



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE MECATRÓNICA

**IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE GRABADO LÁSER PARA LA
FABRICACIÓN EN SERIE DE PRODUCTOS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTORES: Alex Ismael Hidalgo Rojas
Giovanni Aarón Díaz Rodríguez
TUTOR: Alberto Santiago Ramírez Farfán

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Alberto Farfán', is located on the left side of the page.

Guayaquil - Ecuador
2024

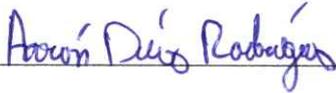
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Giovanni Aarón Díaz Rodríguez** con documento de identificación N° **0931988745** y **Alex Ismael Hidalgo Rojas** con documento de identificación N° **1150179388**; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 05 de septiembre del año 2024

Atentamente,



Giovanni Aarón Díaz Rodríguez
0931988745



Alex Ismael Hidalgo Rojas
1150179388

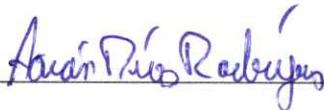
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **Giovanni Aarón Díaz Rodríguez** con documento de identificación N° **0931988745** y **Alex Ismael Hidalgo Rojas** con documento de identificación N° **1150179388**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **Dispositivo Tecnológico: IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE GRABADO LÁSER PARA LA FABRICACIÓN EN SERIE DE PRODUCTOS**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 05 de septiembre del año 2024

Atentamente,



Giovanni Aarón Díaz Rodríguez
0931988745



Alex Ismael Hidalgo Rojas
1150179388

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Alberto Santiago Ramírez Farfán**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE GRABADO LÁSER PARA LA FABRICACIÓN EN SERIE DE PRODUCTOS**, realizado por **Giovanni Aarón Díaz Rodríguez** con documento de identificación N° **0931988745** y por **Alex Ismael Hidalgo Rojas** con documento de identificación N° **1150179388**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo Tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 05 de septiembre del año 2024

Atentamente,



Ing. Alberto Santiago Ramírez Farfán, Mg.
0923348890

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi padre, Pablo Giovanni Díaz Peña, por su constancia y compromiso en mis estudios; a mi madre, Marisol Yolanda Rodríguez Castro, por su amor incomparable, su cuidado incondicional y su apoyo constante para garantizar mi bienestar a lo largo de estos años de estudio. Finalmente, quisiera expresar mi agradecimiento a mi tía, Victoria María Rodríguez Castro, por su absoluta confianza, que me motivó a continuar creciendo y que siempre ha estado a mi lado con esmero.

Giovanni Aarón Díaz Rodríguez

Este trabajo de titulación está dedicado con amor a mi madre, Yohanna Rojas Rivera; a mi abuelita materna, Rubia Rivera Rojas; y a mis hermanitos, Marco Hidalgo y Leonardo Hidalgo.

También quiero dedicarlo a mi abuelita paterna, Orfelina Castillo, con la esperanza de que, si existe un cielo, desde allí pueda ver y compartir este la obtención de este logro.

Y a ti, que estás leyendo estas palabras, recuerda: “Atraviesa los cielos con tu espíritu”.

Alex Ismael Hidalgo Rojas

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana, a los docentes y a mis compañeros por su contribución esencial en el desarrollo y culminación de este trabajo de investigación.

Asimismo, expreso un agradecimiento especial al Ing. Alberto Ramírez Farfán por su orientación y sugerencias durante la realización de este proyecto, así como por la confianza depositada para llevarlo a cabo.

Giovanni Aarón Díaz Rodríguez

Deseo expresar mi agradecimiento a mi madre y a mis abuelitas por el apoyo incondicional que me han brindado durante todos los ciclos de estudio. Más allá del apoyo académico, valoro profundamente las enseñanzas sobre valores y ética laboral que me han transmitido.

También quiero agradecer a mi familia por su apoyo y unidad en los momentos necesarios. En particular, a mis tías Alexa y Viviana, así como a mi abuelo Leonso.

Agradezco a los compañeros con los que compartí mi trayecto universitario; su compañía ha sido una parte fundamental de esta experiencia académica.

Finalmente, mi agradecimiento al Ing. Alberto Ramírez Farfán, por su disposición para guiar este proyecto de titulación y transmitir su entusiasmo por el desarrollo de proyectos que requieren perseverancia e innovación.

Alex Ismael Hidalgo Rojas

RESUMEN

Este trabajo de titulación se centra en la optimización del proceso de grabado láser en la manufactura a través de la implementación de un sistema automatizado inspirado en las tecnologías de la Industria 4.0. En vista de que la mayoría de los sistemas comerciales de grabado láser son sistemas cerrados que no están diseñados para adaptarse a trabajar en líneas de producción junto a otras máquinas, es esencial desarrollar soluciones que permitan una integración flexible y eficiente en entornos de manufactura modernos. Se presenta un diseño técnico que integra un sistema de grabado láser con una banda transportadora, utilizando microcontroladores y PLCs (Controladores Lógicos Programables) para aumentar la eficiencia y la adaptabilidad de la producción.

Se realizó la investigación y pruebas de funcionamiento de los protocolos de comunicación de una grabadora láser basada en Arduino. Tras este estudio, se procedió a modificar el sistema para transformarlo de un sistema de lazo abierto a uno de lazo cerrado, mejorando así su integración y control en entornos de producción.

Además, el proyecto tiene como objetivo dotar a los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana de herramientas prácticas y conocimientos esenciales para operar estos sistemas. De esta manera, se busca preparar a los futuros profesionales para afrontar los retos de la manufactura inteligente, promoviendo una formación que responda a las necesidades actuales del sector industrial.

Palabras claves: Grabado láser, Industria 4.0, automatización, manufactura inteligente, control numérico computarizado (CNC), microcontroladores, PLC, banda transportadora, eficiencia de producción y prototipo mecatrónico.

ABSTRACT

This graduation project focuses on optimizing the laser engraving process in manufacturing through the implementation of an automated system inspired by Industry 4.0 technologies. Given that most commercial laser engraving systems are closed systems not designed to adapt to working in production lines alongside other machines, it is essential to develop solutions that allow flexible and efficient integration in modern manufacturing environments. A technical design is presented that integrates a laser engraving system with a conveyor belt, utilizing microcontrollers and PLCs (Programmable Logic Controllers) to increase production efficiency and adaptability.

Research and functionality tests of the communication protocols of a laser engraver based on Arduino were conducted. Following this study, the system was modified to transform it from an open-loop system to a closed-loop system, thereby improving its integration and control in production environments.

Additionally, the project aims to equip students from the Universidad Politécnica Salesiana with practical tools and essential knowledge to operate these systems. In this way, it seeks to prepare future professionals to face the challenges of intelligent manufacturing, promoting training that meets the current needs of the industrial sector.

Keywords: Laser engraving, Industry 4.0, automation, intelligent manufacturing, computer numerical control (CNC), microcontrollers, PLC, conveyor belt, production efficiency, and mechatronic prototype.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	PROBLEMA	2
III.	OBJETIVOS	3
III-A.	Objetivo general	3
III-B.	Objetivos específicos	3
IV.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	4
IV-A.	Módulo de grabado láser	4
IV-B.	Entradas y salidas analógicas	5
IV-C.	Entradas y salidas digitales	5
IV-D.	Sistemas Embebidos	5
IV-E.	Arduino UNO	6
IV-F.	Placa CNC para Arduino	6
IV-G.	Driver A4988	7
IV-H.	Motores a paso bipolares	7
IV-I.	Sistemas de transmisión de movimiento rotatorio a lineal	7
IV-J.	Control Lógico Programable (PLC)	8
IV-K.	Banda transportadora	9
IV-L.	Motor trifásico	9
IV-M.	Sensores	10
IV-N.	Sistemas de control en lazo abierto	10
IV-Ñ.	Sistemas de control en lazo cerrado	11
IV-O.	Comunicación serial	11
IV-P.	Protocolo de comunicación UART	12
IV-Q.	Estructuras modulares	13
IV-R.	Placas de circuitos impresos	13
IV-S.	Control numérico computarizado	14
V.	METODOLOGÍA	15
V-A.	Procedimientos y métodos de estudio	15
V-B.	Elaboración del prototipo	15
V-C.	Uso de software GRBL Láser	19
V-D.	Pruebas en software HERCULES para comprensión de sistemas de comunicación serial	22
V-E.	Establecimiento del Sistema de Comunicación Serial Maestro/ Esclavo entre Arduinos para la Modificación del Sistema de Grabado Láser	24
V-F.	Obtención del código G	26
V-G.	Conexión y sistema electrónico	27
V-H.	Diseño de la estructura modular del láser	30
V-I.	Análisis estático de los soportes	38
V-J.	Análisis térmico de la pieza sujetadora del láser	44
V-K.	Revisión de la banda transportadora	47
V-L.	Elaboración de código en software TIA PORTAL	49
V-M.	Diseño y creación de placa PCB	50
VI.	Resultados	55
VI-A.	Sistema electrónico y mecánico CNC	55
VI-B.	Modularidad de la estructura / bastidor	58
VI-C.	Desempeño del sistema implementado	58

VII. Cronograma	63
VIII. PRESUPUESTO	64
IX. Conclusiones	65
X. Recomendaciones	65
Anexo A: Planos	70
Anexo B: Repositorio de códigos de las tarjetas Arduino para funcionamiento del sistema CNC	77
Anexo C: Proceso de fabricación e implementación del sistema	77

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Láser [6]	4
2.	Módulo de grabado láser [8]	4
3.	Señal analógica [10]	5
4.	Señal digital [12]	5
5.	Tarjeta Raspberry Pi, ejemplo de sistema embebido [14]	5
6.	Placa Arduino UNO [16]	6
7.	Tarjeta de expansión CNC Shield [19]	6
8.	Drivers A4988 conectados a la placa CNC [21]	7
9.	Motor a pasos bipolar modelo NEMA 17 [23]	7
10.	Tornillo sin fin [25]	8
11.	Transmisión por banda [27]	8
12.	PLC Siemens S7-1500 [29]	8
13.	Banda transportadora [31]	9
14.	Parte interna de un motor trifásico [33]	10
15.	Ejemplos de sensores industriales [35]	10
16.	Descripción de sistema de lazo abierto [37]	11
17.	Descripción de sistema de lazo cerrado [39]	11
18.	Esquemático sobre la comunicación serial [41]	12
19.	Comunicación UART entre microcontroladores [43]	13
20.	Perfiles de aluminio y piezas de juntas para estructuras modulares [45]	13
21.	Partes de un circuito impreso en placa [47]	14
22.	Ejemplo de maquina CNC [49]	14
23.	Montaje del prototipo. Fuente: Autores	17
24.	Estructura. Fuente: Autores	17
25.	Montaje del sujetador del láser. Fuente: Autores	18
26.	Sistema electrónico del prototipo. Fuente: Autores	18
27.	Estructura. Fuente: Autores	19
28.	Prueba de grabado del prototipo. Fuente: Autores	19
29.	Carga de GRBL Láser en Arduino IDE. Fuente: Autores	20
30.	Interfaz de GRBL Láser. Fuente: Autores	21
31.	Adaptador USB a serial. Fuente: Autores	22
32.	Interfaz de software Hercules. Fuente: Autores	24
33.	Puertos de comunicacion serial en Arduino NANO. Fuente: Autores	25
34.	Puertos de comunicacion serial en Arduino UNO. Fuente: Autores	26
35.	Proceso de guardado de programa y código G. Fuente: Autores	26
36.	Visualización de código G. Fuente: Autores	27
37.	Esquema electrónico Arduino Nano. Fuente: Autores	28
38.	Comunicación serial Arduino Nano / UNO. Fuente: Autores	28
39.	Explicación del funcionamiento del sistema CNC aplicado. Fuente: Autores	29
40.	Esquema electrónico Arduino UNO y CNC shield junto con componentes de control [58]	30
41.	Vista superior del ensamblaje principal. Fuente: Autores	31
42.	Vista lateral del ensamblaje principal. Fuente: Autores	32
43.	Vista isométrica del ensamblaje principal. Fuente: Autores	32
44.	Vista frontal del soporte en la banda transportadora. Fuente: Autores	33
45.	Vista isométrica del soporte en la banda transportadora. Fuente: Autores	33
46.	Piezas utilizadas para sujetar el láser. Fuente: Autores	34
47.	Soportes de esquina y soportes planos utilizados para unir la estructura. Fuente: Autores	35
48.	Vista lateral de la estructura. Fuente: Autores	36
49.	Vista superior de la estructura. Fuente: Autores	37

50.	Vista isométrica de la estructura. Fuente: Autores	37
51.	Vista frontal del sistema mecánico. Fuente: Autores	38
52.	Soportes utilizados para sujeción del bastidor y la banda, "Tope". Fuente: Autores	40
53.	Peso de la estructura y de la caja eléctrica. Fuente: Autores	40
54.	Propiedades del material utilizado para elaborar la piezas impresas en 3D (PETG) [60]	41
55.	Proceso asignación de sujeciones y fuerzas para análisis estático. Fuente: Autores	41
56.	Análisis estático de Von Mises. Fuente: Autores	42
57.	Análisis estático de desplazamientos. Fuente: Autores	43
58.	Análisis estático de deformaciones unitarias. Fuente: Autores	44
59.	Pieza sujetadora del laser. Fuente: Autores	46
60.	Análisis térmico de la pieza "Sujetador de láser". Fuente: Autores	46
61.	Banda transportadora a utilizar. Fuente: Autores	48
62.	Vista superior de la banda. Fuente: Autores	49
63.	Vista lateral de la banda. Fuente: Autores	49
64.	Programación en TIA portal V18. Fuente: Autores	50
65.	Esquemático de la PCB. Fuente: Autores	52
66.	Modelo 3D de la PCB. Fuente: Autores	53
67.	Preparación de rieles de PCB. Fuente: Autores	53
68.	Proceso de impresión. Fuente: Autores	54
69.	Pruebas de continuidad. Fuente: Autores	54
70.	PCB final del sistema emisor de datos. Fuente: Autores	55
71.	Diagrama de funcionamiento	56
72.	Vista lateral del soporte modular acoplado. Fuente: Autores	58
73.	Ejemplo de medidas propuestas en software. Fuente: Autores	59
74.	Ejemplo de medidas obtenidas. Fuente: Autores	59
75.	Imagen de referencia utilizada para las pruebas legibilidad y resolución. Fuente: Autores	61
76.	Lámina acotada del soporte para chumacera y sujetador de eje. Fuente: Autores	70
77.	Lámina acotada de la pieza Topes. Fuente: Autores	71
78.	Lámina acotada de la vista frontal del perfil de 20x20 cm utilizado. Fuente: Autores	72
79.	Lámina acotada de la primera pieza del sujetador del láser. Fuente: Autores	73
80.	Lámina acotada de la segunda pieza del sujetador del láser. Fuente: Autores	74
81.	Lámina acotada del sujetador del eje X/Y. Fuente: Autores	75
82.	Lámina acotada del sujetador de los motores del eje x. Fuente: Autores	76
83.	Lámina acotada del bastidor modular de el láser. Fuente: Autores	77
84.	Colocación de la estructura sobre la banda transportadora. Fuente: Autores	78
85.	Ubicación de la estructura sobre la banda transportadora. Fuente: Autores	79
86.	Proceso de elaboración PCB. Fuente: Autores	80
87.	Proceso de toma de peso del sistema. Fuente: Autores	81
88.	Corte láser de las cajas de prueba para grabado. Fuente: Autores	82
89.	Programación de banda y sistema de grabado. Fuente: Autores	83
90.	Conexión PLC / Arduino. Fuente: Autores	84
91.	Pruebas de grabado. Fuente: Autores	85
92.	Establecimiento de parámetros para crear el material PETG en SolidWorks. Fuente: Autores	86
93.	Ensamblaje del bastidor. Fuente: Autores	87
94.	Foto grupal de los Autores. Fuente: Autores	88

ÍNDICE DE TABLAS

I.	Resultados del análisis estatico de la pieza: Tope	56
II.	Resultados del análisis térmico de la pieza: Sujetador del láser	57
III.	Comparación medidas planteadas / obtenidas	60
IV.	Resultados de pruebas de legibilidad y resolución	62
V.	Cronograma	63
VI.	Presupuesto	64

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las técnicas avanzadas de manufactura, como la impresión en tres dimensiones y el grabado láser, han transformado la industria, permitiendo la producción de bienes con mayor precisión y flexibilidad. Sin embargo, estas tecnologías aún presentan limitaciones cuando se trata de su aplicación en líneas de producción en masa. Aunque muchas empresas buscan mejorar su eficiencia y competitividad adoptando nuevas tecnologías de la Industria 4.0, la falta de personal capacitado para la implementación y gestión de procesos de manufactura inteligente sigue siendo un desafío significativo.

Este trabajo de titulación se centra en abordar el proceso de grabado láser, una técnica que, a pesar de su potencial, enfrenta altos tiempos de producción debido a sistemas de control manual y obsoletos, estrategias de control ineficaces y movimientos imprecisos en la distribución. Estos factores no solo aumentan la necesidad de operadores adicionales, sino que también dificultan el cumplimiento de fechas de entrega y limitan las capacidades de producción. Los sistemas de control CNC comerciales actuales, siendo de naturaleza cerrada, limitan la flexibilidad y adaptabilidad necesarias en los modernos entornos de fabricación.

La propuesta de este trabajo es desarrollar un sistema de manufactura inteligente que supere las deficiencias de los sistemas CNC actuales. Para ello, se implementará un diseño técnico que integre un sistema de grabado láser con una banda transportadora, utilizando microcontroladores y PLCs (Controladores Lógicos Programables) para aumentar la eficiencia y la adaptabilidad de la producción. Este enfoque no solo optimizará el proceso de manufactura, haciéndolo más competitivo y acorde con las exigencias del mercado actual, sino que también reducirá la dependencia de múltiples operadores.

Además, este proyecto tiene un fuerte componente educativo, ya que se busca proporcionar a los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana un sistema de producción real y funcional para operar, modificar y estudiar. Esto es especialmente relevante en el contexto de la Industria 4.0, donde la formación práctica en nuevas arquitecturas y tecnologías industriales es crucial para preparar a los futuros profesionales para los desafíos del sector.

II. PROBLEMA

Técnicas de manufactura como la impresión en tres dimensiones o el grabado láser han revolucionado las formas de producir en la industria [1]. Sin embargo, estas tecnologías aún tienen deficiencias que cubrir respecto a su aplicación en líneas de producción en masa.

Numerosas empresas y organizaciones buscan aumentar su eficiencia y competitividad en su producción utilizando nuevas tecnologías de la Industria 4.0; sin embargo, hay escasez de personal capacitado y disponible para la implementación y manejo de procesos de manufactura inteligente [2].

En este trabajo se abordará el proceso de grabado láser, donde los altos tiempos de producción, originados por sistemas de control manual y no automatizados, estrategias de control obsoletas y movimientos imprecisos en la distribución, incrementan los pasos y operarios necesarios en el proceso de manufactura, ya que los sistemas de control CNC comerciales actuales son de naturaleza cerrada, lo que limita su adaptabilidad a entornos de fabricación modernos [3]. Esto provoca la necesidad de tener múltiples operadores, dificultades para cumplir con fechas de entrega y limitaciones en las cantidades de producción.

La creación de nuevas tecnologías para la industria enfocadas en la producción inteligente sirve para implementar sistemas de fabricación de productos más dinámicos y rápidos [4]. Considerando todo esto, es necesario determinar cuáles de estas tecnologías implementar para mejorar la eficiencia del proceso de grabado láser, para lo cual se deben considerar varios aspectos clave: primero, realizar un análisis de los tiempos de producción actuales utilizando métodos convencionales de grabado láser; segundo, desarrollar el diseño técnico para la integración del sistema de grabado láser con una banda transportadora; tercero, establecer los métodos de comunicación y control entre el grabador láser y la banda transportadora, utilizando un microcontrolador y un PLC; cuarto, implementar el sistema y realizar pruebas para medir su eficiencia y capacidad de producción en masa; y, por último, proporcionar a los estudiantes y docentes las herramientas y conocimientos necesarios para manejar el sistema, evaluando su aplicación práctica en la creación de presentes y souvenirs.

III. OBJETIVOS

III-A. Objetivo general

Implementar un sistema de grabado láser empleando un sistema embebido basado en software libre para una línea de fabricación flexible.

III-B. Objetivos específicos

- Diseñar un mecanismo automatizado basado en un modelo de control numérico computarizado para el proceso de grabado láser.
- Construir un bastidor realizando análisis técnico-mecánico para una instalación modular.
- Evaluar el rendimiento del sistema de grabado láser realizando pruebas de funcionamiento para la comprobación de su precisión.

IV. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

La creación de sistemas de manufactura que utilizan tecnología láser ha revolucionado la industria moderna, ofreciendo una precisión sin precedentes y una eficiencia operativa significativamente mejorada. Estos sistemas permiten la realización de tareas complejas con alta exactitud, lo que es esencial en sectores como la automoción, la aeronáutica, la electrónica y la fabricación de dispositivos médicos. El impacto de esta tecnología se extiende más allá de la mera precisión; también contribuye a la reducción de costos operativos y a la mejora de la calidad del producto final.

La capacidad de los sistemas de manufactura láser para realizar cortes, grabados y soldaduras con una velocidad y exactitud superiores ha permitido a las empresas aumentar su competitividad en un mercado global. Además, la integración de sistemas de grabado láser con procesos automatizados, como las bandas transportadoras y los controladores lógicos programables (PLC), ha optimizado aún más los flujos de trabajo, minimizando los errores humanos y maximizando la eficiencia de la producción en masa.

En el ámbito educativo y de investigación, la implementación de sistemas de manufactura láser ha proporcionado a estudiantes y profesionales herramientas avanzadas para explorar nuevas aplicaciones y mejorar sus habilidades en tecnologías de fabricación de alta precisión. Este avance tecnológico no solo facilita la producción de bienes de consumo con estándares de calidad más elevados, sino que también abre nuevas posibilidades para la innovación y el desarrollo de productos personalizados a gran escala [5].



Figura 1. Láser [6]

IV-A. Módulo de grabado láser

Las entradas y salidas analógicas son señales que representan datos en un rango continuo, a diferencia de las señales digitales que sólo pueden tomar valores discretos. Las entradas analógicas son utilizadas por dispositivos para recibir información del entorno, como la temperatura, la presión o el nivel de luz, mediante sensores que convierten estas variables físicas en señales eléctricas variables. Por otro lado, las salidas analógicas permiten a los dispositivos controlar actuadores, como motores, válvulas o luces, ajustando de manera continua su comportamiento en función de una señal analógica recibida [7].



Figura 2. Módulo de grabado láser [8]

IV-B. Entradas y salidas analógicas

Las entradas y salidas analógicas son señales que representan datos en un rango continuo, a diferencia de las señales digitales que sólo pueden tomar valores discretos. Las entradas analógicas son utilizadas por dispositivos para recibir información del entorno, como la temperatura, la presión o el nivel de luz, mediante sensores que convierten estas variables físicas en señales eléctricas variables. Por otro lado, las salidas analógicas permiten a los dispositivos controlar actuadores, como motores, válvulas o luces, ajustando de manera continua su comportamiento en función de una señal analógica recibida [9].

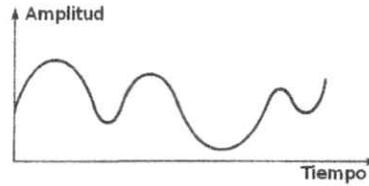


Figura 3. Señal analógica [10]

IV-C. Entradas y salidas digitales

Las entradas digitales son señales discretas que un sistema recibe, representando dos estados posibles (alto y bajo) para detectar condiciones como la activación de sensores. Las salidas digitales son señales que el sistema genera para controlar dispositivos como luces, relés o motores, también en dos estados (alto y bajo). Juntas, permiten la interacción y control de sistemas automatizados, asegurando una operación precisa y eficiente [11].

Señal digital

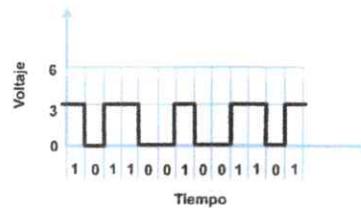


Figura 4. Señal digital [12]

IV-D. Sistemas Embebidos

Un sistema embebido puede definirse como un dispositivo electrónico con inteligencia computacional, diseñado para realizar una o varias tareas específicas que se establecen desde su creación. Estas tareas son predecibles y se ejecutan en tiempo real, con el sistema compuesto por elementos de hardware y software integrados [13].



Figura 5. Tarjeta Raspberry Pi, ejemplo de sistema embebido [14]

IV-E. Arduino UNO

La tarjeta Arduino UNO es una plataforma de desarrollo basada en un microcontrolador ATmega328P, diseñada para facilitar la creación de proyectos electrónicos y de programación. Se considera un sistema embebido porque combina hardware (el microcontrolador y sus componentes) y software (el entorno de desarrollo integrado, o IDE, y bibliotecas de código) para realizar tareas específicas. Su capacidad para interactuar con diversos sensores y actuadores, ejecutar programas en tiempo real y ser reprogramada para diferentes aplicaciones la hace ideal para prototipos y sistemas embebidos en múltiples campos [15].

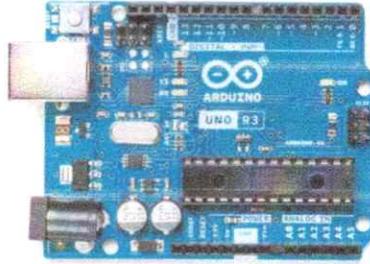


Figura 6. Placa Arduino UNO [16]

Según el fabricante, la placa Arduino UNO cuenta con 14 pines digitales configurables como entradas o salidas (6 de ellos con capacidad para generar señales PWM), 6 entradas analógicas, un resonador cerámico de 16 MHz, un puerto USB, una toma de alimentación, un conector ICSP y un botón de reinicio. Dispone de todo lo necesario para operar el microcontrolador, ya sea conectándola a un ordenador mediante un cable USB o alimentándola con un adaptador de corriente alterna a continua o una batería [17].

IV-F. Placa CNC para Arduino

La placa CNC Shield para Arduino es una expansión que facilita la construcción de proyectos CNC utilizando un Arduino. Proporciona una interfaz para conectar motores paso a paso, controlando ejes X, Y y Z con precisión. Incluye ranuras para drivers A4988 o DRV8825, simplificando la configuración de la electrónica de control. Su diseño compacto y compatibilidad con el software GRBL permite crear máquinas CNC como fresadoras, impresoras 3D y cortadoras láser de manera económica y accesible [18].

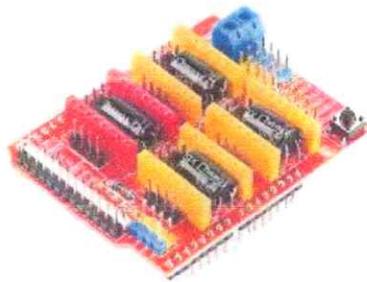


Figura 7. Tarjeta de expansión CNC Shield [19]

IV-G. Driver A4988

El driver A4988 es un controlador de motores paso a paso de microstepping compacto, ideal para aplicaciones CNC y de impresión 3D. Permite controlar motores bipolares paso a paso, ofreciendo resoluciones de microstepping desde full-step hasta 1/16 de paso, lo que proporciona un control preciso y suave del motor. Cuenta con protección contra sobrecorriente, sobretensión y cortocircuito, y permite ajustar la corriente del motor mediante un potenciómetro integrado. El A4988 es fácil de integrar con microcontroladores como Arduino, y su diseño de pines estándar lo hace compatible con muchas placas de expansión, como la CNC Shield para Arduino [20].

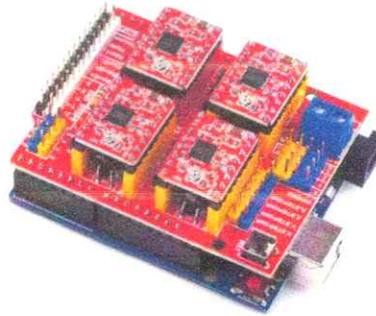


Figura 8. Drivers A4988 conectados a la placa CNC [21]

IV-H. Motores a paso bipolares

Un motor a pasos bipolar es un tipo de motor eléctrico que se mueve en pasos discretos, permitiendo un control preciso de la posición y la velocidad. Utiliza dos bobinas que deben ser energizadas en secuencia con polaridad inversa para mover el rotor [22].

A diferencia de los motores unipolares, los bipolares tienen una construcción más simple y ofrecen mayor torque y eficiencia debido a que toda la bobina se utiliza en cada paso. Los motores a pasos bipolares son ideales para aplicaciones que requieren movimientos precisos, como impresoras 3D, máquinas CNC y robots.



Figura 9. Motor a pasos bipolar modelo NEMA 17 [23]

IV-I. Sistemas de transmisión de movimiento rotatorio a lineal

Los sistemas de transmisión de movimiento rotatorio a lineal, como el tornillo sin fin y la banda, son fundamentales en la maquinaria industrial. El tornillo sin fin convierte el movimiento rotatorio en lineal mediante un tornillo y una tuerca, proporcionando alta precisión y fuerza, ideal para aplicaciones que requieren movimientos exactos y cargas pesadas, como en tornos y fresadoras [24].



Figura 10. Tornillo sin fin [25]

Por otro lado, el sistema de transmisión por banda utiliza una correa montada sobre poleas para transformar el movimiento rotatorio en lineal. Es más rápido y silencioso, adecuado para aplicaciones que requieren alta velocidad y menor precisión, como en impresoras 3D y cintas transportadoras. Ambos sistemas ofrecen soluciones eficientes para diversas necesidades industriales [26].

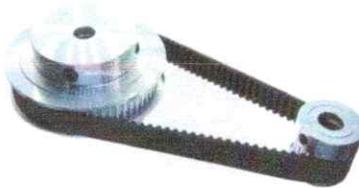


Figura 11. Transmisión por banda [27]

IV-J. Control Lógico Programable (PLC)

Un PLC (Controlador Lógico Programable) es un equipo electrónico empleado en la automatización de procesos para gestionar y supervisar maquinaria. Está preparado para funcionar en ambientes industriales exigentes y cuenta con un procesador central (CPU), entradas y salidas tanto digitales como analógicas, memoria destinada al almacenamiento de programas y datos, y una interfaz de comunicación que permite su conexión con otros sistemas. Gracias a su versatilidad, fiabilidad y capacidad para ajustarse a diversas aplicaciones, se han convertido en elementos esenciales dentro de la automatización industrial [28].



Figura 12. PLC Siemens S7-1500 [29]

IV-K. Banda transportadora

Una banda transportadora es un sistema de transporte continuo utilizado para mover materiales de manera eficiente y automatizada en diversas industrias, como minería, manufactura, agricultura y logística. Consiste en una cinta sin fin que se desplaza sobre rodillos o una base plana, impulsada por motores y poleas.

Las bandas transportadoras facilitan el transporte constante de objetos a lo largo de una trayectoria definida, mejorando la eficiencia, reduciendo tiempos y costos operativos, y minimizando la manipulación manual [30]. Además, automatizan procesos en líneas de producción, mejoran la seguridad y ergonomía al reducir el manejo de cargas pesadas, y se adaptan a diversas configuraciones de planta, contribuyendo significativamente a la modernización y eficiencia de los procesos industriales.



Figura 13. Banda transportadora [31]

IV-L. Motor trifásico

Un motor trifásico es un tipo de motor eléctrico que opera con corriente alterna trifásica, utilizando tres corrientes desfasadas entre sí 120 grados. Consta de un estator y un rotor, donde el estator genera un campo magnético rotativo usando corriente alterna trifásica, y el rotor produce movimiento al interactuar con este campo. Este diseño permite una operación más eficiente y estable, ya que proporciona un flujo de potencia constante y reduce las vibraciones y el ruido [32].

Los motores trifásicos tienen algunas ventajas frente a otros tipos de motores:

- Mayor eficiencia energética.
- Mayor durabilidad.
- Más compactos.
- Mantenimiento más económico.



Figura 14. Parte interna de un motor trifásico [33]

IV-M. Sensores

Los sensores son dispositivos que detectan y responden a estímulos o cambios en el entorno, convirtiendo estos estímulos en señales eléctricas que pueden ser medidas y analizadas. Se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones para monitorear diferentes parámetros físicos, químicos o biológicos [34]. Algunos ejemplos comunes incluyen:

Sensores de temperatura, que miden la temperatura ambiental. Sensores de presión, que detectan la presión de gases o líquidos. Sensores de luz, que detectan la intensidad luminosa. Sensores de movimiento, que registran el movimiento en un área específica. Estos dispositivos son esenciales en la automatización industrial, dispositivos médicos, sistemas de seguridad y electrónica de consumo.



Figura 15. Ejemplos de sensores industriales [35]

IV-N. Sistemas de control en lazo abierto

Un sistema de lazo abierto es un tipo de control en el que la acción se ejecuta sin tener en cuenta el impacto de la salida. En estos sistemas, la entrada es procesada por el controlador para generar el resultado deseado, pero no existe un mecanismo de retroalimentación que permita ajustar o corregir su funcionamiento según los resultados obtenidos. Por ejemplo, un calentador eléctrico básico puede estar programado para calentar durante un tiempo fijo, pero no modifica su operación en función de la temperatura del entorno o del objeto que está siendo calentado [36].

Debido a la falta de retroalimentación, los sistemas de lazo abierto tienden a ser menos precisos, ya que no pueden corregir desviaciones o errores en tiempo real. Esto implica que, ante cambios en las condiciones externas o en el propio sistema, la salida podría no coincidir con lo esperado. A pesar de esta limitación, son ampliamente utilizados gracias a su simplicidad y bajo costo, siendo adecuados para aplicaciones en las que la precisión no es crucial o donde las condiciones operativas son estables y predecibles.

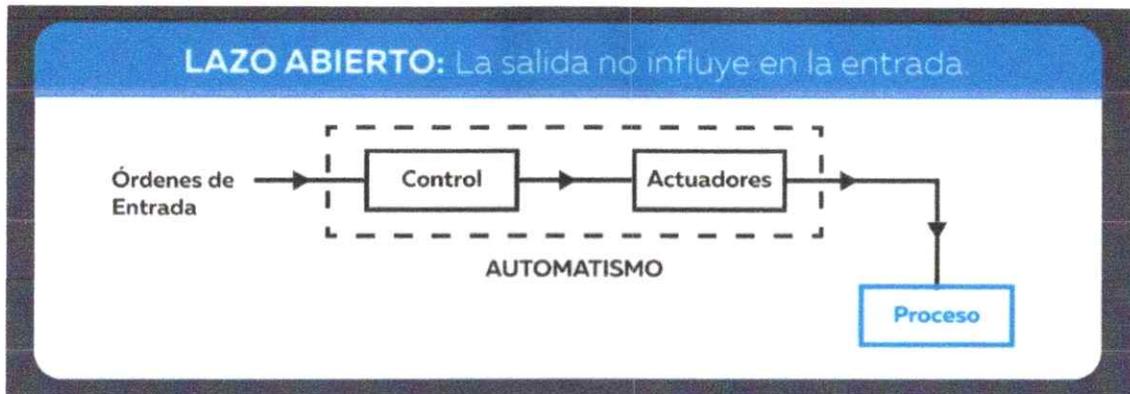


Figura 16. Descripción de sistema de lazo abierto [37]

IV-Ñ. Sistemas de control en lazo cerrado

Un sistema de control en lazo / bucle cerrado es aquel en el que la salida influye directamente sobre la entrada mediante un mecanismo de retroalimentación. En este tipo de sistema, se monitoriza de manera continua la salida real y se contrasta con la salida objetivo o de referencia. Cualquier diferencia entre ambas señales, conocida como error, se utiliza para modificar la entrada, buscando que la salida real se acerque lo más posible a la deseada. Este proceso de ajuste dinámico permite que el sistema conserve un control preciso y estable, incluso frente a perturbaciones externas o cambios en las condiciones operativas.

La retroalimentación en un sistema de control en bucle / cerrado puede ser tanto positiva como negativa. La retroalimentación negativa es la más habitual, ya que contribuye a estabilizar el sistema y minimizar el error entre la salida real y la de referencia. Por el contrario, la retroalimentación positiva tiende a aumentar las desviaciones, lo que puede llevar a la inestabilidad del sistema. Un ejemplo típico de un sistema de control en bucle cerrado es el termostato doméstico, en el que la temperatura actual se compara con la temperatura deseada, y el sistema de climatización se ajusta automáticamente para mantener la temperatura adecuada en el ambiente [38].

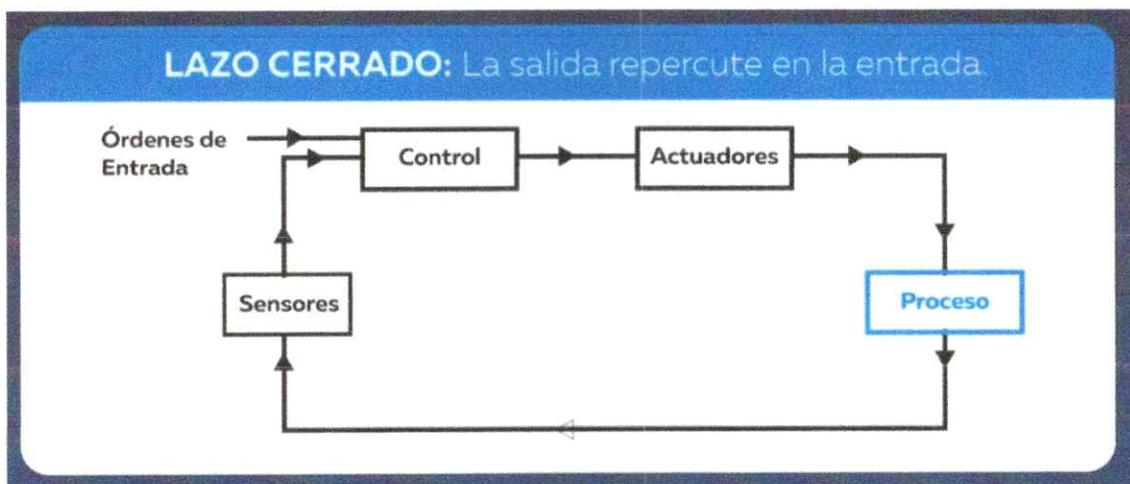


Figura 17. Descripción de sistema de lazo cerrado [39]

IV-O. Comunicación serial

La comunicación serie es una técnica de transmisión de datos en la que la información se envía bit a bit a través de un único canal o línea de comunicación. A diferencia de la comunicación en paralelo, donde varios bits se transmiten

simultáneamente a través de múltiples líneas, la comunicación serie envía los datos de manera secuencial, es decir, un bit seguido de otro. Este enfoque es muy utilizado en sistemas electrónicos y de telecomunicaciones debido a su simplicidad y eficacia, especialmente en la transmisión a largas distancias o en aplicaciones donde es necesario reducir el número de cables o conexiones [40].

Existen dos modalidades principales de comunicación serie: síncrona y asíncrona. En la comunicación serie síncrona, la transmisión de datos entre el transmisor y el receptor se coordina mediante un reloj común, lo que permite una transmisión más veloz y eficiente. Por el contrario, en la comunicación serie asíncrona, no se utiliza un reloj compartido; en su lugar, los dispositivos deben acordar una velocidad de transmisión (tasa de baudios) y emplear bits de inicio y parada para definir los límites de cada byte de datos. Este último método es muy común en interfaces como UART (Receptor-Transmisor Asíncrono Universal), que permite una transmisión eficiente sin la necesidad de una sincronización continua entre los dispositivos.

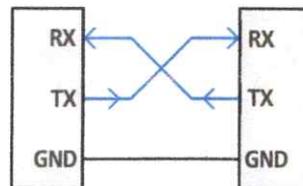


Figura 18. Esquemático sobre la comunicación serial [41]

IV-P. Protocolo de comunicación UART

El protocolo de comunicación UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) es ampliamente utilizado en la electrónica para la transmisión de datos seriales de manera asíncrona. A diferencia de otros métodos de comunicación serial que requieren una señal de reloj compartida, UART transmite datos sin sincronización externa, usando un formato de bits específicos que incluyen bits de inicio, bits de datos y bits de parada. El UART convierte los datos en paralelo desde un microcontrolador o dispositivo de procesamiento en un flujo de bits en serie, que luego se transmite a través de una línea de comunicación. Este proceso se invierte en el receptor, que convierte el flujo de bits en paralelo nuevamente [42].

Una de las características clave del UART es su capacidad para transmitir datos a diferentes velocidades, conocidas como baud rates, que deben ser acordadas previamente entre el transmisor y el receptor para asegurar la correcta interpretación de los datos. UART se usa comúnmente en aplicaciones que requieren comunicación sencilla y eficaz, como en la conexión de microcontroladores con módulos de comunicación, sensores, o incluso en la interfaz con computadoras para el intercambio de datos. A pesar de su simplicidad y eficiencia, el UART puede ser limitado en aplicaciones que requieren una sincronización precisa o la transmisión de datos a alta velocidad debido a su naturaleza asíncrona.

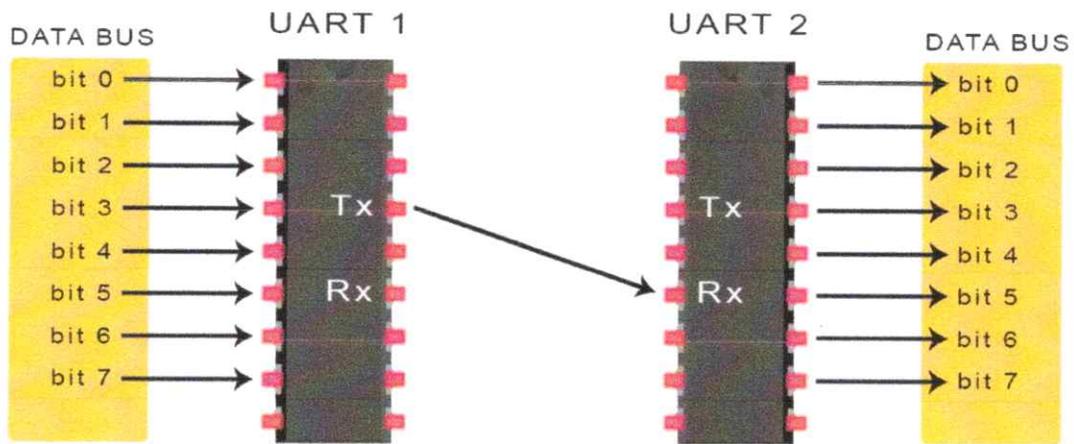


Figura 19. Comunicación UART entre microcontroladores [43]

IV-Q. Estructuras modulares

Una estructura modular es un diseño compuesto por componentes o módulos independientes que pueden ser ensamblados de diversas maneras para formar un sistema completo. Cada módulo funciona como una unidad autónoma, lo que permite que el sistema sea flexible y adaptable a diferentes necesidades. Diseñar productos y estructuras de manera modular ofrece varias ventajas significativas, como la facilidad de mantenimiento y reparación, ya que los módulos defectuosos pueden ser reemplazados sin afectar el resto del sistema. Además, la modularidad facilita la personalización y escalabilidad, permitiendo que los sistemas se ajusten o crezcan según los requerimientos del usuario. También promueve la eficiencia en la producción y el ensamblaje, ya que los módulos pueden ser fabricados en paralelo y ensamblados de manera rápida y sencilla [44].

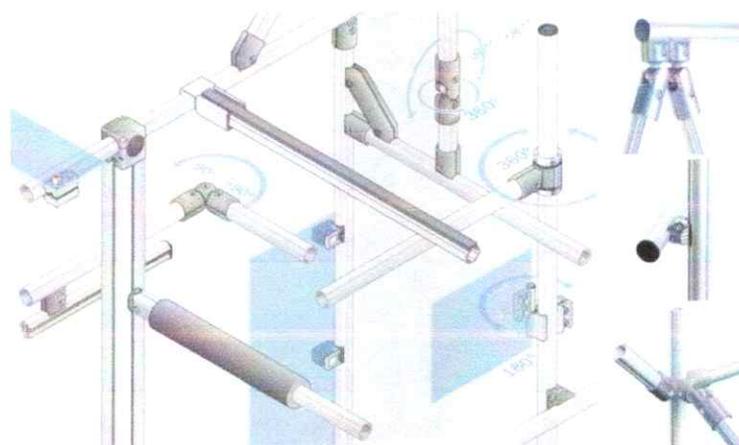


Figura 20. Perfiles de aluminio y piezas de juntas para estructuras modulares [45]

IV-R. Placas de circuitos impresos

Las placas PCB (Printed Circuit Boards) son componentes esenciales en la electrónica moderna, ya que proporcionan una plataforma para montar y conectar los diferentes componentes electrónicos de un circuito. Están compuestas de una lámina delgada de material conductor, como cobre, laminada sobre un sustrato no conductor, y son diseñadas para guiar señales eléctricas entre componentes como resistencias, capacitores, y microcontroladores. La fabricación de PCBs involucra varios procesos, desde el diseño del esquema del circuito hasta la impresión de las

pistas en la placa, la perforación de agujeros para los componentes y, finalmente, el ensamblaje de los componentes electrónicos [46].

Las PCBs son fundamentales en prácticamente todos los dispositivos electrónicos, desde simples juguetes hasta complejos sistemas de comunicaciones. Su diseño modular permite la creación de circuitos más compactos y eficientes, facilitando el mantenimiento y la reparación de los dispositivos, ya que cada PCB puede ser diseñada para una función específica y reemplazada fácilmente en caso de falla. Además, la estandarización de PCBs ha permitido la automatización en la fabricación de dispositivos electrónicos, reduciendo costos y mejorando la precisión en el ensamblaje.



Figura 21. Partes de un circuito impreso en placa [47]

IV-S. Control numérico computarizado

El Control Numérico Computarizado (CNC, por sus siglas en inglés) es una tecnología que utiliza computadoras para automatizar el control de máquinas herramientas en procesos de fabricación. A través de programas que contienen instrucciones en forma de códigos numéricos, las máquinas CNC pueden realizar operaciones como corte, fresado, perforado y torneado con una precisión extremadamente alta. Estas instrucciones se traducen en movimientos precisos de la máquina, lo que permite fabricar piezas complejas y de alta calidad sin la intervención manual directa en cada etapa del proceso [48].

Una de las principales ventajas del CNC es su capacidad para producir piezas idénticas de manera repetitiva, lo que es esencial en la producción en masa. Además, el CNC permite realizar modificaciones rápidas en los diseños sin necesidad de cambiar las herramientas físicas, lo que facilita la personalización y la adaptación a nuevas especificaciones. Esta flexibilidad y precisión han hecho del CNC una tecnología fundamental en la manufactura moderna, mejorando la eficiencia y reduciendo los costos de producción.



Figura 22. Ejemplo de maquina CNC [49]

V. METODOLOGÍA

V-A. *Procedimientos y métodos de estudio*

La metodología adoptada en este estudio se caracterizó por un enfoque riguroso y estructurado destinado a analizar la adopción y el impacto de los sistemas de manufactura láser en un amplio rango de sectores industriales y en el ámbito educativo.

En primer lugar, se llevó a cabo una exhaustiva revisión de la literatura existente sobre sistemas de manufactura que emplean tecnología láser. Este análisis se centró en aspectos fundamentales como la precisión, la eficiencia operativa, las aplicaciones en diversos sectores industriales y los efectos económicos y educativos de dicha tecnología. Las investigaciones de Wang et al. proporcionaron una sólida base para comprender el estado actual de la manufactura láser [50].

El diseño del estudio se fundamentó en la metodología propuesta por Wang et al. para la investigación en tecnología láser. Su objetivo principal fue recopilar datos relevantes sobre la adopción y el impacto de los sistemas de manufactura láser [51].

La recopilación de datos para el proyecto de titulación se realizó principalmente a través de investigación en línea. Esta fase inicial del proyecto consistió en la búsqueda y análisis de información relevante sobre sistemas de grabado láser y control numérico computarizado (CNC). Se exploraron diversas fuentes en internet, incluyendo artículos técnicos, manuales de usuario, foros especializados y estudios de caso, para obtener una comprensión profunda de las mejores prácticas y las tecnologías disponibles en el mercado [52].

Los resultados obtenidos del análisis de datos fueron interpretados y comunicados a través de informes escritos, presentaciones y publicaciones académicas. Se buscó proporcionar conclusiones sólidas sobre el impacto de los sistemas de manufactura láser en la industria y la educación [53].

En resumen, este enfoque metodológico proporcionó un marco sólido para llevar a cabo una investigación exhaustiva y significativa sobre los sistemas de manufactura láser y su impacto en la industria y la educación [54].

V-B. *Elaboración del prototipo*

Para elaborar el prototipo de soporte para una grabadora láser usando piezas de madera, impresión 3D y un controlador de Arduino, se siguieron una serie de procedimientos.

1. Diseño del Soporte

Planificación: Se definieron las dimensiones y la estructura del soporte para la grabadora láser, asegurando que fuera estable y permitiera el movimiento en las direcciones necesarias (ejes X, Y, Z).

Modelado 3D: Se utilizó el SolidWorks para modelar las piezas que se fabricarían con impresión 3D. Estas incluían soportes, guías y cualquier pieza necesaria para el montaje del Arduino y los motores.

2. Fabricación de las Piezas

Impresión 3D: Se imprimieron las piezas diseñadas utilizando el filamento PETG. Se calibró correctamente la impresora para obtener piezas precisas.

Corte y Ensamble de Madera: Se cortaron las piezas de madera según las dimensiones planificadas. Estas piezas sirvieron como base y estructura del soporte. Se ensamblaron utilizando tornillos, tuercas y arandelas.

3. Montaje del Sistema

Soporte Estructural: Se montaron las piezas de madera para crear la estructura base, asegurando que fuera robusta y nivelada.

Integración de Piezas Impresas: Se ensamblaron las piezas impresas en 3D en la estructura de madera, incluyendo soportes para motores y para rieles de deslizamiento y además del montaje del Arduino.

Montaje del Arduino y Electrónica: Se fijaron el Arduino y cualquier otra electrónica (drivers de motor, fuente de alimentación) al soporte impreso en 3D o directamente a la estructura de madera. Los cables se conectaron de manera ordenada para evitar interferencias mecánicas.

4. Programación y Pruebas

Codificación: Se escribió el código en el IDE de Arduino para controlar los motores de la grabadora láser. El código incluía instrucciones para mover la grabadora en los ejes correspondientes y activar el láser cuando fuera necesario.

Pruebas de Movimiento: Se realizaron pruebas de movimiento para asegurar que los motores respondieran correctamente a las señales del Arduino y que la estructura fuera estable durante la operación.

Ajustes Finos: Se realizaron ajustes necesarios, como calibrar la altura del láser, ajustar la tensión de las correas o modificar el código.

5. Ajuste de potencia del láser

El láser empleado, tanto en el prototipo como en el sistema final, tiene un consumo de 36W. Para el proceso de grabado en madera, fue necesario ajustar su potencia al 15% de su capacidad, equivalente a 5.4W, potencia suficiente para realizar el grabado láser de manera efectiva en el material seleccionado.

6. Montaje Final y Documentación

Montaje de la Grabadora Láser: Se fijó la grabadora láser al soporte, asegurando que estuviera bien alineada y que tuviera libertad de movimiento.

Documentación: Se documentó el proceso de construcción, incluyendo fotos del ensamblaje, esquemas del circuito y el código utilizado. Esto facilitó futuras mejoras o replicaciones del proyecto.



Figura 23. Montaje del prototipo. Fuente: Autores



Figura 24. Estructura. Fuente: Autores

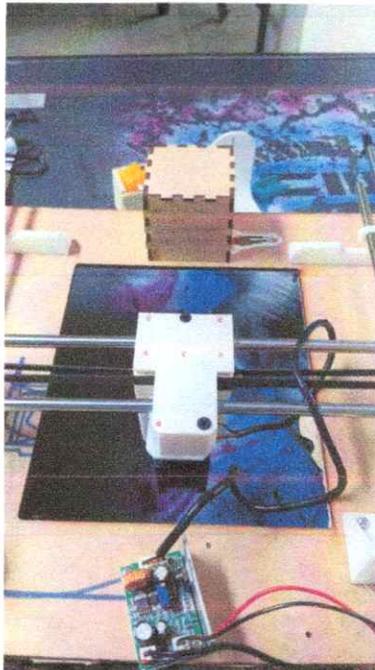


Figura 25. Montaje del sujetador del láser. Fuente: Autores

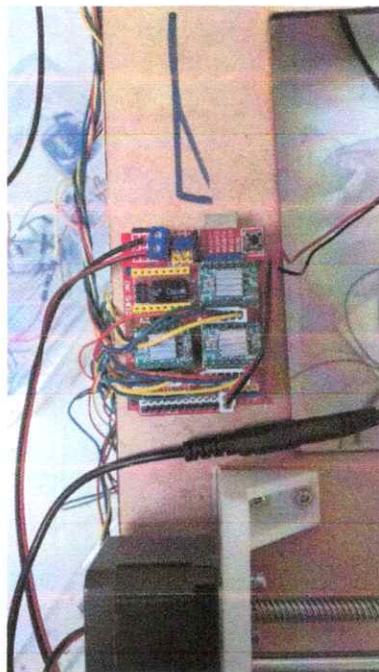


Figura 26. Sistema electrónico del prototipo. Fuente: Autores



Figura 27. Estructura. Fuente: Autores



Figura 28. Prueba de grabado del prototipo. Fuente: Autores

V-C. *Uso de software GRBL Láser*

GRBL es un firmware para controlar máquinas CNC, como grabadoras láser, que se ejecuta en una placa Arduino UNO. El software GRBL Laser es una interfaz gráfica que permite cargar imágenes, generar el código G automáticamente, y controlar el grabado láser de manera eficiente y visual [55].

Los pasos para su uso son los siguientes:

1. Instalación y Configuración de GRBL en Arduino UNO Instalar Arduino IDE:

Descarga e instala el Arduino IDE desde el sitio oficial. Conecta la tarjeta Arduino UNO a tu computadora mediante un cable USB.

2. Cargar GRBL en Arduino UNO:

Descarga el firmware GRBL desde su repositorio oficial en GitHub. Abre el archivo grblUpload.ino en el Arduino IDE. Selecciona la tarjeta Arduino UNO y el puerto COM correspondiente en el menú Herramientas. Carga el firmware GRBL en la tarjeta Arduino haciendo clic en el botón de Subir.



```
sketch_aug18a Arduino 1.8.19
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
sketch_aug18a $
#include <config.h>
#include <coolant_control.h>
#include <cpu_map.h>
#include <defaults.h>
#include <eeprom.h>
#include <gcode.h>
#include <grbl.h>
#include <jog.h>
#include <limits.h>
#include <motion_control.h>
#include <nuts_bolts.h>
#include <planner.h>
#include <print.h>
#include <probe.h>
#include <protocol.h>
#include <report.h>
#include <serial.h>
#include <settings.h>
#include <spindle_control.h>
#include <stepper.h>
#include <system.h>

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {
```

Figura 29. Carga de GRBL Láser en Arduino IDE. Fuente: Autores

Configuración Inicial: Abre el monitor serie en el Arduino IDE y establece la velocidad de comunicación a 115200 baudios. Para verificar que GRBL esté funcionando, escribe \$\$ en el monitor serie para ver la configuración de los parámetros del firmware. Aquí podrás ajustar los parámetros según tus necesidades, como la velocidad de los motores y los límites de la máquina.

3. Configuración del Software GRBL Laser

Instalación del Software GRBL Laser: Descarga e instala el software GRBL Laser desde la página oficial o desde una fuente confiable. Abre el programa y configura el puerto de comunicación (puerto COM) que corresponde a la conexión de la tarjeta Arduino UNO.

Configuración de Parámetros: En el software GRBL Laser, ajusta los parámetros básicos como la potencia del láser, la velocidad de movimiento, y el tamaño del área de trabajo. Estos parámetros se configuran en la interfaz principal del programa. Es crucial ajustar la potencia del láser según el material que se va a grabar, para evitar quemaduras excesivas o un grabado débil.

4. Carga de Imágenes y Generación de Código G

Importación de la Imagen: En el software GRBL Laser, puedes cargar directamente una imagen en formato PNG, JPEG, BMP, entre otros. La imagen se mostrará en la interfaz gráfica del programa, donde podrás ajustar su tamaño, posición, y orientación en el área de trabajo.

Generación Automática del Código G: Una vez cargada la imagen, el software GRBL Laser permite generar automáticamente el código G necesario para controlar el grabado láser. Ajusta los parámetros de grabado, como la resolución y la densidad de la trama, antes de generar el código G. El software también ofrece una vista previa del recorrido que seguirá el láser durante el grabado.

5. Ejecución y Monitoreo del Grabado

Posicionar el Láser: Utiliza las opciones de movimiento manual en GRBL Laser para posicionar el láser en el punto de inicio deseado en tu material de trabajo. Asegúrate de que el láser esté enfocado correctamente para obtener un grabado preciso.

Iniciar el Grabado: Haz clic en el botón de inicio para comenzar el grabado. El software mostrará el avance del grabado en tiempo real, permitiéndote monitorear el proceso. El progreso del grabado se refleja en la interfaz, mostrando el área ya grabada y la que aún falta por cubrir.

6. Finalización y Ajustes Posteriores

Detener el Grabado: Si necesitas detener el grabado en cualquier momento, puedes pausar o detener el trabajo desde el software GRBL Laser. Una vez finalizado el grabado, apaga el láser para evitar daños al material o al equipo.

Ajustes Adicionales: Si el grabado no ha resultado como esperabas, puedes ajustar los parámetros de velocidad, potencia del láser, o el enfoque, y repetir el proceso. Experimenta con diferentes materiales y configuraciones para optimizar el rendimiento de la grabadora láser.

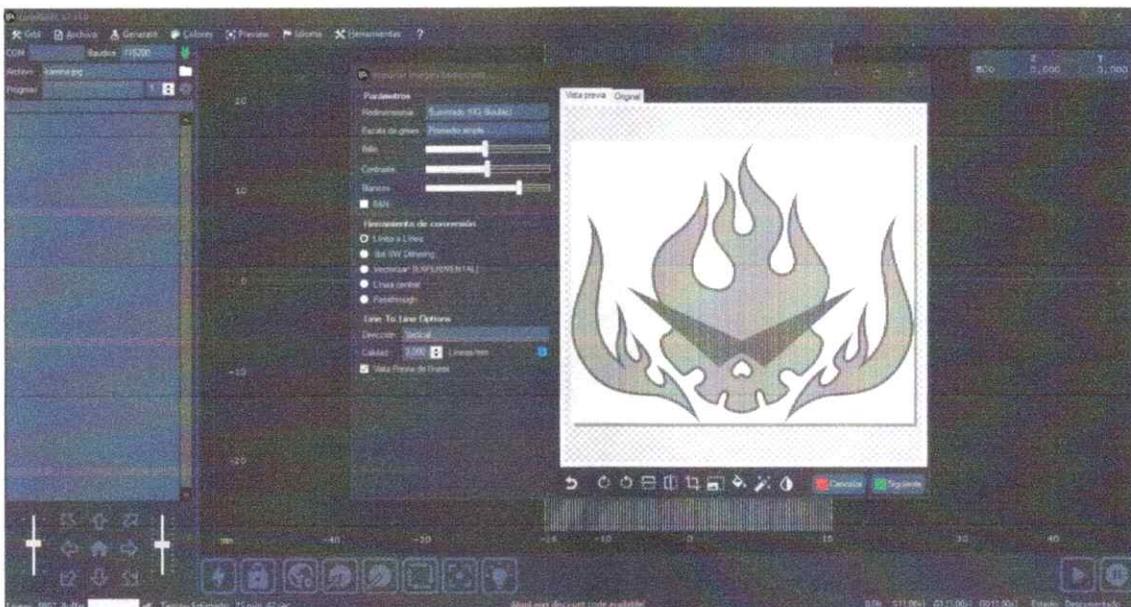


Figura 30. Interfaz de GRBL Láser. Fuente: Autores

V-D. Pruebas en software HERCULES para comprensión de sistemas de comunicación serial

El uso del software Hercules en la comunicación serial del código G se realizó con el propósito de establecer una interfaz confiable y sencilla para enviar comandos desde una computadora hacia un dispositivo controlado por Arduino. Hercules, conocido por su capacidad de manejar comunicaciones seriales, ofreció las herramientas necesarias para observar, enviar, y depurar datos en tiempo real [56].

Los códigos de configuración de Hercules se enviaron al Arduino Uno a través de sus puertos RX y TX utilizando un convertidor/adaptador USB a serial. Este adaptador convierte las señales seriales del Arduino en datos que pueden ser transmitidos a través del puerto USB del ordenador. El adaptador se conecta al puerto USB del ordenador y a los pines RX y TX del Arduino Uno, estableciendo una comunicación entre el software Hercules en el ordenador y el Arduino Uno. El Arduino Uno recibe estos códigos a través de la interfaz serial, interpretando los datos para ajustar su comportamiento según las instrucciones recibidas.

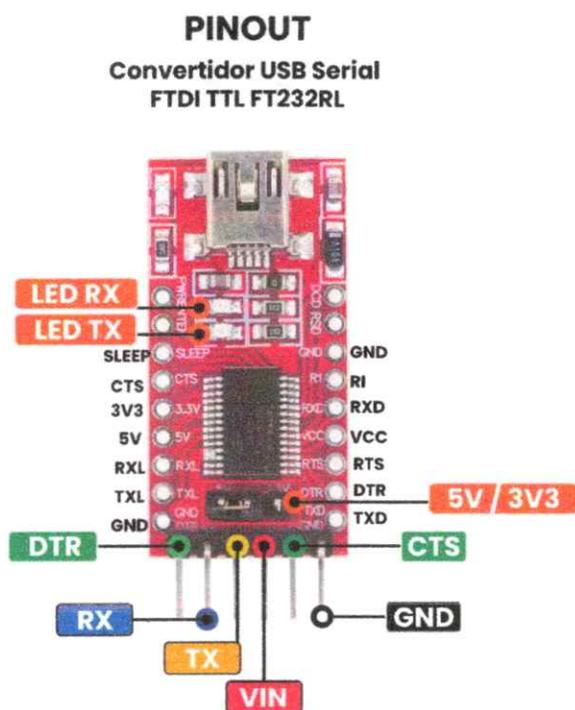


Figura 31. Adaptador USB a serial. Fuente: Autores

1. Configuración Inicial

Selección del Puerto COM: En primer lugar, se seleccionó el puerto COM correspondiente al Arduino conectado a la computadora. Hercules permitió identificar y seleccionar fácilmente el puerto correcto entre los disponibles.

Configuración de Parámetros Seriales: Se configuraron los parámetros de la comunicación, incluyendo la velocidad de transmisión (baud rate) a 115200 baudios, el número de bits de datos, la paridad, y los bits de parada, asegurando que fueran compatibles con las configuraciones del Arduino.

2. Envío de Comandos de Código G

Transmisión Manual: Hercules ofreció la opción de enviar manualmente comandos del código G desde la computadora al Arduino. Se introdujeron comandos simples como "G01 X10 Y10", y se observaron las respuestas en tiempo real, lo que facilitó la verificación del correcto funcionamiento de la máquina.

Monitorización en Tiempo Real: La ventana de monitorización de Hercules permitió observar las respuestas enviadas por el Arduino. Esto fue crucial para confirmar que los comandos se habían recibido y ejecutado correctamente, así como para detectar posibles errores o malentendidos en la comunicación.

3. Depuración y Diagnóstico

Visualización de Respuestas: El software mostró claramente las respuestas del Arduino, lo que ayudó a identificar problemas de comunicación, como la pérdida de comandos o respuestas inesperadas. Esto permitió ajustar la configuración o el código del Arduino según fuera necesario.

Historial de Comandos: Hercules almacenó un historial de los comandos enviados y las respuestas recibidas, lo que facilitó la revisión y análisis de la comunicación, especialmente durante las etapas de prueba y ajuste del sistema.

4. Automatización y Scripts

Uso de Macros: Hercules ofreció la posibilidad de crear y utilizar macros para enviar conjuntos de comandos del código G de manera automatizada. Esto simplificó la ejecución de secuencias repetitivas y permitió realizar pruebas más eficientes.

El software Hercules se mostró como una herramienta poderosa y versátil para gestionar la comunicación serial en proyectos que involucran el envío de código G a un Arduino. Su facilidad de uso y sus funciones de monitorización y depuración lo convirtieron en una opción ideal para asegurar la transmisión precisa y efectiva de comandos en tiempo real.

Cabe recalcar que la información fue enviada a la tarjeta Arduino UNO mediante sus pines de comunicación RX Y TX, D0 y D1 respectivamente.

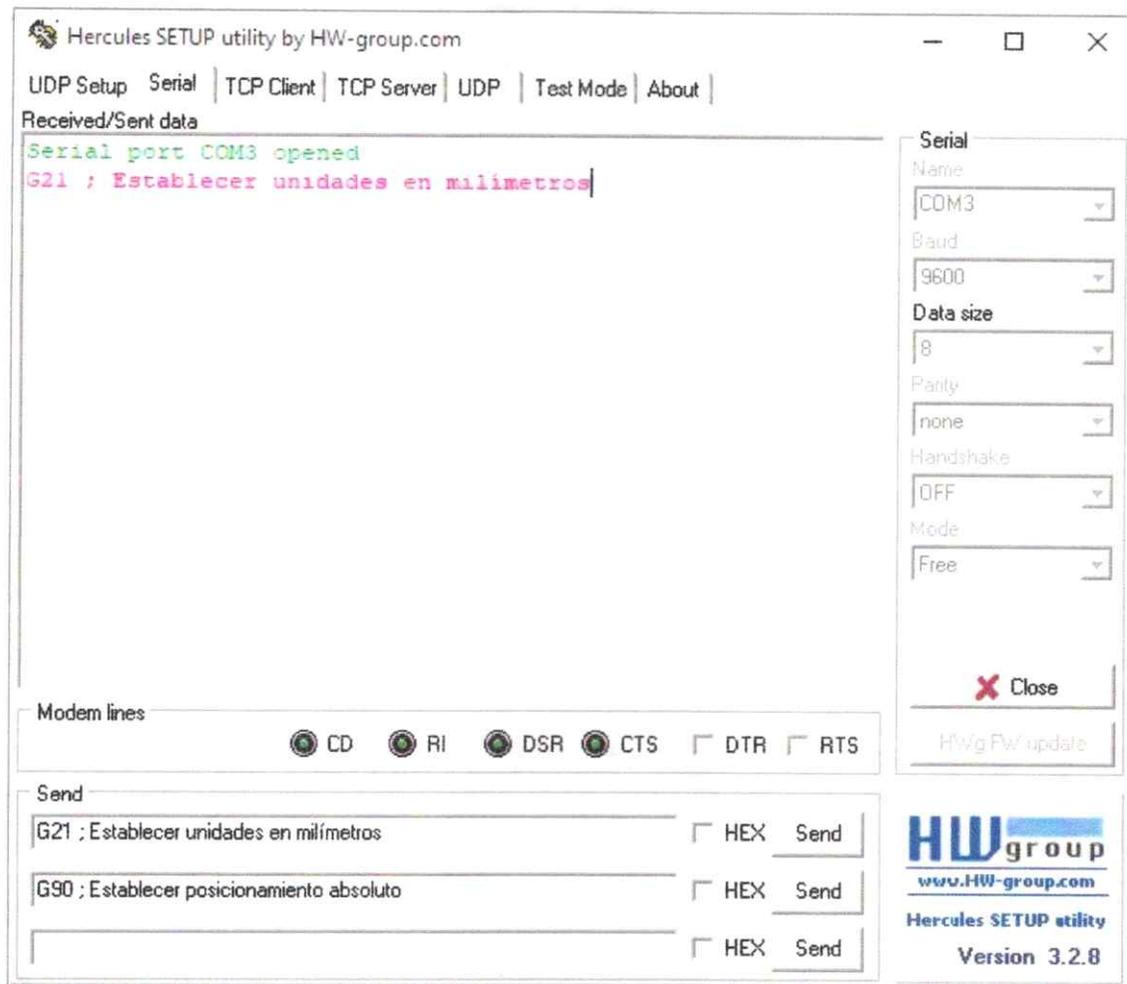


Figura 32. Interfaz de software Hercules. Fuente: Autores

V-E. Establecimiento del Sistema de Comunicación Serial Maestro/ Esclavo entre Arduinos para la Modificación del Sistema de Grabado Láser

El sistema maestro-esclavo es un modelo de control en el cual un dispositivo o componente, conocido como el "maestro", gestiona y coordina la actividad de uno o más dispositivos subordinados, llamados "esclavos". En este modelo, el maestro toma la iniciativa al enviar comandos o solicitudes, mientras que los esclavos responden a estas instrucciones sin iniciar acciones por sí mismos. Este enfoque permite una gestión centralizada y eficiente de las tareas, ya que el maestro controla el flujo de información y asegura que los esclavos actúen en sincronía según las órdenes recibidas. Es comúnmente utilizado en sistemas de comunicación y control donde se requiere una jerarquía clara y una coordinación precisa entre múltiples componentes. [57].

El sistema establecido entre los dos Arduinos funciona bajo un modelo maestro-esclavo, donde el Arduino Nano actúa como el maestro y el Arduino Uno como el esclavo en el contexto de la comunicación serial. En esta configuración, el Arduino Nano es responsable de leer el código G desde una tarjeta micro SD y enviarlo al Arduino Uno. El Arduino Uno, a su vez, recibe estos datos y controla el sistema de grabado láser a través de una CNC Shield. El modelo maestro-esclavo se utiliza aquí para dividir las responsabilidades: el maestro (Arduino Nano) gestiona la lectura y transmisión de datos, mientras que el esclavo (Arduino Uno) ejecuta las acciones basadas en esos datos. Este enfoque modular asegura una separación clara de funciones, facilitando la gestión y optimización del sistema.

Justificación para Usar Comunicación Serial

Separación de Tareas: La decisión de utilizar dos Arduinos responde a la necesidad de separar las tareas de lectura del código G y el control del sistema de grabado láser. El Arduino Nano se encarga de leer el código G desde la tarjeta micro SD y enviarlo al Arduino Uno, que controla directamente el sistema de grabado láser mediante la CNC Shield. Esta separación permite una gestión más eficiente de las tareas y un código más modular.

Recursos Limitados: Utilizar un solo Arduino para manejar tanto la lectura del código G como el control de la CNC Shield puede resultar en una sobrecarga de recursos, especialmente dado que el procesamiento de código G y el control de motores pueden requerir tiempo de procesamiento significativo. Separar estas responsabilidades entre dos Arduinos ayuda a distribuir la carga de trabajo y mejora la estabilidad del sistema.

Implementación del Sistema de Comunicación Serial Configuración del Arduino Nano:

Lectura del Código G: El Arduino Nano está equipado con un lector de tarjeta micro SD y un programa para leer archivos G-code almacenados en la tarjeta. **Envío de Datos:** Una vez que el Arduino Nano lee el código G, lo envía al Arduino Uno a través de la comunicación serial utilizando los pines RX (recepción) y TX (transmisión). **Configuración del Arduino Uno:**

Recepción de Datos: El Arduino Uno recibe el código G enviado por el Arduino Nano a través de los pines RX y TX. **Control del Sistema de Grabado Láser:** El Arduino Uno está conectado a una CNC Shield, que a su vez controla los motores de la grabadora láser y el láser en sí. El código G recibido se interpreta para mover los motores y ajustar el láser de acuerdo con las instrucciones del archivo. **Comunicación Serial:**

Configuración de Baud Rate: Ambos Arduinos deben estar configurados para comunicarse a la misma velocidad de baudios para asegurar una transferencia de datos precisa. **Protocolos de Comunicación:** Se implementa un protocolo de comunicación simple para asegurarse de que el Arduino Uno pueda interpretar correctamente los comandos del código G enviados por el Arduino Nano. **Ventajas de la Solución Modularidad:** Permite una fácil actualización y mantenimiento del sistema, ya que las funciones están divididas entre dos unidades independientes. **Eficiencia:** Reduce la carga de procesamiento en cada Arduino, mejorando la respuesta y el rendimiento general del sistema. **Flexibilidad:** Facilita la integración de futuras mejoras y modificaciones, ya que cada Arduino puede ser ajustado o reemplazado independientemente.



Figura 33. Puertos de comunicación serial en Arduino NANO. Fuente: Autores



Figura 34. Puertos de comunicacion serial en Arduino UNO. Fuente: Autores

V-F. Obtención del código G

1. Generacion del Código G

Utilizando el software GRBL Laser, generaremos el código G necesario para nuestro proyecto a partir de una imagen seleccionada. El proceso comienza con la selección de la imagen adecuada, tras lo cual seguiremos los pasos necesarios para su correcta lectura en el programa. Es importante asegurarse de que todos los parámetros estén ajustados correctamente para obtener un resultado preciso. Una vez que hemos completado la configuración y la imagen ha sido procesada, guardaremos el proyecto en el formato adecuado. El archivo generado se guardará con una extensión .txt, que contiene el código G listo para ser utilizado. Luego, procederemos a guardar este archivo en una una unidad adaptadora de tarjetas micro sd.

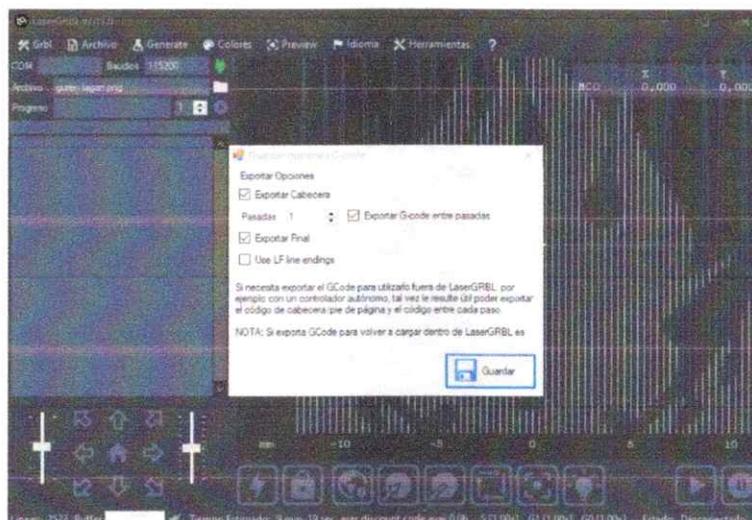
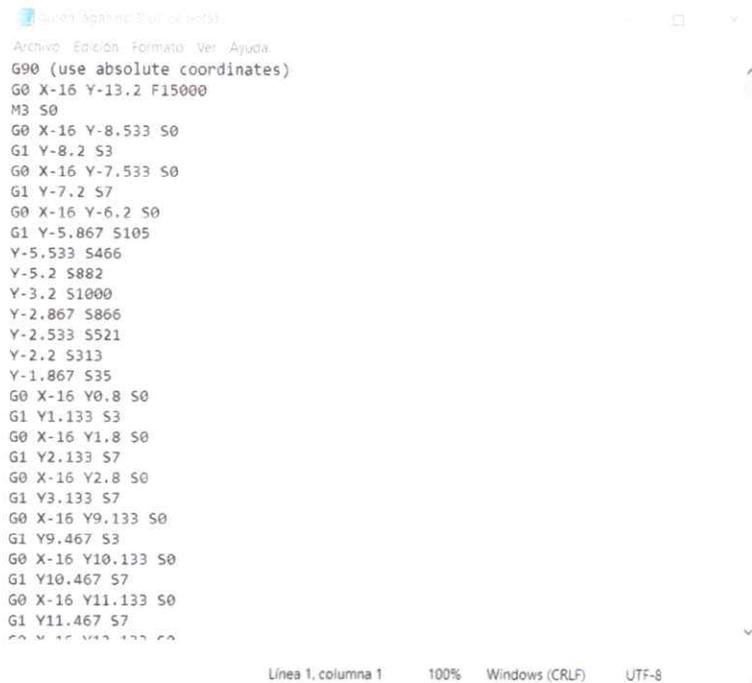


Figura 35. Proceso de guardado de programa y código G. Fuente: Autores



```
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
G90 (use absolute coordinates)
G0 X-16 Y-13.2 F15000
M3 S0
G0 X-16 Y-8.533 S0
G1 Y-8.2 S3
G0 X-16 Y-7.533 S0
G1 Y-7.2 S7
G0 X-16 Y-6.2 S0
G1 Y-5.867 S105
Y-5.533 S466
Y-5.2 S882
Y-3.2 S1000
Y-2.867 S866
Y-2.533 S521
Y-2.2 S313
Y-1.867 S35
G0 X-16 Y0.8 S0
G1 Y1.133 S3
G0 X-16 Y1.8 S0
G1 Y2.133 S7
G0 X-16 Y2.8 S0
G1 Y3.133 S7
G0 X-16 Y9.133 S0
G1 Y9.467 S3
G0 X-16 Y10.133 S0
G1 Y10.467 S7
G0 X-16 Y11.133 S0
G1 Y11.467 S7
G0 X-16 Y12.133 S0
G1 Y12.467 S7

Línea 1, columna 1 100% Windows (CRLF) UTF-8
```

Figura 36. Visualización de código G. Fuente: Autores

V-G. *Conexión y sistema electrónico*

Para la conexión del sistema electrónico, se implementó el siguiente proceso:

1. Lectura del Código G

Arduino Nano y Micro SD: Se utilizó un Arduino Nano conectado a un adaptador de tarjeta micro SD. El código G, previamente almacenado en la tarjeta micro SD, fue leído por el Arduino Nano. La lectura se activó mediante un botón que inició la secuencia de lectura y transmisión.

2. Comunicación Serial entre Arduino Nano y Arduino Uno

Pines RX y TX: Una vez que el Arduino Nano leyó los datos del código G, los transmitió a un Arduino Uno a través de los pines RX (recepción) y TX (transmisión). Esta comunicación serial permitió enviar los comandos del código G de manera eficiente y precisa.

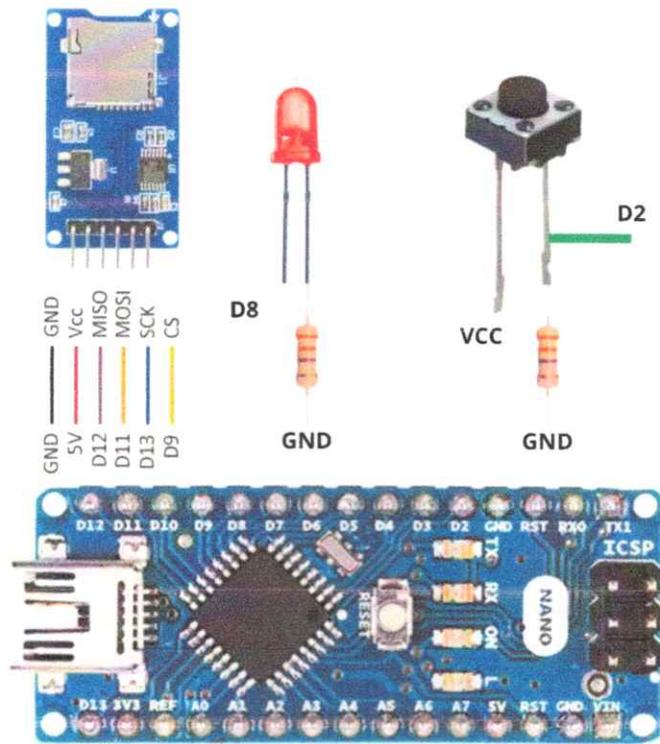


Figura 37. Esquema electrónico Arduino Nano. Fuente: Autores

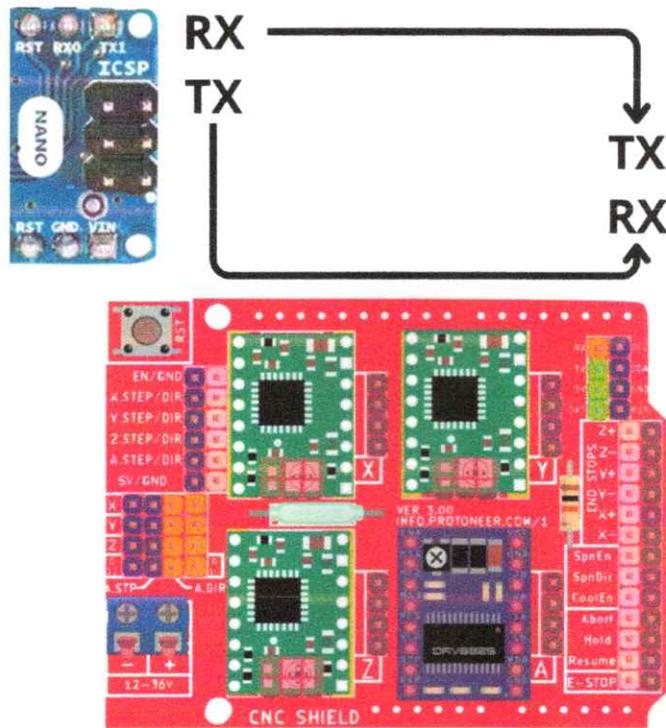


Figura 38. Comunicación serial Arduino Nano / UNO. Fuente: Autores

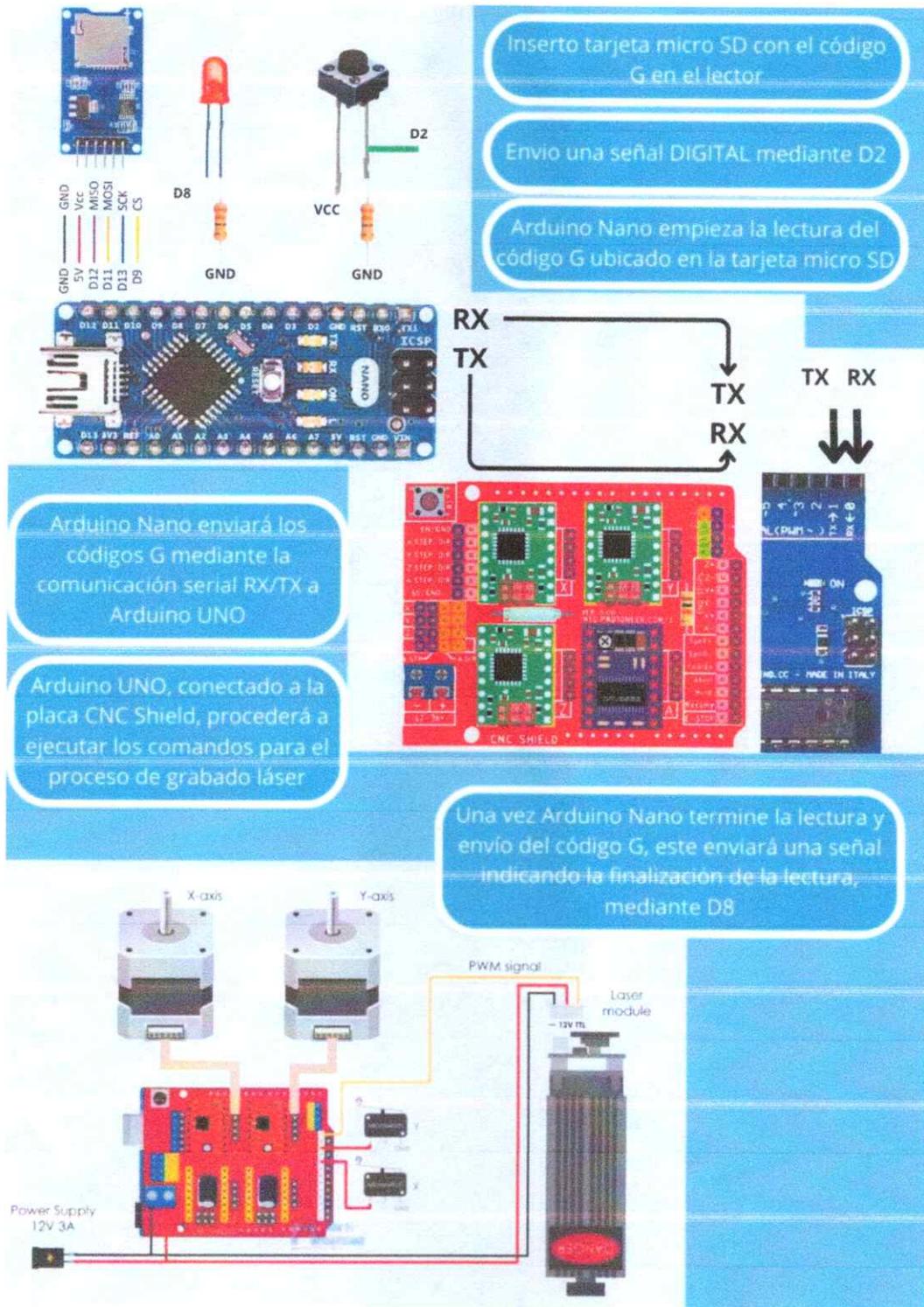


Figura 39. Explicación del funcionamiento del sistema CNC aplicado. Fuente: Autores

3. Control de la Máquina CNC

Arduino Uno y CNC Shield: El Arduino Uno recibió los comandos a través de los pines RX y TX. Este Arduino estaba conectado a una CNC Shield, que facilitaba la conexión de los drivers A4988 y los motores paso a paso.

Accionamiento de los Motores: Los comandos recibidos fueron procesados por el Arduino Uno y transmitidos a los drivers A4988, los cuales accionaron los motores paso a paso según las instrucciones del código G, moviendo la máquina CNC en los ejes correspondientes.

4. Finalización y Señal de Salida

Indicación LED: Una vez que el Arduino Nano terminó de leer y enviar todos los comandos del código G, envió una señal de salida para activar un foco LED. Esta señal indicó que el proceso había concluido exitosamente, proporcionando una referencia visual del estado del sistema.

Este diseño permitió una integración eficiente entre la lectura del código G y el control de los motores de la máquina CNC, utilizando una comunicación serial entre dos microcontroladores y proporcionando una señal visual al finalizar la operación.

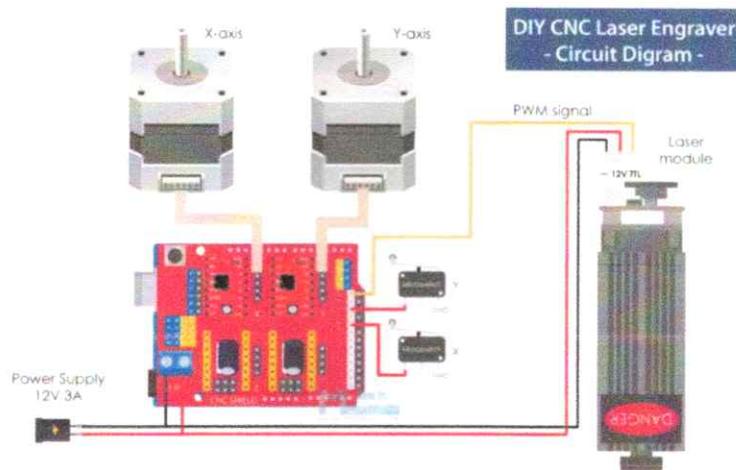


Figura 40. Esquema electrónico Arduino UNO y CNC shield junto con componentes de control [58]

V-H. Diseño de la estructura modular del láser

El diseño de la estructura modular del láser no solo se centró en la robustez y funcionalidad, sino también en la adaptabilidad y estética, elementos clave para garantizar que el sistema no solo cumpliera con sus objetivos técnicos, sino que también pudiera integrarse fácilmente en diferentes entornos de trabajo.

1. Diseño de la Estructura Modular

Estética y Ergonomía: Se prestó especial atención a la estética del diseño, asegurando que la estructura fuera visualmente atractiva y funcional. Los perfiles de aluminio, con sus líneas limpias y modernas, contribuyeron a un aspecto profesional del equipo. Además, se consideró la ergonomía en la disposición de los componentes, facilitando el acceso a las partes críticas del sistema, como el cabezal láser y los controles de ajuste.

Personalización y Expansión: La modularidad del diseño permitió que la estructura pudiera ser personalizada o expandida en función de las necesidades específicas de diferentes aplicaciones. Esto incluyó la posibilidad de agregar módulos adicionales, como sistemas de refrigeración, mesas de trabajo ajustables, o incluso sistemas de extracción de humos, sin necesidad de rediseñar la estructura principal.

2. Aplicación de la Estructura

Integración en Entornos de Trabajo: La estructura fue diseñada para integrarse fácilmente en diversos entornos de trabajo, desde pequeños talleres hasta instalaciones industriales más grandes. Su modularidad y ligereza permitieron que pudiera ser trasladada o reconfigurada según las necesidades del espacio disponible.

Versatilidad en Aplicaciones: El sistema fue diseñado para soportar una amplia gama de aplicaciones de grabado y corte, desde trabajos en materiales ligeros como madera y acrílico, hasta aplicaciones más exigentes en metales delgados. La combinación de la polea en el eje Y y el tornillo sin fin en el eje X aseguró que la máquina pudiera manejar tanto tareas que requerían rapidez como aquellas que necesitaban alta precisión y control.

Facilidad de Mantenimiento: Gracias a su diseño modular, la estructura permitió un mantenimiento sencillo. Los componentes como las correas, poleas, y el tornillo sin fin eran accesibles y podían ser reemplazados o ajustados con facilidad, lo que minimizó el tiempo de inactividad y mejoró la eficiencia operativa.

En resumen, el diseño de la estructura modular del láser, utilizando perfiles de aluminio y un sistema de transmisión específico, resultó en una solución altamente adaptable y eficiente, capaz de cumplir con las exigencias técnicas y estéticas en una amplia variedad de aplicaciones industriales y de manufactura. La estructura no solo ofreció un rendimiento fiable, sino que también permitió la flexibilidad necesaria para adaptarse a futuras innovaciones o cambios en las necesidades del usuario.

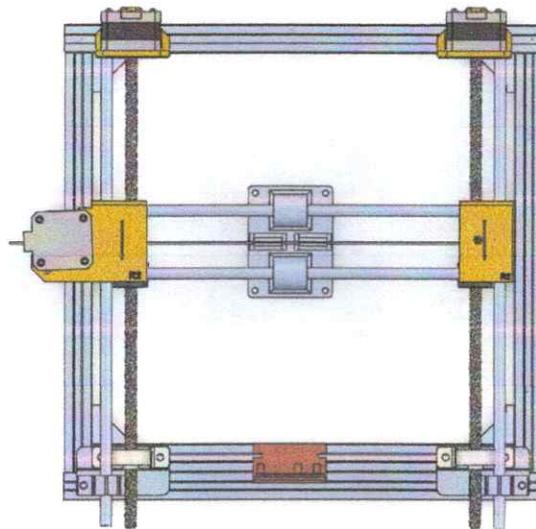


Figura 41. Vista superior del ensamblaje principal. Fuente: Autores

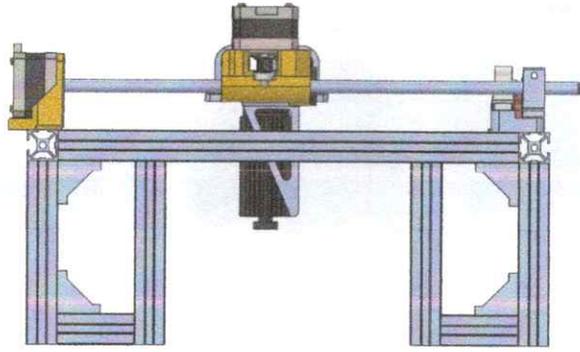


Figura 42. Vista lateral del ensamblaje principal. Fuente: Autores

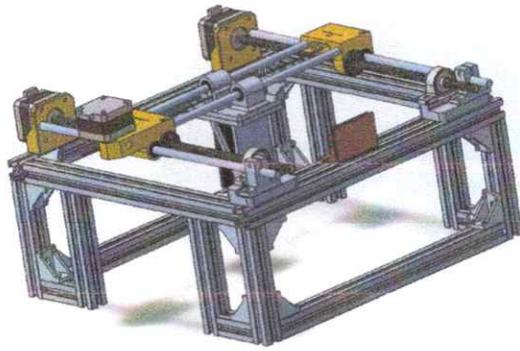


Figura 43. Vista isométrica del ensamblaje principal. Fuente: Autores

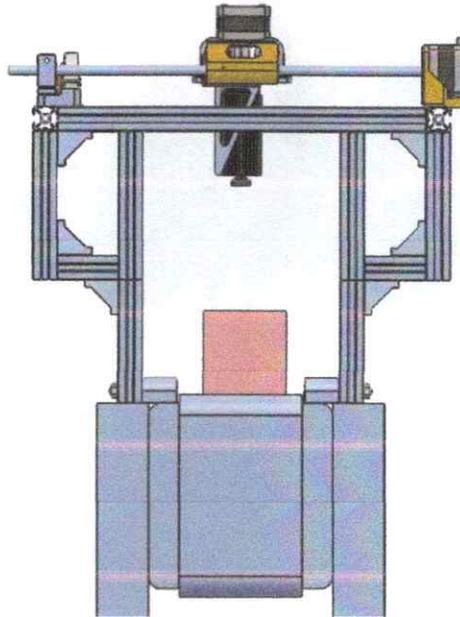


Figura 44. Vista frontal del soporte en la banda transportadora. Fuente: Autores

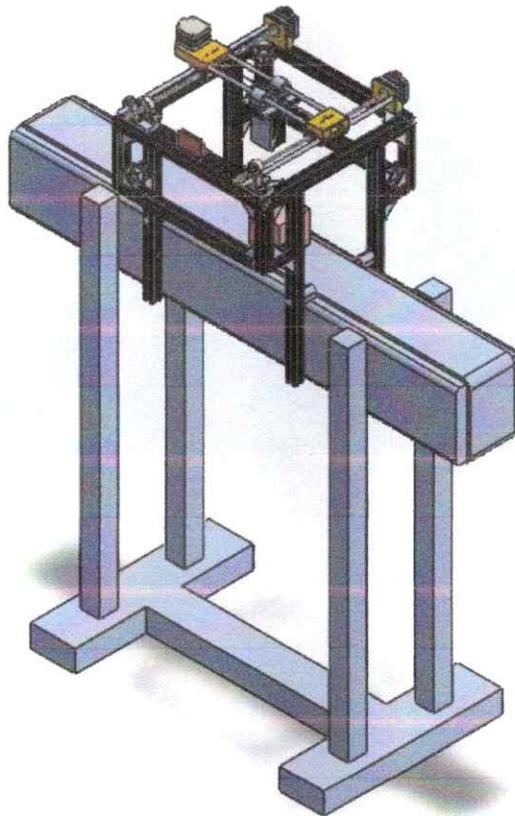


Figura 45. Vista isométrica del soporte en la banda transportadora. Fuente: Autores

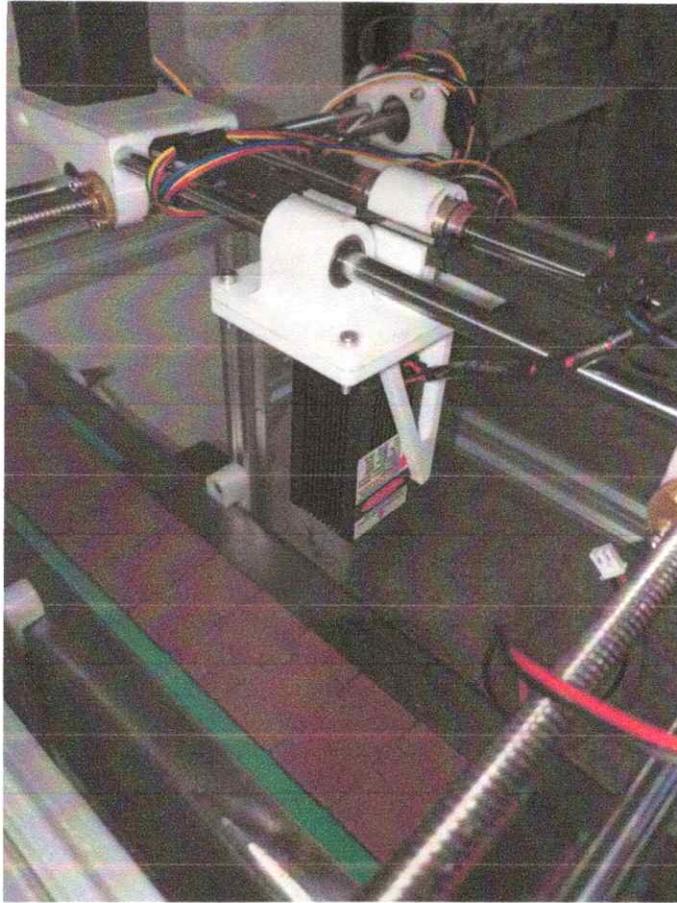


Figura 46. Piezas utilizadas para sujetar el láser. Fuente: Autores

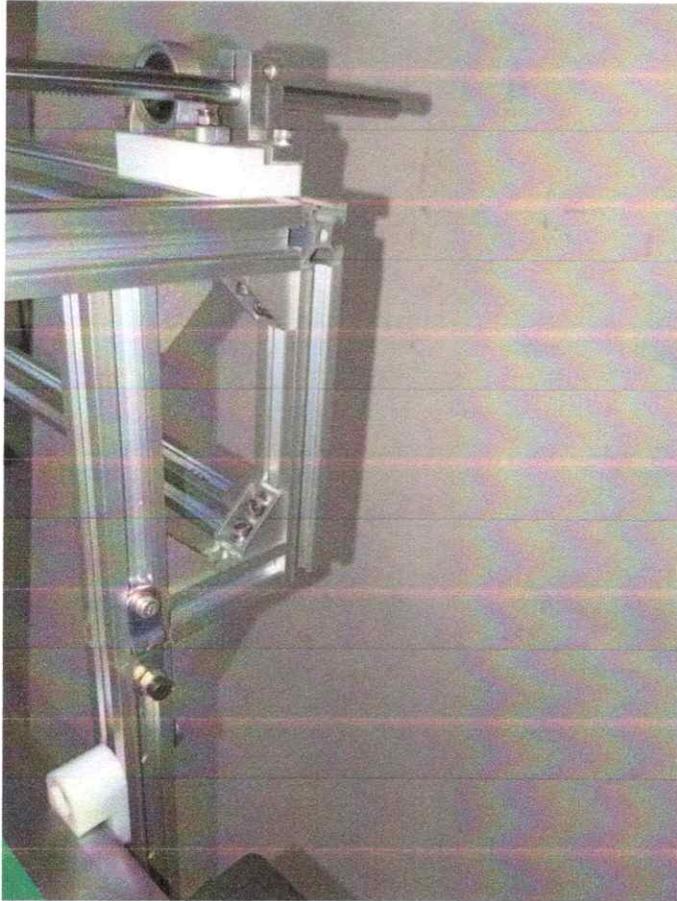


Figura 47. Soportes de esquina y soportes planos utilizados para unir la estructura. Fuente: Autores

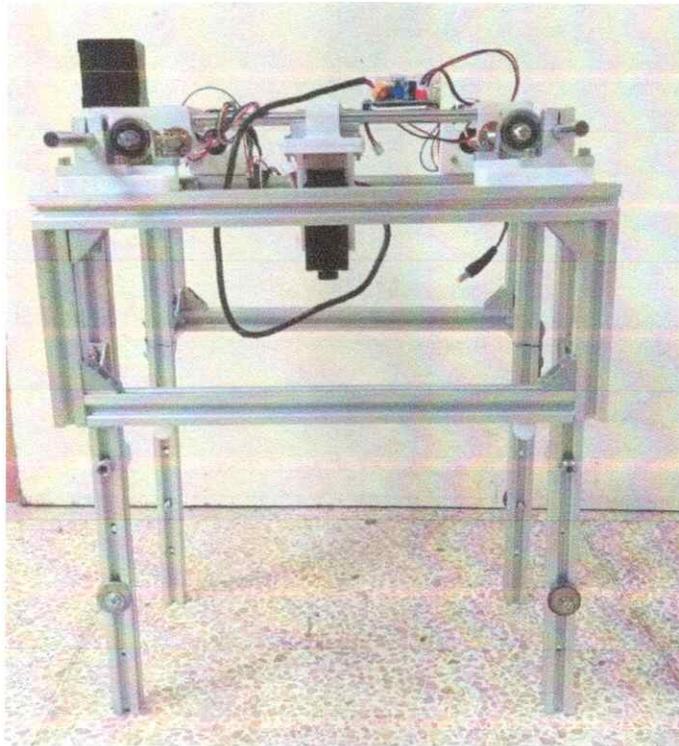


Figura 48. Vista lateral de la estructura. Fuente: Autores

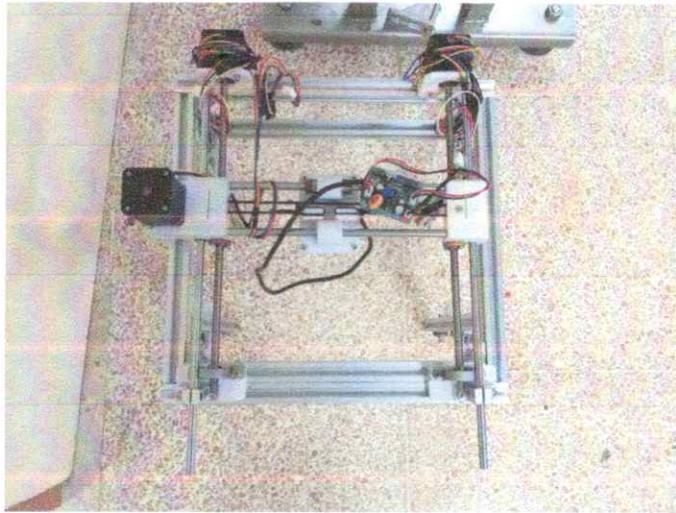


Figura 49. Vista superior de la estructura. Fuente: Autores

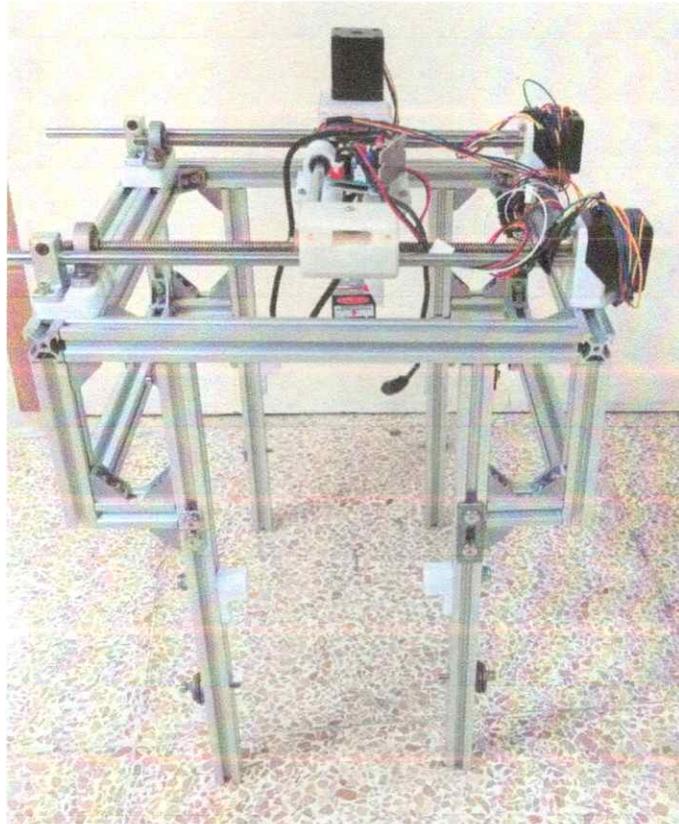


Figura 50. Vista isométrica de la estructura. Fuente: Autores

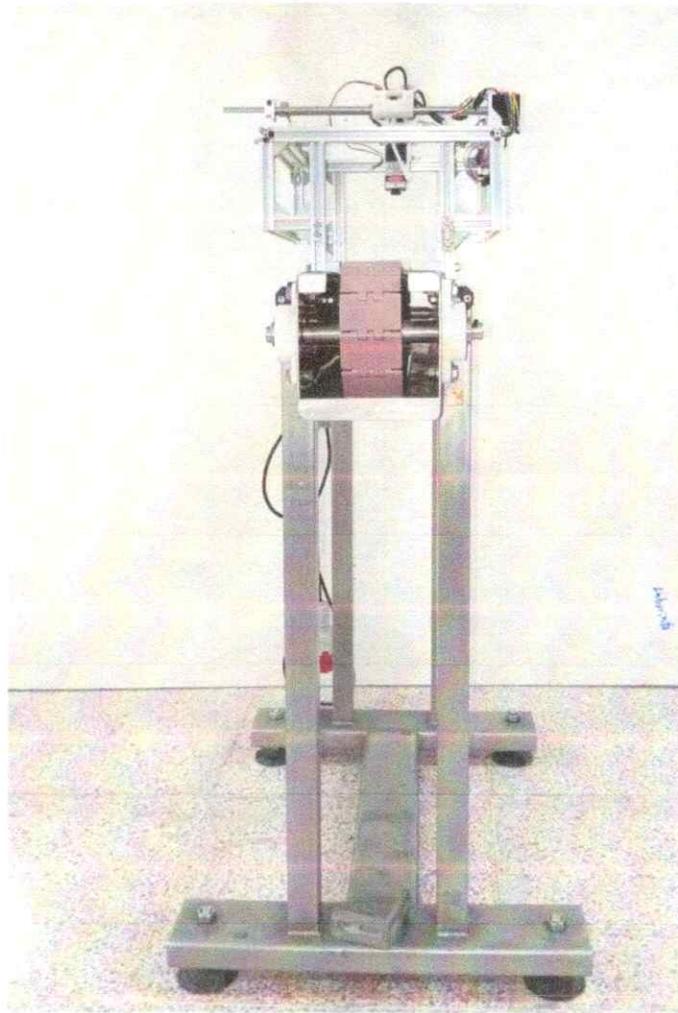


Figura 51. Vista frontal del sistema mecánico. Fuente: Autores

V-I. *Análisis estático de los soportes*

Realizar un análisis estático de una estructura es crucial para garantizar su seguridad y funcionalidad, ya que permite identificar y corregir fallas potenciales antes de la construcción. Este análisis asegura que la estructura pueda soportar las cargas previstas, cumpla con las normativas de construcción y optimice el uso de materiales, previniendo deformaciones excesivas y problemas operativos. Al proporcionar una comprensión detallada del comportamiento estructural bajo diferentes condiciones de carga, el análisis estático contribuye a un diseño más seguro y eficiente [59].

Para llevar a cabo el análisis estático de la pieza denominada "Tope", que es responsable de soportar la totalidad del peso de la estructura o bastidor de la grabadora láser, se siguieron los siguientes pasos en SolidWorks:

1. Preparación del Modelo 3D: Se inició importando y verificando el modelo 3D de la pieza "Tope" en SolidWorks, asegurando que todas las dimensiones y detalles del diseño estuvieran correctamente representados.

2. Asignación del Material: Se seleccionó el material correspondiente para la pieza "Tope", basándose en las especificaciones del proyecto. Esta selección es crucial ya que el material define las propiedades mecánicas, como la resistencia, el módulo de elasticidad y la densidad, que influirán directamente en los resultados del análisis.

3. Definición de Condiciones de Contorno: Se aplicaron las condiciones de contorno que simulan cómo la pieza está fijada o apoyada en la estructura. Esto incluyó la fijación de las superficies de contacto donde el "Tope" se une al bastidor, restringiendo el movimiento en esas áreas para reflejar el montaje real.

4. Aplicación de Cargas: A continuación, se aplicó la carga correspondiente al peso total de la estructura de la grabadora láser sobre la pieza "Tope". Esta carga se distribuyó uniformemente en las áreas donde se espera que la pieza soporte el peso, simulando la presión que ejercería la estructura en condiciones de operación normales.

5. Generación de la Malla: Se procedió a generar una malla fina y detallada en la pieza "Tope" para asegurar la precisión del análisis. La malla divide la pieza en elementos más pequeños, permitiendo que el software calcule cómo las fuerzas aplicadas afectan cada parte de la pieza.

6. Ejecución del Análisis Estático: Con la malla generada, se ejecutó el análisis estático, donde SolidWorks calculó las tensiones (Von Mises), desplazamientos y deformaciones unitarias en la pieza bajo las cargas aplicadas.

7. Revisión y Interpretación de Resultados: Una vez completado el análisis, se examinaron los resultados:

Tensiones Von Mises: Se identificaron las áreas de mayor esfuerzo para verificar si las tensiones están dentro de los límites permisibles del material.

Desplazamientos: Se revisaron los desplazamientos para asegurarse de que la pieza no sufriera deflexiones excesivas que pudieran comprometer la integridad de la estructura.

Deformaciones Unitarias: Se analizaron las deformaciones unitarias para garantizar que la pieza no se deforme de manera que afecte su función de soporte.

8. Validación del Diseño: Finalmente, los resultados del análisis fueron utilizados para validar el diseño del "Tope". Se verificó que la pieza puede soportar las cargas previstas sin riesgo de fallo o deformación excesiva, confirmando que el diseño es adecuado para su función en la estructura de la grabadora láser.

Este proceso detallado aseguró que la pieza "Tope", es capaz de cumplir con los requisitos estructurales, garantizando la estabilidad y seguridad de la grabadora láser en su conjunto [60].



Figura 52. Soportes utilizados para sujeción del bastidor y la banda, "Tope". Fuente: Autores



Peso de la caja eléctrica

Medidas de peso en
gramos

Peso de la estructura

Figura 53. Peso de la estructura y de la caja eléctrica. Fuente: Autores

El peso de la caja eléctrica es de 1940 gramos, mientras que el de la estructura es de 5035 gramos. Al sumar ambos pesos, se obtiene un total combinado de 6975 gramos, o 6.975 kilogramos. Para convertir esta masa a newtons, se utiliza la fórmula del peso en un campo gravitacional, que es:

$$\text{Peso (N)} = \text{Masa (kg)} \times \text{Gravedad (m/s}^2\text{)}$$

Considerando una aceleración debida a la gravedad de aproximadamente $9,81 \text{ m/s}^2$, el peso total en newtons se calcula como sigue:

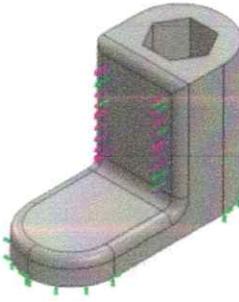
$$\text{Peso (N)} = 6,975 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 68,42 \text{ N}$$

Por lo tanto, el peso combinado de la caja eléctrica y la estructura es de 68.42 newtons. Para fines de simplificación, realizaremos el análisis estático utilizando un valor aproximado de 70 newtons.

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2020	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.33	N/D
Módulo cortante	318.9	N/mm ²
Densidad de masa	2171.85	kg/m ³
Límite de tracción	50	N/mm ²
Límite de compresión		N/mm ²
Límite elástico	68.94	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica	6.8e-05	/K
Conductividad térmica	0.2	W/(m·K)
Calor específico	1350	J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

Figura 54. Propiedades del material utilizado para elaborar la piezas impresas en 3D (PETG) [60]

Información de modelo



Nombre del modelo: Tope2
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
 Redondeo3	Sólido	Masa: 0,0223878 kg Volumen: 1,03082e-05 m ³ Densidad: 2.171,85 kg/m ³ Peso: 0,219401 N	C:\Users\User\Desktop\en samble 260724\archivos de grabadora laser\Tope2.SLDPRT Aug 24 23:40:23 2024

Figura 55. Proceso asignación de sujeciones y fuerzas para análisis estático. Fuente: Autores

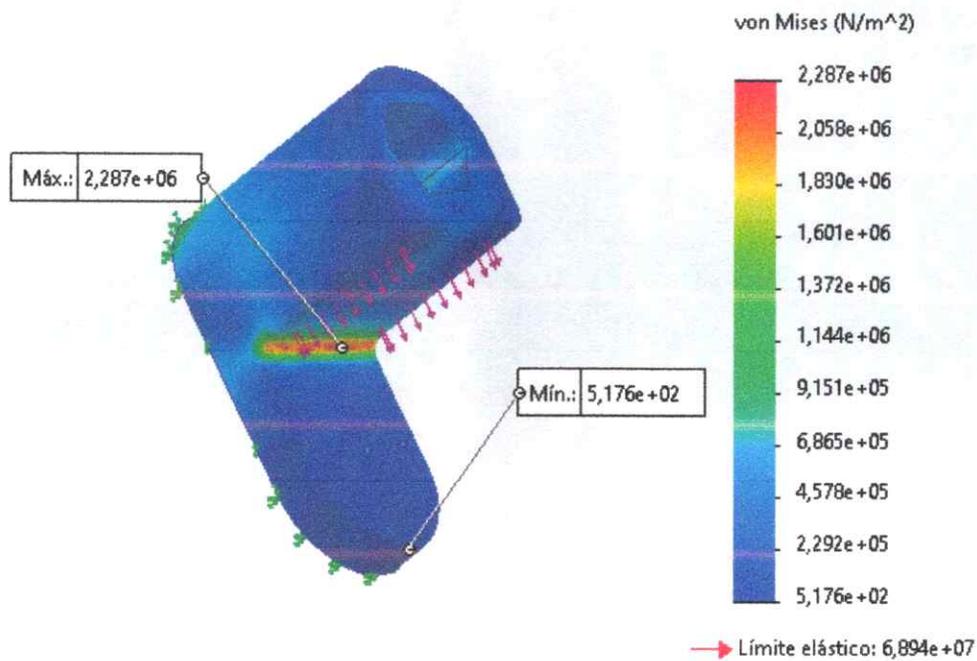


Figura 56. Análisis estático de Von Mises. Fuente: Autores

La figura 58 ilustra que la pieza tiene un límite elástico de 68.94 MPa, es decir, la tensión máxima que puede soportar antes de comenzar a deformarse de manera permanente. Este valor es crucial para determinar la capacidad de la pieza de resistir cargas sin comprometer su integridad estructural.

Al aplicar una fuerza de 70 newtons sobre la pieza "Topes", se llevaron a cabo cálculos detallados para determinar las presiones resultantes en diferentes puntos de la estructura. Los resultados muestran que la presión mínima aplicada es de 517.6 Pa, lo que corresponde a las áreas de menor carga en la pieza. Por otro lado, la presión máxima registrada es de 2.287 MPa, presente en las zonas donde la carga es más concentrada.

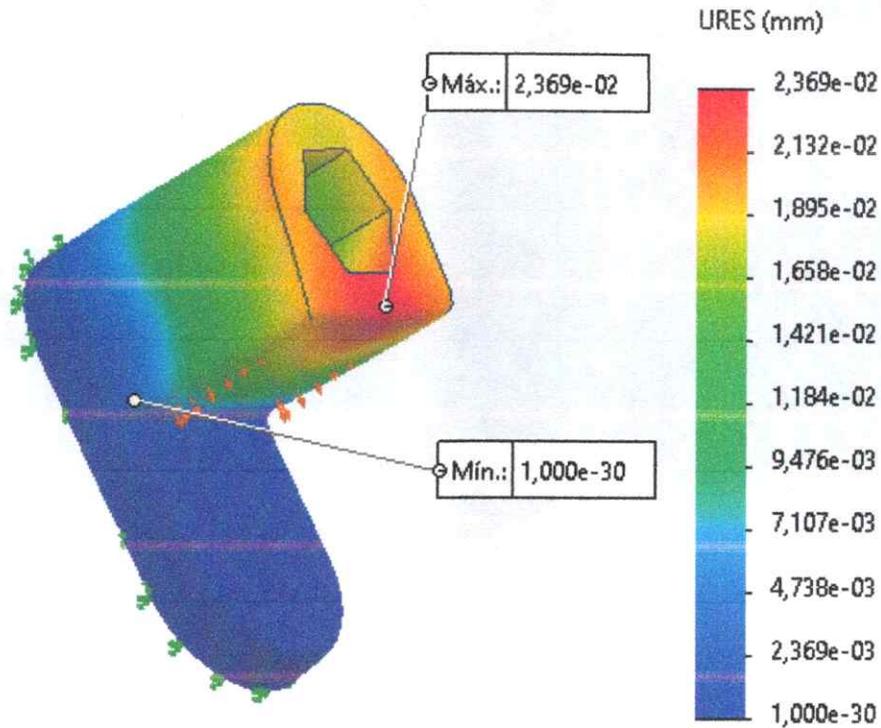


Figura 57. Análisis estático de desplazamientos. Fuente: Autores

En el análisis estático de desplazamientos de la pieza, los resultados se expresan en "URES", que son unidades de desplazamiento relativas normalizadas en milímetros. El desplazamiento mínimo registrado, como se puede ver en la figura 60, fue de 1,000e-30 URES (mm), equivalente a $1,000 \times 10^{-30}$ mm, lo que indica un desplazamiento prácticamente nulo y, por lo tanto, insignificante en esas áreas específicas. Por otro lado, el desplazamiento máximo observado fue de 2,369e-02 URES (mm), o 0,02369 mm, que representa el mayor desplazamiento experimentado en la pieza bajo las condiciones de carga aplicadas.

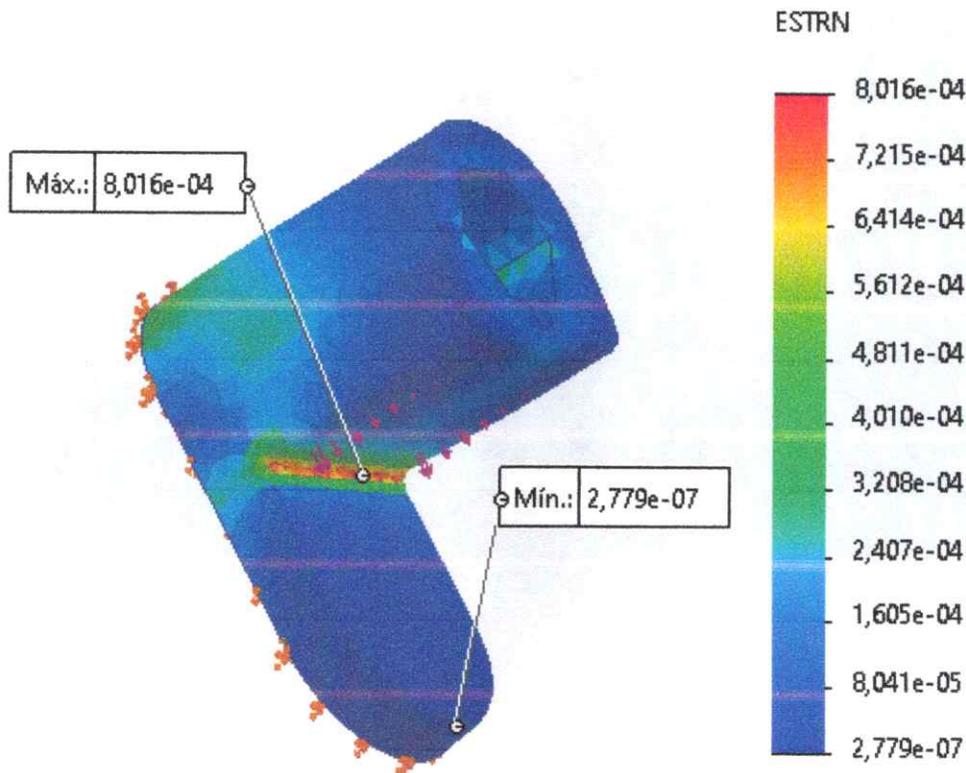


Figura 58. Análisis estático de deformaciones unitarias. Fuente: Autores

En el análisis estático de deformaciones unitarias (ESTRN) vistos en la figura 61, se registraron valores de deformación que van desde un mínimo de $2,779e-07$ (equivalente a $2,779 \times 10^{-7}$) hasta un máximo de $8,016e-04$ (equivalente a 0,0008016). El valor mínimo indica deformaciones extremadamente pequeñas en algunas áreas de la pieza, mientras que el valor máximo representa la mayor deformación observada bajo las condiciones de carga aplicadas.

Estos resultados sugieren una variabilidad significativa en las deformaciones a través de la pieza, con algunas regiones mostrando deformaciones casi insignificantes y otras experimentando deformaciones más notables, lo cual es crucial para evaluar el comportamiento estructural y detectar posibles áreas críticas en el diseño.

V-J. Análisis térmico de la pieza sujetadora del láser

El análisis térmico examina cómo el calor se distribuye y se transfiere a través de una pieza o estructura en diferentes condiciones de temperatura. Este análisis es crítico para detectar posibles problemas como deformaciones o fallos en el material debido a temperaturas elevadas. En diseños expuestos a calor, comprender el comportamiento térmico es fundamental para asegurar su funcionalidad, resistencia y seguridad [61].

Para el "Sujetador del láser", fabricado en PETG, el análisis térmico es vital dado que el PETG tiene una temperatura de transición vítrea baja (alrededor de 80°C a 85°C). Exponer la pieza a temperaturas superiores puede provocar deformaciones. El análisis térmico permite anticipar y mitigar estos problemas, asegurando un diseño

robusto frente al calor [62].

Pasos para realizar un análisis térmico de la pieza "Sujetador del láser" hecha en PETG usando SolidWorks

1. Preparar el Modelo 3D: Abre el modelo 3D del "Sujetador del láser" en SolidWorks y verifica que esté completo.
2. Iniciar SolidWorks Simulation: Activa el complemento SolidWorks Simulation desde menú de Complementos.
3. Crear un Nuevo Estudio: En Simulation, selecciona Estudios y crea un nuevo estudio de tipo Análisis Térmico.
4. Asignar Materiales: Asegúrate de que el PETG esté correctamente asignado como material, con sus propiedades térmicas adecuadas.

5. Aplicar Cargas Térmicas:

Define las cargas térmicas que el modelo enfrentará.

Temperatura: Especifica las temperaturas esperadas durante el uso.

Flujo de Calor: Aplica condiciones de flujo de calor si es necesario.

6. Definir Restricciones Térmicas:

Define restricciones térmicas, como enfriamiento o aislamiento.

7. Mallas el Modelo:

Crea una malla adecuada para capturar los detalles térmicos críticos.

8. Ejecutar el Análisis:

Corre la simulación para evaluar la distribución del calor.

9. Revisar Resultados:

Analiza los resultados para identificar las zonas que alcanzan temperaturas críticas y compara con la temperatura de transición vítrea del PETG.

10. Guardar y Documentar:

Guarda los resultados y elabora un informe detallado con gráficos y conclusiones.



Figura 59. Pieza sujetadora del láser. Fuente: Autores

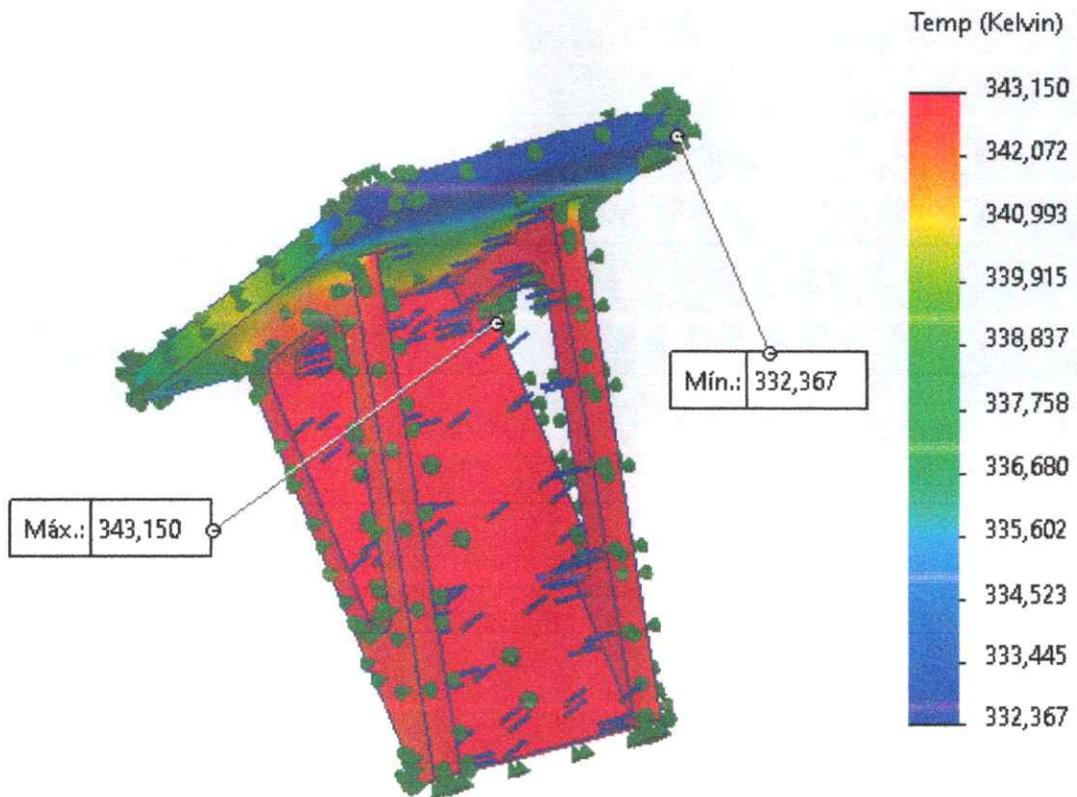


Figura 60. Análisis térmico de la pieza "Sujetador de láser". Fuente: Autores

Un láser de 5.4 vatios y 12 voltios puede generar una temperatura de entre 60°C y 70°C (333.15 K y 343.15 K, respectivamente). Por lo tanto, se decidió utilizar el valor superior de 70°C como temperatura de referencia para el estudio.

En base a las propiedades del PETG, como se muestra en la Figura 57, se establecieron los parámetros para el análisis, obteniendo los siguientes resultados:

La temperatura mínima alcanzada fue de 332.37 K (59.22°C), y la temperatura máxima alcanzada fue de 343.15 K (70.00°C).

El límite de temperatura que resiste el PETG antes de empezar a deformarse por una carga es de entre 80°C y 85°C (353.15 K y 358.15 K, respectivamente).

V-K. Revisión de la banda transportadora

Se realizó una revisión exhaustiva de la banda transportadora, accionada por un motor trifásico, con el fin de asegurar su óptimo rendimiento y evitar posibles averías durante su funcionamiento. Esta inspección abarcó un análisis minucioso de los elementos mecánicos y eléctricos, además de pruebas funcionales para garantizar la eficiencia y seguridad del sistema.

1. Inspección Mecánica

Estado de la Banda Transportadora: Se realizó una inspección visual de la banda transportadora para detectar signos de desgaste, roturas o deformaciones. Se verificó que la banda estuviera correctamente alineada y que no presentara tensiones desiguales que pudieran afectar su funcionamiento.

Rodillos y Tensores: Se revisaron los rodillos que soportan la banda para asegurarse de que giraran libremente y sin obstrucciones. Los tensores también fueron inspeccionados para confirmar que mantenían la banda en la tensión adecuada, evitando deslizamientos o sobrecargas en el motor.

Lubricación de Componentes: Se verificó el estado de la lubricación en los rodamientos y otros puntos de fricción. Se aplicó lubricante donde fue necesario para reducir el desgaste y garantizar un funcionamiento suave.

2. Inspección Eléctrica

Motor Trifásico: El motor trifásico fue revisado para asegurar su correcto funcionamiento. Se midió la resistencia de los devanados y se verificó la continuidad eléctrica en todas las fases. Además, se inspeccionó visualmente el estado de los cables y conexiones para detectar posibles signos de daño o desgaste.

Arranque y Protección del Motor: Se revisó el sistema de arranque del motor, incluyendo los contactores y relés de sobrecarga. Se aseguraron de que los dispositivos de protección estuvieran funcionando correctamente para evitar daños al motor en caso de sobrecarga o cortocircuito.

Verificación del Sistema de Control: Se probó el sistema de control de la banda transportadora para confirmar que todas las señales eléctricas fueran recibidas y procesadas correctamente. Esto incluyó la revisión de los sensores de fin de carrera y otros dispositivos de monitoreo.

3. Pruebas Funcionales

Prueba de Operación en Vacío: Después de las inspecciones, se realizó una prueba de operación en vacío para verificar el funcionamiento del motor trifásico y la banda transportadora sin carga. Se monitorearon las vibraciones, ruidos inusuales, y la temperatura del motor para asegurar que todo estuviera dentro de los parámetros normales.

Prueba de Carga: Finalmente, se realizó una prueba de carga en la banda transportadora. Durante esta prueba, se observó el comportamiento del motor bajo carga real, incluyendo el consumo de corriente y la velocidad de la banda. Se verificó que la banda transportadora funcionara de manera eficiente y sin deslizamientos o sobrecalentamientos.

4. Conclusiones y Mantenimiento Preventivo

Informe de Resultados: Se documentaron los resultados de la revisión y se identificaron áreas que podrían requerir mantenimiento adicional en el futuro. Se elaboró un informe detallado que incluyó recomendaciones para ajustes o reemplazos de componentes que pudieran estar cerca del final de su vida útil.

Programación de Mantenimiento: Basado en la revisión, se programó un mantenimiento preventivo regular para asegurar que la banda transportadora y el motor trifásico continuaran operando de manera óptima. Esto incluyó intervalos regulares de inspección y lubricación, así como pruebas eléctricas y mecánicas.

Este proceso de revisión fue crucial para mantener la banda transportadora en condiciones óptimas, garantizando la seguridad y eficiencia del sistema en las operaciones diarias.



Figura 61. Banda transportadora a utilizar. Fuente: Autores



Figura 62. Vista superior de la banda. Fuente: Autores



Figura 63. Vista lateral de la banda. Fuente: Autores

V-L. Elaboración de código en software TIA PORTAL

Inicio del Transporte de Cajas:

El sistema de control, programado en TIA Portal, inicia el movimiento de la banda transportadora. Esta banda es responsable de trasladar las cajas a lo largo del sistema. El motor trifásico que impulsa la banda es activado mediante un contactor, controlado por una salida digital del PLC. Cuando el contactor se cierra, la corriente fluye hacia el motor, iniciando su operación.

Detección de Cajas en Posición: A lo largo de la banda transportadora, se colocan sensores de proximidad que monitorean la presencia de las cajas. Cuando una caja llega a la posición correcta, el sensor de proximidad envía una señal al PLC indicando que la caja está en su lugar.

Comunicación con Arduino Nano: Una vez que el PLC recibe la señal de que la caja está en posición, envía una señal digital al Arduino Nano, utilizando la salida que anteriormente estaba conectada al botón de inicio. Esta señal digital al Arduino Nano sirve como comando para iniciar el proceso de grabado láser.

Proceso de Grabado Láser: El Arduino Nano, al recibir la señal del PLC, activa el sistema de grabado láser. El grabado se lleva a cabo según el código G almacenado en el sistema. Durante este proceso, la banda transportadora permanece detenida para garantizar la precisión del grabado.

Finalización del Grabado y Reinicio del Transporte: Una vez que el Arduino Nano finaliza el proceso de grabado, envía una señal de retorno al PLC indicando que el trabajo ha concluido. Al recibir esta señal, el PLC reactiva la banda transportadora cerrando nuevamente el contactor del motor trifásico. Esto permite que la banda transportadora reanude el traslado de las cajas. El ciclo se repite cuando una nueva caja es detectada en la posición correcta.

Este sistema automatizado de control combina la precisión de la programación en TIA Portal con la flexibilidad del Arduino Nano, asegurando que las cajas sean grabadas de manera eficiente y sin interrupciones. El uso de sensores de proximidad garantiza que el proceso solo se active cuando las cajas estén en la posición correcta, lo que optimiza el flujo de trabajo y la calidad del grabado.

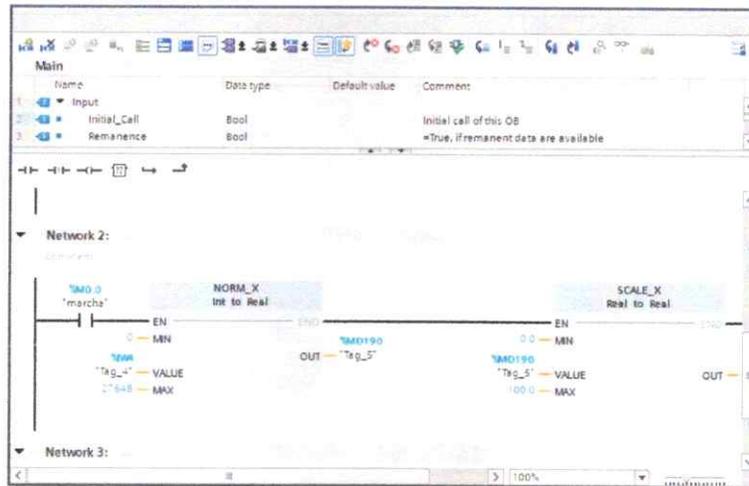


Figura 64. Programación en TIA portal V18. Fuente: Autores

V-M. Diseño y creación de placa PCB

La creación de la placa PCB para la electrónica de la grabadora láser fue un paso fundamental para integrar y organizar los componentes necesarios para el funcionamiento óptimo del sistema previamente descrito. Este proceso incluyó el diseño, la manufactura y la validación de un circuito impreso capaz de soportar la comunicación y el control entre el Arduino Nano, el Arduino Uno, la CNC Shield, los drivers A4988 y el sistema de grabado láser [63].

1. Diseño del Circuito Electrónico:

Esquemático: El primer paso consistió en la elaboración del esquemático del circuito, que abarcaba todos los componentes y sus interconexiones. El diseño se enfocó en la comunicación serial entre el Arduino Nano y el Arduino Uno, utilizando los pines RX y TX. También se incorporaron las conexiones para la CNC Shield, los drivers A4988 para el control de los motores, y las salidas para el LED indicador. Durante el diseño de la placa PCB, se empleó el software EasyEDA, que permitió desarrollar un diseño preciso y eficiente del circuito electrónico. EasyEDA facilitó la disposición de los componentes y el enrutamiento de las pistas, asegurando una integración óptima y minimizando posibles errores durante la fabricación de la placa.

Distribución de Componentes: Se planificó la ubicación de cada componente en la placa PCB para optimizar el espacio y minimizar la longitud de las pistas, lo que ayuda a reducir interferencias y mejorar la fiabilidad del

circuito. Las conexiones para la micro SD y el adaptador también se integraron en el diseño, permitiendo que el Arduino Nano leyera el código G desde la tarjeta SD y lo transmitiera al Arduino Uno.

2. Creación del Diseño PCB:

Trazado de Pistas: Basado en el esquemático, se trazaron las pistas en el software de diseño PCB. Se aseguraron de que las pistas para la comunicación serial fueran lo más cortas posible y estuvieran correctamente apantalladas para evitar ruido eléctrico. Se consideró el grosor adecuado de las pistas para soportar las corrientes necesarias sin sobrecalentamiento.

Capas de la Placa: Se optó por un diseño de PCB de doble cara para acomodar todas las conexiones necesarias sin comprometer la integridad del diseño. Las conexiones críticas, como la alimentación y las señales de control, fueron colocadas en capas separadas para evitar interferencias.

3. Fabricación de la PCB:

Fotolitografía y Grabado: La fabricación de la placa PCB se realizó mediante un proceso de fotolitografía y grabado químico. Esto permitió crear las pistas de cobre en la placa de forma precisa según el diseño planificado.

Taladrado y Montaje de Componentes: Se realizaron los agujeros para la inserción de los pines y conectores. Posteriormente, los componentes electrónicos fueron soldados en la placa, asegurando que cada conexión fuera sólida y sin cortocircuitos.

4. Pruebas y Validación:

Prueba de Continuidad: Antes de la instalación final, se realizaron pruebas de continuidad en las pistas para asegurarse de que no hubiera interrupciones ni cortocircuitos.

Pruebas Funcionales: Con los componentes montados, se conectó la placa a los Arduinos y se realizaron pruebas funcionales para verificar que la comunicación serial y el control de los motores a través de la CNC Shield y los drivers A4988 funcionaran correctamente. También se probó la lectura del código G desde la tarjeta micro SD y la activación del LED indicador al completar el grabado láser.

5. Integración en el Sistema:

Una vez validada, la placa PCB fue integrada en la estructura general de la grabadora láser, asegurando que todas las conexiones estuvieran correctas y el sistema operara de manera eficiente. La organización de la placa PCB permitió un montaje limpio y fácil acceso para futuras modificaciones o mantenimientos.

Listado de Componentes Utilizados:

- 1 x Arduino Nano
- 1 x Arduino Uno
- 1 x CNC Shield para Arduino Uno
- 3 x Drivers A4988
- 1 x Adaptador para tarjeta micro SD
- 1 x Tarjeta micro SD
- 1 x Conector de pines para RX/TX
- 1 x LED indicador
- 1 x Conector de alimentación
- 2 x Borneras

- 10 x Pines macho macho
- 20 x Pulsadores
- 2 x Octoacopladores
- 2 x Transistor 2n22anpn
- 2 x Diodo 1n4007

Resistencias, condensadores y diodos necesarios para la protección y estabilidad del circuito
 Pistas de cobre para interconexiones
 Conectores y terminales para la conexión de motores y sensores

Este proceso de elaboración de la PCB fue esencial para consolidar todos los elementos del sistema electrónico en una solución compacta y eficiente, facilitando tanto el ensamblaje como la operación del sistema de grabado láser.

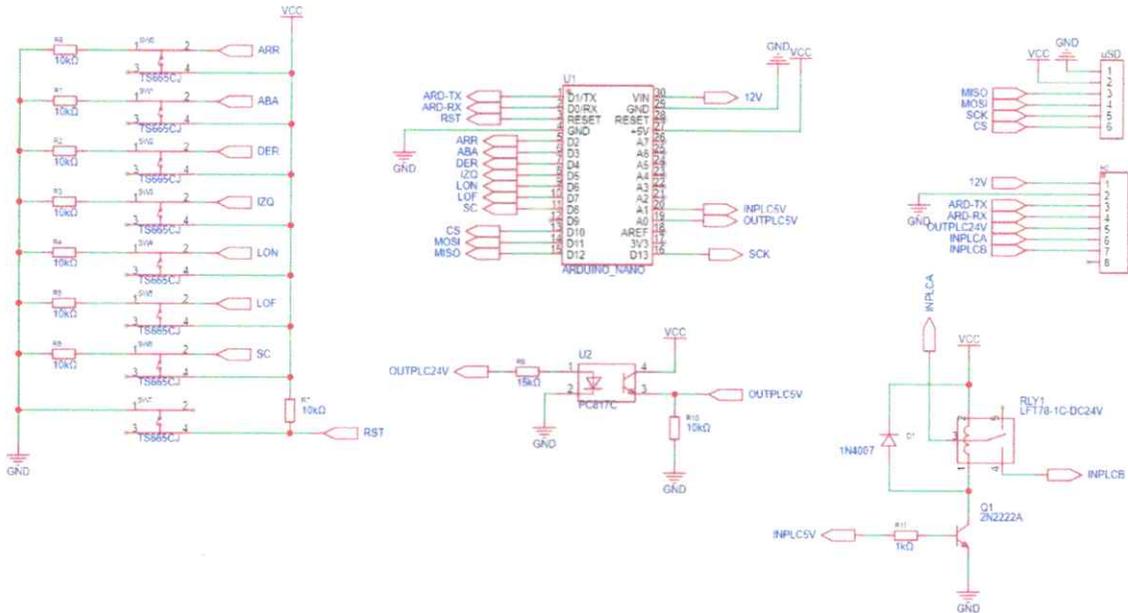


Figura 65. Esquemático de la PCB. Fuente: Autores

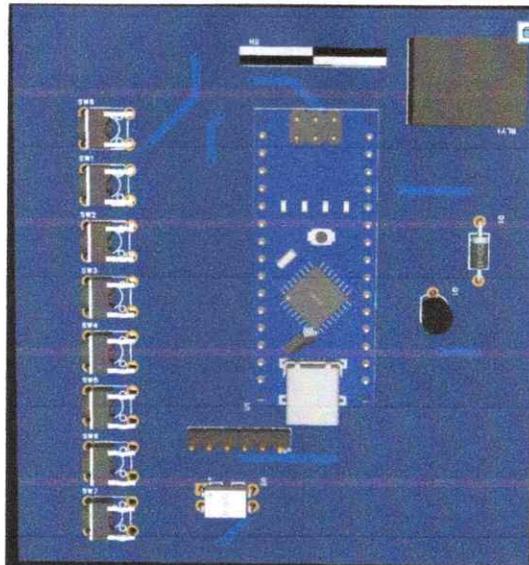


Figura 66. Modelo 3D de la PCB. Fuente: Autores

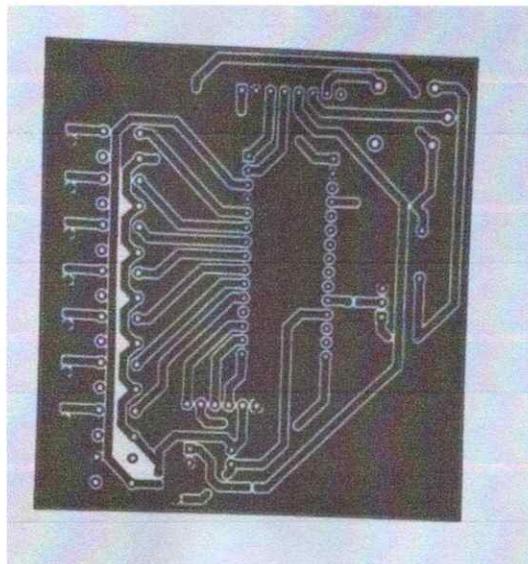


Figura 67. Preparación de rieles de PCB. Fuente: Autores

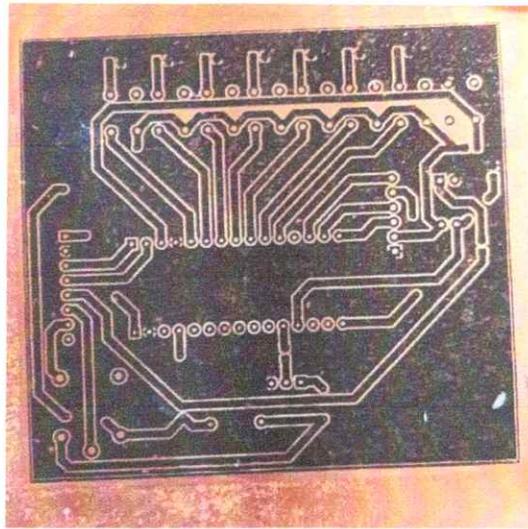


Figura 68. Proceso de impresión. Fuente: Autores

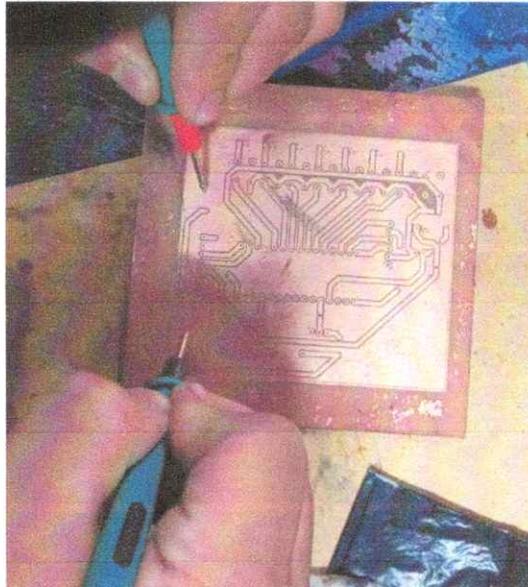


Figura 69. Pruebas de continuidad. Fuente: Autores

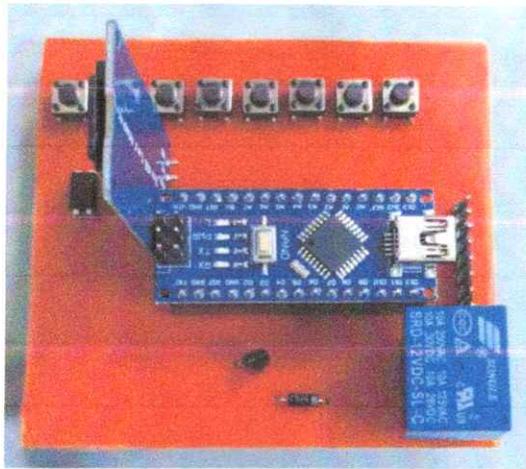


Figura 70. PCB final del sistema emisor de datos. Fuente: Autores

VI. RESULTADOS

VI-A. Sistema electrónico y mecánico CNC

En la fase de configuración electrónica, se ha trabajado en la integración de diversos componentes tecnológicos para construir un sistema que pueda ejecutar grabados de alta calidad de manera automatizada.

El Arduino Nano se encargó de leer y procesar el código G desde una tarjeta micro SD, mientras que el Arduino Uno, en conjunto con la CNC Shield y los drivers A4988, gestionó el control de los motores paso a paso que movieron el grabador láser.

El sistema electrónico para el mecanismo automatizado de grabado láser opera bajo un modelo de comunicación maestro-esclavo, en el que los dos microcontroladores, Arduino Nano y Arduino Uno, desempeñan roles distintos pero complementarios.

La comunicación entre el maestro y el esclavo se realiza mediante una interfaz serial, utilizando los pines RX y TX para la transmisión de datos. El Arduino Nano envía los comandos en formato serial, y el Arduino Uno recibe y procesa estos comandos para realizar las acciones correspondientes. La coordinación entre los dos microcontroladores se asegura mediante un protocolo de comunicación bien definido, que permite que el Arduino Nano envíe comandos secuenciales y el Arduino Uno responda con movimientos precisos y sincronizados del mecanismo de grabado.

La sincronización entre el Arduino Nano y el Arduino Uno es crucial para el funcionamiento correcto del sistema. El Arduino Nano controla el flujo de datos y asegura que el Arduino Uno reciba las instrucciones necesarias para mantener el proceso de grabado en marcha. La comunicación serial se configura para operar a 115200 bps, garantizando una transferencia de datos rápida y sin errores. Esta configuración permite una ejecución fluida del código G y un control preciso del grabador láser.

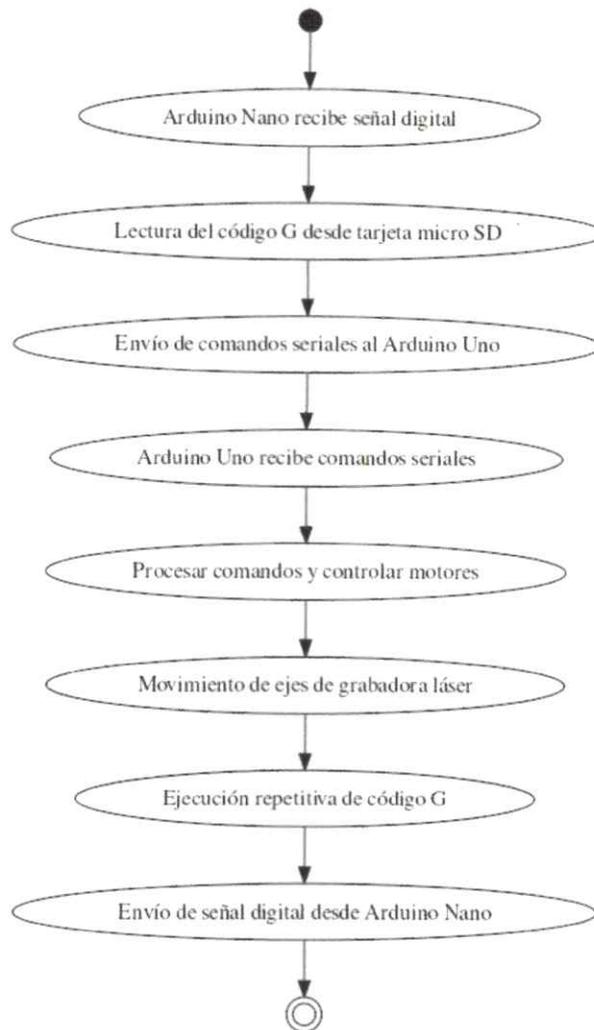


Figura 71. Diagrama de funcionamiento. Fuente: Autores

Durante la elaboración del diseño, se una pieza fundamental fueron las denominada "Topes", además de la pieza "Sujetador del láser". Estas piezas, impresas en PETG, desempeñan un papel crucial en el funcionamiento del sistema. Dada su importancia, se realizó un análisis detallado utilizando software CAD, específicamente SolidWorks, para asegurar su precisión y funcionalidad en el diseño final.

Tabla I
RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTÁTICO DE LA PIEZA: TOPE

Tipo de Análisis	Parámetro	Valor Mínimo	Valor Máximo
Von Mises	Presión (MPa)	0.0005176	2.287
Desplazamiento Estático (URES)	Desplazamiento (mm)	$1,000 \times 10^{-30}$	0.02369
Deformaciones Unitarias (ESTRN)	Deformación	$2,779 \times 10^{-7}$	$8,016 \times 10^{-4}$

Para la pieza denominada "Tope", se realizó un análisis estático que incluye varias evaluaciones clave:

- **Análisis de Von Mises:** La pieza presenta un límite elástico de 68.94 MPa, que representa la tensión

máxima que puede soportar antes de comenzar a deformarse de manera permanente. Este valor es crucial para determinar la capacidad de la pieza para resistir cargas sin comprometer su integridad estructural. Al aplicar una fuerza de 70 newtons sobre la pieza "Topes". Los resultados indican que la presión mínima aplicada es de 517.6 Pa, correspondiente a las áreas de menor carga en la pieza, mientras que la presión máxima registrada es de 2.287 MPa, encontrada en las zonas donde la carga se concentra más intensamente.

Comparando la presión máxima registrada (2.287 MPa) con el límite elástico de la pieza (68.94 MPa), se observa que la presión máxima aplicada está significativamente por debajo del límite elástico. Esto indica que la pieza "Topes" puede soportar la carga aplicada sin riesgo de deformación permanente. La pieza se encuentra en un rango seguro respecto a su límite elástico, lo que sugiere que el diseño es adecuado para las condiciones de carga especificadas y no comprometerá la integridad estructural del sistema.

- **Análisis Estático de Desplazamientos:** Los resultados se expresan en unidades de desplazamiento relativas normalizadas en milímetros (URES). El desplazamiento mínimo registrado fue de $1,000e-30$ URES (mm), equivalente a $1,000 \times 10^{-30}$ mm, lo que indica un desplazamiento prácticamente nulo e insignificante en esas áreas específicas. En contraste, el desplazamiento máximo observado fue de $2,369e-02$ URES (mm), o 0,02369 mm, representando el mayor desplazamiento experimentado en la pieza bajo las condiciones de carga aplicadas.
- **Análisis de Deformaciones Unitarias (ESTRN):** Los valores de deformación registrados oscilan entre un mínimo de $2,779e-07$ (equivalente a $2,779 \times 10^{-7}$) y un máximo de $8,016e-04$ (equivalente a 0,0008016). El valor mínimo indica deformaciones extremadamente pequeñas en algunas áreas de la pieza, mientras que el valor máximo representa la mayor deformación observada bajo las condiciones de carga aplicadas.

Para evaluar el desempeño de la pieza "Sujetador del láser", en condiciones de operación, se realizó un análisis térmico detallado. Este análisis es fundamental para entender cómo las variaciones de temperatura afectan la pieza y para asegurar que pueda soportar las condiciones térmicas a las que estará expuesta durante su funcionamiento.

Tabla II
RESULTADOS DEL ANÁLISIS TÉRMICO DE LA PIEZA: SUJETADOR DEL LÁSER

Propiedad	Valor
Temperatura mínima alcanzada	332.37 K (59.22°C)
Temperatura máxima alcanzada	343.15 K (70.00°C)
Límite de deformación del PETG	80°C a 85°C (353.15 K a 358.15 K)
Temperatura máxima alcanzada en la pieza	70.00°C (343.15 K)

Un láser de 5.5 vatios y 12 voltios puede generar una temperatura que varía entre 60°C y 70°C (333.15 K y 343.15 K, respectivamente). Para el análisis térmico de la pieza "Sujetador del láser", se utilizó el valor superior de 70°C como temperatura de referencia.

Basado en las propiedades del PETG y los parámetros establecidos para el análisis, los resultados obtenidos fueron los siguientes: la temperatura mínima alcanzada en la pieza fue de 332.37 K (59.22°C), mientras que la temperatura máxima alcanzada fue de 343.15 K (70.00°C). El límite de temperatura que el PETG puede soportar antes de comenzar a deformarse por carga está en el rango de 80°C a 85°C (353.15 K y 358.15 K, respectivamente).

La temperatura máxima alcanzada en la pieza "Sujetador del láser" (70.00°C) se encuentra por debajo del límite de deformación del PETG (80°C a 85°C). Esto indica que el material elegido para la pieza es adecuado para las condiciones térmicas esperadas durante su operación. La pieza debería mantener su integridad estructural y

funcionalidad bajo las temperaturas generadas por el láser, garantizando un rendimiento fiable y seguro en las condiciones de uso especificadas.

VI-B. Modularidad de la estructura / bastidor

El mecanismo construido para soportar el sistema de grabado láser resulta de una concepción modular. Este diseño combina perfiles estructurales, complementos de sujeción y piezas impresas en 3D para ofrecer una estructura flexible, robusta y versátil. La integración de estos elementos garantiza una base estable y duradera que mantiene el láser en una posición fija durante el grabado.

La modularidad permite un ensamblaje ágil y eficiente, utilizando componentes intercambiables que se ajustan a diversas configuraciones. Los perfiles estandarizados y los soportes de esquina facilitan la unión de módulos, permitiendo ajustes y ampliaciones sin modificaciones complicadas o costosas.

Las piezas impresas en 3D, fabricadas en PETG, como soportes y conectores personalizados, mejoran la integración y precisión del sistema. Este enfoque modular no solo cumple con los requisitos técnicos, sino que también ofrece ventajas en escalabilidad, mantenimiento y adaptabilidad.

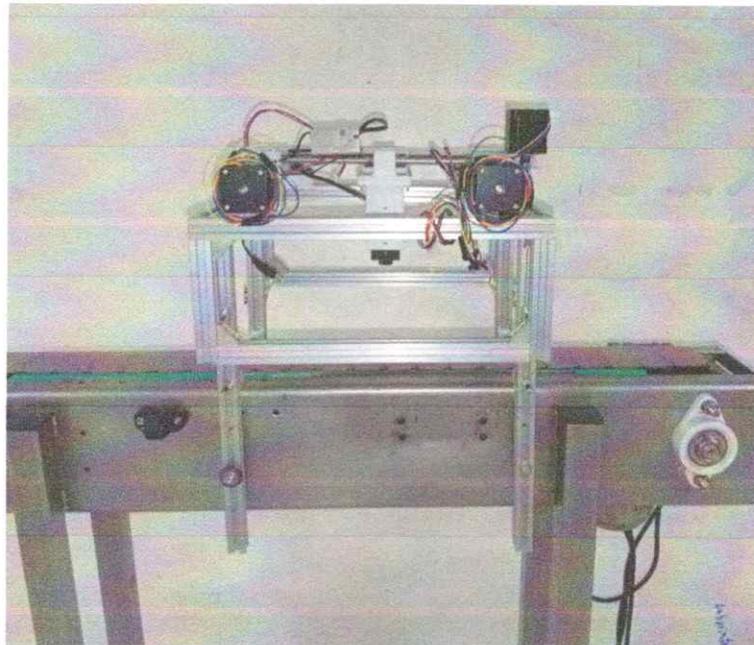


Figura 72. Vista lateral del soporte modular acoplado. Fuente: Autores

VI-C. Desempeño del sistema implementado

Para garantizar la precisión y calidad del grabado láser, se estableció como objetivo que la imagen producida por la grabadora sea idéntica en tamaño y detalle a la representación generada en el software GRBL Laser. Se realizaron ajustes meticulosos en la configuración del sistema y calibración de los componentes, asegurando que cada parámetro del proceso, desde la velocidad del láser hasta la alineación del material. A continuación, se presentan los resultados obtenidos tras la implementación de estas medidas, evaluando la fidelidad del grabado respecto a las dimensiones y detalles establecidos en el software.

Los resultados obtenidos a partir de un conjunto de 20 pruebas, divididas en cuatro series de cinco pruebas cada una, muestran la precisión del grabado realizado con un láser CNC. Para evaluar la exactitud, se utilizaron cinco

imágenes diferentes de distintos tamaños: 10x10 mm, 20x20 mm, 30x30 mm, 40x40 mm 50x50 mm y 60x60 cm. La comparación entre las dimensiones esperadas y las obtenidas de largo y ancho, permite analizar el rendimiento del equipo.

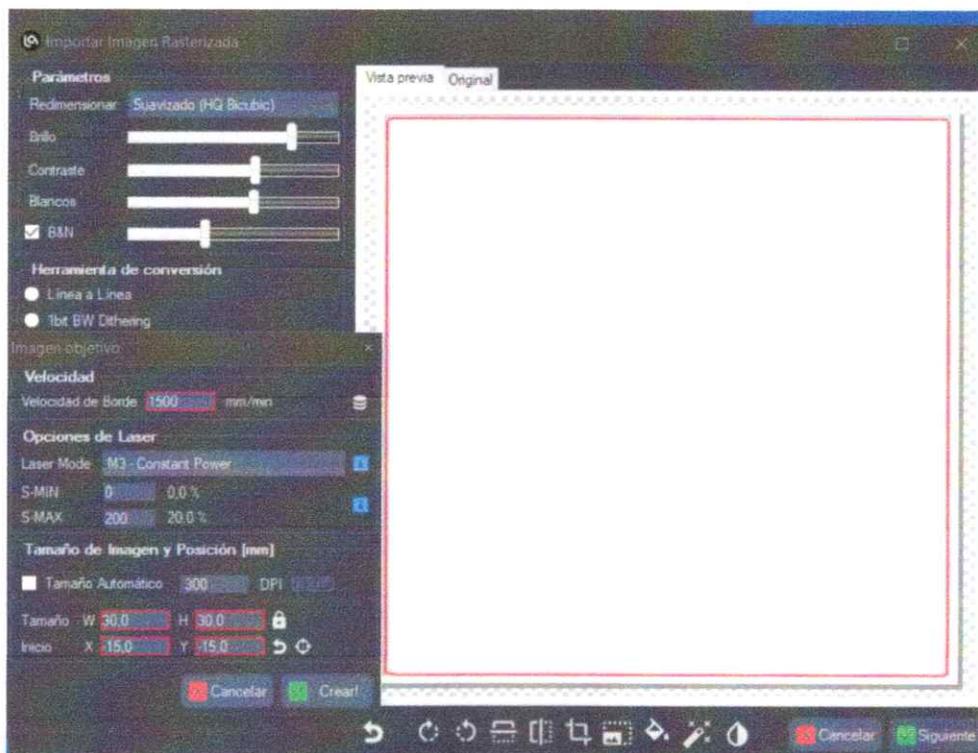


Figura 73. Ejemplo de medidas propuestas en software. Fuente: Autores



Figura 74. Ejemplo de medidas obtenidas. Fuente: Autores

Tal como se ilustra en la Figura 73, se propuso la generación de una figura específica utilizando software de diseño asistido por computadora (CAD). En este caso particular, se diseñó un cuadrado con dimensiones de 30x30 mm, el cual fue posteriormente enviado a un proceso de grabado láser para su realización física.

El resultado final, mostrado en la Figura 74, evidencia un cierto margen de error en el grabado obtenido. Este error puede atribuirse a diversos factores que afectan la precisión del proceso de grabado, como la calibración del

Tabla III
COMPARACIÓN MEDIDAS PLANTEADAS / OBTENIDAS

Item	Medidas esperadas		Medidas obtenidas		Porcentajes de error			Total
	Nro imagen	Largo	ancho	Largo	ancho	Porcentaje error largo	Porcentaje error ancho	
1	20 mm	20 mm	20,00 mm	19,50 mm	0,00 %	2,50 %	1,25 %	98,75 %
1	30 mm	30 mm	29,40 mm	29,90 mm	2,00 %	0,33 %	1,17 %	98,83 %
1	40 mm	40 mm	39,35 mm	39,55 mm	1,63 %	1,13 %	1,38 %	98,63 %
1	50 mm	50 mm	49,30 mm	49,85 mm	1,40 %	0,30 %	0,85 %	99,15 %
1	60 mm	60 mm	59,00 mm	60,00 mm	1,67 %	0,00 %	0,83 %	99,17 %
2	20 mm	20 mm	20,10 mm	19,45 mm	0,50 %	2,75 %	1,63 %	98,38 %
2	30 mm	30 mm	29,50 mm	29,80 mm	1,67 %	0,67 %	1,17 %	98,83 %
2	40 mm	40 mm	39,40 mm	39,65 mm	1,50 %	0,88 %	1,19 %	98,81 %
2	50 mm	50 mm	49,20 mm	49,75 mm	1,60 %	0,50 %	1,05 %	98,95 %
2	60 mm	60 mm	58,90 mm	60,10 mm	1,83 %	0,17 %	1,00 %	99,00 %
3	20 mm	20 mm	19,90 mm	19,60 mm	0,50 %	2,00 %	1,25 %	98,75 %
3	30 mm	30 mm	29,30 mm	29,70 mm	2,33 %	1,00 %	1,67 %	98,33 %
3	40 mm	40 mm	39,25 mm	39,45 mm	1,88 %	1,37 %	1,63 %	98,38 %
3	50 mm	50 mm	49,40 mm	49,90 mm	1,20 %	0,20 %	0,70 %	99,30 %
3	60 mm	60 mm	59,10 mm	60,00 mm	1,50 %	0,00 %	0,75 %	99,25 %
4	20 mm	20 mm	20,05 mm	19,45 mm	0,25 %	2,75 %	1,50 %	98,50 %
4	30 mm	30 mm	29,45 mm	29,85 mm	1,83 %	0,50 %	1,17 %	98,83 %
4	40 mm	40 mm	39,30 mm	39,50 mm	1,75 %	1,25 %	1,50 %	98,50 %
4	50 mm	50 mm	49,25 mm	49,80 mm	1,50 %	0,40 %	0,95 %	99,05 %
4	60 mm	60 mm	59,95 mm	60,15 mm	0,08 %	0,25 %	0,17 %	99,83 %
5	20 mm	20 mm	19,95 mm	19,65 mm	0,25 %	1,75 %	1,00 %	99,00 %
5	30 mm	30 mm	29,35 mm	29,75 mm	2,17 %	0,83 %	1,50 %	98,50 %
5	40 mm	40 mm	39,20 mm	39,85 mm	2,00 %	0,37 %	1,19 %	98,81 %
5	50 mm	50 mm	49,35 mm	49,75 mm	1,30 %	0,50 %	0,90 %	99,10 %
5	60 mm	60 mm	58,95 mm	60,05 mm	1,75 %	0,08 %	0,92 %	99,08 %
Precision media								98,87 %
Mediana								98,83 %
Moda								98,83 %

equipo, la calidad del material empleado y las características del software de control. Estos aspectos son clave para entender las discrepancias entre el diseño original y el producto final.

En el caso específico de las medidas obtenidas, se presenta un análisis detallado en la Tabla III. Esta tabla recoge los valores medidos tras el proceso de grabado y los compara con las dimensiones originales planteadas en el diseño digital. A partir de estos datos, es posible calcular el porcentaje de error, lo cual permite identificar las desviaciones y establecer las posibles causas que originaron dichas diferencias.

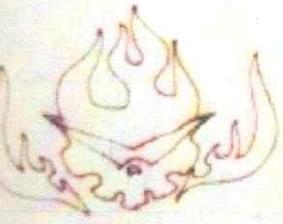
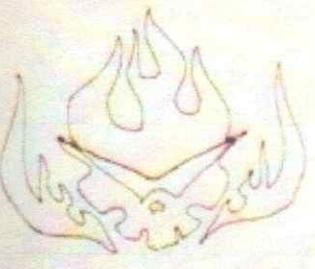
En la Tabla IV se presentan los resultados de una segunda prueba, en la cual se evaluó la legibilidad y resolución de una misma imagen generada en diferentes tamaños.



Figura 75. Imagen de referencia utilizada para las pruebas legibilidad y resolución. Fuente: Autores

Los resultados muestran que, al usar un láser de 30W al 15 % de su capacidad (5.5W), la imagen de la Figura 75 comienza a perder legibilidad y resolución cuando su tamaño es menor a 10mm x 10mm. A medida que el tamaño incrementa, especialmente a partir de 20mm x 20mm, la legibilidad y resolución mejoran significativamente.

Tabla IV
 RESULTADOS DE PRUEBAS DE LEGIBILIDAD Y RESOLUCIÓN

Pruebas de legibilidad y resolución		
Medidas		Resultado
Largo	Ancho	
10 mm	10 mm	
20 mm	20 mm	
30 mm	30 mm	
40 mm	40 mm	
50 mm	50 mm	
60 mm	60 mm	

VIII. PRESUPUESTO

Tabla VI
PRESUPUESTO

Presupuesto						
Cantidad	Materiales	Detalle	Precio unitario	Precio Cantidad	Tiempo	
1	Impresora	Original Prusa MINI+ Semi-montada	\$459	\$459	indefinido	
3	Motor	MOTOR NEMA 17	\$17,36	\$52	indefinido	
4	Eje	Eje liso Cromado	\$25,50	\$102	indefinido	
2	Rodamiento	Rodamiento LMxxUU	\$8	\$16	indefinido	
1	PLC	Siemens CPU 1214C - 6ES7214-1AG40-0XB0	\$408,18	\$408	indefinido	
1	Banda transportadora	Cinta transportadora	\$429,99	\$430	indefinido	
1	Arduino uno	Arduino UNO	\$28,99	\$29	indefinido	
1	Variador de motor	Variadores de Velocidad SIEMENS Sinamics V20 440 VAC Trifásico	\$700	\$700	indefinido	
1	Fuente	Fuente de Alimentación Switching 12V 150W 12.5A	\$12	\$12	indefinido	
2	Personas	Giovanni Aaron Diaz Rodriguez - Alex Ismael Hidalgo Rojas	\$600	\$1.200	indefinido	
Total				\$3.408		

IX. CONCLUSIONES

Se concluye que la integración de componentes electrónicos mediante el uso de placas PCB diseñadas específicamente para el sistema de grabado láser permite una mayor eficiencia y fiabilidad en el control de los procesos. La correcta organización y conexión de los Arduinos, CNC Shield, y drivers A4988, así como la implementación de comunicación serial, son fundamentales para el funcionamiento coordinado del sistema.

El diseño modular utilizando perfiles de aluminio y componentes robustos ha demostrado ser eficaz para soportar las exigencias mecánicas del sistema de grabado láser. La estructura no solo proporciona estabilidad, sino que también facilita futuras modificaciones y mantenimientos, lo que es crucial para aplicaciones industriales.

La automatización del transporte de cajas mediante una banda transportadora controlada por un PLC, combinado con un sistema de grabado láser activado por sensores de proximidad y Arduino Nano, ha mostrado ser una solución efectiva para mejorar la eficiencia operativa. La sincronización precisa entre estos elementos garantiza un flujo de trabajo continuo y reduce tiempos de inactividad.

La realización de análisis estáticos utilizando herramientas como SolidWorks, aplicando el coeficiente de Poisson, ha sido esencial para validar la resistencia de los materiales y la estructura utilizada en el sistema. Estas simulaciones contribuyen a prever posibles fallos mecánicos y a mejorar el diseño antes de la fabricación final.

La documentación detallada y bien organizada del sistema, que incluye diagramas de circuitos, esquemas de conexión, y procedimientos operativos, es crucial para garantizar un mantenimiento eficiente y facilitar futuras expansiones del sistema. Esto asegura que el conocimiento adquirido durante el desarrollo se conserve y se pueda transmitir fácilmente a otros operadores o ingenieros.

X. RECOMENDACIONES

Realizar un análisis más profundo de la estructura modular del sistema láser, enfocándose en la resistencia y durabilidad de los perfiles de aluminio utilizados. Implementar simulaciones adicionales para diferentes escenarios de carga, utilizando coeficientes de Poisson y otras propiedades mecánicas relevantes para mejorar la precisión del diseño estructural.

Desarrollar un protocolo detallado para la integración y prueba del sistema electrónico, asegurando que todos los componentes (Arduino Nano, Arduino Uno, CNC Shield, drivers A4988) funcionen de manera coordinada. Incluir pruebas de comunicación serial y sincronización de señales entre los Arduinos y el PLC para evitar fallos durante el proceso de grabado y transporte.

Revisar el diseño de la PCB con un enfoque en la minimización del ruido eléctrico y la interferencia en la comunicación serial. Considerar el uso de técnicas avanzadas de apantallamiento y la separación de pistas de alta y baja señal para mejorar la fiabilidad del sistema en entornos industriales.

Ampliar el sistema de control para permitir una mayor automatización del proceso de transporte y grabado. Esto podría incluir la implementación de sensores adicionales y la integración con sistemas SCADA para un monitoreo y control remoto más avanzado, lo que incrementará la eficiencia y la capacidad de respuesta del sistema.

Crear una documentación exhaustiva que incluya diagramas de circuito, esquemas de conexión, y procedimientos de instalación y mantenimiento. Asegurar que el diseño modular de la estructura y el circuito electrónico permita futuras expansiones o modificaciones sin necesidad de una reestructuración completa del sistema.

REFERENCIAS

- [1] M. T. Shahid, M. Ammar Khan y M. Z. Khan, «Design and Development of a Computer Numeric Controlled 3D Printer, Laser Cutter and 2D Plotter all in one machine,» en *2019 16th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology (IBCAST)*, 2019, págs. 569-575. DOI: 10.1109/IBCAST.2019.8667138.
- [2] K. Wu, J. Xu y M. Zheng, «Industry 4.0: review and proposal for implementing a smart factory,» *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, mayo de 2024, ISSN: 1433-3015. DOI: 10.1007/s00170-024-13839-7. dirección: <https://doi.org/10.1007/s00170-024-13839-7>.
- [3] T. Vogel, B. Gernhardt y M. Hemmje, «Integrating Smart Production Planning Into Smart Production,» en *NOMS 2020 - 2020 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*, 2020, págs. 1-6. DOI: 10.1109/NOMS47738.2020.9110364.
- [4] A. Adam, T.-H. Sam, K. Latif et al., «Review on Advanced CNC Controller for Manufacturing in Industry 4.0,» en *Enabling Industry 4.0 through Advances in Manufacturing and Materials*, A. S. Abdul Sani, M. N. Osman Zahid, M. R. Mohamad Yasin et al., eds., Singapore: Springer Nature Singapore, 2022, págs. 261-269, ISBN: 978-981-19-2890-1.
- [5] «IEEE Approved Draft Guide for Safety Specification of Laser Transmission in High-Power Industrial Laser System,» *IEEE P2066/D6, July 2021*, págs. 1-15, 2021.
- [6] E. Equipo editorial. «Neologismo.» De: Argentina. Para: Concepto.de. Última edición: 13 de junio de 2022. Consultado: 31 mayo, 2024. (2022).
- [7] U. Mishra, T. Gupta, M. Chhimwal y R. Rana, «Design and Development of Arduino Based CNC Laser Engraver,» en *Advances in Industrial and Production Engineering*, R. K. Phanden, R. Kumar, P. M. Pandey y A. Chakraborty, eds., Singapore: Springer Nature Singapore, 2023, págs. 417-424, ISBN: 978-981-99-1328-2.
- [8] Novatroni CEC. «Módulo de Grabado Láser 500mW.» (Fecha de acceso: 2024-05-30), dirección: <https://novatronicec.com/index.php/product/modulo-de-grabado-laser-500mw/>.
- [9] S. AG, *S7-1500 Procesamiento de Valores Analógicos*, Accessed: 2024-05-26, 2014. dirección: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/094/67989094/att_57774/v1/s71500_analog_value_processing_manual_es-ES_es-ES.pdf.
- [10] ResearchGate. «Figura 11: Señales analógicas.» (Fecha de acceso: 2024-05-30), dirección: https://www.researchgate.net/figure/Figura-11-Senales-analogicas_fig1_308174674.
- [11] S. AG, *LOGO! Basic*, https://wbt.siemens.com/sitrain/LOGO-BASIC_ES/story_html5.html?lms=1, Accessed: 2024-05-26.
- [12] H. Kenny. «Señal y Tipos.» (Fecha de acceso: 2024-05-30), dirección: http://hkenny.mex.tl/1476571_Senal-y-Tipos.html.
- [13] C. Madritsch, «Embedded Systems Engineering Education Using Cost Effective Pocket Labs Platform,» en *Artificial Intelligence and Online Engineering*, M. E. Auer, S. A. El-Seoud y O. H. Karam, eds., Cham: Springer International Publishing, 2023, págs. 92-100, ISBN: 978-3-031-17091-1.
- [14] Bricogeek. «Raspberry Pi 5 8 GB.» (Fecha de acceso: 2024-05-30), dirección: <https://tienda.bricogeek.com/placas-raspberry-pi/1861-raspberry-pi-5-8-gb.html>.
- [15] Arduino. «Arduino Uno Rev3 Datasheet.» Accessed: 2024-05-26. (2024), dirección: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf>.
- [16] RedGPS. «Arduino Uno.» (Fecha de acceso: 2024-05-30), dirección: <https://www.redgps.com/dispositivos-iot/arduino-uno>.
- [17] Arduino. «Arduino Uno Rev3.» Accessed: 2024-05-26. (2024), dirección: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>.
- [18] M. Mustafa, W. Hasan, M. Hassan, M. A. Kadir, N. Azis y M. Yusoff, «Structural Design of Cartesian Vacuum System for Loose Fruit Collector (LFC) Machine,» en *2019 IEEE International Circuits and Systems Symposium (ICSyS)*, 2019, págs. 1-4. DOI: 10.1109/ICSyS47076.2019.8982497.

- [19] Electrocomponentes.es. «CNC Shield V3 Expansion Board Compatible con Arduino A4988 DRV8825 Placa Cortadora.» (Fecha de acceso: 2024-05-30), dirección: <https://www.electrocomponentes.es/shield/803-cnc-shield-v3-expansion-board-comparable-con-arduino-a4988-drv8825-placa-cortadora.html>.
- [20] S. Rahmat, R. P. Dewi y N. Sartika, «The Development of a Low-Cost Two-Axis CNC Laser Engraver with a Bluetooth Connection,» en *2023 17th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications (TSSA)*, 2023, págs. 1-6. DOI: 10.1109/TSSA59948.2023.10366983.
- [21] Wolf Electronics. «CNC Shield.» (Fecha de acceso: 2024-05-30), dirección: https://wolfelectronics.net/products/shield_cnc.
- [22] A.-A. POP y E.-D. MAER, «Control technique for unipolar and bipolar step motor using Arduino and LabVIEW,» en *2021 XVIII International Scientific Technical Conference Alternating Current Electric Drives (ACED)*, 2021, págs. 1-5. DOI: 10.1109/ACED50605.2021.9462286.
- [23] Lerdge. «Motor paso a paso de 42.» (Fecha de acceso: 2024-05-30), dirección: <https://es.shop.lerdge.com/products/42-stepper-motor>.
- [24] D. Hu, K. Wang, L. Zhang et al., «Research on tool presetting and tool deviation in CNC lead screw grinding process,» *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 121, págs. 827-835, 2022, Accessed: 2024-05-26. DOI: 10.1007/s00170-022-09357-z. dirección: <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2582/10.1007/s00170-022-09357-z>.
- [25] Drobots. «Varilla roscada 8mm para impresora 3D y CNC.» (Fecha de acceso: 2024-05-30), dirección: <https://drobots.wixsite.com/drobots/product-page/varilla-roscada-8mm-p-impresora-3d-y-cnc-kflo8>.
- [26] X. Jiang, M. Namokel, J. Wu y W. Jiang, «Control System Design for Belt Conveyor,» en *Advanced Manufacturing and Automation XIII*, Y. Wang, T. Yu y K. Wang, eds., Singapore: Springer Nature Singapore, 2024, págs. 538-546, ISBN: 978-981-97-0665-5.
- [27] Wallapop. «Motor de baja velocidad AC 220V bajo ruido 10 RPM.» (Fecha de acceso: 2024-05-30), dirección: <https://es.wallapop.com/item/motor-de-baja-velocidad-ac-220v-bajo-ruido-10-rpm-1002301817>.
- [28] W. Hu, «Remote Monitoring System of PLC Communication Security Based on Deep Learning Algorithm,» en *2022 6th Asian Conference on Artificial Intelligence Technology (ACAIT)*, 2022, págs. 1-9. DOI: 10.1109/ACAITS6212.2022.10137995.
- [29] Autycom. «SIMATIC S7-1500: aliado para mayor productividad.» (Fecha de acceso: 2024-05-30), dirección: <https://www.autycom.com/simatic-s7-1500-aliado-para-mayor-productividad/>.
- [30] M. J. Andrade Peñafiel y D. I. Hurtado Berrezueta. «Repository Entry for Thesis or Document.» Accessed: 2024-05-26. (2024), dirección: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25976>.
- [31] Vymperu. «Faja Transportadora.» (Fecha de acceso: 2024-05-30), dirección: <https://vymperu.com/productos/alimentador-transportador-faja-transportadora/faja-transportadora/>.
- [32] C. Guo, X. Zan y Q. Li, «Research on Single-Phase Power Starts Three-Phase Asynchronous Motor by Thyristor Controlled Reactor,» en *2020 Asia Energy and Electrical Engineering Symposium (AEEES)*, 2020, págs. 101-105. DOI: 10.1109/AEEES48850.2020.9121529.
- [33] N. Electronics, *¿Cuáles son las fallas más comunes en los motores trifásicos y cómo protegerse?* <https://nassarelectronics.com/protecciones-electricas/cuales-son-las-fallas-mas-comunes-en-los-motores-trifasicos-y-como-protegerse/>, Accessed: 2024-08-06, 2024.
- [34] L. Bengtsson, «Sensors,» en *Electrical Measurement Techniques: For the Physics Laboratory*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2024, págs. 33-76, ISBN: 978-981-99-8187-8. DOI: 10.1007/978-981-99-8187-8_3. dirección: https://doi.org/10.1007/978-981-99-8187-8_3.
- [35] Slideshare. «ICI 2.1 Tema 1.» (Fecha de acceso: 2024-05-30), dirección: <https://es.slideshare.net/slideshow/ici-opcunidad-2tema-1-41931094/41931094>.
- [36] A. Mello, E. Oroski, V. Frencl et al., «System identification and tuning applied to pseudo open loop control in multi-conjugate adaptive optics,» *Journal of Astrophysics and Astronomy*, vol. 43, n.º 61, 2022. DOI: 10.1007/s12036-022-09846-3. dirección: <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2582/10.1007/s12036-022-09846-3>.
- [37] S. Altamirano, *Sistemas de control en lazo abierto y cerrado*, <https://blog.suileraltamirano.com/contenido06-sistemas-de-control-en-lazo-abierto-y-cerrado/>, Accessed: 2024-08-06, 2024.

- [38] W. Borutzky, «Closed-Loop Systems,» en *Linear Multivariable Control Engineering Using GNU Octave*, Cham: Springer, 2024. dirección: https://bibliotecas.ups.edu.ec:2582/10.1007/978-3-031-44508-8_8.
- [39] Sina Drives, *Control de Maquinaria: Control en Lazo Abierto y Cerrado*, [Online; accessed 9-August-2024], 2024. dirección: <https://sinadrives.com/es/control-de-maquinaria-control-en-lazo-abierto-cerrado/>.
- [40] T. P. Mussolini, F. G. R. Ramos, R. L. Moreno y T. C. Pimenta, «Implementation of an I2C to Profibus Serial Communication Interface,» en *2019 MIXDES - 26th International Conference "Mixed Design of Integrated Circuits and Systems"*, 2019, págs. 390-393. DOI: 10.23919/MIXDES.2019.8787091.
- [41] R. Argentina, *¿Qué es la comunicación serie?* <https://robots-argentina.com.ar/didactica/que-es-la-comunicacion-serie/>, Accessed: 2024-08-09, 2024.
- [42] W. Wang, «Optimization of UART Communication Protocol Based on Frequency Multiplier Sampling Technology and Asynchronous FIFO,» en *2023 IEEE 2nd International Conference on Electrical Engineering, Big Data and Algorithms (EEBDA)*, 2023, págs. 280-285. DOI: 10.1109/EEBDA56825.2023.10090630.
- [43] 3. Ohms, *Mejora tu programación en Arduino: Comunicación UART*, <https://www.330ohms.com/blogs/blog/mejora-tu-programacion-en-arduino-comunicacion-uart>, Accessed: 2024-08-09, 2024.
- [44] V. Shynkarenko, A. Makki, V. Kotliarova y A. Shymanska, «Modular Principle in the Structural organization and Evolution of Electromechanical Objects,» en *2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*, 2019, págs. 162-165. DOI: 10.1109/MEES.2019.8896446.
- [45] Production Tools, *Perfilería de Aluminio*, <https://productiontools.es/lean/perfileria-aluminio/>, Accessed: 2024-08-06, 2024.
- [46] E. D. Kanygina, O. V. Denisova e I. V. Rastvorova, «Optical and Electrical Control in Printed Circuit Board Manufacturing,» en *2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)*, 2019, págs. 536-538. DOI: 10.1109/EIConRus.2019.8656918.
- [47] CIFPN1, *Electrónica - Qué es una PCB (Placa de Circuito Impreso)*, <https://cifpn1.com/electronica/?p=6402>, Accessed: 2024-08-10, 2024.
- [48] G. Martinov, R. Pushkov, L. Martinova et al., «Trusted CNC System Based on the AxiOMA Control Platform,» *Russian Engineering Research*, vol. 43, págs. 1279-1283, 2023. DOI: 10.3103/S1068798X23100209. dirección: <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2582/10.3103/S1068798X23100209>.
- [49] L. Project, *Máquinas Láser CNC: Ventajas*, <https://www.laserproject.es/maquinas-laser-cnc-ventajas/>, Accessed: 2024-08-10, 2024.
- [50] Y. Wang, X. Lu, Z. Cheng, S. Zhang e Y. Shi, «Recent advances in laser-assisted additive manufacturing: A comprehensive review,» *Optics & Laser Technology*, vol. 145, pág. 107 540, 2023.
- [51] J. Li, S. Liu, L. Liu y L. Wang, «Applications of laser technology in precision machining: A review,» *Optics & Laser Technology*, vol. 140, pág. 107 246, 2022.
- [52] J. Yang, Y. He y X. Wang, «Laser surface texturing for friction reduction: A review,» *Optics & Laser Technology*, vol. 138, pág. 106 975, 2021.
- [53] J. Zhang, X. Huang, X. Wang y L. Li, «Laser welding of dissimilar metals: A review,» *Optics & Laser Technology*, vol. 134, pág. 106 514, 2020.
- [54] H. Liu, Y. He y C. Chen, «Recent advances in laser-based micro/nano manufacturing: A review,» *Optics & Laser Technology*, vol. 129, pág. 106 318, 2019.
- [55] LaserGRBL, *LaserGRBL*, <https://lasergrbl.com/>, Accessed: 2024-08-18, 2024.
- [56] HW Group, *Hercules Setup Utility*, <https://www.hw-group.com/software/hercules-setup-utility>, Accessed: 2024-08-18, 2024.
- [57] Z. Wang, T. Zhao y Z. Shu, «Communication Scheme of Master-Slave Control System for Cascaded Inverter,» en *2022 IEEE 17th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, 2022, págs. 94-99. DOI: 10.1109/ICIEA54703.2022.10005935.
- [58] HowToMechatronics. «Simplest CNC Machine with Minimum Parts Possible – DIY Laser Engraver.» Accedido: 17-ago-2024. (2024), dirección: <https://howtomechatronics.com/projects/simplest-cnc-machine-with-minimum-parts-possible-diy-laser-engraver/>.

- [59] «Book Subtitle,» en *30th International Symposium, SAS 2023, Cascais, Portugal, October 22–24, 2023, Proceedings*, M. V. Hermenegildo y J. F. Morales, eds. Springer Cham, 2023. DOI: <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2582/10.1007/978-3-031-44245-2>.
- [60] S. Madhira y S. Deshmukh, «Poisson Process,» en *Introduction to Stochastic Processes Using R*. Singapore: Springer, 2023. dirección: https://bibliotecas.ups.edu.ec:2582/10.1007/978-981-99-5601-2_7.
- [61] M. Martins, J. Duque, K. Soares y M. Orlando, «Thermal Analysis of Recycled Plastics,» en *Recent Developments in Plastic Recycling*, ép. Composites Science and Technology, J. Parameswaranpillai, S. Mavinkere Rangappa, A. Gulihonnehalli Rajkumar y S. Siengchin, eds., Singapore: Springer, 2021. dirección: https://bibliotecas.ups.edu.ec:2582/10.1007/978-981-16-3627-1_10.
- [62] M. Culqui, J. Quispe y L. Vines, «Simulation of a mechanical prototype for the extraction of soil sampling using PETG and PLA material,» en *2023 IEEE XXX International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON)*, 2023, págs. 1-8. DOI: 10.1109/INTERCON59652.2023.10326067.
- [63] A. V. Sosnovsky, V. V. Kalugin, A. S. Musatkin y M. M. Burakov, «Investigation of Multilayer PCB Manufacturing Technology for Flip-Chip Mounting of Microwave Chip,» en *2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIconRus)*, 2020, págs. 2198-2201. DOI: 10.1109/EIconRus49466.2020.9039077.

ANEXO A
PLANOS

Planos de las piezas acotadas en SolidWORKS:

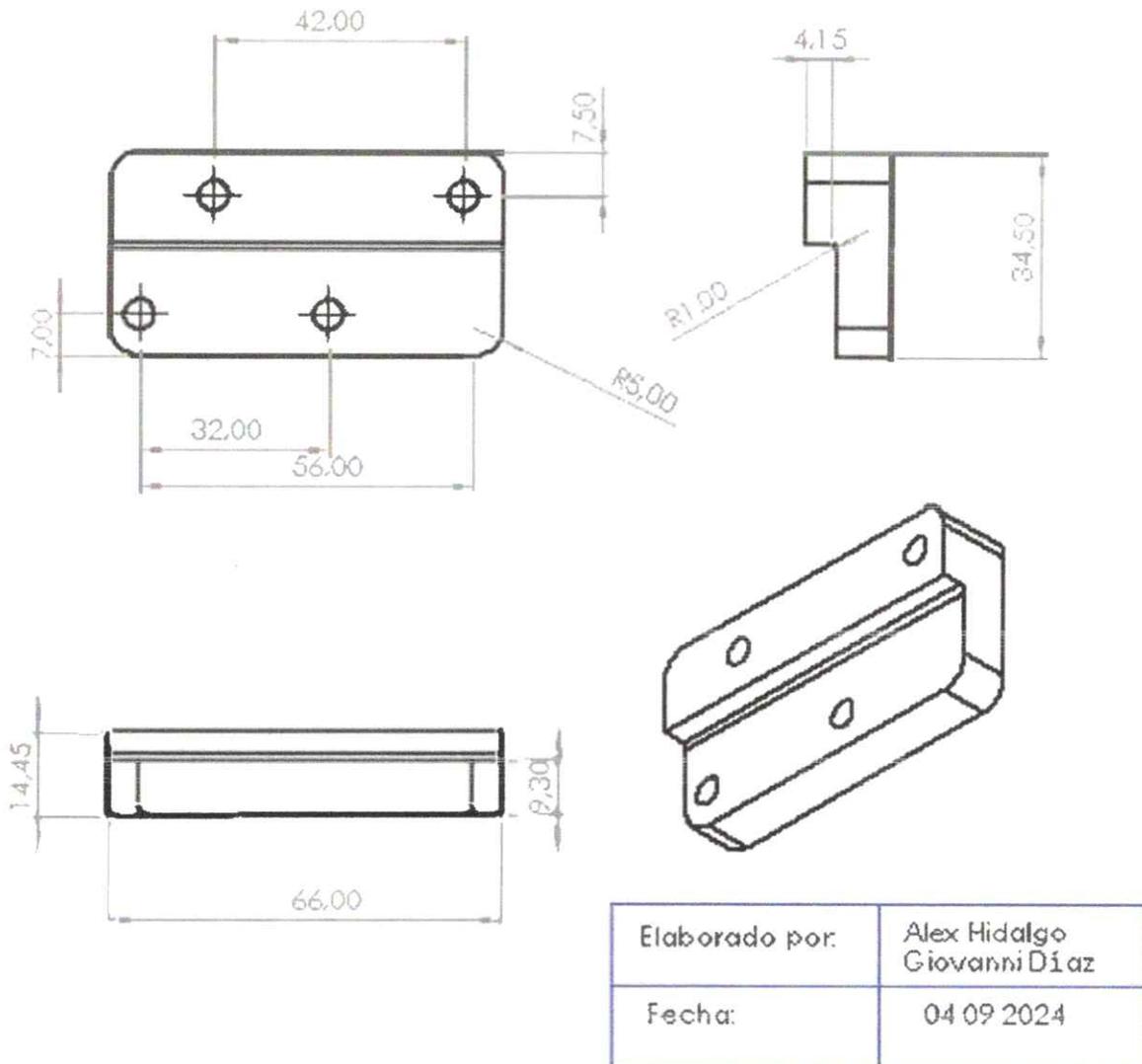
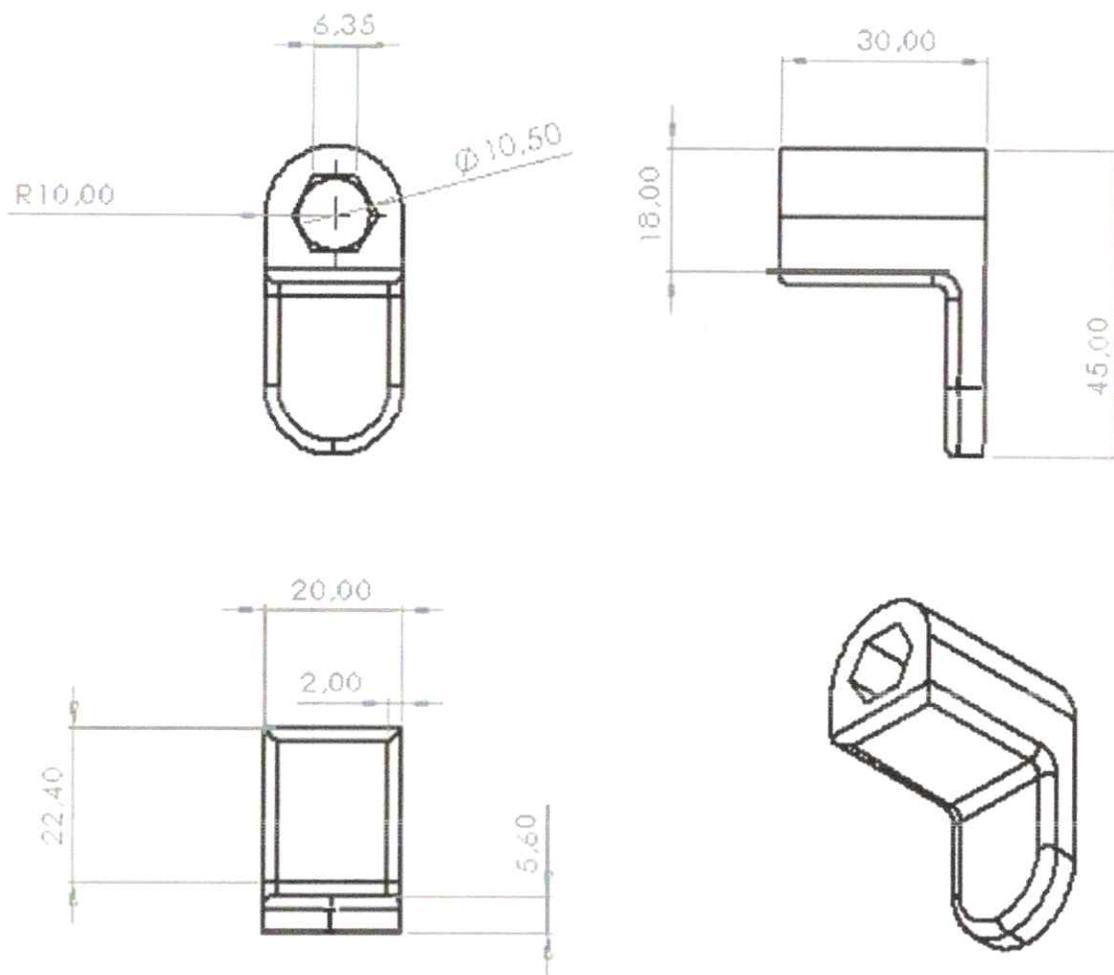
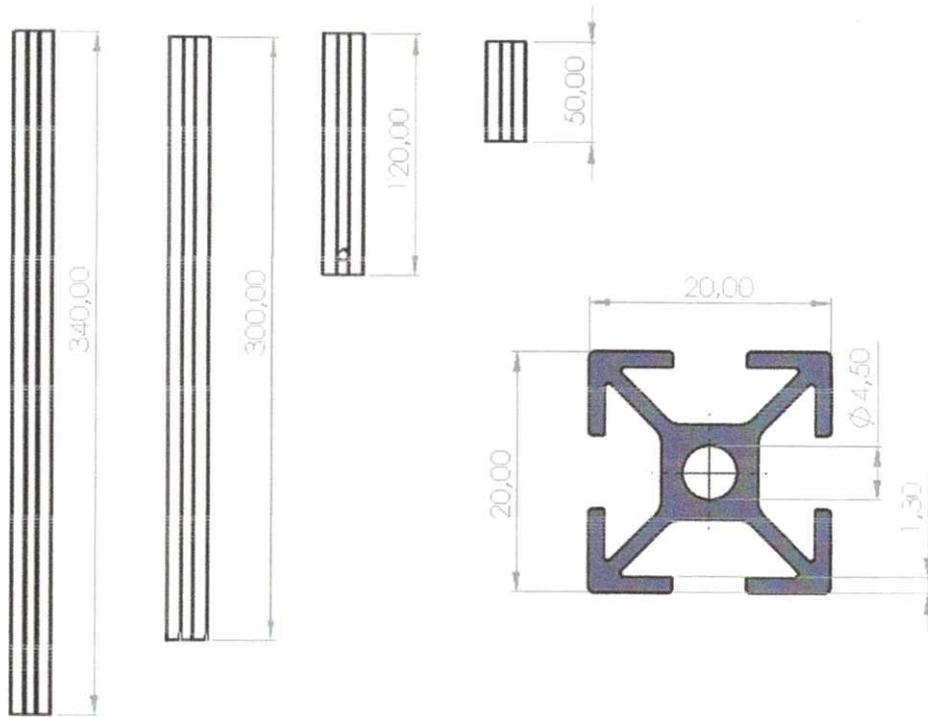


Figura 76. Lámina acotada del soporte para chumacera y sujetador de eje. Fuente: Autores



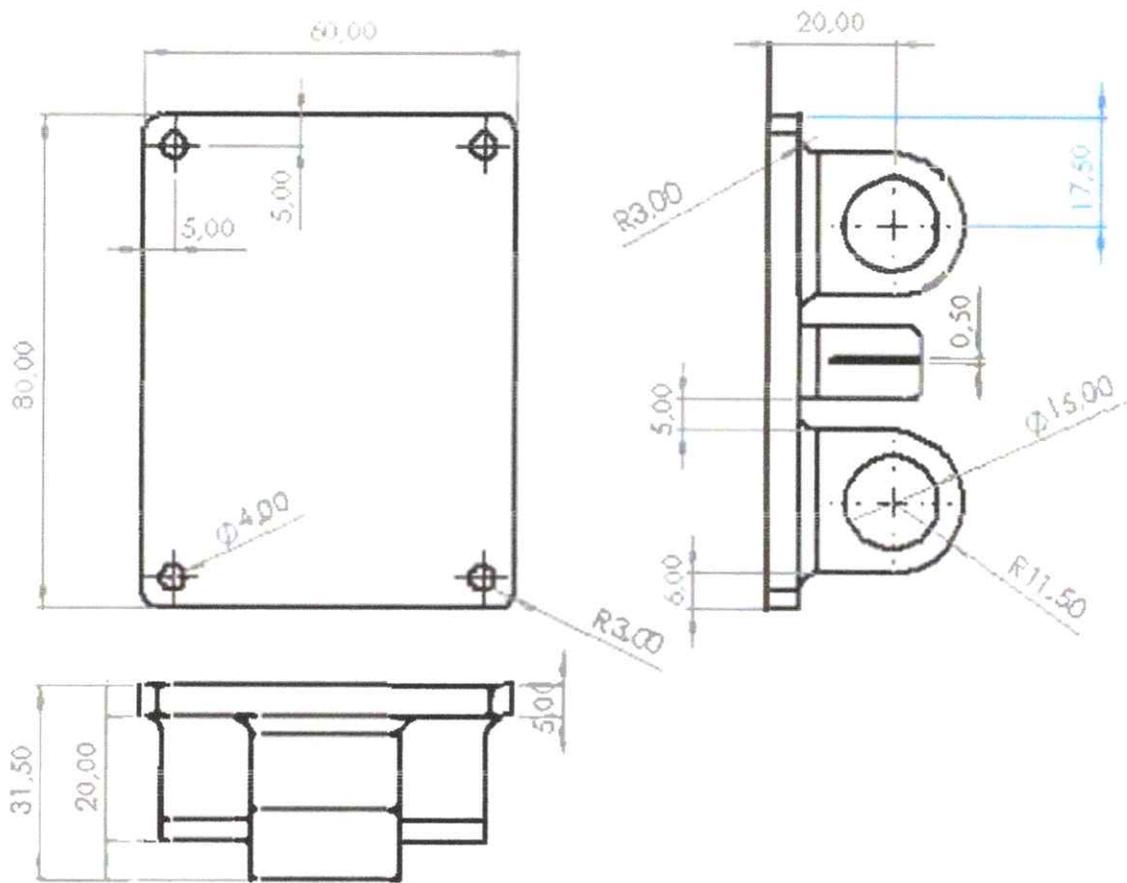
Elaborado por:	Alex Hidalgo Giovanni Díaz
Fecha:	04 09 2024

Figura 77. Lámina acotada de la pieza Topes. Fuente: Autores



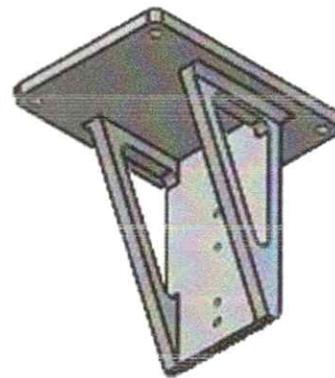
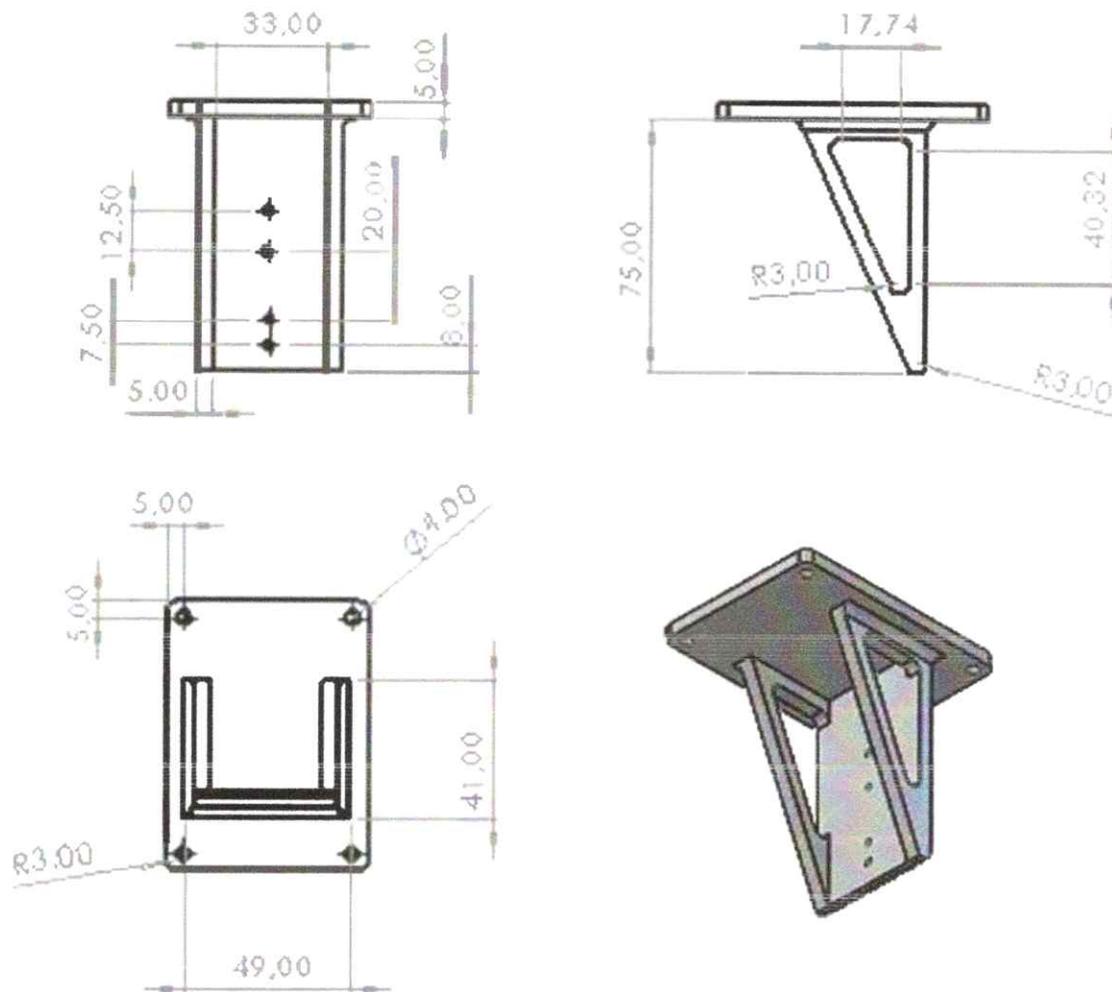
Autor:	Alex Hidalgo, Giovanni Díaz
Fecha:	04 09 2024

Figura 78. Lámina acotada de la vista frontal del perfil de 20x20 cm utilizado. Fuente: Autores



Eaborado por:	Alex Hidalgo Giovanni Díaz
Fecha:	04 09 2024

Figura 79. Lámina acotada de la primera pieza del sujetador del láser. Fuente: Autores



Elaborado por:	Alex Hidalgo Giovanni Díaz
Fecha:	04 09 2024

Figura 80. Lámina acotada de la segunda pieza del sujetador del láser. Fuente: Autores

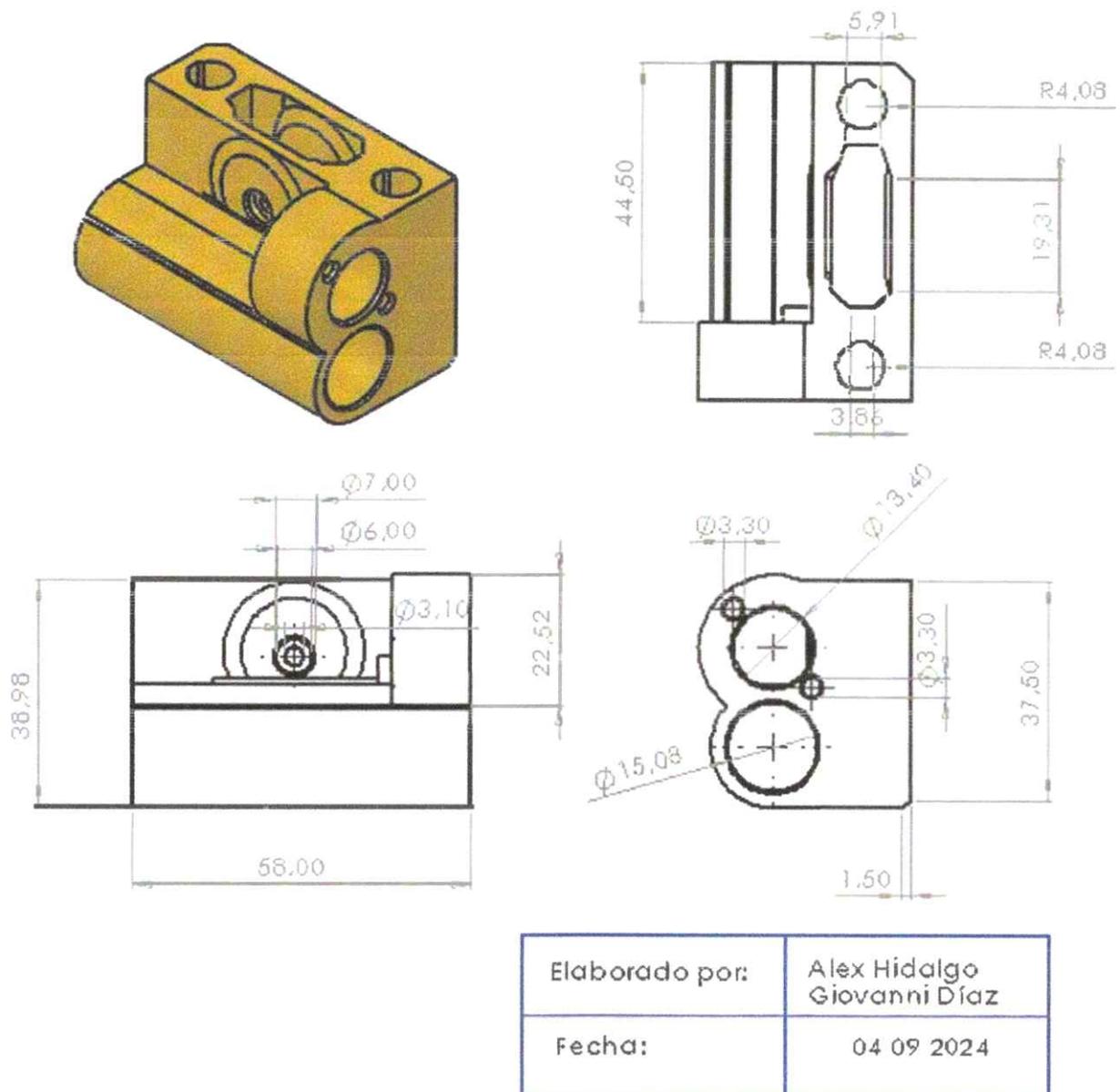
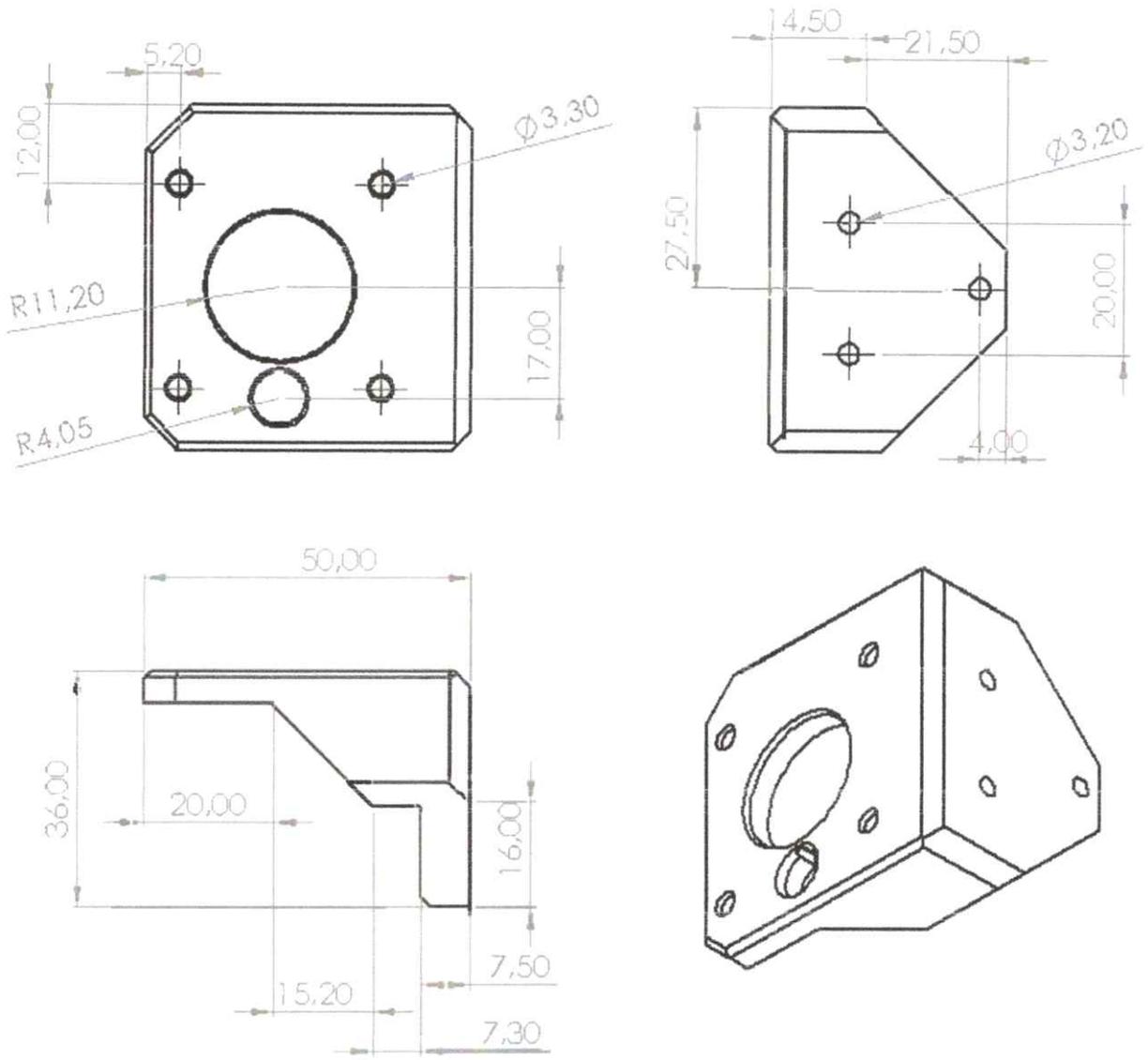
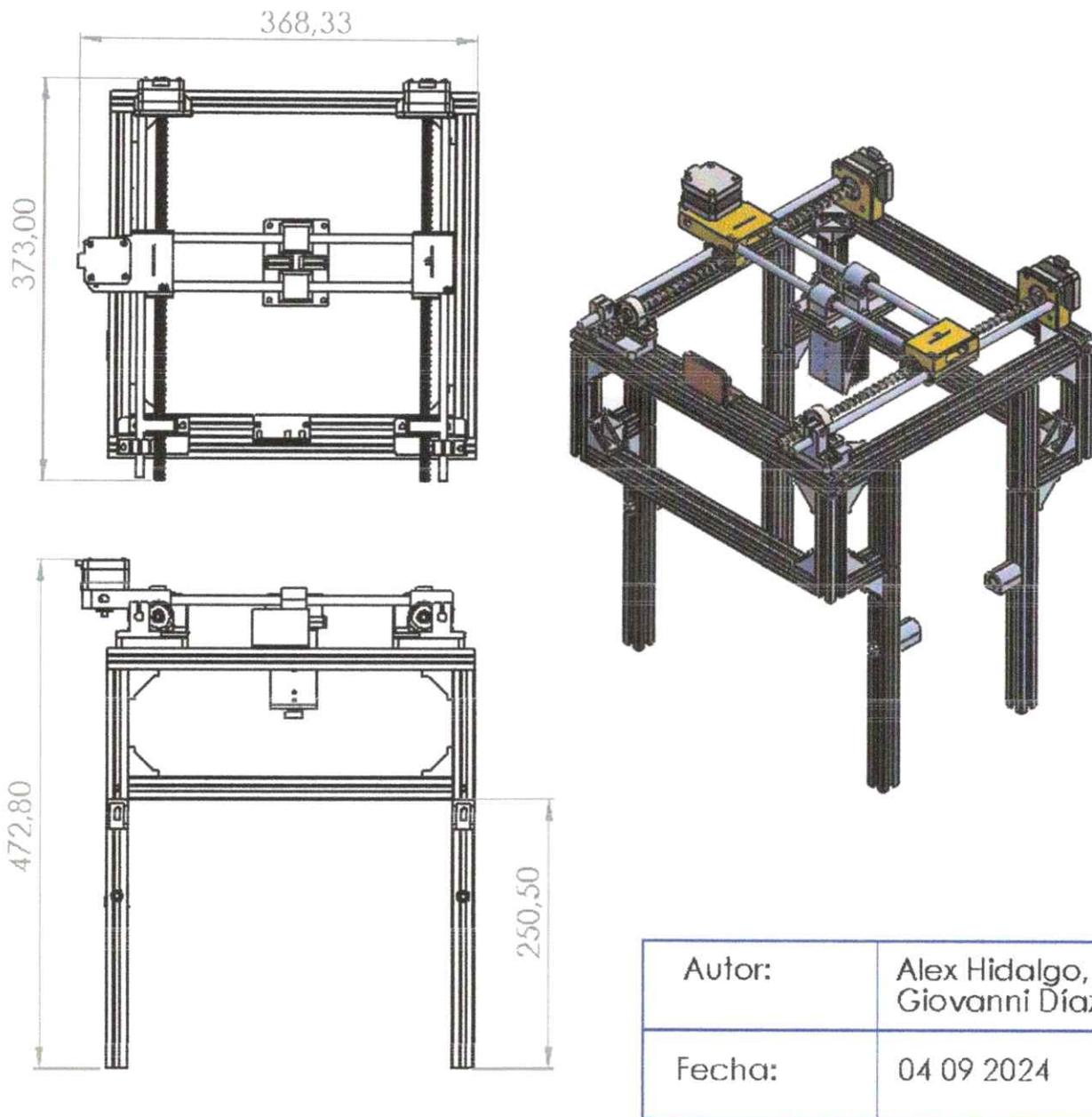


Figura 81. Lámina acotada del sujetador del eje X/Y. Fuente: Autores



Autor:	Alex Hidalgo, Giovanni Díaz
Fecha:	04 09 2024

Figura 82. Lámina acotada del sujetador de los motores del eje x. Fuente: Autores



Autor:	Alex Hidalgo, Giovanni Díaz
Fecha:	04 09 2024

Figura 83. Lámina acotada del bastidor modular de el láser. Fuente: Autores

ANEXO B

REPOSITORIO DE CÓDIGOS DE LAS TARJETAS ARDUINO PARA FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA CNC

<https://github.com/AlexElectron01/Codigo-Arduino-Maestro-Tesis-CNC-LASER/tree/main>

ANEXO C

PROCESO DE FABRICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA



Figura 84. Colocación de la estructura sobre la banda transportadora. Fuente: Autores



Figura 85. Ubicación de la estructura sobre la banda transportadora. Fuente: Autores



Figura 86. Proceso de elaboración PCB. Fuente: Autores

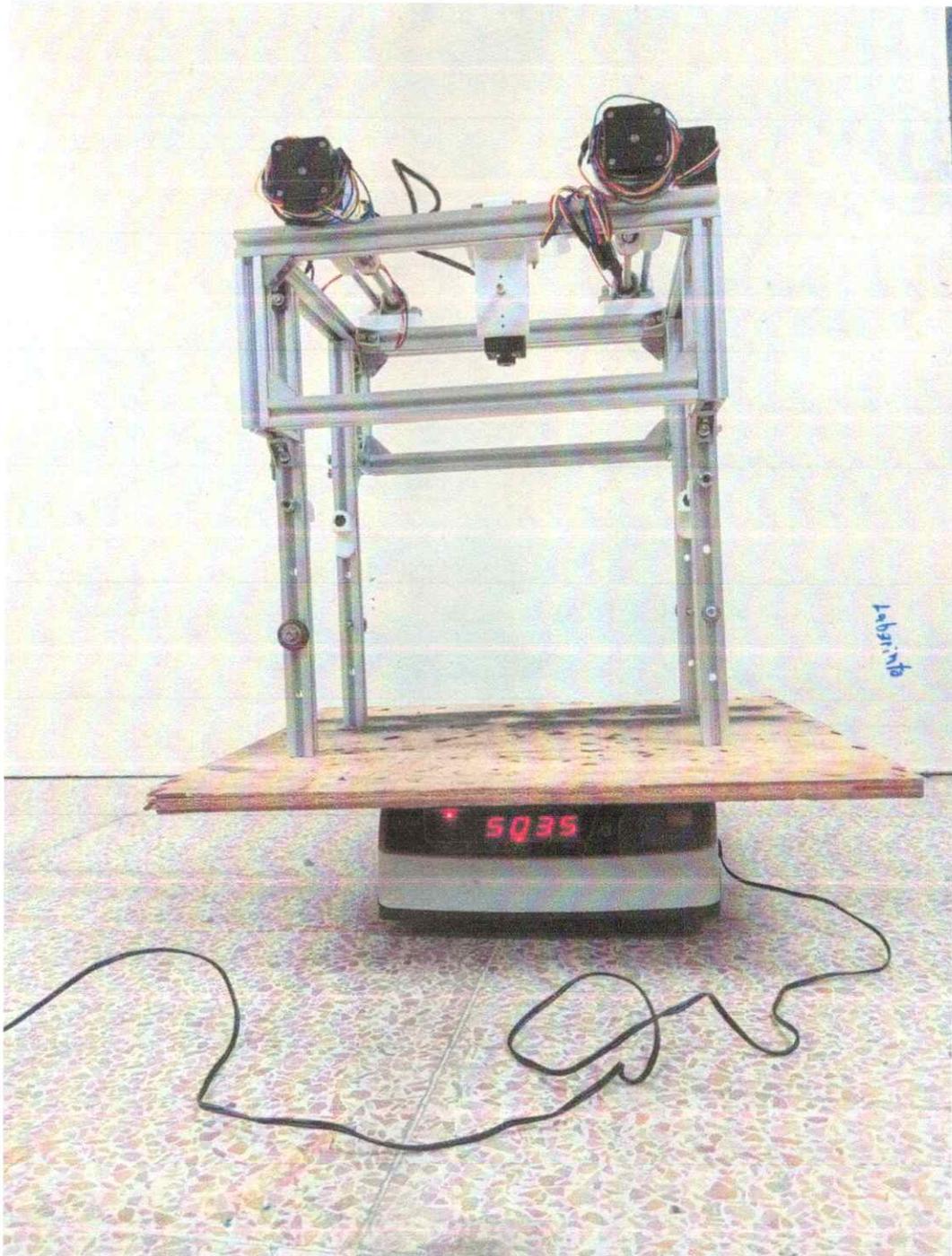


Figura 87. Proceso de toma de peso del sistema. Fuente: Autores

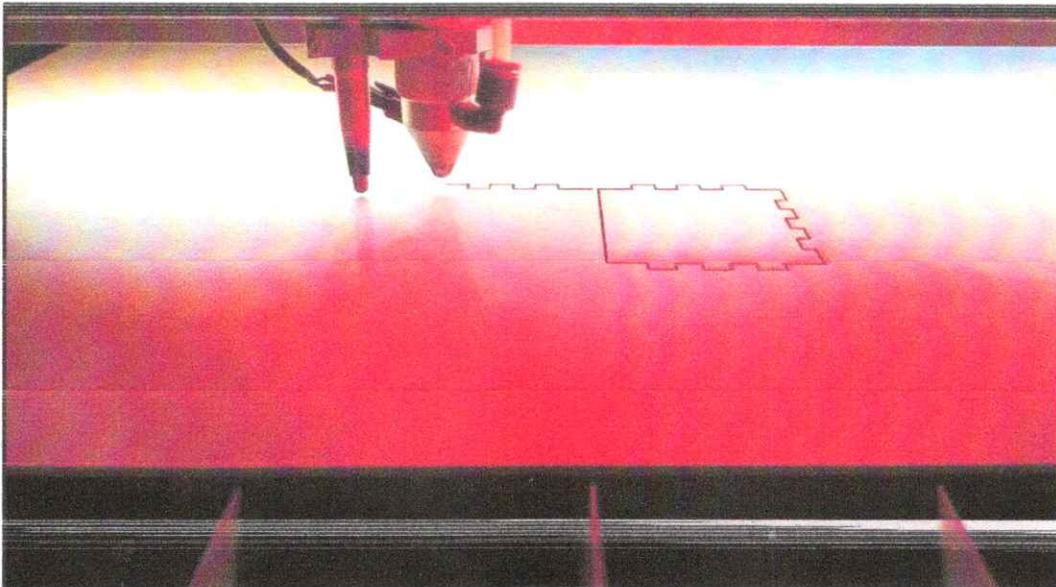


Figura 88. Corte láser de las cajas de prueba para grabado. Fuente: Autores

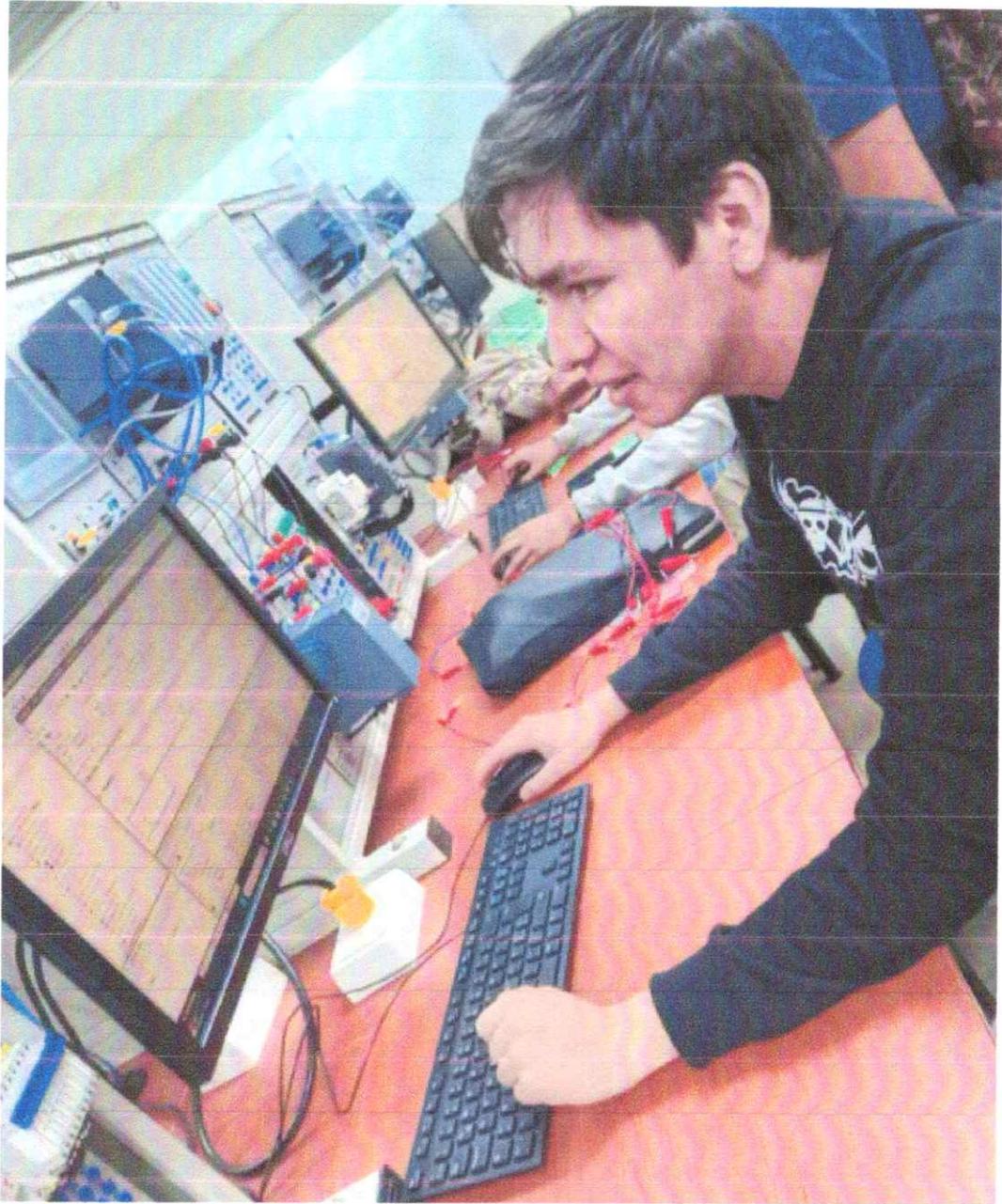


Figura 89. Programación de banda y sistema de grabado. Fuente: Autores

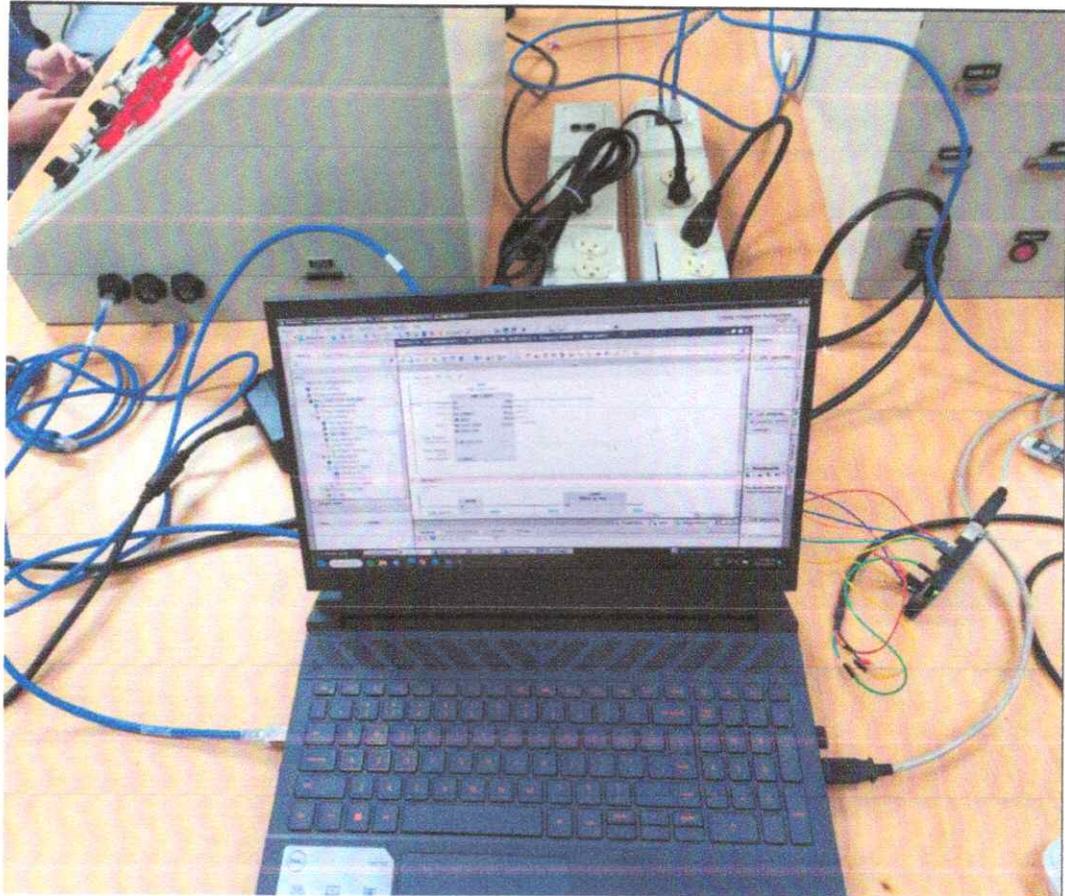


Figura 90. Conexión PLC / Arduino. Fuente: Autores

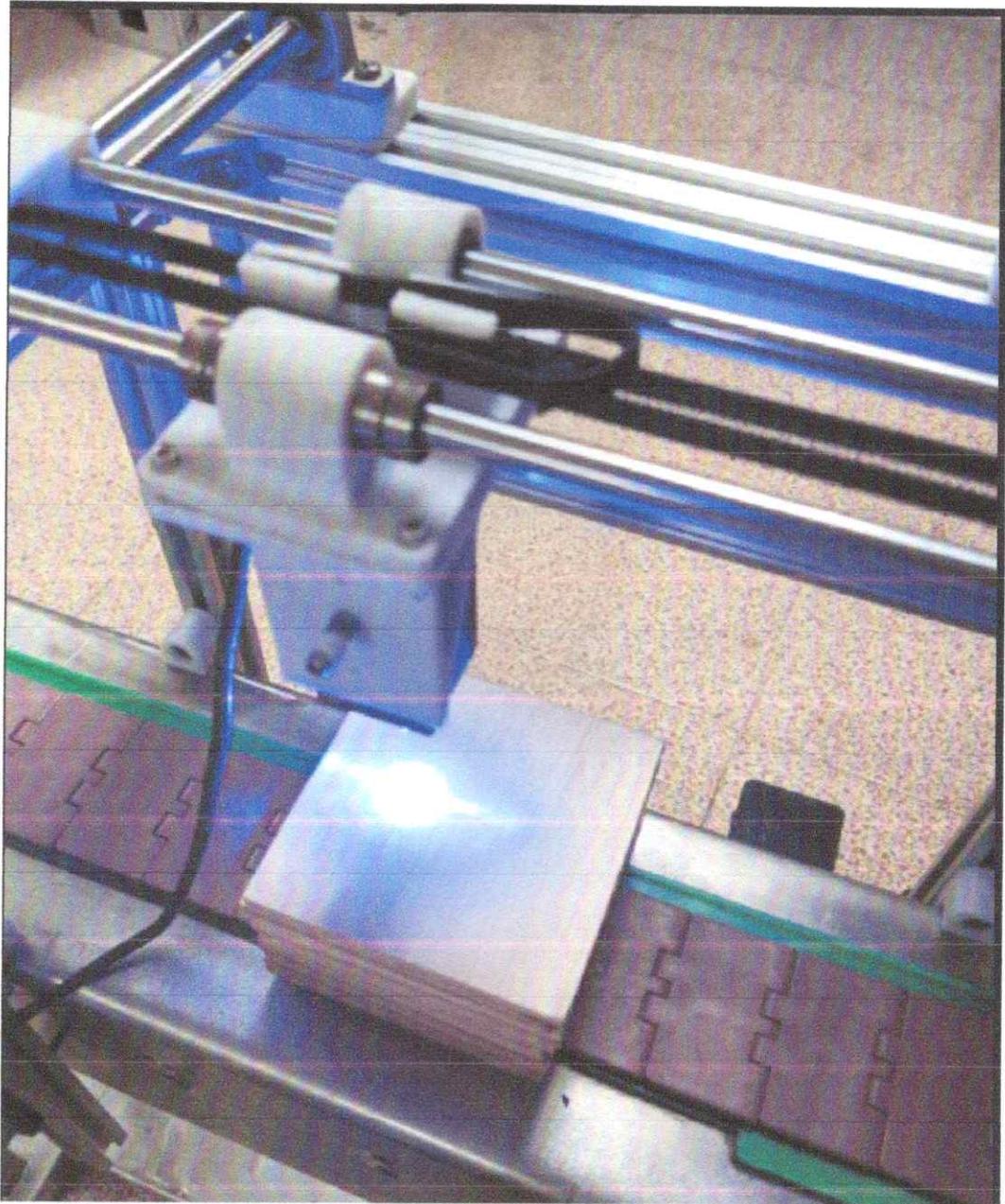


Figura 91. Pruebas de grabado. Fuente: Autores

Apariencia Rayado Personalizado Datos de aplicación Favoritos Chapa metálica

Propiedades de material

No se pueden editar los materiales en la biblioteca predeterminada. Para editar un material, cópielo primero a una biblioteca personalizada.

Tipo de modelo: Guardar tipo de modelo en la biblioteca

Unidades:

Categoría:

Nombre:

Criterio de fallos predeterminado:

Descripción:

Origen:

Sostenibilidad:

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2020	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.33	N/D
Módulo cortante	318.9	N/mm ²
Densidad de masa	2171.85	kg/m ³
Límite de tracción	50	N/mm ²
Límite de compresión		N/mm ²
Límite elástico	68.94	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica	6.8e-05	/K
Conductividad térmica	0.2	W/m·K

Agrega Guardar Config. **Aplicar** Cerrar Ayuda



Figura 93. Ensamblaje del bastidor. Fuente: Autores



Figura 94. Foto grupal de los Autores. Fuente: Autores