



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de LOJA

**Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales
no Renovables**

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

**Diseño y construcción de un prototipo de cortadora y grabadora
láser CNC para el Centro de Investigación I2TEC de la UNL.**

Trabajo de Titulación previo a optar por el
Grado y Título de Ingeniero en Electrónica
y Telecomunicaciones

AUTOR:

David Alejandro Narváez Barragán

DIRECTOR:

Ing. Rodolfo Pabel Merino Vivanco Mg. Sc.

Loja – Ecuador
2023

Certificación

Loja, 16 de marzo del 2023

Ing. Rodolfo Pabel Merino Vivanco Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño y construcción de un prototipo de cortadora y grabadora láser CNC para el Centro de Investigación I2TEC de la UNL.**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**, de la autoría del estudiante **David Alejandro Narváez Barragán**, con cedula de identidad Nro. **1105647547**, el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Ing. Rodolfo Pabel Merino Vivanco Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **David Alejandro Narváez Barragán**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'David Narvaez', with a horizontal line underneath it.

C.I.: 1105647547

Fecha: 6 de junio de 2023

Correo: david.narvaez@unl.edu.ec

Teléfono: 0985319854

Carta de autorización por parte del autor para la consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, de Trabajo de Titulación.

Yo, **David Alejandro Narváez Barragán**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño y construcción de un prototipo de cortadora y grabadora láser CNC para el Centro de Investigación I2TEC de la UNL.**, como requisito para optar al grado de: **Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional I, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la Ciudad de Loja, a los seis días del mes de marzo del dos mil veintitrés.

Firma:



Autor: David Alejandro Narváez Barragán

Cédula: 1105647547

Dirección: Loja, (Ciudad Alegría)

Correo Electrónico: david.narvaez@unl.edu.ec

Teléfono: 0985319854

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Rodolfo Pabel Merino Vivanco, Mg. Sc.

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo de titulación con todo mi cariño primeramente a Dios, por ser el forjador de mi camino, el que siempre le acompaña y me levanta de mi continuo tropiezo; por ser quién me ha dado la fuerza para levantarme cada día y nunca desistir de mis objetivos.

A mis padres Esthela y Alejandro, quienes son el pilar fundamental en mi vida; por estar siempre conmigo y demostrarme su cariño y apoyo incondicional sin importar las adversidades.

A mis hermanas y hermanos, por compartir momentos significativos conmigo y regalarme valiosas palabras de aliento.

A mi familia, amigos y compañeros por estar junto a mi compartiendo gratas experiencias a lo largo de todo este recorrido hacia una de mis primeras metas.

David Alejandro Narváez Barragán

Agradecimiento

En primera instancia quiero expresar mis infinitas gracias a Dios por permitirme tener tan grandiosa experiencia de formación en lo que tanto me apasiona.

Mi eterno agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja, a las Autoridades y Docentes que forman parte de la Facultad de la Energía, Las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables. De manera especial a los docentes de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, por todos los conocimientos brindados de manera desinteresada durante todo el tiempo de formación académica.

Un agradecimiento muy especial a mi Tutor Ing. Rodolfo Pabel Merino Vivanco, quien con su experiencia y conocimiento me ha sabido orientar durante la elaboración y culminación del presente proyecto de investigación.

A toda mi familia, en especial a mis padres por todo su apoyo y motivación constante, a mis amigos y compañeros que han sido participes durante todo este proceso de formación académica.

David Alejandro Narváez Barragán

Índice de Contenidos

Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento	vi
Índice de Contenidos.....	vii
Índice de Figuras:.....	xii
Índice de Tablas:	xiv
Tabla de Anexos:	xv
Glosario:.....	xvi
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1 Abstract.....	3
3. Introducción.....	4
4. Marco Teórico	6
4.1 Historia del CNC	6
4.2 CNC (Control Numérico por Computadora)	8
4.2.1 Funcionamiento del CNC	8
4.3 Estructura de una Máquina CNC	9
4.4 Funcionamiento de una Máquina CNC	11
4.5 Dispositivo Láser	17
4.6 Tipos de Láser.....	22
4.6.1 Láser Gaseoso o Laser de Gas	22

4.6.2 Láser de Estado Sólido	23
4.6.3 Láser Líquido o Láser de Colorante	25
4.6.4 Láser con Semiconductores (Láser de Diodo).....	26
4.7 Corte y Grabado Láser	29
5. Metodología	32
5.1 Método Científico	32
5.2 Método Analítico	32
5.3 Método Inductivo.....	33
5.4 Método Deductivo	33
5.5 Método Incremental.....	33
5.6 Fases de Desarrollo del Trabajo de Titulación	34
5.6.1 Recopilación de Información.....	34
5.6.2 Tratamiento de la Información para Adquisición de Materiales y Componentes .	35
5.6.3 Diseño CAD de la Estructura a Desarrollar.....	36
5.6.4 Implementación Física del Prototipo	36
5.6.4.1 Estructura de la Máquina Herramienta.	36
5.6.4.2 Sistema de Control de la Máquina Herramienta.	36
5.6.5 Evaluación, Pruebas y Acondicionamiento del Prototipo	36
5.7. Diseño del Prototipo	37
5.7.1 Materiales	37
5.7.1.1 Materiales de Oficina.....	37
5.7.1.2 Recursos Humanos.....	38
5.7.1.3 Elementos – Componentes del Prototipo.....	38
5.7.1.3.1 Riel Lineal / Perfil Aluminio (V-slot) 20x40 – Plateado.	38

5.7.1.3.2 Motor de Pasos (Stepping Motor) Nema 17 - 1,5 Amp.	42
5.7.1.3.3 Drivers DRV8825 o A4988.	44
5.7.1.3.4 Modulo Láser Azul (5W) 445nm Láser de Diodo Enfocable.	49
5.7.1.3.5 Arduino Nano.	50
5.7.1.3.6 Banda Dentada 2GT – 6mm.	52
5.7.1.3.7 Varilla Lisa de Acero Inoxidable Redonda 5mm.	54
5.7.1.3.8 Rodamientos de Bolas 635ZZ.	55
5.7.1.3.9 Rodamientos de Bolas 605ZZ.	56
5.7.1.4 Materiales de Software.	57
5.7.1.4.1 AUTODESK.	57
5.7.1.4.2 Engraver Master.	58
5.7.1.4.3 Laser GRBL.	59
5.7.1.4.4 Inkscape.	60
5.7.1.4.5 CorelDRAW.	61
5.7.1.5 Materiales de Hardware.	61
5.7.1.5.1 Computadora o Laptop.	61
5.7.1.5.2 Gafas de Protección.	62
5.7.1.5.3 Herramientas Varias.	63
5.7.1.6 Materiales de Ensayos y Pruebas.	63
5.7.2 Diseño Estructural	64
5.7.2.1 Sistema Estructural.	64
5.7.2.1.1 Tipo Cantiléver.	64
5.7.2.1.2 Tipo Puente Móvil – Mesa Fija.	65

5.7.1.1.3 Tipo Puente Fijo – Mesa Móvil.....	66
5.7.2.2 Marco de la Estructura.....	68
5.7.2.2.1 Perfiles de Madera.....	68
5.7.2.2.2 Perfiles de Aluminio V-Slot.....	69
5.7.2.2.3 Perfil de Acero Galvanizado.....	69
5.7.2.3 Soporte Base.....	71
5.7.2.3.1 Madera.....	71
5.7.2.3.2 Plástico.....	71
5.7.3 Diseño de Ejes Guías X, Y.....	72
5.7.3.1 Sistema de Tracción o Transmisión de Potencia.....	72
5.7.3.1.1 Varilla Roscada (Husillo).....	72
5.7.3.1.2 Banda o Correa Dentada.....	73
5.7.3.2 Motores de Trabajo.....	74
5.7.4 Elemento de Grabado y Corte - Láser.....	77
5.7.5 Diseño del Sistema de Control.....	79
5.7.5.1 Tarjeta de Desarrollo.....	79
5.7.5.2 Shield CNC.....	81
5.7.5.3 Drivers.....	82
5.7.6 Generalidades de la Programación.....	83
6. RESULTADOS.....	84
6.1 Consideraciones de la Literatura.....	84
6.2 Modelado 3D del prototipo.....	84
6.2.1 Estructura física de la máquina herramienta.....	85
6.2.2 Componentes principales del prototipo.....	92

6.2.3 Mesa de Trabajo	93
6.3 Implementación física del prototipo	94
6.4 Electrónica y Programación.....	106
6.5 Software y configuración de grabado y corte	110
6.5.1 Anatomía y configuración – Engraver Master.....	111
6.5.2 Anatomía y configuración – Laser GRBL.....	113
6.6 Pruebas y calibración del prototipo	115
6.6.1 Precisión de movimiento de los ejes.....	115
6.6.2 Pruebas de grabado	117
6.6.3 Pruebas de corte.....	118
6.7 Análisis Financiero	122
6.7.1 Costos Directos	122
6.7.2 Costos Indirectos	123
6.7.3 Costos de Fabricación.....	123
6.7.4 Costos Totales.....	124
7. Discusión	125
8. Conclusiones	129
9. Recomendaciones	130
10. Bibliografía.....	132
11. Anexos	136

Índice de Figuras:

Figura 1. Primer Torno copiado	7
Figura 2. Historia del CNC	7
Figura 3. Funcionamiento de un manipulador Cartesiano	9
Figura 4. Diagrama de bloques de una máquina CNC	11
Figura 5. Programa Máquina CNC	14
Figura 6. Comparación entre una lupa y corte láser	19
Figura 7. Sistema Láser	20
Figura 8. Coherencia de la luz láser	21
Figura 9. Esquema de elementos de tubo gas CO ₂ , para grabado y corte láser	23
Figura 10. Láser decolorante basado en el componente químico Rodamina 6G	26
Figura 11. Estructura y funcionamiento de un diodo láser	26
Figura 12. Convergencia de rayos producidos por diodos láser	27
Figura 13. Modulo láser para corte y grabado	29
Figura 14. Ejemplos de corte y Grabado láser	30
Figura 15. Materiales que se pueden cortar y grabar con láser	31
Figura 16. Diagrama de flujo de las etapas para el desarrollo del TT.	34
Figura 17. Riel lineal / Perfil aluminio (V-slot) 20x40 – Plateado	40
Figura 18. Especificaciones Riel lineal / Perfil aluminio (V-slot) 20x40 – Plateado	41
Figura 19. Motor de Pasos Nema 17 - 1.5 A	43
Figura 20. Drivers A4988 / DRV8825 para motores de pasos	45
Figura 21. Esquemas de conexión Drivers A4988 / DRV8825	46
Figura 22. Conexión Drivers en Arduino NANO	47
Figura 23. Ejemplo de código para hacer girar un motor de pasos	48

Figura 24. Modulo diodo láser azul enfocable	50
Figura 25. Arduino NANO	51
Figura 26. Diagrama Arduino NANO	52
Figura 27. Banda dentada 2GT	53
Figura 28. Arquitectura de una banda dentada 2GT	53
Figura 29. Varilla lisa de acero inoxidable redonda	55
Figura 30. Rodamiento 635ZZ.....	55
Figura 31. Rodamiento 605ZZ.....	56
Figura 32. Software Engraver Master	59
Figura 33. Software LaserGRBL.....	60
Figura 34. Laptop.....	61
Figura 35. Gafas de protección láser	62
Figura 36. CNC Tipo Brazo Cantiléver	65
Figura 37. CNC Tipo Puente móvil – Mesa Fija	66
Figura 38. CNC Tipo Puente fijo – Mesa móvil.....	67
Figura 39. Madera para construcción y muebles	69
Figura 40. Perfiles de Acero galvanizado	70
Figura 41. Varilla roscada.....	73
Figura 42. Diferencias entre configuración de pines TQFP - PDIP	81
Figura 43. CNC Shield V4.0.....	82

Índice de Tablas:

Tabla 1. Especificaciones Riel lineal / Perfil aluminio (V-slot) 20x40 – Plateado	40
Tabla 2. Especificaciones eléctricas del motor Nema 17.....	43
Tabla 3. Especificaciones físicas del motor Nema 17	44
Tabla 4. Comparación entre Drivers A4988 / DRV8825.....	45
Tabla 5. Especificaciones del Módulo Láser	49
Tabla 6. Arquitectura de banda dentada 2GT	54
Tabla 7. Características comerciales de una banda dentada 2GT	54
Tabla 8. Especificaciones rodamiento 635ZZ.....	56
Tabla 9. Especificaciones rodamiento 605ZZ.....	57
Tabla 10. Matriz de decisión - Diseño estructural	68
Tabla 11. Matriz de decisión - Material estructura	70
Tabla 12. Matriz de decisión - Material piezas.....	71
Tabla 13. Matriz de decisión - Sistema de transmisión	74
Tabla 14. Comparación de Motores.....	75
Tabla 15. Matriz de decisión Motores	76
Tabla 16. Comparación Motores Nema 17 - 23.....	77
Tabla 17. Comparativa entre tipos comunes de láser.....	78
Tabla 18. Matriz de decisión - Láser.....	78
Tabla 19. Comparación entre Arduino - Raspberry Pi.....	80
Tabla 20. Líneas de código a modificar	110
Tabla 21. Materiales de pruebas corte - grabado	119
Tabla 22. Valores de velocidad y potencia del proceso	120
Tabla 23. Costos Directos	122
Tabla 24. Costos Indirectos.....	123
Tabla 25. Costos de Fabricación	124
Tabla 26. Costos Totales	124

Tabla de Anexos:

Anexo 1. Diseño Circuito de Control CNC	136
Anexo 2. Modelado 3D.....	138
Anexo 3. Planos	145
Anexo 4. Ensamblado del Prototipo	156
Anexo 5. Programación en Código G – Software Open Source.....	165
Anexo 6. Pruebas y Calibración del Prototipo.....	167
Anexo 7. Manual de Usuario	172
Anexo 8. Manual de Mantenimiento del Prototipo	179
Anexo 9. Datasheet Componentes	182
Anexo 10. Certificado de Traducción del Resumen.....	189

Glosario:

TT	Trabajo de Titulación
CNC	Control Numérico Computarizado
CAD	Diseño asistido por Computadora
CAM	Fabricación Asistida por Computadora
DC	Corriente Continua
IDE	Entorno de Desarrollo Integrado
3D	Tres Dimensiones
PYMES	Pequeñas y Medianas Empresas
ISO	Organización Internacional de Normalización
MCU	Unidad de Control de la Máquina
PLC	Controlador Lógico Programable
EIA	Asociación de la Industria Electrónica
CO2	Dióxido de carbono
SSL	Laser de estado solido
PVC	Policloruro de vinilo
PWM	Modulación por Ancho de Pulso
ASTM	Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales
STL	Estereolitografía
OBJ	Formato de Objeto 3d
CAE	Ingeniería Asistida por Computadora
PLA	Ácido Poliláctico
PDIP	Encapsulado Plástico de Doble Línea de Pines
TQFP	Cápsula Cuadrada Plástica Delgada
GUI	Interfaz Gráfica de Usuario

1. Título

Diseño y construcción de un prototipo de cortadora y grabadora láser CNC para el Centro de Investigación I2TEC de la UNL.

2. Resumen

El presente trabajo de investigación detalla el desarrollo de un prototipo de grabadora y cortadora láser CNC, capaz de controlar movimientos de manera automática y coordinada en los dos ejes del plano bidimensional (X, Y) durante el flujo de trabajo. Este prototipo es una aplicación de las tecnologías modernas enfocadas en la industria y procesos de manufactura; que tiene como finalidad contribuir al desarrollo académico e investigativo dentro de los proyectos del Centro de Investigación I²TEC.

El proyecto consta de cinco etapas para su desarrollo; se inicia con una revisión bibliográfica sobre máquinas – herramientas CNC y aplicaciones del láser para procesos manufacturados de corte y grabado; que nos permita establecer criterios y requerimientos necesarios para el desarrollo del prototipo. De esta manera se selecciona el hardware y software entre las alternativas comunes que se encuentran comercialmente en el mercado, y posteriormente continuar con el proceso de diseño mediante software 3D; de cada una de las partes que componen prototipo. A partir del diseño CAD se realiza la implementación física del prototipo, para luego de esto proceder con el ajuste, calibración y pruebas de funcionamiento del prototipo implementado.

Con este prototipo se pretende mostrar la importancia de la investigación aplicada, y a la vez promover el desarrollo de herramientas que ayuden en procesos de enseñanza dentro del área técnica y contribuyan a mejorar el entorno académico de investigación.

Palabras clave: prototipo, Láser, Máquina – herramienta, CNC, CAD, Bidimensional, Manufactura, 3D.

2.1 Abstract

This research work details the development of a prototype CNC laser engraver and cutter, capable of controlling movements automatically and coordinated in the two axes of the two-dimensional plane (X, Y) during the workflow. This prototype is an application of modern technologies focused on industry and manufacturing processes; which aims to contribute to the academic and research development within the projects of the I²TEC Research Center.

The project consists of five stages for its development; it begins with a bibliographic review on machines - CNC tools and laser applications for manufacturing processes of cutting and engraving, which allows us to establish criteria and requirements necessary for the development of the prototype. In this way the hardware and software are selected among the common alternatives that are commercially available in the market, and then continue with the design process using 3D software; of each of the parts that make up the prototype. From the CAD design, the physical implementation of the prototype is made, and then proceed with the adjustment, calibration and functional testing of the implemented prototype.

With this prototype is intended to show the importance of applied research, and at the same time promote the development of tools that help in teaching processes within the technical area and contribute to improve the academic research environment.

Keywords: Prototype, Laser, Machine - tool, CNC, CAD, Two-dimensional, Manufacturing, 3D.

3. Introducción

En la actualidad el control numérico computarizado (CNC) es una tecnología que ha tenido gran crecimiento, sobre todo en el área industrial para procesos de manufactura. Es por ello que es muy común encontrar máquinas CNC en casi todas partes, y no solo en grandes establecimientos industriales, sino también en talleres de todo tipo, tanto de pequeña como mediana envergadura. Es decir, la mayoría de los procesos de fabricación depende de estas poderosas y versátiles máquinas.

En Ecuador, tanto pequeñas como grandes PYMES e industrias se suman a la búsqueda de adquirir máquinas automatizadas por CNC, con el objetivo de optimizar los tiempos de producción y la calidad del producto terminado; y de esta manera cumplir con la demanda del mercado, así como conservar de mejor manera sus recursos. Por otro lado, es común encontrar diversos tipos de máquinas CNC en establecimientos educativos, entre los más comunes son: Plotter, Impresora 3D, Cortadoras Láser, Pick And Place Machine, Router CNC, Torno CNC y Fresadoras CNC; las cuales aportan de gran manera al desarrollo y aplicación de esta área del conocimiento.

Por lo antes mencionado, el presente proyecto se encuentra enfocado en fortalecer e incentivar el desarrollo de prototipos para el Centro de Investigación, Innovación, Desarrollo de Prototipos Tecnológicos y Prueba Electroenergéticas I²TEC de la Universidad Nacional de Loja; los mismos que servirán como material de aprendizaje para el desarrollo de conocimientos y técnicas aplicadas que permitan el desarrollo de proyectos de vinculación con la sociedad.

En este estudio se empleó un tipo de investigación cuantitativa aplicada, siendo principalmente experimental, complementándose con los métodos de investigación científico y sistémico. Su desarrollo se inicia con la ejecución de una revisión bibliográfica, recopilación de las características de las máquinas CNC y aplicaciones del láser en procesos automatizados de grabado y corte. El prototipo de grabadora y cortadora láser es una máquina - herramienta que mediante un software CNC es capaz de controlar movimientos y seguir trayectorias en el plano bidimensional (X, Y) dentro de un área de trabajo de 297 x 420 mm (Formato A3, Norma ISO 216); para realizar grabado en materiales no metálicos y corte en materiales suaves de espesor no superior a 3 mm.

En el contexto del presente Trabajo de Titulación, las actividades desarrolladas se han planificado con el fin de dar cumplimiento de los objetivos propuestos para este trabajo de investigación; los mismos que se detallan a continuación:

Objetivo General.

Construir un prototipo de cortadora y grabadora laser para el Centro de Investigación, Innovación, Desarrollo de Prototipos Tecnológicos y Prueba Electroenergéticas I²TEC de la Universidad Nacional de Loja

Objetivos Específicos.

- Dimensionar la estructura del modelo a desarrollar mediante software CAD.
- Construir la estructura física de montaje para un área de trabajo de 297 x 420 mm (Formato A3, Norma ISO 216), con sus respectivos sistemas de desplazamiento en los ejes X e Y.
- Implementar el sistema de control de la máquina CNC.
- Evaluar los resultados de grabado y corte, así como el óptimo funcionamiento de la máquina.

La investigación presentada en este documento, comprende varias secciones las cuales detallan el proceso de diseño y posterior construcción del prototipo. La revisión de la literatura presenta la información recolectada sobre la cual se fundamenta el trabajo. La sección de materiales y métodos, presenta la metodología aplicada durante la investigación, así como las etapas de planificación y desarrollo del proyecto. En el apartado de diseño de muestra el proceso de selección entre las alternativas que existen comercialmente, de cada uno de los materiales requeridos para la elaboración del prototipo; y de los elementos de hardware y software, los cuales comprenden la parte electrónica, programación y configuración. Los resultados obtenidos durante la etapa de diseño CAD y armado del prototipo; así como de la puesta en funcionamiento, calibración y pruebas del mismo, se presentan en la sección de resultados. Para finalizar se exponen las conclusiones, recomendaciones y propuestas del autor para futuras mejoras y actualizaciones del prototipo.

4. Marco Teórico

Para la recopilación y análisis de la información, se tomó en consideración todo lo relevante en cuanto a la composición, componentes y desarrollo de una máquina cortadora y grabadora laser CNC. A continuación, se presentan las bases teóricas que sustentan el presente Trabajo de Titulación (TT), dicha información ha sido obtenida a través de un proceso de revisión bibliográfica.

Esta sección inicia con los conceptos más relevantes entorno a la temática, y posteriormente, se presentan criterios de inclusión y exclusión con respecto a las fuentes de investigación que han sido seleccionadas durante el proceso de revisión bibliográfica.

4.1 Historia del CNC

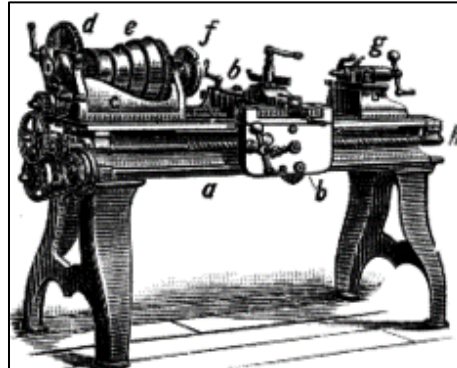
Su inicio fue en la revolución industrial, se trata de una técnica de mecanizado que se desarrolló en el siglo XVIII. Se puede decir que el primer “torneado de la máquina con un marco de metal” se inventó en 1751, el primero de una larga serie de máquinas con el objetivo de crear operaciones mecánicas más precisas de lo que es posible mediante técnicas artesanales. Esto marcó el comienzo de la industrialización. (Empresas, 2014)

Sin embargo, según lo que manifiesta Rigoberto Martínez (2018), no fue hasta la Guerra Fría que se abordó el desarrollo de la automatización. En ese momento, la compañía Parsons Works fue comisionada por la Marina de los EE. UU. Para aumentar la productividad de su línea de producción de palas para helicópteros. John T. Parsons luego motorizó los ejes de las máquinas para hacer estas cuchillas. Trabajando con IBM, estudió las posibilidades de controlar estas máquinas por computadora. Este fue el punto de partida del método de mecanizado CNC.

En 1952, Richard Kegg, en colaboración con el MIT, desarrolló la primera fresadora CNC: la Cincinnati Milacron Hydrotel. Cinco años más tarde, en 1958, presentó una patente para un «Aparato controlado por motor para máquina herramienta de posicionamiento». Este fue el nacimiento comercial de esta tecnología.

Figura 1.

Primer Torno copiador

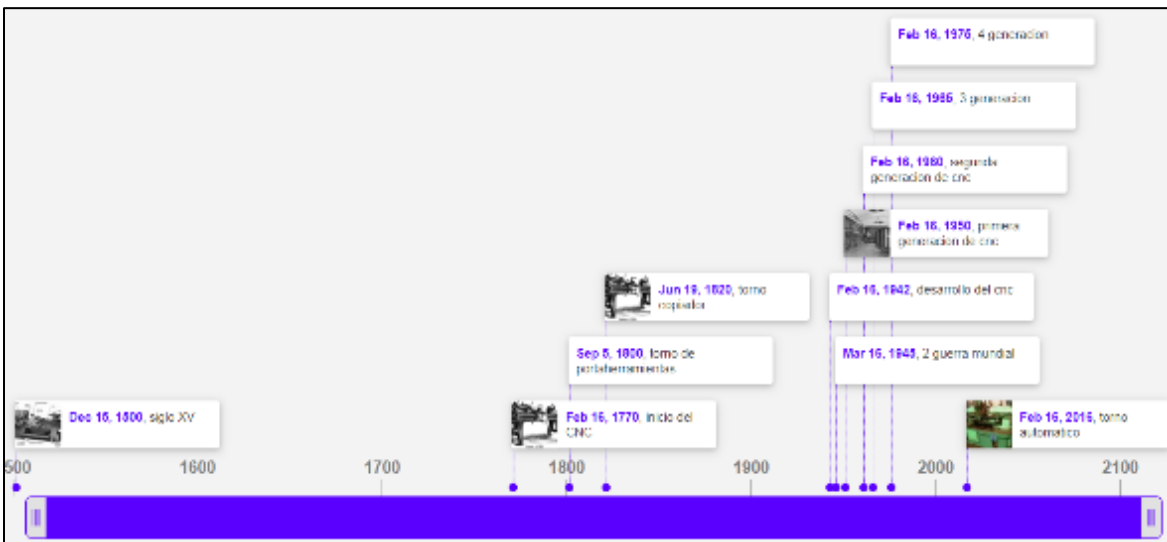


Nota: Adaptado de Historia del Torno, por Stefania Herrera Sánchez, 2022, Lavamagazine (bit.ly/3inAmHG).

Por otro lado, Existen indicios de que el mecanizado CNC tuvo sus primeros orígenes de manera primitiva en el siglo XV, en donde surgieron algunas mejoras para el desarrollo de máquinas como la transmisión por poleas y el mecanismo de biela-manivela.

Figura 2.

Historia del CNC



Nota: El gráfico muestra la cronología del CNC, por Yessenia Gallo, 2016, Timetoast (bit.ly/3ZhnzHz).

4.2 CNC (Control Numérico por Computadora)

El control numérico por computadora (de ahora en adelante CNC) es un sistema que permite controlar en todo momento la posición de un elemento físico. Normalmente una herramienta que está montada en una máquina, utilizando entradas de programación de computadoras. En otras palabras, es un método para automatizar el control de máquinas herramienta mediante el uso de software integrado en un microordenador conectado a la herramienta.

Esto se consigue mediante un programa y un conjunto de órdenes añadidas. Con ambos, se pueden controlar las coordenadas de posición de un punto (la herramienta que trabaja el producto) respecto a un origen (la posición de la máquina). El CNC controla todos los movimientos de la herramienta cuando estamos fabricando, es decir, no solo controla las coordenadas, sino también, la manera de desplazarse entre ellas, su velocidad y algunos otros parámetros. (Mecasinc, 2015)

Según Martínez (2018), con el CNC, cada objeto a fabricar obtiene un programa de computadora personalizado, generalmente escrito en un lenguaje estándar internacional llamado código G, almacenado y ejecutado por la unidad de control de la máquina (MCU). El programa contiene las instrucciones y parámetros que seguirá la máquina herramienta, como la velocidad de avance de los materiales y el posicionamiento y la velocidad de los componentes de la herramienta. tornos, enrutadores, cortadores láser son máquinas herramientas comunes cuyas operaciones pueden automatizarse con CNC. Se considera que el CNC proporciona más precisión, complejidad y repetibilidad de lo que es posible con el mecanizado manual.

4.2.1 Funcionamiento del CNC

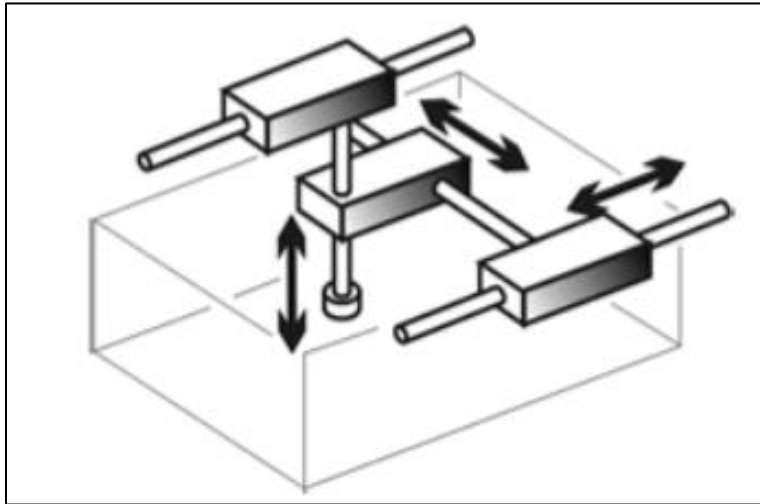
Su funcionamiento está basado en el posicionamiento sobre los ejes X, Y, Z. El sistema de posicionamiento es básicamente un manipulador cartesiano, el cual cuenta con articulaciones prismáticas que corresponden a las direcciones cartesianas X, Y, y Z; las cuales, como ya es de conocimiento, forman ángulos de 90° entre las mismas.

Gaspar (2018), establece que un sistema basado en un manipulador cartesiano tiene la ventaja de que sus articulaciones correspondientes a las direcciones cartesianas, está, desacopladas, lo cual facilita su diseño y singularidades cinemáticas. Por otro lado, un manipulador cartesiano tiene como desventaja que todos alimentadores o dispositivos fijos asociados con una

aplicación deben encontrarse al interior de la estructura, es decir no es escalable en cuanto al área de trabajo, por lo que sus aplicaciones se encuentran limitadas al tamaño de la máquina.

Figura 3.

Funcionamiento de un manipulador Cartesiano



Nota: El gráfico muestra los ejes y funcionamiento de un manipulador cartesiano, por Kevin Gaspar, 2018, Studocu (bit.ly/3GNur7d).

de accionamiento.

Para mecanizar una pieza se usa un sistema de coordenadas que especificarán el movimiento de la herramienta de corte. El sistema se basa en el control de los movimientos de la herramienta de trabajo con relación a los ejes de coordenadas de la máquina, usando un programa informático ejecutado por una computadora. En el caso de un torno, hace falta controlar los movimientos de la herramienta en dos ejes de coordenadas: el eje de las X para los desplazamientos longitudinales del carro y el eje de las Z para los desplazamientos transversales de la torre.

El control del movimiento de los ejes de una máquina de control numérico se lleva a cabo mediante unos lazos de control que se componen de encoders o guías lineales y la unidad central. Cada eje está controlado por un lazo de control. Las maniobras no relacionadas con el movimiento de los ejes están controladas por un módulo PLC.

4.3 Estructura de una Máquina CNC

Una máquina CNC, por lo tanto, consiste en seis elementos principales:

- Dispositivo de entrada.

Dispositivos utilizados para ingresar a la máquina CNC, el programa de la pieza. Existen tres dispositivos de uso común como son el lector de cinta perforada, el lector de cinta magnética y la computadora a través de la comunicación RS-232-C.

- Unidad de control o controlador de la máquina (MCU)

Es el corazón de la máquina CNC, encargado de realizar la acción de control de la misma.

- Máquina herramienta

Es la estructura o mesa deslizante que contiene un husillo para controlar la posición y la velocidad. Se controla en la dirección de los ejes coordenados X, Y y Z.

- Sistema de accionamiento o Sistema de Conducción

Este sistema consta de circuitos amplificadores, motores de accionamiento y husillo de bolas. Los cuales se accionan dependiendo de las señales de control que reciben de la MCU.

- Dispositivos de realimentación o Sistema de retroalimentación (sólo en sistemas con servomotores).

Este sistema consta de transductores que actúan como sensores, que monitorean continuamente la posición y la velocidad de la herramienta de corte ubicada en cualquier instante. A este sistema también se lo conoce como sistema de medición. Los transductores envían señales a la MCU y ésta utiliza la diferencia entre las señales de referencia y las señales de retroalimentación para generar señales de control y de esta manera corregir errores de posición y velocidad.

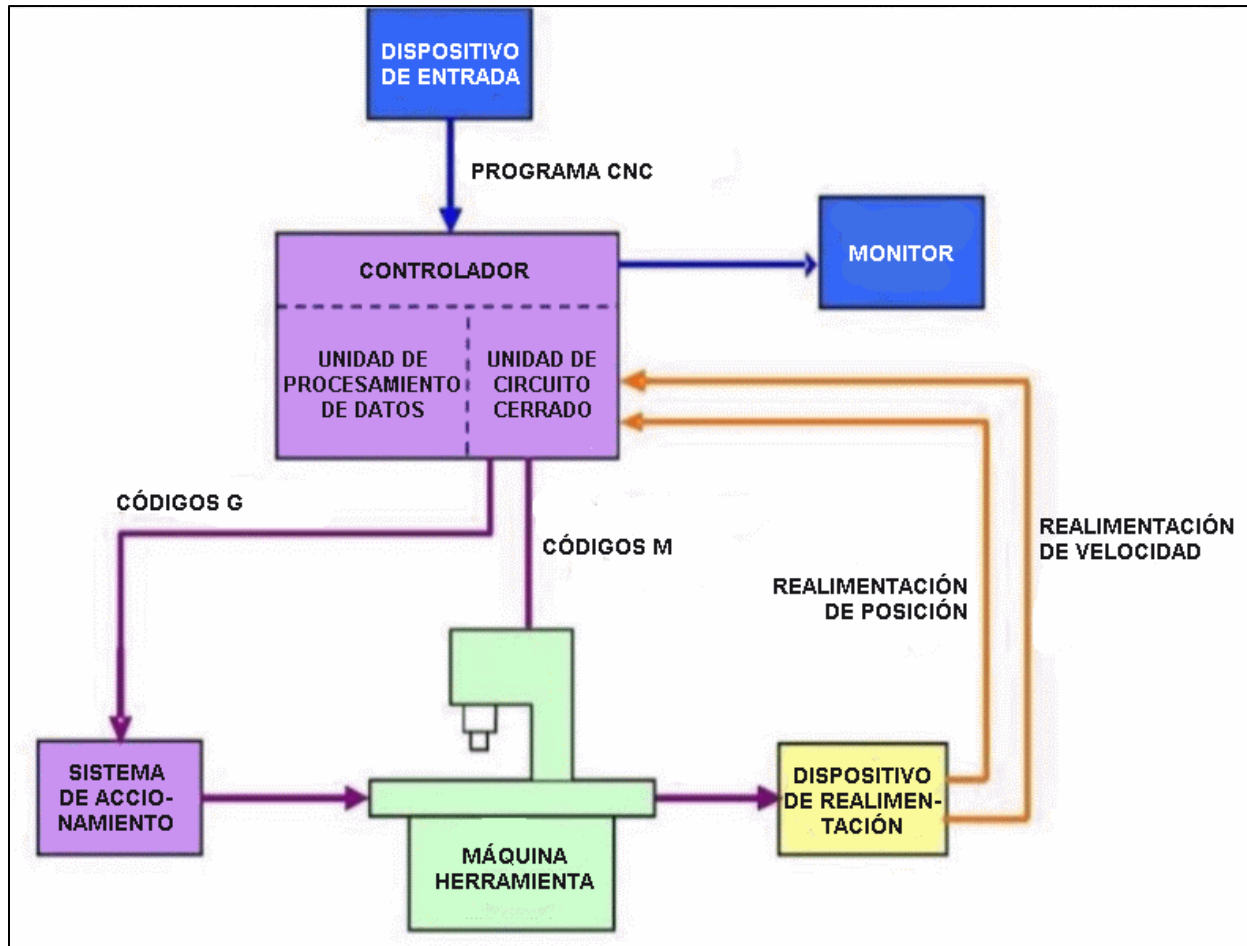
- Monitor o Unidad de Visualización.

Se utiliza para mostrar los programas, comandos y otros datos útiles de la máquina CNC.

La siguiente figura muestra un diagrama de bloques de una máquina CNC típica, provista de servomotores.

Figura 4.

Diagrama de bloques de una máquina CNC



Nota: El gráfico muestra la estructura de un sistema CNC, por De Máquinas y Herramientas, 2015, De máquinas y herramientas (bit.ly/3XghMQt).

4.4 Funcionamiento de una Máquina CNC

Básicamente, el controlador de las máquinas CNC recibe instrucciones de la computadora (en forma de códigos G y códigos M) y mediante su propio software convierte esas instrucciones en señales eléctricas destinadas a activar los motores que, a su vez, pondrán en marcha el sistema de accionamiento.

Algunas de las funciones específicas que pueden programarse, para entender el funcionamiento de una máquina CNC son:

○ **Control de movimiento**

Todas las máquinas CNC comparten una característica en común: tienen dos o más direcciones programables de movimiento llamadas ejes. Un eje de movimiento puede ser lineal (en línea recta) o rotatorio (en una trayectoria circular). Una de las primeras especificaciones que implica la complejidad de una máquina CNC es la cantidad de ejes que tiene. En términos generales, a mayor cantidad de ejes, mayor complejidad.

Los ejes de una máquina CNC son un requisito para generar los movimientos necesarios para el proceso de fabricación. Si seguimos con el ejemplo de un taladro industrial, los ejes ubicarían la herramienta sobre el orificio a mecanizar (en dos ejes) y efectuarían la operación (con el tercer eje). Los ejes se denominan con letras. Los nombres más comunes de los ejes lineales son X, Y y Z, mientras que los más comunes de los ejes giratorios son A, B y C. (De Máquinas y Herramientas, 2015)

El control de movimiento puede realizarse mediante dos sistemas, que pueden funcionar individualmente o combinados entre sí:

- *Valores absolutos (código G90)*: donde las coordenadas del punto de destino son referidas al punto de origen de coordenadas. Se usan las variables X (medida del diámetro final) y Z (medida en dirección paralela al eje de giro del husillo).
- *Valores incrementales (código G91)*: donde las coordenadas del punto de destino son referidas al punto actual. Se usan las variables U (distancia radial) y W (medida en dirección paralela al eje de giro del husillo).

○ **Accesorios programables**

Una máquina CNC no sería útil si solo contara con un control de movimiento. Casi todas las máquinas son programables de varias otras maneras. El tipo específico de máquina está directamente relacionado con sus accesorios programables apropiados, por lo que puede programarse cualquier función requerida en una máquina CNC. Así, por ejemplo, un centro de mecanizado contará al menos con las siguientes funciones específicas programables:

- *Cambiador automático de herramientas*: la mayoría de los centros de mecanizado puede tener muchas herramientas diferentes ubicadas en un portaherramientas. Cuando se

requiera, la herramienta necesaria puede colocarse automáticamente en el husillo para efectuar el mecanizado correspondiente.

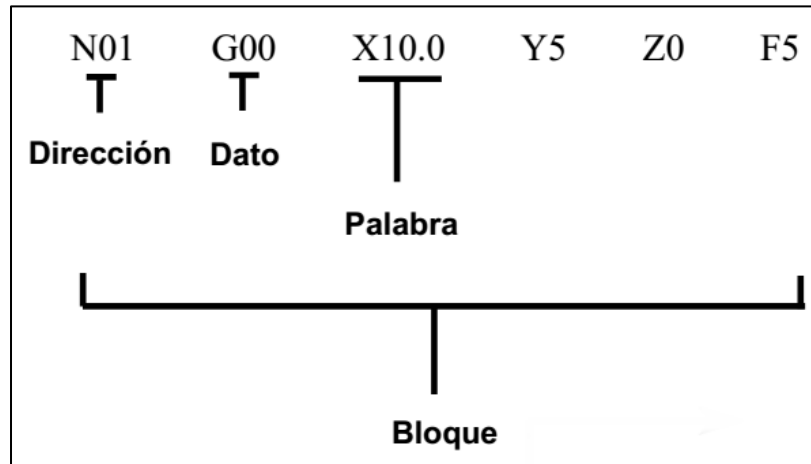
- *Velocidad y activación del husillo:* la velocidad del husillo (en rpm) se puede especificar fácilmente y el husillo puede girar no sólo en un sentido horario o antihorario, sino que, además, puede detenerse.
- *Refrigerante:* muchas operaciones de mecanizado requieren de refrigerante para lubricar y enfriar. El refrigerante puede activarse y desactivarse durante el ciclo de trabajo de la máquina.
- **Programa CNC**

Este es un listado secuencial de instrucciones que ejecutará la máquina. Esas instrucciones se conocen como programa CNC, el cual debe contener toda la información requerida para el mecanizado de la pieza.

El programa CNC está escrito en un lenguaje de bajo nivel denominado G y M, estandarizado por las normas 6983 de ISO (Organización Internacional de Normalización) y RS274 de EIA (Alianza de Industrias Electrónicas) y compuesto por instrucciones Generales (código G) y Misceláneas (código M). El programa presenta un formato de frases conformadas por bloques, encabezados por la letra N, tal como vemos en la figura de abajo, donde cada movimiento o acción se realiza secuencialmente y donde cada bloque está numerado y generalmente contiene un solo comando. (De Máquinas y Herramientas, 2015)

Figura 5.

Programa Máquina CNC



Nota: Adaptado de El programa CNC, por De Máquinas y Herramientas, 2015, De máquinas y herramientas (bit.ly/3XghMQt).

El código G describe las funciones de movimiento de la máquina (por ejemplo, movimientos rápidos, avances, avances radiales, pausas, ciclos), mientras que el código M describe las funciones misceláneas que se requieren para el mecanizado de la pieza, pero que no corresponden a los movimientos de la máquina (por ejemplo, arranque y detención del husillo, cambio de herramienta, refrigerante, detención del programa).

A su vez, cada código contiene variables (direcciones), identificadas con otras letras y definidas por el programador para cada función específica. Por ejemplo, F define la velocidad de avance, S la velocidad del husillo, T la herramienta seleccionada, X, Y y Z el movimiento de los ejes, I, J y K la localización del centro de un arco, etc. (De Máquinas y Herramientas, 2015)

○ Trabajo de la Máquina

Para describir el trabajo de la máquina CNC, primero, el programa de pieza se inserta en la MCU del CNC. En la MCU, todo el proceso de datos tiene lugar y, de acuerdo con el programa preparado, prepara todos los comandos de movimiento y los envía al sistema de conducción. A su vez, el sistema de accionamiento funciona como MCU envía los comandos de movimiento. El sistema de accionamiento controla el movimiento y la velocidad de la máquina herramienta. Por otro lado, el sistema de retroalimentación registra la posición y la medición de la velocidad de la

máquina herramienta y envía una señal de retroalimentación a la MCU. En la MCU, las señales de retroalimentación se comparan con las señales de referencia y, si hay errores, las corrige y envía nuevas señales a la máquina herramienta para que ocurra la operación correcta. Se utiliza una unidad de visualización para ver todos los comandos, programas y otros datos importantes. (Martínez, 2018)

- **Programa Parcial**

El programa parcial o también llamado programa de pieza es una secuencia de instrucciones, que describen el trabajo que debe realizarse en una pieza, en la forma requerida por una computadora bajo el control del software de control numérico (CNC). Es la tarea de preparar una hoja de programa a partir de una hoja de dibujo. Todos los datos se introducen en el sistema CNC utilizando un formato estandarizado. La programación es donde se compilan todos los datos de mecanizado y donde los datos se traducen a un lenguaje que puede ser entendido por el sistema de control de la máquina herramienta. El programa de pieza generalmente se escribe en un lenguaje estándar internacional llamado código G. (Mecasinc, 2015)

Rigoberto Martínez (2018), menciona que antes de la invención de la programación de piezas, las cintas perforadas se usaban para programar la máquina. La cinta perforada o la cinta de papel perforada es una forma de almacenamiento de datos, que consiste en una larga tira de papel en la que se perforan agujeros para almacenar datos. Ahora efectivamente obsoleto, fue ampliamente utilizado durante gran parte del siglo XX para la comunicación por teleimpresora, para la entrada a computadoras de los años 1950 y 1960, y más tarde como medio de almacenamiento para minicomputadoras y máquinas herramientas CNC.

- **Códigos**

Los códigos de lenguaje que se utiliza para programar el trabajo de la máquina CNC, son las instrucciones Generales (código G) y Misceláneas (código M):

- *Código G*: se estableció por primera vez en la década de 1960 por la Asociación de la Industria Electrónica (EIA). Si bien el idioma oficial se documentó como RS-274D, escuchará a todos referirse a él como código G, esto debido a que muchas de las palabras

o piezas individuales de código que componen este lenguaje basado en máquinas, comienzan con la letra G. (De Máquinas y Herramientas, 2015)

Una línea de código G se denomina comúnmente «bloque». La secuencia de un bloque de código G se muestra de la siguiente manera:

G01 X1 Y1 F20 T01 M03 S500

Múltiples líneas de código G se combinan para formar un programa CNC.

Códigos y Descripción:

G00: Posicionamiento rápido.

G01: Interpolación lineal.

G02: Interpolación circular, en sentido horario.

G03: Interpolación circular, en sentido antihorario.

G17: XY selección de plano.

G18: ZX selección de plano.

G19: YZ selección de plano.

G20: Programación en pulgadas.

G21: Programación en milímetros (mm).

G28: Volver a la posición de inicio.

G40: Compensación de radio de herramienta desactivada.

G41: Compensación de radio de herramienta restante.

G42: Compensación de radio de herramienta derecha.

G43: Compensación de compensación de altura de herramienta negativa.

G44: Compensación de compensación de altura de herramienta positiva.

G49: Compensación de compensación de longitud de herramienta cancelar.

G50: La función de escala cancelar.

G80: Cancelar ciclo fijo.

G90: Programación absoluta.

G91: Programación incremental.

G92: Registro de posición.

- *Código M:* son códigos de máquina que pueden diferir entre máquinas CNC. Estos códigos controlan funciones en su máquina CNC, como las direcciones de refrigerante y husillo.

Códigos y Descripción:

- M00: Parada obligatoria
- M02: Fin del programa
- M03: Spindle on (sentido horario)
- M04: Shusillo encendido (rotación en sentido antihorario)
- M05: Detención del husillo
- M06: Cambio automático de herramienta (ATC)
- M07: Refrigerante encendido (niebla)
- M08: Refrigerante encendido (inundación)
- M09: Colant off
- M30: Fin del programa

- *Códigos Adicionales:*

- T: Selección de herramientas
- F: Tasa de alimentación
- S: Velocidad del husillo
- R: Radio de curva
- D: Diámetro de herramienta

4.5 Dispositivo Láser

En el principio estaba: Albert Einstein. A principios del siglo XX, el famoso físico examinó de cerca el fenómeno de la luz en sus investigaciones. Una de sus reflexiones giraba en torno a la cuestión de si la luz podría consistir en "paquetes de energía" individuales (ya se conocía la hipótesis cuántica de Planck). Con el "principio de emisión estimulada" resultante de estas reflexiones, Einstein sentó las bases para el desarrollo de una tecnología que ahora conocemos como tecnología láser. Sin embargo, pasaron más de 40 años antes de que el físico Charles Townes pusiera en práctica los fundamentos teóricos de Einstein en términos de emisión estimulada.

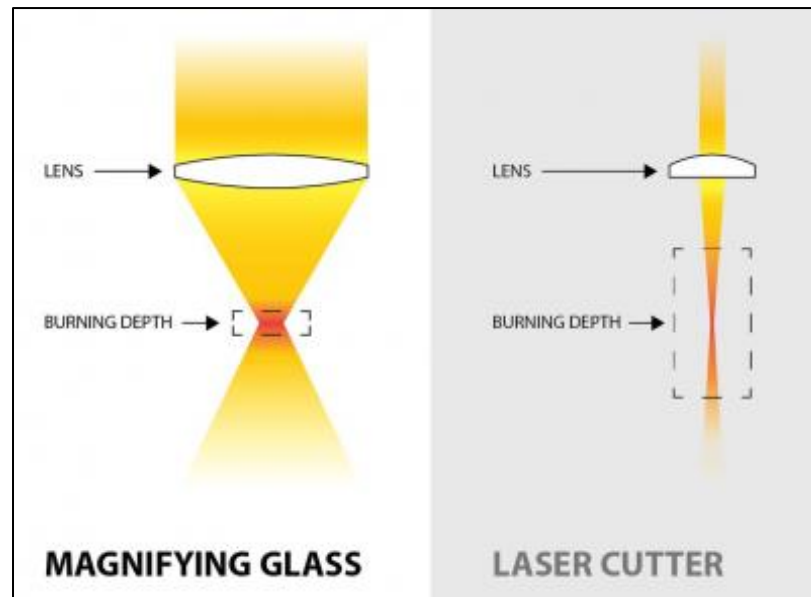
El láser se conoce como el acrónimo del inglés Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (amplificación de luz por emisión estimulada de radiación), originalmente teorizada por Albert Einstein en 1917. A fines de la década de 1940, Townes experimentó con microondas y en 1951 construyó un dispositivo que podría generar y amplificar estas microondas. Basado en la teoría de Einstein, Townes le dio a su descubrimiento el nombre de "máser", un acrónimo en inglés de "amplificación de microondas por emisión estimulada de radiación" ("microwave amplification by stimulated emission of radiation"), emisión estimulada significa que un medio activo por láser puede almacenar energía temporalmente mediante, por ejemplo, la irradiación con luz. Lo que era posible con las microondas, es decir, la amplificación por emisión estimulada de radiación, también debería, por ende, ser factible para la luz infrarroja o convencional. (TROTEC, 2022)

Según José García (2006), el láser es un dispositivo cuántico que genera ondas electromagnéticas en el campo de la óptica, dicho dispositivo genera un rayo o haz de luz potente, estrecho, monocromático y direccional. Usualmente estos rayos se pueden ver por el ojo humano, por lo que están dentro del espectro visible de luz. El láser es básicamente sólo luz altamente enfocada y amplificada.

Para entender mejor pensemos en una corriente de fotones de una linterna tiene una fase y amplitud que varían aleatoriamente con el tiempo y la posición, lo que significa que la coherencia sólo ocurre en distancias muy cortas. Un láser, por otro lado, tiene un alto grado de coherencia, lo que significa que la luz tiene una difracción limitada, está polarizada y tiene una única frecuencia constante a larga distancia. (Hub, 2018)

Figura 6.

Comparación entre una lupa y corte láser



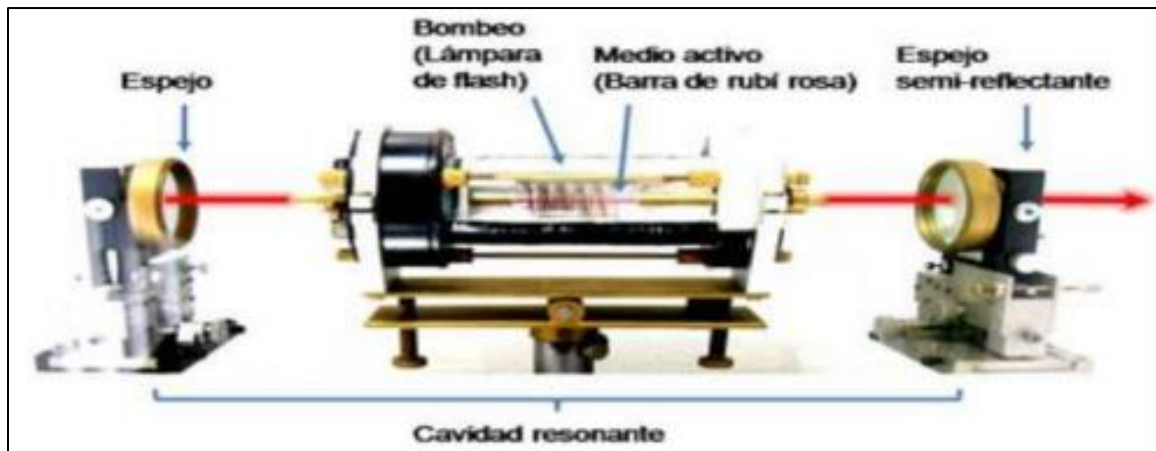
Nota: El gráfico muestra una comparativa entre la convergencia de la luz a través de una lupa y de corte láser, por Jonathan Odom, 2016, Instructables (bit.ly/3GUhkSV).

En la figura anterior se presenta el siguiente ejemplo: una lupa puede quemar una hoja al enfocar la luz del sol en un solo lugar, pero si la mueve fuera de foco por un poquito, deja de arder. El punto que está quemando es de aproximadamente $1/4$ de diámetro, y se puede quemar a una profundidad de menos de un milímetro. Con un láser, puede enfocar la luz a un punto pequeño alrededor de 0.004 su diámetro.

José Fuentes (2015), indica que el láser proporciona una forma de emisión de radiación luminosa de características especiales. La radiación láser es monocromática (una sola longitud de onda), posee una gran direccionalidad (escasa divergencia) y puede concentrar un elevado número de fotones en fase en áreas muy pequeñas.

Figura 7.

Sistema Láser



Nota: Adaptado de Diseño y Construcción de un prototipo de máquina tipo cartesiano para corte y grabado láser en papel, Por José Fuentes, et. al, 2015, Universidad de San Buenaventura.

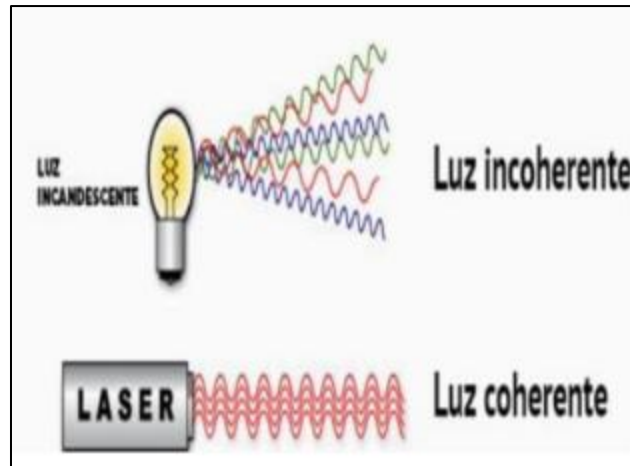
El CNC controla todos los movimientos de la herramienta cuando estamos cando

La emisión de luz producida por el láser se debe a los principios básicos sobre el funcionamiento del láser establecidos por Albert Einstein; el primero se debe a que la luz se transporta en el espacio en forma de fotones: el segundo establece que, al ingresar energía en un sistema, los electrones pueden transportarse a una órbita superior, y para regresar a su estado natural liberaran más fotones. Este principio expone la creación del haz de luz en el láser. (Gasol, 2008)

Las características principales que cumple un láser son cromatismo, colimado y coherencia. Esta última establece que la luz generada por el láser viaja en la misma dirección y trayectoria de manera organizada en espacio y tiempo.

Figura 8.

Coherencia de la luz láser



Nota: El gráfico nos muestra la diferencia entre la luz coherente y luz incoherente. Adaptado de FerrosPlanes, 2020, FerrosPlanes (bit.ly/3vQ0kGV).

La radiación láser, es decir aquella que procede de un dispositivo láser, presenta ciertas propiedades:

- Es monocromática: radiación compuesta de ondas de la misma longitud de onda.
- Es coherente: las ondas mantienen la fase relativa al desplazarse. Al resto de radiaciones ópticas se las denomina incoherentes.
- Es direccional: al alejarse de la fuente, la dispersión de la radiación es muy pequeña.

Estas características hacen que la radiación láser pueda lograr densidades de energía muy elevadas, que casi no disminuyen al aumentar la distancia a la fuente. Por ello el láser se ha convertido en una herramienta muy utilizada en la tecnología, a nivel industrial, médico, de investigación, comunicaciones, etc. y cada vez se utiliza más. Pero estas características hacen también que tenga unos efectos potenciales de daño a la salud más importantes y su evaluación necesita condiciones particularizadas, y con equipo de protección adecuado, de acuerdo al área de implementación y al uso que se le esté dando. (INSST, 2015)

4.6 Tipos de Láser

Existen una gran variedad de láseres diferentes, los cuales se pueden clasificar de la siguiente manera:

- *Por su longitud de onda de emisión:* desde las microondas hasta los rayos X.
- *Por su potencia:* desde mili-vatios hasta Peta-vatios.
- *Por su régimen de emisión:* pulsados o continuos;
- *Por las características de su medio activo:* sólidos, líquidos o gaseosos; cada uno de estos tipos tiene unas utilidades muy diversas.

De acuerdo a la última categoría, y a la aplicación de interés. Para la estimulación de los electrones que se encuentran alrededor del núcleo se utiliza una carga de átomos pertenecientes a un sólido, gas o líquido.

4.6.1 Láser Gaseoso o Laser de Gas

En un láser de gas, el medio activo del láser es un gas de baja presión (unos pocos militorr). Las razones principales para usar un gas a baja presión son:

1. Posibilitar una descarga eléctrica en un largo espacio, mientras los electrodos están en los extremos de un tubo largo.
2. Obtener líneas espectrales estrechas, minimizando el ensanchamiento debido a las colisiones entre átomos.

En esta clase de láser la sustancia activa que será excitada con una corriente eléctrica es un gas, entre los más utilizados o comunes son: helio, argón y helio-neón. Estos tienen una salida primaria de una luz roja visible. Los láseres de CO₂ emiten energía en el infrarrojo lejano, 10,6 micrómetros, y se utilizan para cortar materiales duros.

En esta categoría podemos encontrar el Láser CO₂, los cuales son láseres con tubo de gas con base en una mezcla gaseosa de dióxido de carbono que se estimula eléctricamente. Resultan adecuados sobre todo para tratar materiales no metálicos y muchos plásticos.

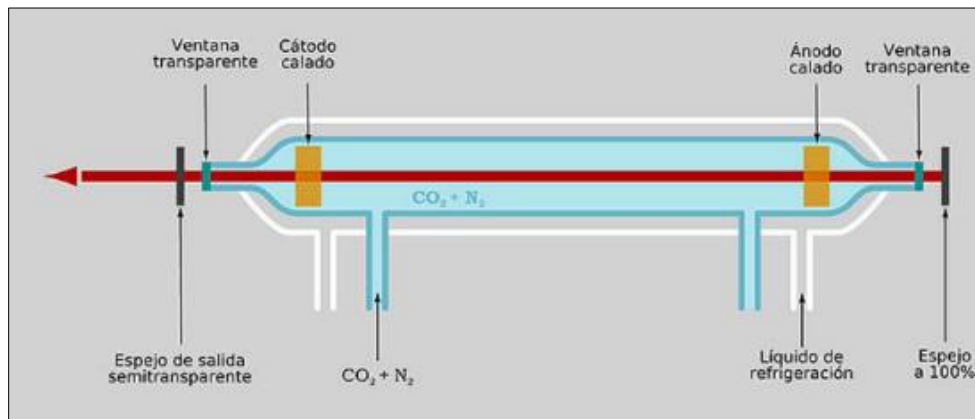
Los láseres de CO₂ tienen una eficiencia relativamente alta y muy buena calidad de rayo, por lo que son uno de los tipos de láser más utilizados. Este tipo de láser permite trabajar con los

siguientes materiales no metálicos como: madera; acrílico o metacrilato, vidrio, papel, cartón, tejidos, plásticos, películas y materiales muy finos como: cuero y una gran gama de productos.

Según Felipe Génova (2019), la utilidad del láser de gas lo ha llevado a la producción de muchas máquinas en base al tubo de CO₂, pero su limitación está en la durabilidad limitada de las lámparas CO₂ y su pérdida de potencia hace que se busquen soluciones como las CO₂ sólido.

Figura 9.

Esquema de elementos de tubo gas CO₂, para grabado y corte láser



Nota: Esquema descripción elementos de tubo gas CO₂, uno de los más habituales para marcado y corte, por Felipe Génova, 2019, HOLY LASER (bit.ly/3XkRNHB).

4.6.2 Láser de Estado Sólido

Es un láser que utiliza un medio de ganancia que es un sólido, en lugar de un líquido, como los láseres de colorante, o un gas como en los láseres de gas. El medio de ganancia de los SSL (láser de estado sólido) es un cristal o vidrio (o cerámica) dopado con los átomos activos por láser (normalmente tierras raras), el bombeo se realiza con luz (lámparas de flash, diodos láser).

Entre los láseres sólidos están:

- a) Láser Yag: Un Láser Nd-YAG (acrónimo del inglés *Neodymium-doped Ytrium Aluminium Garnet*) es un dispositivo de emisión láser de estado sólido que posee óxido de itrio y aluminio cristalino cuya red hace de anfitrión ya que está dopada con neodimio que hace de huésped formando la especie (Nd:

Y3Al5O12), una variedad de granate, su emisión característica posee una longitud de onda de 1064 nanómetros, es decir, emite en el infrarrojo. (Génova, 2019)

- b) Láser Galvo: En los sistemas Galvo, el láser se proyecta en 2 espejos giratorios de alta dinámica y de baja inercia. Los espejos son movidos por impulsos galvanométricos, de ahí su nombre. Dado que casi no se aceleran las masas, el haz del láser se proyecta sobre la pieza que se quiere grabar o marcar, a velocidades extremadamente altas, con elevada precisión y repetición. El tamaño del campo de marcado es definido por el ángulo de deflexión y la longitud focal de la lente que estemos usando en la marcadora láser. (Comercial, 2020)
- c) Láser Fibra: En los láseres de fibra el medio de ganancia activa está formado por una fibra óptica con elementos dopados de tierras raras. Estos pueden incluir erbio, iterbio, neodimio, disprosio, praseodimio y tulio. Estos tipos de láseres son de última generación y son resultado de extensas investigaciones. Estos modelos tienen la ventaja de que utilizan menos energía y que ocupan menos espacio que otros sistemas láser, ahorrando dinero y ayudando a que su negocio funcione de manera más eficiente. (BIMEX, 2020)
- d) Láser Mopa: El término MOPA es en realidad un acrónimo de *Master Oscillator Power Amplifier*. Este tipo de tecnología fue un gran avance junto con el diseño de fuentes de luz DUV (Deep UltraViolet); en las fuentes de luz tradicionales de una sola cámara, existe un equilibrio entre el ancho de banda y la potencia, que lo obliga a elegir entre comprometer el rendimiento o la rentabilidad, pero con la tecnología MOPA, ya no. El diseño MOPA tiene dos cámaras de descarga de gas: el oscilador maestro y el amplificador de potencia. El oscilador maestro proporciona luz con una baja cantidad de energía en un espectro estrecho; desde este punto, la luz pasa a través de la segunda cámara, el amplificador de potencia, que intensifica la luz para alcanzar los niveles de potencia necesarios. Los láseres de fibra MOPA utilizan diodos semiconductores como un mecanismo de bombeo y un cable de fibra óptica dopado como ganancia media. Los láseres de fibra MOPA son mucho más fiables y eficientes que las tecnologías láser anteriores. Una propiedad muy valorada del láser MOPA es que puede grabar sobre metal con diferentes colores. (TROTEC, TROTEC LASER GmbH, 2022)

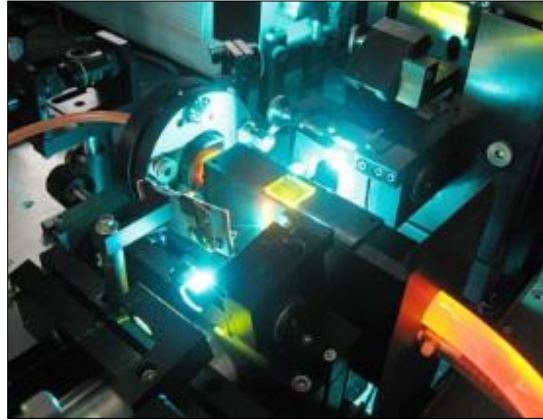
e) **Láser Vanadato:** El término láser de vanadato se usa generalmente para los láseres basados en cristales de vanadato dopados con neodimio. En particular, estos incluyen vanadato de itrio (Nd: YVO₄), vanadato de gadolinio (Nd: GdVO₄) y vanadato de lutecio (Nd: LuVO₄). Estos vanadatos también se llaman ortovanadatos. También hay cristales de vanadato dopados con otros iones de tierras raras, por. Ejemplo: Con dopaje de iterbio, erbio, tulio o holmio. Debido al tamaño similar, los iones de itrio, gadolinio o lutecio pueden reemplazarse con iones de tierras raras activos con láser sin afectar la estructura de la red. Esto es importante, para preservar la alta conductividad térmica de los materiales dopados. Los cristales de vanadato son naturalmente birrefringentes, lo que elimina la pérdida de despolarización inducida térmicamente en los láseres de alta potencia. (Génova, 2019)

4.6.3 Láser Líquido o Láser de Colorante

Un láser de colorante es un láser que utiliza un colorante orgánico como medio activo, generalmente como solución líquida. Este tipo de láser tiene la peculiaridad que se puede ajustar a una amplia gama de longitudes de onda, utiliza tintes orgánicos en solución líquida como la rodamina 6G. Además, se pueden utilizar mezclas de colorantes de modo que se obtenga una banda sintonizable cuyo ancho será la combinación del ancho de todas las bandas de los colorantes originales.

Figura 10.

Láser decolorante basado en el componente químico Rodamina 6G



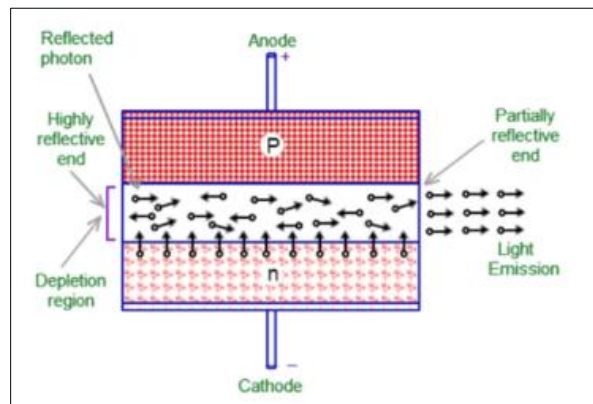
Nota: El gráfico muestra un láser de colorante onda continua, Carla José Berrospe, 2009, Láseres de Colorante, Óptica física de los Láseres, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE).

4.6.4 Láser con Semiconductores (Láser de Diodo)

Como su nombre lo dice, contiene un diodo que proporciona luz láser de manera coherente, quiere decir que contiene un conjunto de material semiconductor definido como p-n, en los cuales el polo positivo de la fuente de voltaje está conectado al fragmento “p” y la negativa a la “n”.

Figura 11.

Estructura y funcionamiento de un diodo láser

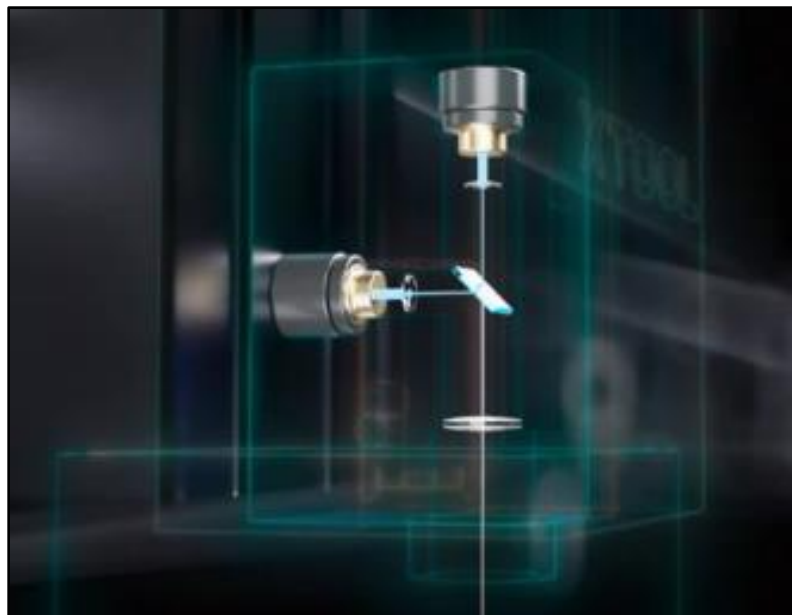


Nota: Diagrama de un diodo láser activo, por Raymond Lei, 2022, FindLight (bit.ly/3vRzP3Q).

De acuerdo a Raymond Lei (2022), los rayos láser se emiten desde esta unión después de aplicar la diferencia de potencial en los extremos del diodo, los electrones del tipo n viajan hacia el tipo p, y los agujeros del tipo p viajan hacia el tipo n. Funciona de manera similar a los LED, pero la salida es muy intenso y coherente, que consta de una sola frecuencia. Los rayos provenientes de los diodos se desvían mediante espejos y pasan a través de una lente convergente. Convergen en un punto muy fino que produce un calor intenso. El material sobre el que caen los rayos láser se vaporiza rápidamente. Los rayos láser vienen con una asistencia de aire similar a los láseres de CO₂.

Figura 12.

Convergencia de rayos producidos por diodos láser



Nota: El gráfico muestra como los rayos provenientes de los diodos convergen a pasar a través de una lente, por Raymond Lei, 2022, Xtool (bit.ly/3GuIHBk).

Jonathan Armas (2021), alega que, en la industria, la implementación del láser es una gran oportunidad tecnológica para realizar procesos de fabricación o transformación de materia prima, los principales procesos son fabricación aditiva, soldadura, corte, tratamientos térmicos, texturizado, grabado o marcado, micro taladrado.

- *Diodo o Láser Azul*

Un diodo láser azul es un tipo de láser semiconductor que produce un haz concentrado de fotones con longitudes de onda de aproximadamente 400 a 500 nanómetros, el área del espectro electromagnético visible que el ojo humano percibe como azul o violeta. Los diodos de láser azul son más difíciles de fabricar que muchos otros tipos de láser, especialmente a niveles de potencia más altos, pero la longitud de onda corta de la luz azul permite una mayor precisión. (Spiegato, 2021)

Los láseres a base de diodos que emiten luz de 445 nm han alcanzado popularidad como láseres portátiles. Los láseres que emiten longitudes de onda de menos de 445 nm se perciben de color violeta (aunque a veces se los denomine láseres azules). Algunos de los láseres azules más comunes comercialmente son láseres de diodos utilizados por dispositivos tipo Blu-ray que emiten luz "violeta" de 405 nm, la cual es una longitud de onda lo suficientemente corta como para producir fluorescencia en algunos elementos químicos, en forma similar a la fluorescencia que produce la radiación ultravioleta ("efecto luz negra"). La luz con longitud de onda menor que 400 nm es clasificada como ultravioleta. (Wikipedia, 2021)

Los dispositivos que utilizan luz láser azul son utilizados en diversas áreas que van desde almacenamiento de alta densidad de información mediante optoelectrónica hasta usos en la medicina. Los módulos de diodo láser se utilizan en todas las áreas principales de la electrónica que van desde:

- **Productos electrónicos de consumo:** reproductores de CD/DVD, impresoras láser, comunicación de fibra óptica, lectores de códigos de barras, etc.
- **Máquinas médicas:** los diodos láser son utilizado en máquinas utilizadas para eliminar tejidos no deseados, eliminando células cancerosas, cirugías no invasivas y de cataratas, etc.
- **Vehículos autónomos:** la tecnología de diodo láser se utiliza para hacer que los sistemas LIDAR se implementen conducción
- **Scientific Instrumentation:** los láseres se utilizan en dispositivos utilizados para mediciones sin contacto remotas, espectrometría, telémetros, etc.

- **Aplicaciones industriales:** Los diodos láser se utilizan como fuente de haz láser de alta intensidad para el corte preciso de materiales. También se usan en impresión 3D para suavizar el sustrato. (LUGO, 2022)

Figura 13.

Modulo láser para corte y grabado



Nota: El gráfico muestra un módulo láser de diodo semiconductor para corte y grabado, por Banggood, 2020, Banggood Global Leading Online Shop (bit.ly/3X570gA).

4.7 Corte y Grabado Láser

La primera vez que se desarrolló este proceso fue en 1965, cuando se utilizó por primera vez una máquina de corte por láser para perforar agujeros en los troqueles de diamantes. Esta tecnología fue diseñada por el Western Electric Engineering Research Center que, con su maquinaria, permitieron a los trabajadores del sector elaborar piezas metálicas con una mayor eficiencia y precisión, aunque con un coste más elevado, a diferencia de las técnicas utilizadas hasta el momento. Aun así, este primero diseño cambiará mucho a lo largo de los años.

Solo dos años más tarde, las innovaciones en la maquinaria de corte láser ya aparecieron. En 1967, los británicos fueron pioneros en el corte de metales por chorro de oxígeno asistido por láser. Mientras que solo tres años más tarde, se utilizó esta tecnología

para cortar titanio en aplicaciones Industriales. Del mismo modo, en estos años, se adaptaron láseres de CO2 para cortar elementos no metálicos. (RECAM, 2022)

Con un cortador láser típico, puede cortar una variedad de materiales como papel, madera, tela, cuero y plásticos. También puede grabar estos materiales, vidrio, metales e incluso alimentos como chocolate o tortillas. El uso de un cortador láser para un fabricante se reduce a tres cosas: precisión, repetibilidad y velocidad. Una vez que tenga el diseño elaborado y la configuración marcada, puede producir muchas copias exactas de la misma pieza según el contenido de su corazón.

Figura 14.

Ejemplos de corte y Grabado láser



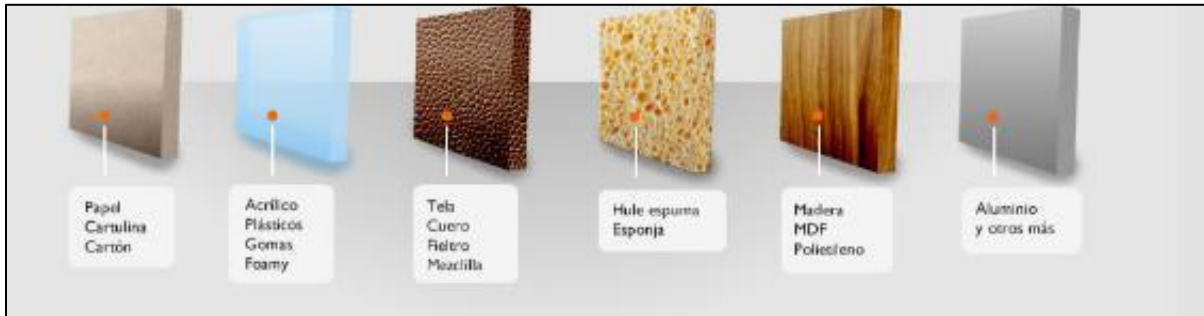
Nota: El gráfico nos muestra el proceso de corte láser y el resultado obtenido, por BRILDOR, 2020, BRILDOR La tienda para la personalización (bit.ly/3GNGeCv).

Cada cortadora láser tiene su detalle, por ejemplo, no todas las cortadoras trabajan con metal, otras, pueden ser muy pequeñas para el trabajo que se pretende realizar, es por ello que debes buscar la más adecuada que se adapte a las necesidades mínimas que se requiere. Es fundamental conocer que no todos los materiales se pueden grabar o cortar con este tipo de tecnología. El PVC por ejemplo puede producir vapores o sustancias peligrosas al estar en contacto con el láser e incluso puede dañar el equipo. Este material no es aconsejable para su uso en máquinas láser. Además, si se trabaja con algunos materiales de ciertos colores como transparentes, blancos y azules (similares al color del láser), el resultado obtenido no será el

esperado. El corte o grabado láser en este tipo de materiales no se produce de forma óptima. (BRILDOR, 2020)

Figura 15.

Materiales que se pueden cortar y grabar con láser



Nota: Diferentes materiales en los que se puede realizar corte y grabado láser, por Más Publicidad, 2017, Más Publicidad (bit.ly/3X1qhiM).

Diego Arriaga (2021), manifiesta que entre los materiales más comunes y sencillos de encontrar como materia prima en los que se puede realizar corte y grabado láser se encuentran, el papel y sus variantes como cartulina, cartoncillo, estampa, acrílicos de diferentes colores y grosores (será importante que verifiques la altura máxima del cabezal de tu cortadora para saber si el material puede ser procesado), vidrio y espejo en grabado láser, láminas de plástico, telas, cuero, fieltro, vinilo, algunos hules, gomas, linóleo, espumas, maderas y sus derivados como MDF, foami, grabado en piedra, comida (galletas, panes, frutas, etc.), mosaicos y varios más.

Es importante mencionar que no todos los materiales son compatibles con la tecnología láser que existen, así como hay muchas tecnologías para corte y grabado láser, cada una de ellas son más compatibles con cierto tipo de materiales para realizar el trabajo y obtener resultados óptimos.

5. Metodología

En esta sección se detallan los materiales y métodos que se usaron para el desarrollo del presente TT, los cuales permitieron dar cumplimiento de manera exitosa con todas las actividades planificadas. Durante la ejecución del presente TT se empleó el tipo de investigación cuantitativa, siendo principalmente experimental. Así mismo, fue una investigación bibliográfica y de campo.

Los siguientes métodos están basados en cada uno de los objetivos específicos del presente TT. Este diseño se realizará dentro de los modelos de investigación aplicada con aspectos de ingeniería experimental y empleando datos con aplicación directa en todo el proceso que conlleva el diseño del prototipo de grabadora y cortadora láser CNC.

5.1 Método Científico

Para entender de forma sencilla el método científico, se lo puede conceptualizar como un procedimiento que consiste en la observación sistemática, medición y experimentación, y la formulación, interpretación y modificación de las hipótesis; para de esta manera dar respuesta a las interrogantes planteadas por el investigador en entorno a la naturaleza de la investigación. (Castán, 2006)

Este método fue de suma importancia y se empleó durante el proceso de adquisición de información necesaria para el diseño, adquisición de componentes y materiales necesarios para la construcción del prototipo, así como para comprender el funcionamiento de este tipo de máquinas y la función que cumple cada parte que la compone.

5.2 Método Analítico

Conceptualizando el método analítico podemos decir que se trata de la categorización, ordenamiento, manipulación y resumen de datos para responder preguntas de investigación cuyo propósito es reducir los datos de una forma entendible e interpretable para que las relaciones de los problemas de investigación puedan ser estudiadas y aprobadas. (Hernandez, 2017)

Este método fue necesario para desmembrar la información más importante para el desarrollo del prototipo planteado, mediante este método se pudo analizar el funcionamiento y función que cumple cada componente de la máquina herramienta, para posteriormente ser puestas a prueba en la etapa de testeado de la máquina y de esta manera garantizar el correcto funcionamiento.

5.3 Método Inductivo

Al referirnos a método inductivo se puede decir que es una forma de razonamiento para llegar a conclusiones que empieza desde lo más específico y va hasta las generalizaciones y teorías más amplias. El método inductivo consiste en tres etapas: la observación de un fenómeno, captar u observar posibles patrones y finalmente desarrollar una teoría o llegar a una teoría generalizada (la conclusión). En este método es importante que los hechos examinados sean lógicos para que las ideas expuestas tengan coherencia. (González, 2020)

Este método permitió realizar una comparación de los datos obtenidos de diferentes fuentes bibliográficas y poder establecer los patrones de funcionamiento de las máquinas para corte y grabado láser, para de esta manera poder plantear la estructura para el funcionamiento que compone el sistema de control del prototipo, así como de la corrección de errores de posición de los ejes de movimiento.

5.4 Método Deductivo

En cuanto al método deductivo se puede establecer como una forma de razonamiento lógico que considera que la conclusión se halla implícita dentro de las premisas, es decir, las conclusiones son una consecuencia necesaria de las premisas; entonces si los hechos o premisas son ciertos, la conclusión también lo será. (Julián Pérez, 2021)

Este método permitió establecer o deducir los pasos que debemos seguir para la estructuración de la máquina, así como para seleccionar los diferentes componentes y equipos necesarios de acuerdo a los requerimientos de diseño y funcionamiento planteados, y a los objetivos del presente TT.

5.5 Método Incremental

El método incremental o también conocido como modelo incremental, se trata de un enfoque incremental de desarrollo como una forma de reducir la repetición del trabajo en el proceso de desarrollo. El modelo incremental combina elementos del modelo lineal secuencial con la filosofía interactiva de construcción de prototipos. (Ortiz, 2017)

La ejecución de este método, permitió plantear un plan de trabajo por etapas de manera sistemática y organizada, lo que permitió el diseño y la construcción del prototipo de forma

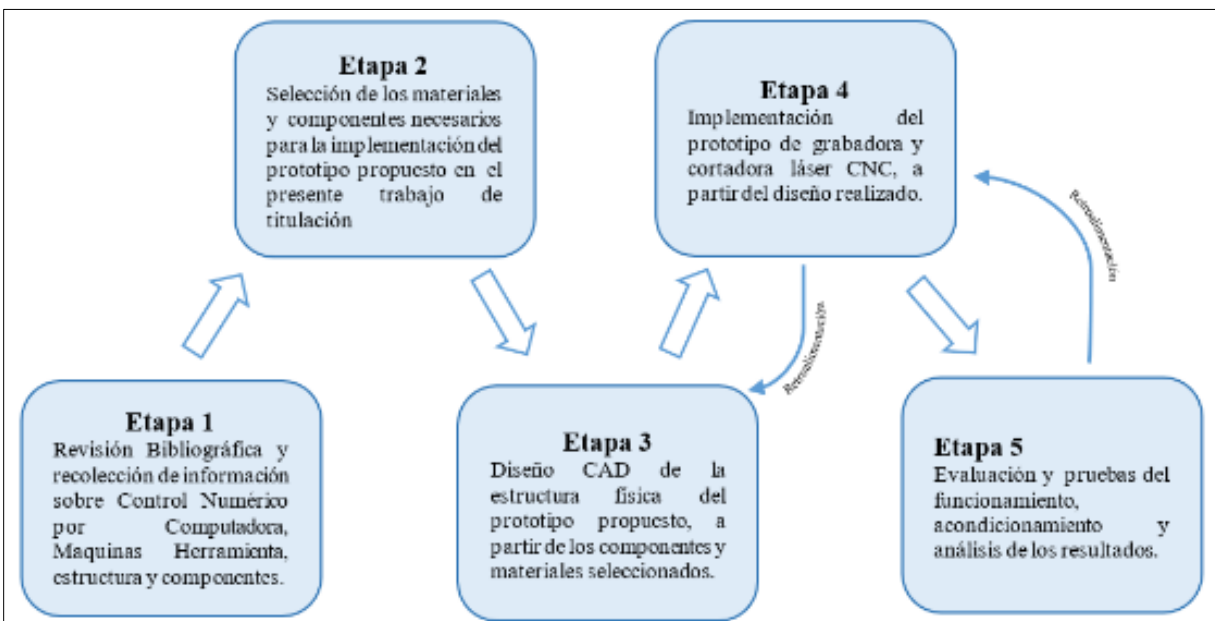
secuencial; desde la etapa de recopilación de información, selección de materiales y componentes, elaboración del diseño, implementación del prototipo, hasta finalmente la etapa de pruebas y calibración del prototipo.

5.6 Fases de Desarrollo del Trabajo de Titulación

En esta sección se presenta de forma ordenada las diferentes fases de actividades que se plantearon para el desarrollo secuencial del presente TT, esto se efectuó en 5 etapas de ejecución, las cuales permitieron de manera satisfactoria dar cumplimiento a los objetivos planteados.

Figura 16.

Diagrama de flujo de las etapas para el desarrollo del TT.



Nota: Elaborado por el Autor.

5.6.1 Recopilación de Información

Mediante la revisión bibliográfica se plantea seleccionar y analizar varias fuentes bibliográficas como son: sitios web, repositorios de medios electrónicos, así como trabajos relacionados al mecanizado CNC, las cuales contribuyan a dar la sustentación científica al presente TT.

Para cumplir con esta etapa, se plantearon ciertos criterios para determinar la relevancia de la información, para esto se consideran los objetivos planteados, y así poder determinar las necesidades y preguntas de investigación. De esta manera realizar una identificación del área y aplicación a la cual va dirigida la investigación, seguidamente seleccionar los conceptos primarios requeridos para comprender el funcionamiento de las máquinas CNC, así como el proceso para el corte y grabado mediante láser. Además, recopilar información sobre las diferentes formas o modelos para el desarrollo del sistema de control de una máquina herramienta, información que es de gran importancia para la realización del diseño del prototipo.

5.6.2 Tratamiento de la Información para Adquisición de Materiales y Componentes

Para el tratamiento de la información se planteó un proceso para poder sintetizar y reducir la información y así obtener la información que tiene directa relación con el hecho a investigar y a los objetivos que se desea alcanzar.

En el proceso planteado, se establecieron criterios para sintetizar la información recopilada los cuales se detallan a continuación:

- Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación va destinado a entender el funcionamiento y estructura de una máquina CNC para corte y grabado láser, sus características, y materiales necesarios para su construcción.

- Requerimientos del prototipo

En este punto se cuestionan los requerimientos del prototipo a desarrollar, así como el funcionamiento y los resultados que se pretende alcanzar, para de esta manera determinar lo necesario para lograr lo propuesto.

- Selección de materiales y componentes

Una vez que se ha determinado lo necesario para el desarrollo y construcción del prototipo, tanto en hardware como software; se procederá a la selección de estos materiales y componentes. Para esto se toma en consideración las características de funcionamiento y fabricación de cada componente, así como la calidad del material y costo; lo cual debe cumplir con lo mínimo requerido para alcanzar los objetivos planteados.

- Adquisición de los materiales y componentes

Ya determinados que componentes y materiales se van a usar para el desarrollo y construcción del prototipo, se procederá a la adquisición de los mismos; para esto se consulta stock en diferentes tiendas de material industrial, tiendas de electrónicas, así como en tiendas online.

5.6.3 Diseño CAD de la Estructura a Desarrollar

En esta etapa se plantea desarrollar un modelo en 3D del prototipo, así como de las partes que lo componen; que nos permita de mejor manera entender el montaje de la estructura física, para lo cual se proyecta usar software CAD, que nos permita desarrollar el modelado de cada pieza y obtener un resultado detallado.

5.6.4 Implementación Física del Prototipo

Realizado el diseño 3D de los componentes estructurales del prototipo y luego de contar físicamente con cada uno de ellos, se procederá a realizar el montaje físico del prototipo. Para esto se han considerado los apartados que se detallan a continuación.

5.6.4.1 Estructura de la Máquina Herramienta. En este subapartado del proceso de implementación del prototipo se idea realizar el armado de la estructura de la máquina herramienta, la cual va a constar de la estructura base, los trenes de movimiento para ejes coordenados X e Y, así como los espacios en donde se van a ubicar los diferentes componentes del prototipo, como son motores de pasos, módulo láser, entre otros.

5.6.4.2 Sistema de Control de la Máquina Herramienta. Continuando con el proceso de construcción del prototipo, se programa implementar la electrónica para el sistema de control de la máquina CNC, para lo cual se considera los materiales seleccionados durante la Fase 1 y Fase 2 de este proceso. La parte electrónica será la encargada de del control y funcionamiento del prototipo. Así mismo, se establecerá la programación y software necesarios para controlar eficientemente los movimientos de cada componente y obtener un funcionamiento apropiado.

5.6.5 Evaluación, Pruebas y Acondicionamiento del Prototipo

Para culminar con desarrollo del presente TT, se evaluará el funcionamiento del prototipo desarrollado, donde en base a pruebas de resultados, se analizará si es necesario realizar acondicionamientos o mejoras para obtener resultados óptimos tanto en corte y grabado con láser, de acuerdo a los objetivos planteados para este proyecto de investigación.

5.7. Diseño del Prototipo

Para el cumplimiento de los objetivos se realizó una revisión bibliográfica a fin de recolectar información necesaria que permita el diseño e implementación de un prototipo funcional; en lo que respecta a la investigación de campo, se la empleó para la recolección de características de materiales que se encuentran en nuestro entorno local.

Para el correcto desarrollo del prototipo se plantean conseguir los siguientes requerimientos mínimos:

- Un sistema de dos ejes independientes X e Y, con su sistema de desplazamiento cada uno.
- Mantener un área de trabajo de 297 x 420 mm (Formato A3, Norma ISO 216).
- Láser que permita ajustar el punto focal a la altura del material introducido en la mesa de trabajo.
- Láser suficientemente potente como para realizar cortes en materiales suaves y blandos como, cartón, papel, foami, mdf, con un espesor menor a 3 mm.
- Selección de materiales que permitan mantener un bajo coste de producción.
- El prototipo debe ser capaz de grabar en cualquier material exceptuando materiales metálicos y ferrosos.
- Al ser un diseño de prototipo, este no debe cumplir ninguna normativa, ya que no va a ser comercializado.

5.7.1 Materiales

En este apartado se detallan las características más relevantes de los diferentes materiales, así como de los equipos de hardware utilizados para diseño e implementación del prototipo de grabadora y cortadora láser CNC.

Una máquina de grabado y corte láser está conformada por la parte mecánica, la electrónica y el software que permite el control y mediante el cual se envía el diseño. Los materiales que se utilizaron tanto para el diseño del prototipo, así como para la construcción del mismo se detallan a continuación.

5.7.1.1 Materiales de Oficina. Entre los materiales de oficina utilizados durante la elaboración del proyecto descrito en este documento; se presentan los más importantes:

- Internet
- Paquete de Microsoft Office 2019.
- Impresora.
- Papel Bond A4.
- Tijeras.
- Grapadora y grapas.
- Cúter.

5.7.1.2 Recursos Humanos. Para el desarrollo de este proyecto, los principales recursos humanos involucrados se enlistan a continuación:

- Director de Tesis.
- Asesores externos o docentes
- Tesista o estudiante de pregrado.

5.7.1.3 Elementos – Componentes del Prototipo. Tanto para el diseño como para la implementación del prototipo planteado se consideraron los siguientes elementos y componentes para la construcción de la estructura, tomando en cuenta parámetros como, resistencia, coste y versatilidad del material.

Los elementos que conforman el prototipo de máquina para grabado y corte láser CNC se detallan a continuación:

5.7.1.3.1 Riel Lineal / Perfil Aluminio (V-slot) 20x40 – Plateado. El perfil de aluminio estructural está fabricado en aluminio 6063-T5, de gran calidad. Los perfiles de aluminio extruido *V-Slot* fueron diseñados por Openbuilds como una mejora a los perfiles T-Slot. Son muy fáciles de manejar y permiten fabricar infinidad de forma rápida y sencilla estructuras mecánicas, soportes, máquinas o prototipos y cualquier diseño que puedas imaginar, gracias a su naturaleza modular. La principal característica de estos productos, es lo fácil que resulta ensamblar diferentes tipos de estructuras con ellos, esto gracias a la ranura en forma de "V" que permite actuar como guía lineal para las ruedas V, la unión tipo V es muy superior al tipo T para la construcción de mecanismos lineales; de allí reciben el nombre de V-slot. En primer lugar, el material se puede cortar sin mayor dificultad y en segundo lugar las uniones en base a pernos y tuercas resultan bastante prácticas. (Cimech3D, 2022)

El Perfil V-Slot 2040 tiene una sección transversal de 20*40mm, posee 1 ranura V en la cara de 20mm y 2 ranuras en la cara de 40mm. Es el perfil ideal para estructuras y mecanismos lineales con ruedas y correa dentada. Además, el mismo perfil V-slot puede cumplir las dos funciones:

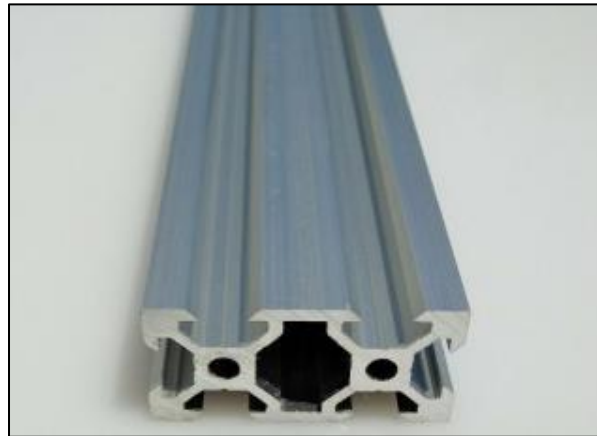
1. Sirven como soporte o para crear estructuras.
2. Sus canales en V, permiten que se puedan usar ruedas o rodamientos para realizar movimientos lineales.
3. Sus canales en V, sirven como riel guía para utilizar banda dentada o correa dentada para generar los desplazamientos lineales.

Principales usos del perfil de aluminio v-slot

- Manipuladores cartesianos
- Impresoras 3D
- Máquinas CNC
- Cortadoras láser
- Plotters CNC
- Fresadoras CNC
- Aerógrafos CNC
- Deslizadores para cámaras
- Cortadores plasma
- Robótica
- Y muchos otros

Figura 17.

Riel lineal / Perfil aluminio (V-slot) 20x40 – Plateado



Nota: El gráfico muestra un perfil de aluminio o riel lineal plateado (V-slot) 20x40, por Saldarriaga N, Jorquera C, 2022, Cimech3D (bit.ly/3HVIgSF).

En cuanto a las especificaciones para el Riel lineal / Perfil aluminio (V-slot) 20x40 – Plateado tenemos:

Tabla 1.

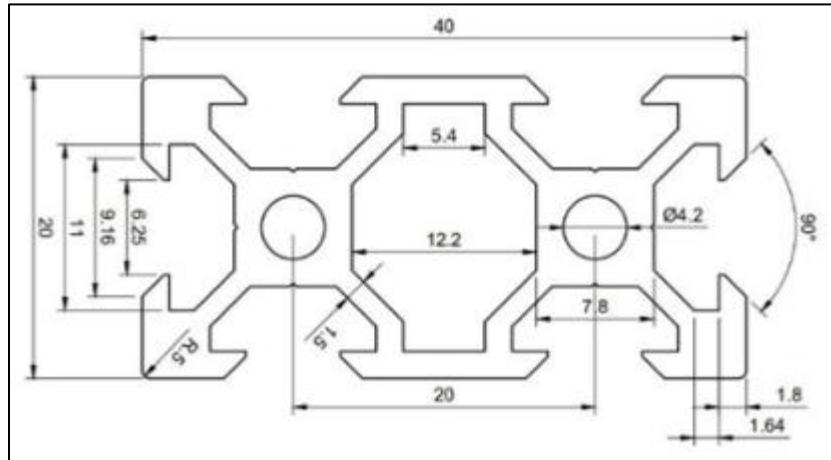
Especificaciones Riel lineal / Perfil aluminio (V-slot) 20x40 – Plateado

Tipo de perfil	V-slot
Serie	2040
Material	Aluminio
Grado	6063-T5
Acabado	Anodizado
Color	Plateado
Ancho (W)	40 mm
Alto (H)	20 mm
Momento de inercia IX	$12.305 \times 10^{-9} \text{ m}^4$
Momento de inercia IY	$48.163 \times 10^{-9} \text{ m}^4$
Esfuerzo de fluencia	145 MPa
Módulo de elasticidad	68.9 GPa
Peso por metro lineal	0.808 kg/m

Nota: La Tabla muestra las especificaciones técnicas de un perfil de aluminio o riel lineal plateado (V-slot) 20x40mm, por Saldarriaga N, Jorquera C, 2022, Cimech3D (bit.ly/3HVIgSF).

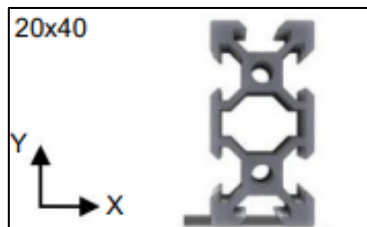
Figura 18.

Especificaciones Riel lineal / Perfil aluminio (V-slot) 20x40 – Plateado



Nota: El gráfico muestra las especificaciones de medida de un perfil de aluminio (V-slot) 20x40, por Saldarriaga N, Jorquera C, 2022, Cimech3D (bit.ly/3HVIgSF).

El cálculo de deflexión de un perfil V-Slot es necesario para obtener la cantidad respecto a cuanto se doblará o desviará un perfil bajo carga, para esto utilizaremos el momento de área de inercia, las cuales se muestran en las Ec. 1 y Ec. 2.



$$ix: 48.163 \times 10^{-9} \quad \text{Ec (1)}$$

$$iy: 12.305 \times 10^{-9} \quad \text{Ec (2)}$$

Para calcular la deflexión se considera una carga con masa de 1.5 Kg, y se toma la distancia del perfil más largo considerado para el prototipo.

Donde:

d: Flexión (mm)

F: Carga puntual (N)

L: Longitud sin soporte (m)

E: Módulo de elasticidad (N/mm^2) (Pa)

I: Momento de inercia (m^4)

Datos:

F: 14.7 N

L: 560 mm

E: 98.9×10^9 N/m²

I: 48.163×10^{-9}

$$d = \frac{F * L^3}{48 * E * I}$$
$$d = \frac{14.7 * 0.56^3}{48 * 68.9 \times 10^9 * 48.163 \times 10^{-9}}$$
$$= 0.000016207 \text{ m, ó } 0.016207 \text{ mm}$$

Por lo que se deduce que la deflexión es muy mínima para el perfil V-slot y no afecta a la estructura base del prototipo, ni a las partes que lo componen.

5.7.1.3.2 Motor de Pasos (Stepping Motor) Nema 17 - 1,5 Amp. Los motores Nema 17 son un tipo de motores eléctricos con las siguientes características:

1. No permite grandes velocidades de giro a diferencia de otros tipos de motor.
2. Permite posicionamiento preciso de manera sencilla (sin necesidad de un bucle cerrado).
3. Normalmente se controlan en bucle abierto.
4. Su control eléctrico es más complejo que el de otros motores. No son motores “de corriente continua” ni “de corriente alterna”. Son otro tipo y no basta con conectarles a una fuente de voltaje continuo o alterno. Hay que mandarles otro tipo de señales.

Se usan en casi todas las máquinas CNC porque ofrecen las características buscadas en el movimiento de este tipo de máquinas, que son las siguientes:

1. Precisión y repetibilidad en los movimientos.
2. Control electrónico sencillo gracias a los drivers.
3. Buena cantidad de par motor en un motor pequeño.

4. No es necesaria gran velocidad de rotación en los motores, puesto que van a servir para convertir la rotación a movimiento lineal de baja velocidad (no se suelen superar los 200 mm/s en movimientos lineales de impresión 3D).
5. Consumo eléctrico adecuado.

Los motores bipolares Nema 17 tienen un ángulo de paso de 1.8 grados y un tamaño de 1.654 x 1.654 x 1.496 in. Tiene 4 cables, cada fase dibuja corriente de 1.5 A, con un par de sujeción de 42 Ncm.

Figura 19.

Motor de Pasos Nema 17 - 1.5 A



Nota: El gráfico muestra un motor Nema 17 estándar, por Stepperonline, 2022, AMAZON (bit.ly/3FjUuDI).

Dentro las características del motor Nema 17 tenemos:

Tabla 2.

Especificaciones eléctricas del motor Nema 17

Especificaciones eléctricas	
Número de pieza del fabricante:	17HE15-1504S
Tipo de motor:	paso bipolar

Ángulo de paso:	1.8 grados
Par de mantenimiento:	42 Ncm (59.49 oz.in)
Corriente nominal/fase:	1.50 A.
Resistencia de fase:	2.3 ohmios.
Inductancia:	4.00 mH \pm 20% (1 KHz)

Nota: Esta tabla nos indica las características eléctricas de un motor comercial Nema 17 – 1.5 A, por Stepperonline, 2022, AMAZON (bit.ly/3FjUuDI).

Las características de este tipo de motores se presentan a continuación:

Tabla 3.

Especificaciones físicas del motor Nema 17

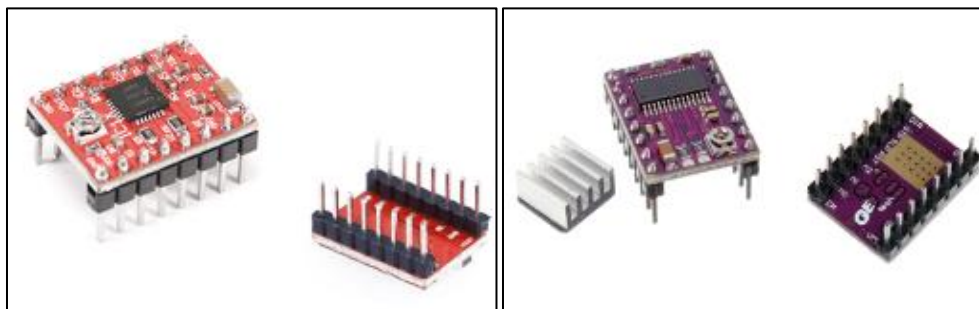
Especificaciones físicas	
Tamaño del marco:	1.654 x 1.654 in
Longitud del cuerpo:	1.496 in
Diámetro del eje:	0.197 in
Longitud del eje:	0.925 in
Longitud del corte	D: 0.787 in
Número de plomos:	4
Longitud de la correa:	39.370 in
Peso:	9.88 oz
Conexión:	A+: Negro, A-: Azul, B+: Verde, B-: Rojo

Nota: Esta tabla nos indica las características físicas de un motor comercial Nema 17 – 1.5 A, por Stepperonline, 2022, AMAZON (bit.ly/3FjUuDI).

5.7.1.3.3 Drivers DRV8825 o A4988. El A4988 y el DRV8825 son controladores (drivers) que simplifican el manejo de motores paso a paso desde un autómatas o procesador como Arduino. Además, nos permiten manejar los altos voltajes e intensidades que requieren estos motores, limitar la corriente que circula por el motor, y proporcionan las protecciones para evitar que la electrónica pueda resultar dañada.

Figura 20.

Drivers A4988 / DRV8825 para motores de pasos



Nota: Drivers para controlar motores de pasos A4988 y DVR8825 respectivamente, por Llamas L, 2016, Luis Llamas (bit.ly/3X4XGbo).

Para su control únicamente requieren dos salidas digitales, una para indicar el sentido de giro y otra para comunicar que queremos que el motor avance un paso. Además, permiten realizar microstepping, una técnica para conseguir precisiones superiores al paso nominal del motor. Por lo demás, aparte de unas pequeñas diferencias, ambos dispositivos son similares en su montaje y uso. Incluso pueden ser compatibles entre sí, es decir, bajo ciertas condiciones podemos usar indistintamente uno u otro, e incluso una combinación de ambos de forma simultánea.

Tabla 4.

Comparación entre Drivers A4988 / DRV8825

Modelo	A4988	DRV8825
Color	Verde o Rojo	Morado
Intensidad máxima	2A	2.5A
Tensión máxima	35V	45A
Microsteps	16	32
Rs típico	0.05, 0.1 o 0.2	0.1

Nota: Comparativa entre características de los Drivers A4988 y DVR8825, por Llamas Luis, 2016, Luis Llamas (bit.ly/3X4XGbo).

Ambos controladores pueden alcanzar altas temperaturas durante su funcionamiento y es necesario disipar el calor para que el dispositivo no se dañe. Para intensidades superiores 1A en el A4988 y a 1.5A en el DRV8825 es necesario añadir un sistema de disipación de calor, e incluso ventilación forzada.

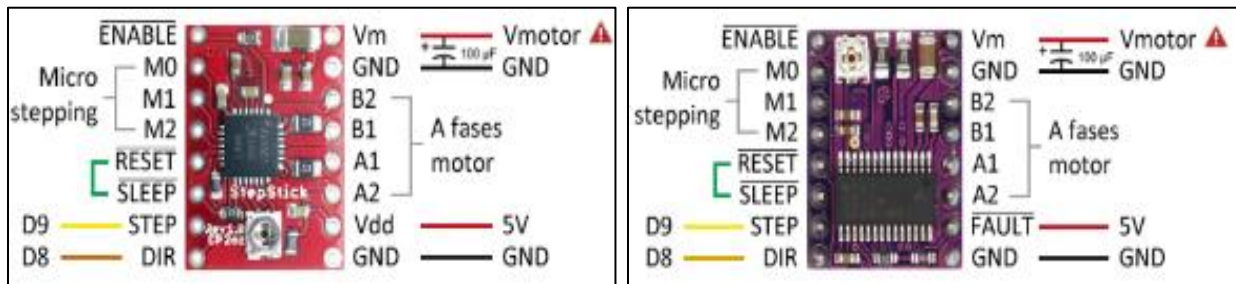
Disponen de protecciones contra sobreintensidad, cortocircuito, sobretensión y sobre temperatura. Es decir, ambos controladores disponen de reguladores de intensidad incorporados. El motivo es que los motores paso a paso de cierto tamaño y potencia, como por ejemplo los NEMA 17 o NEMA 23, necesitan tensiones superiores a las que podrían soportar las bobinas por su corriente nominal. En general, son dispositivos robustos y fiables siempre que realicemos la conexión correctamente, e incorporemos disipación de calor si es necesario.

El A4988 y el DRV8825 son muy empleados en una gran variedad de proyectos que requieren el uso de motores paso a paso, como máquinas de CNC, plotters, robots que dibujan, impresoras 3D, y escáneres 3D. También son un componente frecuente en proyectos para controlar robots y vehículos, especialmente en aquellos que requieren variar de forma individual la velocidad de cada rueda, como en vehículos con omniwheel o mecanum wheels.

El esquema de conexión de ambos controladores es muy similar. Se puede concluir que, bajo ciertas consideraciones ambos dispositivos son compatibles entre sí.

Figura 21.

Esquemas de conexión Drivers A4988 / DRV8825

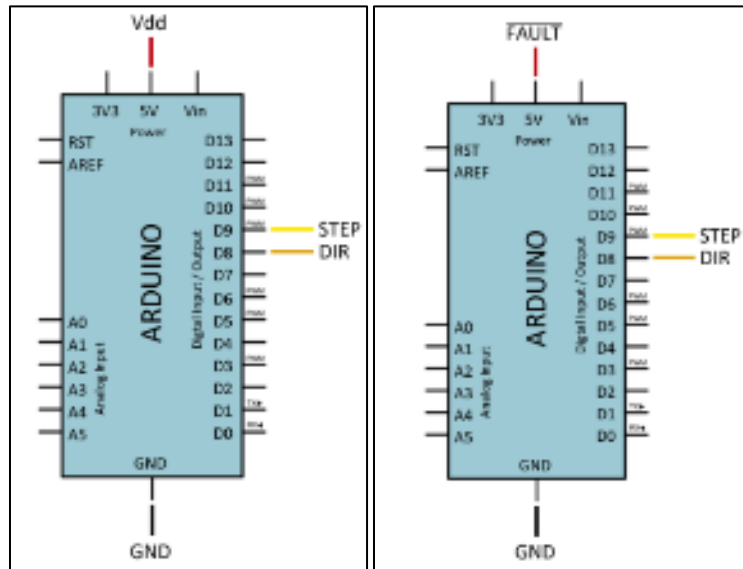


Nota: Esquemas de conexión y montaje Drivers A4988 y DVR8825 respectivamente, por Llamas L, 2016, Luis Llamas (bit.ly/3X4XGbo).

En el caso del DRV8825 el esquema es muy similar, con la excepción de que el pin Vdd se sustituye por el pin Fault. El esquema visto desde Arduino sería idéntico al A4988.

Figura 22.

Conexión Drivers en Arduino NANO



Nota: Vista de conexión Drivers A4988 y DVR8825 respectivamente en Arduino NANO, por Llamas L, 2016, Luis Llamas (bit.ly/3X4XGbo).

El código necesario para su control es extremadamente sencillo, lo cual hace de ellos unos componentes muy prácticos y útiles de usar. Simplemente se debe que indicar mediante dos salidas digitales el instante en el que queremos que el motor avance un paso, y el sentido de giro. La velocidad de giro se controla por el tiempo que dejamos transcurrir entre paso y paso.

A continuación, podemos observar el siguiente ejemplo que hace girar el motor paso a paso una revolución en un sentido, y dos en sentido contrario a una velocidad ligeramente superior.

Figura 23.

Ejemplo de código para hacer girar un motor de pasos

```
const int dirPin = 8;
const int stepPin = 9;

const int steps = 200;
int stepDelay;

void setup() {
  // Marcar los pines como salida
  pinMode(dirPin, OUTPUT);
  pinMode(stepPin, OUTPUT);
}

void loop() {
  //Activar una direccion y fijar la velocidad con stepDelay
  digitalWrite(dirPin, HIGH);
  stepDelay = 250;
  // Giramos 200 pulsos para hacer una vuelta completa
  for (int x = 0; x < steps * 1; x++) {
    digitalWrite(stepPin, HIGH);
    delayMicroseconds(stepDelay);
    digitalWrite(stepPin, LOW);
    delayMicroseconds(stepDelay);
  }
  delay(1000);

  //Cambiamos la direccion y aumentamos la velocidad
  digitalWrite(dirPin, LOW);
  stepDelay = 150;
  // Giramos 400 pulsos para hacer dos vueltas completas
  for (int x = 0; x < steps * 2; x++) {
    digitalWrite(stepPin, HIGH);
    delayMicroseconds(stepDelay);
    digitalWrite(stepPin, LOW);
    delayMicroseconds(stepDelay);
  }
  delay(1000);
}
```

Nota: Ejemplo de código para Drivers A4988 y DVR8825 que permitirá hacer girar un motor de pasos, por Llamas L, 2016, Luis Llamas (bit.ly/3X4XGbo).

5.7.1.3.4 Modulo Láser Azul (5W) 445nm 5500mW Láser de Diodo Enfocable. El módulo láser está conformado por un diodo semiconductor que provee una potencia de salida de 5 W, el cual por su facilidad de uso es adecuado para equipos de grabado láser; este módulo cuenta con las siguientes características:

1. Longitud de Onda: 445nm
2. Potencia de salida: 5,5 W
3. Módulo láser azul enfocable
4. Puerto de alimentación DC 5,5*2,1
5. El disipador térmico de aluminio aeronáutico con ventilador de refrigeración garantiza un tiempo de trabajo prolongado y continuo
6. Equipado con placa controladora de corriente constante que garantiza una salida estable potencia Óptica óptima, bajo calor sin placa de controlador externo.

Tabla 5.

Especificaciones del Módulo Láser

Especificaciones	
Longitud de onda:	445nm (luz azul)
Voltaje de funcionamiento:	12V DC(8-15V) potencia de salida constante ¿No Cambio con cambio de voltaje
Corriente de alimentación:	>2A
Fuente de alimentación y de Control de la interfaz:	2,54-3P (fuente de alimentación de potencia PWM de Control) 2,54-2P TTL (Control)
Tipo de mancha:	Dot (enfocable)
Material de la carcasa:	De aluminio superficie ánodo negro
Módulo de Material:	Cobre
Método de enfriamiento:	Enfriamiento de aire forzado
Otra función de interfaz:	TTL Control PWM control láser de potencia de salida

Nota: Especificaciones de características eléctricas y funcionamiento de un módulo láser, por Yveet Store, 2022, AliExpress (bit.ly/3jnfDEE).

Figura 24.

Modulo diodo láser azul enfocable



Nota: Módulo de diodos láser 5500 W, cabezal cortador enfocable, 445nm, por Yveet Store, 2022, AliExpress (bit.ly/3jnfDEE).

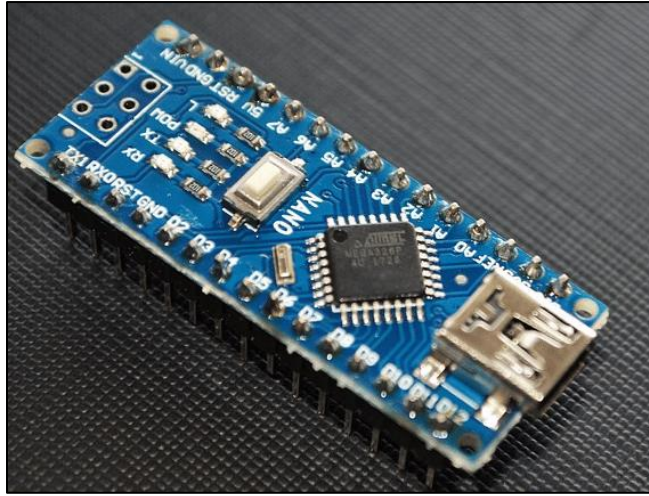
5.7.1.3.5 Arduino Nano. Arduino nano es una placa de desarrollo bastante compacta con muchas de las funciones que te puede dar un Arduino UNO o MEGA. Basado en un microcontrolador de la marca Atmel, con un ATmega328 para sus versiones actuales, esta compacta placa del proyecto Arduino es una de las favoritas para prototipado debido al su perfecto acoplamiento con las protoboard.

Esta tarjeta electrónica no posee un plug de carga (enchufe de carga) para utilizarlo con fuentes externas, es decir, puedes alimentarlo con el mismo cable con el que se carga el programa a su memoria de datos.

Un Arduino nano te puede servir para desarrollar proyectos en los cuales requieras utilizar un espacio reducido debido a que puede funcionar con la misma potencia del UNO, pero de una manera más compacta y fácil de adaptar.

Figura 25.

Arduino NANO



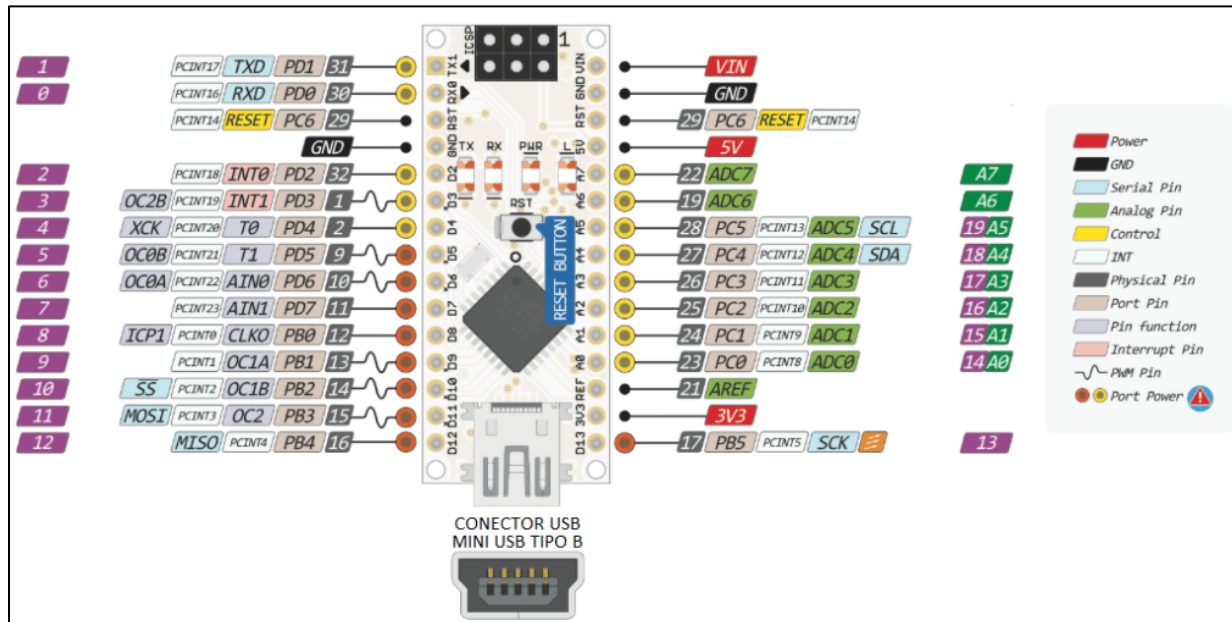
Nota: EL gráfico muestra un modelo comercial de Arduino NANO, por MicroControladores, 2022, Microcontroladores (bit.ly/3Yksmqn).

Las características de un Arduino NANO son muy parecidas a las del UNO, en la lista de abajo tendrás algunas de sus características recuerda que siempre puedes revisar tu hoja de datos.

- Operan a nivel lógico con 5 V, es decir para enviar un 1L a tu placa debes enviar 5V.
- Para funcionar de una manera correcta debes alimentarlo con un voltaje de entre 7 V hasta 12 V.
- Puedes usar 14 pines como entrada y salida digitales.
- De los 14 pines que puedes utilizar, en 6 de ellos puedes aplicar PWM que, por ejemplo, puedes usar para el control de motores.
- Para utilizar elementos como los potenciómetros tienes 8 entradas analógicas.
- Opera a una velocidad de 16 MHz gracias a su oscilador interno.
- Corriente recomendada para su operación 20mA por pin.

Figura 26.

Diagrama Arduino NANO



Nota: El gráfico muestra un diagrama de características de un Arduino NANO, así, como del número de sus pines, por MicroControladores, 2022, Microcontroladores (bit.ly/3Yksmqn).

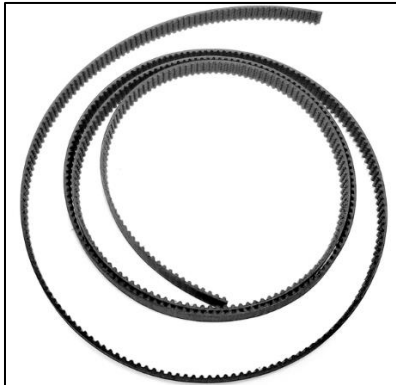
5.7.1.3.6 Banda Dentada 2GT – 6mm. La banda dentada o correa dentada 2GT de sincronización es un componente ideal para proyectos de automatización, maquinas CNC e impresoras 3D. Esta banda puede ser de lazo abierto o cerrado; es decir puede ser ajustada dependiendo de la necesidad del proyecto. Este tipo de banda dentada trabaja en conjunto con una polea dentada, la cual va montada sobre el eje de un motor a pasos PAP Nema 17 y Nema 23, lo cual permite crear un desplazamiento o movimiento lineal; esto hace que sea adecuado para manipuladores cartesianos.

La correa dentada GT2 o 2GT está hecha de neopreno y tienen cuerdas de fibra de vidrio como refuerza; neopreno es una familia de cauchos sintéticos basadas en el policloropreno (polímero del cloropreno). El neopreno, llamado originalmente dupreno (duprene en inglés), fue la primera goma sintética producida a escala industrial. La fibra de vidrio se conoce comúnmente como un agente de refuerzo con muchos productos poliméricos como el neopreno.; normalmente se usa para conformar plástico reforzado con vidrio que por metonimia también se denomina fibra de vidrio, una forma de material compuesto consistente en polímero reforzado con fibra.

(NATYTEC, 2022). También existen otras versiones hechas de poliuretano termo-plástico, con cables de refuerzo internos; las cuales tienen un fuerte anti desgaste y una pequeña tolerancia de producción.

Figura 27.

Banda dentada 2GT

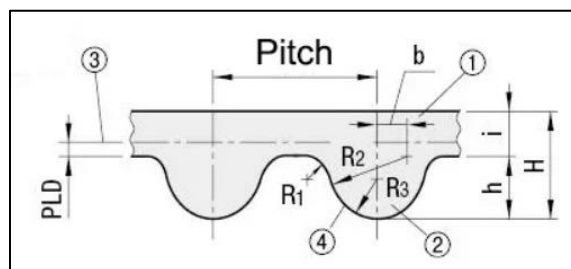


Nota: El gráfico muestra una banda dentada 2GT, por NovaTronic, 2023, NOVATRONIC (bit.ly/3kFFBDH).

Este tipo de bandas o correas dentadas tienen una transmisión confiable y estabilidad fina del tamaño con separación estandarizada entre los dientes. La arquitectura de una banda de entada se puede observar en la Figura 28 que se muestra a continuación.

Figura 28.

Arquitectura de una banda dentada 2GT



Nota: El gráfico muestra la arquitectura de una banda dentada 2GT, por GKTOOLS, 2022, GKTOOLS (bit.ly/41JlxkP).

Los parámetros mostrados en la Figura 28 corresponden a los valores que se muestran en la Tabla 6 que se presenta a continuación.

Tabla 6.*Arquitectura de banda dentada 2GT*

Tipo	Pitch (Paso)	R1	R2	R3	b	H	h	i	PLD
2GT	2	0.15	1	0.555	0.4	1.38	0.75	0.63	0.254

Nota: Especificaciones de una banda dentada 2GT, por GKTOOLS, 2022, GKTOOLS (bit.ly/41JlxkP).

Las principales características comerciales de una banda dentada 2GT son las siguientes:

Tabla 7.*Características comerciales de una banda dentada 2GT*

Descripción	
Material	Poliuretano / Neopreno
Pitch (Paso)	2 mm
Ancho	6 mm
Altura de banda	1.38 mm a 1.52 mm
Dientes por metro	500
Punto de quiebre	516 N
Tensión bajo trabajo	27 N
Temperatura de Trabajo	-40° C a 140° C

Nota: Características comerciales de una banda dentada 2GT, por AElectronics 2022, AELECTRONICS (bit.ly/3EEmOzu).

5.7.1.3.7 Varilla Lisa de Acero Inoxidable Redonda 5mm. Para que el movimiento sea simétrico a lo largo de la estructura en el eje Y, se precisa de una varilla redonda que cumpla el papel de guía para el movimiento, para esto se considera una varilla lisa de acero inoxidable de 5 mm de diámetro, la cual cumple con la norma ASTM A276 /A484.

Figura 29.

Varilla lisa de acero inoxidable redonda

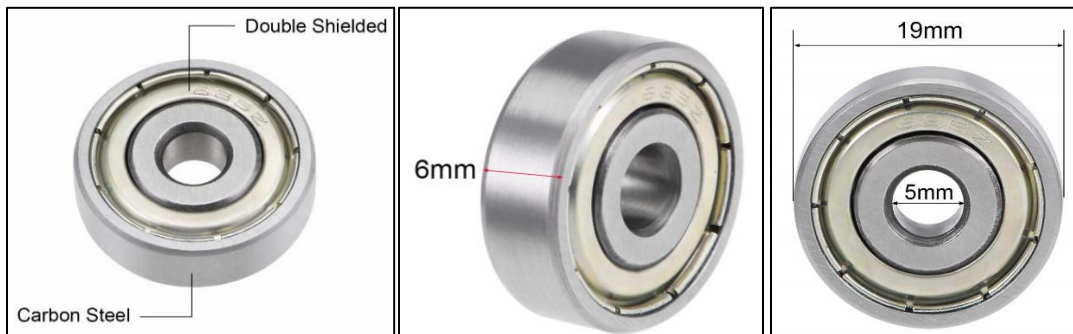


Nota: Varilla redonda lisa de acero inoxidable, de 5 mm de diámetro para guía de movimiento, por Miss linda Jane Song, 2016, Suzhou Weipeng Precision Machinery Co., Ltd. (bit.ly/40qpeuT).

5.7.1.3.8 Rodamientos de Bolas 635ZZ

Figura 30.

Rodamiento 635ZZ



Nota: El grafico muestra un rodamiento de bolas 635ZZ, por Uxcell, 2023, Amazon (amzn.to/3Y7K5R6).

El rodamiento correspondiente al modelo 635ZZ es un rodamiento de bolas de ranura profunda, el cual cumple con las siguientes especificaciones.

Tabla 8.

Especificaciones rodamiento 635ZZ

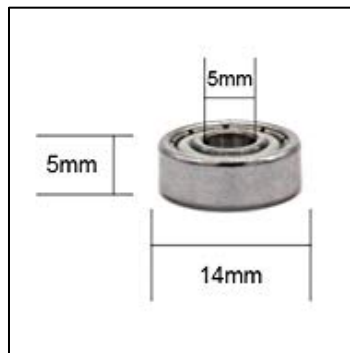
Característica	Detalle
Modelo	635ZZ
Material Principal	Acero al carbono
Jaula	Acero
Material de la bola	Acero para rodamientos
Diámetro Interior	5 mm
Diámetro Exterior	19 mm
Grosor	6 mm
Precisión	P0 (Normal)
Tolerancia	0.0508 mm

Nota: Especificaciones un rodamiento de bolas 635ZZ, por Uxcell, 2023, Amazon (amzn.to/3Y7K5R6).

5.7.1.3.9 Rodamientos de Bolas 605ZZ

Figura 31.

Rodamiento 605ZZ



Nota: El grafico muestra un rodamiento de bolas 605ZZ, por FortunePerfec, 2023, Amazon (amzn.to/3Z7FqQI).

El rodamiento 605ZZ es un rodamiento de bolas de ranura profunda que cumple las siguientes especificaciones

Tabla 9.

Especificaciones rodamiento 605ZZ

Característica	Detalle
Modelo	605ZZ
Material Principal	Acero para rodamientos
Jaula	Acero
Material de la bola	Acero de rodamiento
Diámetro Interior	5 mm
Diámetro Exterior	14 mm
Grosor	5 mm
Precisión	P0 (Normal)
Tolerancia	0.0508 mm

Nota: El grafico muestra un rodamiento de bolas 605ZZ, por FortunePerfec, 2023, Amazon (amzn.to/3Z7FqQI).

5.7.1.4 Materiales de Software. Entre los materiales de Software que se utilizaron para realizar el diseño CAD del prototipo, para el sistema de control de la máquina herramienta, y para realizar el grabado y corte laser, tenemos.

5.7.1.4.1 AUTODESK. Para el diseño CAD de los componentes y materiales que conforman el prototipo se utiliza el software AUTODESK-Tinkercad y posteriormente de exporta al Software AUTODESK-Fusión 360; para obtener un acabado más detallado y profesional de la pieza.

AUTODESK-Tinkercad es un software gratuito que permite realizar el modelado en 3D de las piezas que conforman el prototipo; de una manera interactiva mediante un método

simplificado de geometría sólida para la construcción de objetos. A partir del diseño mediante este software se puede exportar dichos diseños en formatos STL, GLTF y OBJ; los cuales se pueden utilizar para realizar su impresión en 3D. Además, nos permite exportar los diseños en formato SVG para corte por láser en caso de requerirlo.

AUTODESK-Fusión 360 es una plataforma de software CAD, CAM, CAE y de circuitos impresos de modelado 3D basada en la nube para el diseño y la manufactura de productos. Esta plataforma está enfocada en la educación, de manera que cualquier persona pueda ir de cero a un prototipo en poco tiempo. Fusión 360 es un software pago para empresas, pero cuenta con una versión gratuita para estudiantes, de manera que permita al mismo; proyectar, diseñar y crear productos garantizando su ajuste, estética, forma y función.

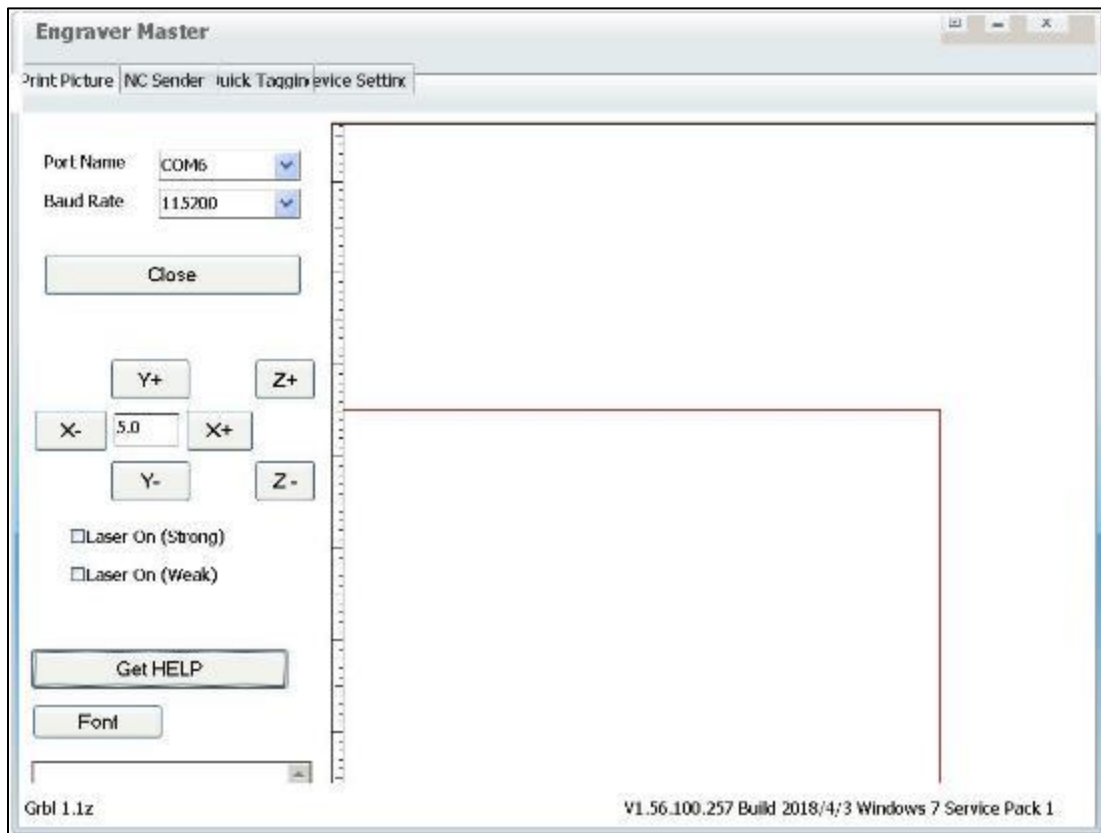
5.7.1.4.2 Engraver Master. Es un programa de computadora gratuito generador de instrucciones en G-code, que sirve para realizar grabado y corte en distintos materiales; algunos de ellos cómo: mdf, madera de corcho, papel, cartón, cuero, acrílico, etc. No es necesario especificar el tipo de material en el programa.

Los parámetros que hay que dominar son el ajuste de la velocidad, potencia y la distancia focal. Cómo bien sabemos la velocidad se refiere a que tan rápido deseamos que el grabado dure y la potencia que tan marcado queremos el grabado.

La distancia focal o longitud focal de un lente es la distancia entre el centro óptico de la lente y el foco, este factor es muy importante, por eso este software incluye la opción de encendido del láser con el propósito de que el operario pueda enfocar manualmente el haz de luz, dependiendo del espesor del material a trabajar.

Figura 32.

Software Engraver Master



Nota: Software Engraver Master el cual nos permitirá vectorizar la imagen y configurar ciertos parámetros de la máquina CNC necesarios para el corte y grabado láser, por Reddit ,2019, Reddit (bit.ly/3Ryf33j).

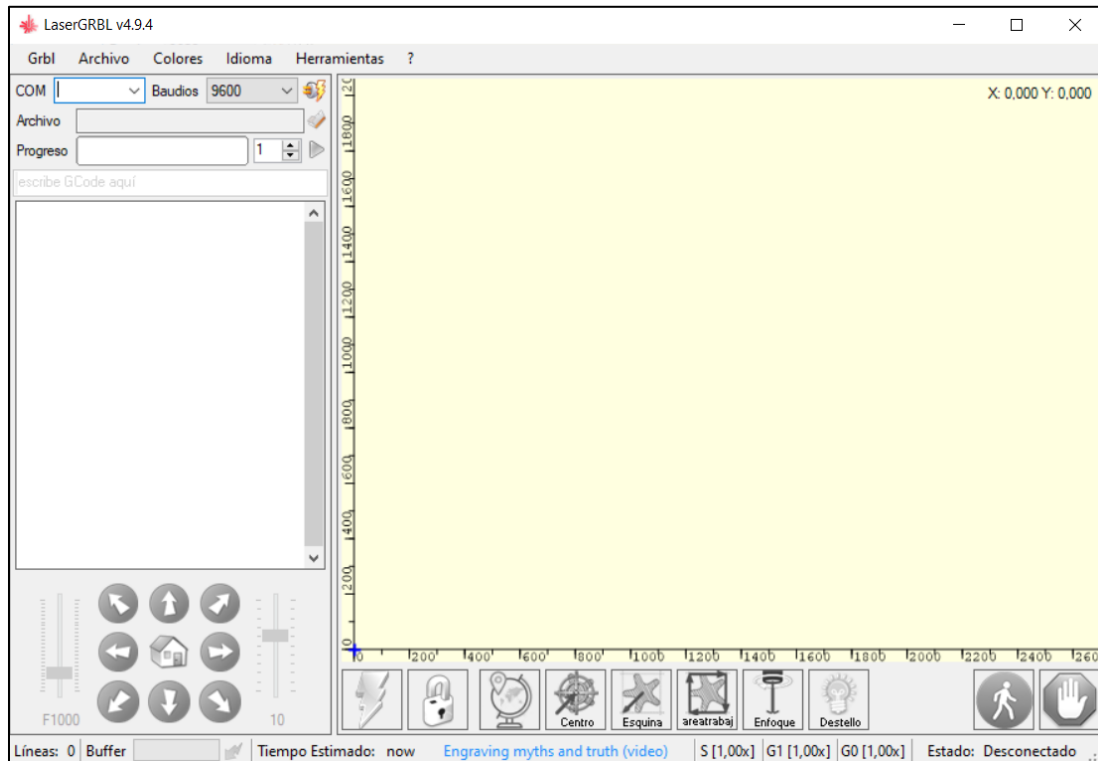
5.7.1.4.3 Laser GRBL. LaserGRBL es un software gratuito y de código abierto el cual transmitir código G-Code a Arduino y grabar imágenes, fotografías o logos. Además de poder cargar G-codes para enviar al láser, lleva integrado un generador de G-code a partir de imágenes, generando una salida rasterizada en escala de grises de líneas o puntos y salida en B/W. También es posible vectorizar imágenes, LaserGRBL no tiene problemas a la hora de grabar o cortar. (Pardo, 2021)

Tanto el código fuente (GPLv3) como el binario compatible con Windows están disponibles a través de GitHub, está en varios idiomas, entre ellos español. Cabe mencionar que

este software requiere de cierto tiempo de adaptación y varias sesiones de prueba y error, sin embargo, el manejo es sencillo y práctico, dándonos resultados muy buenos.

Figura 33.

Software LaserGRBL



Nota: Software LaserGRBL el cual permite enviar G-code a nuestro módulo electrónico para realizar corte y grabado láser. Por Lisandro Pardo, 2021, NeoTeo (bit.ly/3JhxIhe).

5.7.1.4.4 Inkscape. Inkscape es un software de vectores gráficos para Windows, Mac OS X y GNU/Linux, utilizado para crear y diseñar ilustraciones como iconos, logos, diagramas, etc. Inkscape es libre y de código abierto, que utiliza SVG (Scalable Vector Graphic). El estándar abierto de W3C como formato nativo.

Inkscape tiene una interfaz sencilla y fácil de comprender; con funcionalidades personalizables, soporte multi-idomas y está diseñado para ser extensible. Además, permite la importación y exportación de archivos con formato como: SVG, AI, EPS, PDF, PS, PNG entre otros. (Inkscape.org, 2019)

5.7.1.4.5 CorelDRAW. CorelDraw, es la aplicación principal de la suite de programas CorelDRAW Graphics Suite ofrecida por la corporación Corel y que está diseñada para suplir múltiples necesidades, como el dibujo, vectorización de imágenes, la maquetación de páginas para impresión y la publicación web, todas incluidas en un mismo programa. Es un programa que mantiene características similares a Adobe InDesign Photoshop o Illustrator. (Morcillo, 2022)

Este software, permite al usuario elegir entre diferentes versiones; las cuales son profesionales y no profesionales y cada una de ellas se ajusta al nivel que dispongas, con interfaces fáciles de navegar. CorelDraw trabaja especialmente con vectores lo cual es muy útil para diseñar y crear logotipos, iconos, folletos, tarjetas de visita, etc.

CorelDraw es un software pago, sin embargo, mantiene una versión de prueba gratuita para que el usuario tenga la opción de probar su funcionamiento por un lapso de días; y de esta manera decida si desea comprar la licencia o un plan de suscripción mensual o anual. Además, al adquirir una licencia o plan de suscripción, esto incluye extras como fotos, cliparts, fuentes, video tutoriales, etc.

5.7.1.5 Materiales de Hardware. Para el correcto desarrollo y pruebas de funcionamiento del prototipo se necesitaron los siguientes componentes de hardware que se detalla a continuación.

5.7.1.5.1 Computadora o Laptop. Para la implementación de del sistema de control de la máquina herramienta se necesita una laptop en la cual se realizará la instalación del software Engraver Master.

Figura 34.

Laptop



Nota: El gráfico nos muestra la Laptop que se utilizó para la instalación del software Engraver Master, por Grupo LAAR, 2021, YaEsta.com (bit.ly/3kYr99E).

5.7.1.5.2 Gafas de Protección. Considerando que la seguridad es un factor fundamental, siempre se debe contar con todas las medidas de seguridad para evitar riesgos en nuestra salud. El trabajar con fuentes de luz como lo es el láser, se debe utilizar gafas de protección para salvaguardar la integridad de los ojos, ya que son los que directamente se ven afectados.

Las características de las gafas de protección son las siguientes:

- Tamaño: 16x13,5x5,5 cm
- Color: VERDE
- Material: PC (policarbonato)
- Grosor de la lente: 2mm
- Rango de longitudes de onda: 200-2000nm
- Densidad óptica: OD = 4 +
- Transmitancia de luz Visible: 75%
- Características de protección: absorción total
- Adecuado para láser: láser infrarrojo/láser YAG/láser semiconductor/equipo de belleza láser dedicado a depilación

Es importante mencionar que las gafas verdes se adaptan para proteger del láser rojo, púrpura y azul, pero no del láser verde.

Figura 35.

Gafas de protección láser



Nota: Gafas de protección para laser rojo, purpura y azul, por Mundo Herramienta, 2022, Mundo Herramienta (bit.ly/3wUNPuk).

5.7.1.5.3 Herramientas Varias. Para la construcción y armado del prototipo, se necesita la ayuda de varias herramientas que nos permitan fijar, asegurar y adecuar cada parte del prototipo en su respectivo lugar, estas herramientas se enlistan a continuación

- ✓ Llave inglesa
- ✓ Llave de boca (Nº 8, Nº 5)
- ✓ Destornillador de estrella
- ✓ Destornillador plano
- ✓ Llave Allen (1.5, 2, 2.5 mm)
- ✓ Arco de sierra (Sierra para metales)
- ✓ Lima para metales
- ✓ Cúter
- ✓ Papel Lija
- ✓ Cortafrío

5.7.1.6 Materiales de Ensayos y Pruebas. Para la puesta en funcionamiento del prototipo se necesita materiales en los cuales realizar ensayos y pruebas de funcionamiento, tanto para grabado como para corte con láser. Para esto, con ayuda de la una previa revisión bibliográfica, se recopiló una lista de materiales no metálicos con los que se puede trabajar; de los cuales en su totalidad se pueden realizar tareas de grabado, pero solo en algunos se puede realizar corte, esto de acuerdo a la consistencia y espesor del material. Entre los materiales que se han considerado para realizar las respectivas pruebas de funcionamiento tenemos:

- ✓ MDF.
- ✓ Madera de balsa.
- ✓ Madera de corcho.
- ✓ Foami
- ✓ Plástico
- ✓ Acrílico

- ✓ Cartulina
- ✓ Papel cartón
- ✓ Cuero y Cuerina
- ✓ Papel adhesivo
- ✓ Acetato transparente

5.7.2 Diseño Estructural

En este apartado se presentan las diferentes alternativas consideradas para el diseño de la estructura del prototipo. Considerando que se trata del diseño de un prototipo, por ello se realizan modificaciones, desde el concepto inicial al resultado final del mismo; por lo tanto, se presentan los pros y contras de forma objetiva, mediante un sistema de puntuación que va desde 1 a 10; siendo 1 la calificación más baja y 10 la calificación más alta. Para esto se consideran los siguientes apartados:

5.7.2.1 Sistema Estructural. Para seleccionar la mejor alternativa en cuanto al diseño estructural se deben considerar los criterios claves que caracterizan a cada sistema, estos criterios parten a partir de su diseño de forma; de tal modo que consideraremos las alternativas más comunes en máquinas CNC.

5.7.2.1.1 Tipo Cantiléver. También conocida como estructura en voladizo, se trata de un diseño el cual consta de una mesa fija y un brazo en voladizo (cantiléver). El brazo, el cual es la parte móvil de la estructura; necesariamente debe estar sujeto en una mesa capaz de soportar todo el peso de la estructura móvil. A continuación, se presentan las características principales de este tipo de estructura.

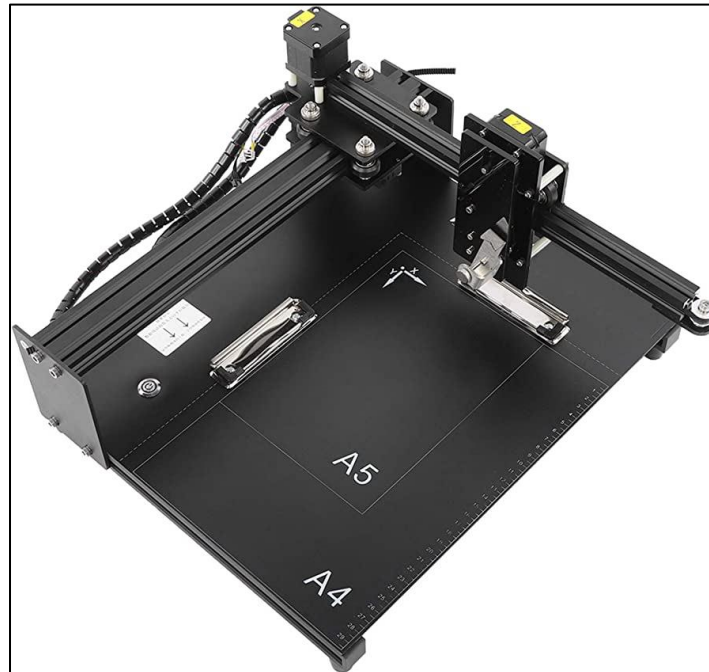
Características:

- ✓ Mesa de trabajo fija.
- ✓ Los movimientos en las coordenadas X e Y los realiza el brazo cantiléver.
- ✓ Estructura abierta con acceso fácil para carga y descarga del material a trabajar.
- ✓ Permite una buena inspección del trabajo o funcionamiento.
- ✓ Estructura pesada para soportar el brazo móvil.
- ✓ Área limitada y reducida.

- ✓ Perdida de precisión por caída o pandeo del brazo.

Figura 36.

CNC Tipo Brazo Cantiléver



Nota: El gráfico muestra una máquina CNC de tipo brazo cantiléver, por ARROWMAX, 2022, Amazon (amzn.to/3ZsioEa).

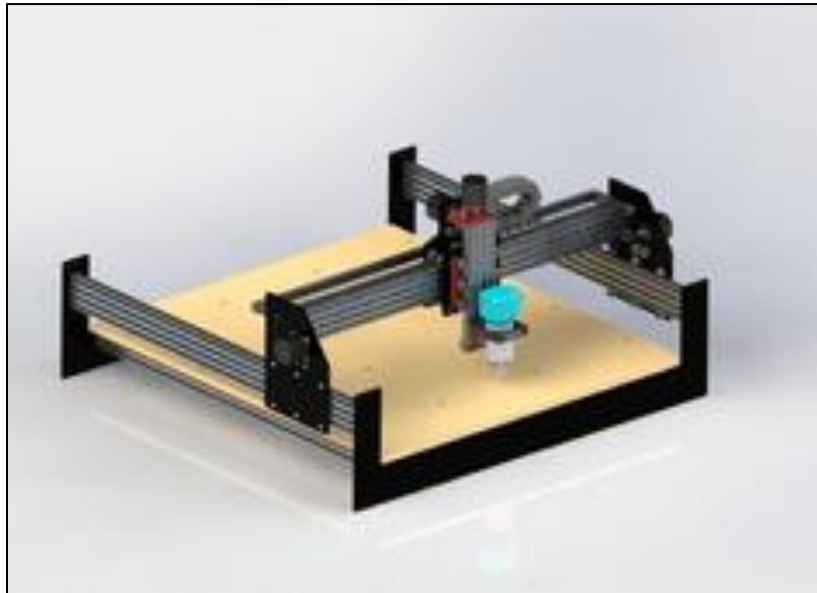
5.7.2.1.2 Tipo Puente Móvil – Mesa Fija. Se trata de un tipo de máquina CNC que está compuesta por una mesa fija y un puente móvil, que es el encargado de realizar los movimientos cartesianos X e Y; este puente tiene dos puntos de apoyo en la estructura (mesa), para su movimiento. En este tipo de estructura el husillo de grabado o corte se encuentra en el puente móvil.

Características:

- ✓ Mayor estabilidad del husillo de trabajo.
- ✓ Permite un área de trabajo de grandes dimensiones
- ✓ Fácil de manejar, debido a su forma se adapta a cualquier trabajo.
- ✓ Mayor precisión, debido a la estabilidad del husillo.
- ✓ Estructura robusta y estable (depende el material de construcción).
- ✓ La altura del puente móvil limita el tamaño o altura del material a trabajar.

Figura 37.

CNC Tipo Puente móvil – Mesa Fija



Nota: El gráfico muestra una máquina CNC de tipo puente móvil- mesa fija, por ControlMX, 2022, Amazon (bit.ly/3ZLKXMF).

5.7.1.1.3 Tipo Puente Fijo – Mesa Móvil. Este tipo de máquina CNC está compuesta por un puente fijo en la estructura base, y la mesa de trabajo es de carácter móvil, es decir se encarga del movimiento en uno de los ejes coordenados, hay que mencionar que el husillo también es móvil a lo largo del puente y este complementaria el movimiento en el otro eje correspondiente.

Características:

- ✓ Soportes fijos para el puente.
- ✓ Requiere soportes laterales para el desplazamiento de la mesa móvil.
- ✓ Estructura robusta y pesada (Depende del tamaño de la mesa móvil)
- ✓ El área de trabajo corresponde a las dimensiones de la estructura fija.
- ✓ Mayor precisión.
- ✓ La altura del puente móvil limita el tamaño o altura del material a trabajar
- ✓ Permite una buena inspección del trabajo o funcionamiento.

Figura 38.

CNC Tipo Puente fijo – Mesa móvil



Nota: El gráfico muestra una máquina CNC de tipo puente fijo- mesa móvil, por Soluciones Industriales, 2023, Soluciones Industriales (bit.ly/3SS4vww).

A continuación, se pondera los criterios considerados para la toma de decisión del sistema estructural a implementar en el prototipo.

- **Funcionabilidad:** Se dará mayor puntuación al diseño que permita realizar diferentes operaciones al momento de mecanizar, un mejor manejo del material a trabajar y un área de trabajo mayor.
- **Versatilidad:** Se dará mayor puntuación a la máquina que permita la adecuación para diferentes trabajos diferentes al corte y grabado láser (Mecanizados, plotters, fresadoras, etc.).
- **Precisión:** Se asignará una mayor puntuación al diseño que brinde mayor precisión y estabilidad de funcionamiento al momento de su funcionamiento.
- **Costos:** Se puntuará considerando el diseño que permita bajo costo utilizando materiales de buena calidad para su construcción.
- **Seguridad:** Se valorará el diseño que ofrezca alta seguridad durante su funcionamiento; tanto para el operario como para la máquina.
- **Mantenimiento:** Se asignará una mayor calificación al diseño que permita una fácil construcción y mantenimiento tanto preventivo como correctivo.

Tabla 10.*Matriz de decisión - Diseño estructural*

	Funcionabilidad	Versatilidad	Precisión	Costos	Seguridad	Mantenimiento	Total
Tipo cantiléver	8	7	7	9	7	8	46
Tipo Puente móvil – Mesa Fija	9	9	9	8	8	8	51
Tipo Puente fijo – Mesa móvil	9	8	9	7	8	7	48

Nota: Matriz de decisión para la selección del diseño estructural del prototipo. Por El Autor.

En la Tabla 10, se puede observar que el diseño de Tipo puente móvil – mesa fija obtuvo una mayor calificación considerando los criterios establecidos de acuerdo a lo que requiere el prototipo.

5.7.2.2 Marco de la Estructura. Para la elaboración de la estructura es necesario un marco principal en donde se acoplarán las diferentes partes que componen el prototipo, se consideraron varios materiales para su elaboración, los cuales se detallan a continuación.

5.7.2.2.1 Perfiles de Madera. La madera es un gran elemento para la elaboración y construcción de estructuras debido a su fácil manipulación y versatilidad; además, es un elemento que brinda una muy buena rigidez y podemos encontrar maderas provenientes de diferentes tipos de árboles como son: Pino, Abeto, Nogal, Olivo, entre otros. Entre los aspectos negativos que este material posee es que se necesita de herramientas especiales para obtener las piezas con un corte preciso y así cumplir con lo mínimo requerido por el prototipo. Cabe mencionar que la madera se comercializa por tableros o piezas enteras, lo cual aumenta su costo y genera un desperdicio de material.

Figura 39.

Madera para construcción y muebles



Nota: Alternativa – madera considerada para la elaboración del marco de la estructura. Por Leroy Merlin, 2022, Leroy Merlin (bit.ly/3L3OKRp).

5.7.2.2 Perfiles de Aluminio V-Slot. El aluminio es un material muy ligero y resistente, por lo que lo hace adecuado para la construcción de estructuras rígidas pero livianas. Actualmente existen variedad de perfiles de aluminio a los que se les da varios usos de acuerdo a lo requerido; uno de ellos es el perfil V-slot, el cual por sus características físicas es muy utilizado en la construcción de máquinas – herramientas.

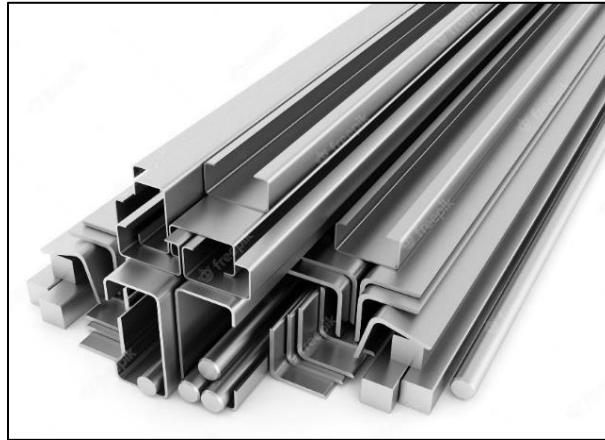
Este tipo de perfiles es fácil de conseguir en nuestro entorno a precios económicos, lo cual es una gran ventaja que ofrece. Además, su diseño permite la adecuación fácilmente de sistemas de movimiento a través de los rieles con los que este perfil cuenta.

5.7.2.3 Perfil de Acero Galvanizado. El acero galvanizado es un material de gran uso para la construcción de estructuras, debido a que brinda mucha resistencia, pero a su vez aporta bastante peso a la estructura. Además, debido a su dureza es mucho más difícil de trabajar; para esto se necesita ciertas destrezas y herramientas que nos permitan obtener las piezas necesarias con gran precisión.

Otro aspecto que se debe considerar respecto a este material es su alto costo, lo cual es una gran desventaja al realizar un prototipo que se basa en una elaboración de bajo costo.

Figura 40.

Perfiles de Acero galvanizado



Nota: Alternativa – Acero Galvanizado considerado para la elaboración del marco de la estructura, por Freepick, 2023, Freepick (bit.ly/3IVGW1m).

Considerando las alternativas para la elaboración del marco de la estructura base, se ponderan los siguientes criterios para la toma de decisión. Observe la Tabla 11.

Tabla 11.

Matriz de decisión - Material estructura

	Funcionabilidad	Rigidez	Coste	Montaje	Total
<i>Perfil de Madera</i>	8	8	9	9	34
<i>Perfil V-slot (Aluminio)</i>	10	9	8	10	37
<i>Perfil de acero galvanizado</i>	9	9	7	8	33

Nota: Matriz de decisión para la selección del material para la estructura principal. Por El Autor.

Como se observa en la Tabla 11, el perfil V-slot obtuvo una mayor puntuación debido a que cuenta con muchas características que ayudan y a su vez facilitan la elaboración del prototipo de acuerdo a lo que éste requiere.

5.7.2.3 Soporte Base. Para la elaboración de las piezas que servirán de soporte de la estructura y de las piezas que ayudarán a la correcta fijación de cada uno de los componentes del prototipo, se consideran los siguientes materiales que se describen a continuación.

5.7.2.3.1 Madera. La madera es un material muy versátil para la elaboración de piezas, y brinda una gran facilidad para trabajar con este material, pero uno de los aspectos negativos es que la madera tiende a sufrir más desgaste debido a los movimientos y rozamientos; en comparación con otros materiales.

5.7.2.3.2 Plástico. El plástico es un material que nos brinda una gran posibilidad para la elaboración de piezas, sobre todo considerando que en la actualidad se puede elaborar piezas con ayuda de una impresora 3D, utilizando PLA (Ácido Poliláctico) como material base; lo cual nos permite obtener una gran precisión en los diseños, pues teóricamente una impresora 3D tiene un 0.01% de error en milímetro, lo cual es un error muy bajo.

La rigidez de las piezas dependerá mucho de la variación de relleno que se le dé a la pieza al momento de su impresión, siendo del 20% (generalmente) para piezas de poca exigencia y den 60-80% para piezas de alta exigencia. Además, las piezas elaboradas en PLA tienen valores de deformación muy bajos.

Tabla 12.

Matriz de decisión - Material piezas

	Rigidez	Precisión	Coste Material	Coste de Producción	Total
Madera	8	8	9	7	32
Plástico (PLA)	7	9	8	9	33

Nota: Matriz de decisión para la selección del material para las piezas de fijación de la estructura. Por El Autor.

En la Tabla 12, se observa que la elaboración de las piezas en plástico; para el armado de la estructura ha obtenido una mayor puntuación. En cuanto al tema de costes se ha considerado, criterios como: Ahorro de material, tiempo de producción, forma de elaboración, entre otros parámetros que afectan directamente la fabricación de una pieza, siguiendo la forma de mientras mayor ahorro, una mayor puntuación.

5.7.3 Diseño de Ejes Guías X, Y

Para el diseño de los ejes guías o sistema de guiado se deben considerar el uso de elementos que faciliten el movimiento tanto en el eje X como en el eje Y; y de esta manera cumplir con su función, minimizando las vibraciones, desvíos o atacamientos y brindando estabilidad de movimiento al prototipo. Para el diseño de los ejes guías se consideran los puntos que se exponen a continuación.

5.7.3.1 Sistema de Tracción o Transmisión de Potencia. El sistema de tracción es un factor clave en el diseño de los ejes guías, pues este sistema es el encargado de transmitir los movimientos de los motores y generar el desplazamiento a lo largo del riel, es decir, es el encargado de convertir los movimientos circulares del motor a movimientos lineales. Es importante que el sistema de transmisión cumple con diferentes parámetros como lo son: soporte de grandes distancias de acoplamiento, funcionamiento continuo y pares elevados.

Es de suma importancia al diseñar el sistema de transmisión de potencia, evitar rozamientos y juego angular, pues esto causaría pérdida tanto en la velocidad como en la precisión deseada. Las alternativas de transmisión de potencia que se consideraron son las siguientes:

5.7.3.1.1 Varilla Roscada (Husillo). Una varilla roscada o también conocida como vástago, son varillas helicoidales o trapezoidales, fabricadas en metal como acero, latón y acero inoxidable, esto hace que sea un material perfecto sobre todo cuando se utiliza como varilla de soporte. La principal diferencia entre una varilla helicoidal y una trapezoidal es que una varilla trapezoidal tiene características de autobloqueo o autobloqueo residual (autobloqueo significa que no pueden moverse aplicando una fuerza axial, es decir solo se mueven aplicando rotación) a diferencia de la varilla helicoidal que no tiene ninguna característica de autobloqueo; pero ambas son utilizadas para máquinas herramientas CNC.

Este tipo de alternativa para la transmisión de movimiento, ofrece una precisión muy alta (excepto por el Backlash o contragolpe), velocidades más bajas en comparación a otro sistema de transmisión como lo es el de las correas dentadas. Una varilla roscada ofrece una gran durabilidad, es por ello que el costo de usar este sistema es alto.

Figura 41.

Varilla roscada



Nota: El gráfico muestra husillos de varilla roscada utilizada para máquinas – herramientas CNC, por ECUAINSETEC CIA. LTDA, 2023, ECUAINSETEC CIA. LTDA (bit.ly/3ZKs4tK).

5.7.3.1.2 Banda o Correa Dentada. Una banda o correa dentada es un elemento de constitución flexible, las cuales trabajan en conjunto con poleas a las cuales se acoplan, con el objetivo de transmitir pares de giro. Una correa dentada se compone de un cuerpo de tejido engomado y moldeado que lleva en insertado en su interior un elemento tensor de gran flexibilidad y resistencia. Entre los aspectos a destacar de este sistema de transmisión es que reducen las vibraciones producidas, tanto del eje conductor como las vibraciones al eje conducido; actuando así como amortiguador dentro del sistema. Además, son muy utilizadas para movimientos de precisión pues los dientes que esta contiene al encajar sobre las poleas aseguran una transmisión

exacta. Pero se debe mencionar que requieren un mayor mantenimiento, pues con un buen tiempo de uso frecuente, éstas pueden sufrir dilatación, generando pérdidas de precisión.

A continuación, se presentan los criterios considerados para la toma de decisión respecto a sistema de transmisión a implementar.

Tabla 13.

Matriz de decisión - Sistema de transmisión

	Precisión	Velocidad	Eficiencia	Fricción	Montaje	Costo	Mercado	Total
Varilla roscada (Husillo)	10	7	9	8	9	7	7	57
Banda o Correa Dentada	9	9	9	10	9	10	10	66

Nota: Matriz de decisión para la selección del sistema de transmisión. Por El Autor.

En la Tabla 13 se observa que el sistema de transmisión por banda o correa dentada obtiene una mayor puntuación, esto se debe a que una banda dentada es mucho más fácil de encontrar en el mercado local a un precio relativamente bajo, además, al ser un material flexible y de gran resistencia, disminuye la fricción y reduce las vibraciones producidas al generar el movimiento.

5.7.3.2 Motores de Trabajo. La selección de los motores de trabajo es un apartado muy importante, de estos depende el trabajo y movimiento del prototipo de grabadora y cortadora láser. Comercialmente existen varios tipos de motores eléctricos de corriente continua, los cuales brindan la potencia necesaria para realizar el movimiento de los carros en el eje X e Y en una máquina CNC, pero éstos se seleccionan de acuerdo al trabajo que va a realizar el prototipo.

Para aplicaciones en máquinas CNC existen 3 alternativas en motores que son comunes, de las cuales a continuación se presenta una comparación entre ellas en donde se destaca las características y aplicaciones más relevantes; que nos permita la selección de la mejor opción, cumpliéndolos requerimientos del prototipo.

Tabla 14.

Comparación de Motores

Tipo de Motor	Características	Aplicaciones
Motor DC	Alto torque	Control de velocidad
	Alta velocidad	Control de lazo cerrado
	Económico	
Motor Paso a Paso	Micro pasos	Control de lazo abierto
	Alta precisión	Posicionamiento
	No apto para cargas variables	Micro movimientos de precisión
	Control ideal	
Servo Motores	Costo moderado	Posicionamiento
	Velocidad moderada	Controles de velocidad
	Buen torque	Control de lazo cerrado

Nota: Comparación entre motores de uso común para máquinas - herramientas CNC para la selección de actuadores de movimiento del prototipo. Por El Autor.

De las características que se presentan en la Tabla 14, el criterio más importante a considerar para la selección de los motores son los micro pasos, los cuales cumplen con el requerimiento de pequeños movimientos para mecanizar espacios pequeños con inercia baja

Tabla 15.*Matriz de decisión Motores*

	Torque	Costo	Potencia/Peso	Precisión	Funcionamiento	Mantenimiento	Total
Motor DC	9	9	8	7	8	8	49
Motor Paso a Paso	8	9	8	10	9	9	53
Servo Motores	9	8	8	8	9	8	50

Nota: Matriz de decisión para la selección de motores a implementar en el prototipo. Por El Autor.

Se puede observar en la Tabla 15, que el motor paso a paso (steppers motors) obtiene una mayor calificación, debido a que los requerimientos del prototipo se orientan a tener una alta precisión; y este tipo de motor cumple con ese requerimiento, pues su principal característica es el hecho de poder moverlos un paso a la vez, estos micro pasos son esenciales para obtener resultados de alta precisión. Además, son relativamente fáciles de conseguir comercialmente, por ende, el fácil mantenimiento de este tipo de motores es otro de los aspectos de gran importancia. En cuanto a costo, mantienen una gran relación calidad/precio, lo cual es un aspecto por el cual es muy común su uso en proyectos de máquinas CNC.

Una vez seleccionado el tipo de motores a usar, en este caso motores paso a paso; se procede a seleccionar el modelo de motor paso a paso. Para esto se han considerado dos modelos que son de uso habitual en este tipo de proyectos; estos son el motor Nema 17 y el motor Nema 23. Observe la Tabla 16.

Tabla 16.*Comparación Motores Nema 17 - 23*

	Torque (N)	Ángulo de paso (Grados)	Rango de Velocidad (RPM)	Diámetro (mm)	Peso (g)	Resistencia de fase (Ω)	Corriente nominal / fase (A)
Motor Nema 17	0.8	0.9, 1.8, 3.6	0-1000	43	390	1.65	1.68
Motor Nema 23	3.2	0.9, 1.8	0-1000	57	700	0.9	2.8

Nota: Comparación entre un motor Nema 17 y Nema 23. Por El Autor.

Con el fin de no sobrecargar la estructura se ha determinado el uso de los motores Nema 17, ya que estos motores tienen muy buenas prestaciones a pesar de su pequeño tamaño y peso. Estos motores nos brindan el torque y potencia suficiente para el uso que se les va a dar dentro del prototipo. De esta manera cuidamos el peso y funcionabilidad de la estructura en general del prototipo.

Se ha determinado el uso de un motor Nema 17 con pasos de 1.8° (200 pasos/revolución), el cual es ideal cuando se requiere control de giro y movimientos precisos; esto lo hace el tipo de motor ideal para aplicaciones de robótica y control.

5.7.4 Elemento de Grabado y Corte - Láser

Para la elaboración de este prototipo de máquina grabadora y cortadora láser, uno de los principales aspectos es la selección del láser a utilizar; pues este es el punto central en el desarrollo de este proyecto. El láser es el elemento encargado de realizar el trabajo de grabado y corte, de acuerdo a lo especificado en el alcance del prototipo planteado. Para esto se plantea una tabla en donde se exponen las características más relevantes de los tipos de láser considerados para este proyecto.

Tabla 17.*Comparativa entre tipos comunes de láser*

	Características	Aplicaciones
Láser de CO2	Potencias de salida altas. Acabados con bordes rectos. Necesita enfriamiento por aire o por agua. Coste moderado. Eficiencia de conversión de potencia No enfocable.	Corte y Grabado en gran cantidad de materiales Corte de materiales metálicos. Grabado con bajas potencias. Soldadura con láser. Fines militares (Telemetría)
Láser de diodo Semiconductor	Potencias de salida bajas. Variedad de módulos de diodos láser en el mercado. Bajo coste. Enfocable.	Grabado en materiales no metálicos Corte de materiales suaves y delgados (No metálicos). Aplicaciones para la piel.

Nota: Comparativa de los tipos de láser considerados para este proyecto. Por El Autor.

Considerando las características de cada uno de ellos se tomarán ciertos criterios para determinar el láser a utilizar en la construcción del prototipo.

Tabla 18.*Matriz de decisión - Láser*

	Precisión	Potencia	Coste	Montaje	Mercado	Total
Láser de CO2	10	10	8	8	8	44
Láser de diodo Semiconductor	10	8	9	10	10	47

Nota: Matriz de decisión para la selección del láser a utilizar en el desarrollo del prototipo. Por El Autor.

Según se observa en la Tabla 18 entre las alternativas consideradas, el láser de diodo semiconductor obtuvo una mayor calificación, esto debido que, aunque no se obtenga potencias de salida muy altas con este tipo de láser, es un láser que se encuentra con gran facilidad comercialmente, a precios más bajos en comparación con su competidor que en nuestro mercado local no hay variedad de este tipo de láser lo cual eleva su costo de adquisición. Otro punto importante es que el módulo de láser de diodo semiconductor es de fácil montaje y permite enfoque del haz de luz.

5.7.5 Diseño del Sistema de Control

El sistema de control es un factor de gran importancia al desarrollar una máquina CNC, pues es la parte medular del funcionamiento de este tipo de máquinas – herramientas. Para el sistema de control existen en el mercado varias Shield CNC, las cuales básicamente son un módulo de expansión de gran uso para máquinas de grabado y corte e impresoras 3D. Estas Shield CNC pueden trabajar en conjunto con una tarjeta de desarrollo que puede ser Arduino (en cualquiera de sus tipos) o Raspberry pi (cualquiera de sus modelos, a excepción de las discontinuadas); Drivers (para los motores y módulo láser) y una fuente de alimentación.

5.7.5.1 Tarjeta de Desarrollo. Para el sistema de control de una máquina CNC, se puede utilizar como tarjeta de desarrollo un Arduino o una Raspberry Pi. Esta será la encargada de contener la programación que controlará el sistema. Para el desarrollo del prototipo de cortadora y grabadora láser CNC, se han considerado estas dos opciones para el sistema de control; por su alta compatibilidad con Shield CNC disponibles en el mercado.

Para la selección de la tarjeta de desarrollo entre las alternativas consideradas (Arduino y Raspberry Pi), se presenta una tabla de las características más importantes de cada una de ellas, véase la Tabla 19.

Tabla 19.*Comparación entre Arduino - Raspberry Pi*

	Arduino	Raspberry Pi
Características	<ul style="list-style-type: none"> ○ Atmega328 Microcontrolador a 16Mhz. ○ Pines de entrada y salida digital. ○ Voltaje de Funcionamiento: 5V ○ Tiene un puerto USB solo para programación. ○ Tiene conversores A/D. ○ Baja dificultad de Programación. ○ No requiere un sistema operativo y contiene su propio entorno de desarrollo. ○ Bajo Costo 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Procesador Broadcom BCM2711, cuatro núcleos Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.5GHz. ○ Pines de entrada y salida digital a 3.3V. ○ Voltaje de Funcionamiento: 3.3V ○ Tiene puertos USB de propósito General. ○ No contiene conversores A/D. ○ Alta Dificultad de Programación. ○ Requiere sistema Operativo. ○ Costo Elevado

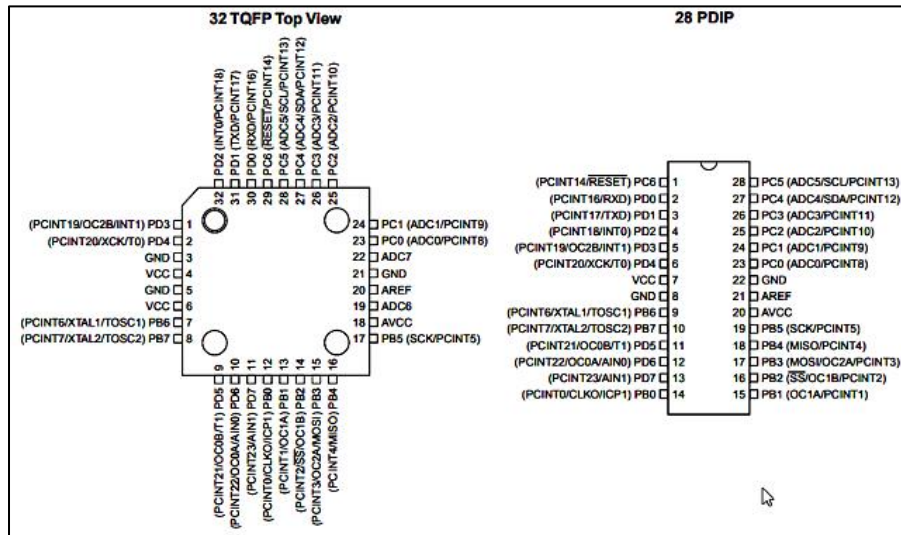
Nota: Comparativa Arduino – Raspberry Pi, para la selección de la tarjeta de desarrollo para el prototipo. Por El Autor.

Considerando los requerimientos del prototipo, y analizando las características de las tarjetas de desarrollo presentadas en la Tabla 19, se determina que la mejor opción es utilizar Arduino, pues nos brinda las prestaciones necesarias para el trabajo requerido. Además de su bajo costo, es compatible con cualquier plataforma y comercialmente existen muchas Shields que trabajan con Arduino para máquinas CNC.

Entre los tipos de Arduino de uso común para aplicaciones CNC tenemos: Arduino Uno, Mega y Nano; siendo este último el más usado debido a su tamaño compacto, pero a su vez mantiene las mismas prestaciones que un Arduino Uno, por ambos comparten microcontroladores de la serie ATmega328, con diferencia en el encapsulado; lo que hace que la configuración de pines sea diferente. Mientras Arduino Uno usa la configuración de pines de cápsula PDIP (encapsulado plástico de doble línea de pines), Arduino Nano utiliza la configuración de pines de cápsula TQFP (Thin Plastic Quad Flat Package = Cápsula Cuadrada Plástica Delgada); esto hace que tenga más conexiones al exterior. Observe la Figura 42.

Figura 42.

Diferencias entre configuración de pines TQFP - PDIP



Nota: Diferencias entre configuración de pines Arduino Nano (TQFP) y Arduino Uno (PDIP). Por ATMEL Corporation, 2019, ATMEL Corporation (bit.ly/3T0mn8L).

Por las características expuestas se determina el uso de Arduino Nano como tarjeta de desarrollo para el prototipo planteado, el cual en conjunto con el firmware GRBL v1.1 se encargará del control de los motores de pasos y del módulo láser, mediante G-code.

5.7.5.2 Shield CNC. Otro aspecto importante dentro del sistema de control es la Shield CNC, que es básicamente una extensión de hardware la cual trabaja en conjunto con la placa de control (Arduino Nano) y la placa de accionamiento (Drivers); para hacer funcionar motores paso a pasos, módulos láser, entre otros.

En base a la tarjeta de placa de control, que se seleccionó anteriormente en el apartado 5.7.5.1 (Arduino Nano), tenemos que utilizar una placa de control que sea compatible físicamente con este tipo de Arduino. Para esto la alternativa más óptima es utilizar una CNC Shield V4.0, la cual además de ser específicamente diseñada para trabajar con Arduino Nano, es capaz de controlar los tres ejes coordenados (X, Y, Z); esto la hace ser una tarjeta de expansión de hardware adecuada para máquinas – herramientas CNC, cumpliendo así los requerimientos planteados para el presente prototipo.

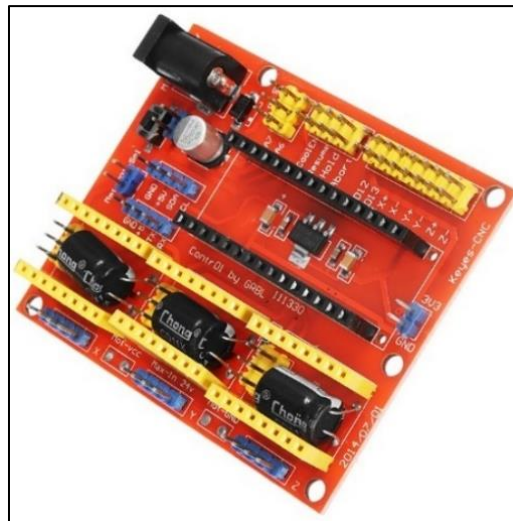
La CNC Shield V4.0 puede ser utilizada para la implementación de máquinas CNC, grabadoras láser, impresoras 3D, entre otras. Es compatible con los drivers Pololu A4988 (Allegro) o los DRV8825 (Texas Inst.).

Características:

- Compatibilidad con Arduino Nano.
- Voltaje de Potencia: 9-12V DC.
- Soporta 3 ejes (X, Y, Z).
- Compatible con GRBL (Firmware OpenSource para Arduino que convierte código-G en comandos para motores Paso a Paso).
- 2 fin de carrera por cada eje.
- Cuenta con tres ranuras (para motores paso a paso).
- Salida Serial I2C.
- Compatible con drivers A4988 o DRV8825.
- Conectores header o molex hembra de 4 pines.

Figura 43.

CNC Shield V4.0



Nota: CNC Shield V4.0 para Arduino Nano. Por AV Electronics, 2022, AV Electronics (bit.ly/3FbF1Vf).

5.7.5.3 Drivers. Entre las placas de accionamiento o drivers compatibles con la CNC Shield V4.0, tenemos los A4988 (Allegro) y los DRV8825 (Texas Inst.). Como se observa en la

Tabla 4 del apartado 6.1.3.3; Existe muy poca diferencia entre el driver A4988 y el DRV8825, a pesar de ser de diferente fabricante, ambos cumplen la misma función y soportan similares condiciones de trabajo.

Para el presente proyecto se ha propuesto la utilización de los drivers A4988, que a pesar de tener comercialmente precio similar al driver DRV8825; es mucho más común encontrarlo en nuestro mercado local.

5.7.6 Generalidades de la Programación

El control numérico computarizado CNC, se realiza mediante un programa de ordenador que es el encargado de generar el G-code, para proporcionar en su salida las instrucciones que el prototipo debe seguir al realizar el grabado o corte en un material.

Para realizar este proceso se considera lo siguiente:

- **Lenguaje de Programación:** las máquinas - herramientas CNC, generalmente manejan un lenguaje vectorial de bajo nivel; conocidos como códigos G y M (Generales y Misceláneas), los cuales se basan en un control interpolar que describen acciones lineales y circulares.
- **Códigos G:** Los códigos generales, también conocidos como geométricos o preparatorios, indican las características e instrucciones durante un proceso de mecanizado. La función G va acompañada de números que van del 0 al 99.
- **Códigos M:** Los códigos misceláneos, también conocidos como códigos auxiliares o complementarios, son utilizados para definir funciones específicas. Estos también van acompañados de números que van desde el 0 al 99.
- **Códigos F:** Estos códigos se usan para determinar el avance de un mecanizado, es decir especifican la velocidad con la que se desplaza la maquina mientras realiza la tarea. La función F va acompañada de la velocidad de avance predeterminada para el mecanizado.
- **Códigos S:** Estos códigos suelen ser utilizados con el propósito de programar la velocidad del husillo en r.p.m. (Para máquinas – herramientas que cuentan con sistema de transmisión de potencia mediante husillo). Estos códigos al igual que los códigos S, van acompañados de la velocidad de giro predeterminada para el husillo.

6. RESULTADOS

En esta sección se presentan en forma detallada los resultados obtenidos para cada una de las fases propuestas en la sección 5.6; las cuales llevan al cumplimiento de los objetivos planteados en el presente TT.

Cada etapa se subdivide en tareas; las cuales permiten el desarrollo de las mismas de forma ordenada.

6.1 Consideraciones de la Literatura

Como primera etapa dentro de la investigación para el desarrollo del tema propuesto en el presente TT, se realizó la revisión de la literatura referente a la temática planteada. Analizada la información recopilada, se determinaron los criterios fundamentales para el diseño y construcción del prototipo de cortadora y grabadora láser CNC para el centro de investigación I2TEC de la Universidad Nacional de Loja.

Tales criterios establecidos van acorde a los elementos y materiales de construcción mínimos necesarios para la construcción de la máquina herramienta, así mismo para el sistema de control de la misma. En la sección 5.7 se detallan los materiales utilizados para el diseño y la elaboración de este proyecto; en el apartado 5.7.1 podemos encontrar las características de los materiales utilizados, así como de los componentes que se seleccionaron para lograr los resultados acordes a los objetivos planteados en este TT.

6.2 Modelado 3D del prototipo

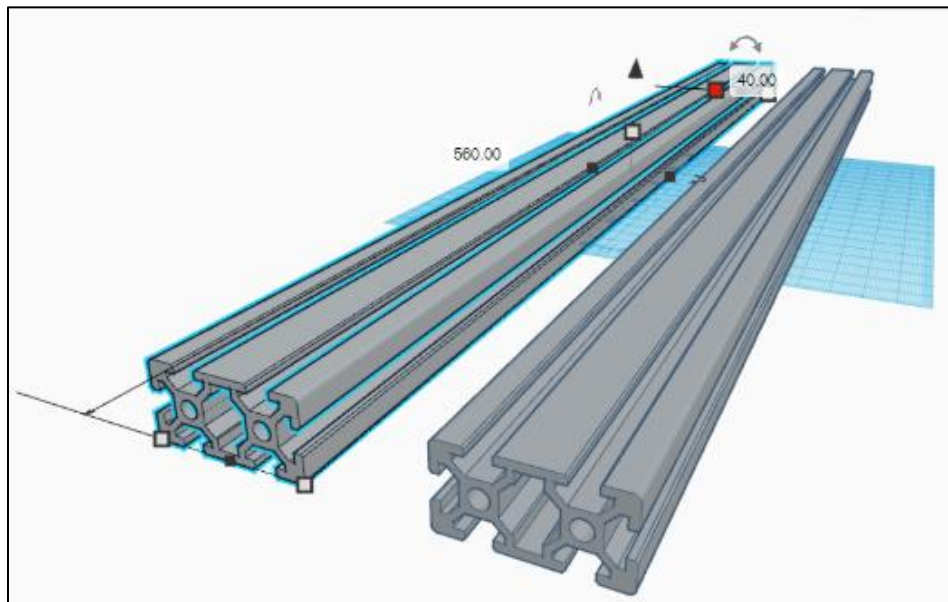
Siguiendo en cronograma y plan de trabajo establecido para el presente TT, se procede a realizar el modelado 3D del prototipo mediante el software AUTODESK-Tinkercad, para posteriormente exportar al software AUTODESK-Fusión 360 y mediante este obtener un diseño renderizado y realizar la planimetría de cada elemento del diseño. Para lo cual, se determinaron las diferentes partes que conforman el prototipo; y de esta manera se puede mostrar los elementos que intervienen y la función que cumple cada uno de ellos. El modelado de las piezas y los planos de las mismas, se observan en el Anexo 2 y Anexo 3, respectivamente.

6.2.1 Estructura física de la máquina herramienta

Dentro de la estructura física que conforman el manipulador cartesiano, tenemos el marco donde se situaran los ejes X e Y. Además, piezas que ayudarán a fijar y mantener los diferentes componentes en la posición correspondiente.

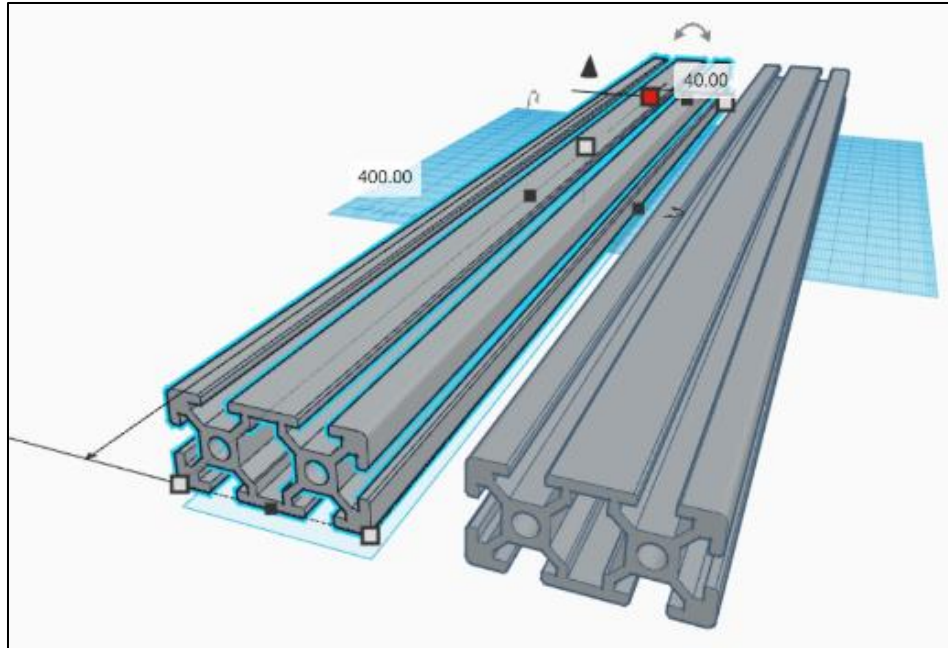
- **Perfil V-slot 20x40 (560mm – 2 Piezas)**

El perfil V-slot 20x40, consta de las siguientes medidas: Altura 20 mm, Ancho 40 mm y Largo 560 mm. Para la estructura se necesitan 2 perfiles V-slot con las mismas dimensiones.



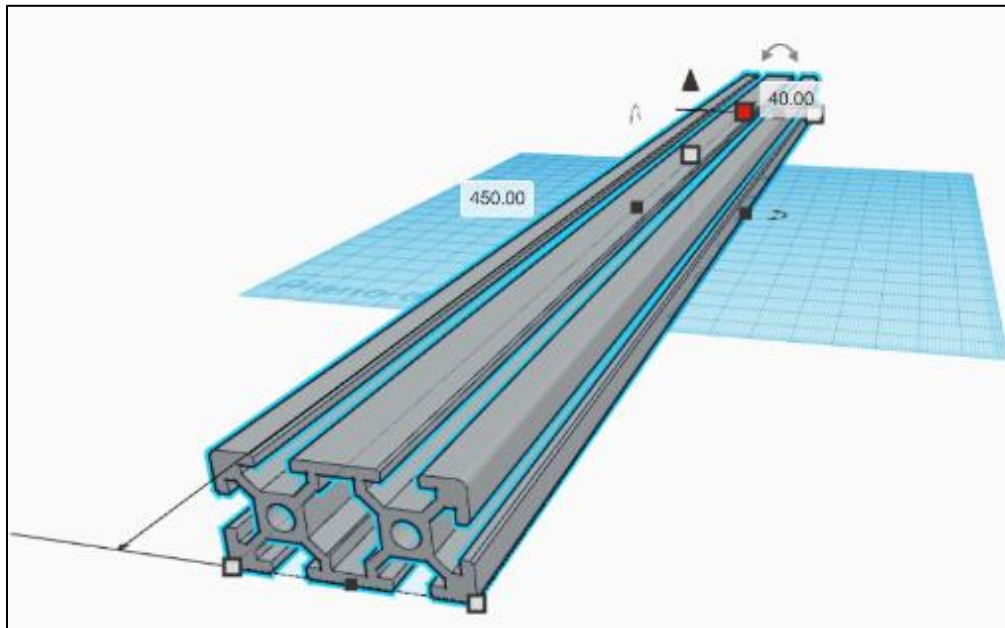
- **Perfil V-slot 20x40 (400mm – 2 Piezas)**

El siguiente perfil V-slot 20x20, consta de las siguientes medidas: Altura 20 mm, Ancho 40 mm y Largo 400 mm. Para la estructura se necesitan 2 perfiles V-slot con las mismas dimensiones.



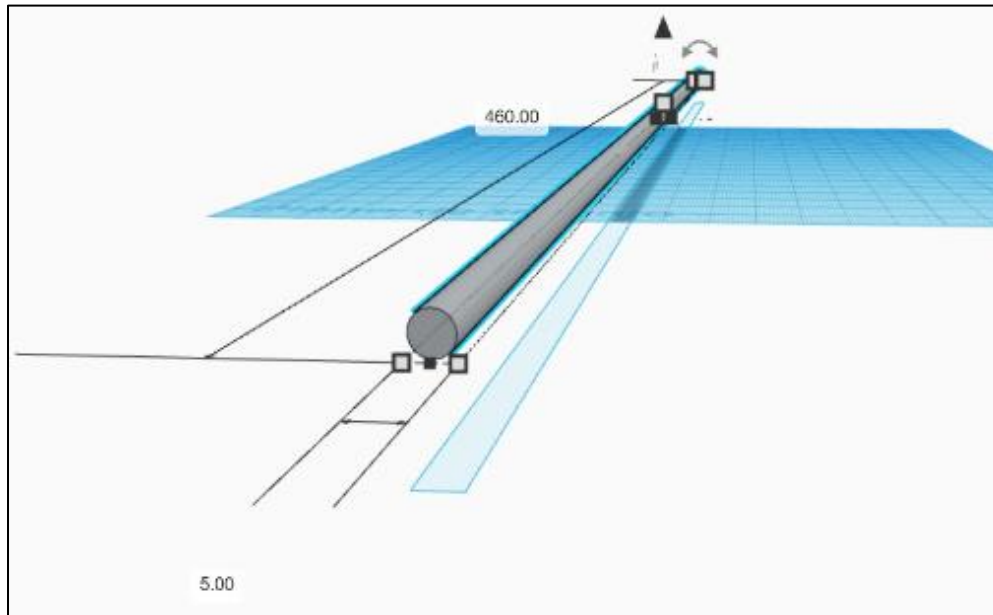
- *Perfil V-slot 20x40 (450mm – 1 Piezas)*

El siguiente perfil V-slot 20x20, consta de las siguientes medidas: Altura 20 mm, Ancho 40 mm y Largo 450 mm. Para la estructura se necesita 1 perfil V-slot con las mismas dimensiones.



- *Varilla circular 5mm Diámetro (460mm – 1 Pieza)*

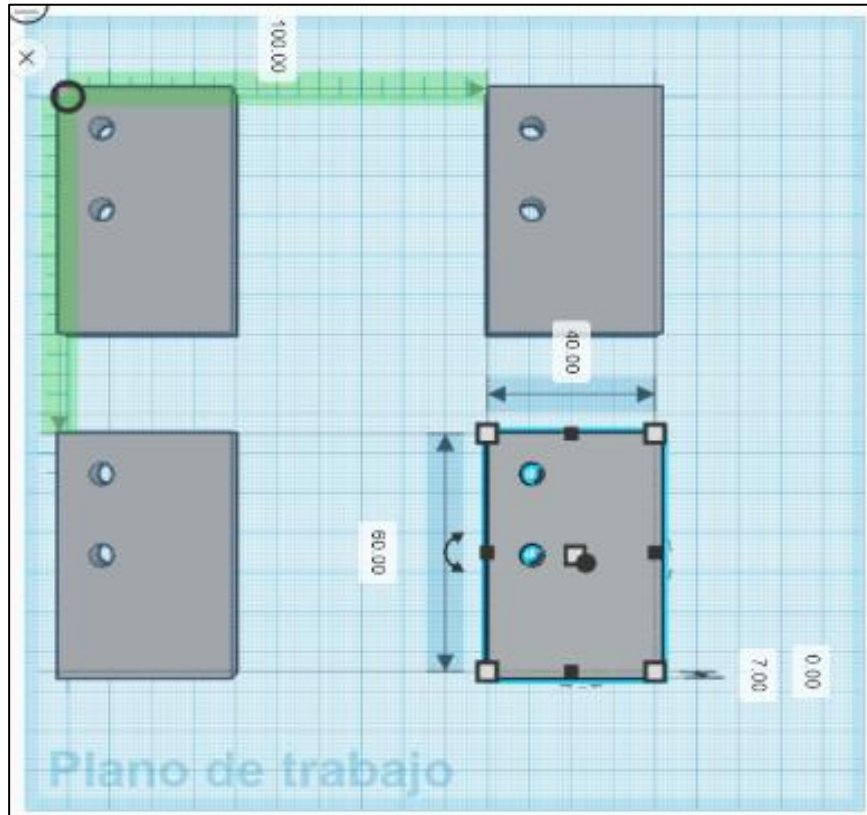
La siguiente varilla circular (redonda) que se necesita como guía para que el movimiento en el eje Y sea paralelo, tienen las siguientes dimensiones: Diámetro 5 mm, Largo 460 mm. Para la estructura se necesita 1 pieza.



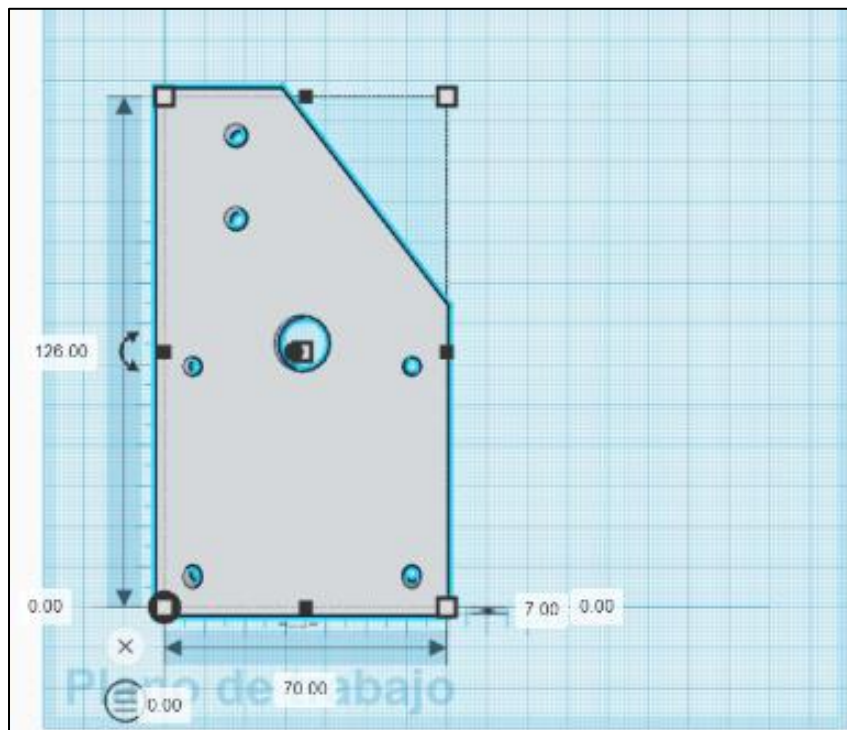
- ***Piezas par montaje y sujeción de la estructura***

Para ensamblar y montar la estructura se necesita de diferentes piezas las cuales nos permiten adecuar y sujetar cada componente en la posición correspondiente. Dichas piezas se pueden realizar en materiales como acrílico, plásticos resistentes, madera, aluminio, entre otros materiales que nos permitan sujetar de manera fija y que sean livianos o no aporten gran peso a la estructura.

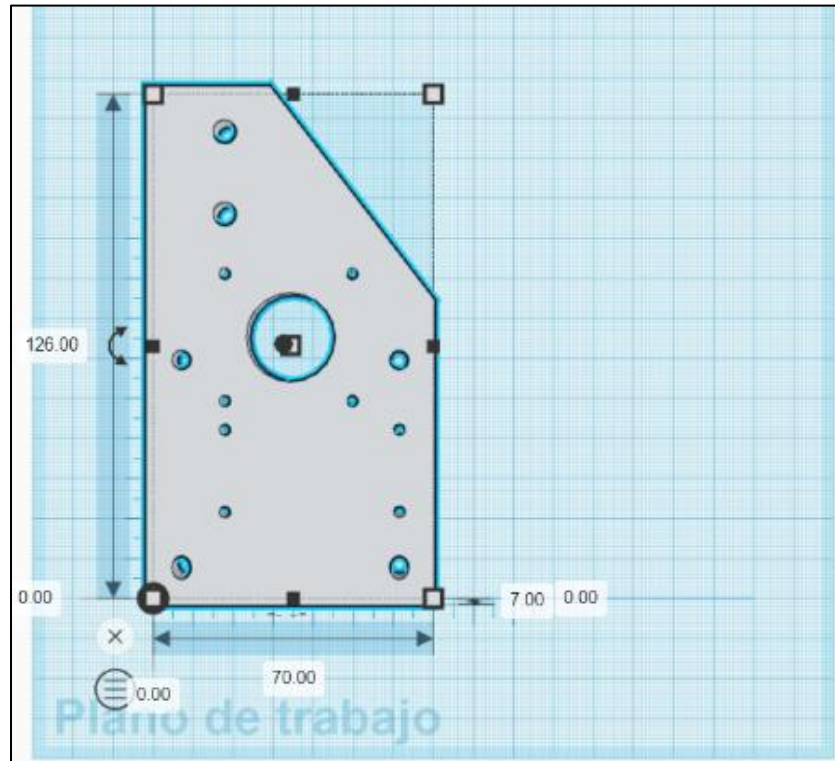
La siguiente pieza consta de las siguientes dimensiones: Ancho 40 mm, Altura 60 mm y Espesor 7 mm. Para la estructura se precisan de 4 piezas con iguales medidas.



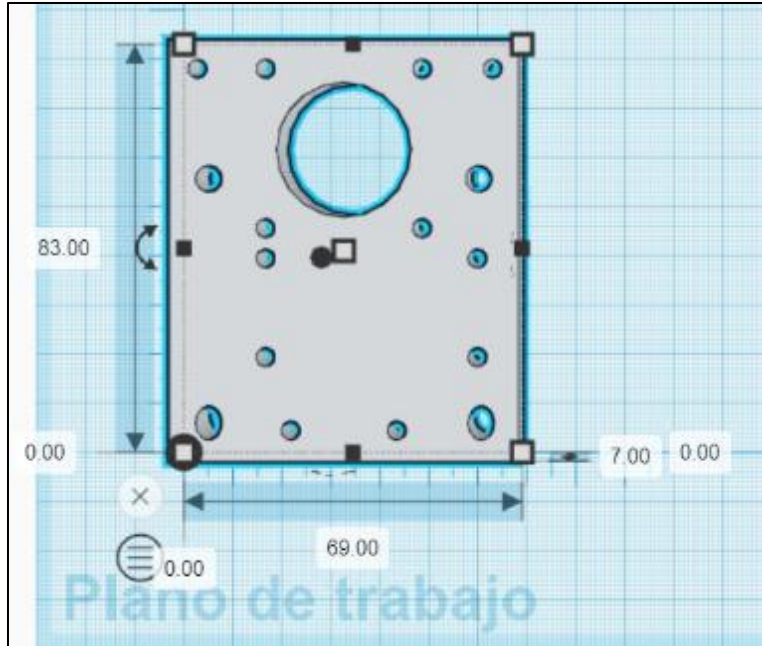
La pieza que se muestra a continuación es una pieza de 5 lados con las siguientes dimensiones: Altura 126 mm, Ancho 70 mm y Espesor 7 mm.



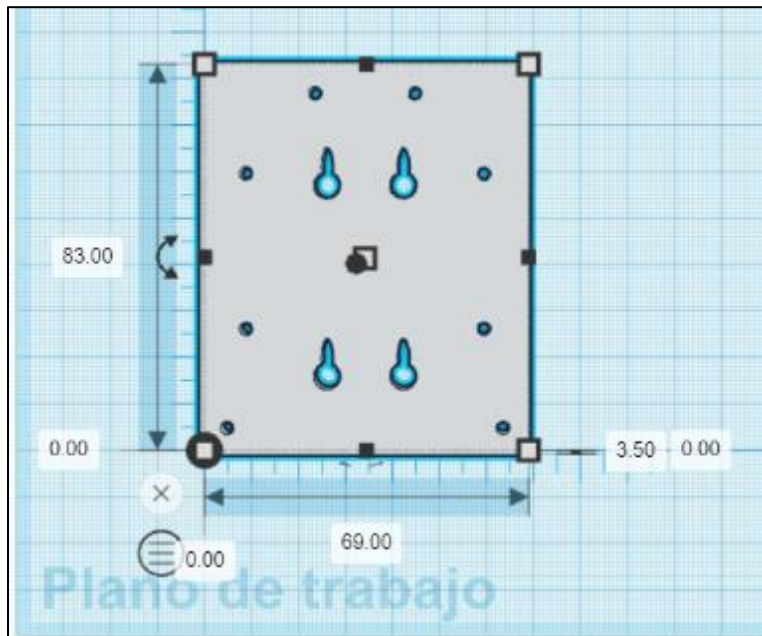
La siguiente pieza al igual que la pieza anterior es una pieza de 5 lados, pero se diferencia de la anterior por la distribución interna de espacios en donde se fijarán los diferentes componentes. Esta pieza consta de las siguientes dimensiones: Altura 126 mm, Ancho 70 mm y Espesor 7 mm.



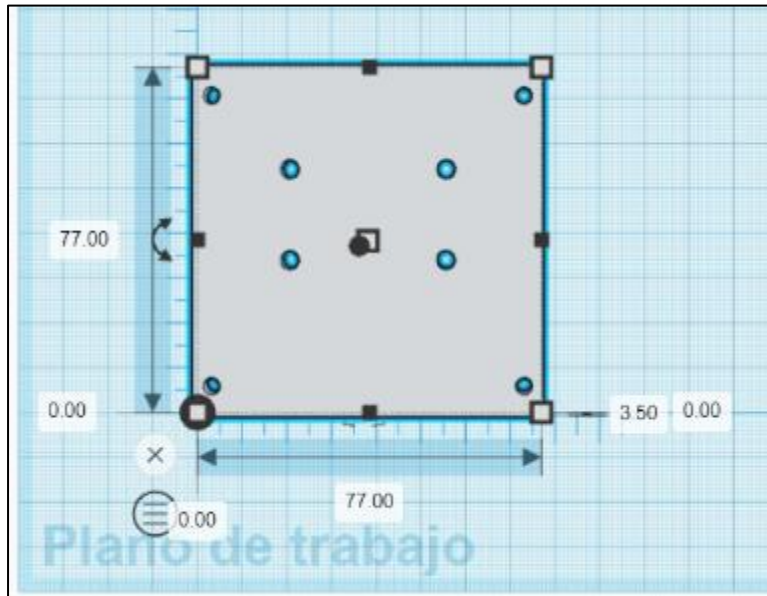
La siguiente pieza consta de 4 lados con un espacio interno en donde se colocará un motor de pasos, además, consta de diferentes espacios para la sujeción de motor y otros componentes. Sus dimensiones son las siguientes: Altura 83 mm, Ancho 69 mm y Espesor 7 mm.



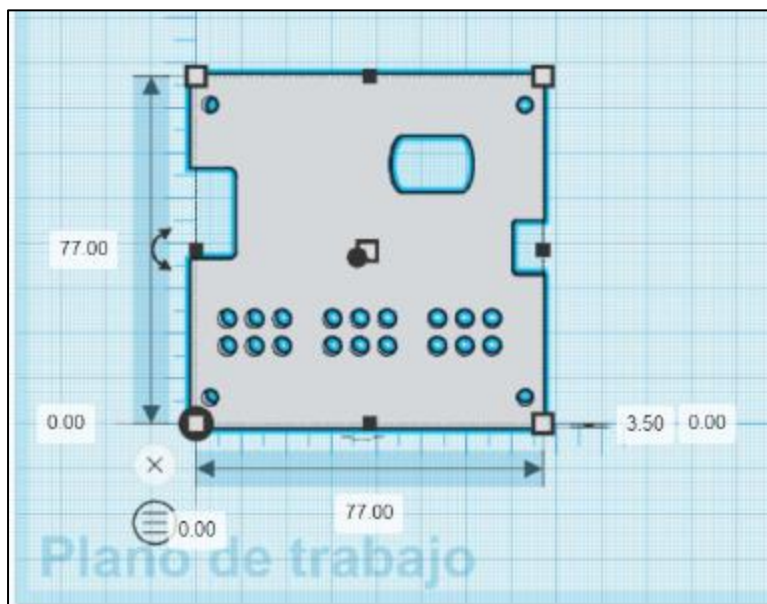
La pieza que se muestra a continuación consta de 4 lados con espacios interno en donde se colocará el módulo láser, además, consta de diferentes espacios para la sujeción de esta pieza en conjunto con el módulo láser; a la estructura. Sus dimensiones son las siguientes: Altura 83 mm, Ancho 69 mm y Espesor 3.5 mm.



La pieza a continuación consta de 4 lados, con espacios para la sujeción del sistema de control; a la estructura. Sus dimensiones son las siguientes: Altura 77 mm, Ancho 77 mm y Espesor 3.5 mm.



La siguiente pieza a continuación consta de 4 lados, esta pieza cumplirá la función de proteger sistema de control (ubicada sobre la placa del sistema de control). Sus dimensiones son las siguientes: Altura 77 mm, Ancho 77 mm y Espesor 3.5 mm.

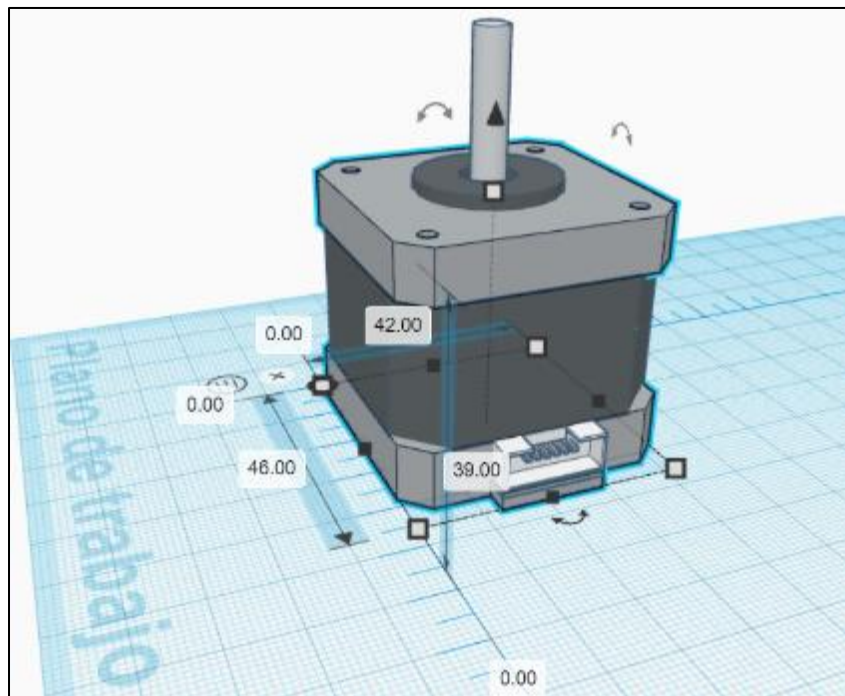


6.2.2 Componentes principales del prototipo

El prototipo precisa de ciertos componentes principales e indispensables para su funcionamiento los cuales cumplen un papel fundamental en el diseño y modelado 3D, ya que de estos dependen ciertas características para el diseño y modelado de las piezas descritas en la sección 6.2.1.

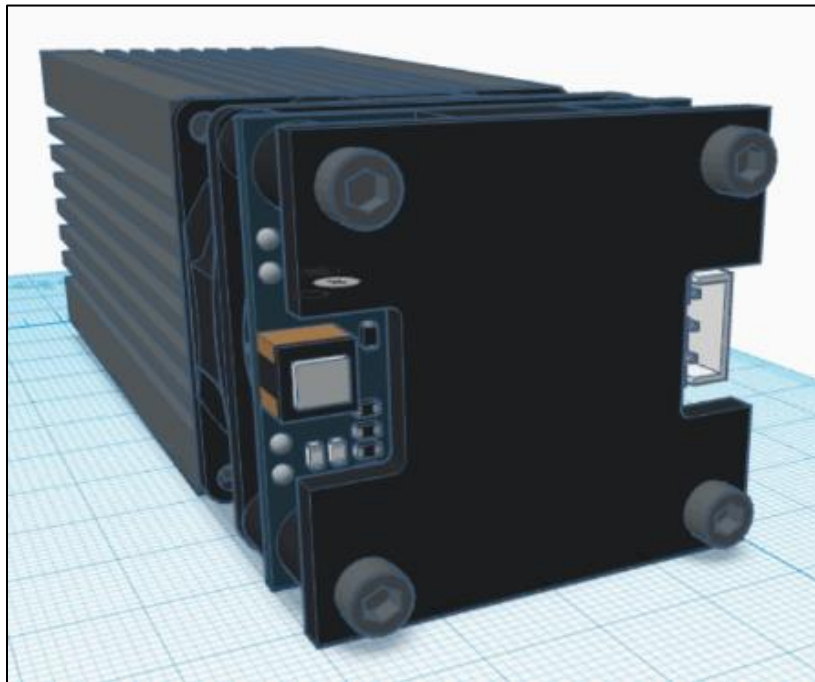
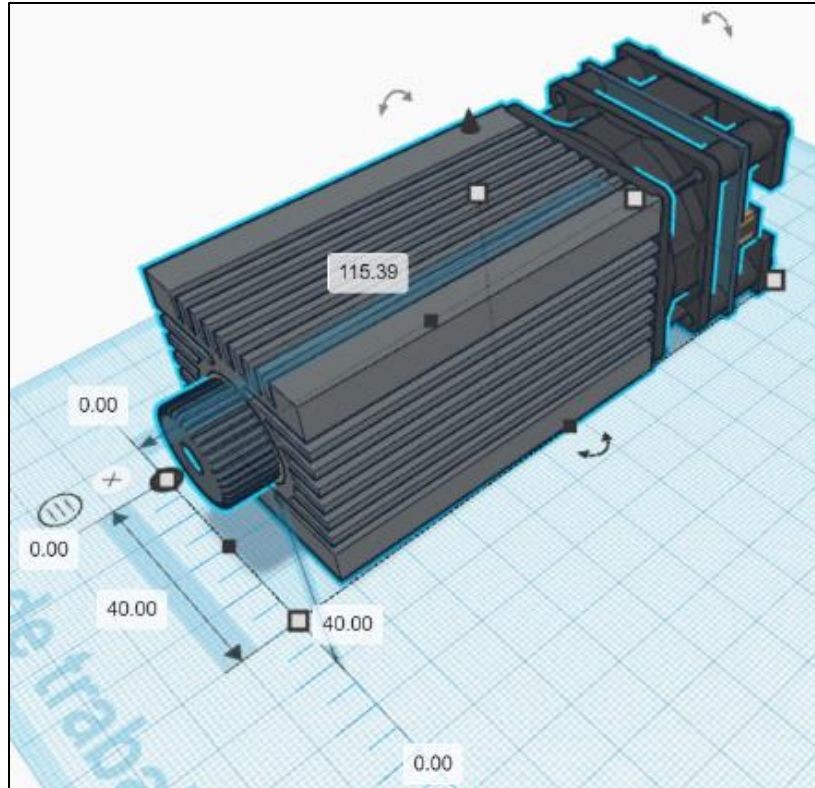
- **Motor de pasos (Stepping Motor) Nema 17 - 1,5 Amp**

La imagen a continuación muestra el modelado realizado correspondiente al motor de pasos, el cual consta de las siguientes especificaciones físicas: Tamaño del marco: Altura 42 mm, Ancho 42 mm (46 mm incluyendo base para el conector), Diámetro del eje 5 mm, Longitud del eje delantero: 20 mm.



- **Modulo láser azul (5W) 445nm 5500mW laser de diodo enfocable**

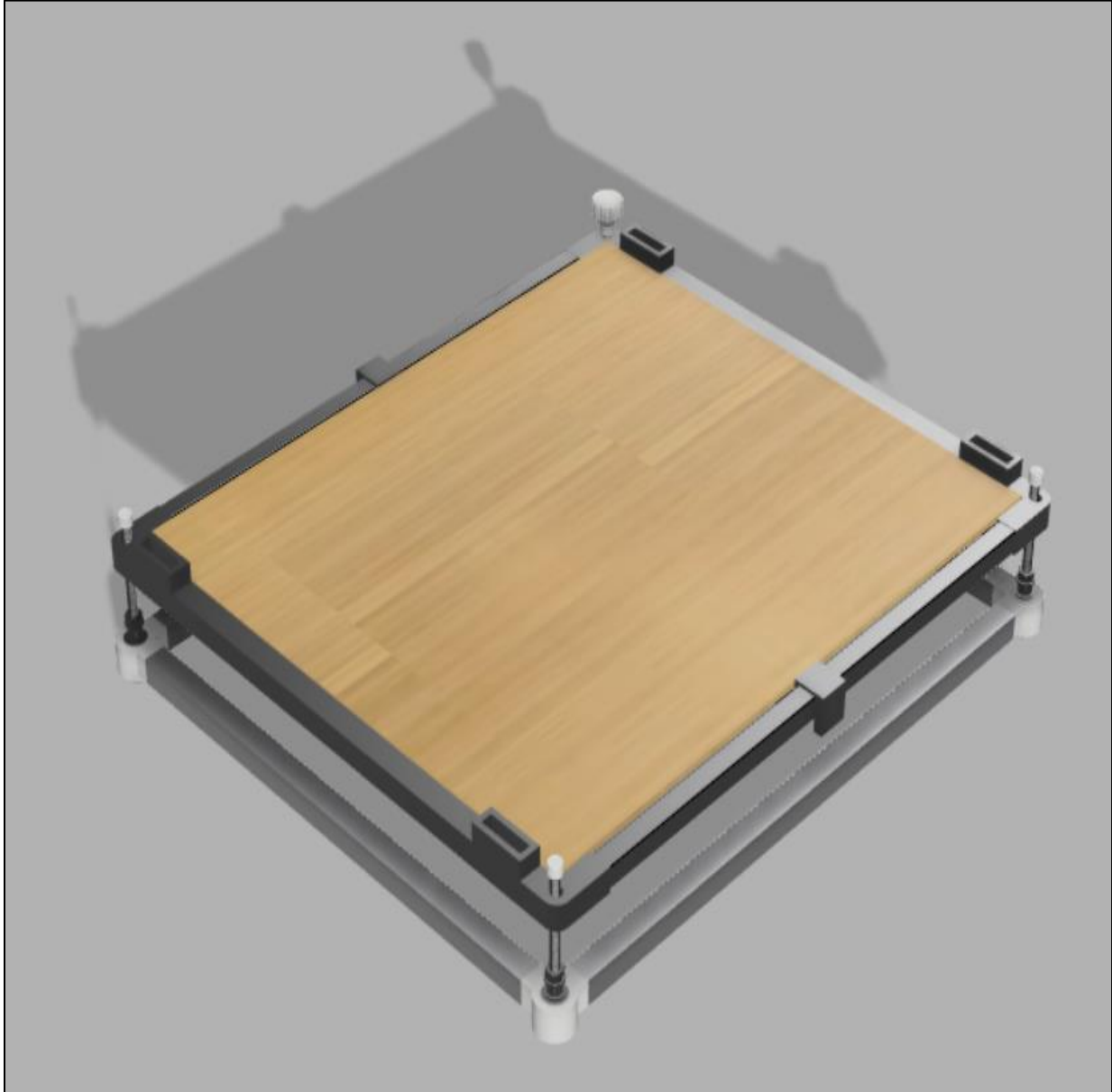
La siguiente imagen nos presenta el modelado 3D del módulo láser, el cual consta de las siguientes dimensiones: Ancho 40 mm, Altura 40 mm y Longitud del cuerpo de 115,39 mm (Esta medida incluye la longitud del del cuerpo principal 70 mm, adicionándole ventilador del láser, placa con circuito de control y tapa protectora de la placa de control).



6.2.3 Mesa de Trabajo

Adicional a la estructura se diseñó la mesa de trabajo en donde va a encajar el prototipo, para esto se considera partes esenciales como el área de trabajo, la dimensión o espesor de los

materiales con los que se prevé trabajar; teniendo en cuenta que el módulo láser permite un enfoque de 50 mm, por lo que, para trabajar materiales con mayor altura, se necesita realizar adecuaciones que hagan posible un rango de altura de al menos 10 cm con un enfoque preciso.



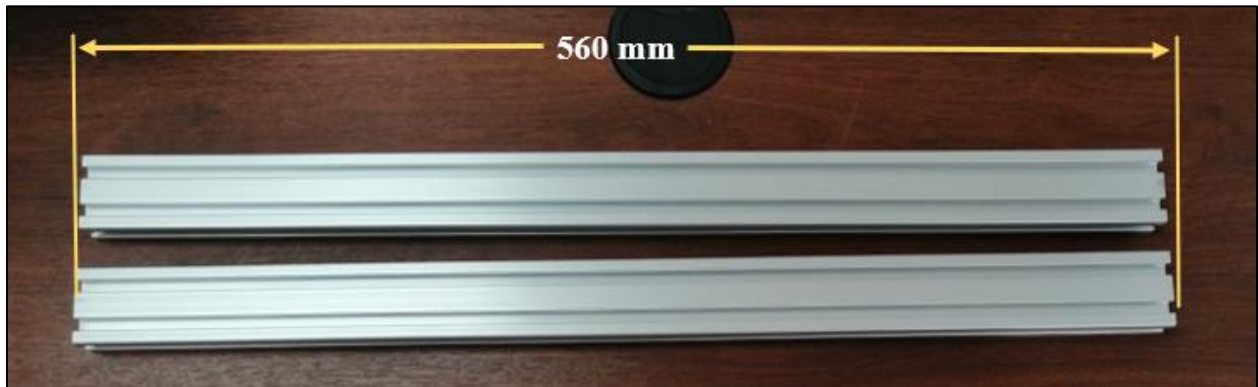
6.3 Implementación física del prototipo

En la etapa de implementación física del prototipo, primeramente, se obtienen los diferentes materiales que se requieren para la estructura de la máquina herramienta, y los componentes necesarios para la implementación del prototipo, que se está realizando en el presente

TT. Estos materiales y componentes físicos están acorde al diseño realizado en el Modelado 3D y se detallan a continuación.

- **Perfil V-slot 20x40 (560mm – 2 Piezas)**

En la imagen que se muestra a continuación se puede observar las dos piezas de perfiles V-slot 20*40 mm requeridas para la estructura, de acuerdo al modelo 3D, realizado en la sección 6.2.1, el cual tiene una longitud de 560 mm. El material utilizado para estas piezas es Aluminio sin recubrimiento (Plateado).

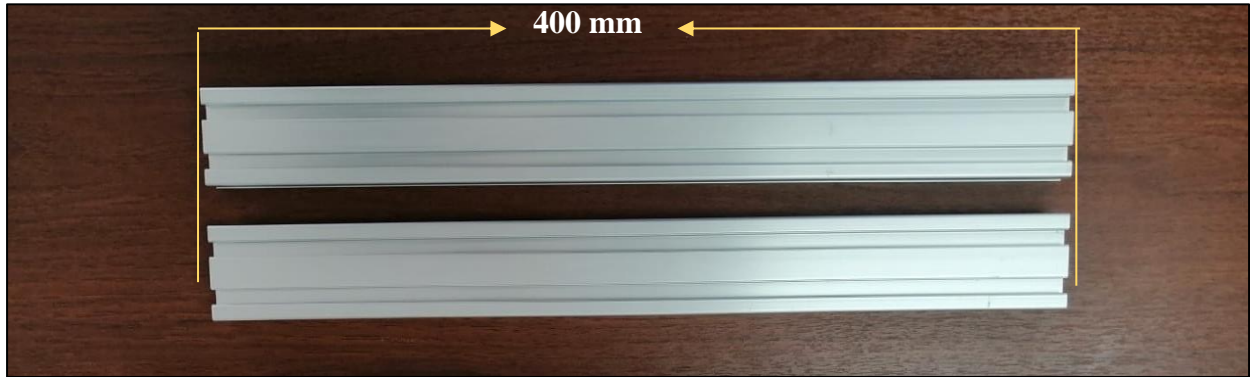


En la sección transversal de este perfil se necesita realizar un roscado interno el cual va a servir para la fijación de las juntas de la estructura (Esto aplica para todas las piezas elaboradas a partir del perfil V-slot 20*40). Véase la siguiente imagen.



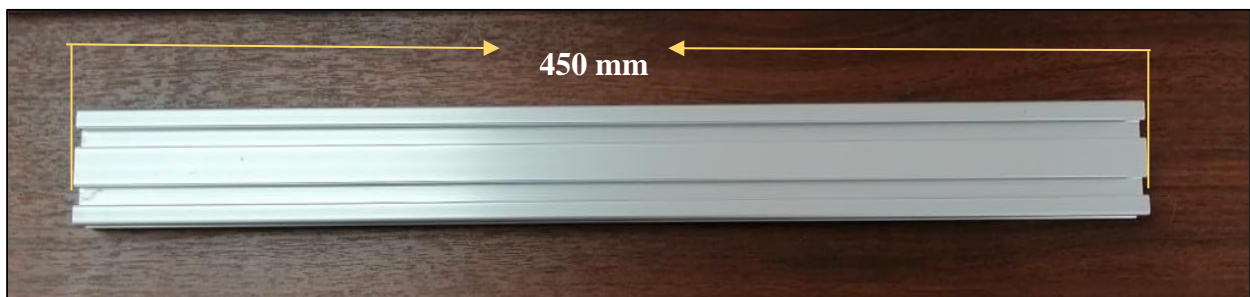
- **Perfil V-slot 20x40 (400mm – 2 Piezas)**

En la imagen siguiente se muestra dos piezas de perfiles V-slot 20*40 mm con longitud de 400 mm, de material de aluminio plateado, requeridas para la estructura.



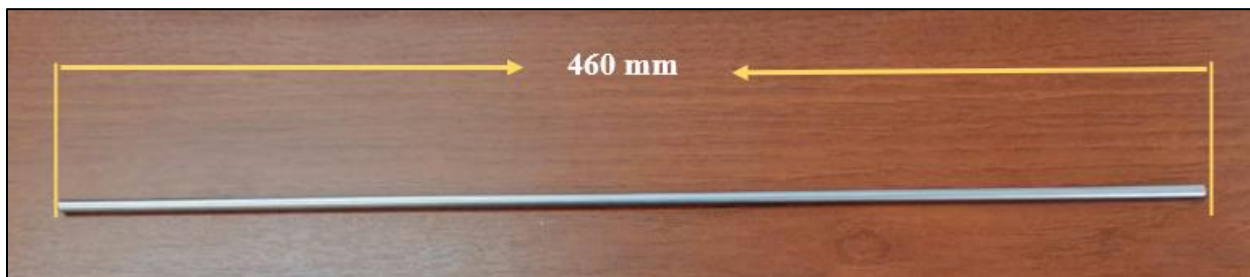
- ***Perfil V-slot 20x40 (450mm – 1 Piezas)***

A continuación, mediante una imagen se muestra otra pieza de perfil V-slot 20*40 mm, la cual tiene una longitud de 450 mm, que al igual que las piezas anteriores es material de aluminio.



- ***Varilla circular 5mm Diámetro (460mm – 1 Pieza)***

En la imagen a continuación se presenta una pieza que consta de una varilla de 5 mm de diámetro, con una longitud de 460 mm, la cual cumpliendo con el diseño servirá para guiar el movimiento del eje Y de manera simétrica en la estructura.



- ***Piezas par montaje y sujeción de la estructura***

Dando cumplimiento a diseño realizado en el software CAD en la sección 6.2.1, se procede a la adquisición y elaboración de las piezas que servirán como soporte para la estructura, para esto

se realizó la impresión de cada pieza mediante una impresora 3D, utilizando como material base filamento PLA color blanco, para de esta manera obtener las piezas con sus respectivas medidas de acuerdo a lo expuesto anteriormente.

Para la elaboración de las piezas que se presentan en la siguiente imagen, se partió del modelado 3D exportando el archivo que se requiere para enviar a la impresora 3D (OBJ, STL).



De esta forma se obtuvo todas las piezas tal como se lo menciona en las especificaciones de medida en la etapa de modelado 3D de cada una de ellas. Y posterior a ello se procedió a mejorar los detalles de cada una.



- ***Motor de pasos (Stepping Motor) Nema 17 – 1.8° - 1,5 Amp***

Para darle vida y movimiento a los ejes X y Y, se realiza mediante motores de pasos, para esto se especificó utilizar motores Nema 17 – 1,5 Amp, como se puede apreciar en la siguiente imagen. Estos se los puede conseguir comercialmente, con las características que se requiera.



- ***Modulo láser azul (5W) 445nm 5500mW laser de diodo enfocable***

El módulo láser es de vital importancia en este prototipo ya que dependiendo de las características de éste. Es por ello que considerando los resultados que se estima obtener, se realizó la adquisición de un módulo láser azul de 5W de potencia de salida, el cual nos permita no solo realizar el grabado en madera banda sino también el corte de la misma; considerando un espesor de 2 a 3 mm.



- ***Materiales y accesorios adicionales para implementación del prototipo***

Para la implementación completa del prototipo se precisa de diferentes materiales y componentes; entre estos están, acoples (metálicos y plásticos), accesorios varios (metálicos y plásticos), uniones, tornillos, tuercas, uniones, arandelas, etc.



- ***Banda Dentada***

La correa que distribución que se observa en la siguiente imagen, se trata de una banda dentada la cual revira de guía para el movimiento de los ejes X e Y en la máquina herramienta.



- ***Fuente de alimentación***

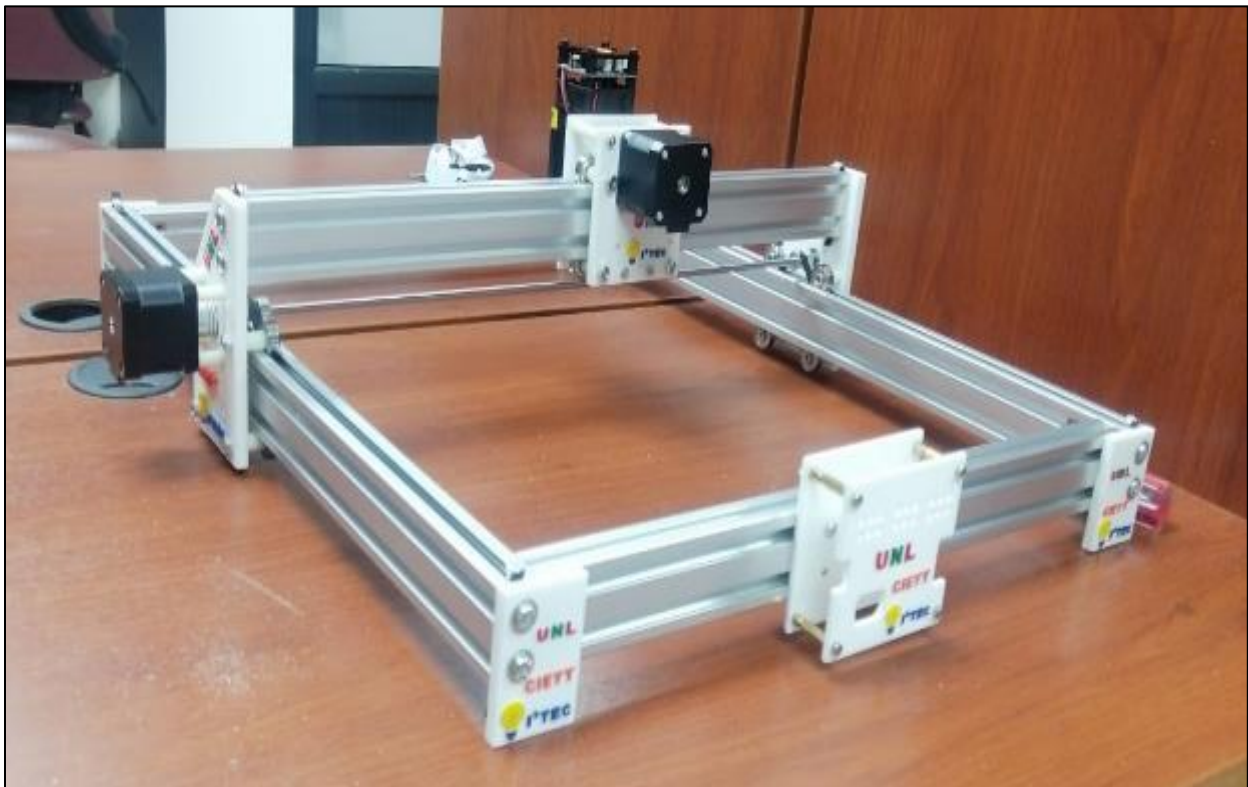
Para la alimentación del sistema de control se necesita una fuente de alimentación que cuente con las siguientes características:

- input: 100-240v / 1a (50-60 Hz)
- output: 12v dc 5a

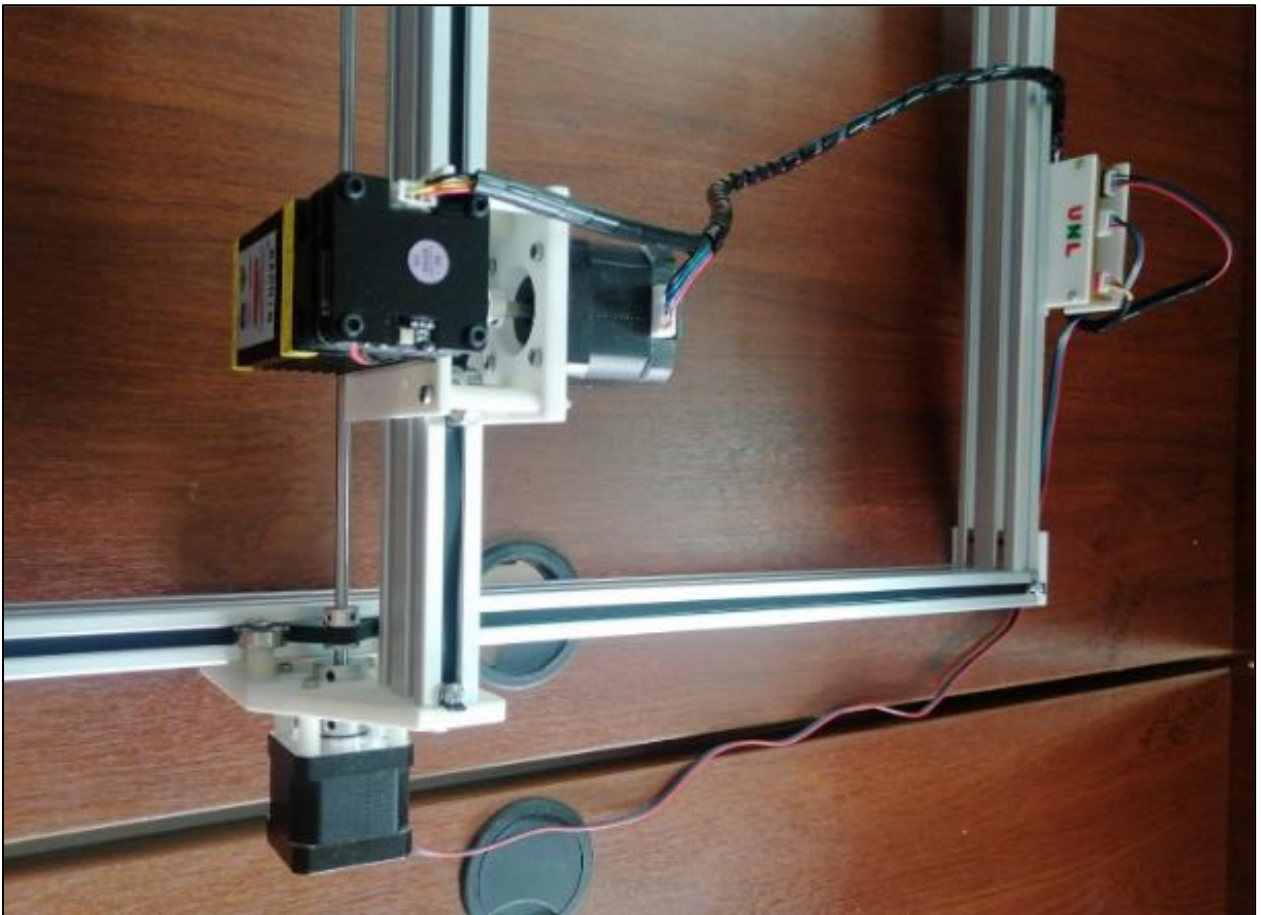
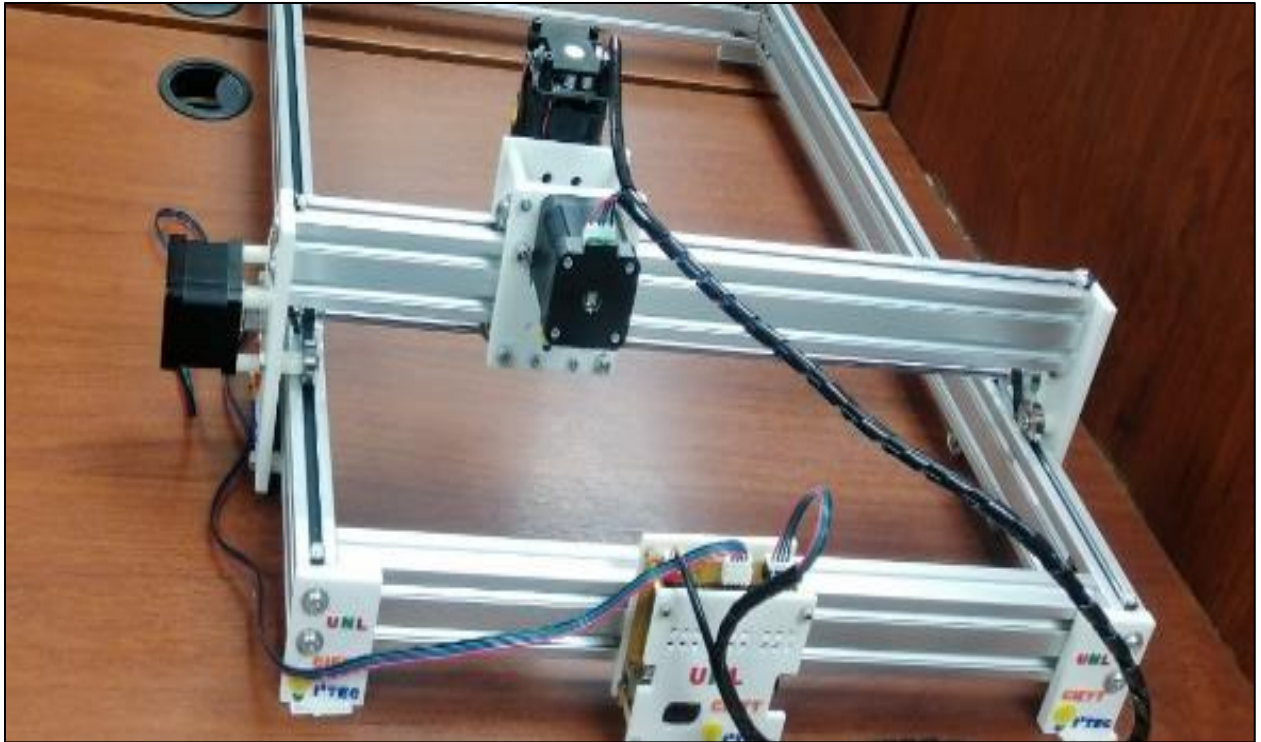


Una vez teniendo todo lo necesario se procede a realizar el armado de la estructura de la máquina herramienta, que corresponde a la base y los trenes de movimiento para los dos ejes coordenados (X, Y), así como los soportes para los motores de pasos, para el módulo láser y para el circuito de control. De igual forma se realiza el montaje; del carro móvil correspondiente al eje X; sobre el marco principal (eje Y).

Luego de realizado el armado de la estructura para el manipulador cartesiano que compone la máquina herramienta obtenemos una estructura como se muestra en la imagen a continuación.



Teniendo implementada la estructura de la máquina – herramienta y luego de a ver verificado que no existan anomalías en el desplazamiento de los ejes (X, Y), se procede a instalar la electrónica para el control del prototipo, observe la siguiente imagen.



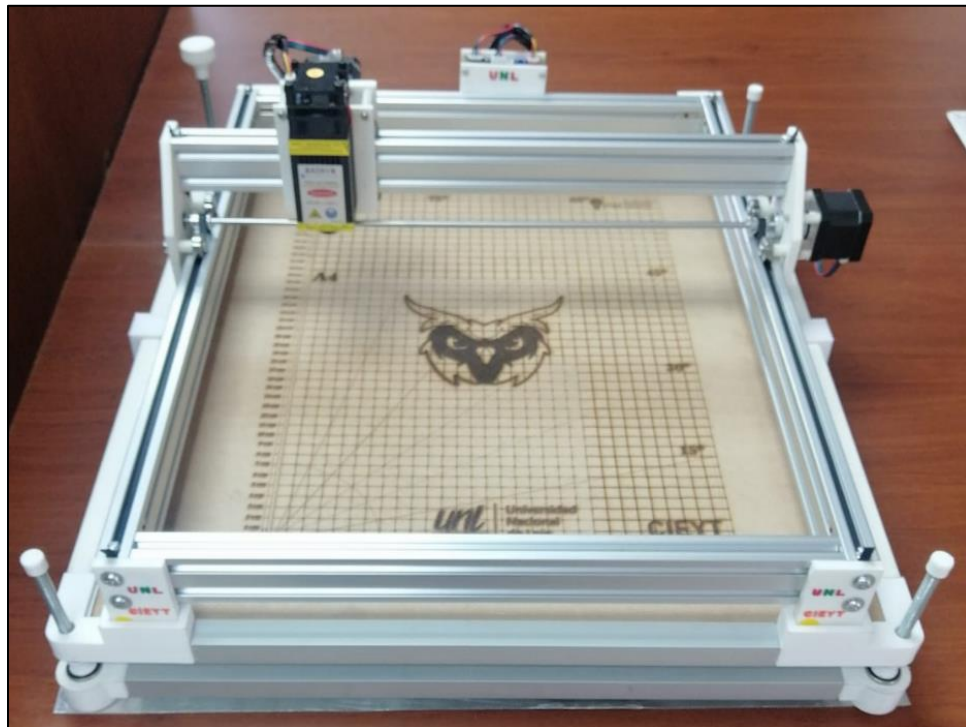
Realizado el armado del prototipo se procede a construir la mesa de trabajo siguiendo el diseño 3D y el mismo proceso de fabricación de piezas mediante una impresora 3D. De esta manera se obtiene la estructura de la mesa de trabajo como se observa en la imagen a continuación.



Posteriormente se procede a ubicar una pieza de madera MDF, la cual va a ser la base en donde van a reposar los materiales a los que se les necesite realizar grabado o corte con el láser. Adicional a esto, se realiza una cuadrícula con la finalidad de que ayude a posicionar el material a trabajar de forma recta y alineada, y así obtener resultados precisos.



Con la mesa de trabajo terminada se procede a ubicar sobre ella el prototipo, verificando que quede correctamente nivelado, observe la siguiente imagen.

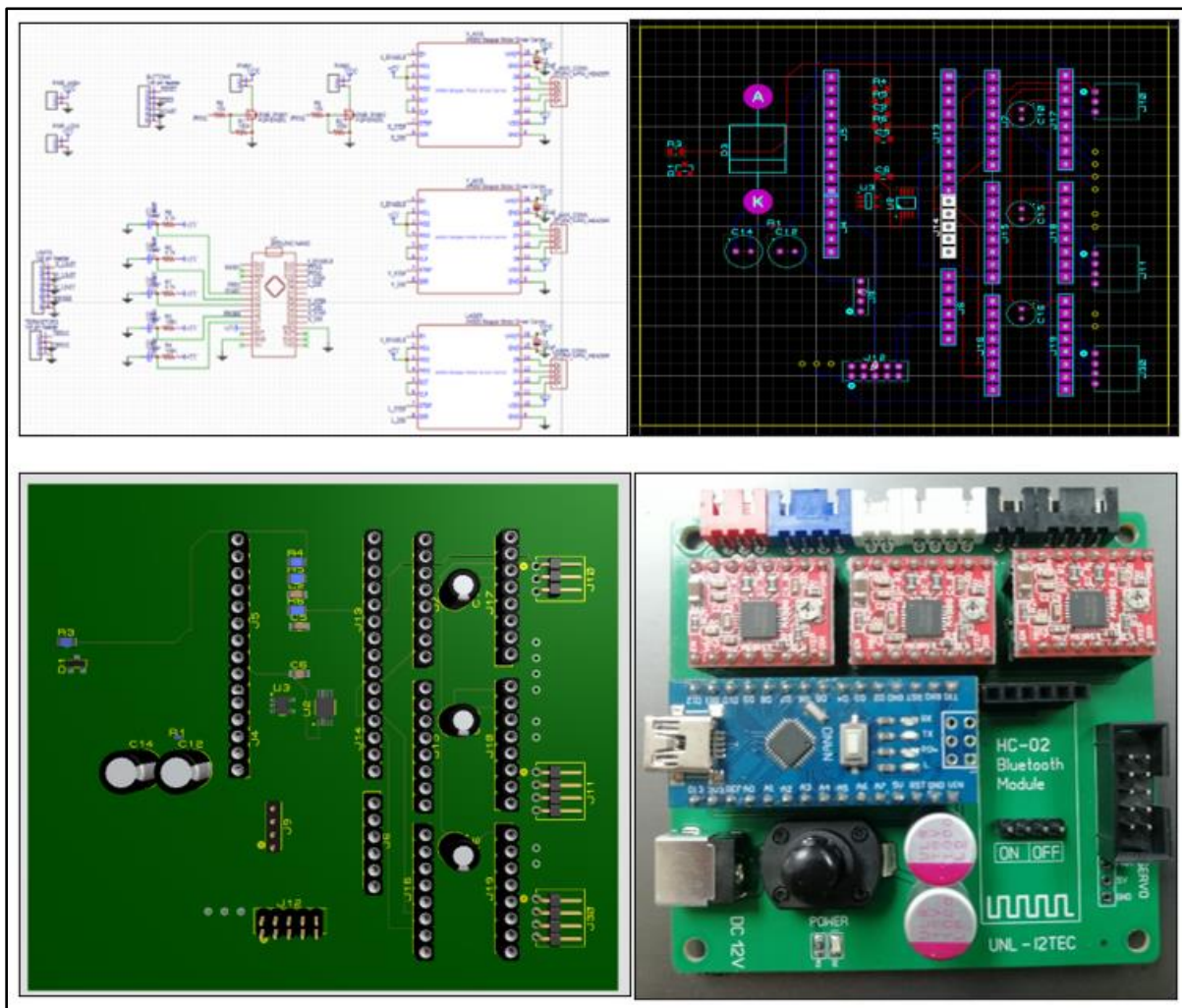


6.4 Electrónica y Programación

El circuito de control está compuesto por un Arduino Nano, una Shield CNC y los drivers A4988 para suministrar la corriente a los motores de pasos.

La shield CNC se elaboró tomando como referencia el diseño y funcionamiento de una Shield CNC V4.0, que existen comercialmente en el mercado. Para esto se realizó el respectivo diseño de la placa correspondiente y luego se procedió a contactar con una empresa extranjera dedicada a la fabricación de circuitos impresos y armado de placas PCB. Esto se hizo con el fin de obtener una placa de circuito más compacta y con acabados profesionales; algo que realizando de manera artesanal no se lograría.

En la imagen a continuación puede observar el proceso de elaboración de la shield CNC hasta obtener el resultado final.



Continuando con el proceso del sistema de control, para realizar la programación del Arduino Nano, se puede realizar de dos formas.

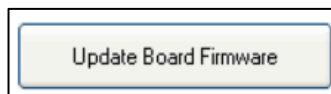
La primera forma es descargando el firmware *GRBL v1.1* desde el repositorio de GitHub de GRBL, se obtendrá una carpeta con el nombre “*grbl-master*”, dentro de esa carpeta se encontrará otra carpeta con el nombre “*grbl*” se debe copiar esa carpeta y luego pegar en la ubicación donde se alojan los archivos de instalación del IDE de Arduino; dentro de la carpeta “*libraries*”. Este proceso es básicamente el mismo proceso que se realiza cuando se quiere instalar una librería a Arduino. Seguidamente mediante el IDE de Arduino se procede a subir el firmware a la placa de Arduino Nano sin que esta se encuentre ensamblada en la Shield CNC.

La segunda opción que es la más acertada y fácil de realizar es con ayuda del mismo software CNC con el que se va a poner el funcionamiento el prototipo; esto gracias a que se trata de software de código abierto (open source).

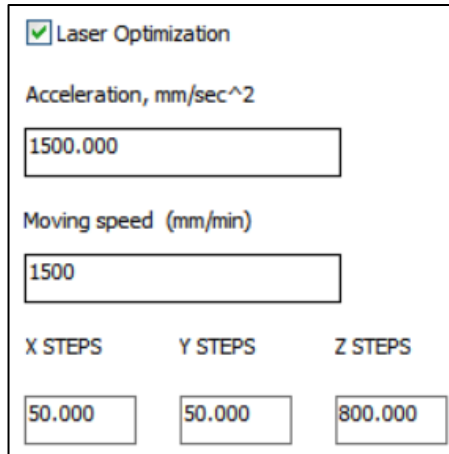
- ***Engraver Master.***

Para instalar el firmware mediante este software se realiza el siguiente procedimiento:

1. Conectamos el circuito de control a la PC mediante el cable USB.
2. Ejecutamos el instalador de Engraver Master (Archivo *setup.exe*).
3. Nos aparecerá una opción “Install Driver and Applications” damos clic y continuamos.
4. El software se abrirá automáticamente, en caso de no hacerlo procedemos a abrirlo.
5. Nos dirigimos a la pestaña “*Device Settings*”.
6. Nos dirigimos hacia el botón “*Update Board Firmware*”. En este punto es importante entender que, al realizar la instalación del software, éste cargará el firmware *GRBL* a nuestro Arduino Nano; pero en caso de no haberlo hecho, desde este botón se puede cargar el firmware o actualizarlo a su última versión (*GRBL v1.1*).



7. Debido a la interfaz muy intuitiva de este software es muy fácil modificar el G-code mediante la misma GUI. Observe la siguiente imagen en donde se observa los parámetros a modificar correspondientes a su respectivo código G.



Laser Optimization
 Acceleration, mm/sec²
 1500.000
 Moving speed (mm/min)
 1500
 X STEPS Y STEPS Z STEPS
 50.000 50.000 800.000

8. En caso de requerir agregar o modificar manualmente el código G, el software permite agregar líneas de código o importar un código pre modificado; mediante el botón “*Grbl Settings*”.



9. Realizado esto, nuestro circuito de control estaría listo para realizar su primera prueba de grabado o corte.

○ ***LaserGRBL***

Este software permite la instalación del firmware a nuestro Arduino Nano, para esto se debe seguir el siguiente proceso

1. Descargar el instalador desde su sitio oficial.
2. Conectamos el circuito de control a la PC mediante el cable USB.
3. Ejecutar el instalador y clic en continuar hasta finalizar la instalación.
4. El software se debe abrir automáticamente, en caso de no hacerlo procedemos a abrir el software.
5. Nos dirigimos a la pestaña *herramientas* y seleccionamos la opción “*Flashear Firmware Gbrl*”.
6. Se despliega una ventana en donde podemos seleccionar el tipo de tarjeta de desarrollo (Arduino Nano), el firmware (En esta opción podemos cargar el firmware Gbrl descargado anteriormente), el puerto COM de nuestra PC en el que se encuentra conectado nuestro circuito de control y la tasa de baudios (para este software es 115200 de forma predeterminada, esta misma tasa de baudios debe ser previamente

configurada en el puerto COM correspondiente de nuestra PC); y procedemos a cargar el firmware.

7. Cargado el firmware nos dirigimos nuevamente a la pestaña *herramientas* y seleccionamos la opción “*Instalar driver CH340*” y procedemos a instalar este driver y con eso estaría cargado el firmware en nuestro Arduino Nano.
8. Para ajustar la programación modificando el código G nos dirigimos a la pestaña *Grbl* y seleccionamos la opción “*Configuración Grbl*”; se despliega una ventana con la configuración en código G en la que podemos cambiar esta configuración en la columna “*Valor*”.
9. Modificamos el código *\$I00* y *\$I01* que corresponden a la precisión de pasos por milímetro de los motores para su desplazamiento en los ejes X e Y, asignándoles un valor de 50.000 step/mm. Así mismo, podemos los códigos correspondientes a la, aceleración, recorrido y velocidad; aunque este último parámetro se puede modificar después mediante la interfaz, puesto que este software lleva integrado un generador de G-code a partir de imágenes.
10. Habiendo hecho las modificaciones correspondientes los parámetros se da clic en el botón “*Escribir*” para que se cargue el código en el microcontrolador. Aquí hay que mencionar que el software también permite importar una configuración en caso de que lo dispongamos. Luego de esto obtendremos una configuración como la que se muestra en la Tabla 20. En este punto ya cerrar esta ventana de configuración.
11. Seguidamente nos dirigimos a la pestaña *Grbl* y seleccionamos la opción “*Ajustes*”; en la pestaña “*Raster import*” verificamos que se encuentre activado el parámetro *Soporte PWM*, en caso de no estarlo lo activamos. En la ventana “*Jog control*” marcamos el parámetro *Show Z up/down control* y hacemos clic en el botón *Guardar*.
12. Nuestro circuito de control estaría listo para realizar la primera prueba.

Realizados los cambios correspondientes para definir potencia del láser, pasos, velocidad y aceleración de los motores; se muestran los parámetros más importantes a modificar según lo requerido para que el prototipo se encuentre bien calibrado y brinde un óptimo funcionamiento.

Tabla 20.*Líneas de código a modificar*

#	Parámetro	Valor	Unidad	Descripción
\$0	Tiempo de pulso de paso	10	microsegundos	Establece la duración del tiempo por paso. Mínimo 3useg.
\$1	Retardo de paso inactivo	255	milisegundos	Establece un breve retraso de retención al detenerse para permitir que la dinámica se estabilice antes de desactivar los motores paso a paso. El valor 255 mantiene los motores habilitados sin demora.
\$32	Habilitar modo láser	1	booleano	Activa el modo láser. Comandos G1/2/3 consecutivos No se detendrá cuando se cambie la velocidad del cabezal.
\$100	Resolución de recorrido del eje X	50.000	pasos/mm	Resolución de desplazamiento del eje X en pasos por milímetros.
\$101	Resolución de recorrido del eje Y	50.000	pasos/mm	Resolución de desplazamiento del eje Y en pasos por milímetros.
\$102	Resolución de recorrido del eje Z	800.000	pasos/mm	Resolución de desplazamiento del eje Z en pasos por milímetros.
\$110	Tasa máxima del eje X	5000.000	mm/min	Tasa máxima del eje X. Se utiliza como velocidad rápida G0.
\$111	Tasa máxima del eje Y	5000.000	mm/min	Tasa máxima del eje Y. Se utiliza como velocidad rápida G0.
\$112	Tasa máxima del eje Z	500.000	mm/min	Tasa máxima del eje Z. Se utiliza como velocidad rápida G0.
\$120	Aceleración del eje X	1500.000	mm/seg ²	Aceleración del eje X. Se utiliza en la planificación del movimiento para no superar el par del motor y perder pasos.
\$121	Aceleración del eje Y	1500.000	mm/seg ²	Aceleración del eje Y. Se utiliza en la planificación del movimiento para no superar el par del motor y perder pasos.
\$122	Aceleración del eje Z	200.000	mm/seg ²	Aceleración del eje Z. Se utiliza en la planificación del movimiento para no superar el par del motor y perder pasos.

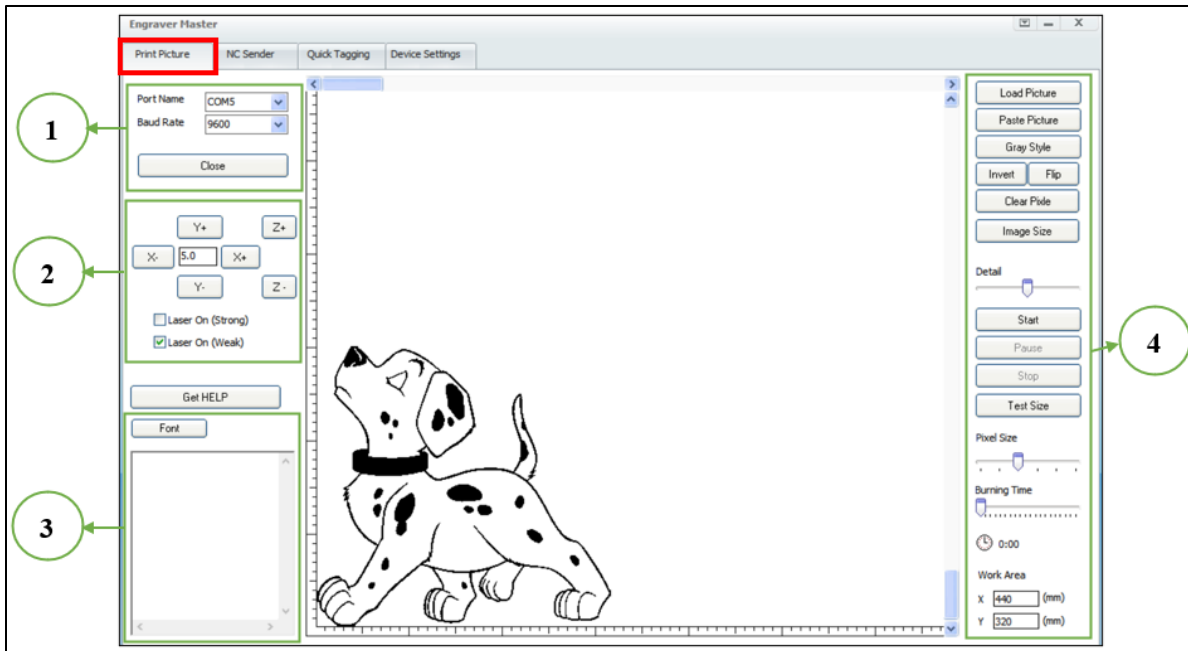
6.5 Software y configuración de grabado y corte

Para el proceso de configuración del software CNC para realizar grabado y corte con láser, primeramente, tenemos que conocer la anatomía del software. Para el control del prototipo se planteó el uso de dos softwares gratuitos de código abierto que permiten generar G-code a partir

de imágenes; los cuales presentan funcionamientos similares, pero ciertas características diferentes dentro de la interfaz de usuario, las cuales se detallan a continuación.

6.5.1 Anatomía y configuración – Engraver Master

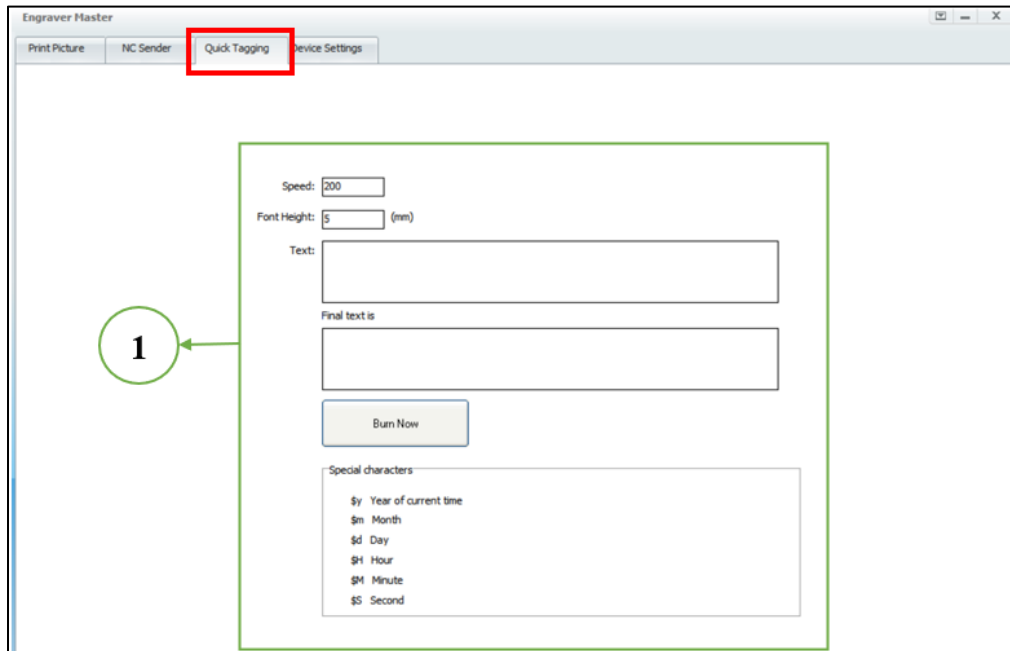
El software Engraver Master presenta una interfaz de usuario muy amigable, la cual consta de cuatro pestañas principales.



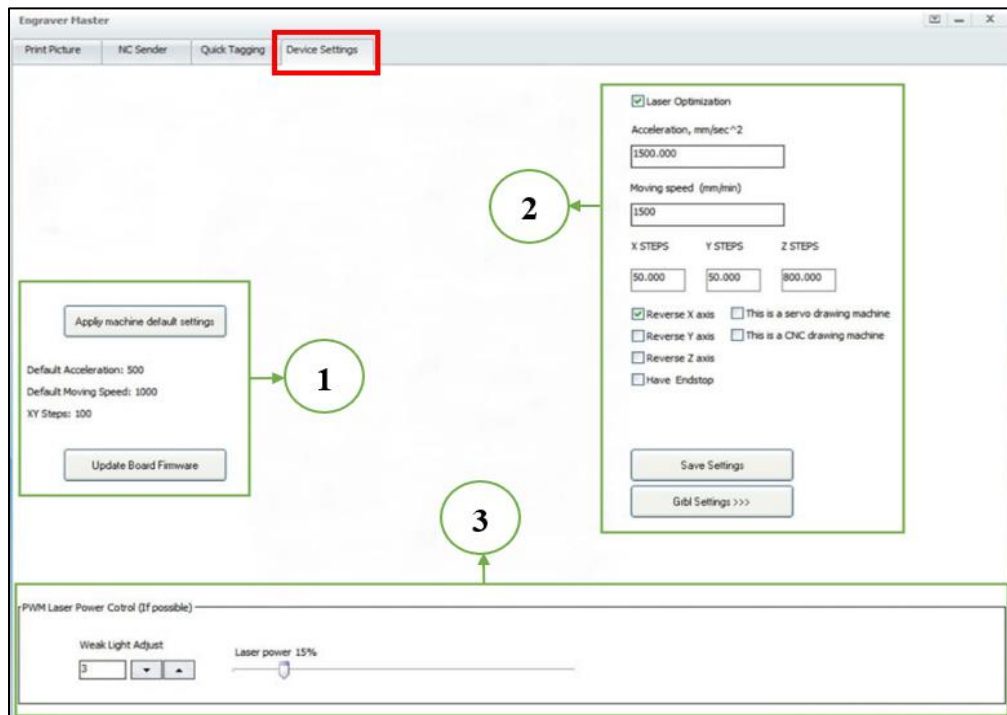
La primera pestaña es “Print Picture” o imprimir foto, misma que consta de cuatro partes principales:

1. Indica el puerto CON en la que está conectado el prototipo, generalmente lo detecta automáticamente; en caso de que no, se lo selecciona manualmente.
2. Flechas de dirección para testear la máquina o para ubicar el punto de origen (punto cero); en el centro permite configurar el recorrido (en mm), activación y desactivación del láser en modo fuerte y débil; este último utilizado para enfocar el láser.
3. Espacio para ingresar texto y editar texto.

4. Edición de imágenes: Cargar imagen, Estilos de grises, Invertir, Voltar, Tamaño de imagen, Calidad de imagen, Iniciar, Pausa, Detener, Tamaño de prueba, Tamaño de pixel, Tiempo de combustión y Tamaño de área de trabajo.



La pestaña de “Quick Tagging” o etiquetado rápido, permite ingresar texto para grabado o etiquetado de forma rápida.

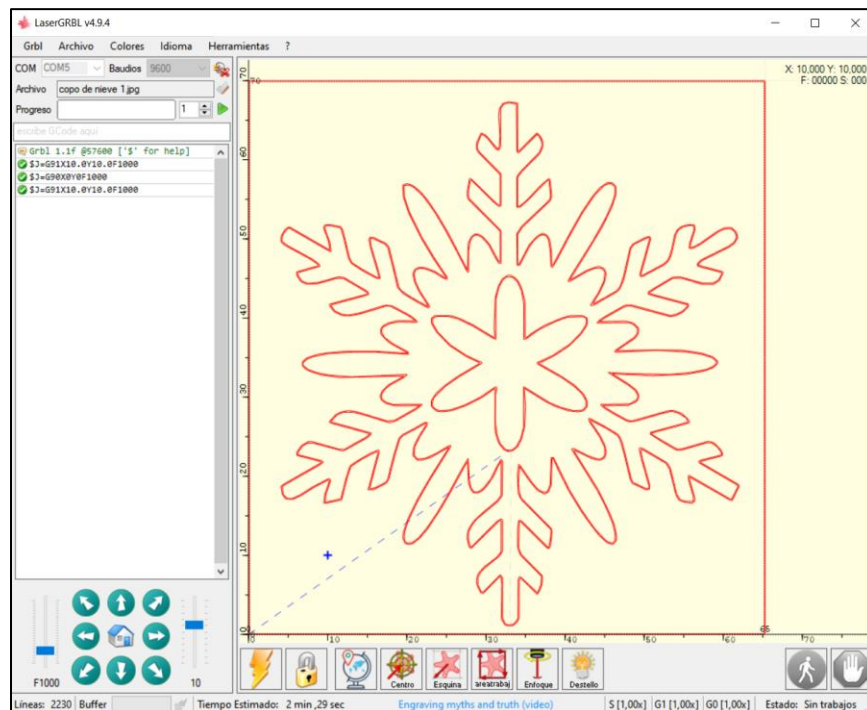


La pestaña de “*Device Settings*” o Configuración del dispositivo, permite realizar configuración de algunos parámetros que afectan directamente al código G, por ende, al funcionamiento del dispositivo.

1. Aplicar configuraciones por defecto al prototipo (Cabe mencionar que estas no siempre son las adecuadas) y Actualizar el firmware a nuestra placa Arduino.
2. Modificar Aceleración, velocidad de movimiento y pasos de los motores correspondientes al eje X e Y. Además, acceder a la interfaz de codificación Grbl para el código G.
3. Ajuste de luz débil y potencia del láser (en %).

6.5.2 Anatomía y configuración – Laser GRBL

LaserGRBL, es un software que presenta una interfaz principal intuitiva y fácil de manejar.



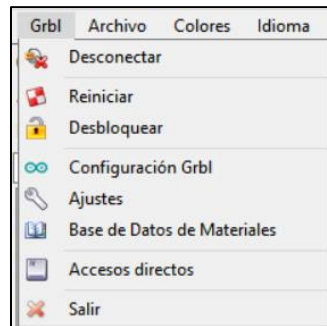
Aquí podemos encontrar lo siguiente:

1. Selección del puerto COM, tasa de baudios (Generalmente 9600 o 115200, configurar la misma tasa de baudios en el puerto COM de la PC), carga de archivo, porcentaje de trabajo y numero de repeticiones o ciclos de corte o grabado.

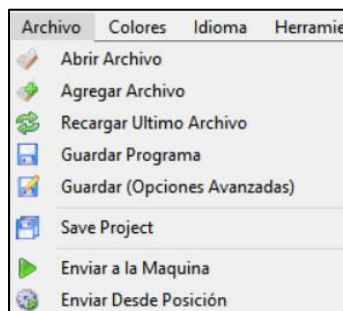
2. Línea para escribir G-code y espacio de visualización del G-code en ejecución.
3. Flechas de dirección (para test de la máquina o para ubicar punto cero), recorrido de cada paso (en mm) y velocidad de desplazamiento (mm/min).
4. Controles de posición: punto cero, centro de la imagen, esquina de la imagen, área de trabajo (área de la imagen), enfoque (luz débil para enfocar láser) y destello (utilizado para marcar un punto).
5. Área de visualización de la imagen vectorizada.

Además, cuenta con 5 pestañas que contienen herramientas de configuración del software y del sistema de control.

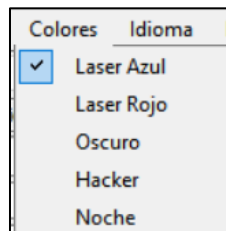
- **Grbl:** Entre las más importantes tenemos: Establecer conexión con el prototipo, configuración Grbl (G-code) y ajustes.



- **Archivo:** Abrir archivos, agregar archivos, recargar ultimo archivo abierto.



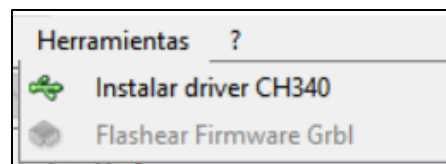
- **Colores:** Elegir el tipo de color de luz láser que se utiliza.



- **Idioma:** Selección de idioma del software.



- **Herramientas:** Instalar driver CH340 (Necesario para el puerto COM) y Flashear nuestra tarjeta de control (Arduino Nano) con el firmware Grbl.



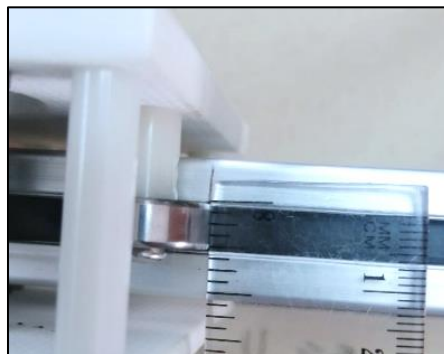
6.6 Pruebas y calibración del prototipo

Finalizada la construcción del prototipo e implementación del sistema de control del mismo, se realizan las respectivas pruebas y calibración de la máquina - herramienta para obtener resultados precisos. Para cumplir con lo planteado en el presente TT se realizan varias pruebas que se describen a continuación.

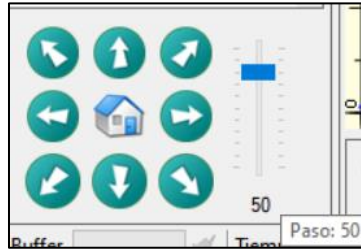
6.6.1 Precisión de movimiento de los ejes

Para comprobar la precisión del movimiento que realizan los ejes al desplazarse se realizó la siguiente prueba:

1. Se tomó como referencia un punto en el que se encuentra situado el carro móvil correspondiente al eje X, se realizó una marca.



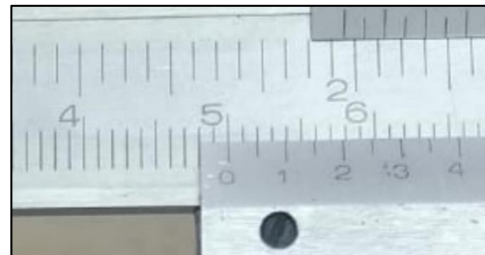
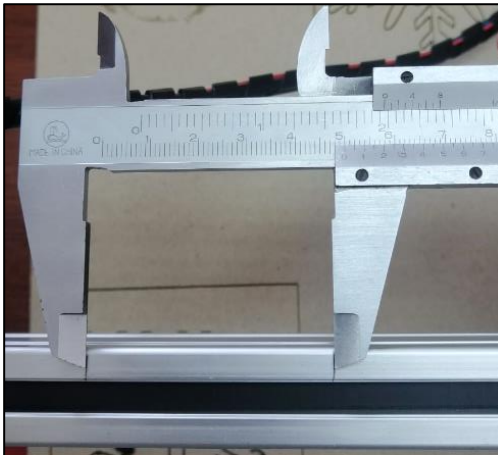
2. Se procede a establecer el movimiento mediante el software CNC (en mm) y se aplica el movimiento.



3. Finalizado el desplazamiento, se realizó otra marca correspondiente a la primera.



4. Con ayuda de un pie de rey se realizó la medición.



5. Teniendo el valor de desplazamiento aplicado en el software y el valor real medido; se calculó el porcentaje de error; para esto empleamos la formula del error absoluto.

$$\varepsilon_a = \text{Valor Real} - \text{Valor Medido}$$

$$\varepsilon_a = 5\text{mm} - 5\text{mm} = 0 \quad , \quad = 0\% \text{ error}$$

6. Se realizó el mismo proceso para el eje Y, obteniendo 0% de error.

Calibrados los ejes X e Y, se realizan las pruebas de grabado y corte con láser en diferentes materiales.

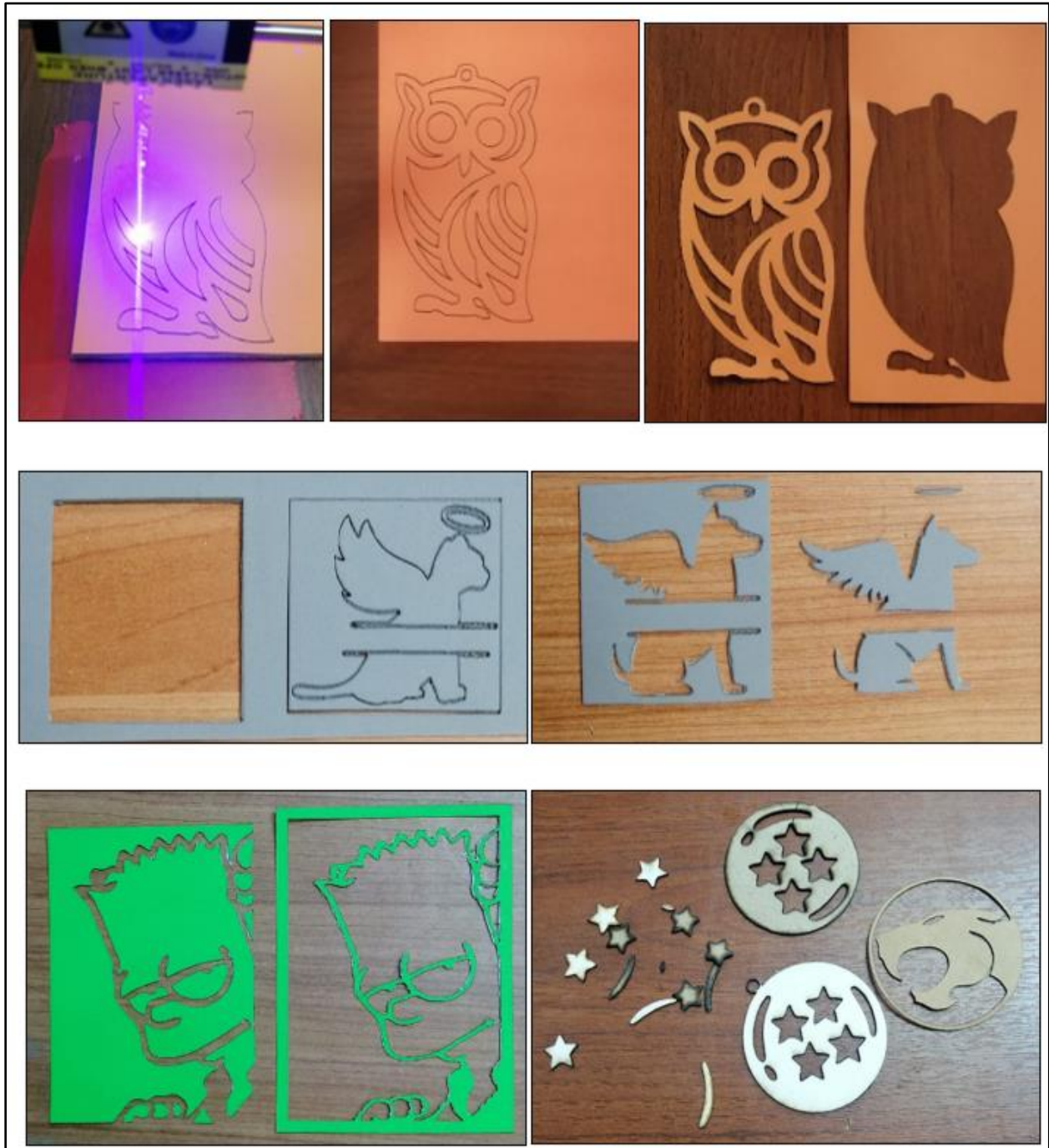
6.6.2 Pruebas de grabado

Las pruebas de grabado se realizaron en los materiales especificados en la sección 6.1.6.



6.6.3 Pruebas de corte

Los resultados de las pruebas de corte se presentan a continuación.



Realizadas las pruebas de grabado y corte se pudo determinar los materiales en los que es posible realizar grabado y los materiales en los que se pudo realizar corte con el láser. Como se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21.

Materiales de pruebas corte - grabado

Material	Proceso	Observaciones
MDF.	Grabado/Corte	Se puede realizar los dos procesos. En corte máximo 2 mm de espesor.
Madera de balsa	Grabado/Corte	Se puede realizar los dos procesos. En corte máximo 3 mm de espesor.
Madera de corcho	Grabado	Solo se puede realizar grabado.
Foami	Grabado/Corte	Se puede realizar los dos procesos.
Plástico	Grabado/Corte	Se puede realizar los dos procesos. En corte máximo 1 mm de espesor.
Acrílico	Grabado	Solo se puede realizar grabado debido a la dureza del material.
Cartulina	Grabado/Corte	Se puede realizar los dos procesos.
Papel Cartón	Grabado/Corte	Se puede realizar los dos procesos. En corte máximo 3 mm de espesor
Cuero y Cuerina	Grabado/Corte	Se puede realizar los dos procesos. En corte de cuero máximo 2 mm de espesor
Papel Adhesivo	Grabado/Corte	Se puede realizar los dos procesos.
Acetato transparente	-	En material transparente no se puede trabajar.

Así mismo se establecen los valores aproximados de velocidad y potencia del láser con los que se obtuvo mejores resultados para cada tipo de material. Observe la Tabla 22.

Tabla 22.*Valores de velocidad y potencia del proceso*

Material	Proceso	Potencia del Laser (%)	Velocidad (mm/min)	Aceleración (mm/seg²)	Ciclos (Repeticiones / Pasadas)	Observaciones
MDF.	Grabado	10	2500	2500.000	1	Fácil de grabar.
	Corte	100	3000	3000.000	8	MDF (2mm) se corta con 100% de potencia y altas velocidades.
Madera de balsa	Grabado	10	2500	2500.000	1	Muy fácil de grabar.
	Corte	70	3000	3000.000	3 - 4	Madera de 3mm se corta con altas velocidades.
Madera de corcho	Grabado	20	2500	2500.000	1	Se puede realizar grabado.
	Corte	-	-	-	-	No se puede realizar corte debido a la densidad del material.
Foami	Grabado	10	2000	2000.000	1	Muy fácil de grabar.
	Corte	60	3000	3000.000	2	Realizarlo en 2 ciclos para evitar derretir el material.
Plástico	Grabado	15	1500	1500.000	1	Fácil de grabar.
	Corte	80	3000	3000.000	3 - 4	Plástico de 1 / 2 mm se realiza en dos ciclos a mayor velocidad para evitar que se derrita el material.

Acrílico	Grabado	40	1500	1500.000	1	Se puede realizar grabado.
	Corte	-	-	-	-	No se puede realizar corte debido a la densidad del material.
Cartulina	Grabado	10	1500	1500.000	1	Muy fácil de grabar.
	Corte	60	2500	2500.000	1 - 2	Cote en un solo ciclo.
Papel Cartón (Maqueta)	Grabado	15	1500	1500.000	1	Muy fácil de grabar
	Corte	80	2500	2500.000	3	Con un 80% de potencia se logra el corte en 3 solo ciclo.
Cuero y Cuerina	Grabado	20	2500	2500.000	1	Fácil de grabar.
	Corte	50	2500	2500.000	1 - 2	Fácil de cortar.
Papel Adhesivo	Grabado	10-15	1500	1500.000	1	Muy fácil de grabar.
	Corte	50-80	2500	2500.000	1 - 2	Con 80% de potencia corta todo el material (adhesivo y liner), con 30% corta solo el material adhesivo.
Acetato transparente	Grabado	-	-	-	-	Debido a su transparencia el láser atraviesa el material sin afectarlo.
	Corte	-	-	-	-	Debido a su transparencia el láser atraviesa el material sin afectarlo.

6.7 Análisis Financiero

Para este proyecto de investigación, se presenta el análisis financiero, el cual da a conocer la información de costos con valores acordes al tiempo actual, considerando que con el transcurso del tiempo estos pueden variar. Además, se da a conocer que el proyecto es será totalmente en su totalidad por el autor.

Los costos generales involucrados en la elaboración de prototipo de grabadora y cortadora láser CNC van acorde a tres aspectos importantes:

- Costos Directos
- Costos Indirectos
- Costos de fabricación

6.7.1 Costos Directos

Estos se asocian directamente con la elaboración del producto y ejecución de la obra, los cuales incluyen: Materiales, componentes, accesorios, etc.

Tabla 23.

Costos Directos

Nro.	Detalle	Cantidad	V. Unitario	V. Total
1	Perfil aluminio (V-slot) 20x40 por metro	2	\$ 16.00	\$ 32.00
2	Motor de pasos Nema 17 - 1,5 Amp	2	\$ 35.00	\$ 70.00
3	Drivers A4988	3	\$ 3.50	\$ 10.50
4	Modulo láser (5,5W) 445nm 5500mW	1	\$ 165.00	\$ 165.00
5	Arduino Nano	1	\$ 12.00	\$ 12.00
6	CNC Shield V4.0	1	\$ 48.00	\$ 48.00
7	Fuente Alimentación 12V, 5A	1	\$ 15.00	\$ 15.00
8	Banda Dentada 2GT – 6mm (por metro)	6	\$ 3.50	\$ 21.00
9	Poleas 2GT – 6mm	3	\$ 2.50	\$ 7.50
10	Varilla lisa de acero inoxidable 5mm	1	\$ 13.50	\$ 13.50
11	Rodamientos de bolas 635ZZ	12	\$ 3.00	\$ 36.00
12	Rodamientos de bolas 605ZZ	1	\$ 2.50	\$ 2.50

13	Rodamientos de bolas 608RS	4	\$ 5.50	\$ 22.00
14	Acople flexible	1	\$ 4.00	\$ 4.00
15	Tubo aluminio cuadrado 20*20mm (por metro)	3	\$ 5.00	\$ 15.00
16	Accesorios metálicos (Tuercas, tornillos, arandelas)	Varios	\$ 18.50	\$ 18.50
17	Accesorios plásticos (Separadores)	Varios	\$ 12.50	\$ 12.50
			TOTAL	\$505.00

6.7.2 Costos Indirectos

Representan aquellos costos que incurren durante el desarrollo del proyecto afectando al proceso productivo, pero no se vinculan directamente al prototipo en construcción. Estos pueden ser: materiales indirectos, servicios básicos, mano de obra indirecta, etc.

Tabla 24.

Costos Indirectos

Nro.	Detalle	Cantidad	V. Unitario	V. Total
1	Artículos de Oficina	Varios	\$ 13.50	\$ 13.50
2	Internet (Por mes)	3	\$ 22.50	\$ 67.50
3	Valores de importación	Varios	\$ 77.80	\$ 77.80
4	Servicios de Courier (transporte por libras)	4	\$ 12.50	\$ 50.00
5	Lima metálica	1	\$ 4.50	\$ 4.50
6	Llaves Allen (Juego)	1	\$ 8.50	\$ 8.50
7	Lave Inglesa	1	\$ 7.00	\$ 7.00
8	Sierra de arco	1	\$ 12.50	\$ 12.50
9	Cúter	1	\$ 2.50	\$ 2.50
10	Barras de Silicon	3	\$ 0.50	\$ 1.50
11	Materiales para pruebas	Varios	\$ 28.00	\$ 28.00
			TOTAL	\$ 273.30

6.7.3 Costos de Fabricación

Comprende aquellos costos que se relacionan directamente con la implementación del prototipo, abarcando todo el proceso de manufactura, mano de obra y prestación de servicios.

Tabla 25.*Costos de Fabricación*

Nro.	Detalle	Tiempo (Horas)	V. Unitario	V. Total
1	Impresión 3D	72.20	\$ 1.05	\$ 75.81
2	Herramientas	10.00	\$ 2.00	\$ 20.00
3	Ensamblaje mecánico prototipo	7.00	\$ 2.65	\$ 18.55
4	Ensamblaje electrónico prototipo	2.00	\$ 2.65	\$ 5.30
5	Programación y configuración	6.00	\$ 2.65	\$15.90
			TOTAL	\$ 135.56

6.7.4 Costos Totales

Los costos totales incluyen lo descritos en los apartados anteriores: Costos directos, costos indirectos y costos de fabricación.

Tabla 26.*Costos Totales*

Nro.	Concepto	Costo Total
1	Costos Directos	\$ 505.00
2	Costos Indirectos	\$ 273.30
2	Costos de Fabricación	\$ 135.56
Subtotal		\$ 913.86
Imprevistos (20%)		\$ 182.77
TOTAL		\$ 1096.63

El total de gastos en la elaboración del presente proyecto asciende a **USD 1096.63**; valores que serán financiados con recursos propios del tesista.

7. Discusión

Conociendo la importancia de la investigación y el desarrollo de prototipos como método de aprendizaje, y en el cual basa su trabajo el Centro de Investigación, Innovación, Desarrollo de Prototipos Tecnológicos y Prueba Electroenergéticas I2TEC de la Universidad Nacional de Loja; se realizó a través de una revisión bibliográfica e investigación aplicada el desarrollo de un prototipo de cortadora y grabadora láser CNC. El desarrollo de las actividades del presente proyecto, desglosa al objetivo general planteado mediante cuatro objetivos específicos que garanticen la eficiencia y funcionamiento óptimo del prototipo. A continuación, se detallan los puntos más relevantes que se presentaron durante el proceso de desarrollo, así como las limitaciones, mejoras y aportes que ofrece este proyecto; que permitieron dar por cumplido los objetivos planteados.

Objetivo 1. Dimensionar la estructura del modelo a desarrollar mediante software CAD.

Posterior a la recopilación y análisis de la información que comprende el tema planteado, la cual se encuentra descrita en la sección 4; se inicia el diseño y modelado 3D, partiendo de los materiales seleccionados para su efecto. Para el diseño se puntualizó los requerimientos del prototipo, como el área de trabajo, sistemas de desplazamientos, ejes cartesianos en los cuales va a trabajar la máquina y los componentes que la conforman. Esta información de medidas, formas y funcionalidades, se encuentran descritas en la sección 6.2

Objetivo 2. Construir la estructura física de montaje para un área de trabajo de 297 x 420 mm (Formato A3, Norma ISO 216), con sus respectivos sistemas de desplazamiento en los ejes X e Y.

Establecido el diseño CAD, se procede al desarrollo e implementación de la máquina herramienta, considerando los planos obtenidos posterior al diseño en software; y cumpliendo con las medidas establecidas en los mismos. El prototipo consta de dos ejes cartesianos (X, Y), en donde el eje Y se encuentra a lo largo del marco principal de la estructura, mientras que el eje X se encuentra en un carro móvil que complementa al eje Y. Estos ejes desarrollan su desplazamiento a través de un sistema de transmisión de potencia mediante correas dentadas GT2 montada sobre poleas acorde a sus dimensiones. Este sistema es uno de los más empleados debido a la eliminación

de esfuerzos por fricción propio de sus características, lo cual hace que gran efectividad y nivel de precisión.

La fabricación de las piezas que conforman la estructura principal se realizó a partir de aluminio, mientras que las piezas que sirven de acoples y sujeción de la estructura se realizaron mediante impresión 3D, utilizando como material base PLA; debido a su fácil acceso y obtención de piezas terminadas robustas, capaces de soportar grandes esfuerzos.

Objetivo 3. Implementar el sistema de control de la máquina CNC.

La instalación del sistema de control del prototipo basa su funcionamiento en tres componentes principales de hardware y uno de software. La parte electrónica o componentes de hardware entra en acción mediante un Arduino nano montado sobre una Shield CNC V4, y posteriormente se incluyen driver A4988 para suministrar la corriente necesaria y adecuada a los motores de pasos. La Shield CNC se diseñó y desarrollo del modelo comercial Shield CNC V4, ya que esta versión es propiamente para trabajar con Arduino Nano, pero se necesitó realizar la placa Shield CNC, en lugar de usar una comercial, esto debido a un error de fabricación presente en el modelo comercial. Este error es básicamente que no permite seleccionar los modos de resolución permitidos por el driver A4988 para motores a pasos, es decir los micro pasos (Paso completo, 1/2 paso, 1/4 de paso, 1/8 de paso y 1/16 de paso); esto se debe a que los selectores MS1, MS2 y MS3 comparten un mismo GND, en lugar de alimentación 5V como deberían. Por lo tanto, se diseñó el circuito realizando esta corrección y se obtuvo la Shield CNC con la función de micro pasos funcionando correctamente, configurada en 1/16 micro pasos.

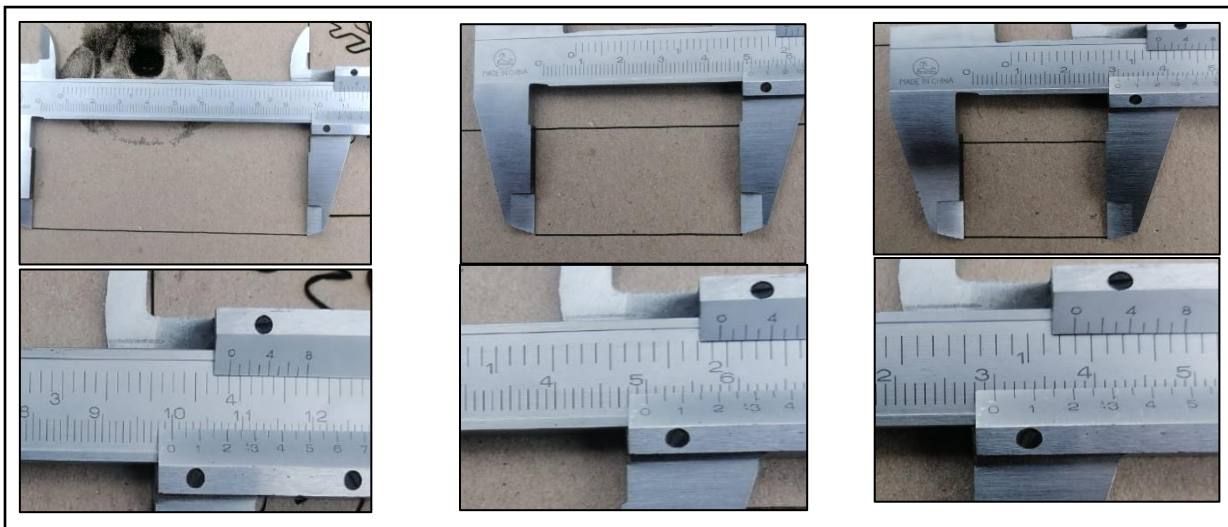
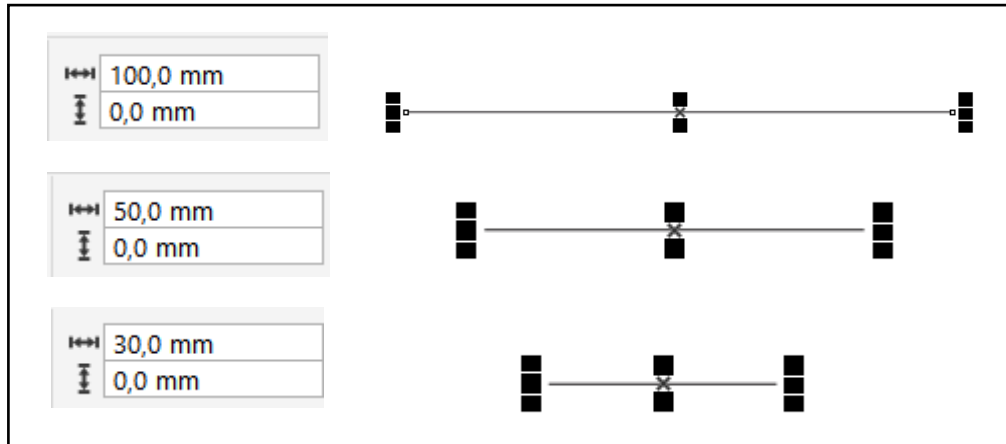
La parte del sistema de control correspondiente a software se realiza mediante software libre de código abierto, el cual permite adecuar el G-code de acuerdo a los requerimientos del prototipo y grabar o subir esta información directamente en la tarjeta de desempeño con ayuda del firmware Grbl 1.1, el cual se lo encuentra de manera libre y gratuita, esto se describe a detalle en la sección 7.4.

Objetivo 4. Evaluar los resultados de grabado y corte, así como el óptimo funcionamiento de la máquina.

Finalmente, la evaluación del funcionamiento del prototipo desarrollado, tanto para las funciones de grabado y corte; se basó en pruebas enfocadas a obtener resultados precisos y de buena apariencia. Para esto se considera que al tratarse de un prototipo que no tiene como fin su

comercialización, no requiere que cumpla con alguna norma o estándar en cuanto a su funcionamiento, pero si se considera que los resultados que ofrezca sean bien apreciables.

Las pruebas se inician con verificación de la precisión de la máquina, para esto se toma tres líneas de muestra de diferente medida (10cm, 5cm, y 3cm respectivamente), las cuales mediante el software CNC se establecen sus dimensiones de longitud, para proceder a realizare el grabado de éstas y comprobar con ayuda de un pie de rey, la medición correspondiente.



De esta manera se comprueba que la resolución obtenida de micro pasos da un error de 0%, lo cual denota un óptimo funcionamiento. A partir de esto se realizan las pruebas de corte y grabado considerando diferentes niveles de potencia del módulo láser y diferentes velocidades; lo cual demuestra cómo afecta directamente en el resultado del trabajo.



Así mismo, parte de las pruebas se basaron en diferente tipo de tamaño de pixel (líneas/mm) y formato de punteado del láser (escala de grises); con el fin de validar como afecta al resultado y obtener los parámetros más acertados para un resultado de mejor calidad.



El prototipo desarrollado se elaboró con material altamente resistente como lo es el aluminio (perfil V-slot 20x40) y a su vez ligero, con el fin de no aportar gran peso a la estructura general; reemplazando así a al material tradicional como el acero y la madera. Además de peso reducido, su diseño desmontable entre la estructura del prototipo y mesa de trabajo le brinda una mayor facilidad de traslado; diferenciándose así del trabajo presentado por Ribera, J. (2018), el cual basa su diseño en material de madera.

El sistema de transmisión por correas dentada permite mayor velocidad de desplazamiento, de mantenimiento y reduce costos de implementación; esto brinda la opción de ciclos de pasos más exactos. En contraste al trabajo presentado por Armas J, Chávez G. (2021), el cual es un

dispositivo con sistema de transmisión por husillo (varilla roscada), el cual produce mayor fricción y vibraciones en el funcionamiento; además, en este tipo de sistema se presenta el factor de contragolpe por frenado de los motores de pasos. Cabe mencionar que el sistema de transmisión por husillo es más costoso y de mayor dificultad de mantenimiento.

8. Conclusiones

En el presente Trabajo de Titulación se ha realizado un el diseño de un prototipo de CNC láser, de acuerdo al trabajo realizado se puede concluir lo siguiente:

- El software Grbl al ser de código abierto, integra un generador de código G a partir de imágenes, lo que brinda la posibilidad de crear múltiples diseños desde el mismo software sin necesidad de tener implementado un software para diseño y vectorización de imágenes. Pero hay que mencionar que un programa de diseño y vectorización de imágenes permite modificar muchas más características que en el software CNC están limitadas.
- El sistema de control del prototipo utiliza una extensión de hardware, mayormente conocida como Shield CNC, la cual es compatible con Arduino Nano y este a su vez ejecuta la librería GRBL; la cual se encarga de convertir los comandos de G-code en señales paso a paso. Así se logra englobar las conexiones entre el ordenador, circuito de control y Drivers A4988, quienes suministran energía a los motores para su funcionamiento.
- El color del material es un factor que afecta el proceso de grabado y corte; al trabajar con una fuente de luz se debe tener en cuenta que mientras el color del material es más oscuro, la luz producida por el láser es absorbida de mejor manera que en un material de color claro en donde gran parte de la luz producida por el láser es reflejada.
- Al trabajar realizando corte mediante láser, mientras mayor es la velocidad de trabajo, el resultado tendrá mayor calidad, puesto que, al no estar mucho tiempo el haz de luz sobre el material, no se genera demasiado calor y no permite que el material sobre el que se está trabajando se queme, dándonos como resultado bordes más limpios y precisos. Pero en su defecto esto requiere un mayor número de ciclos o pasadas para realizar el trabajo.
- En materiales transparentes como el acetato, no se puede realizar corte y grabado mediante este tipo de láser, puesto que el haz de luz traspasa el material alcanzando la mesa de trabajo,

pero sin afectar el medio transparente, aunque éste sea delgado. Aun aumentando la potencia del láser no habrá mucha diferencia en el resultado; debido a que el haz de luz no es absorbido por el material y lo máximo que se logra es realizar un marcado de baja calidad.

- El desarrollo del diseño e implementación de un prototipo, está compuesto de varios procesos de retroalimentación, en procesos de adecuaciones del mismo; esto hace que el proceso sea más complejo y requiera de mayor tiempo de desarrollo, lo cual se ve reflejado en una mayor inversión de recursos y por ende un mayor coste de producción. Sin embargo, para procesos académicos y de investigación, la elaboración de prototipos es una gran técnica de aplicar conocimientos adquiridos, potenciar otros y descubrir nuevos.

9. Recomendaciones

En base al trabajo realizado en este documento, se establecen las siguientes recomendaciones:

- Al realizar el diseño del prototipo considerar una mesa de trabajo de mayor tamaño al área de trabajo, tomando en cuenta el recorrido y dimensiones de los carros móviles para cada uno de los ejes (X, Y).
- El uso y puesta en marcha del prototipo debe ser realizado por un operario capacitado, cumpliendo con todas las medidas de seguridad. Además, contar con conocimientos mínimos para el manejo del software CNC.
- El uso de un software de edición y vectorización de imágenes permite obtener mayor detalle de la imagen a grabar; lo cual se ve reflejado en una mejor calidad del trabajo terminado.
- Para cuidar y alargar la vida útil del módulo láser se debe pausar el trabajo y apagar el láser durante un periodo de 10 min por cada hora de funcionamiento; sobre todo cuando se trabaja a su máxima capacidad de potencia.
- La superficie en donde se ubique el prototipo, necesariamente tiene que estar perfectamente nivelada; pues si el material sobre el que se esté trabajando no mantiene un mismo nivel, el láser no recaerá a un mismo nivel sobre toda la superficie del material, lo cual causaría

que algunas zonas sean mayormente afectadas por la fuente luminosa, que otras; obteniendo un resultado no deseado.

- Debido a los largos procesos de trabajo del prototipo, la implementación de un sistema de control offline (fuera de línea) es de mucha importancia, ya que esto nos permitirá realizar trabajos de corte y grabado sin necesidad de tener una computadora conectada al prototipo.
- Tener instalado y mantener actualizado el driver CH340 para compatibilidad entre el prototipo y el puerto COM en donde se conecte el cable USB de configuración del Arduino Nano.
- Para mejorar la precisión de grabado y corte con láser, la implementación de una bomba para asistencia de aire es de gran importancia, ya que ayuda a mantener el área libre de residuos generados durante el proceso y a su vez extrae el humo generado y permite un mejor enfoque del haz de luz del láser.

10. Bibliografía

- Arriaga, D. (2021). *Creativa LAB*. Obtenido de <https://creativelab.io/blogs/noticias/materiales-para-corte-y-grabado-laser>
- Banggood. (2020). *Banggood*. Obtenido de https://www.banggood.com/7000mW-445nm-Blue-Laser-Module-7W-Fixed-Focus-TTLandPWM-Modulation-w-or-Heat-Sink-2_54-3P+2P-DIY-Laser-Engraver-for-EleksMaker-p-1578124.html?imageAb=2&rmmds=search&cur_warehouse=CN&p=EC110916037169201711&custlixnkid=774080&akmCli
- Berrospe, C. (2009). *Láseres de Colorantes*. México.
- BIMEX. (2020). *Máquinas Herramientas BIMEX*. Obtenido de <https://maquinasbimex.mx/laser-fibra-funciona/>
- BRILDOR. (2020). *BRILDOR*. Obtenido de <https://www.brildor.com/blog/es/maquina-laser/>
- Castán, Y. (2006). Método Científico y Sus Etapas. *Inst. Aragon. Ciencias La Salud, vol 2*, 1-6.
- Cimech3D. (2022). *Cimech3D*. Obtenido de <https://www.cimech3d.cl/producto/perfil-aluminio-v-slot-20x40-plateado/>
- Comercial, L. (2020). *LASER COMERCIAL*. Obtenido de <https://lasercomercial.com/2020/10/28/las-maquinas-laser-de-fibra-galvo/>
- De Máquinas y Herramientas*. (2015). Obtenido de <https://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/introduccion-a-la-tecnologia-cnc#comments>
- Empresas, I. y. (2014). *Industria y Empresas*. Obtenido de <http://industriasyempresas.com.ar/node/2088>
- Gallo, Y. (2016). *Timetoast*. Obtenido de <https://www.timetoast.com/timelines/historia-del-cnc-09ae0bf6-0d3c-4240-bb4a-90448787e4d7>

- García, J. (2006). El láser ¿motivación o realidad para el estudio de Física por los estudiantes de las Ciencias para la Salud? *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas ISSN 0864-0300versión On-line ISSN 1561-3011*.
- Gasol, J. M. (2008). Física del Laser. *SciELO Analytics*, 4.
- Gaspar, K. (2018). *Universidad UTE*. Obtenido de <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-ute/mecanica/definicion-de-control-numeric-computarizado/8088131>
- Génova, F. (2019). *HOLY-LASER Technology*. Obtenido de <https://hoiylasertechnology.wordpress.com/2019/01/09/tipos-y-utilidades-de-laser/>
- González, G. (2020). *Lifeder*. Obtenido de Lifeder: <https://www.lifeder.com/metodo-inductivo/>
- Hernandez, G. (2017). *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*. Obtenido de UAEH: https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/b_huejutla/2017/Metodo_Analitico.pdf
- Hub, E. G. (2018). *El Garaje Project Hub*. Obtenido de <https://elgaragehub.com/wiki/doku.php?id=manuales:cortear#:~:text=El%20corte%20por%201%C3%A1ser%20fue,de%20aplicaciones%20de%20fabricaci%C3%B3n%20industrial.>
- Inkscape.org. (2019). *Inkscape*. Obtenido de <https://inkscape.org/es/acerca-de/>
- INSST. (2015). *Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo*. Obtenido de <https://www.insst.es/-/-que-es-un-laser->
- Jonathan Armas, G. C. (2021). Diseño y Construcción de un prototipo de cortadora laser CNC. Quito, Ecuador.
- José Fuentes, M. M. (2015). Diseño y Construcción de un prototipo de maquina tipo cartesiano para corte y grabado Laser en Papel. Bototá.
- Julián Pérez, M. M. (2021). *Definición.de*. Obtenido de <https://definicion.de/metodo-deductivo/>

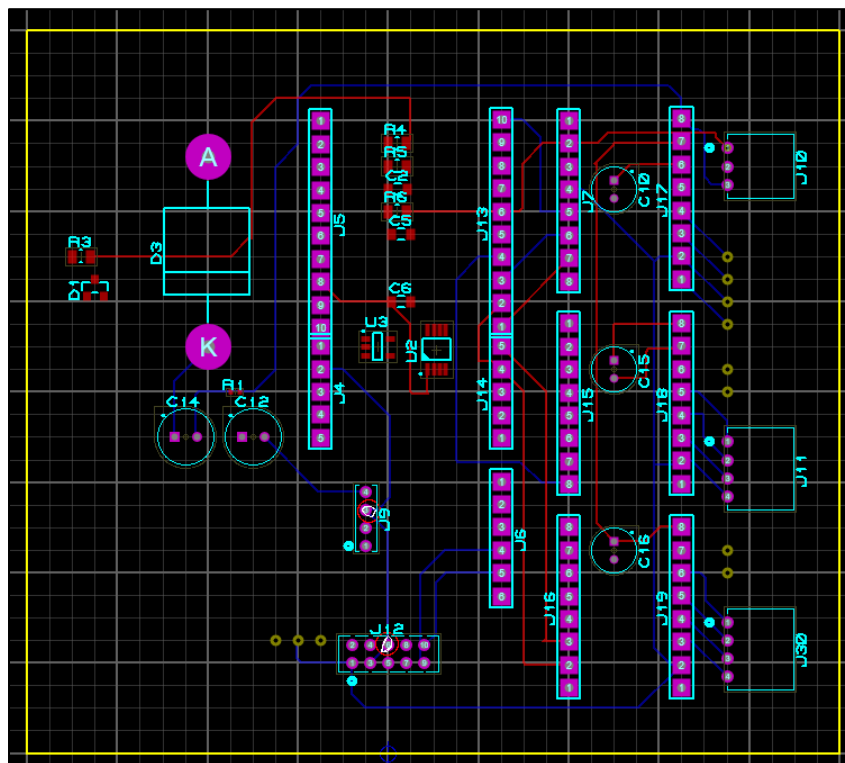
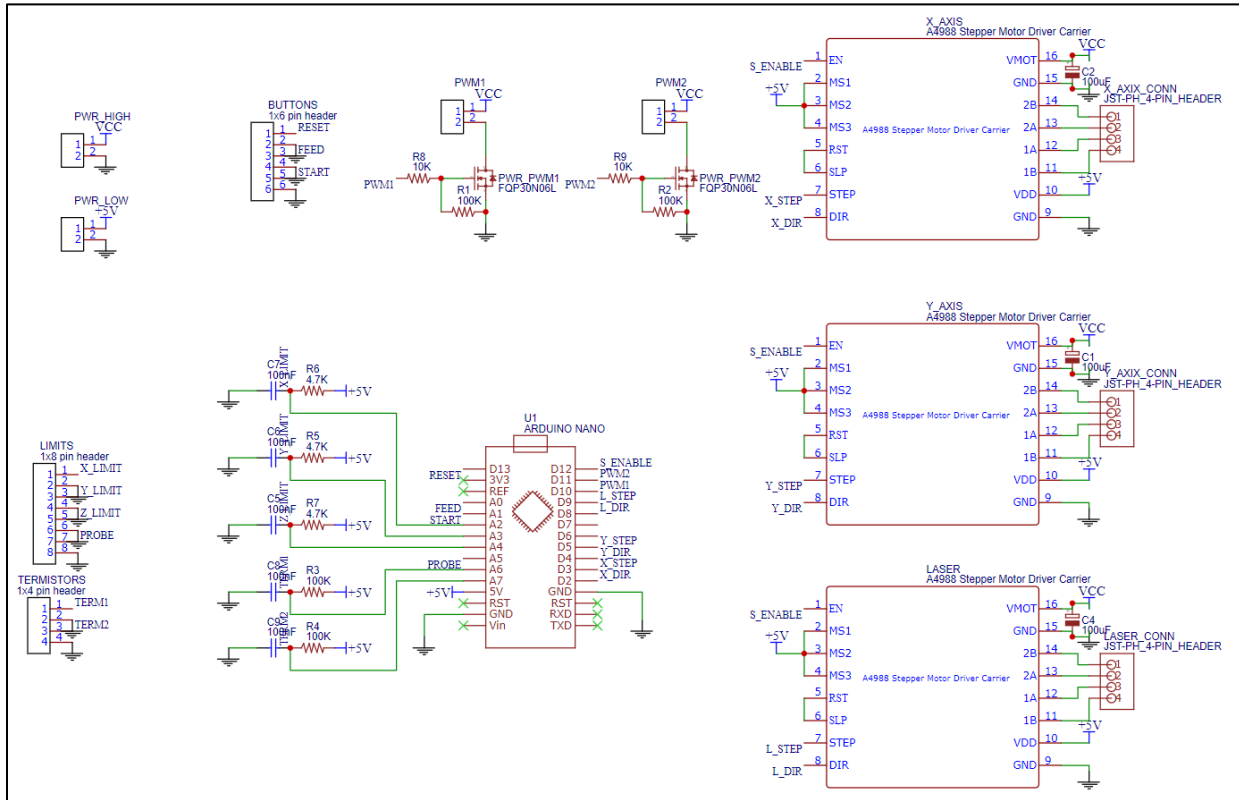
- Lei, R. (2022). *XTOOL*. Obtenido de <https://www.xtool.com/es/blogs/buyer-guide/fiber-co2-diode-laser-difference>
- LUGO, E. (2022). *Electrónica LUGO*. Obtenido de <https://electronicalugo.com/que-es-un-diodo-laser-su-funcionamiento-construccion-tipos-y-usos/>
- Martínez, R. (2018). *Maquinas y Servicios Industriales*. Obtenido de MASI: <https://masinc.wordpress.com/historia-del-cnc-y-conceptos-basicos/>
- Mecasinc. (2015). *MECASINC - Mecanizados de Precisión*. Obtenido de <https://www.mecanizadossinc.com/sistema-cnc-control-numericopor-computadora/#comment-678>
- Morcillo, N. (2022). *Creativos*. Obtenido de <https://www.creativosonline.org/que-es-coreldraw.html?msclkid=c5da1445ce5811eca22c1ebe17390ed8%27nvOpzp%3B+AND+1%3D1+OR+%28%3C%27%22%3EiKO%29%29%2C%26>
- NATYTEC. (2022). *NATYTEC*. Obtenido de <https://natytec.com.mx/CNC/correa-dentada-gt2-2gt-gt3-3gt-de-sincronizacion-timing-belt/>
- Ortiz, M. (2017). *Ingeniería de Software*. Obtenido de <http://isw-udistrital.blogspot.com/2012/09/ingenieria-de-software-i.html>
- Pardo, L. (2021). *NeoTeo*. Obtenido de <https://www.neoteo.com/lasergrbl-programa-open-source-para-hacer-grabados-laser-diy/#:~:text=LaserGRBL%3A%20Programa%20open%20source%20para%20hacer%20grabados%20%C3%A1ser%20DIY,-Una%20excelente%20alternativa>
- Publicidad, M. (2017). *Mass Publicidad*. Obtenido de <http://masspublicidad.net/DETALLE/corteygrabado.html>
- RECAM. (2022). *RECAM LASER LEVANTE*. Obtenido de Grupo RECAM: <https://recamlaserlevante.com/2022/03/08/historia-y-como-ha-evolucionado-el-corte-por-laser/>
- Spiegato. (2021). *Spiegato*. Obtenido de <https://spiegato.com/es/que-es-un-diodo-laser-azul>

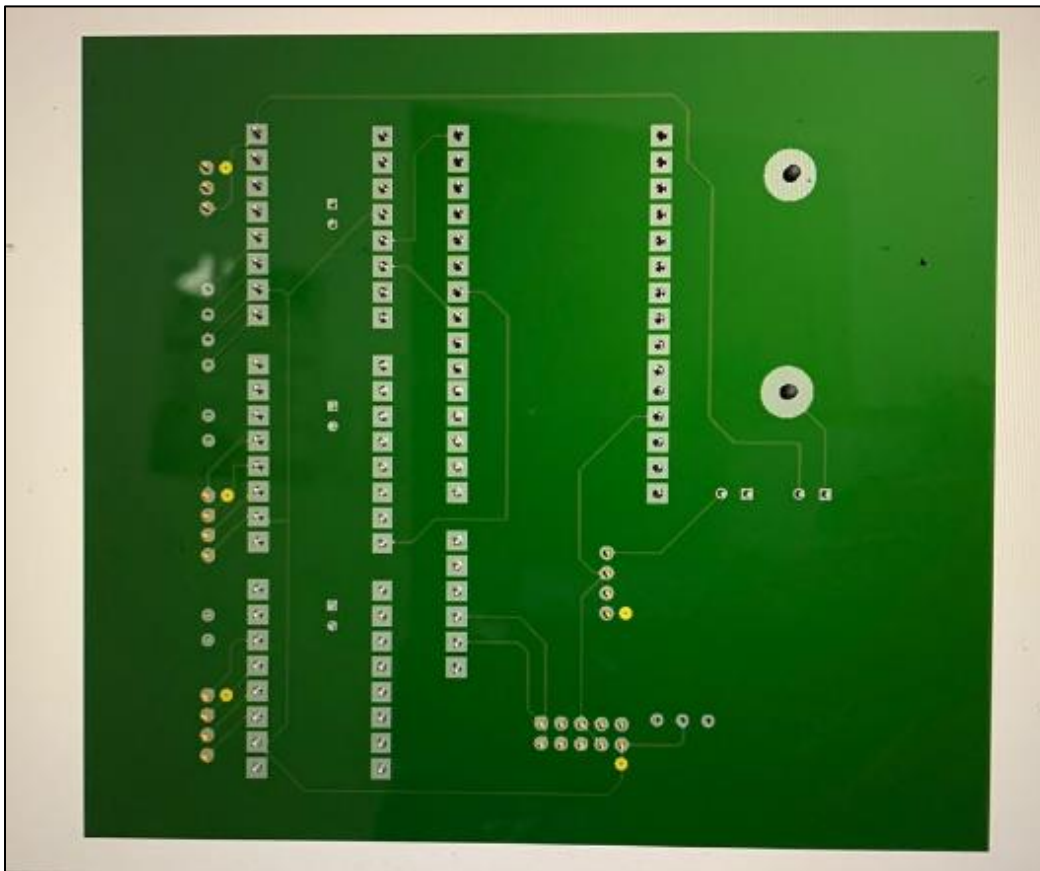
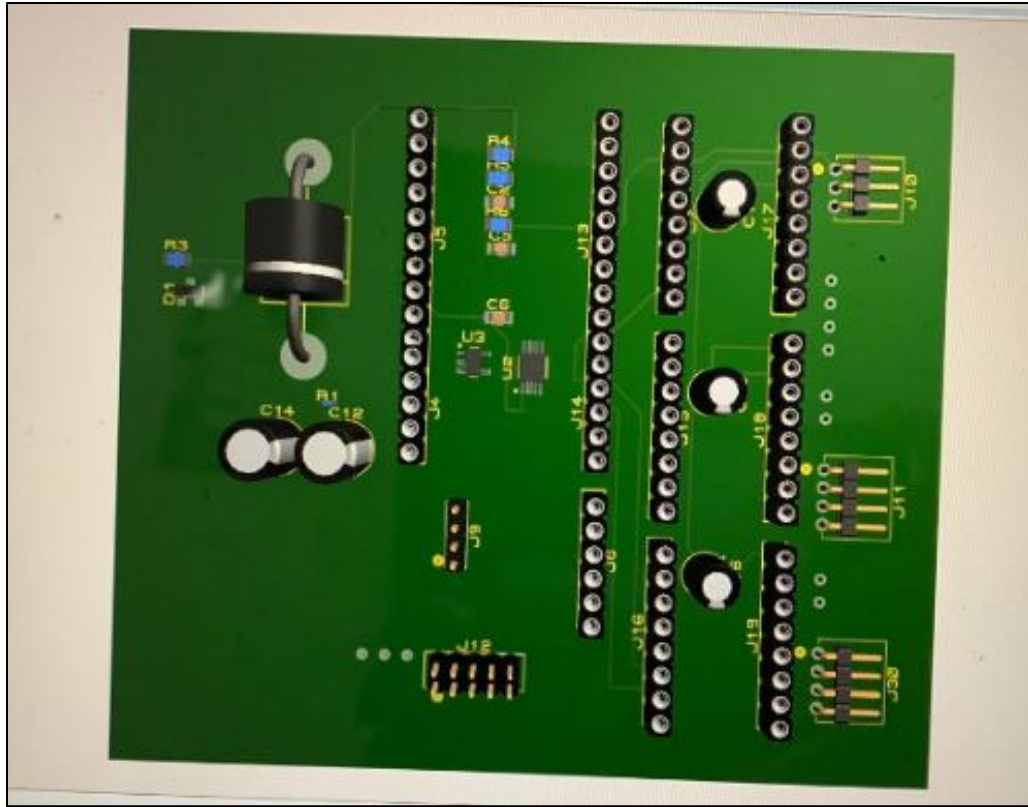
TROTEC. (2022). Obtenido de <https://www.troteclaser.com/es-ec/ayuda-y-asistencia/centro-de-ayuda/historia-de-la-tecnologia-laser>

TROTEC. (2022). *TROTEC LASER GmbH*. Obtenido de <https://www.troteclaser.com/es-ec/maquinas-laser/accesorios-laser/fuente-laser-mopa>

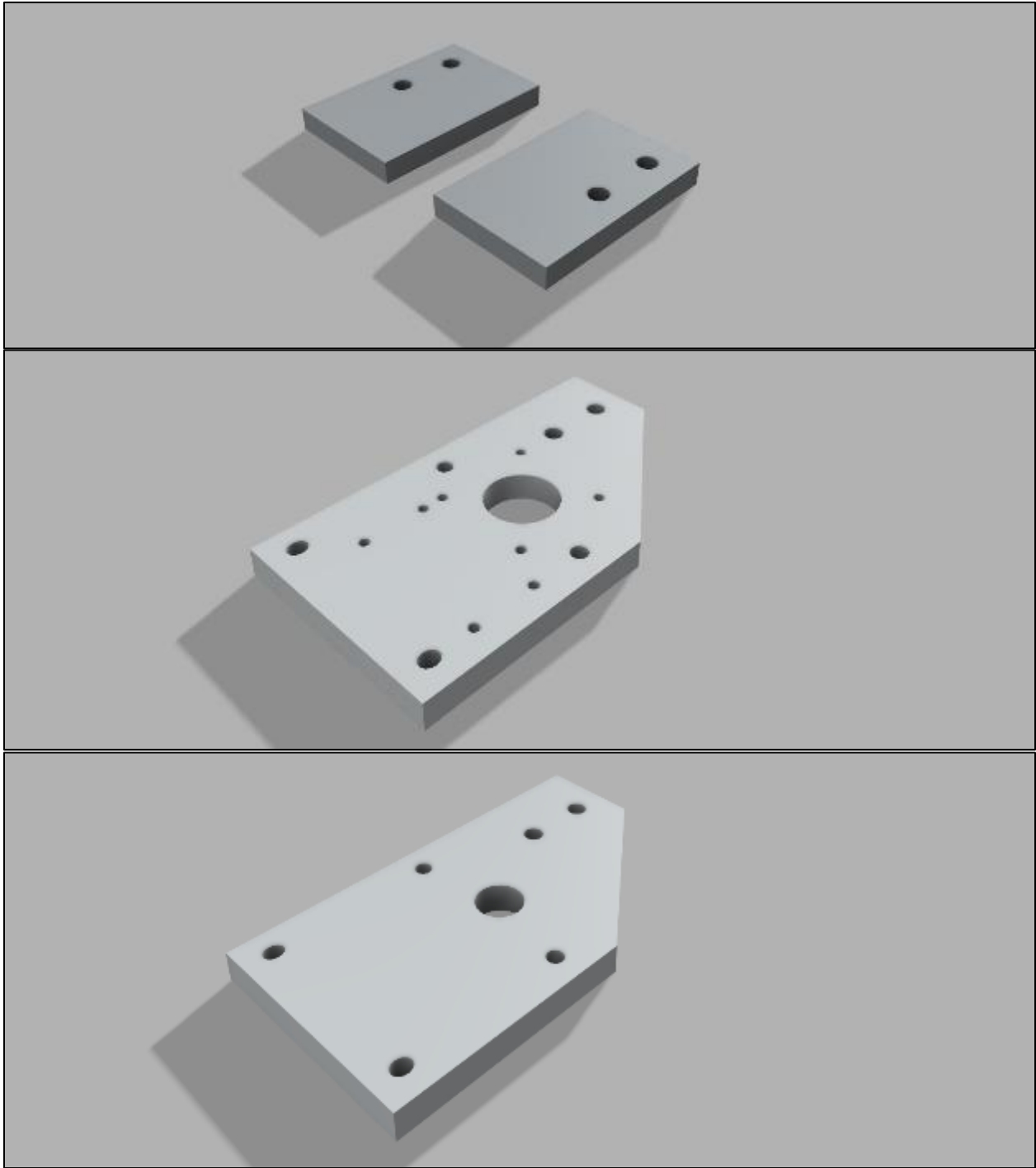
11. Anexos

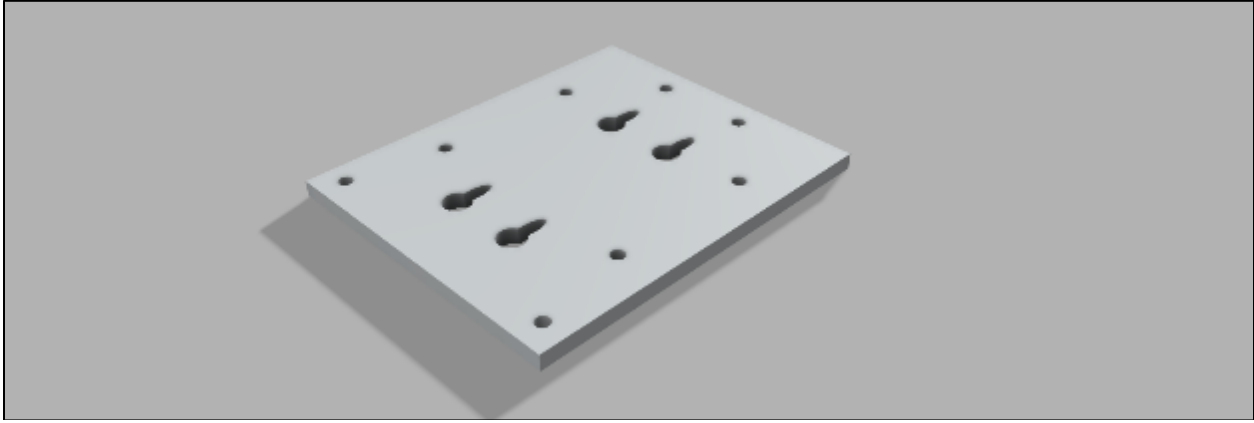
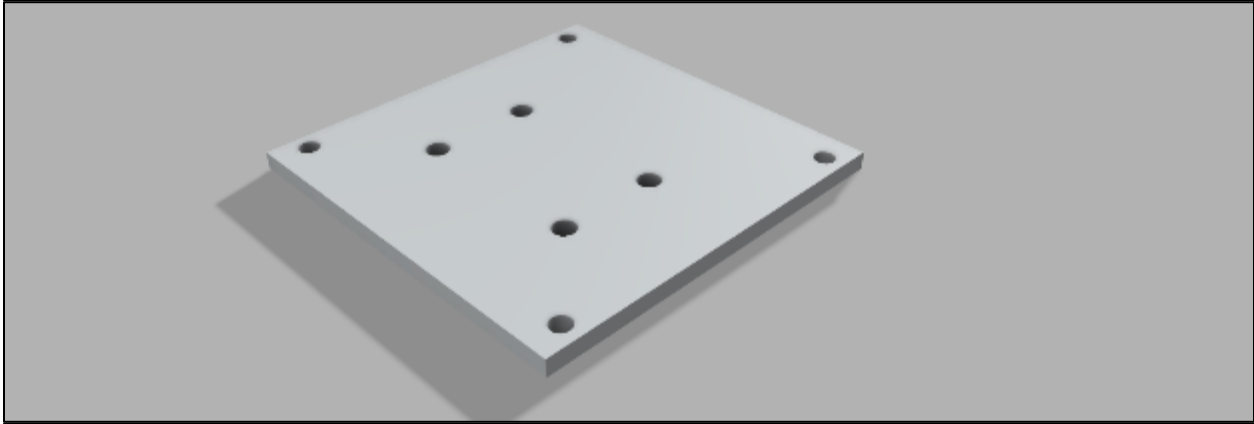
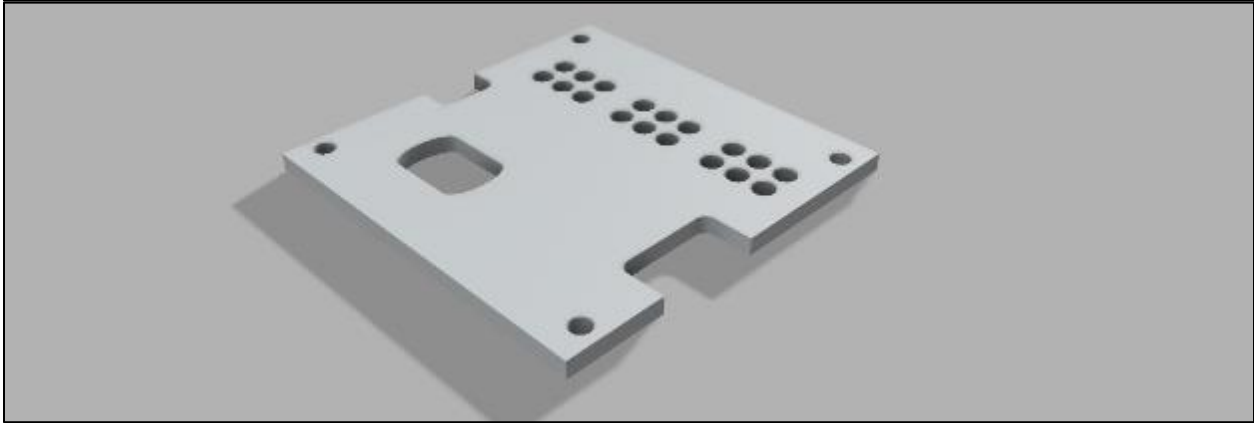
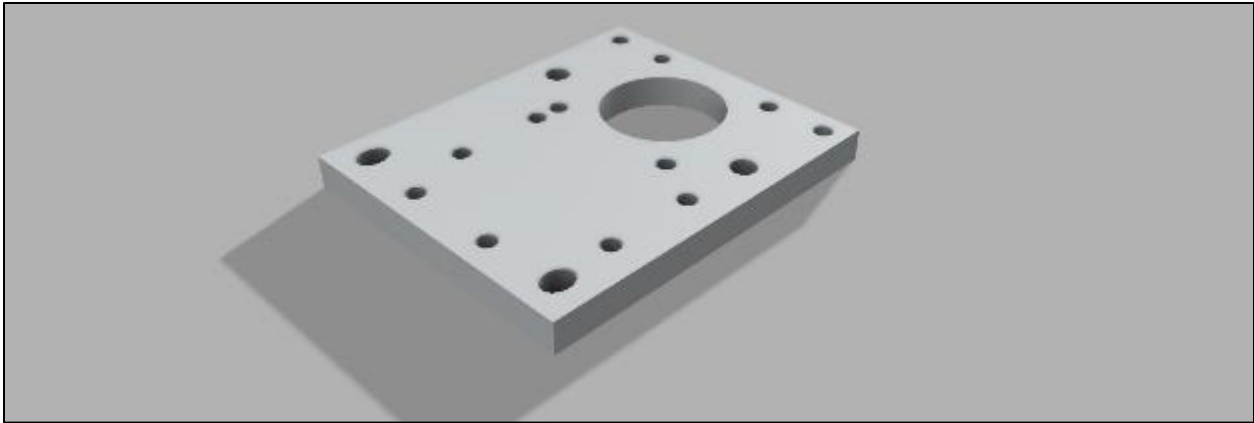
Anexo 1. Diseño Circuito de Control CNC

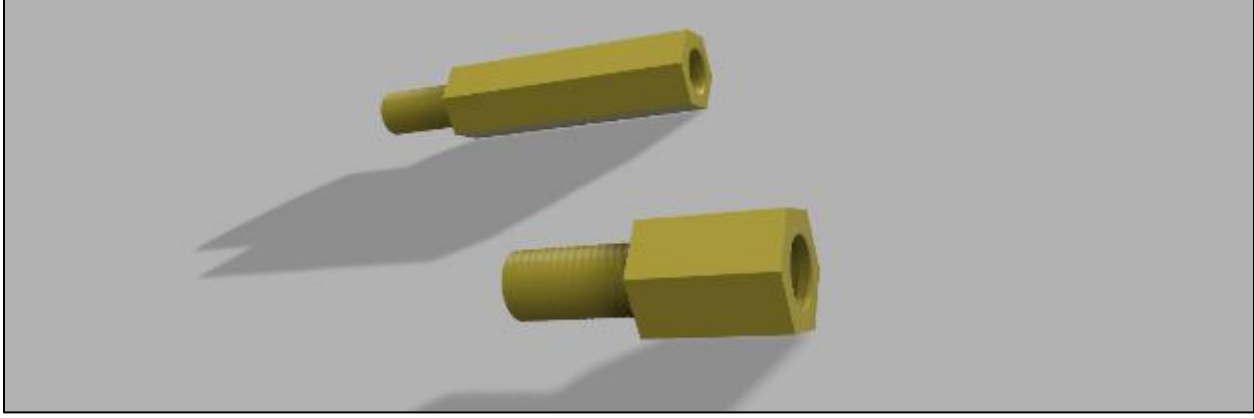
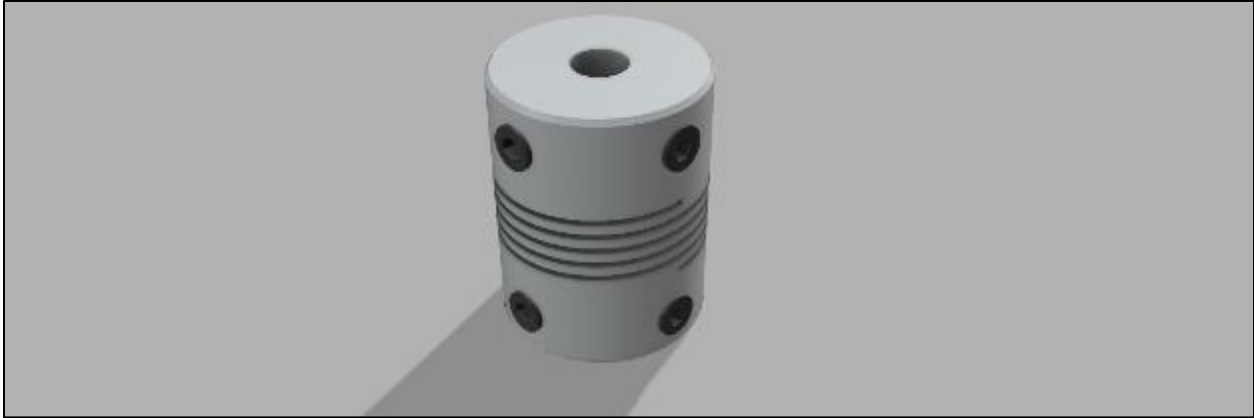
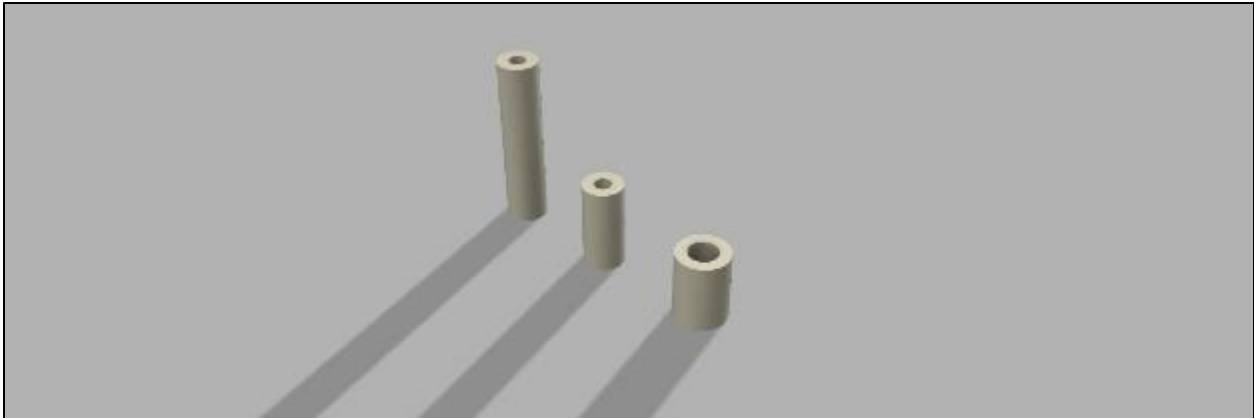


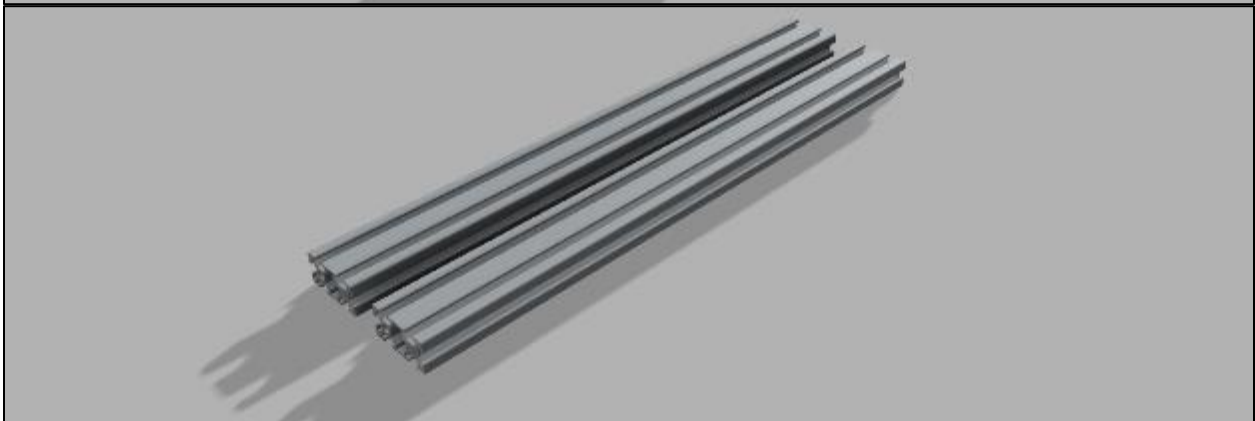
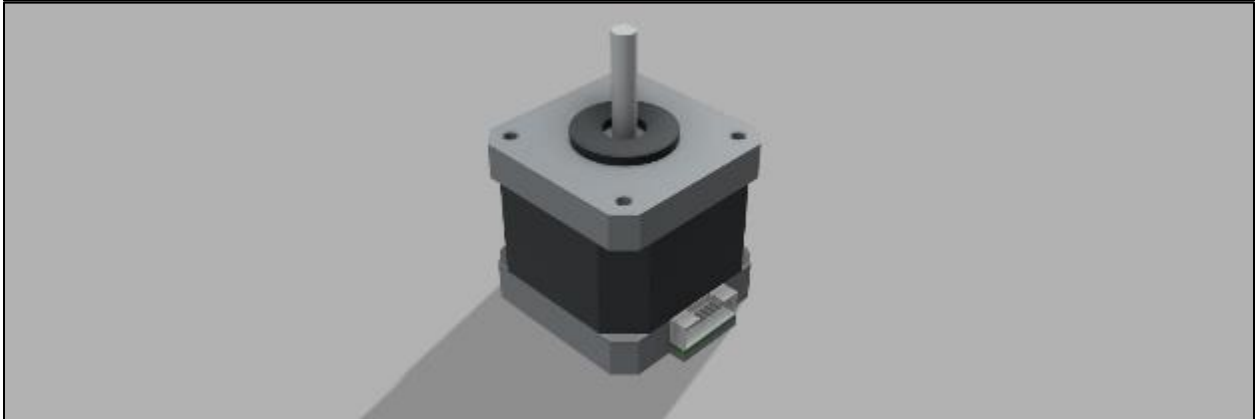
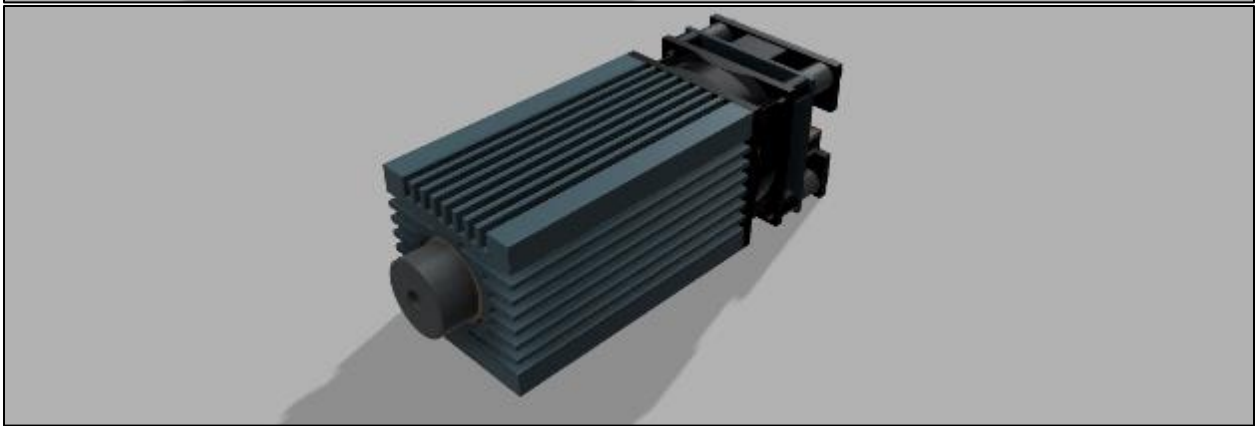
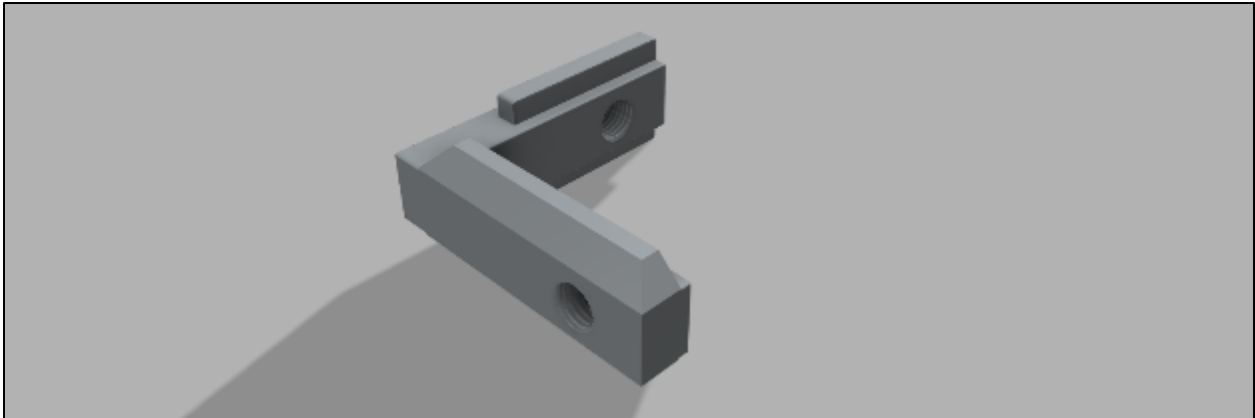


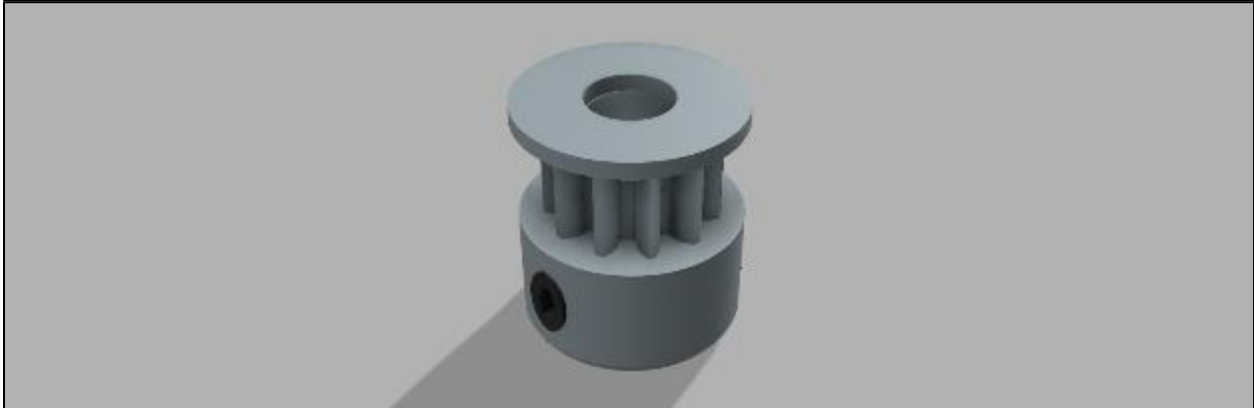
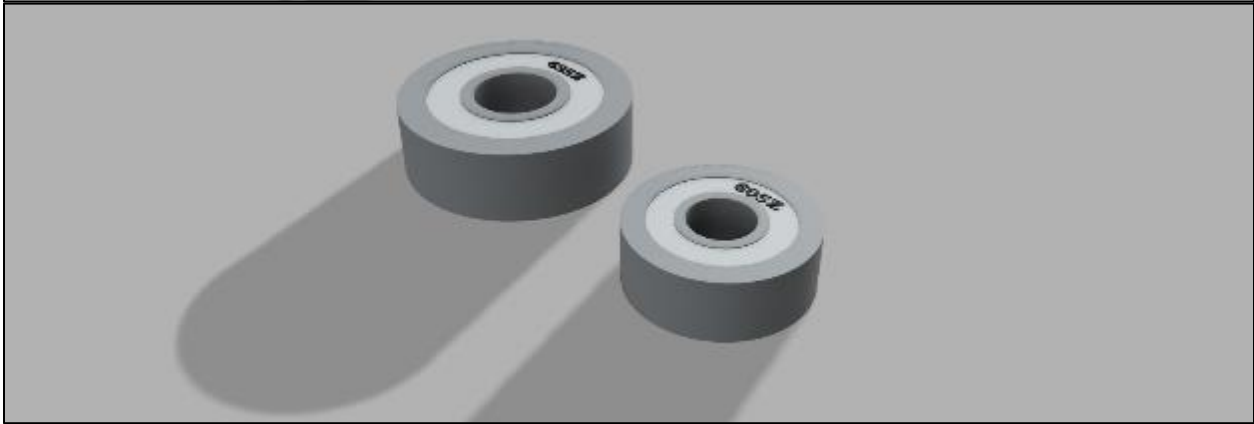
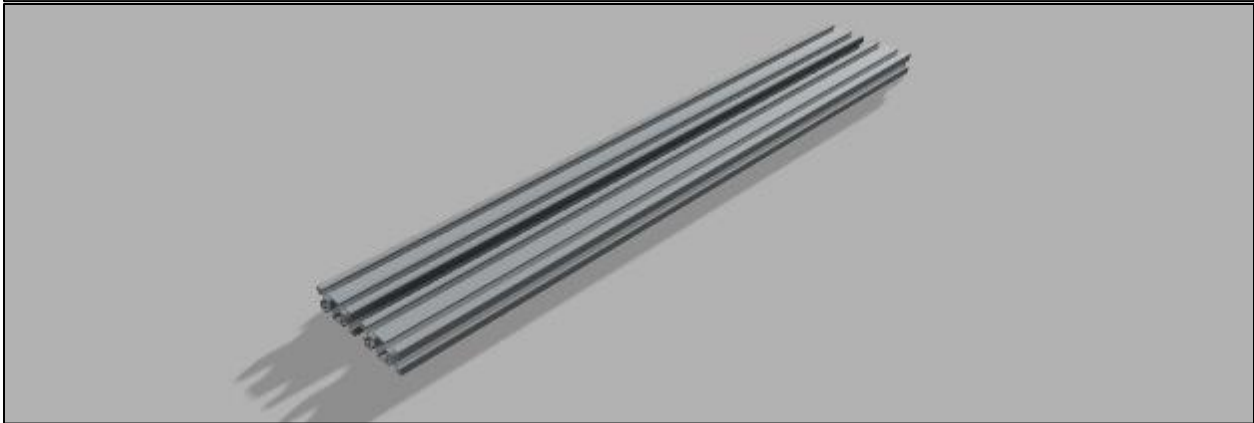
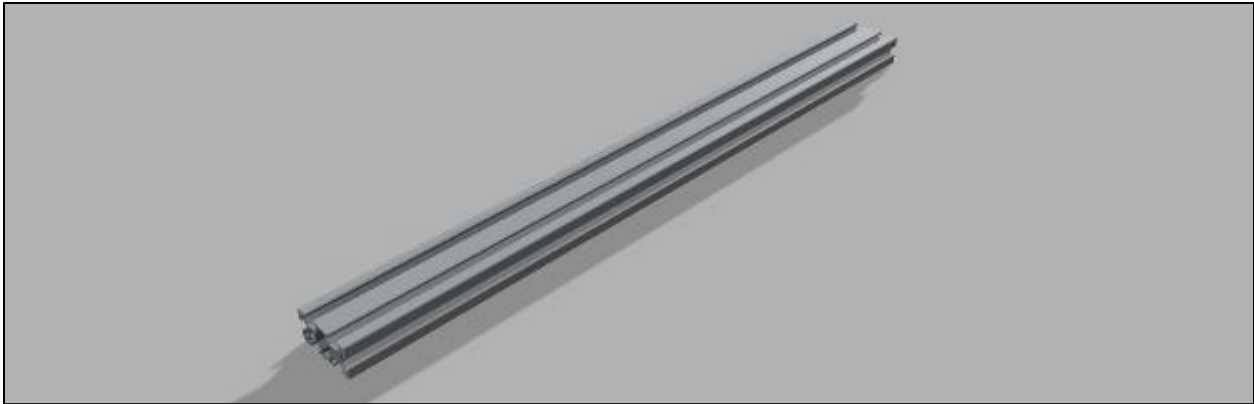
Anexo 2. Modelado 3D

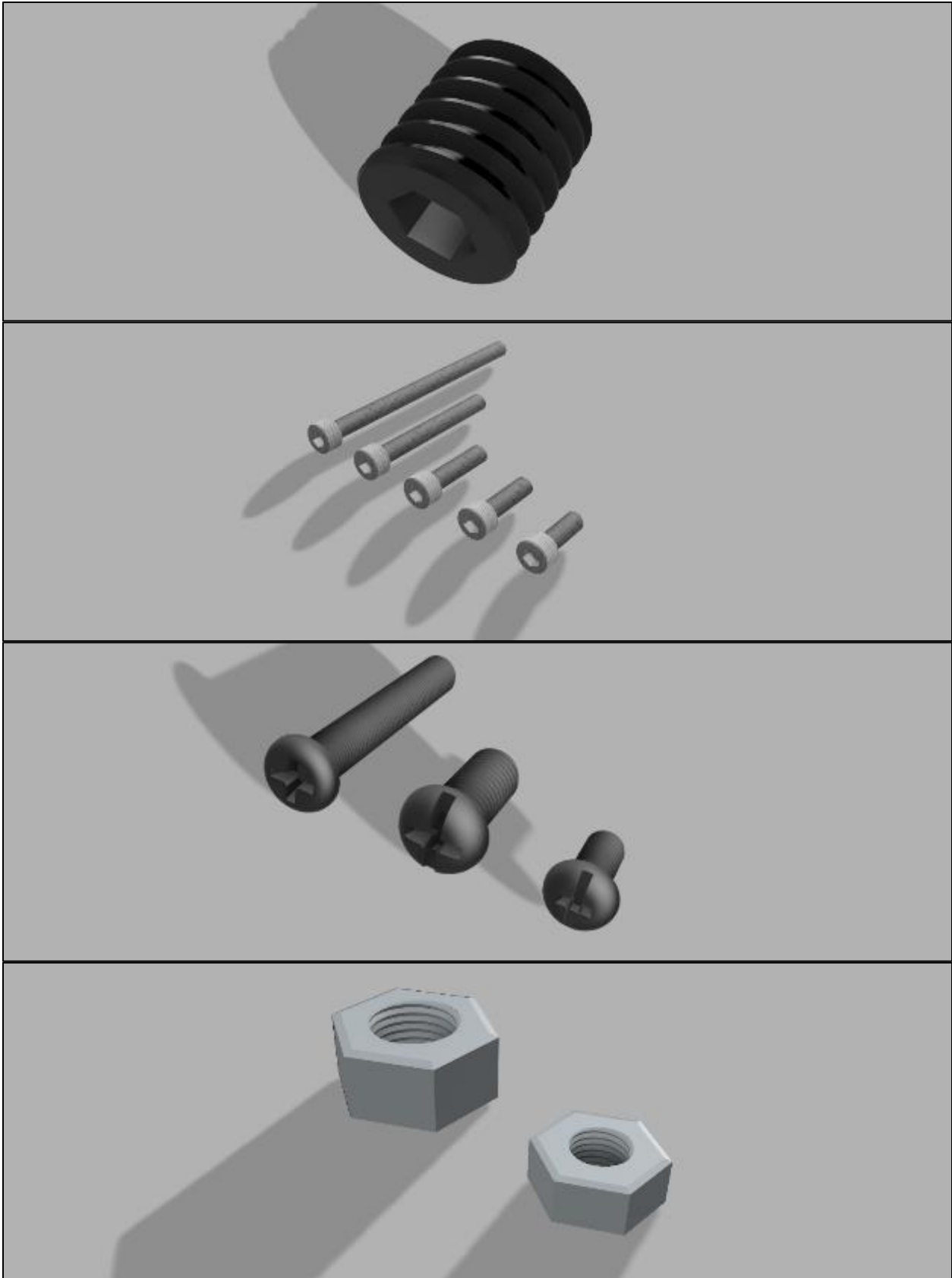


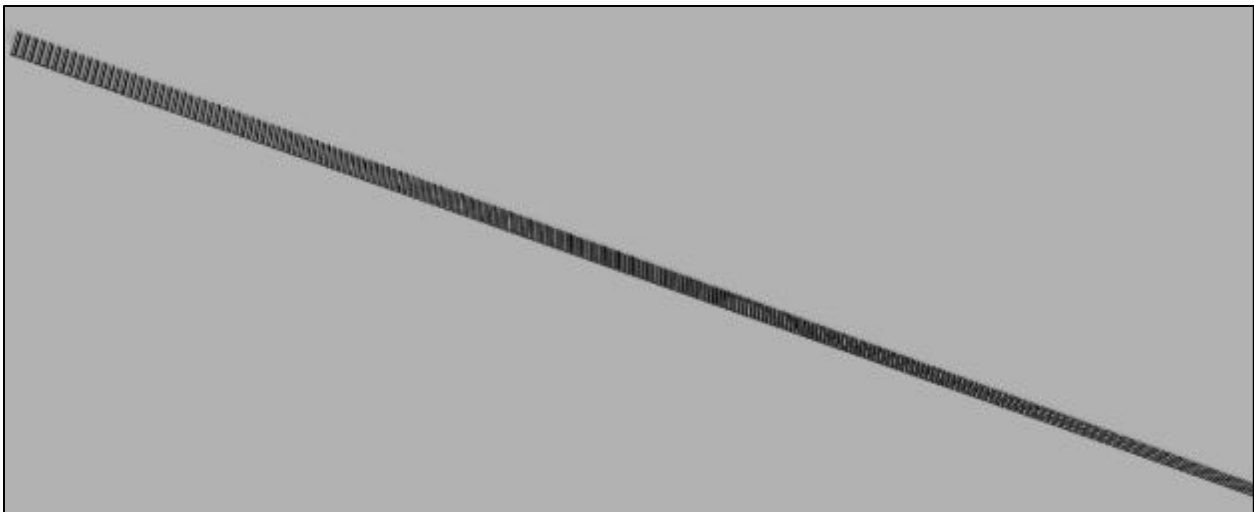
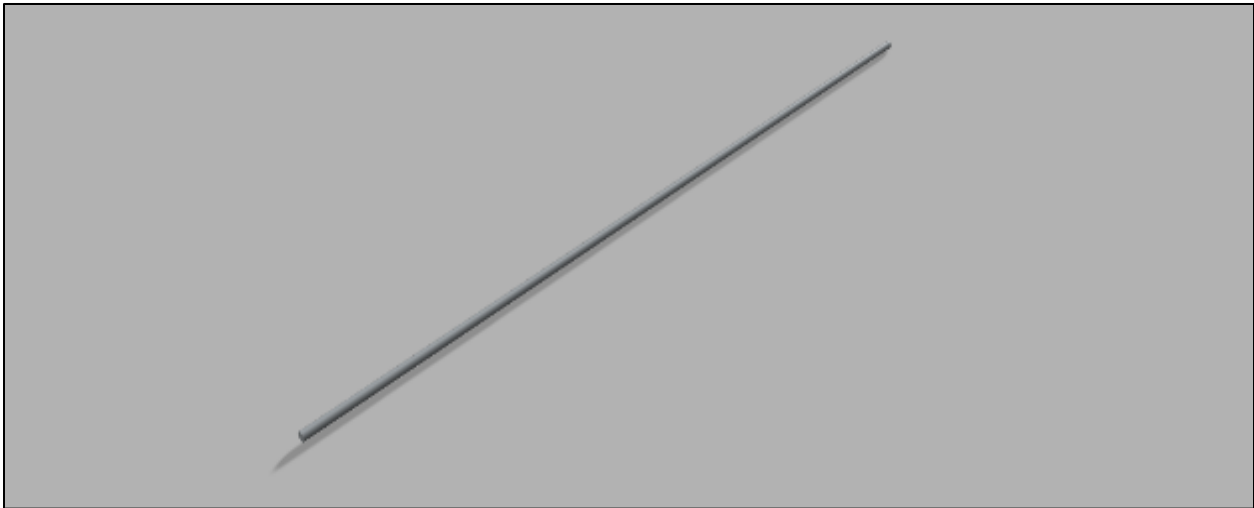
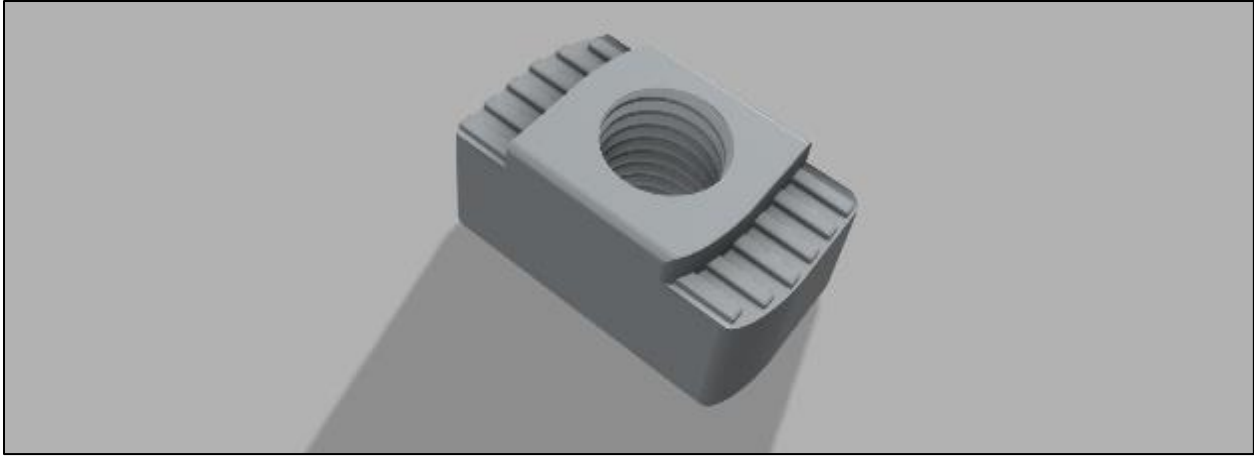




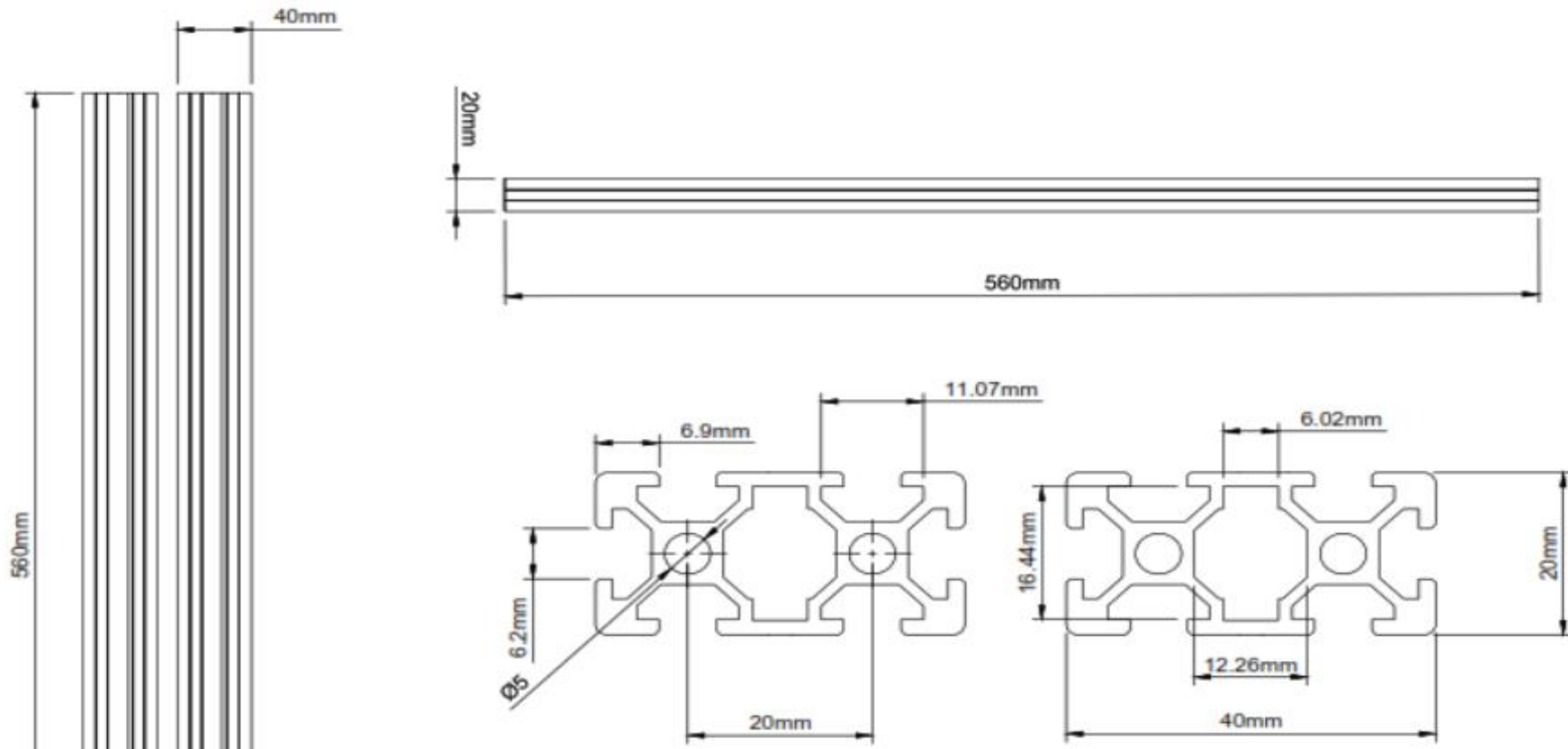




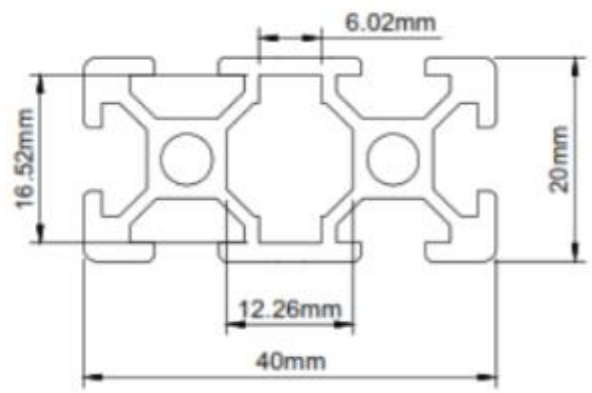
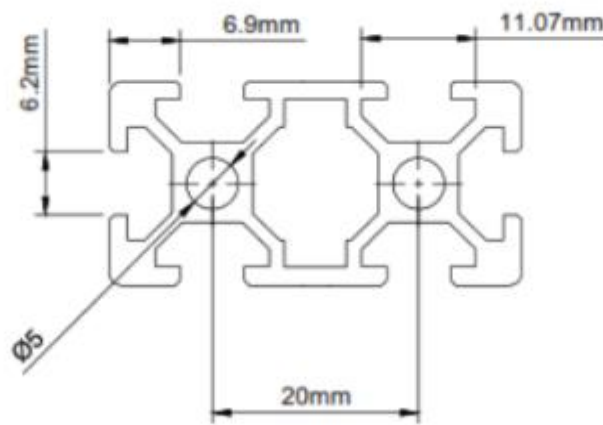
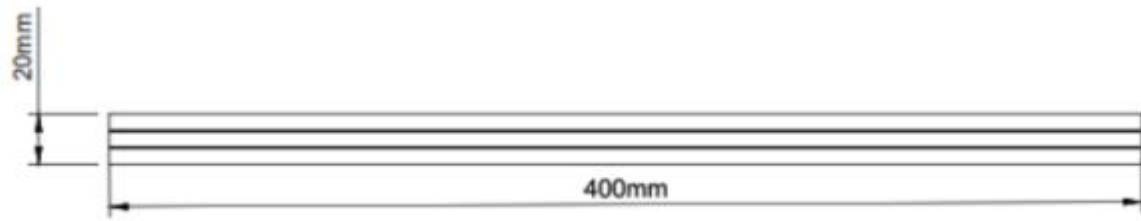




Anexo 3. Planos



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA		
	David Alejandro Narváez Barragán	FECHA:	
	Plano: Modelado Perfil V-slot 20*40 - Longitud 560mm		
	ID: Diseño de CNC Láser	Escala: 1:2.5	No. 1



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

David Alejandro Narváez Barragán

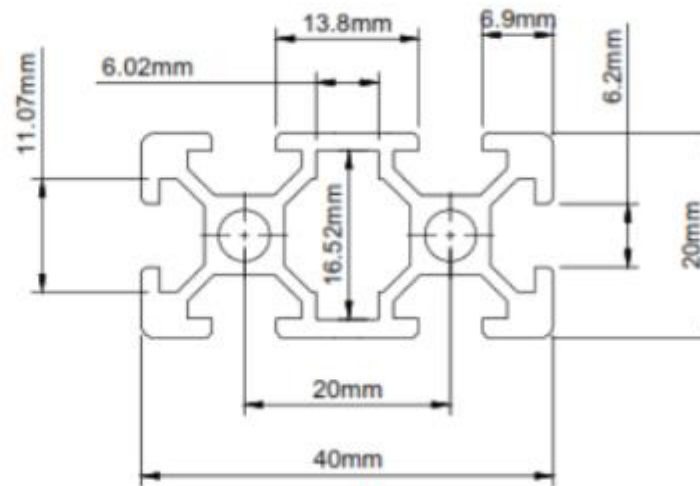
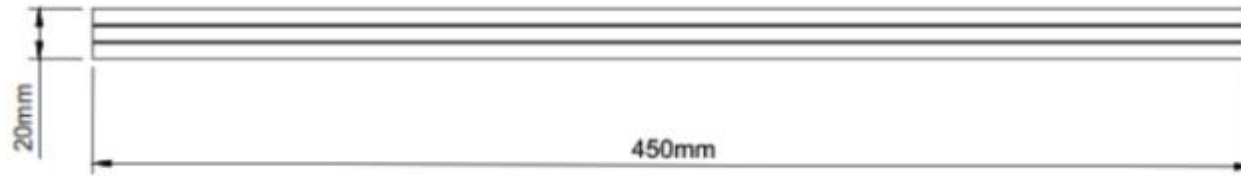
FECHA:

Plano: Modelado Perfil V-slot 20*40 - Longitud 400mm

ID: Diseño de CNC Láser

Escala: 1:2

No. 2



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

David Alejandro Narváez Barragán

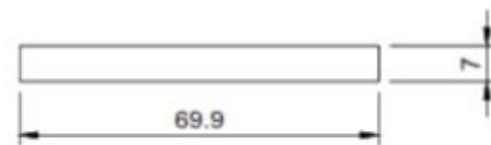
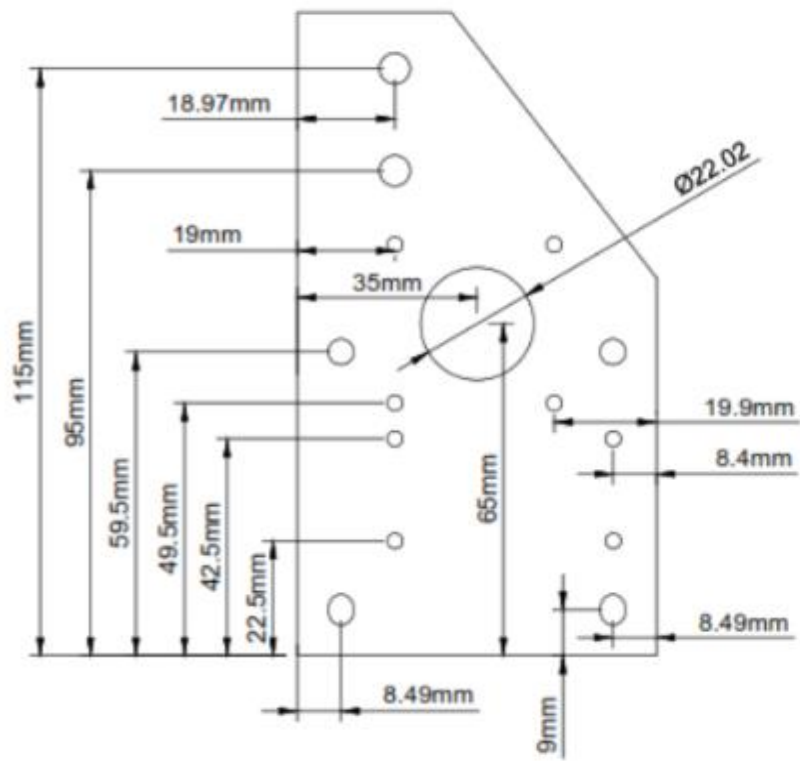
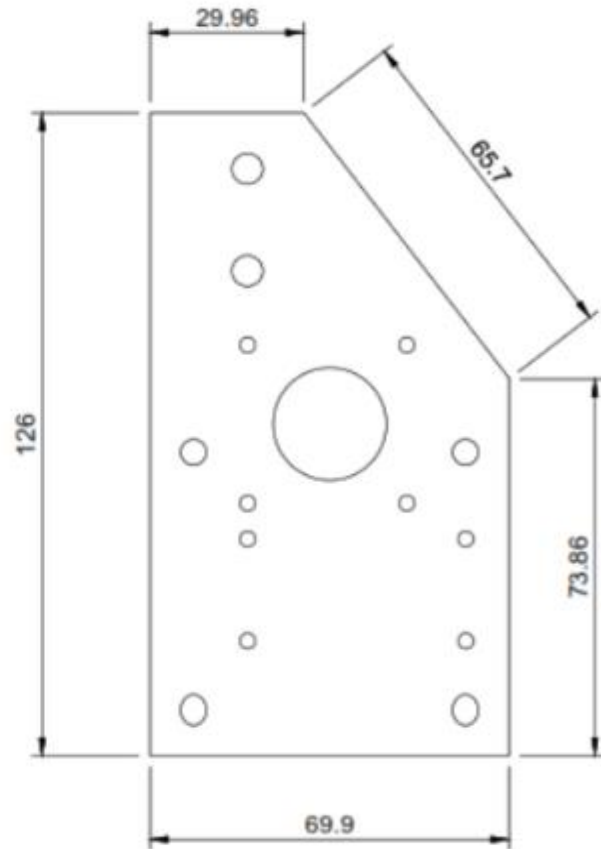
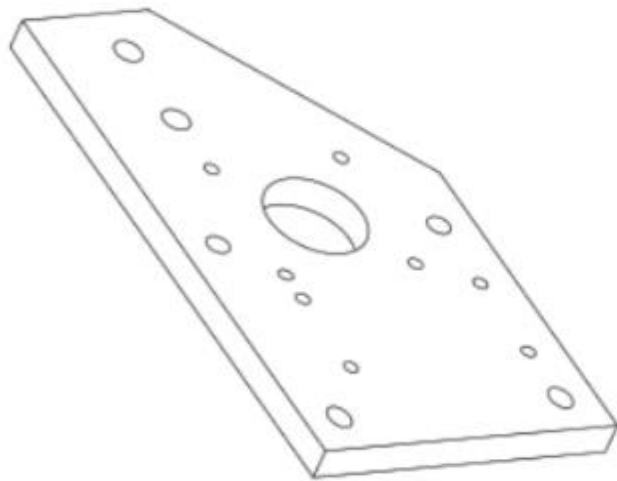
FECHA:

Plano: Modelado Perfil V-slot 20*40 - Longitud 450mm

ID: Diseño de CNC Láser

Escala: 1:2

No. 3



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

David Alejandro Narváez Barragán

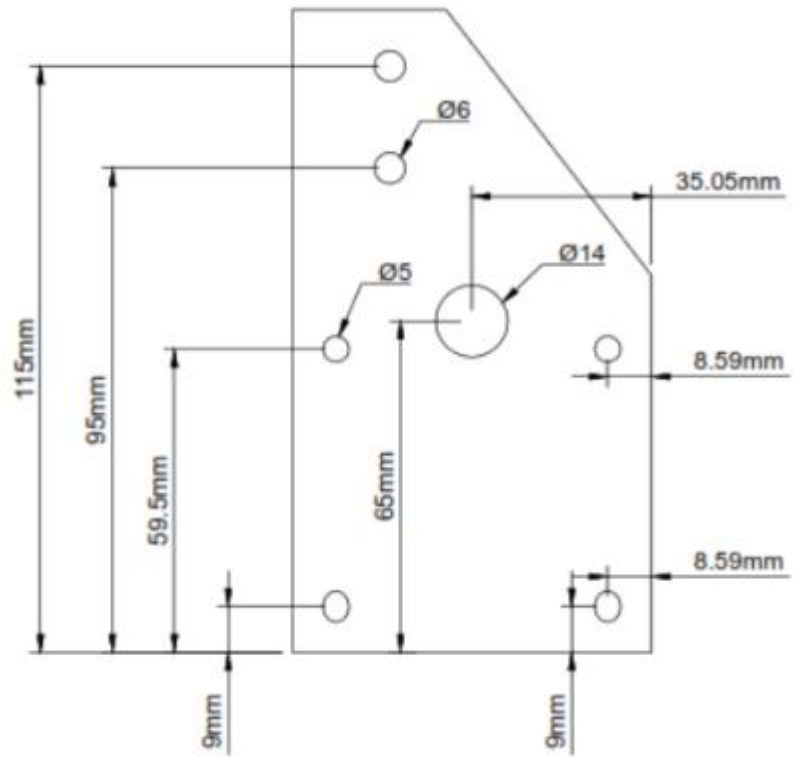
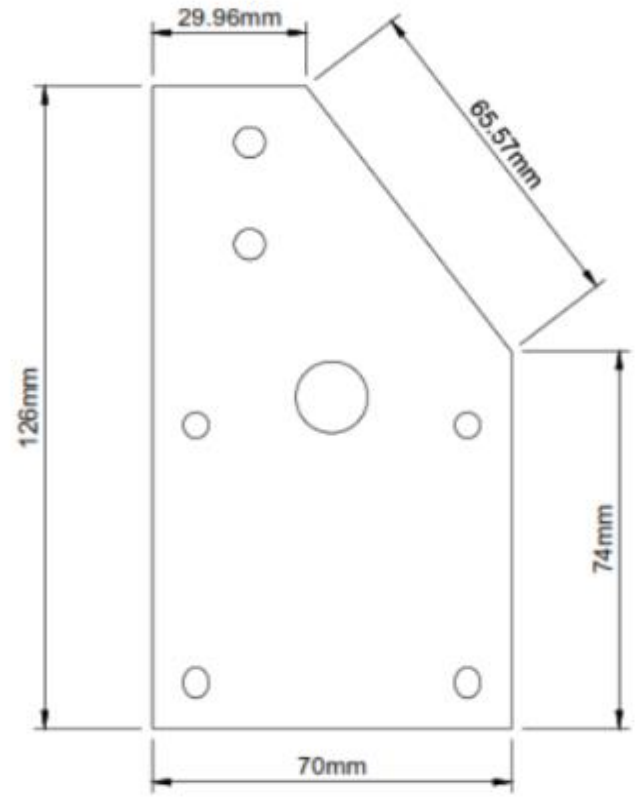
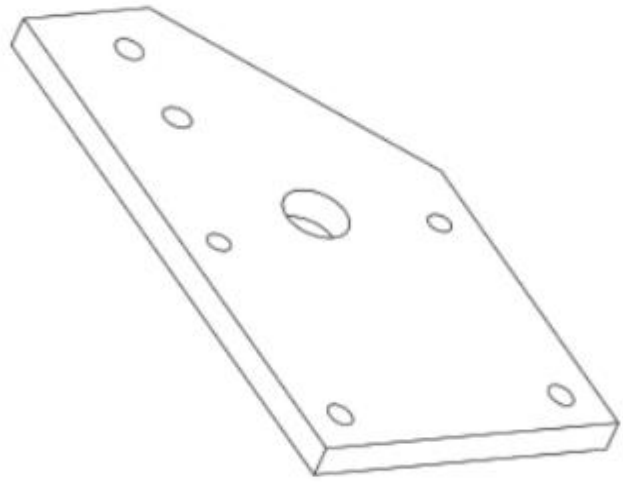
FECHA:

Plano: Modelado Base Lateral Izquierda - Tren móvil

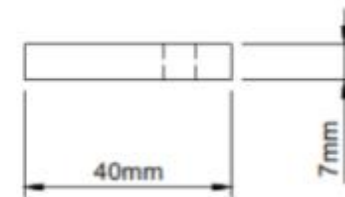
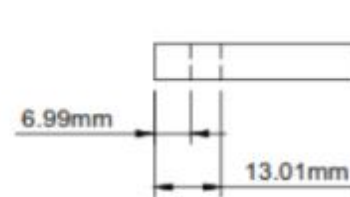
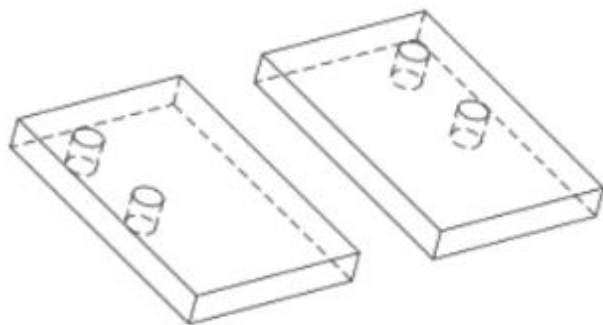
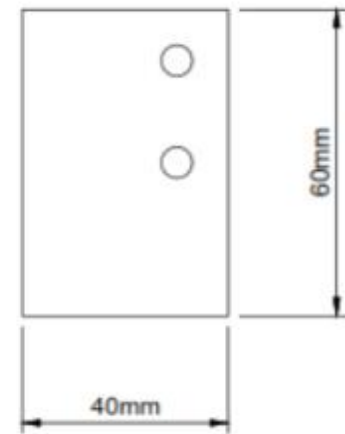
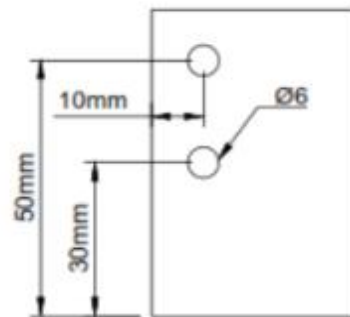
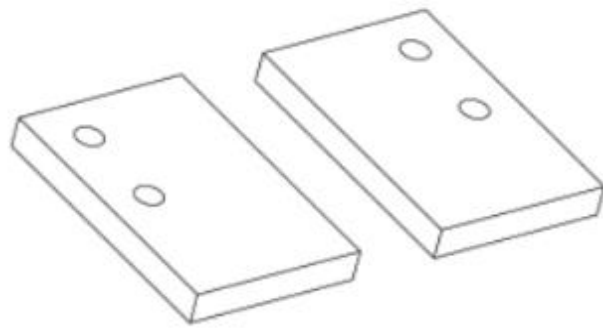
ID: Diseño de CNC Láser

Escala: 1:1

No. 4



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA		
	David Alejandro Narváez Barragán	FECHA:	
	Plano: Modelado Base Lateral Derecha - Tren móvil		
	ID: Diseño de CNC Láser	Escala: 1:1	No. 5



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

David Alejandro Narváez Barragán

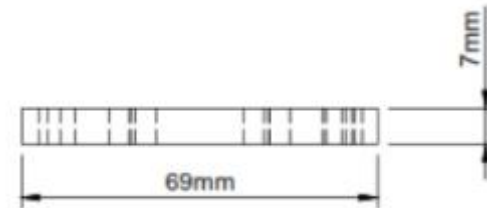
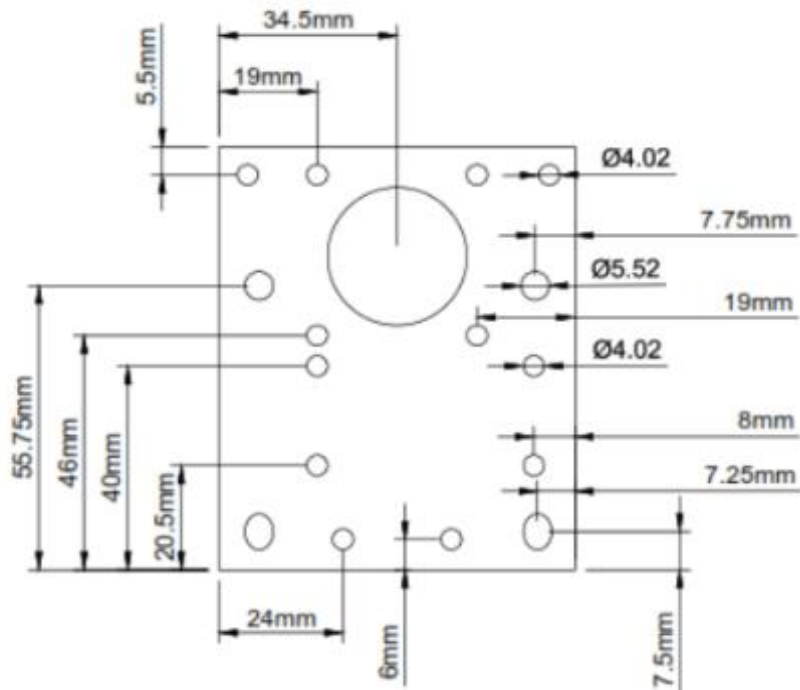
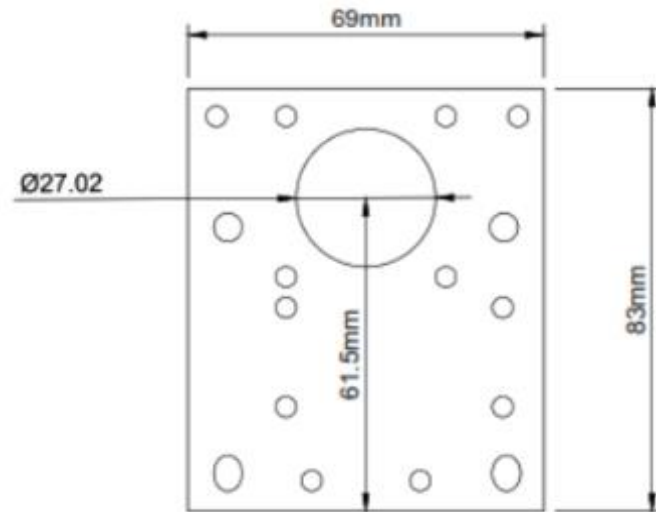
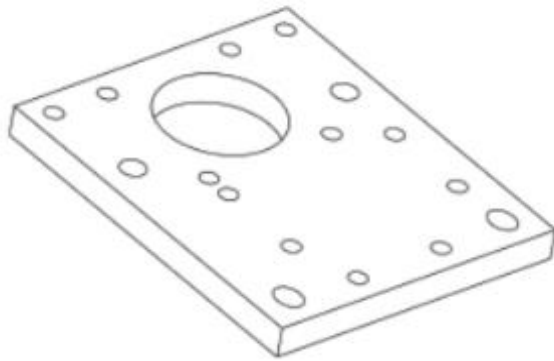
FECHA:

Plano: Modelado Soportes Base de la Estructura

ID: Diseño de CNC Láser

Escala: 1:1

No. 6



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

David Alejandro Narváez Barragán

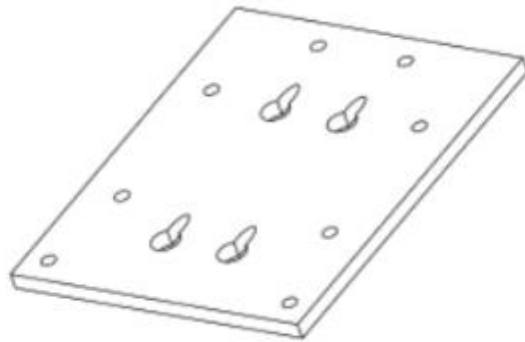
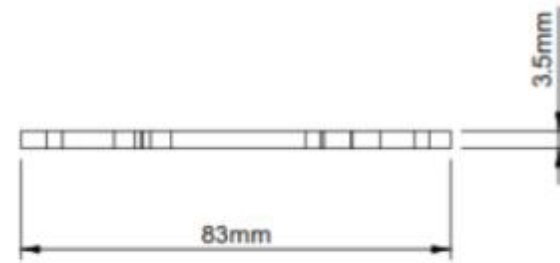
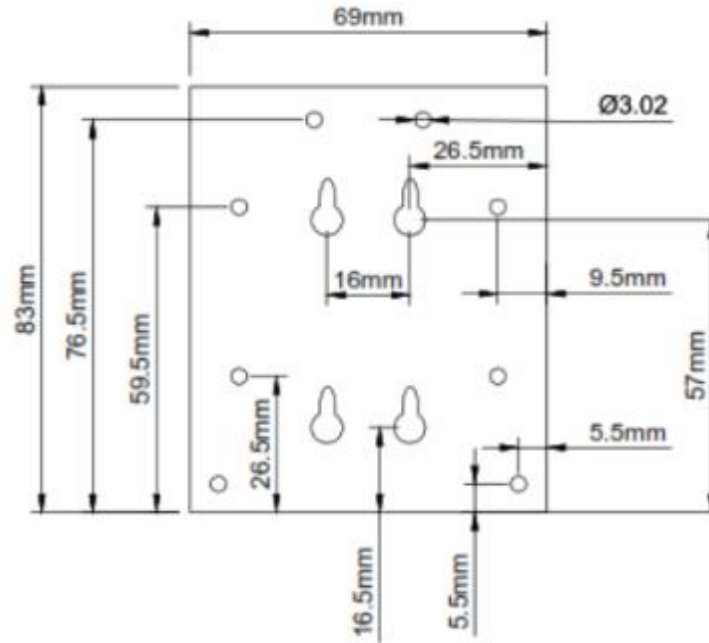
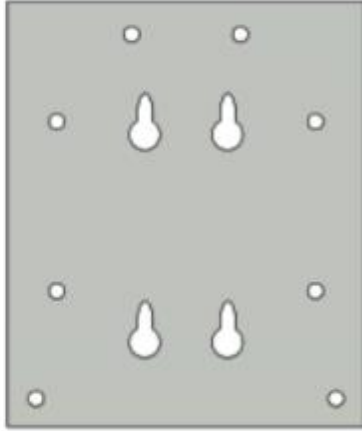
FECHA:

Plano: Modelado Base Motor Estructura Superior Móvil

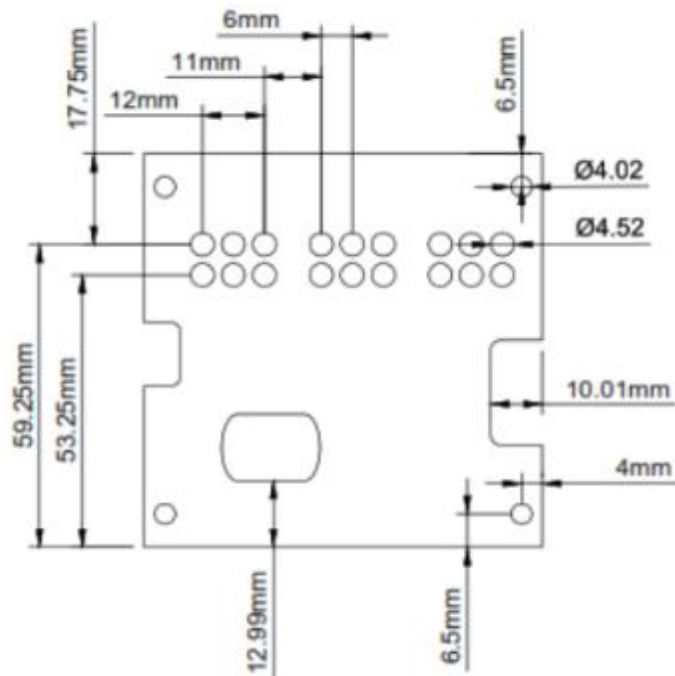
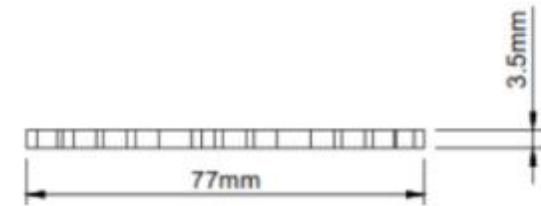
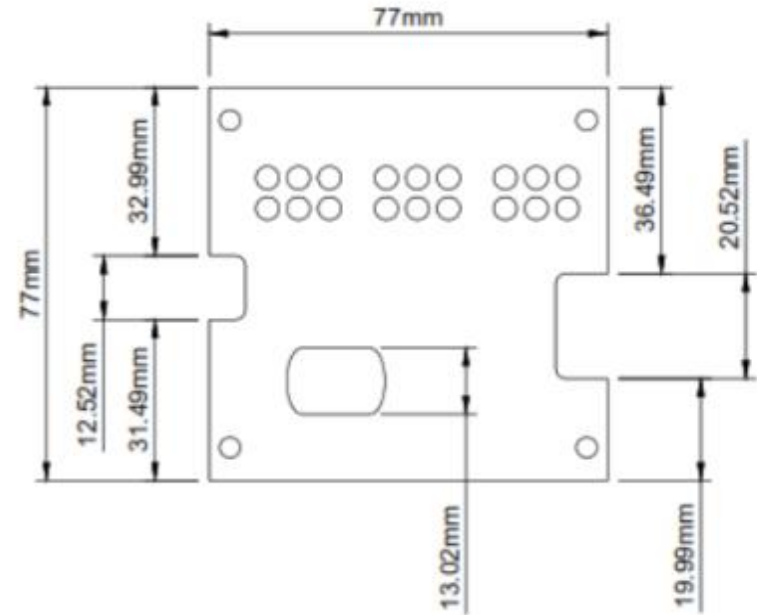
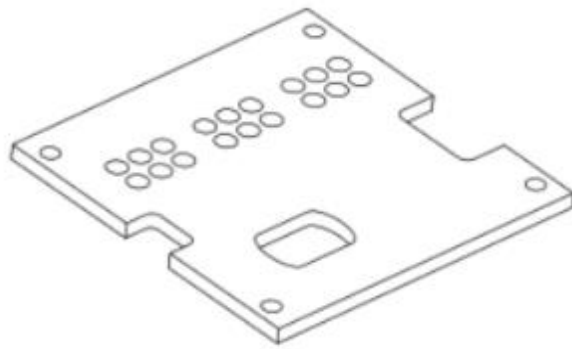
ID: Diseño de CNC Láser

Escala: 1:1

No. 7



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA		
	David Alejandro Narváez Barragán		FECHA:
	Plano: Modelado Base para Sujeción del Láser		
	ID: Diseño de CNC Láser		Escala: 1:1



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

David Alejandro Narváez Barragán

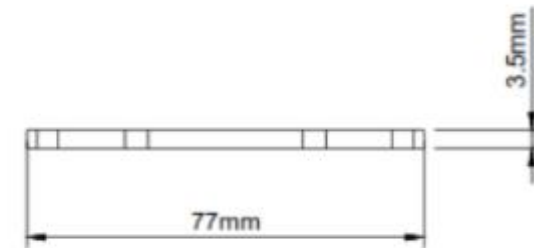
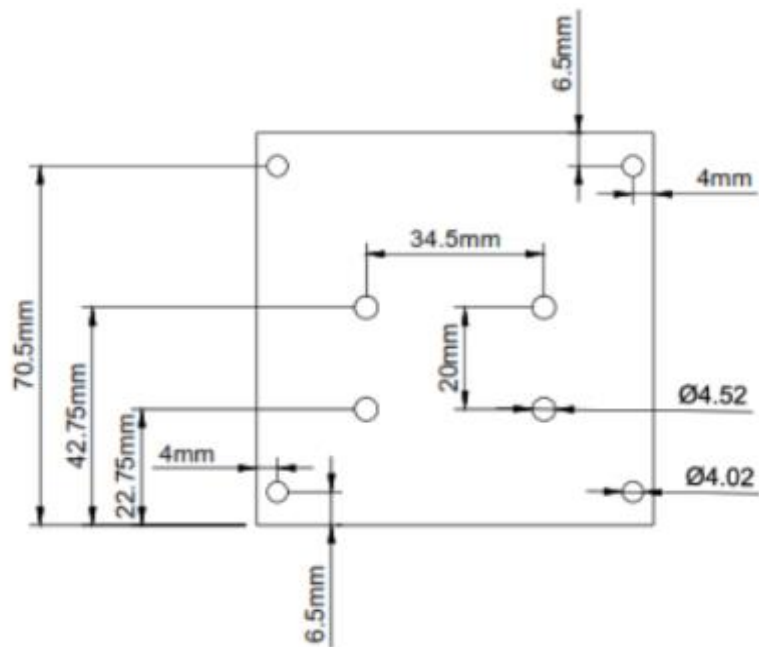
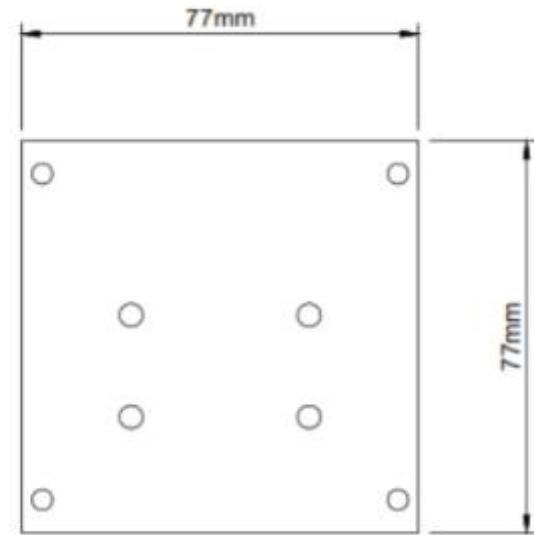
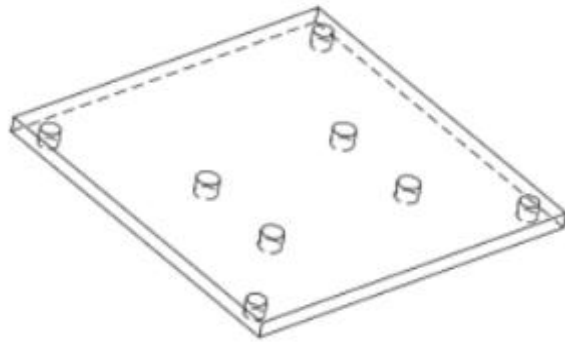
FECHA:

Plano: Modelado Tapa de Protección - Placa de Control

ID: Diseño de CNC Láser

Escala: 1:1

No. 9



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

David Alejandro Narváez Barragán

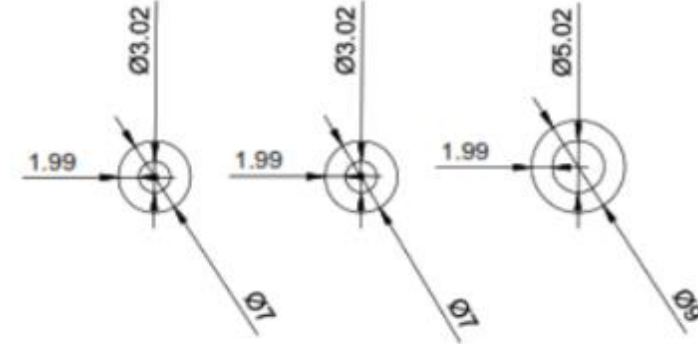
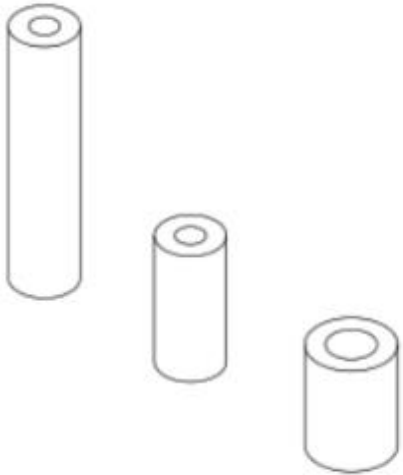
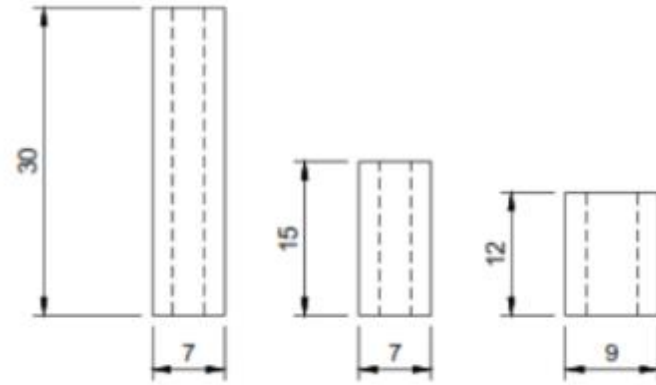
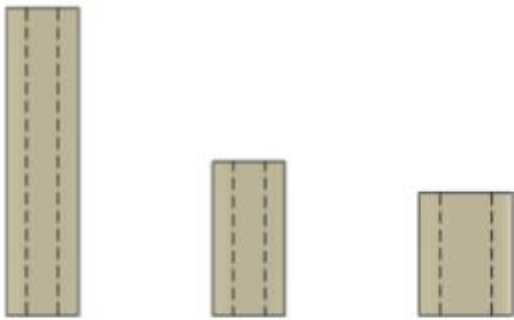
FECHA:

Plano: Modelado Base de Sujeción - Placa de Coltrol

ID: Diseño de CNC Láser

Escala: 1:1

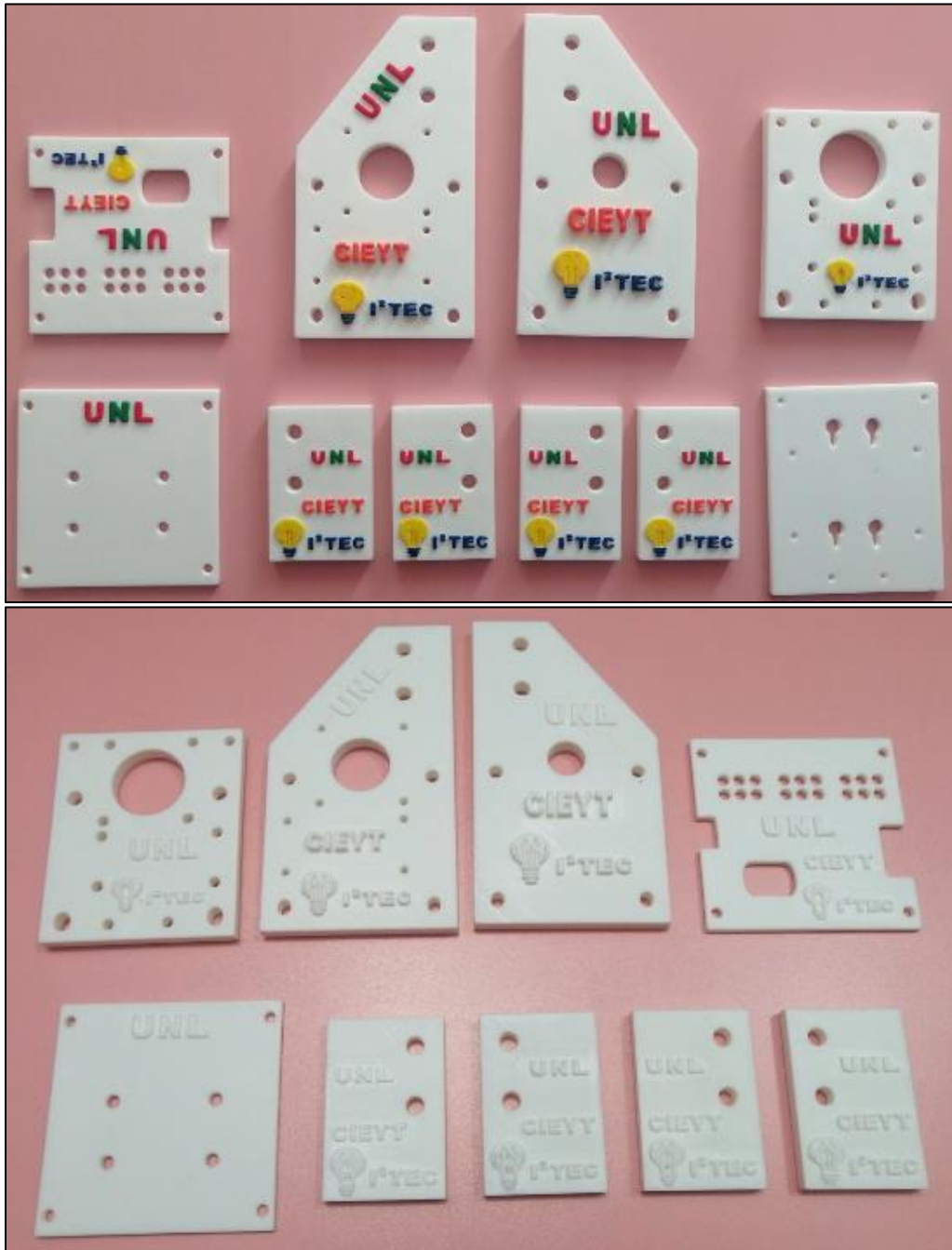
No. 10



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA		
	David Alejandro Narváez Barragán	FECHA:	
	Plano: Modelado Acoples Plásticos		
	ID: Diseño de CNC Láser	Escala: 1:0.5	No. 11

Anexo 4. Ensamblado del Prototipo

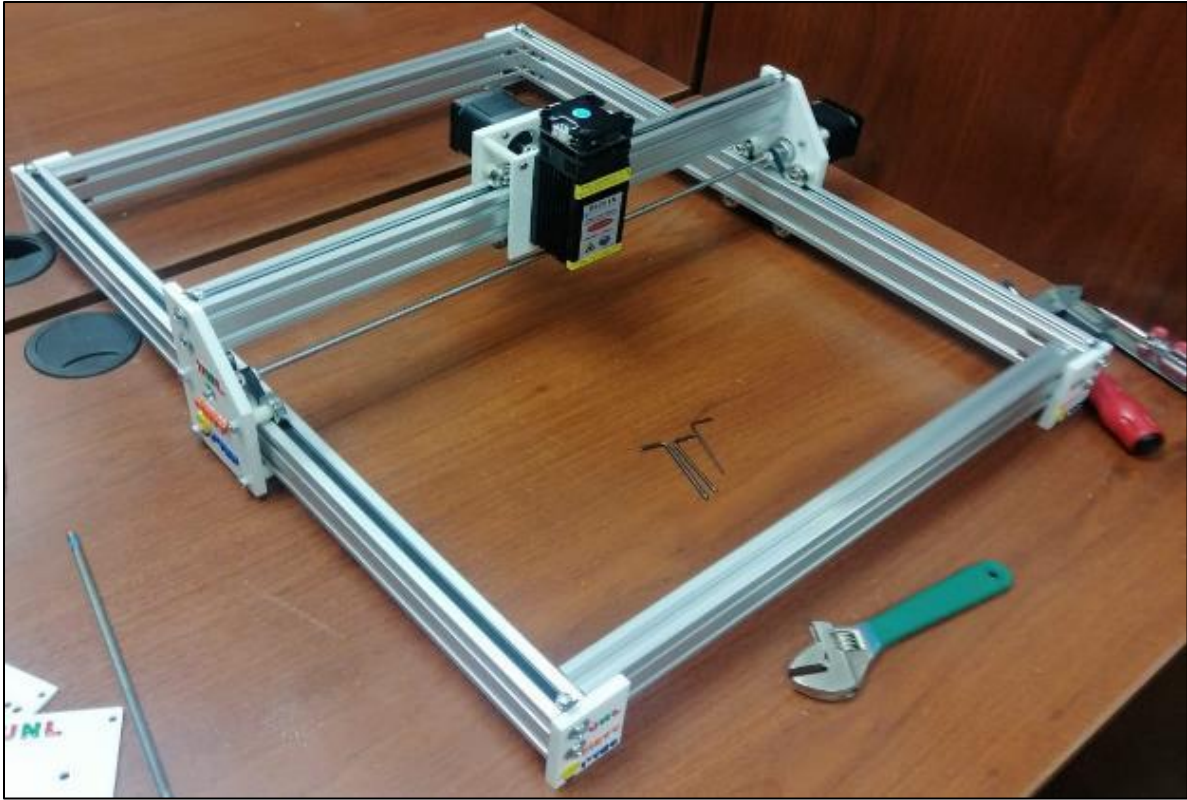
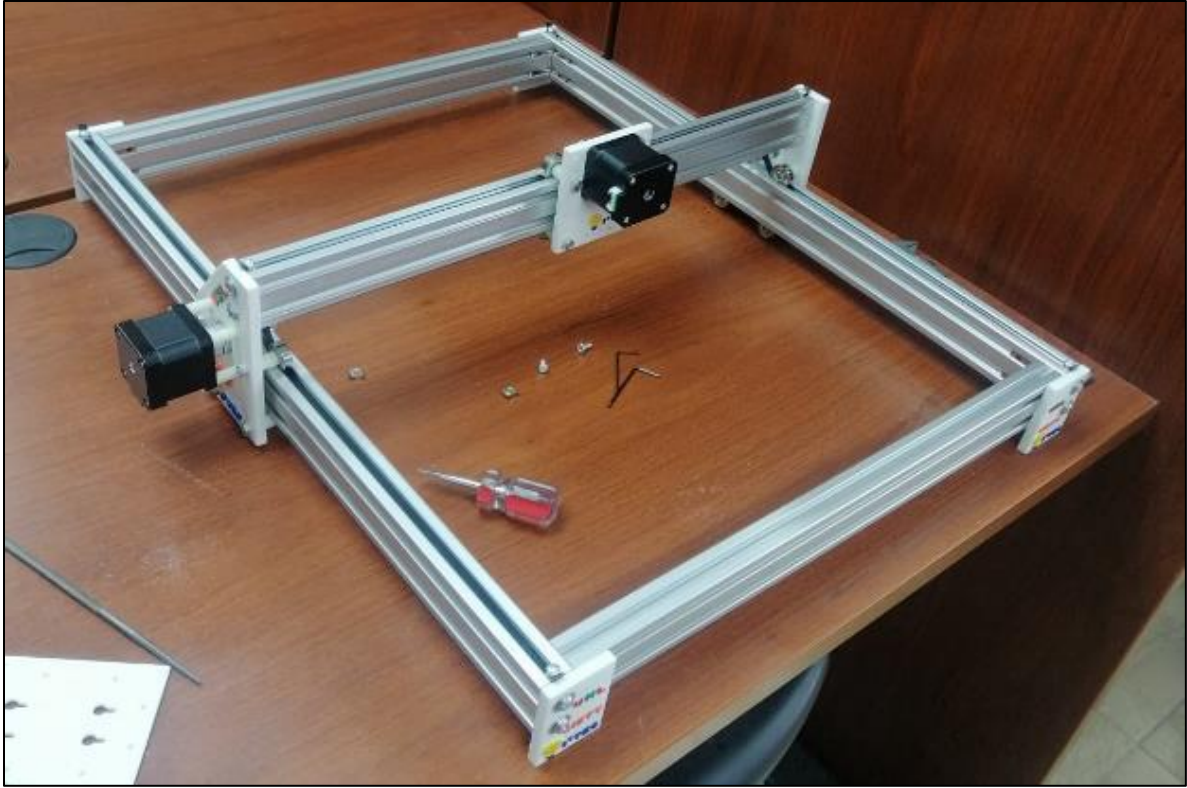
En el presente anexo se puede observar la evidencia fotográfica que corresponde a la elaboración del prototipo, la cual va desde el diseño de las piezas, impresión 3D de las mismas y construcción de la estructura.

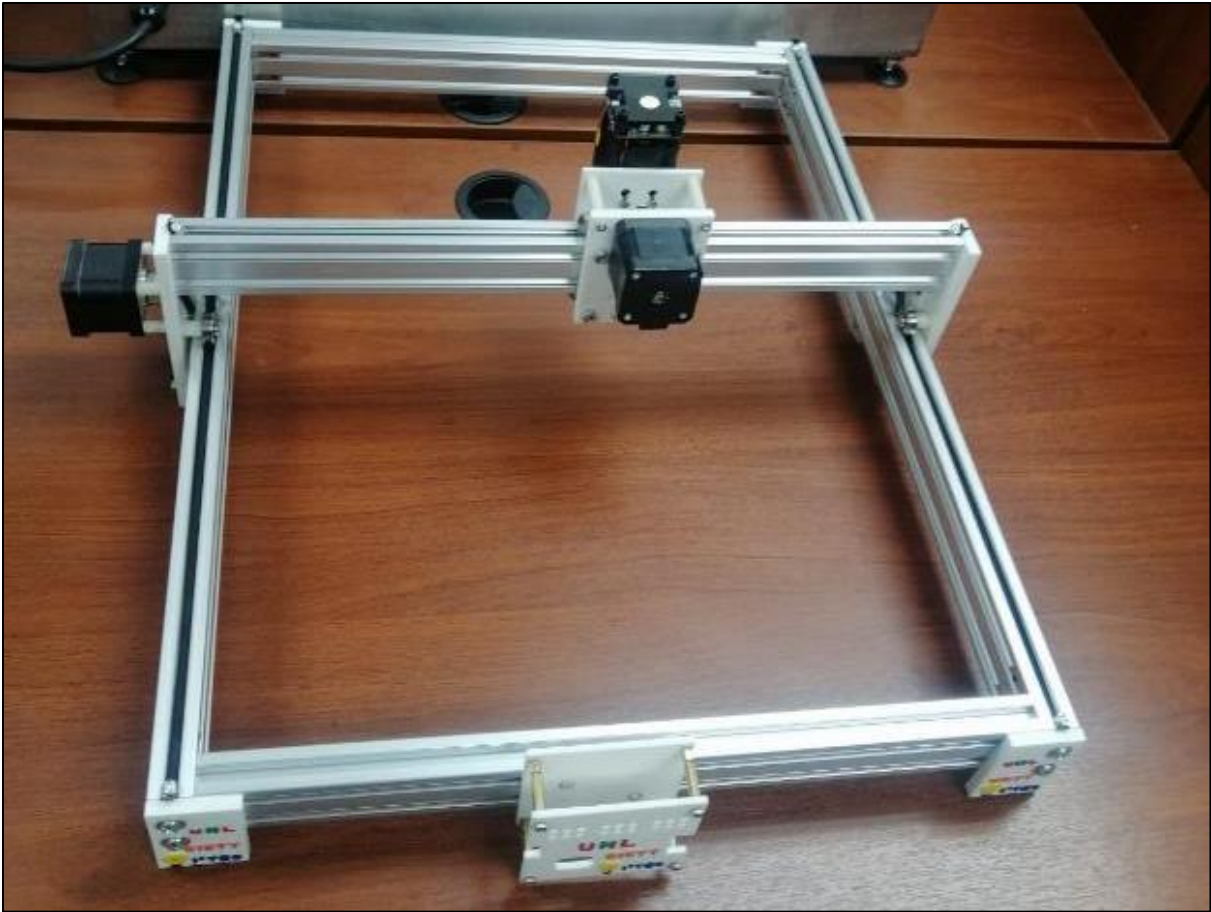
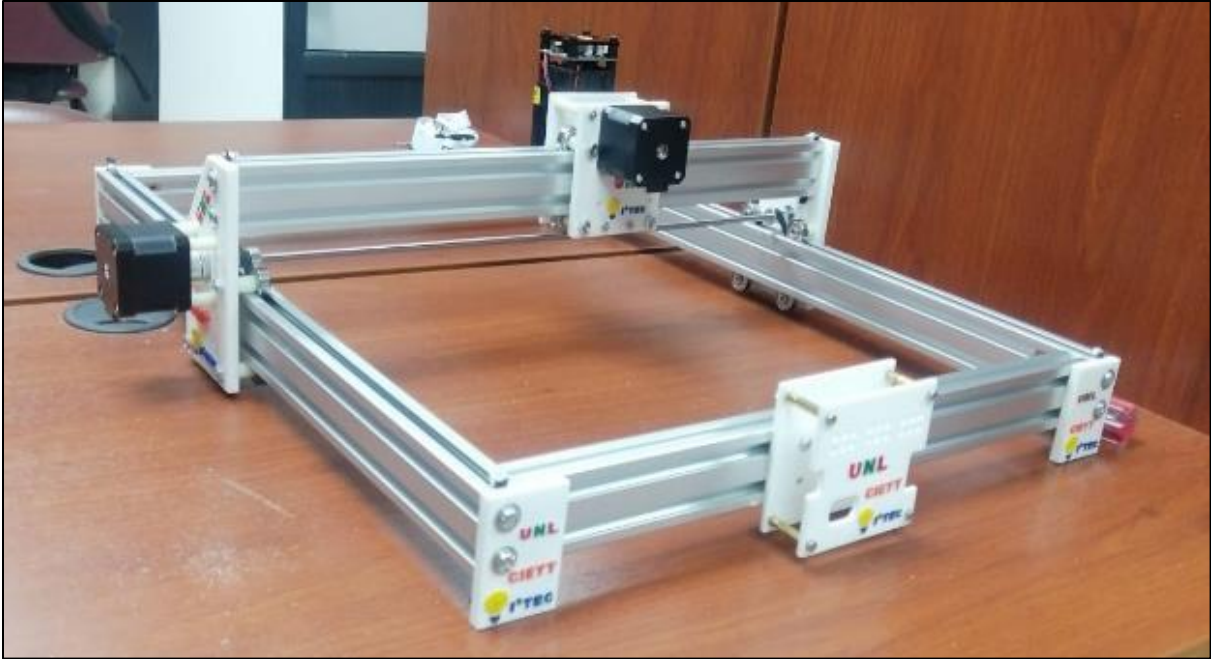


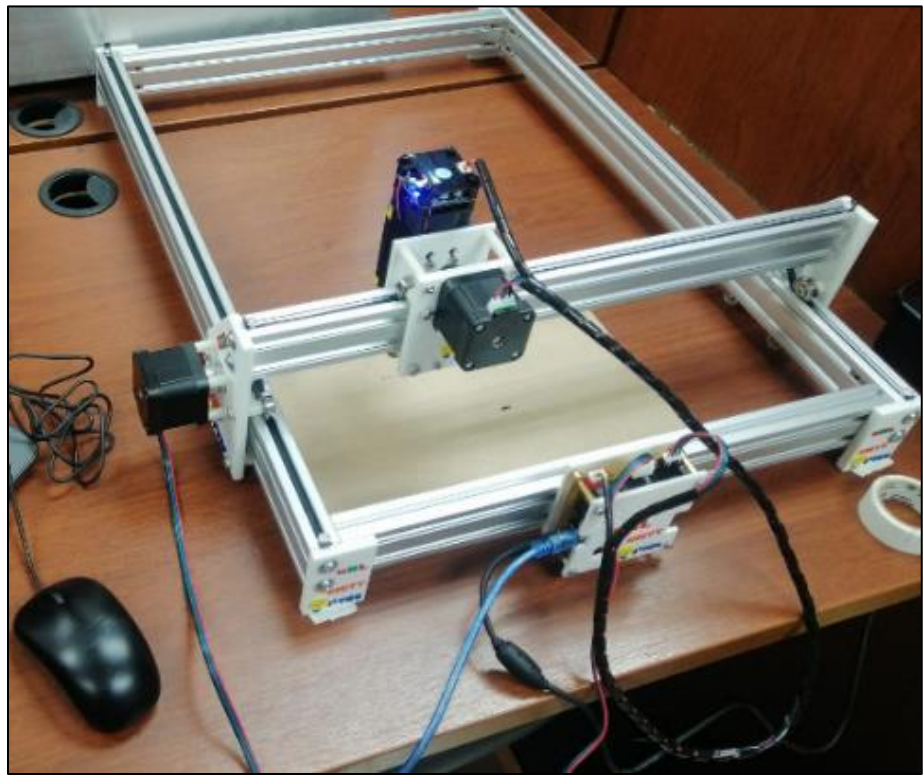
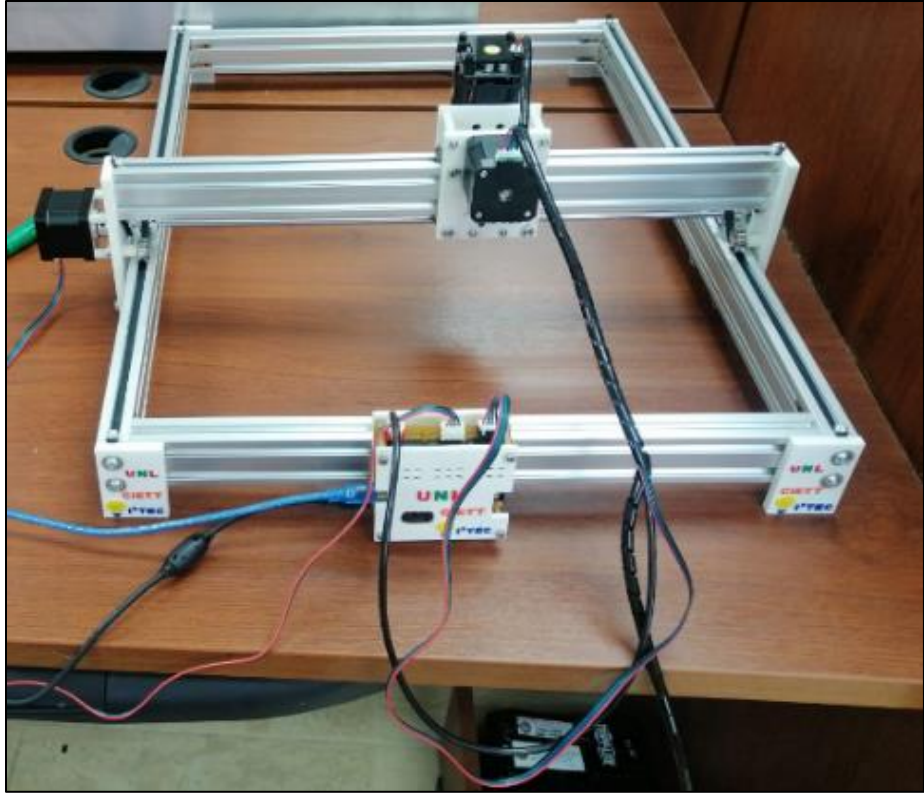


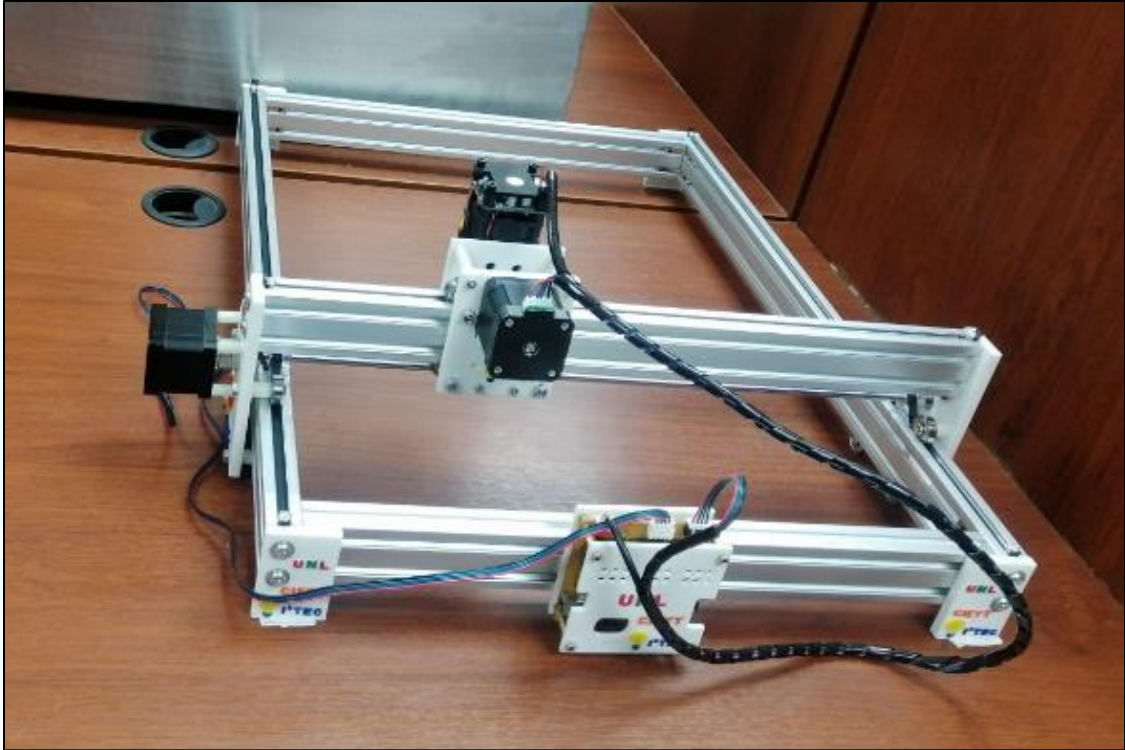






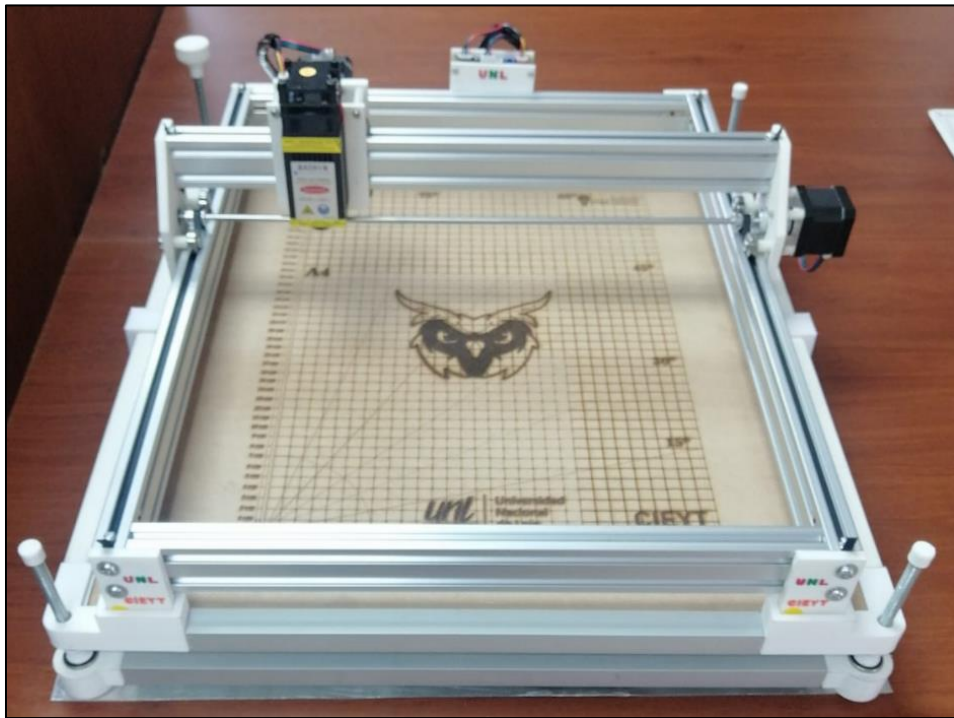






A semejando a la implementación del prototipo, se realiza la construcción de la mesa de trabajo.





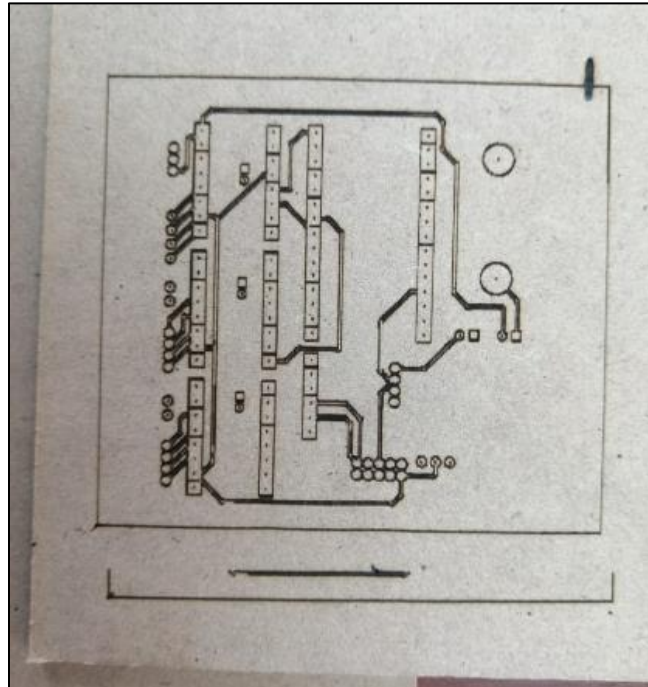
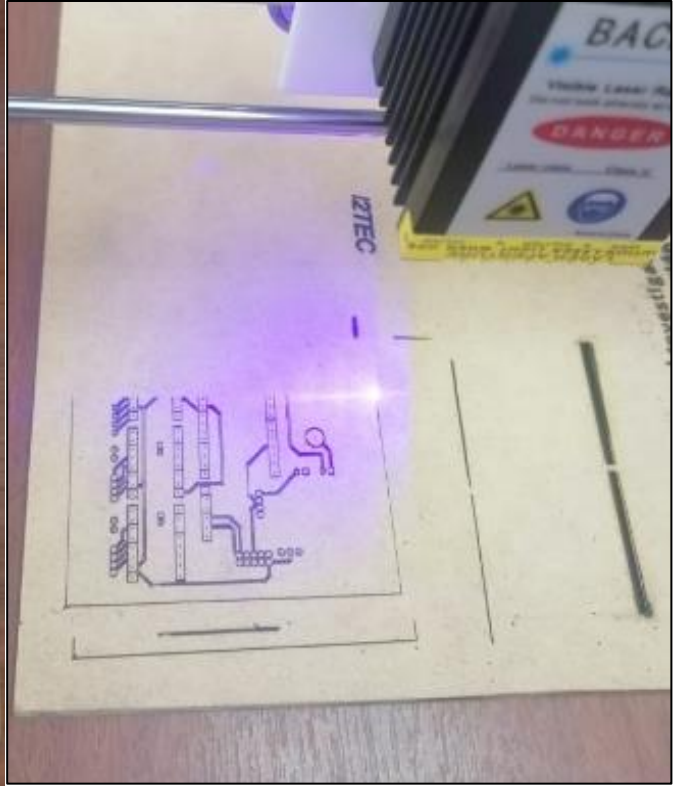
Anexo 5. Programación en Código G – Software Open Source

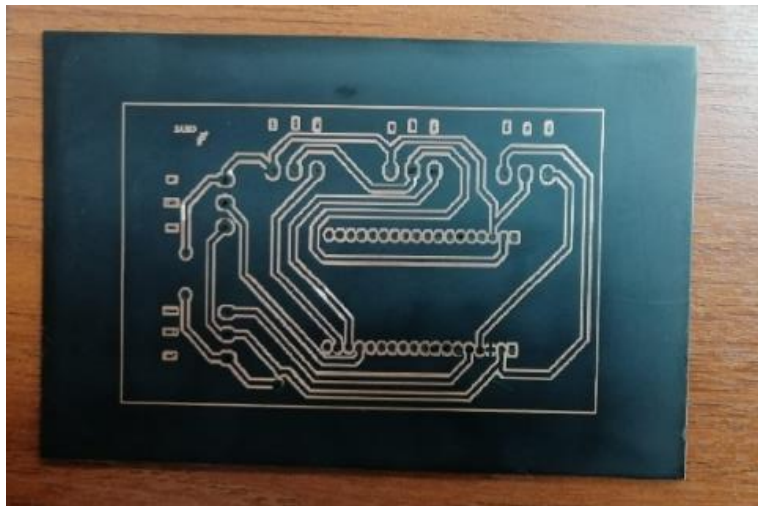
#	Parámetro	Valor	Unidad	Descripción
\$0	Tiempo de pulso de paso	10	microsegundos	Establece la duración del tiempo por paso. Mínimo 3useg
\$1	Retardo de paso inactivo	255	milisegundo	Establece un breve retraso de retención al detenerse para permitir que la dinámica se estabilice antes de desactivar los motores paso a paso. El valor 255 mantiene los motores habilitados sin demora.
\$2	Inversión de pulso de paso	0	máscara	Invierte la señal de paso. Configure el bit del eje para invertir (00000ZYX).
\$3	Invertir dirección de paso	1	máscara	Invierte la señal de dirección. Configure el bit del eje para invertir (00000ZYX).
\$4	Pin de habilitación de paso invertido	0	booleano	Invierte la señal del pin de habilitación del controlador paso a paso.
\$5	Pasadores de límite de inversión	0	booleano	Invierte todos los pines de entrada de límite.
\$6	Pasador de sonda invertida	0	booleano	Invierte la señal del pin de entrada de la sonda.
\$10	Opciones de informe de estado	1	máscara	Altera los datos incluidos en los informes de estado.
\$11	Desviación de cruce	0.010	milímetros	Establece qué tan rápido Grbl viaja a través de movimientos consecutivos. Un valor más bajo lo ralentiza.
\$12	Tolerancia de arco	0.002	milímetros	Establece la precisión de trazado del arco G2 y G3 en función del error radial. Cuidado: un valor muy pequeño puede afectar el rendimiento.
\$13	Informe en pulgadas	0	booleano	Habilita las unidades de pulgadas al devolver cualquier valor de posición y velocidad que no sea un valor de configuración.
\$20	Límites flexibles habilitados	0	booleano	Habilita controles de límites flexibles dentro del recorrido de la máquina y establece una alarma cuando se exceden. Requiere localización.
\$21	Habilitación de límites duros	0	booleano	Habilita límites estrictos. Inmediatamente detiene el movimiento y lanza una alarma cuando se activa el interruptor.
\$22	Habilitación del ciclo de inicio	0	booleano	Habilita el ciclo de inicio. Requiere finales de carrera en todos los ejes.
\$23	Inversión de la dirección de referencia	0	máscara	La búsqueda de referencia busca un interruptor en la dirección positiva. Ajuste el bit de eje (00000ZYX) para buscar en la dirección negativa.
\$24	Velocidad de alimentación de localización de referencia	25.000	mm/min	Avance para accionar lentamente el final de carrera y determinar con precisión su posición.
\$25	Tasa de búsqueda de búsqueda de referencia	500.00 0	mm/min	Velocidad de búsqueda para encontrar rápidamente el final de carrera antes de la fase de localización más lenta.

\$26	Retardo de rebote del interruptor de referencia	250	milisegundos	Establece un breve retardo entre las fases del ciclo de búsqueda de referencia y un rebote del interruptor.
\$27	Distancia de extracción del interruptor de referencia	1.000	milímetros	Distancia de repliegue tras activar el interruptor para desactivarlo. La búsqueda de referencia fallará si el interruptor no está desactivado.
\$30	Velocidad máxima del husillo	1000	RPM	Velocidad máxima del cabezal. Establece el PWM al 100% del ciclo de trabajo.
\$31	Velocidad mínima del husillo	0	RPM	Velocidad mínima del cabezal. Ajusta el PWM al 0,4% o al ciclo de trabajo más bajo.
\$32	Habilitar modo láser	0	booleano	Activa el modo láser. Comandos G1/2/3 consecutivos No se detendrá cuando se cambie la velocidad del cabezal.
\$100	Resolución de recorrido del eje X	50.000	pasos/mm	Resolución de desplazamiento del eje X en pasos por milímetros.
\$101	Resolución de recorrido del eje Y	50.000	pasos/mm	Resolución de desplazamiento del eje Y en pasos por milímetros.
\$102	Resolución de recorrido del eje Z	800.00 0	pasos/mm	Resolución de desplazamiento del eje Z en pasos por milímetros.
\$110	Tasa máxima del eje X	5000.0 00	mm/min	Tasa máxima del eje X. Se utiliza como velocidad rápida G0.
\$111	Tasa máxima del eje Y	5000.0 00	mm/min	Tasa máxima del eje Y. Se utiliza como velocidad rápida G0.
\$112	Tasa máxima del eje Z	500.00 0	mm/min	Tasa máxima del eje Z. Se utiliza como velocidad rápida G0.
\$120	Aceleración del eje X	1500.0 00	mm/seg ²	Aceleración del eje X. Se utiliza en la planificación del movimiento para no superar el par del motor y perder pasos.
\$121	Aceleración del eje Y	1500.0 00	mm/seg ²	Aceleración del eje Y. Se utiliza en la planificación del movimiento para no superar el par del motor y perder pasos.
\$122	Aceleración del eje Z	200.00 0	mm/seg ²	Aceleración del eje Z. Se utiliza en la planificación del movimiento para no superar el par del motor y perder pasos.
\$130	Recorrido máximo del eje X	2000.0 00	milímetros	Distancia máxima de desplazamiento del eje X desde el interruptor de búsqueda de referencia. Determina el espacio de máquina válido para los límites suaves y las distancias de búsqueda de referencia.
\$131	Recorrido máximo del eje Y	2000.0 00	milímetros	Distancia máxima de desplazamiento del eje Y desde el interruptor de búsqueda de referencia. Determina el espacio de máquina válido para los límites suaves y las distancias de búsqueda de referencia.
\$132	Recorrido máximo del eje Z	200.00 0	milímetros	Distancia máxima de desplazamiento del eje Z desde el interruptor de búsqueda de referencia. Determina el espacio de máquina válido para los límites suaves y las distancias de búsqueda de referencia.

Anexo 6. Pruebas y Calibración del Prototipo







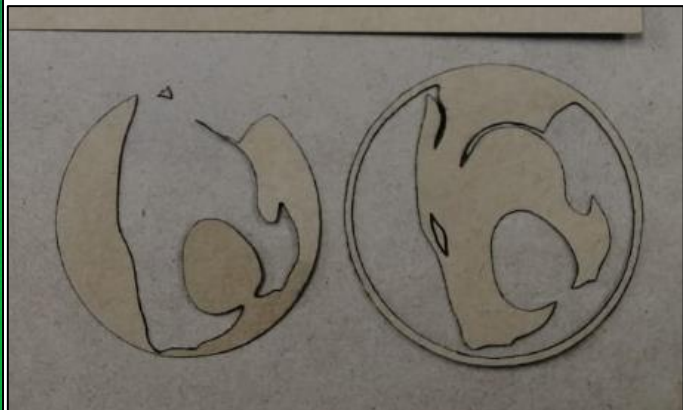




TABLA DE CONTENIDO

1. GUÍA DE SEGURIDAD..... 172

2. DESCRIPCIÓN GENERAL..... 173

3. DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA..... 174

3. OPERACIÓN DEL PROTOTIPO..... 175

1. GUÍA DE SEGURIDAD



Precaución: Evite la exposición de los ojos o la piel a la radiación directa del láser.



¡Mantenga lejos de los niños!



Prohibido el uso en objetos o gases inflamables.



Utilice siempre gafas protectoras cuando utilice la máquina.



En caso de emergencia, corte la energía inmediatamente.



Pasos de apagado: Cuando no esté usando la máquina, primero corte la energía, luego apague el software, por último, desconecte el cable USB.

Medidas de seguridad

A continuación, se explicará las medidas de seguridad que se deben seguir con el objetivo de evitar lesiones y disminuir el riesgo de afectaciones a la salud; considerando que la radiación láser puede dañar gravemente el sentido de la vista. Así mismo, precautelar la integridad del operario y del prototipo.

- El operario siempre debe utilizar los equipos de protección correspondientes, durante todo el lapso de funcionamiento de la máquina; especialmente protección para los ojos como lo son las gafas de seguridad o protección láser.
- Ubicar en prototipo en un área plana y lo más nivelada posible.
- Antes de iniciar el funcionamiento, verificar que el cable de alimentación y el cable USB se encuentren en buen estado y correctamente conectados.
- Durante el funcionamiento no introducir las manos o cualquier parte del cuerpo al área de trabajo de la máquina, considerar que el láser puede causar quemaduras hasta de segundo grado en la piel.
- Una vez accionado el prototipo, no tratar de detener su funcionamiento con las manos o algún movimiento brusco, hacerlo única y exclusivamente desde la interfaz del software CNC.
- No apoyarse en la estructura del prototipo ni en cualquiera de sus componentes; antes, durante y después de su funcionamiento.
- Verificar que los materiales con los que se va a trabajar para realizar grabado o corte, se encuentren en buen estado, limpios y totalmente libres de humedad.

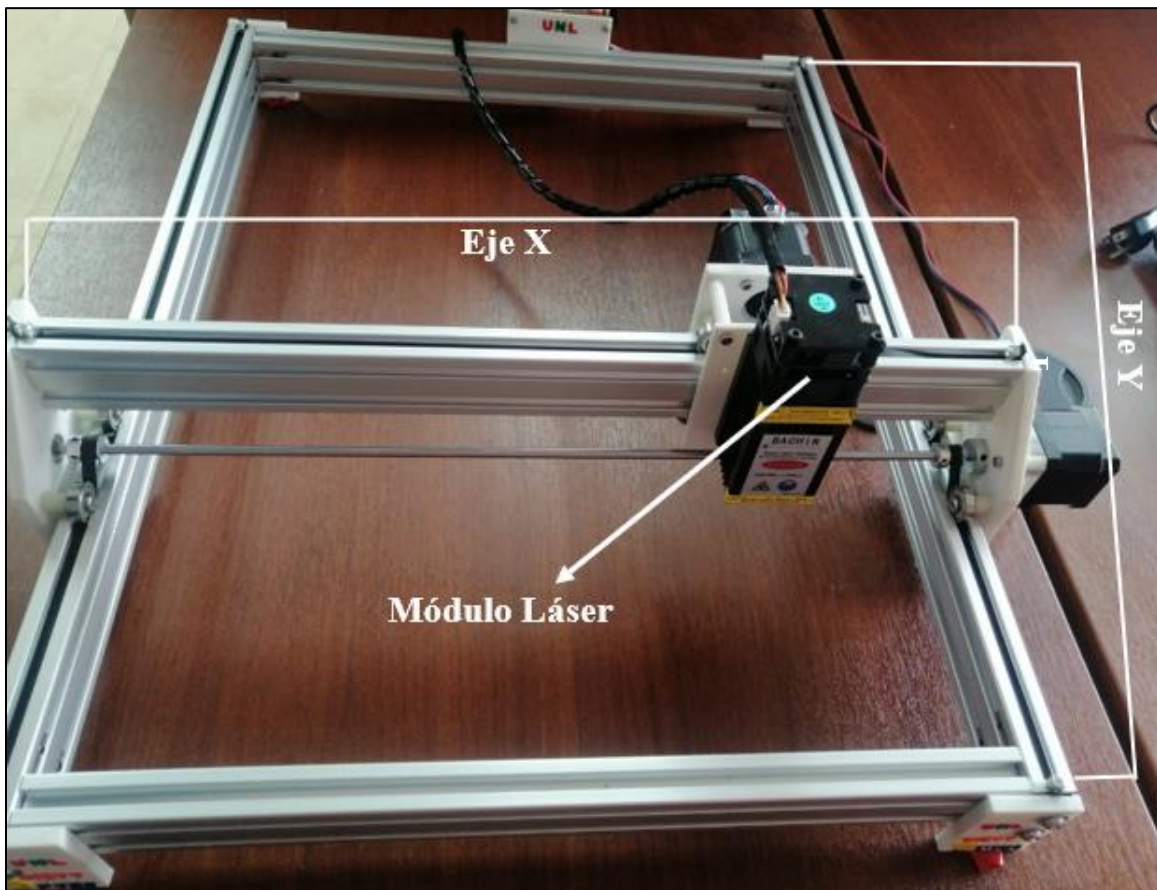
2. DESCRIPCIÓN GENERAL

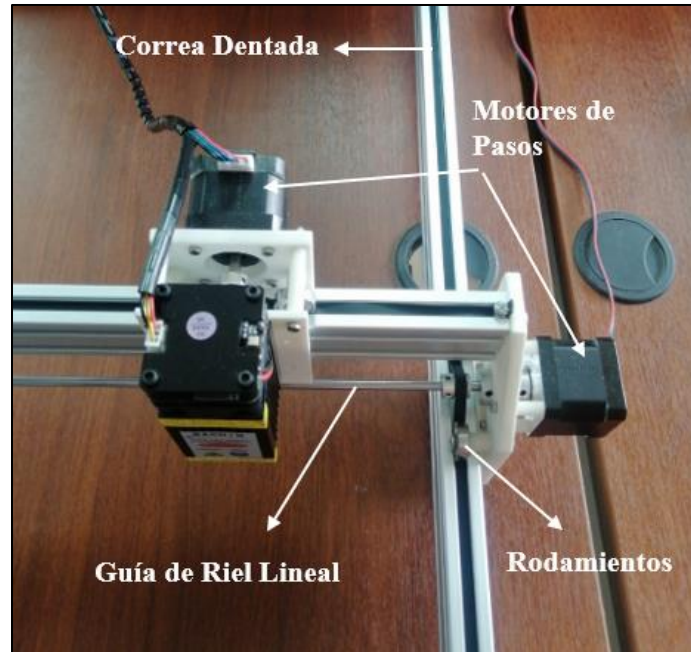
El prototipo de cortadora y grabadora láser CNC es una máquina – herramienta capaz de grabar en la mayoría de los materiales excluyendo materiales metálicos y ferrosos; y a su vez realizar cortes en materiales como maderas suaves (MDF, madera de balsa), varios tipos de papel

o cartón y materiales plásticos con un espesor de hasta 2mm. Todo esto mediante movimientos controlados por PC a través de un software CNC; para de esta manera seguir trayectorias bidimensionales (X, Y) o G-code, determinadas a través de un diseño vectorizado.

3. DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA

La máquina está compuesta de diferentes partes, las cuales son indispensables entender para su correcto manejo. Las partes principales se describen a continuación.





4. OPERACIÓN DEL PROTOTIPO

Para la correcta puesta en marcha del prototipo es necesario tener en cuenta todas las medidas de seguridad descritas en la Guía de seguridad del apartado 1, con la finalidad de salvaguardar la integridad del operario, de la máquina y de las personas que se encuentren en el mismo ambiente físico.

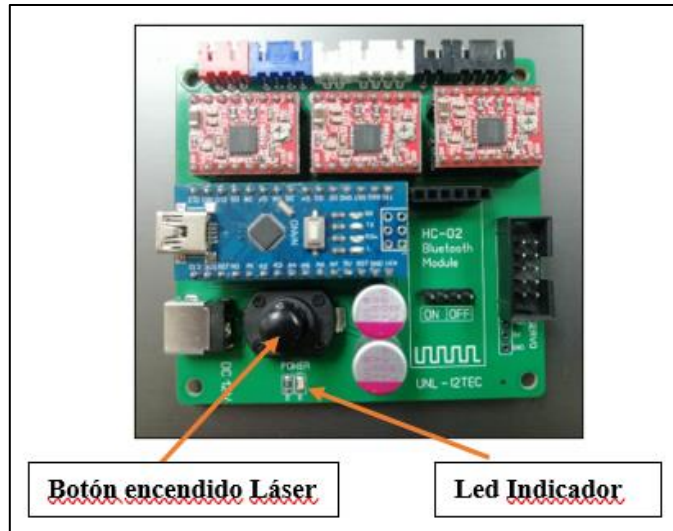
Las instrucciones que se deben seguir para el correcto uso y operación de la máquina para grabado y corte con láser se presentan a continuación:

Encendido del Prototipo

El proceso de encendido del prototipo se debe realizar siguiendo los siguientes pasos que se enumeran a continuación:

1. Abrir el software CNC (Engraver Master/LaserGRBL) en la laptop o PC.
2. Conectar el cable USB En la laptop/PC y posteriormente el otro extremo en el circuito de control.
3. Conectar la fuente de poder al circuito de control del prototipo.

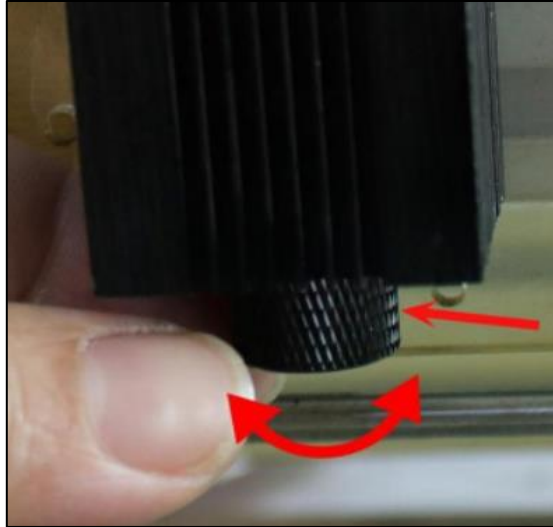
4. Verificar la tasa de Baudios tanto en el puerto COM y LPT, preferencialmente a 9600 para el software Engraver Master y 115200 para LaserGRBL.
5. Establecer conexión entre el software y el prototipo.
6. Encender el láser mediante el circuito de control y verificar que encienda el led indicador.



Puesta en marcha del prototipo

Una vez realizado el proceso de encendido del prototipo, siguiendo todas las indicaciones mencionadas, se procede a la puesta en marcha del prototipo.

1. Ubicar el punto de origen o punto cero, para esta hacer uso de los botones o flechas de dirección.
2. Colocar el material con el que se va a trabajar para grabado o corte y alinearlo.
3. Mediante el software CNC encienda el punto focal del láser (**laser on débil** para Engraver Master y botón **enfoque** para laserGRBL)
4. Enfocar el haz de luz láser, haciendo uso de la rueda de enfoque del láser.



5. Apagar el punto focal del láser (**laser on débil** para Engraver Master y botón **enfoque** para laserGRBL)
6. Importar imagen o archivo a grabar o cortar.
7. Ajustar parámetros de imagen según lo requerido (Tamaño, escala de grises) y parámetros de grabado (Velocidad, tamaño de pixel, formato de línea (o punteado) de grabado).
8. Establecer potencia de láser.
9. Verificar el área de trabajo haciendo uso de los botones Test Size (para Engraver Master) y Área Trabajo (para LaserGRBL).
10. Verificar vista previa del grabado y ajustar parámetros de grabado en caso de requerirlo.
11. Iniciar el proceso de corte o grabado dando clic en el botón **Start**.

Apagado del prototipo

Finalizado el proceso de grabado el láser regresará al punto cero. A partir de aquí se puede proceder a apagar el prototipo, para esto hay que seguir los siguientes pasos.

1. Apagar el láser mediante el circuito de control (Botón de la placa controladora).
2. Desconectar la comunicación entre el software y el prototipo.

3. Cerrar el software CNC.
4. Desconectar el cable USB primeramente el extremo conectado en la Laptop/PC y posteriormente el extremo conectado al circuito de control del prototipo.
5. Desconectar la fuente de alimentación.
6. Retirar cualquier material o sobrantes de material de la mesa de trabajo y limpiar la misma.

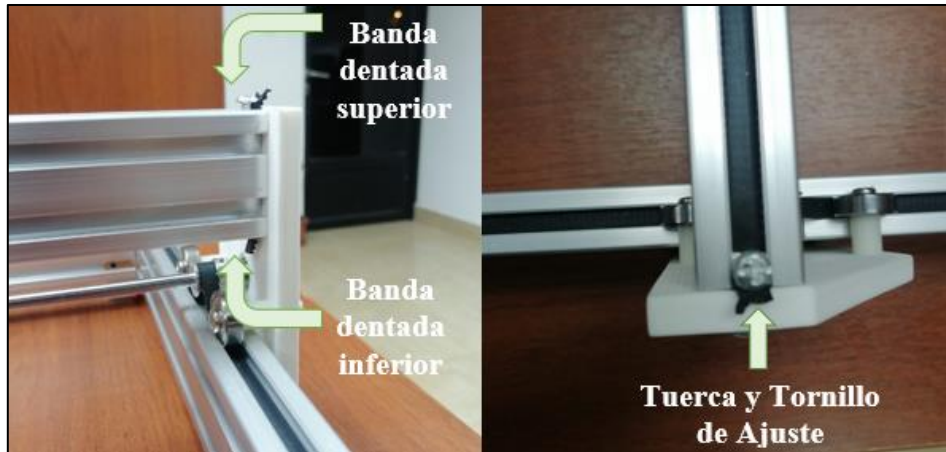
Anexo 8. Manual de Mantenimiento del Prototipo

Las operaciones de mantenimiento están destinadas a la conservación de los elementos y materiales que componen el prototipo, con el objetivo de mantener en buenas condiciones la máquina y partes que la componen. Para esto es necesario mantener una constante revisión y limpieza tanto del prototipo como del área de trabajo; para garantizar un correcto funcionamiento y fiabilidad de la máquina. Además, esto permite alargar el tiempo de vida útil del prototipo.

El prototipo se encuentra construido para ser reparado en caso de necesitarlo, es por ello que la mayoría de las piezas pueden ser desatornilladas y reemplazadas de ser necesario.

Para realizar las actividades de mantenimiento del prototipo siempre verificar que se encuentre totalmente apagado y desconectado de la energía eléctrica. Las actividades sugeridas para mantenimiento se enlistan a continuación.

1. Limpieza general del prototipo, para esto es necesario limpiar adecuadamente tanto la estructura de la máquina, el área de trabajo y cada componente; esto incluye el sistema de movimiento (X, Y) y circuito de control de la máquina (Componentes electrónicos).
2. Revisar que cada parte del prototipo se encuentre correctamente ajustada, en especial el sistema de desplazamiento (considerar que al trabajar el prototipo; este genera vibraciones).
3. Revisar que las bandas o correas dentadas se encuentre correctamente tensadas. En caso de requerir tensar una banda o correa dentada, se debe realizar desde los extremos del eje (verificar las correas que se encuentran tanto la parte superior como inferior del riel V-slot).

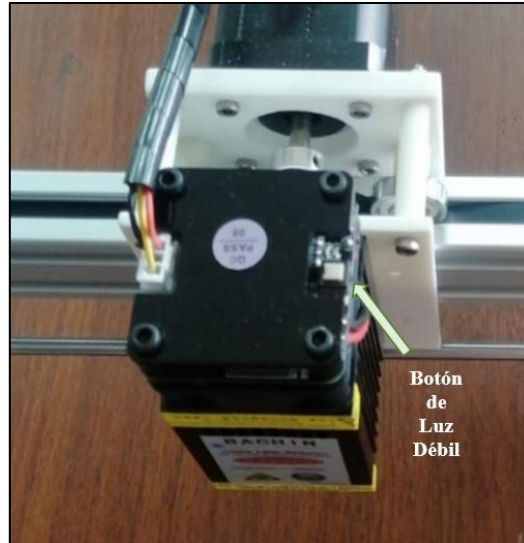


4. Examinar los ejes de movimiento (X, Y), verificar que los rodamientos, banda dentada y poleas se encuentren en buen estado.
5. Examinar que los componentes electrónicos del sistema de control del prototipo se encuentren en excelentes condiciones y funcionen correctamente, esto incluye los finales de carrera de los ejes de desplazamiento.
6. Verificar que los cables (USB y alimentación) se encuentren en perfecto estado y que los terminales de conexión se encuentren totalmente limpios.
7. Revisar que los cables que alimentan a los motores de paso y al módulo láser se encuentren en buenas condiciones y que los terminales de conexión se encuentren correctamente conectados (que estén ajustados).

Mantenimiento del láser

Para realizar las actividades de verificación y mantenimiento del módulo láser se debe realizar con el prototipo encendido. En caso de existir inconvenientes o problemas en cuanto al funcionamiento del láser; se debe comprobar de la siguiente manera.

1. Si el módulo láser no produce luz: verifique la fuente de alimentación, que suministre la energía necesaria.
2. El módulo láser funciona, pero no graba nada: Posiblemente se encuentre presionado el botón de luz débil, para solucionarlo, presione el botón que se encuentre en la parte superior del módulo láser.



3. Si se usa por un tiempo prolongado el láser y empieza a emitir pulsos de luz débiles: es posible que el Módulo láser se encuentre roto. En este caso se debería reemplazar el módulo láser.

Módulo diodo láser 445nm 5500mW

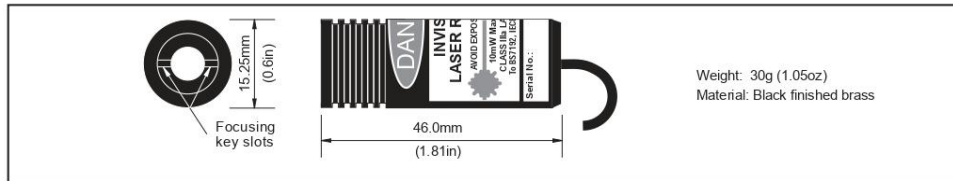
1502621233

Optical characteristics

Parameter	RS stock no./Value				Units
	111-346	194-010	194-026 213-3613	111-352	
Beam size	4.5 × 2.5	3.5 × 2.5	4.5 × 2.5	4.5 × 2.5	mm
Minimum focus (lens extended)		25		25	mm
Spot size at minimum focus		>50		>50	Micron
Polarisation ratio	90:1	80:1	100:1	60:1	
Pointing stability		<0.05			mRad
Output aperture	6.0	3.5	6.0		mm
Angular deviation of beam to case (front cell)		<5			mRad

The spot size is determined by optical measurement. The relationship of the spot size to illumination is $(\frac{1}{EV})^2$ therefore the size to the human eye will appear bigger.

Mechanical details



Absolute maximum ratings

Parameter	RS stock no./Value			
	111-346	111-352	194-010	194-026 194-032 213-3613
Supply voltage	+6.0V	-12.7V		
TTL disable input voltage	-	-3 to +7V		
Operating temperature	-10 to +30°C	-10 to +50°C	-10 to +40°C	
Storage temperature		-40 to +85°C		

Power supplies and earthing

Laser modules which operate from a negative voltage can be run from an unregulated supply within the range of -8 to -12V. By operating at the lower (-8V) end of the power supply range, less heat will be dissipated within the device and hence the expected life will increase.

Laser modules which operate from a positive voltage may only be run from a supply which has been regulated to at least 5%, within the limits specified.

For all laser modules the case is isolated from the supply voltages.

It is advisable for any floating power supplies to have the '0' volts connection (and if used, the heatsink) taken to ground. If this is not done, then in electrically noisy environments, the power supply leads can act as aerials. Under these conditions any noise picked up can damage the laser module. If a heatsink is not used, then the barrel of the laser module should be grounded.

TTL disable

This feature is only available on laser modules which operate from a negative supply voltage.

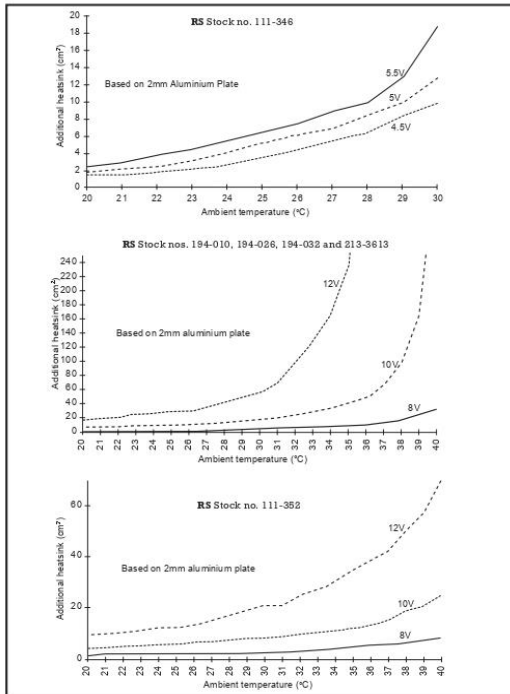
An input of between +4 and +7V applied to the TTL disable input will turn the laser 'off' and an input of 0V will turn it 'on'. If it is not in use it may be left floating. The laser may be pulsed 'on' and 'off' using this input to a frequency of at least 10Hz.

Heat sink requirements

When operating above their minimum supply voltage and/or at elevated temperatures above 30°C ambient, an additional heat sink must be used. If the case temperature of the embedded laser diode should exceed its maximum specification, premature or even catastrophic failure may occur.

To help dissipate heat from the laser modules the following graphs have been provided which show the additional **surface area** of 2mm thick aluminium plate required by each model when operated from different supply voltages and in different ambient temperatures. It has been assumed that good contact exists between the module and the additional heat sink to ensure low thermal resistance.

For maximum effect position, the heat sink so that it contacts the module just to the rear of the fluted front section (this may require peeling back the label) and use thermally conductive cream between surfaces.



When using a proprietary heat sink, the following equation may be used:

$$\varnothing_h \sim \frac{T_c - T_a}{I_{op} \times V_{op}} - (\varnothing_m + \varnothing_c)$$

Where:

\varnothing_h = Thermal resistance of additional heat sink (°C/W)

\varnothing_m = Thermal resistance of laser module (°C/W)

\varnothing_c = Thermal resistance of contact, module to heat sink (°C/W)

T_c = Maximum operating case temperature for laser diode (°C)

T_a = Maximum expected ambient temperature (°C)

V_{op} = Operating voltage of laser module (V)

I_{op} = Operating current @ V_{op} (A)

$\varnothing_m + \varnothing_c$ for these laser modules is typically 10°C/W assuming a good thermal contact between module and heat sink.

T_c is specified for each module as follows:

RS stock no.	°C
111-352	60
111-346	40
194-026	50
194-010	50
194-032	50
213-3613	50

Example:

If:

$\varnothing_m + \varnothing_c = 10$, $T_c = 50^\circ\text{C}$, $T_a = 35^\circ\text{C}$, $V_{op} = 10\text{V}$, $I_{op} = 78\text{mA}$

Then:

$$\varnothing_h \sim \frac{50 - 35}{0.078 \times 10} - 10$$

$$\sim 9.2^\circ\text{C/W}$$

Expected life

The laser diode device contained within each module, while being a semiconductor, is a complex electro-optical material, the structure of which determines the wavelength of the light emitted. The mechanism which ultimately causes the laser diode to fail is the formation of dislocations or gaps in the material structure. Laser devices which operate in the visible region of the spectrum have a more brittle structure than those that operate in the infra-red and in consequence produce dislocations at a faster rate.

The rate at which dislocations form during normal use is related to the temperature at which the laser diode operates. Where possible every means should be used to minimise temperature, such as working at lower voltage levels, reducing operating ambients and providing adequate heat sinking, all of which will contribute to maximise the operating life. The figures quoted for 'mean time to failure' (MTTF) reflect the differences in device structure and operating power.

Continuous wave lasers Beta Cameo series

General characteristics

Parameter	RS stock no./Value				Units
	213-3562	213-3590	213-3584	213-3607	
Nominal wavelength	635	670	635	670	nm
Maximum power output	1	0.8	3	3	mW
Typical power output stability (@20°C)	<3				%
Typical power output temperature dependence	15				µW/°C
Operating voltage	+4.5 to 5.5				Volts
Typical operating current at minimum voltage	65				mA
Typical operating current at maximum voltage	68				mA
Power supply rejection ratio (50Hz-100kHz)	1				%/V
Mean time to failure (MTTF) @ 30°C	4,500	20,000	4,500	20,000	Hours
Connections	2 pin socket (Pre wired plug supplied)				
Red lead	+ve supply				
Green lead	0				Volts

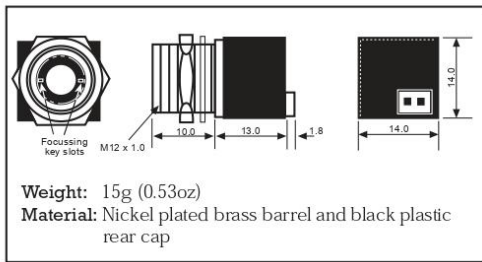
1502621233

Optical characteristics

Parameter	RS stock no./Value				Units
	213-3562	213-3590	213-3584	213-3607	
Beam size	4.5 \pm 2.5				mm
Minimum focus (lens extended)	25				mm
Spot size at minimum focus	>50				Micron
Polarisation ratio	10:1				
Pointing stability	<0.05				mRad
Output aperture	2.0		5.2		mm
Angular deviation of beam to case (front cell)	<5				mRad

The spot size is determined by optical measurement. The relationship of the spot size to illumination is $\left(\frac{1}{EV}\right)^2$ therefore the size to the human eye will appear bigger.

Mechanical details



Absolute maximum ratings

Parameter	RS stock no./Value	
	215-3562 215-3584	215-3590 215-3607
Supply voltage	+8V	
Operating temperature	-10 to +30°C	-10 to +40°C
Storage temperature	-40 to +85°C	

Power supplies and earthing

The Beta Cameo must be operated from a regulated, positive supply of 5 volts. The case, which may be connected externally to earth, is isolated from the supply.

Connections are made via the two pin latching connector, the mating half is supplied pre-wired, with 500mm of 7 \pm 0.2mm PVC insulated wire (red is positive and green is 0V).

Heat sink requirements

When operating above their minimum supply voltage and/or at elevated temperatures above 30°C ambient, an additional heat sink must be used. If the case temperature of the embedded laser diode should exceed its maximum specification, premature or even catastrophic failure may occur.

The module should be mounted into a metal bracket or bulkhead using the threaded barrel. Thermal transfer cream can be used to improve contact and heat dissipation.

When using a proprietary heat sink, the following equation may be used:

$$\Theta_h \sim \frac{T_c - T_a}{I_{op} \pm V_{op}} - (\Theta_m + \Theta_c)$$

Where:

Θ_h = Thermal resistance of additional heat sink (°C/W)

Θ_m = Thermal resistance of laser module (°C/W)

Θ_c = Thermal resistance of contact, module to heat sink (°C/W)

T_c = Maximum operating case temperature for laser diode (°C)

T_a = Maximum expected ambient temperature (°C)

V_{op} = Operating voltage of laser module (V)

I_{op} = Operating current @ V_{op} (A)

$\Theta_m + \Theta_c$ for these laser modules is typically 10°C/W assuming a good thermal contact between module and heat sink.

T_c is specified for each module as follows:

RS stock no.	°C
213-3562	40
213-3590	50
213-3584	40
213-3607	50

Example:

If:

$\Theta_m + \Theta_c = 10$, $T_c = 50^\circ\text{C}$, $T_a = 35^\circ\text{C}$, $V_{op} = 5\text{V}$,

$I_{op} = 68\text{mA}$

Then:

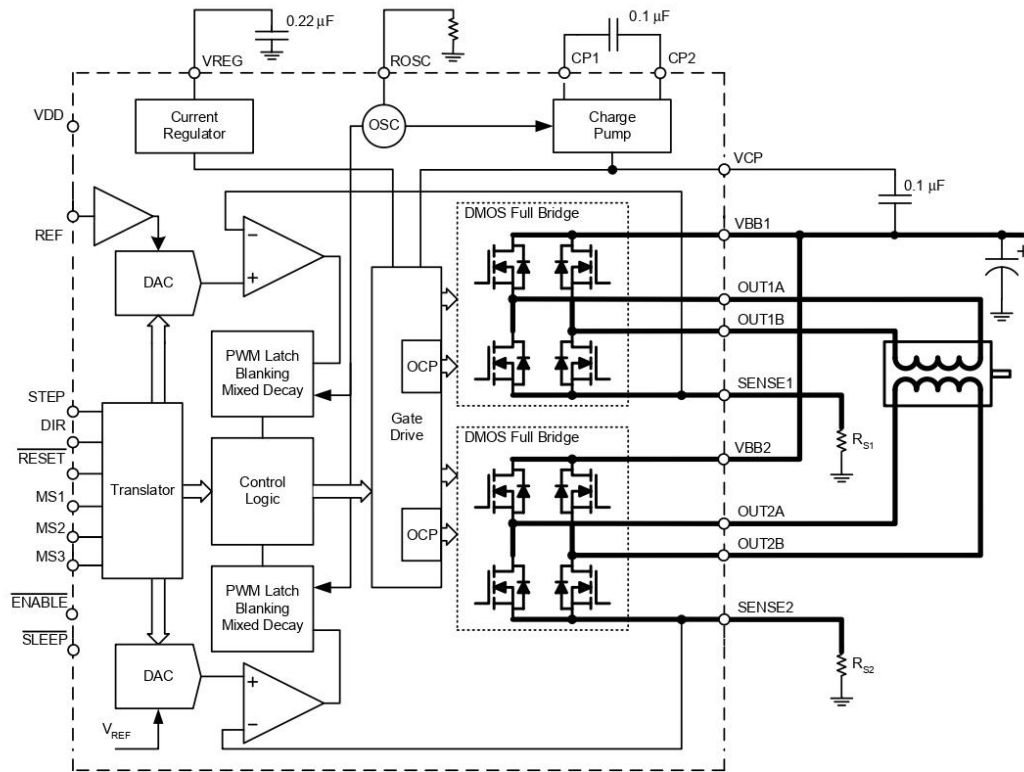
$$\Theta_h \sim \frac{50 - 35}{0.068 \pm 5} - 10$$

$$\sim 34.1^\circ\text{C/W}$$

A4988

DMOS Microstepping Driver with Translator and Overcurrent Protection

Functional Block Diagram



A4988

DMOS Microstepping Driver with Translator and Overcurrent Protection

ELECTRICAL CHARACTERISTICS¹ at T_A = 25°C, V_{BB} = 35 V (unless otherwise noted)

Characteristics	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ. ²	Max.	Units
Output Drivers						
Load Supply Voltage Range	V _{BB}	Operating	8	–	35	V
Logic Supply Voltage Range	V _{DD}	Operating	3.0	–	5.5	V
Output On Resistance	R _{DS(ON)}	Source Driver, I _{OUT} = –1.5 A	–	320	430	mΩ
		Sink Driver, I _{OUT} = 1.5 A	–	320	430	mΩ
Body Diode Forward Voltage	V _F	Source Diode, I _F = –1.5 A	–	–	1.2	V
		Sink Diode, I _F = 1.5 A	–	–	1.2	V
Motor Supply Current	I _{BB}	f _{PWM} < 50 kHz	–	–	4	mA
		Operating, outputs disabled	–	–	2	mA
Logic Supply Current	I _{DD}	f _{PWM} < 50 kHz	–	–	8	mA
		Outputs off	–	–	5	mA
Control Logic						
Logic Input Voltage	V _{IN(1)}		V _{DD} × 0.7	–	–	V
	V _{IN(0)}		–	–	V _{DD} × 0.3	V
Logic Input Current	I _{IN(1)}	V _{IN} = V _{DD} × 0.7	–20	<1.0	20	μA
	I _{IN(0)}	V _{IN} = V _{DD} × 0.3	–20	<1.0	20	μA
Microstep Select	R _{MS1}	MS1 pin	–	100	–	kΩ
	R _{MS2}	MS2 pin	–	50	–	kΩ
	R _{MS3}	MS3 pin	–	100	–	kΩ
Logic Input Hysteresis	V _{HYS(IN)}	As a % of V _{DD}	5	11	19	%
Blank Time	t _{BLANK}		0.7	1	1.3	μs
Fixed Off-Time	t _{OFF}	OSC = V _{DD} or GND	20	30	40	μs
		R _{OSC} = 25 kΩ	23	30	37	μs
Reference Input Voltage Range	V _{REF}		0	–	4	V
Reference Input Current	I _{REF}		–3	0	3	μA
Current Trip-Level Error ³	err _I	V _{REF} = 2 V, %I _{Tripp} MAX = 38.27%	–	–	±15	%
		V _{REF} = 2 V, %I _{Tripp} MAX = 70.71%	–	–	±5	%
		V _{REF} = 2 V, %I _{Tripp} MAX = 100.00%	–	–	±5	%
Crossover Dead Time	t _{DT}		100	475	800	ns
Protection						
Overcurrent Protection Threshold	I _{OC} PST		2.1	–	–	A
Thermal Shutdown Temperature	T _{TSD}		–	165	–	°C
Thermal Shutdown Hysteresis	T _{TSDHYS}		–	15	–	°C
VDD Undervoltage Lockout	V _{DDUVLO}	V _{DD} rising	2.7	2.8	2.9	V
VDD Undervoltage Hysteresis	V _{DDUVLOHYS}		–	90	–	mV

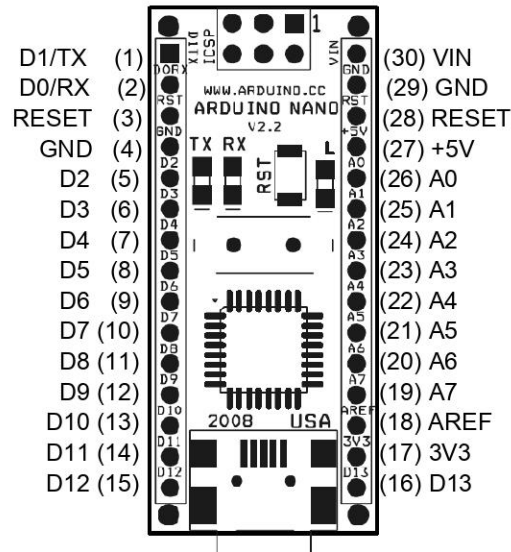
¹For input and output current specifications, negative current is defined as coming out of (sourcing) the specified device pin.

²Typical data are for initial design estimations only, and assume optimum manufacturing and application conditions. Performance may vary for individual units, within the specified maximum and minimum limits.

³V_{ERR} = [(V_{REF}/8) – V_{SENSE}] / (V_{REF}/8).

Arduino Nano V2

Arduino Nano Pin Layout



Pin No.	Name	Type	Description
1-2, 5-16	D0-D13	I/O	Digital input/output port 0 to 13
3, 28	RESET	Input	Reset (active low)
4, 29	GND	PWR	Supply ground
17	3V3	Output	+3.3V output (from FTDI)
18	AREF	Input	ADC reference
19-26	A7-A0	Input	Analog input channel 0 to 7
27	+5V	Output or Input	+5V output (from on-board regulator) or +5V (input from external power supply)
30	VIN	PWR	Supply voltage

Anexo 10. Certificado de Traducción del Resumen

Loja, 17 de marzo de 2023

Mgtr.

Edgar M. Castillo C.

**MAGÍSTER EN PEDAGOGÍA PARA LA ENSEÑANZA DEL IDIOMA INGLÉS
COMO LENGUA EXTRANJERA**

Certifica. -

Haber traducido de español a inglés el resumen del trabajo de integración curricular:
**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CORTADORA Y
GRABADORA LÁSER CNC PARA EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN I2TEC DE LA
UNL**, de la autoría del estudiante David Alejandro Narváez Barragán, C.I.: 1105647547.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, pudiendo el interesado hacer uso
del presente documento cuando lo considere conveniente.



Firmado electrónicamente por:
**EDGAR MARIANO
CASTILLO CUESTA**

Edgar M. Castillo C.
EFL TEACHER

Nro. Reg. Senescyt: 1031-07-785748