$$\frac{\varnothing A}{\varnothing B} = \frac{\text{rpm} B}{\text{rpm} A}$$

Donde:

\varnothing = Diámetro de la polea.

Rpm = revoluciones por minuto.

Se calcula los diámetros

$$\frac{\varnothing A}{\varnothing B} = \frac{13}{44} = 0,29 \text{ vueltas}$$

Con este dato observamos que la polea conducida va a reducir la velocidad de la polea motriz, dado que la polea motriz realizara 1 vuelta mientras que la polea conducida gira 0.29.

A continuación, se procede a calcular las revoluciones por minuto en la polea conducida

$$\text{Rpm} B = \frac{\varnothing A * \text{Rpm} A}{\varnothing B}$$

$$\text{Rpm} B = \frac{13 \text{ mm} * 600 \text{ rpm}}{44 \text{ mm}}$$

$$\text{Rpm} B = 117 \text{ Rpm}$$

Relación entre poleas

$$\frac{\text{Rpm} A}{\text{Rpm} B} = \frac{600}{117} = 3,38 \text{ La transmisión en la polea motriz y la polea conducida es de } 1 - 3,38$$

- Cálculo del Voltaje enviado desde los drivers:

Para que los motores trabajen de una manera óptima se procedió a calcular el voltaje de referencia teniendo en cuenta los parámetros que presentan los motores, dichos parámetros se encuentran en el datasheet de cada uno, teniendo en cuenta cada uno de estos parámetros procedemos a realizar el cálculo mediante la siguiente fórmula.

$$V_{ref} = I_{req}(R_s * 8)$$

Donde:

V_{ref} = Es el voltaje de referencia necesario para el funcionamiento

I_{req} = La intensidad requerida del motor

R_s = Resistencia SMD interna del Driver

Con estas referencias procedemos a realizar el cálculo y quedaría de la siguiente manera

$$V_{ref} = 1,5A(0,156\Omega * 8)$$

$$V_{ref} = 1,5A(1,25\Omega)$$

$$V_{ref} = 1,875V$$

4.5.CONSTRUCCIÓN

Una vez elegidos cada uno de los componentes que mejor se adaptan a esta fresadora, se procede con la construcción de la misma, y a continuación se detallan paso a paso los procedimientos de cada parte de la fabricación y construcción.

4.5.1. Armado de la estructura

- Se fabricaron las piezas que se realizaron en el diseño CAD, mediante una impresora 3D, las piezas presentan una composición del 40% de filamento PLA fibra de carbono, con la finalidad de revestir cada una de ellas con resina epóxica para que de este modo lograr obtener piezas más resistentes y fuertes.

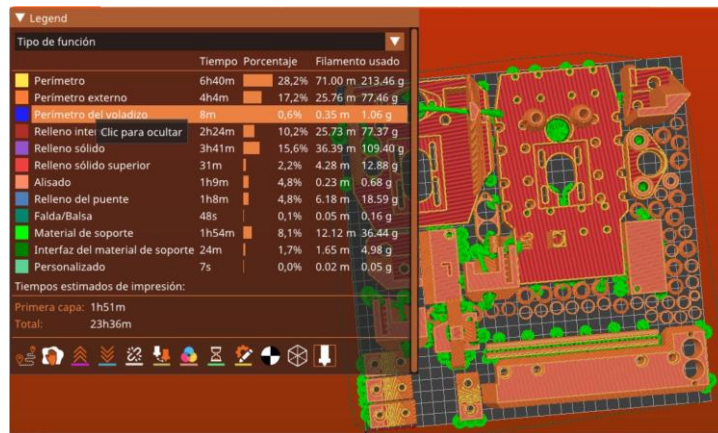


Figura 2. Configuración de la impresión 3D de las piezas

- Se procedió a realizar los cortes del perfil estructural con las medidas ya definidas, para continuar realizando orificios en los mismos para poder formar la base que serán unidas por medio de pernos DIN912 (Perno Allen de cabeza cilíndrica) que son las mejores para este tipo de fresadoras. La unión se logró gracias a que con el uso de machuelos se logra crear una rosca para que los pernos ajusten de manera precisa.

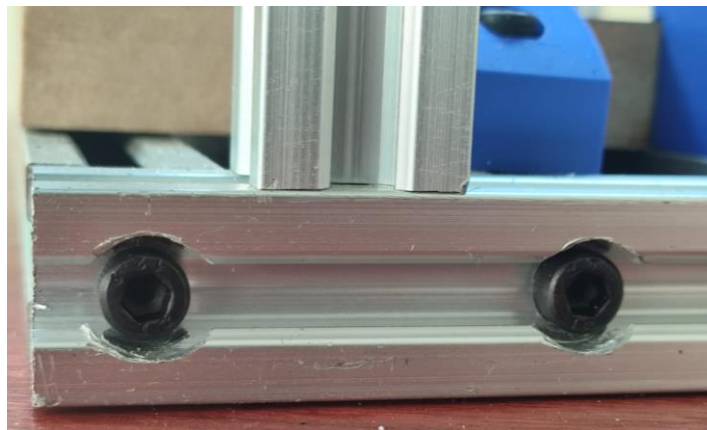


Figura 3. Unión del perfil estructural

- Se procedió con la instalación de los rieles que van unidos al perfil estructural, a su vez se instalaron los carros lineales que serán los encargados de mover el resto de estructura. Los mismos que instalaremos en el eje X y en el eje Y, ya que esto permite realizar la transición del movimiento a partir de los motores que instalaremos más adelante.



Figura 4. Instalación de Riel fija estructural

Figura 5. Instalación de carro móvil lineal

- Una vez armada la base de perfil estructural, Se continuo con el montaje de las piezas impresas, estas piezas ya están recubiertas con la resina epóxica, a su vez que ya deben estar curadas (secas), para su instalación hay que tener en cuenta que estén niveladas y alineadas correctamente para que de este modo la maquina sea precisa y eficiente.

4.5.2. Instalación de Componentes

Una vez armada la parte estructural se procedio con la instalación del resto de componentes elegidos que conforman esta fresadora y los mismos detallaremos a continuación:

- Se instaló y aseguró nuestros motores en los lugares estratégicos que serán los que se encargan de los movimientos de cada uno de los ejes de nuestra fresadora. Los motores deberán ir con su sistema de transmisión de movimiento que están conformados por rodamientos, poleas y correas.
- Después de esto se procede a pasar la correa de transmisión que será por la cual se mueva toda nuestra estructura móvil, tomando en cuenta que sus dientes tomen un buen agarre en el sistema de transmisión.
- Una vez que la correa este en su posición, se procede a ajustar la misma, para que de este modo el sistema de transmisión no presente trabas a lo largo de todo el recorrido, teniendo en cuenta que no debe estar muy tensionada ya que con el paso del tiempo y por el trabajo que realiza esta se puede llegar a romper.

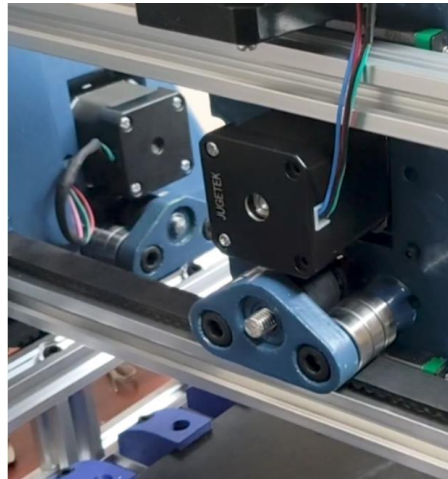


Figura 6. Instalación de motores y sistema de transmisión

- Después de esto, se continuo con el montaje del resto de piezas que nos permitan finalizar con la parte estética y sólida del proyecto, para continuar con la parte eléctrica la misma que detallaremos en el siguiente punto.

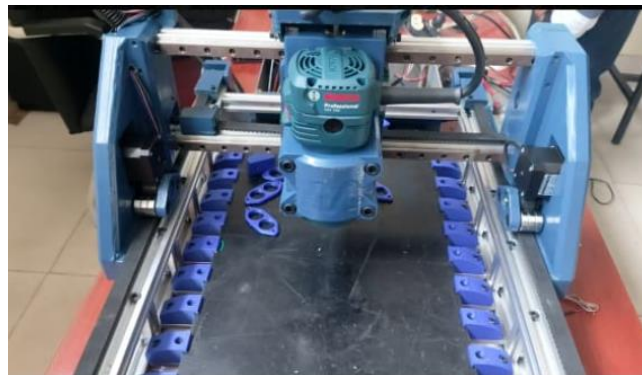


Figura 7. Maquinas con todas sus partes instaladas

4.5.3. Cableado e integración electrónica

Una vez instaladas cada una de las piezas y componentes de la fresadora, se realizó el cableado de la parte electrónica de la misma, la cual pasa por medio de un tubo corrugado que va desde su lugar de instalación hasta una caja en la cual estará nuestra placa.

- Se realizó el cableado de cada uno de los motores y los cuales irán conectados en la placa, nuestra placa ya tendrá definido cada uno de los ejes.
- Así mismo se realizó el paso de los cables de nuestros finales de carrera que irán conectados a la placa y tienen definidos el lugar en el cual se realizara su conexión.



Figura 8. Cableado y conexión de cables en la placa

4.6. SOFTWARE

Para esta parte se tomó en cuenta la parte de la programación y el uso de programas que nos permitan controlar a la CNC en su totalidad. Para ello se utilizó un firmware, un programa que nos genere el código G que se necesita para que la CNC proceda con el movimiento, como último siendo uno de lo más importante la interfaz del usuario que esta nos permite ver el proceso al que está siendo sometida nuestra máquina, segundo a segundo, con este software se podrá realizar una pausa o cancelar el proceso de ser necesario.

- **Firmware:** Instalación de firmware en la controladora GRBL para gestionar el movimiento de la CNC. Esta es la programación inicial de este proyecto pues aquí estan definidos los parámetros con los que funcionara todo este sistema.

```

C:\Users\Diego\Downloads\grbl-1.10.20190205 (1) > grbl-1.10.20190205 > grbl > C:\settings
20:  const __Flash__ const defaults = {
21:
22:   .dir_invert_mask = DEFAULT_DIRECTION_INVERT_MASK,
23:   .status_report_mask = DEFAULT_STATUS_REPORT_MASK,
24:   .junction_deviation = DEFAULT_JUNCTION_DEVIATION,
25:   .arc_tolerance = DEFAULT_ARC_TOLERANCE,
26:   .rpm_max = DEFAULT_SPINDLE_RPM_MAX,
27:   .rpm_min = DEFAULT_SPINDLE_RPM_MIN,
28:   .homing_dir_mask = DEFAULT_HOMING_DIR_MASK,
29:   .homing_feed_rate = DEFAULT_HOMING_FEED_RATE,
30:   .homing_seek_rate = DEFAULT_HOMING_SEEK_RATE,
31:   .homing_debounce_delay = DEFAULT_HOMING_DEBOUNCE_DELAY,
32:   .homing_pulloff = DEFAULT_HOMING_PULLOFF,
33:   .zflags = (DEFAULT_REPORT_INCHES << BIT_REPORT_INCHES) | \
34:             (DEFAULT_LASER_MODE << BIT_LASER_MODE) | \
35:             (DEFAULT_INVERT_ST_ENABLE << BIT_INVERT_ST_ENABLE) | \
36:             (DEFAULT_HMD_LIMIT_ENABLE << BIT_HMD_LIMIT_ENABLE) | \
37:             (DEFAULT_HOMING_ENABLE << BIT_HOMING_ENABLE) | \
38:             (DEFAULT_SOFT_LIMIT_ENABLE << BIT_SOFT_LIMIT_ENABLE) | \
39:             (DEFAULT_INVERT_LIMIT_PINS << BIT_INVERT_LIMIT_PINS) | \
40:             (DEFAULT_INVERT_PROBE_PIN << BIT_INVERT_PROBE_PIN),
41:
42:   .steps_per_mm[X_AXIS] = DEFAULT_X_STEPS_PER_MM,
43:   .steps_per_mm[Y_AXIS] = DEFAULT_Y_STEPS_PER_MM,
44:   .steps_per_mm[Z_AXIS] = DEFAULT_Z_STEPS_PER_MM,
45:   .max_rate[X_AXIS] = DEFAULT_X_MAX_RATE,
46:   .max_rate[Y_AXIS] = DEFAULT_Y_MAX_RATE,
47:   .max_rate[Z_AXIS] = DEFAULT_Z_MAX_RATE,
48:   .acceleration[X_AXIS] = DEFAULT_X_ACCELERATION,
49:   .acceleration[Y_AXIS] = DEFAULT_Y_ACCELERATION,
50:   .acceleration[Z_AXIS] = DEFAULT_Z_ACCELERATION,
51:   .max_travel[X_AXIS] = (-DEFAULT_X_MAX_TRAVEL),
52:   .max_travel[Y_AXIS] = (-DEFAULT_Y_MAX_TRAVEL),
53:   .max_travel[Z_AXIS] = (-DEFAULT_Z_MAX_TRAVEL);
54: };

```

Figura 1. Programación GRBL "Firmware"

- Generación de G-Code:** Para esto se genera una imagen o figura la cual buscamos generar en el aluminio y mediante la transformación de un software transformamos este en un código-G la cual es la que permite que nuestra fresadora realice los movimientos en sus ejes para poder realizar la operación de las misma.

```

mc.gcode x
G02 / millimeters
G90 / absolute coordinate
G17 / XY plane
G94 / units per minute feed rate mode
M3 S3000 / Turning on spindle

/ On to safety height
G0 Z5

/ No to zero location
G0 X0 Y0
G0 Z0

/ Create rectangle
G01 Z0 F1000
G1 X10
G1 Y10
G1 X0
G1 Z0

/ Turning off spindle
M5
    
```

Figura 2. Generación de un código G

- Interfaz de usuario:** Para esto se decide usar el software de control “Universal G-Code Sender”, la cual es un programa que nos facilitara el uso de esta máquina, pues su fácil configuración la hace uno de los mejores programas para este proyecto. Este programa al ser un software libre permite que el usuario lo pueda manejar sin ningún problema. Otro beneficio que encontramos es que desde el mismo software podemos modificar y definir toda la CNC, pues se puede calibrar el número de pasos, la velocidad de movimiento lineal de cada eje y el límite en cada eje de esta máquina. Así también el software nos presta el servicio el diseñar piezas y su ves generar el código-G de las mismas.

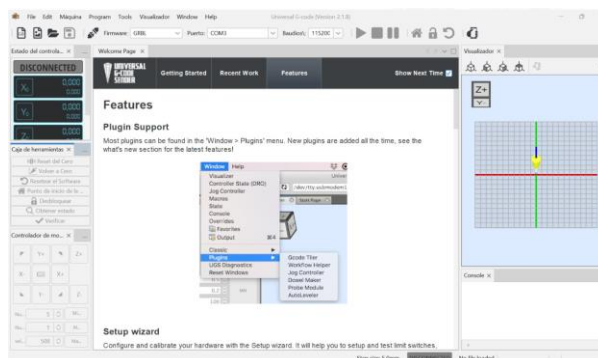


Figura 3. Interfaz del software Universal G-Code Sender

4.7. CALIBRACIÓN Y PRUEBAS

Una vez armado e instalado cada uno de los componentes se procedió a calibrar el movimiento de cada motor con la finalidad de que el cada uno de los ejes tenga el movimiento exacto para el que está siendo programado. Esto se puede lograr configurando el número de steps (pasos) que vienen en el software Universal G-Code Sender, la que se usara para poder controlar esta CNC. Esto lo podemos ver en la figura 12.

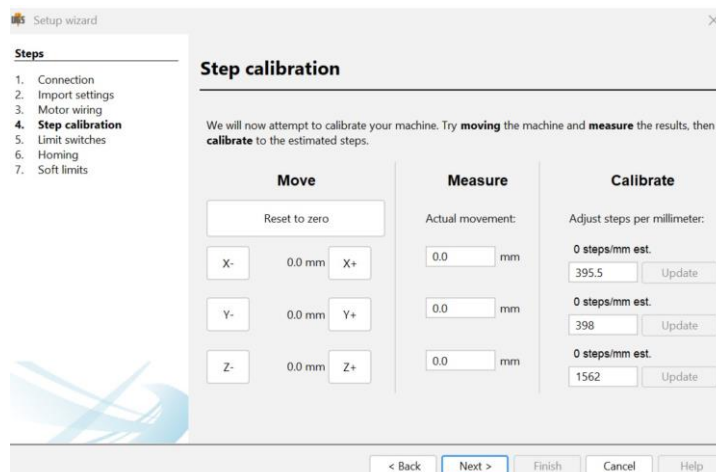


Figura 4. Configuración del número de pasos

Una vez que se realizó la calibración del movimiento de cada uno de los motores y ejes, se procedió a realizar las mediciones con un calibrador para mayor exactitud. Pues se necesita que el movimiento de cada uno de los ejes sea preciso y milimétrico.

Después de configurar el movimiento de cada eje, se procede a realizar las pruebas en materiales blandos, como por ejemplo la madera tomando en cuenta que para realizar este trabajo hay que usar una fresa diseñada para ese tipo de material, también se realizó pruebas en placas de baquelita para probar la precisión de nuestra fresadora en los pequeños detalles o en placas de un grosor sumamente pequeños

Una vez probadas en este tipo de materiales, se continua realizando las pruebas en el aluminio, teniendo resultados muy favorables tanto en la calidad, la eficacia y la precisión.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez finalizado con la construcción del proyecto se procedió a analizar y verificar si los resultados son los esperados en cada una de las partes que la constituyen.

Para comenzar se realizó el diseño mediante la necesidad que presentó la empresa IMPRONIC SOLUTION que fue un parámetro importante en la elaboración de este proyecto.

Teniendo en cuenta que el área de trabajo necesario era de 20x20x4 cm, la cual se logró completar con este requerimiento, por ello se diseñó una estructura mayor a la requerida tomando en cuenta que en nuestra base estructural estarán el resto de piezas y elementos que conforman a nuestra CNC.

Como resultado nos dio un área total de estructura con una base rectangular de 50x38 cm en su parte inferior y de 55,2x38 cm en su parte superior, por una altura de 8 cm como se observa en la figura 11, con ello se logra cumplir con el primer requerimiento dispuesto por la empresa.



Figura 5. Base estructural final

Calculo del centro de gravedad en la estructura de aluminio del eje x

Calcular el área en cada perfil de aluminio.

$$A1 = 500 \text{ mm} * 20 \text{ mm} = 10\,000 \text{ mm}^2$$

$$A2 = 20 \text{ mm} * 40 \text{ mm} = 800 \text{ mm}^2$$

$$X1 = 20 \text{ mm} + 250 \text{ mm} = 270 \text{ mm}$$

$$X2 = 20 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 30 \text{ mm}$$

$$Y1 = 10 \text{ mm}$$

$$Y2 = 20 \text{ mm} + 20 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$$

$$A3 = 20 \text{ mm} * 552 \text{ mm} = 11\,040 \text{ mm}^2$$

$$A4 = 20 \text{ mm} * 40 \text{ mm} = 800 \text{ mm}^2$$

$$X3 = 276 \text{ mm} = 276 \text{ mm}$$

$$X4 = 40 \text{ mm} + 78 \text{ mm} = 118 \text{ mm}$$

$$Y3 = 70 \text{ mm} + 50 \text{ mm} = 60 \text{ mm}$$

$$Y4 = 20 \text{ mm} + 20 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$$

$$A5 = 20 \text{ mm} * 40 \text{ mm} = 800 \text{ mm}^2$$

$$A6 = 20 \text{ mm} * 40 \text{ mm} = 800 \text{ mm}^2$$

$$X5 = 128 \text{ mm} + 78 \text{ mm} = 206 \text{ mm}$$

$$X6 = 128 \text{ mm} + 166 \text{ mm} = 294 \text{ mm}$$

$$Y5 = 20 \text{ mm} + 20 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$$

$$Y6 = 20 \text{ mm} + 20 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$$

$$A7 = 20 \text{ mm} * 40 \text{ mm} = 800 \text{ mm}^2$$

$$A8 = 20 \text{ mm} * 40 \text{ mm} = 800 \text{ mm}^2$$

$$X7 = 284 \text{ mm} + 98 \text{ mm} = 382 \text{ mm}$$

$$X8 = 372 \text{ mm} + 98 \text{ mm} = 470 \text{ mm}$$

$$Y7 = 20 \text{ mm} + 20 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$$

$$Y8 = 20 \text{ mm} + 20 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$$

Calcular el centro de gravedad en X.

$$(X \text{ c.g.}) * (\Sigma A_i) = \Sigma (A_i * X_i)$$

$$X \text{ c.g.} = \frac{\Sigma (A_i * X_i)}{(\Sigma A_i)}$$

$$X \text{ c.g.} = \frac{A1 * X1 + A2 * X2 + A3 * X3 + A4 * X4 + A5 * X5 + A6 * X6 + A7 * X7 + A8 * X8}{A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + A6 + A7 + A8}$$

$$X \text{ c.g.} = \frac{6\,817\,440}{25\,840} = 263,8328 \text{ mm}$$

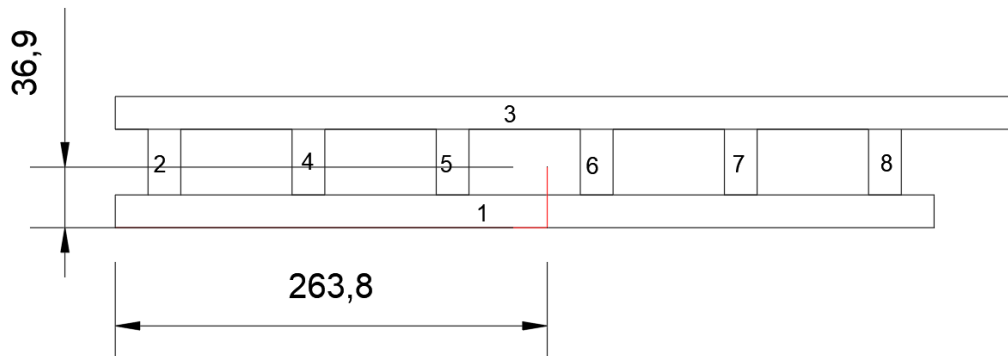
Calcular el centro de gravedad en Y.

$$(Y \text{ c.g.}) * (\Sigma A_i) = \Sigma (A_i * Y_i)$$

$$Y \text{ c.g.} = \frac{\Sigma (A_i * Y_i)}{(\Sigma A_i)}$$

$$Y \text{ c.g.} = \frac{A1 * Y1 + A2 * Y2 + A3 * Y3 + A4 * Y4 + A5 * Y5 + A6 * Y6 + A7 * Y7 + A8 * Y8}{A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + A6 + A7 + A8}$$

$$Y_{c.g.} = \frac{954\,400}{25\,840} = 36,93 \text{ mm}$$



Cálculos del momento de inercia en la estructura x mediante el teorema de Steiner

$$I_t = I_o + A * d^2$$

$$I_o = I_{ox} - I_{oy}$$

$$I_{ox} = \frac{b * h^3}{12} \quad - \quad I_{oy} = \frac{b * h^3}{12}$$

Inercia en el eje x.

$$I_{x1} = \frac{500 * 20^3}{12} + 10\,000 * (36,93 - 10)^2 = 7\,585\,582 \text{ mm}^4$$

$$I_{x2} = \frac{20 * 40^3}{12} + 800 * (36,93 - 40)^2 = 114\,206 \text{ mm}^4$$

$$I_{x3} = \frac{552 * 20^3}{12} + 11040 * (36,93 - 70)^2 = 1\,2441\,618 \text{ mm}^4$$

$$I_{x4-5-6-7-8} = \frac{20 * 40^3}{12} + 800 * (36,93 - 40)^2 = 114\,206 \text{ mm}^4$$

$$I_{tx} = 20\,712\,436 \text{ mm}^4$$

Calculo de la inercia en el eje y.

$$I_{y1} = \frac{20 * 500^3}{12} + 10000 * (263,8 - 250)^2 = 210\,237\,733 \text{ mm}^4$$

$$I_{y2} = \frac{40 * 20^3}{12} + 800 * (263,8 - 30)^2 = 43\,756\,618 \text{ mm}^4$$

$$IY3 = \frac{20 \cdot 552^3}{12} + 11040 \cdot (263,8 - 276)^2 = 281\,970\,873 \text{ mm}^4$$

$$IY4 = \frac{40 \cdot 20^3}{12} + 800 \cdot (263,8 - 118)^2 = 17\,032\,778 \text{ mm}^4$$

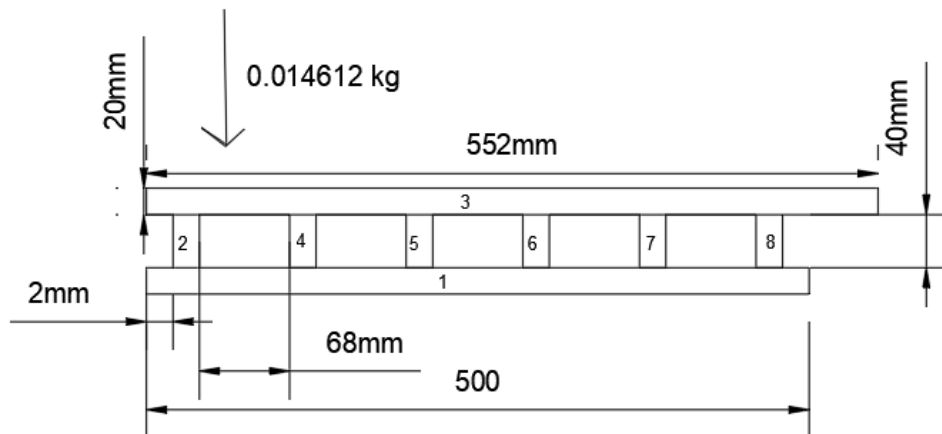
$$IY5 = \frac{40 \cdot 20^3}{12} + 800 \cdot (263,8 - 206)^2 = 2\,699\,338 \text{ mm}^4$$

$$IY6 = \frac{40 \cdot 20^3}{12} + 800 \cdot (263,8 - 294)^2 = 756\,298 \text{ mm}^4$$

$$IY7 = \frac{40 \cdot 20^3}{12} + 800 \cdot (263,8 - 382)^2 = 11\,203\,658 \text{ mm}^4$$

$$IY8 = \frac{40 \cdot 20^3}{12} + 800 \cdot (263,8 - 470)^2 = 34\,041\,418 \text{ mm}^4$$

$$I_{ty} = 601\,698\,714 \text{ mm}^4$$



Se eligé el centro de gravedad calculado anteriormente.

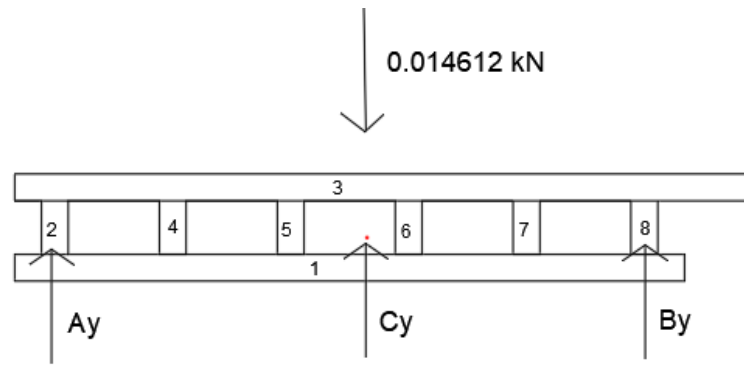
centro de gravedad en X	centro de gravedad en Y
263, 83 mm	36,93 mm

Y se procede a calcular la fuerza a aplicarse en el centro de gravedad:

$$F = \frac{1}{2} (0.014612 \text{ kN}) (0,5\text{m})$$

$$F = 0.003653 \text{ KN}$$

Calcular las sumatorias de fuerzas Para el análisis estático:



$$\Sigma F_y = 0$$

$$\Sigma MA = 0$$

$$A_y + B_y - 0.014612 - 0.003653 = 0$$

$$(440) = 0$$

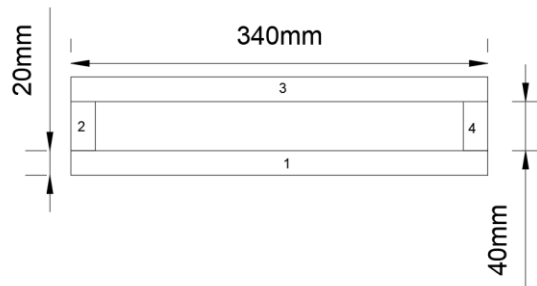
$$-0.014612 (30) - 0.003653 (263,83) + B_y$$

$$A_y + B_y = 5.3377 \times 10^{-5}$$

$$B_y = 3.1866 \times 10^{-3} \text{ KN}$$

$$A_y = 2.1511 \times 10^{-5} \text{ KN}$$

También se realizó el cálculo del centro de gravedad en la estructura de aluminio del eje Y:



Calcular el área:

$$A_1 = 340\text{mm} * 20\text{mm} = 6\ 800\ \text{mm}^2$$

$$A_2 = 20\text{mm} * 40\text{mm} = 800\ \text{mm}^2$$

$$X_1 = 170\text{mm} = 170\text{mm}$$

$$X_2 = 10\text{mm} = 10\text{mm}$$

$$Y_1 = 10\text{mm}$$

$$Y_2 = 20\text{mm} + 20\text{mm} = 40\text{mm}$$

$$A_3 = 20\text{mm} * 40\text{mm} = 800\ \text{mm}^2$$

$$A_4 = 340\text{mm} * 20\text{mm} = 6\ 800\ \text{mm}^2$$

$$X_3 = 20 + 155\text{mm} = 175\text{mm}$$

$$X_4 = 170\text{mm} = 170\text{mm}$$

$$Y_3 = 20 \text{ mm} + 20 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$$

$$Y_4 = 10 \text{ mm}$$

Calcular el centro de gravedad en X.

$$(X \text{ c.g.}) * (\Sigma A_i) = \Sigma (A_i * X_i)$$

$$X \text{ c.g.} = \frac{\Sigma (A_i * X_i)}{(\Sigma A_i)}$$

$$X \text{ c.g.} = \frac{A_1 * X_1 + A_2 * X_2 + A_3 * X_3 + A_4 * X_4}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4}$$

$$X \text{ c.g.} = \frac{(6\,800 * 170) + (800 * 10) + (800 * 175) + (680 * 170)}{6\,800 + 800 + 800 + 680}$$

$$X \text{ c.g.} = \frac{1\,419\,600}{9\,080} = 156.34 \text{ mm}$$

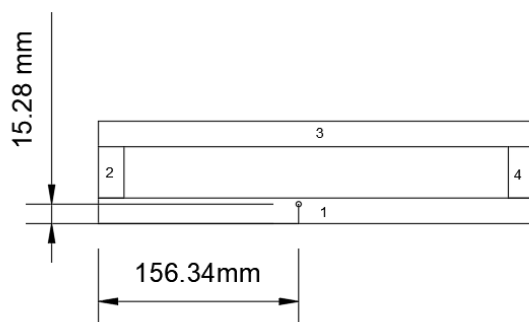
Calcular el centro de gravedad en Y.

$$(Y \text{ c.g.}) * (\Sigma A_i) = \Sigma (A_i * Y_i)$$

$$Y \text{ c.g.} = \frac{\Sigma (A_i * Y_i)}{(\Sigma A_i)}$$

$$Y \text{ c.g.} = \frac{A_1 * Y_1 + A_2 * Y_2 + A_3 * Y_3 + A_4 * Y_4}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4}$$

$$Y \text{ c.g.} = \frac{138\,800}{9\,080} = 15.28 \text{ mm}$$



Cálculos del momento de inercia en la estructura x mediante el teorema de Steiner

$$I_t = I_o + A * d^2$$

$$I_o = I_{ox} - I_{oy}$$

$$I_{ox} = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad - \quad I_{ox} = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

Cálculos de la inercia en el eje x.

$$I_{x1} = \frac{340 \cdot 20^3}{12} + 6\,800 * (15.28 - 10)^2 = 416\,239 \text{ mm}^4$$

$$I_{x2} = \frac{20 \cdot 40^3}{12} + 800 * (15.28 - 40)^2 = 595\,529 \text{ mm}^4$$

$$I_{x3} = \frac{20 \cdot 40^3}{12} + 800 * (15.28 - 40)^2 = 595\,529 \text{ mm}^4$$

$$I_{x4} = \frac{340 \cdot 20^3}{12} + 6\,800 * (15.28 - 10)^2 = 416\,239 \text{ mm}^4$$

$$I_{tx} = 2\,023\,536 \text{ mm}^4$$

Cálculos de la inercia en el eje y.

$$I_{y1} = \frac{20 \cdot 340^3}{12} + 6\,800 * (156.34 - 170)^2 = 66\,775\,516 \text{ mm}^4$$

$$I_{y2} = \frac{40 \cdot 20^3}{12} + 800 * (156.34 - 10)^2 = 17\,158\,983 \text{ mm}^4$$

$$I_{y3} = \frac{40 \cdot 20^3}{12} + 800 * (156.34 - 330)^2 = 24\,152\,903 \text{ mm}^4$$

$$I_{y4} = \frac{20 \cdot 340^3}{12} + 6\,800 * (156.34 - 170)^2 = 66\,775\,516 \text{ mm}^4$$

$$I_{ty} = 174\,862\,918 \text{ mm}^4$$

Las piezas impresas presentan una gran resistencia y durabilidad, pero para hacerlas aún más fuertes se las recubre con resina epóxica, la que presenta características que ayudan al mejoramiento de las piezas, el filamento PLA fibra de carbono presenta características como dureza de 80 en la escala Shore D y tiene una resistencia de 49 MPa, así mismo cuando la resina epóxica llega a estar curada (seca) presenta características que ayudan a que las piezas lleguen a tener mayor dureza y resistencia, para ello se sabe que la resina presenta una dureza que se mide en escala Shore D, y presenta un valor de 75, también presenta una resistencia de 100 MPa, con estos datos se realizó el cálculo de cual será las características finales de cada una de las piezas que conforman este proyecto.

Para encontrar la dureza que alcanzaran las piezas se realizó el cálculo tomando en cuenta las dos durezas por separado, y teniendo en cuenta los valores máximos que pueden alcanzar en la escala Shore D.

$$\text{dureza PLA} = 80$$

$$\text{dureza Resina} = 75$$

$$\text{Dureza total} = 80 + 75 = 155$$

Teniendo en cuenta la escala Shore D, se concluyó que las piezas elaboradas logran tener una dureza de 90, debido a que llegaría a ser una pieza extra dura, ya que en la escala solo llegan a tener valores de hasta 100.



Figura 5. 6. Piezas impresas recubiertas con Resina Epóxica

Una vez que se realizó la instalación de las piezas y los cálculos de la relación de transición que tendrán los motores hacia la banda, nos da como resultado un movimiento armónico de cada uno de los ejes. Teniendo en cuenta que la velocidad rotativa de nuestro motor es de 600 rpm, pero por la relación esta llegaría a la banda con una velocidad de 117 rpm siendo esta la velocidad rotativa, debemos tener en cuenta que nuestra velocidad lineal será configurada desde nuestro software de control la cual nos permite tener velocidades desde 10mm/s hasta 50mm/s. Con la finalidad de que cada producto a realizarse dependerá mucho de la velocidad para que su resultado sea preciso y detallado.

Para finalizar realizamos la calibración de nuestros motores, mediante el cálculo de steps que serán necesarios para cada uno de ellos se mueva por un centímetro, esto se logra modificando directamente desde nuestro software de control que es el Universal G-Code como se muestra en la figura 13, gracias a esa calibración la maquina tendrá el movimiento exacto que se necesita para poder realizar el trabajo al que va a ser sometido.

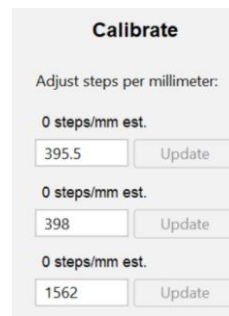


Figura 5. 7 Configuración del número de pasos de cada eje

Listos todos estos pasos se procedió a configurar nuestro software para poder generar el código G, la que nos permitirá realizar diseños en el material, para ello realizaremos pruebas con figuras básicas como un círculo, un cuadrado y una mixta. Configurando las medidas y la profundidad que buscamos trabajar como la vemos en la figura 16.

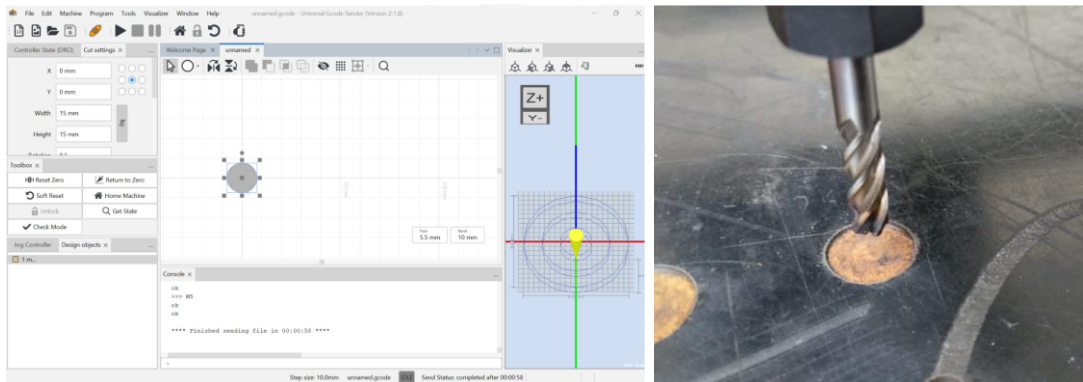


Figura 8. Configuración de fresado en el software

Figura 9. Fresado en material blando madera

Una vez finalizado estos pasos, se realizó una tabla en la que colocaremos los datos los cuales se mandaron desde el software y las medidas que se obtuvimos y las tomamos con un calibrador.

Descripción	Medida Software	Medida en material
1 ^{ra} Calibración Círculo	Eje x=15mm Eje y=15mm Eje z=01mm	Eje x= 14,45mm Eje y=14,50mm Eje z=0,1mm
1 ^{ra} Calibración Cuadrado	Eje x=15mm Eje y=15mm Eje z=01mm	Eje x=14.45mm Eje y=14,50mm Eje z=0,1mm
1 ^{ra} Calibración Mixta	Eje x=15mm	Eje x=14,10mm

	Eje y=15mm Eje z=01mm	Eje y=14,10mm Eje z=0,1mm
1 ^{ra} Calibración con una fresa 6mm		
2 ^{da} Calibración Circulo	Eje x=15mm Eje y=15mm Eje z=01mm	Eje x=15mm Eje y=15mm Eje z=01mm
2 ^{da} Calibración Cuadrado	Eje x=15mm Eje y=15mm Eje z=01mm	Eje x=15mm Eje y=15mm Eje z=01mm
2 ^{da} Calibración Mixta	Eje x=15mm Eje y=15mm Eje z=01mm	Eje x=15mm Eje y=15mm Eje z=01mm
2 ^{da} Calibración con una fresa 5,5mm		

Tabla 5. 1. Tabla de Calibraciones y Resultados

Con esta tabla tenemos como conclusión de que esta CNC, tiene un trabajo óptimo para el cual fue construido, dando como resultado una buena precisión, presentando un fallo de 0,5mm, que está dentro de los parámetros lo nos permite interpretar que esta máquina sea ideal para el trabajo al que será sometido.

Para finalizar realizamos el cálculo del número de milímetros que se mueven nuestros ejes en relación al tipo de material que estamos fresando, y se obtuvo la siguiente tabla:

Materiales	Mecanizado	Velocidad de corte Vc (m/min)	Avance (f) mm/rev				
			1,6	3	6	10	12
Fibra de carbono	R	120	0,030	0,060	0,120	0,230	0,305
	C	150	0,030	0,060	0,120	0,230	0,305
	A	250	0,070	0,140	0,280	0,525	0,700
Fibras de vidrio	R	100	0,030	0,060	0,120	0,230	0,305
	C	120	0,030	0,060	0,120	0,230	0,305
	A	200	0,070	0,140	0,280	0,525	0,700
	R	145	0,040	0,075	0,150	0,290	0,380

Grafito y Carbono	C	185	0,040	0,075	0,150	0,290	0,380
	A	300	0,090	0,175	0,350	0,655	0,875
Plásticos	R	245	0,040	0,075	0,150	0,290	0,380
	C	305	0,040	0,075	0,150	0,290	0,380
	A	505	0,090	0,175	0,350	0,655	0,875
Cristal mecanizable	R	10	0,015	0,030	0,060	0,115	0,150
	C	15	0,015	0,030	0,060	0,115	0,150
	A	25	0,035	0,070	0,135	0,260	0,350

Tabla 5. 2. Parámetros en el maquinado de diferentes materiales compuestos

Donde:

R = Ranurado

C = Contorneado

A = Acabado

También se procede a realizar la prueba dependiendo la carga de material. Donde después de las pruebas se obtuvo la siguiente tabla:

Materiales (mm/s)					
Plástico Blando	Plástico Duro	Superficies solidas	Maderas MDF	Acrílicos	Aluminio
0,08 – 0,15	0,05 – 0,10	0,05 – 0,10	0,09 – 0,18	0,08 – 0,13	0,08 - 0,10
0,18 – 0,26	0,15 – 0,23	0,15 – 0,23	0,18 – 0,41	0,20 – 0,25	0,13 - 0,18
0,25 – 0,31	0,20 – 0,26	0,20 – 0,25	0,35 – 0,58	0,25 – 0,30	0,15 – 0,20
0,30 – 0,41	0,25 – 0,31	0,25 – 0,30	0,5 – 0,69	0,30 – 0,38	0,20 – 0,25

Tabla 5. 3. Parámetros en el maquinado dependiendo la carga del material

Velocidad de corte (V_c).

Distancia medida en pies en la superficie de la pieza a trabajarse o final de corte que recorre en un minuto, se mide en (sfpm) pies superficiales por minuto.

$$V_c = \frac{D_c \cdot \pi \cdot n}{1000} \left[\frac{m}{min} \right]$$

Donde:

n : número máximo de revoluciones del motor de la fresadora.

D_c : diámetro del corte de la fresa en milímetros.

Velocidad del corte del husillo:

Esta velocidad de corte va conjuntamente con la rotación y se calcula con la siguiente fórmula.

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{D_c \cdot \pi}$$

Velocidad de avance de mesa (V_f)

Corresponde a la velocidad que avanza la herramienta de corte con respecto a la pieza en el plano X-Y.

$$V_f = f_z \cdot n \cdot z_c \left[\frac{m}{min} \right]$$

Dónde:

f_z : avance por diente

n : número máximo de revoluciones del motor de la herramienta [RPM]

z_c : número de dientes de la fresa.

El avance por diente se encuentra tabulado en función del diámetro de la herramienta y del material a trabajar

Materiales (mm/s)					
Plástico Blando	Plástico Duro	Superficies solidas	Maderas MDF	Acrílicos	Aluminio
0,10 – 0,19	0,08 – 0,12	0,08 – 0,12	0,11 – 0,20	0,10 – 0,15	0,11 - 0,14
0,20 – 0,27	0,17 – 0,25	0,15 – 0,23	0,22 – 0,35	0,20 – 0,25	0,13 - 0,18
0,28 – 0,33	0,26 – 0,29	0,24 – 0,27	0,36 – 0,58	0,25 – 0,30	0,19 – 0,24
0,33 – 0,44	0,31 – 0,36	0,28 – 0,35	0,60 – 0,73	0,34 – 0,40	0,24 – 0,27

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Se construyó una máquina capaz de realizar un trabajo óptimo en el fresado de aluminio, presentando una resistencia capaz de soportar las vibraciones generadas por los movimientos de cada uno de los ejes.
- La buena configuración de componentes nos permite que esta máquina tenga las características necesarias para su funcionamiento, siendo estas un torque en cada el motor de cada eje igual a 2,12 Nm, logrando esto gracias al voltaje de referencia enviado por los drivers siendo igual a 1,875V.
- La construcción de esta CNC se vio comprometida por el limitado presupuesto por ello dando como resultado un costo de producción de 950 dólares puesto por los estudiantes investigadores y el resto siendo financiado por la empresa, dándonos un total de 1500 dólares en el costo de producción.

6.2. RECOMENDACIONES

- se recomienda explorar materiales alternativos o tratamientos de superficie que incrementen la resistencia al desgaste y la corrosión, sin aumentar significativamente el costo.
- Continuar con la optimización del diseño mediante iteraciones basadas en pruebas adicionales, incluyendo ajustar los parámetros de corte para mejorar la eficiencia del fresado y minimizar el desgaste de las herramientas.
- Considerar la integración de tecnología más avanzada, como sistemas de retroalimentación para mejorar la precisión de los ejes, y controladores de última generación que permitan operaciones más rápidas y suaves, tomando en cuenta el aumento del costo, el incremento en el rendimiento podría justificar la inversión adicional.
- Se recomienda documentar detalladamente el proceso de diseño y construcción, así como las pruebas realizadas, para facilitar futuras mejoras y permitir la replicación del proyecto. Además, ofrecer capacitación sobre el uso y mantenimiento del CNC Router podría maximizar su rendimiento y minimizar el riesgo de fallos operativos.

7. REFERENCIAS

Referencias

- [1] M. Cervera Ruiz y E. Blanco Diaz, Mecánica de estructuras, Barcelona, España: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, 2014.
- [2] R. Arguelles Álvarez, Análisis de estructuras. Teoría, problemas y programas, España: Fundación Conde del Valle de Salazar, 1996.
- [3] R. L. Norton, Diseño de Maquinaria, Massachusetts, USA: MC GRAW-HILL, 2004.
- [4] J. Martell Pérez, A. Rodríguez De Torres y P. Ramón Moliner, ELEMENTOS DE MÁQUINAS (1ª), UNED, 1976.
- [5] J. Suñer Martínez, V. Mata Amela y F. Rubio Montoya, : PROBLEMAS RESUELTOS DE TEORÍA DE MÁQUINAS Y MECANISMOS, Valencia, España: Editorial Universidad Politécnica de Valencia, 2001.
- [6] M. P. Groover, Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing (4th ed.), Pearson, Prentice Hall, 2015.
- [7] Y. Koren, Computer Control of Manufacturing Systems, New York, USA: McGraw-Hill, 2020.
- [8] Y. Altinas, Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design (2nd ed.), New York, USA: Cambridge University Press, 2012.
- [9] W. D. Callister y D. G. Rethwisch, Materials Science and Engineering: An Introduction (10th ed.), Hoboken, New Jersey, USA: Wiley, 2020.
- [10] J. R. Davis, ASM Specialty Handbook: Aluminum and Aluminum Alloys, Almere, Países Bajos: ASM International, 1999.

- [11] M. P. Grover, *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems* (5th ed.), New York, USA: Wiley, 2012.
- [12] S. Kalpakjian y S. Schmid, *Manufacturing Engineering and Technology* (7th ed.), New York, USA: Pearson, 2014.
- [13] C. S. Park, *Contemporary Engineering Economics* (5th ed.), New York, USA: Pearson, 2011.

8. ANEXOS

Anexo 1. Corte de Aluminio



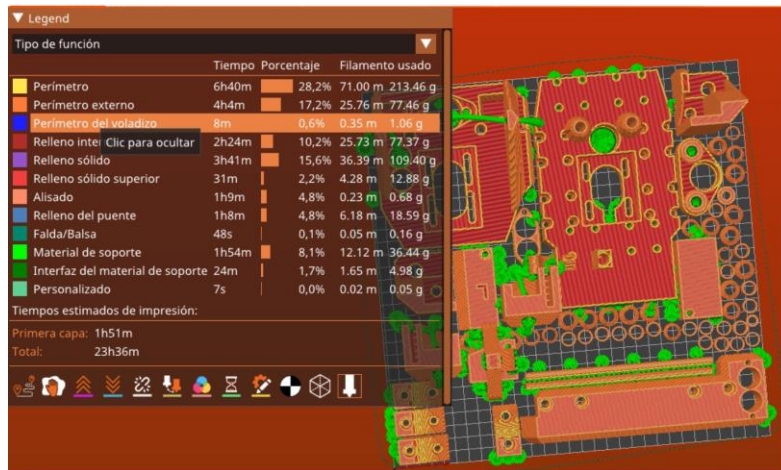
Anexo 2. Uso de machuelos para realizar roscas



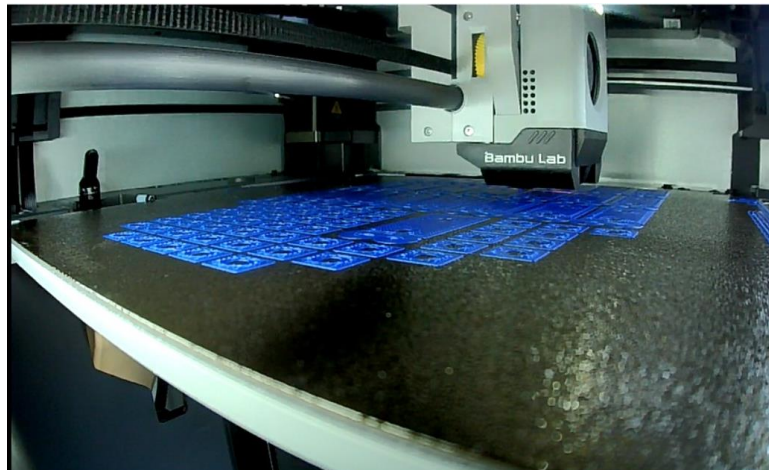
Anexo 3. Base de aluminio terminada



Anexo4. Configuración la impresión de piezas en el programa



Anexo 5. Impresión de las piezas



Anexo 6. Recubrimiento de piezas impresas con resina epóxica



Anexo 7 y 8. Cálculos de parámetros

"Centro de Gravedad"

Calculamos el área de las piezas 1-2-3

$A_1 = 500 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} = 10000 \text{ mm}^2$ $V_1 = 20 \text{ mm} + 210 \text{ mm} = 230 \text{ mm}$ $X_1 = 10 \text{ mm}$	$A_2 = 20 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} = 800 \text{ mm}^2$ $X_2 = 20 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 30 \text{ mm}$ $X_2 = 20 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 30 \text{ mm}$ $X_2 = 20 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 30 \text{ mm}$
$A_3 = 20 \text{ mm} \times 552 \text{ mm} = 11040 \text{ mm}^2$ $X_3 = 276 \text{ mm}$ $X_3 = 20 \text{ mm} + 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 70 \text{ mm}$	$A_4 = 20 \text{ mm} \times 108 \text{ mm} = 2160 \text{ mm}^2$ $X_4 = 20 \text{ mm} + 108 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 138 \text{ mm}$ $X_4 = 20 \text{ mm} + 108 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 138 \text{ mm}$ $X_4 = 20 \text{ mm} + 108 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 138 \text{ mm}$
$A_5 = 20 \text{ mm} \times 108 \text{ mm} = 2160 \text{ mm}^2$ $X_5 = 20 \text{ mm} + 108 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 138 \text{ mm}$ $X_5 = 20 \text{ mm} + 108 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 138 \text{ mm}$ $X_5 = 20 \text{ mm} + 108 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 138 \text{ mm}$	$A_6 = 20 \text{ mm} \times 108 \text{ mm} = 2160 \text{ mm}^2$ $X_6 = 20 \text{ mm} + 108 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 138 \text{ mm}$ $X_6 = 20 \text{ mm} + 108 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 138 \text{ mm}$ $X_6 = 20 \text{ mm} + 108 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 138 \text{ mm}$

Calculamos el centro de gravedad en X

$$(X_{cg}) \times (\sum A_i) = \sum (A_i \times X_i)$$

$$X_{cg} = \frac{\sum (A_i \times X_i)}{\sum A_i}$$

$$X_{cg} = \frac{A_1 \times X_1 + A_2 \times X_2 + A_3 \times X_3 + A_4 \times X_4 + A_5 \times X_5 + A_6 \times X_6}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6}$$

$$X_{cg} = \frac{10000 \cdot 230 + 800 \cdot 30 + 11040 \cdot 276 + 2160 \cdot 138 + 2160 \cdot 138 + 2160 \cdot 138}{10000 + 800 + 11040 + 2160 + 2160 + 2160}$$

$$X_{cg} = \frac{2700000 + 24000 + 3047040 + 297360 + 297360 + 297360}{25840}$$

$$X_{cg} = \frac{6817440}{25840} = 263,8328 \text{ mm}$$

Calculos en el centro de gravedad en Y.

$$Y_{cg} = \frac{A_1 \times Y_1 + A_2 \times Y_2 + A_3 \times Y_3 + \dots}{\sum A_i}$$

$$Y_{cg} = \frac{10000 + 32000 + 462400 + 32000 + 21000 + 31000 + 32000 + 32000}{25840} = 36,43$$

Aluminio 6063-T5

Relación de transmisión Polea - Banda

diámetro
 $\phi A = 13 \text{ mm}$
 $\phi B = 8 \text{ mm}$
 $RPM A = 600 \text{ rpm}$
 $RPM B = ?$

Relación de transmisión
 $\frac{\phi A}{\phi B} = \frac{RPM B}{RPM A}$

$\frac{13}{8} = \frac{RPM B}{600}$
 $RPM B = 97,5 \text{ rpm}$

la polea conducida va a reducir a la velocidad de la polea matriz

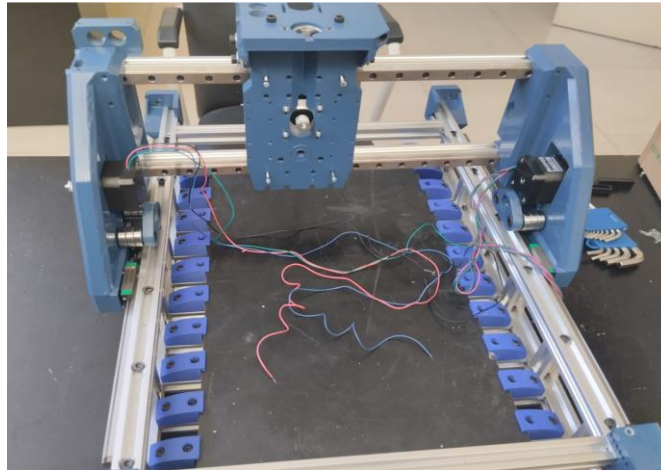
Sistema reductor

600 rpm

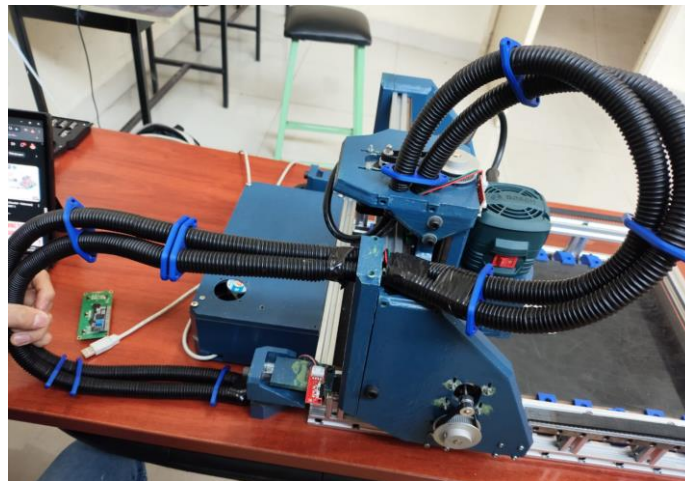
Velocidad Angular
 $\omega_c = \frac{2\pi n_c}{60}$
 $\omega_c = \frac{2\pi \cdot 600}{60} = 62,83$

Velocidad tangencial

Anexo 9. Instalacion de todas las piezas



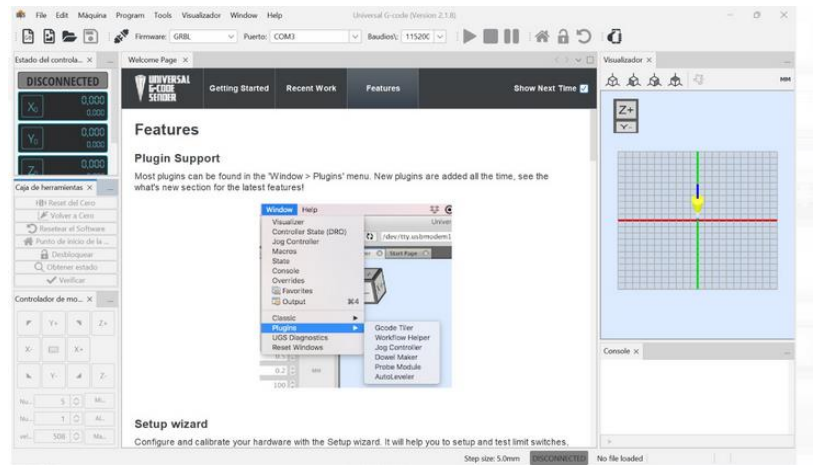
Anexo 10. Cableado por medio de tubo corrugado



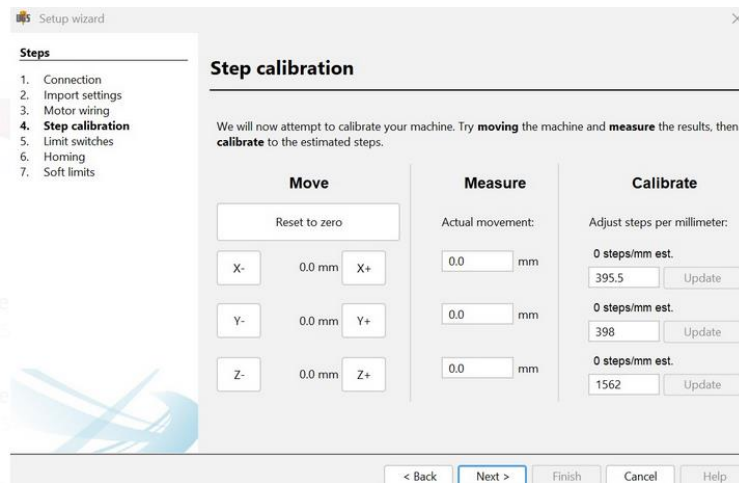
Anexo 11 Conexión de todos los componentes



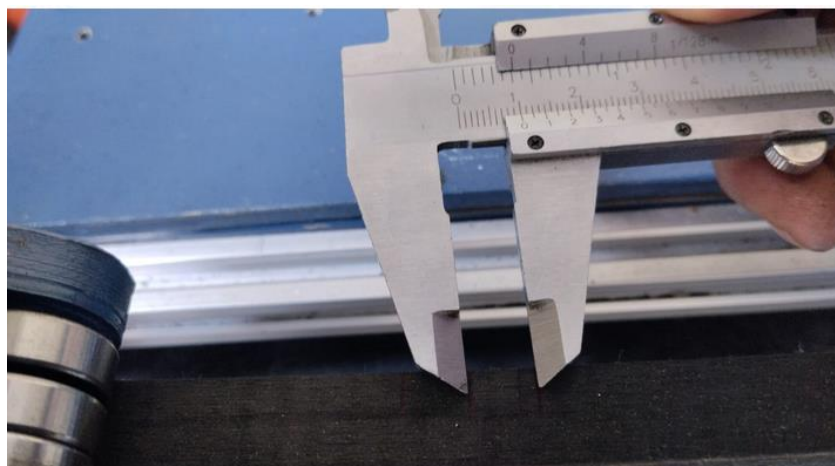
Anexo 12. Interfaz del software Universal G-Code Sender

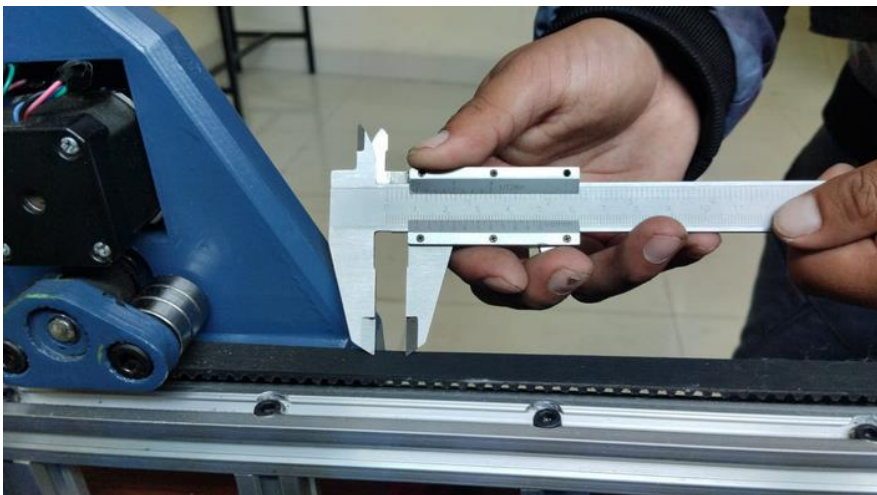
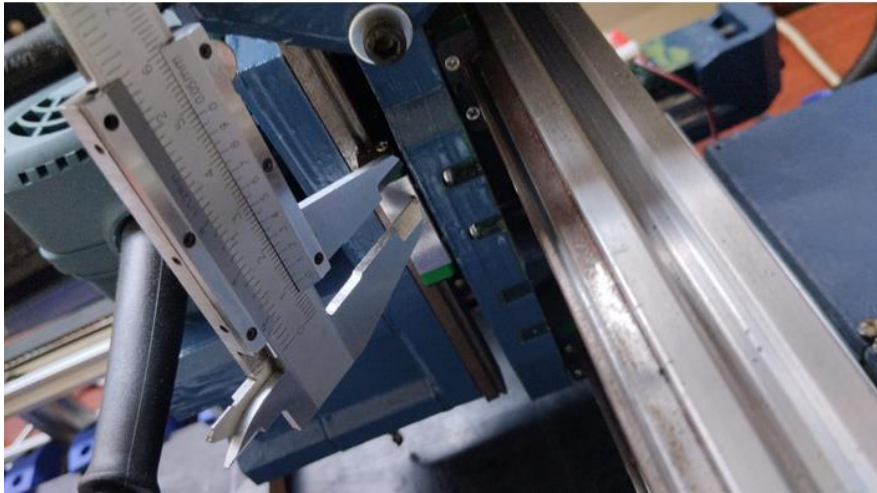


Anexo 13. Configuración desde el software

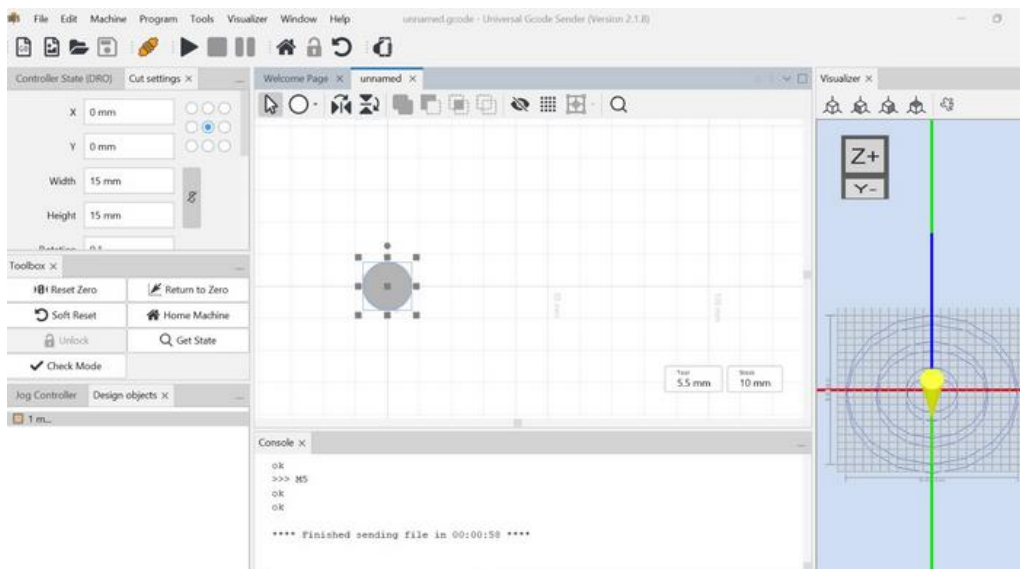


Anexo 14, 15 y 16. Medidas de la calibración en los ejes



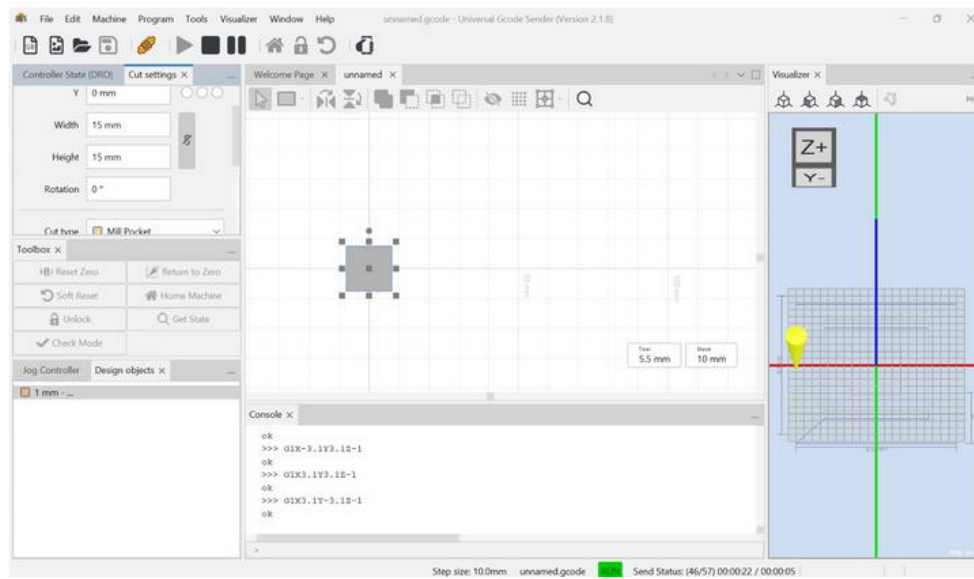


Anexo 17 y 18. Pruebas en material blando (Circulo)

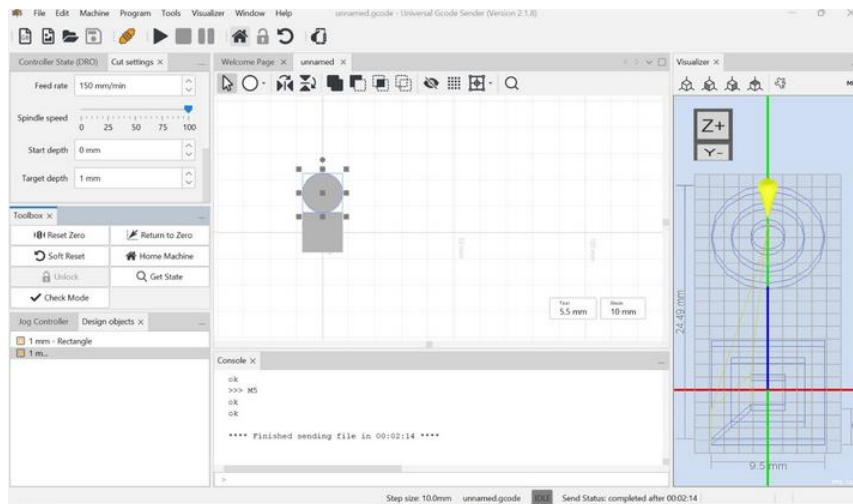




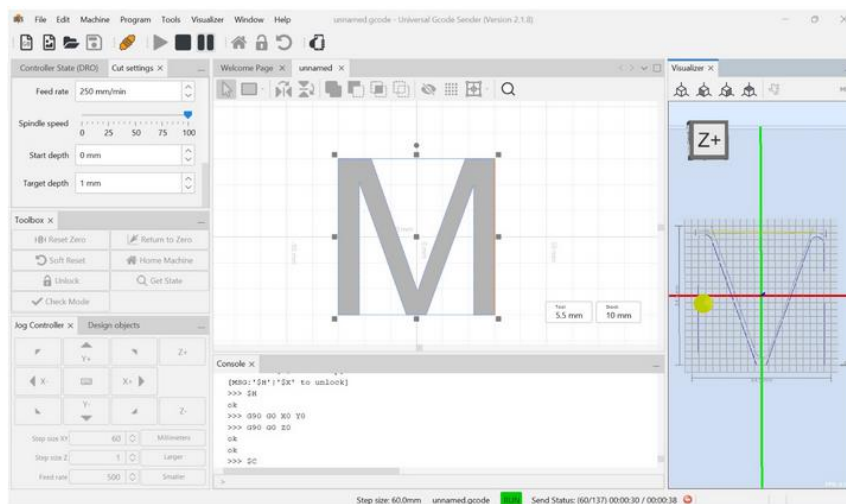
Anexo 19 y 20. Pruebas en material blando (Cuadrado)



Anexo 21 y 22. Pruebas en material blando (Mixto)



Anexo 23 y 24. Pruebas en material blando (Letra M)





Anexo 25 26 y 27. Pruebas en aluminio de 3mm

