UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

“DISEÑO DE UNA MÁQUINA LÁSER PARA EL CORTE DE TELA 100 % ALGODÓN EN LA PEQUEÑA INDUSTRIA”

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA

Línea de investigación: Producción industrial y tecnología sostenible

AUTOR:

Carlos Andres Pineda Realpe

DIRECTOR:

Ing. Fernando Vinicio Valencia Aguirre, MSc.

Ibarra – Ecuador 2025

CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 28 de Febrero de 2023

MSc. Fernando Vinicio Valencia Aguirre

DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de titulación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Unidad Académica de la Universidad Técnica del Norte, en consecuencia, autorizo su presentación para los fines pertinentes.

(f)……

MSc. Fernando Vinicio Valencia Aguirre

C.C.:1003188669

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Tribunal Examinador del trabajo de titulación "**DISEÑO DE UNA MÁQUINA LÁSER PARA EL CORTE DE TELA 100 % ALGODÓN EN LA PEQUEÑA INDUSTRIA**" elaborado por Pineda Realpe Carlos Andres, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica, aprueba el presente informe de investigación de la Universidad Técnica del Norte:

(f)……

MSc. Fernando Vinicio Valencia Aguirre

Director de Trabajo de Grado

(f)……

PhD. Ojeda Peña, David Alberto

Asesor de Trabajo de Grado

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1050098878		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Pineda Realpe Carlos Andres		
DIRECCIÓN:	Ibarra, calle Río Palora 1-26 & Río Chimbo		
EMAIL:	capinedar@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	NA	**TELÉFONO MÓVIL:**	0963637044

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Diseño de una máquina láser para el corte de tela 100 % algodón en la pequeña industria
AUTOR (ES):	Pineda Realpe Carlos Andres
FECHA: DD/MM/AAAA	05/03/2025
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	■ **PREGRADO** ☐ **POSGRADO**
TITULO POR EL QUE OPTA:	**Ingeniero en mecatrónica**
ASESOR /DIRECTOR:	**Ing. Fernando Vinicio Valencia Aguirre, MSc**

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 05 días del mes de marzo de 2025

EL AUTOR:

(Firma).....

Nombre: Carlos Andres Pineda Realpe

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis padres quienes me han brindado su apoyo incondicional y han sido el pilar fundamental a lo largo de mi vida y mi carrera.

A mi abuelita Esther, en paz descanse, que con su amor incondicional me crio de pequeño y quien desde el cielo me acompaña a cada paso.

A mis amigos que a lo largo de los años han sido un punto de apoyo tanto personal como académico, con los que compartimos tantos buenos momentos, en especial a los que han sido como mis hermanos y me han sabido brindar una mano en los momentos más difíciles.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo representa el esfuerzo y la dedicación de muchos años de estudio, pero no habría sido posible sin el apoyo incondicional de personas fundamentales en mi vida.

En primer lugar, quiero agradecer profundamente a mi familia, quienes han sido mi pilar en todo momento, por creer en mí incluso cuando yo dudaba, y por brindarme las herramientas necesarias para alcanzar mis metas.

A mis maestros, quienes me han guiado a lo largo de este camino compartiendo su conocimiento, y por exigirme siempre dar lo mejor de mí. Cada una de sus lecciones ha dejado una huella imborrable en mi formación, no solo académica, sino también personal.

A mis amigos y compañeros, con quienes compartí largas horas de trabajo, desvelos y momentos de aprendizaje. por su apoyo en los momentos difíciles y por hacer de esta etapa una experiencia inolvidable.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que, de una u otra manera, contribuyeron a que este proyecto llegara a su culminación. Cada palabra de aliento, cada consejo y cada gesto de apoyo han sido esenciales para alcanzar mis objetivos.

RESUMEN

El presente trabajo se centra en el diseño y desarrollo de una cortadora láser destinada a la pequeña industria textil, con el objetivo de mejorar la precisión en los cortes de tela y optimizar los procesos de producción. La implementación de esta máquina busca proporcionar una herramienta eficiente que agilice el trabajo en los talleres textiles, permitiendo realizar cortes con mayor exactitud y rapidez, lo que se traduce en una mejora en la calidad del producto final y en un incremento en la productividad del sector.

Para lograr este propósito, el diseño de la cortadora láser se ha desarrollado considerando cuidadosamente los requerimientos específicos de la industria textil. Se han analizado las necesidades de los pequeños talleres y fabricantes, tomando en cuenta factores como la velocidad de corte, la precisión, el tipo de materiales con los que trabajará la máquina y su facilidad de operación.

Además del diseño conceptual y estructural de la máquina, se han llevado a cabo los cálculos necesarios para asegurar su correcto funcionamiento. Se realizaron análisis detallados de los componentes mecánicos evaluando su desempeño mediante simulaciones. Estos estudios permiten validar la viabilidad del diseño, asegurando que los elementos seleccionados cumplan con los estándares requeridos para garantizar cortes de alta precisión y un rendimiento óptimo.

Otro aspecto clave del desarrollo de este proyecto fue la realización de pruebas de corte con diferentes tipos de tela. A través de estos ensayos, se pudo determinar la configuración ideal de la cortadora, incluyendo la potencia del láser, la velocidad de corte adecuados para su fabricación. Estas pruebas fueron fundamentales para ajustar y optimizar el diseño de la máquina, garantizando su eficacia y adaptabilidad a las necesidades de la industria textil.

ABSTRACT

The present work focuses on the design and development of a laser cutter intended for small-scale textile industries, with the objective of improving fabric cutting precision and optimizing production processes. The implementation of this machine aims to provide an efficient tool that streamlines work in textile workshops, allowing for more accurate and faster cuts. This, in turn, results in an improvement in the quality of the final product and an increase in the sector's productivity.

To achieve this goal, the design of the laser cutter has been developed by carefully considering the specific requirements of the textile industry. The needs of small workshops and manufacturers have been analyzed, taking into account factors such as cutting speed, precision, the types of materials the machine will work with, and ease of operation.

In addition to the conceptual and structural design of the machine, the necessary calculations have been carried out to ensure its proper functioning. Detailed analyses of the mechanical components were performed, evaluating their performance through simulations. These studies validate the feasibility of the design, ensuring that the selected components meet the required standards to guarantee high-precision cuts and optimal performance.

Another key aspect of this project's development was the execution of cutting tests with different types of fabric. Through these tests, the ideal configuration of the cutter was determined, including the appropriate laser power and cutting speed for its fabrication. These tests were essential for fine-tuning and optimizing the machine's design, ensuring its efficiency and adaptability to the needs of the textile industry.

Índice

1 Introducción 1
1.1 Planteamiento del Problema 2
1.2 Justificación 3
1.3 Objetivos 4
1.3.1 Objetivo General 4
1.3.2 Objetivos Específicos 4
1.4 Alcance 5

2. Marco Referencial 6
2.1 Antecedentes 6
2.2 Marco Teórico 9
2.2.1 Tecnología láser 10
2.2.2 Luz ordinaria y rayo láser 11
2.2.3 Aplicación del láser en la industria de la confección 22
2.2.4 Sistema CNC 28
2.2.5 Componentes de una máquina CNC láser 30
2.2.6 Máquinas CNC láser comercialmente disponibles 40
2.2.7 Generalidades de la fibra de algodón 40
2.2.8 Requerimientos mínimos para cortar tela de algodón 42

3. Marco Metodológico 44
3.1 Tipo de investigación 44
3.2 Diseño de la investigación 44
3.2.1 Fase 1: Determinar los parámetros principales para el diseño de la máquina 45
3.2.2 Fase 2: Diseñar la máquina con sus respectivos sistemas y parámetros preestablecidos. 45
3.2.3 Fase 3: Selección del sistema láser y electrónico. 46
3.2.4 Fase 4: Determinar la viabilidad de la máquina dentro de la industria. 46

4. Resultados 47
4.1 Dimensionamiento del dispositivo mecatrónico 47
4.1.1 Dimensiones de la mesa de trabajo 49
4.2 Diseño estructural 51
4.2.1 Mesa de trabajo 51
4.3 Cálculos y Análisis estructural 53
4.3.1 Análisis del eje Y 54
4.3.2 Ensamble del eje Y 59
4.3.3 Análisis del eje X 60
4.3.4 Ensamble del eje X 64
4.4 Análisis Estático 65
4.5 Selección de componentes 69
4.5.1 Sistema láser 69
4.5.2 Fuente láser 72
4.5.3 Motores 73
4.5.4 Finales de carrera 74
4.5.5 Sistema de refrigeración 75
4.5.6 Sistema de control 75
4.5.7 Driver 76

4.6 Selección de software 77
4.7 Viabilidad técnica y económica 77
4.7.1 Costos 77
4.7.2 Análisis de corte 80

5. Conclusiones 82
5.1 Conclusiones 82
5.2 Recomendaciones 83

6. Bibliografía 84

7. Anexos 88

Figuras

Figura 2. 1 Principio de la luz láser 11

Figura 2. 2 Espectro electromagnético 13

Figura 2. 3 Diferencias entre la luz ordinaria y los rayos láser 15

Figura 2. 4 Defectos en la estructura y costuras. (a) gota, (b) flotación de urdimbre, (c) retracción, (d) agujero, (e) puntadas caídas y (f) presión. (Las flechas apuntan a regiones defectuosas). 24

Figura 2. 5 Escaneo corporal 3D por escáner láser. (a) escaneo 3D del cuerpo, (b) reconstrucción de la superficie de la malla, (c) puntos de referencia digitales y (d) medición digital. 27

Figura 2. 6 Estructura básica de una máquina de corte por láser de CO_2. 1 enfriador de agua, 2 suministro de gas, 3 suministro de gas auxiliar, 4 bombas de aire, 5 sistema CNC, 6 panel de control, 7 servomotores, 8 mesa de trabajo, 9 antorcha de corte, 10 lentes de enfoque, 11 tornillos de avance, 12 espejos reflectantes, 13 rayos láser, 14 espejos reflectantes, 15 tubos láser, 16 fuentes de alimentación láser, 17 controladores para motores y soplete de corte. 31

Figura 3. 1 Diagrama de flujo de actividades 45

Figura 4. 1 Máquina cortadora láser 48

Figura 4. 2 Dimensiones de la máquina cortadora láser 50

Figura 4. 3 Ejes X e Y en el diseño estructural de la máquina cortadora láser 51

Figura 4. 4 Diseño estructural del armazón de soporte para la máquina cortadora láser 52

Figura 4. 5 Factor de seguridad de la estructura de la mesa 53

Figura 4. 6 Diagrama de cuerpo libre eje Y 54

Figura 4. 7 Diagrama de corte y momento eje Y 55

Figura 4. 8 Componentes diseño estructural del puente o eje Y de la máquina 59

Figura 4. 9 Diagrama de cuerpo libre eje X 60

Figura 4. 10 Diagrama de corte y momento eje X..... 62

Figura 4. 11 Componentes diseño estructural del eje X de la máquina..... 65

Figura 4. 12 Sujeciones y cargas externas del eje Y..... 66

Figura 4. 13 Esfuerzo máximo del eje Y 66

Figura 4. 14 Gráfica de convergencia del eje Y..... 67

Figura 4. 15 Sujeciones y cargas externas del eje X..... 68

Figura 4. 16 Esfuerzo máximo del eje X. 68

Figura 4. 17 Gráfica de convergencia del eje X..... 69

Figura 4. 18 Ensayos del corte de tela 70

Figura 4. 19 Acabado del corte laser en la tela..... 80

Figura 4. 20 Acabado del corte laser en 3 capas..... 81

Figura 4. 21 Fallos en el acabado final del corte de tela..... 81

Tablas

Tabla 2. 1 Clasificación del láser según el medio de generación 16

Tabla 2. 2 Especificaciones técnicas y principales características de las máquinas de corte por láser CO_2 comercialmente disponibles. 79

Tabla 4. 1Detalle perfiles de acero estructural negro ASTM 36 52

Tabla 4. 2 Tabla de datos del sistema de torque requerido para el eje Y 57

Tabla 4. 3 Detalle componentes eje Y de la máquina láser 59

Tabla 4. 4 Datos del sistema de torque requerido para el eje X 63

Tabla 4. 5 Detalle componentes eje X de la máquina láser 65

Tabla 4. 6 Pruebas de corte con 3 capas 71

Tabla 4. 7 Pruebas de corte con 4 capas 71

Tabla 4. 8 Pruebas de corte con 5 capas 71

Tabla 4. 9 Especificaciones técnicas del tubo láser de CO2 72

Tabla 4. 10 Especificaciones Técnicas fuente láser 73

Tabla 4. 11 Especificaciones técnicas del motor NEMA 23 74

Tabla 4. 12 Especificaciones técnicas micro switch final de carrera. 74

Tabla 4. 13 Especificaciones técnicas sistema de enfriamiento Chiller CW-5000 75

Tabla 4. 14 Especificaciones técnicas driver DM556S 76

Tabla 4. 15 Costo de materiales 78

Tabla 4. 16 Especificaciones técnicas y principales características de las máquinas de corte por láser CO_2 comercialmente disponibles. 79

Capítulo 1

Introducción

Desde la invención de los primeros dispositivos capaces de producir luz láser, la idea de emplearlos para cortar distintos materiales se ha ido desarrollando. En el siglo XIX, se registran las primeras aplicaciones del láser en la industria textil. Hoy en día, la capacidad de usar láseres para el corte de una amplia variedad de materiales es una realidad y es un sector emocionante de los procesos de fabricación que se encuentra en constante cambio y evolución. Los campos típicos de aplicación son la industria textil, la tecnología médica, textiles para interiores o tejidos decorativos, así como materiales publicitarios y banderas [1].

Con el avance de la tecnología, el uso del láser se ha vuelto más común en una variedad de procesos empleados para la fabricación de prendas de vestir, en especial en el corte de patrones sin ningún tipo de deformación del tejido gracias al mecanizado sin contacto. La diversidad de aplicaciones que se le pueden dar a los rayos láser en la industria de la moda ha permitido aumentar su uso tanto en medianas como grandes empresas facilitando de manera eficiente el proceso de manufactura [2]. Es así como el láser ha marcado la diferencia y un crecimiento exponencial en el corte de patrones de ropa, patronaje de corbatas de diseñador, la decoloración de mezclilla, el escaneo corporal en 3D, y el grabado sobre diferentes tipos de materiales [1].

Además, las ventajas de los equipos láser los están volviendo muy populares dentro de la industria textil debido a su alta precisión, eficiencia, simplicidad y el alcance de la automatización. Dicho de otra manera, la extensa aplicación del láser en la industria textil se debe a la reducción de tiempos y costos gracias al corte y sellado de bordes, así como la flexibilidad en el ennoblecimiento

de textiles naturales y sintéticos [2].

En este sentido, generalmente para el corte por láser se emplean textiles planos denominados así por sus características específicas con relación al tejido, los trenzados, el género de punto, los tejidos de costura, aquellas variaciones que no tienen tejido o el fieltro. Todos los textiles están compuestos por fibras, que se destacan por su alta flexibilidad y maleabilidad [1]. Los productos textiles se utilizan para numerosos fines. Los textiles para fines industriales se denominan normalmente textiles técnicos. Los filtros, acolchados, tejidos protectores frente al calor, o los componentes textiles en la industria del automóvil o en el deporte de vela son ejemplos típicos de la utilización de la tecnología láser para el corte [3].

La versatilidad del láser se debe a la capacidad de control y precisión de la fuente de energía en cuanto a su intensidad y potencia. A diferencia de las herramientas de corte convencionales como discos, hojas de cinta y cuchillas alternativas que presentan limitaciones particularmente en materiales delicados, debido a la fuerza de corte que puede desplazar el material y provocar cortes imprecisos [3]. Dependiendo de la aplicación, el rayo láser es incidido sobre el objeto deseado con ángulos específicos. De esta manera, el láser es capaz de cortar, grabar o decolorar una gran variedad de materiales que van desde los más flexibles hasta los más rígidos y fuertes [4]

1.1 Planteamiento del Problema

A lo largo de la historia el proceso de corte de tela ha experimentado diversos puntos de enfoque lo que a su vez ha permitido evolucionar la manera en que se ejecuta dicho proceso. En un inicio, cuando apenas se instauraron las primeras fábricas se lo hacía de forma manual usando diversas herramientas de corte. Sin embargo, la verdadera revolución se ha materializado en la contemporaneidad, donde se han desarrollado máquinas dotadas de sistemas mecánicos y electrónicos integrados. Estas máquinas, resultado de una confluencia tecnológica, han logrado

optimizar y automatizar de manera significativa los procesos heredados. Con esto, se ha logrado una producción más eficiente y precisa en el corte de tela, contribuyendo a la mejora continua en la industria textil [5].

En el Ecuador existen pequeñas industrias textiles que aún conservan un método manual para el corte de tela mediante moldes acordes al tipo de prenda que desean confeccionar, este proceso resulta muy tardado provocando fatiga en los trabajadores del área de corte y confección, además de representar un peligro para la persona ya que se tiene una exposición directa a las cuchillas de corte por lo que puede causar heridas graves [6].

Otro de los problemas que surgen a raíz de esta actividad es la ergonomía ya que se necesita estar en posiciones bastante incómodas con el fin de poder seguir la línea de corte lo que a su vez también provoca una alta exposición a la pelusa que desprende el material al ser cortado mediante algún tipo de cuchilla. Todo este tipo de problemas suman al tiempo que se invierte en confeccionar las prendas, resultando en pérdidas económicas debido a la baja productividad, es por ello que automatizar el proceso de corte implica perfeccionar los acabados, disminuir el tiempo invertido en esta etapa y reducir los desechos de material. El corte láser representa una ventana hacia el progreso de la industria textil, pero los altos costos de compra e importación de estas máquinas impide que pequeñas empresas las puedan adquirir limitando su capacidad de crecimiento frente a su competencia [5].

1.2 Justificación

El desarrollo y la implementación de una cortadora láser específicamente diseñada para la industria textil tiene la capacidad de reformar la manera en que se abordan los procesos de corte de tela. La máquina láser ofrece una serie de ventajas significativas que tienen un impacto directo en la

productividad y la eficiencia de las empresas textiles [4]. Una de las principales ventajas de esta cortadora láser es su velocidad de corte, la precisión y la rapidez con la que puede realizar los trabajos requeridos, lo que se traduce en una notable reducción en los tiempos de producción. Esta capacidad para acelerar el proceso de corte permite a las pequeñas empresas cumplir con plazos de entrega ajustados de manera más efectiva, lo que mejora la satisfacción del cliente y la competitividad en el mercado [5].

En los posibles usuarios de estos equipos se mejorarán las condiciones para la producción, diseño y confección de nuevas prendas teniendo en cuenta que mediante el software a implementar tendrá la capacidad de almacenar moldes precargados a los cuales podrán acceder mediante su interfaz, si esta máquina se implementa se facilita el acceso a los productores para encontrar disminución en los costos de producción debido a la versatilidad y cualidades de entrega de los materiales para mejorar las utilidades [6] .

Otro aspecto importante es la accesibilidad de esta tecnología para los operarios. La capacitación necesaria para operar esta maquinaria no es complicada y no requiere una inversión significativa en recursos adicionales. Esto beneficia directamente a los trabajadores al aumentar sus habilidades y capacidades, lo que se traduce en ingresos más altos y una mejor situación económica para ellos [1].

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Proyectar una máquina láser para el corte de tela 100 % algodón en la pequeña industria.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros principales para el diseño de la máquina.

- Diseñar la máquina con sus respectivos sistemas y parámetros preestablecidos.
- Realizar pruebas de funcionamiento para seleccionar el tipo de láser a utilizar.
- Validar mediante simulación el funcionamiento de la máquina.

1.4 Alcance

El presente estudio propone y desarrolla el diseño 3D funcional de una máquina láser de control numérico por computador (CNC) de bajo costo capaz de cortar un mínimo de tres capas de tela 100 % algodón. El prototipo es capaz de adaptarse eficientemente a las tareas relacionadas con la confección textil a pequeña escala con un área de trabajo aproximada de 2 metros en el eje horizontal (eje X) y 1.5 metros en el eje vertical (eje Y). Además, la implementación de métodos computacionales y principios mecatrónicos permite una reducción significativa en el costo final de fabricación, brindando una alternativa accesible que aporte al mejoramiento y la dotación de valor agregado a los productos de pequeñas empresas. Este estudio finalizará con la entrega de los planos de la máquina, los elementos que se deben adquirir y el informe de costos de construcción e implementación.

Capítulo 2

Marco Referencial

2.1 Antecedentes

Desde los años 80, la tecnología de corte láser ha revolucionado la industria al ser utilizada como una herramienta para cortar diferentes tipos de materiales. Con el paso de los años y gracias a los avances tecnológicos, se unen esfuerzos para desarrollar procesos de manufactura de mayor calidad y mucho más eficientes en el tiempo. Estos procesos son un componente esencial en el avance de los procesos de fabricación llevando a la industria de todos los sectores hacia otro nivel. Debido a su gran aceptación tanto dentro como fuera del sector industrial, se han creado adaptaciones para diversos sectores, como la medicina, la metalmecánica, la industria gráfica, la manufactura textil, el campo automotriz, entre otros [2].

Con el paso de los años, las diversas tecnologías han permitido facilitar el trabajo y obtener mejores resultados, es por esto, que entre 1940 y 1950 se implementa el sistema de control numérico por computador (CNC). Este sistema es un método de fabricación que automatiza el control, el movimiento y la precisión de las máquinas mediante el uso de un software que ha sido preprogramado [7]. Con lo dicho anteriormente, podemos decir que este sistema permitió automatizar procesos del corte láser, reemplazando al personal que realiza tareas manuales por una máquina que cuenta con los respectivos accionamientos automáticos de motores y mecanismos que además son capaces de interpretar patrones previamente diseñados por computador. Estos sistemas automatizados utilizan un lenguaje de programación que se basa en normas internacionales, entre ellas la norma ISO. Este lenguaje es versátil debido a su facilidad para adaptarse a varios

controladores o máquinas [8].

Durante los últimos años, se han realizado múltiples estudios relacionados al desarrollo de tecnología aplicada a la industria. Uno de ellos es el proyecto de investigación centrado en los procesos de mecanizado de acrílico que parten de la recopilación de información técnica relevante para respaldar características sobre los parámetros de diseño básico y del dispositivo, así como del dimensionamiento del sistema mediante cálculo matemático y la implementación de equipos electrónicos que permitan el control CNC. Todo esto con el objetivo de optimizar la calidad de trabajos en acrílico de hasta 0,005 [m] de espesor.

Como parte de los resultados se logró establecer que el área de trabajo óptima sería de $0,20 \times 0,30$ [m] con un láser de CO_2 de potencia igual a 40 [W]. Además, el torque necesario para el sistema es posible al aplicar dos motores paso a paso NEMA 17 de 83 $oz \times pulg$. Con respecto al sistema de control, se utiliza una tarjeta MS10510 de Senshui compatible con el software MoshiDraw 2015 que permite manipular el funcionamiento del láser y los motores paso a paso. En este sentido, los resultados indican un margen de error igual al 1,25 % en figuras que presentan contornos curvos y un 0,87 % en el caso de figuras rectilíneas [9].

De la misma manera, se desarrolla el diseño y construcción de un prototipo Router CNC con un área de trabajo equivalente a $0,85 \times 0,55 \times 0,08$ [m] capaz de realizar los trabajos de grabado, perforado y corte de materiales derivados de la madera, con un espesor máximo de 0,012 [m]. Se pudo determinar que la velocidad de corte, tanto para el corte en madera como en plástico, es equivalente a 0,050 [m/s] y al vacío igual a 0,076 [m/s]. El prototipo tiene un sistema de control y comunicación que hace uso de la tarjeta 5 Axis CNC Breakout Board Interface y su propio software Mach3. El error determinado es menor a 0.0001 [m] para las pruebas realizadas al vacío

mientras que las pruebas de maquinado tienen un valor menor a 0.0003 [m] para cada uno de los ejes [10].

Por otro lado, la construcción del prototipo tiene un costo total de 1870 USD, a pesar de ser un prototipo es posible hacer una comparación de tamaño, funcionamiento y capacidad con el equipo más semejante disponible en el mercado que es el FIRM FM6090, determinando que hay una reducción significativa equivalente al 70 % sin considerar los gastos de importación [11].

Otro de los proyectos técnicos que se destacan es el diseño de una máquina láser para corte y grabado sobre materiales no metálicos. Este prototipo usa un controlador RuiDA RDC 6585G por su capacidad operativa que es compatible con los requerimientos de la máquina, además para la bancada se diseña una estructura fuerte elaborada con acero inoxidable y materiales ligeros como el aluminio y el tol galvanizado.

Con respecto a las características del diseño propuesto, cuenta con un área de trabajo de 1,44 × 2, 829 [m], una potencia del tubo láser de 180 [W], una velocidad de corte de 0.05 [m/s] para materiales de un espesor máximo de corte igual a 0,008 [m]. Por otro lado, con relación a los costos, este diseño propuesto tiene un precio final de alrededor 11000 USD que al ser comparado con otros modelos de máquinas cortadoras láser disponibles en el mercado; como es CAMFive que su costo oscila entre los 3500 a 7000 USD no cuenta con los espacios de trabajo requeridos y no tendría fácil acceso a servicio técnico, mantenimiento y garantía del equipo al ser importado [12].

Una propuesta innovadora para el corte de papel está dada por el diseño y construcción de una cortadora láser que cuenta con una interfaz gráfica. En cuanto a las características del diseño presenta un espacio de trabajo igual a 0, 9 × 6, 5 [m], tiene un sistema de transmisión de tipo piñón-cremallera que tiene grandes ventajas comparadas con otros sistemas en cuanto a los costos de

mantenimiento, precisión, y por su capacidad de ejecución con motores de alto torque y peso.

Además, el diseño es ejecutado con el sistema de guías redondas que tienen bajos costos y de fácil acceso comercial. Con relación a los actuadores, se emplean motores paso a paso híbridos bipolares, NEMA 23 con un torque 1,2 [N · m]. En cuanto a la tecnología láser, se usa el módulo láser infrarrojo industrial que funciona a 12 [V], es capaz de cortar papel, grabar cartón y acrílico, y además posee esta fuente de ventilación integrada. La configuración de la velocidad de corte del láser va a depender directamente del tipo de material que se vaya a cortar, el valor de velocidad óptima para papel de colores oscuros (azul, verde, negro, café, plomo, morado) es de 12 [mm/min] mientras que para colores claros (blanco, tomate, amarillo, rosado) es de 10 [mm/min] [13].

Como se puede evidenciar, en la actualidad aún son muy pocos estudios que se han realizado sobre el uso del láser para cortar varios tipos de textiles, a pesar de que se han desarrollado varias técnicas y máquinas para cortar una diversidad de materiales a nivel industrial. Por esta razón, con base en las necesidades de la industria local, este estudio busca crear una máquina cortadora láser con los requerimientos fundamentales que permitan la manipulación de telas de algodón que a su vez garantice su máxima eficiencia a pequeña escala.

2.2 Marco Teórico

En esta sección se presenta una revisión de los conceptos, las bases teóricas y el Estado del Arte aplicado a la extraordinaria tecnología que combina el láser y los sistemas CNC en la industria textil. En las primeras secciones se explica la base teórica de la tecnología láser, su diferencia con la luz ordinaria, su clasificación y las distintas aplicaciones en la industria de la confección. Luego, se presenta una breve descripción del sistema CNC, así como los componentes y requerimientos

mínimos de una máquina CNC láser. Más adelante, se presenta un resumen de las características y especificaciones técnicas de los modelos de máquinas comercialmente disponibles. Finalmente, se presentan las generalidades de la fibra de algodón, su estructura, propiedades fisicoquímicas y los requerimientos mínimos para cortar telas de algodón.

2.2.1 Tecnología láser

Por definición, un láser (acrónimo que viene del inglés ”Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation”) hace referencia a la *Amplificación de Luz por Emisión Estimulada de Radiación*. El láser es un dispositivo que produce radiación electromagnética coherente, generalmente en la forma de luz visible o infrarroja. El láser produce un haz de luz coherente tanto espacial como temporalmente mediante el uso simultáneo de la mecánica cuántica y la emisión inducida. Por coherencia temporal se hace referencia a la capacidad de concentrar la emisión en un rango espectral muy limitado, mientras que la coherencia espacial se refiere a la capacidad de un haz para mantener un tamaño reducido mientras es transmitido por el vacío a largas distancias [14].

Para la producción del rayo láser se estimula un material láser con descarga eléctrica en un recipiente cerrado. Desde un enfoque apegado a los principios básicos de la cuántica, como se observa en la Figura 2.1, un rayo láser ocurre cuando los electrones de los átomos de materiales ópticos como el gas, el vidrio o el cristal absorben energía de la luz o la corriente eléctrica. Como resultado, los electrones entran en un estado de excitación que los lleva a moverse desde una órbita de menor energía a una de mayor energía producto de esa energía adicional que adquieren. De manera espontánea o por estimulación de la luz o energía los electrones regresan a su órbita original o estado base emitiendo partículas de luz llamadas fotones por un proceso denominado transición [15]. Cuando esto ocurre, se da lugar a un fenómeno donde se emite una luz equivalente a la diferencia de energía denominado emisión natural.

Esta luz emitida colisiona con otros átomos que se encuentran en un estado excitado similar, induciendo una transición de niveles de energía. A la luz que ha sido generada a partir de una emisión natural se le llama emisión estimulada. En este proceso conocido como *emisión estimulada*, los átomos son promovidos a estados de menor energía emitiendo láser en forma de luz. Finalmente, con la configuración interna de los espejos, este láser se amplifica en un medio apropiado para luego salir del dispositivo como una corriente de luz. Más a detalle, una serie de espejos parciales ayudan en múltiples reflexiones internas que conducen a obtener la coherencia y la potencia de salida deseadas. Los espejos u otros dispositivos ópticos ayudan a enfocar el láser a una lente, que luego refleja el láser en la zona de trabajo. Para permitir la acción de corte de un láser lejos del borde, debe perforarse antes del corte con láser utilizando un rayo láser pulsado de alta potencia. La longitud de onda de un láser determina su color y se expresa generalmente en nanómetros [nm] [16].

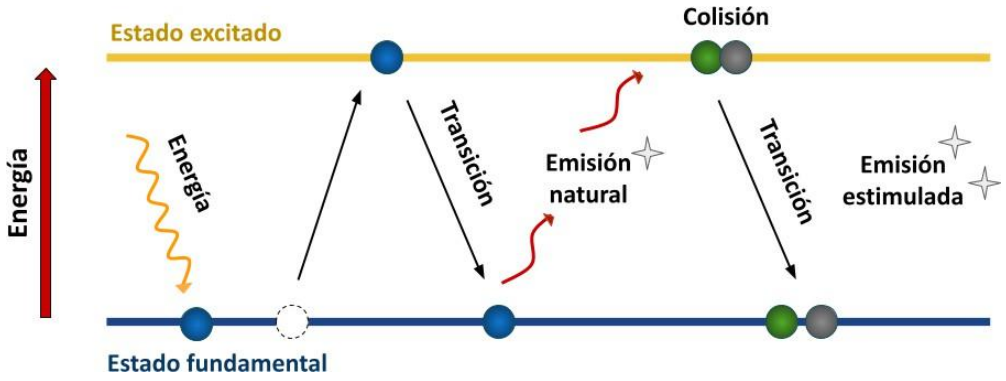


Figura 2. 1 Principio de la luz láser

2.2.2 Luz ordinaria y rayo láser

La luz ordinaria y un rayo láser son dos formas de radiación electromagnética, pero difieren en varias características clave en términos de coherencia, dirección, monocromaticidad y otras propiedades. La luz ordinaria, también conocida como luz convencional o luz blanca, es una mezcla

de diferentes longitudes de onda que abarcan todo el espectro visible (380 - 780 [nm]) como se puede observar en la Figura 2.2. En realidad, la luz blanca no es blanca. Es una luz incolora que se puede ver durante el día o la noche si algún objeto laminado la emite. Como se menciona anteriormente, la luz blanca se compone de diferentes rayos de luz de diferentes longitudes de onda y colores con iguales intensidades. Es decir, a las ondas electromagnéticas de todas las frecuencias que se mezclan y parecen blancas al ojo se le denomina luz blanca [17].

La luz blanca o visible, se encuentra entre los rayos ultravioletas y los rayos infrarrojos en el espectro electromagnético como se muestra en la Figura 2.2. La principal fuente de luz blanca es el Sol. Sin embargo, varios estudios han revelado que más que la luz visible, el Sol emite rayos infrarrojos, lo que provoca el calentamiento de la Tierra. El ojo sólo puede detectar la luz visible a partir del espectro electromagnético con longitudes de onda entre 400 - 800 [nm] aproximadamente. La luz ordinaria proviene de fuentes como bombillas incandescentes o luces fluorescentes, donde la emisión de luz es causada por la vibración de átomos y moléculas en un material caliente o por la excitación de gases. Las ondas de luz se generan en diferentes momentos y se propagan en todas las direcciones posibles de forma aleatoria [16].

Por el contrario, la luz láser posee características únicas que la distinguen de otras fuentes de luz convencionales. Estas propiedades especiales son fundamentales para su amplio espectro de aplicaciones en campos como la medicina (cirugía láser, terapia con láser), la comunicación (fibra óptica), la investigación científica, la industria (corte y soldadura láser), entre otras. Estas características hacen que la luz láser sea una herramienta versátil impulsando continuamente la innovación y el avance tecnológico. A continuación, se describen algunas de las características clave de la luz láser:

- *Coherencia;* La luz láser es altamente coherente, lo que significa que las ondas de luz están

en fase, es decir, las crestas y los valles de las ondas coinciden como se observa en la Figura 2.3. Esta coherencia permite la formación de haces de luz estrechos y enfocados, lo que es esencial en aplicaciones como la cirugía láser y la impresión 3D [18].

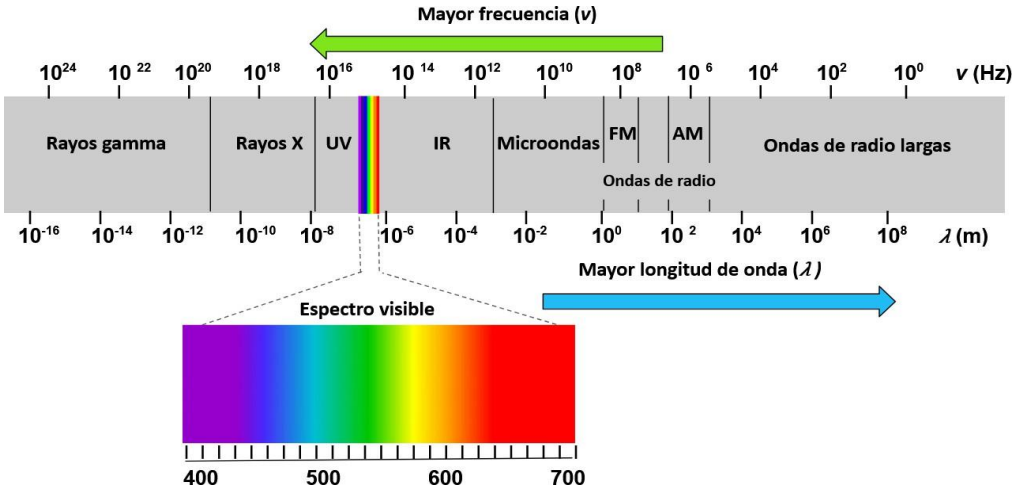


Figura 2. 2 Espectro electromagnético[1]

- *Direccionalidad;* La luz láser puede ser altamente direccional, enfocándose en haces estrechos. Esta propiedad es esencial en aplicaciones como la comunicación por fibra óptica, donde la luz láser se utiliza para transmitir información a largas distancias con mínima dispersión [19].
- *Monocromaticidad:* La luz láser es monocromática, lo que significa que tiene una única longitud de onda o color. A diferencia de la luz blanca que contiene múltiples colores, el láser emite luz con una sola frecuencia o dicho de otra manera con longitudes de onda uniformes. Esto es crucial en tecnologías como la lectura de discos ópticos y la espectroscopía [18].
- *Intensidad:* Los láseres pueden producir luz de alta intensidad. La intensidad del rayo láser

es constante; es decir, se mantiene en un haz estrecho a distancias significativas. Esta característica es explotada en aplicaciones de corte y soldadura láser en la industria, donde la luz láser concentrada puede fundir o cortar materiales de manera precisa [18].

- *Coeficiente de haz:* El haz de luz láser puede mantener su tamaño y forma a lo largo de distancias considerables, lo que es crucial en aplicaciones como telemetría láser y sistemas de posicionamiento [19].
- *Velocidad de modulación:* La luz láser puede ser modulada rápidamente, permitiendo la transmisión de datos a velocidades extremadamente altas. Esto es fundamental en tecnologías de comunicación óptica, como las redes de fibra óptica [15].
- *Temporalidad:* La duración del pulso láser puede variar desde femtosegundos hasta milisegundos, según la aplicación. Esta capacidad de control temporal es esencial en investigaciones científicas avanzadas, como la generación de pulsos ultracortos para estudios en física de partículas [18].
- *Eficiencia energética:* En comparación con otras fuentes de luz, los láseres pueden ser altamente eficientes en términos de conversión de energía eléctrica en luz coherente. Esto hace que los láseres sean ideales para aplicaciones donde la eficiencia energética es crucial, como en dispositivos médicos portátiles [19].
- *Polarización:* La luz láser puede ser polarizada, lo que significa que vibra en una dirección específica. Esta propiedad es útil en diversas aplicaciones, como la visualización de cristales en investigación óptica.
- *Seguridad:* La luz láser puede concentrarse de manera intensa y precisa, lo que puede plantear riesgos para la seguridad ocular y dérmica. Por lo tanto, se deben seguir protocolos de seguridad estrictos al trabajar con láseres para evitar daños[19].

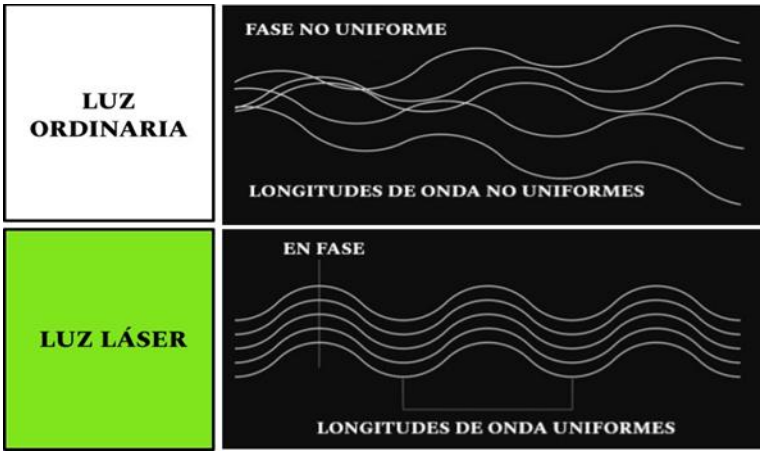


Figura 2. 3 Diferencias entre la luz ordinaria y los rayos láser

Con las características anteriormente expuestas se puede decir que las diferencias más notables entre la luz láser y blanca se centran en la coherencia y la monocromaticidad. La luz ordinaria carece de coherencia y generalmente es policromática, mientras que el láser es altamente coherente y monocromático. Además, la direccionalidad y la intensidad juegan un rol importante para las aplicaciones donde se requiere precisión, enfoque y control, como en la cirugía, la comunicación óptica y la investigación científica ya que la luz ordinaria se dispersa en muchas direcciones por lo tanto suele perder su intensidad, mientras que el láser puede enfocarse en un haz estrecho lo que le permite alcanzar distancias mayores. En el haz del rayo láser se tiene una alta concentración de energía por unidad de área. Un rayo láser puede ser de muy alta intensidad con 0,001 - 0,002 [m] de diámetro de haz y una potencia de salida de algunos milivatios [mW]. Sin embargo, no todos los láseres son igual de potentes a pesar de la luz con alta intensidad, ya que la intensidad de estos se estima a partir de la potencia de salida/área [16].

- **Clasificación del láser basado en el medio de generación**

Se conoce como medio láser a la sustancia que puede ser excitada por una energía de entrada. Los medios láser tienen la capacidad de permanecer en un estado metaestable, es decir que aparentemente está en equilibrio, aunque es capaz de cambiar a un estado más estable. Generalmente es transparente a la luz, con base en lo mencionado y atendiendo a su naturaleza pueden ser de tipo sólido, gaseoso, colorante o líquido y semiconductor. A continuación, en la Tabla 2.1 se resumen las principales características del láser según el medio de generación.

Tabla 2. 1 Clasificación del láser según el medio de generación

SÓLIDO			
Dopados con tierras raras			
Láser Nd:YAG	**Láser Yb: YAG**	**Láser Nd: Vidrio**	
Se produce a 1064 nm. Se utiliza en el procesamiento de materiales, procedimientos médicos y marcado láser [20].	Se produce alrededor de 1030 nm. Se usa en el procesamiento de materiales y sistemas láser industriales de alta potencia [21].	Tiene un material anfitrión de vidrio en lugar de cristal. La emisión se produce a 1053 nm y se utiliza en aplicaciones militares y de investigación [20].	
Dopados con metales de transición			
Láser de Ti: zafiro		**Láser de rubí**	
Sintoniza una amplia gama de longitudes de onda en el espectro visible e infrarrojo cercano. Es empleado en investigación en sistemas láser ultrarrápidos para espectroscopía y microscopía [21].		Tiene un cristal de rubí sintético dopado con iones de cromo como medio de ganancia. La emisión se produce a 694 nm [20].	
GASEOSO			
Láser He-Ne	**Láser de CO2**	**Láser Excimer**	**Láser de Argón (Ar)**
El más común es el rojo λ = 632,8 nm. Tamaños entre 0,1 y 1 m y potencias entre 1 y 100 mW. Se utiliza en	Son los láseres de onda continua de mayor potencia. Tienen una λ=10.6 μm no pueden ser vistos por el ojo humano. El medio activo	Genera una luz UV profunda (DUV) con λ= 193 nm y una tasa de absorción alta. Es	Tiene varias líneas de emisión y múltiples potencias, pueden ser verde o azul con λ=

laboratorios de enseñanza, topografía, construcción, escáneres de cajas de supermercados e impresoras [22].	es una descarga de gas refrigerada por aire o agua. Se utilizan para taladrar, cortar y grabar [23]	empleado en la medicina para el cuidado y tratamiento de los ojos [24].	514 y λ= 488 nm. Presenta diversas aplicaciones científicas industriales y médicas [25].

COLORANTE O LÍQUIDO

Pueden producir láser mediante el uso de luz ultravioleta (UV). Se preparan disolviendo las partículas sólidas en un disolvente adecuado y con niveles de energía similares. Una mezcla homogénea permite una alta producción de energía con longitudes de onda de luz visible. Según el colorante, pueden operar en UV, visible o IR, con potencias entre 150 y 346 mW. Entre los colorantes orgánicos más utilizados está la Rodamina 6G [22].

SEMICONDUCTOR

Diodos láser

Emite luz coherente por emisión estimulada de radiación. El núcleo está hecho de materiales semiconductores como GaAs o InP. Tiene una unión p-n. Presenta longitudes de onda como el NIR entre 700 y 1700 nm, el espectro visible cerca de 400 nm (azul/violeta), a 700 nm (rojo) e IR más allá de 1700 nm [26].

- *Sólido*

Los medios láser sólidos son usados para producir láser de estado sólido, debido a la alta densidad de los átomos láser. Los láseres de estado sólido pueden generar una mayor potencia de salida por unidad de volumen en comparación con los láseres de estado gaseoso. Para estos láseres se emplean generalmente cristales, vidrios, o fibras dopadas como medio activo. Así, se subdividen en materiales dopados con tierras raras y metales de transición como se presenta a continuación: Entre los láseres dopados con tierras raras se tiene:

- ✓ *Láser Nd:YAG:*

El láser granate de itrio y aluminio dopado con neodimio es uno de los láseres de estado

sólido más utilizados. La emisión suele producirse a 1064 [nm] (infrarrojo). Se utiliza en diversas aplicaciones, incluido el procesamiento de materiales, procedimientos médicos y marcado láser [20].

- ✓ *Láser Yb: YAG*

El láser granate de aluminio e itrio dopado con iones iterbio tiene una emisión que suele producirse en torno a los 1030 [nm] (infrarrojo). Se utiliza en el procesamiento de materiales y puede formar parte de sistemas láser industriales de alta potencia [21].

- ✓ *Láser Nd: vidrio*

El láser de vidrio dopado con neodimio es bastante similar a Nd:YAG pero utiliza un material anfitrión de vidrio en lugar de un cristal. La emisión suele producirse a 1053 [nm] (infrarrojo) y se utiliza en aplicaciones militares y de investigación [20].

Por otro lado, entre los láseres de estado sólido dopados con metales de transición se tienen:

- ✓ *Láser de Ti: zafiro*

El láser de zafiro dopado con iones de titanio es capaz de sintonizar una amplia gama de longitudes de onda en el espectro visible e infrarrojo cercano. Es ampliamente utilizado en aplicaciones de investigación, incluidos los sistemas láser ultrarrápidos para espectroscopía y microscopía [21].

- ✓ *Láser de rubí*

Es uno de los primeros tipos de láseres inventados, el medio de ganancia es un cristal de rubí sintético dopado con iones de cromo. La emisión se produce a 694 [nm] (rojo) [20].

- **Gaseoso**

Se puede utilizar un solo gas o una mezcla de estos para producir láseres de estado gaseoso.

Este tipo de láseres se producen al pasar la descarga eléctrica en el medio de generación. Algunos láseres de estado gaseoso son:

- ✓ *Láser He-Ne*

  El láser de helio-neón fue el primer láser de gas. El mecanismo de excitación implica que los electrones chocan con los átomos de helio para producir átomos metaestables de helio, que luego transfieren su energía a los niveles de láser de neón. Las transiciones láser originales estaban en el infrarrojo cercano, pero la transición más utilizada es el láser rojo a una longitud de onda de 632,8 [nm]. Este láser está disponible en tamaños que van desde aproximadamente los 0,1 [m] de longitud hasta más de 1. Tiene salidas de potencia continuas que van desde menos de 1 [mW] hasta más de 100 [mW] y generalmente tienen una vida útil de 50.000 h para algunas unidades comerciales. Este láser se utiliza en laboratorios de enseñanza, topografía, construcción, escáneres de cajas de supermercados, impresoras y muchas otras aplicaciones [22].

- ✓ *Láser de Dióxido de carbono (CO_2)*

  Los láseres de dióxido de carbono son los láseres de onda continua de mayor potencia disponibles en la actualidad. Tienen una longitud de onda de luz infrarroja de 10.6 [μm], por lo que no pueden ser vistos por el ojo humano. El medio láser activo es una descarga de gas refrigerada por aire (por agua en aplicaciones de mayor potencia). El gas de llenado dentro del tubo de descarga consiste principalmente en: Dióxido de carbono (CO_2) (10-20 %), Nitrógeno (N_2) (10-20 %), y el restante es una mezcla de Hidrógeno (H_2) y/o Xenón (Xe), y Helio (He). Estos láseres de CO_2 se pueden utilizar para taladrar, cortar y grabar y pueden ser de cuatro tipos: (a) flujo axial rápido, (b) flujo axial lento, (c) flujo transversal

y (d) láseres de losa. En el de flujo axial rápido, una turbina utiliza una mezcla de CO_2, nitrógeno (N_2) y helio (He) a alta velocidad. Se utiliza un soplador simple para los láseres de flujo axial lento y de flujo transversal. Los láseres de losa no necesitan presurización, ya que funcionan en condiciones estáticas [23].

- ✓ *Láser Excimer*

  El láser excimer recibe este nombre debido al medio activo, está formado por diversas moléculas excímeras con una vida muy corta a partir de gases nobles y halógenos. Este láser genera una luz ultravioleta profunda (DUV) con una longitud de onda alrededor de 193 [nm] con una tasa de absorción significativamente alta. Este tipo de láser es empleado en la medicina para el cuidado y tratamiento de los ojos, son usados para correcciones al evaporar la lente cristalina y enfocar la retina [24].

- ✓ *Láser de Argón (Ar)*

  Los láseres de iones de argón son una clase de láseres de gas que utilizan iones de argón (Ar^+) como medio activo. Este láser tiene varias líneas de emisión y generan múltiples vatios de potencia óptica en un haz de salida verde o azul con longitudes de onda equivalentes a 514 y 488 [nm]. Por lo general, se utilizan en funcionamiento de onda continua, aunque es posible el funcionamiento por pulsos (normalmente con duraciones de microsegundos). Desde su desarrollo a principios de la década de 1960, se han convertido en una parte integral de diversas aplicaciones científicas, industriales y médicas debido a sus propiedades únicas, como la salida de onda continua hasta decenas de watts de alta potencia y múltiples líneas láser en todo el espectro visible [25].

- **Colorante o líquido**

Los tintes líquidos también pueden producir láser mediante el uso de luz ultravioleta (UV). Estos colorantes líquidos se pueden preparar disolviendo las partículas sólidas de colorante en un disolvente adecuado. Para ello, se seleccionan los colorantes y disolventes con niveles de energía similares, que ayudan a formar una mezcla homogénea que permita lograr una alta producción de energía con longitudes de onda de luz visible. Una mejor capacidad de ajuste es la característica única de un láser de colorante, que lo distingue del láser sólido. Un solo colorante produce una sola longitud de onda, para obtener un rango de longitudes de onda se pueden mezclar los colorantes. Según el colorante, pueden operar en UV, visible o IR (infrarrojo), con potencias desde los 150 [mW] hasta los 346 [mW]. Entre los colorantes orgánicos más utilizados está la Rodamina 6G [22].

- **Semiconductores**

Los semiconductores también son empleados para producir láser con la ayuda de descargas eléctricas. Estos láseres se caracterizan por su durabilidad, eficiencia y tamaño en miniatura [22].

- ✓ *Diodos láser*

Un diodo láser es un dispositivo semiconductor que emite luz coherente a través de un proceso llamado emisión estimulada de radiación. El núcleo de un diodo láser suele estar hecho de materiales semiconductores como arseniuro de galio (GaAs) o fosfuro de indio (InP). Al igual que otros diodos, un diodo láser tiene una unión p-n, donde se encuentran los materiales semiconductores de tipo p (dopado positivamente) y de tipo n (dopado negativamente). A medida que los electrones y los huecos se recombinan en la unión, liberan energía en forma de fotones (partículas de luz). Algunos rangos de longitud de onda

comunes para los láseres de diodo incluyen: infrarrojo cercano (NIR) que generalmente oscila entre 700 y 1700 [nm], en el espectro visible alrededor de 400 [nm] (azul/violeta) a 700 [nm] (rojo) e infrarrojo (IR) más allá de 1700 [nm] [26].

Con la revisión previa, se puede evidenciar que en el corte de telas de algodón el tipo de láser más apropiado es el láser de CO_2 por cinco razones principales como son su longitud de onda, alta potencia, precisión, zona mínima afectada, versatilidad y sobre todo por su rentabilidad. Este tipo de láseres emiten una longitud de onda de 10,6 μm que las fibras de origen natural como el algodón absorben bastante bien. Esta absorción conduce a una transferencia eficiente de energía al tejido, lo que resulta en cortes limpios y precisos. Adicionalmente, los láseres de CO_2 ofrecen altos niveles de potencia con un control preciso de los parámetros de corte, lo que va a permitir cortar múltiples capas de tela de algodón, con mejor profundidad (distintos espesores y densidades) de forma rápida y precisa esencial para lograr bordes limpios y diseños complejos. Otra de las ventajas recae en que este tipo de láser genera un calor mínimo lo cual resulta en una zona estrecha afectada evitando que la tela se deshilache o se deforme. Por último, pero no menos importante, en cuanto a la rentabilidad si bien este tipo de láseres pueden tener costos de compra iniciales más altas en comparación con otros, ofrecen una excelente rentabilidad a lo largo del tiempo debido a su eficiencia, confiabilidad y bajos requisitos de mantenimiento.

2.2.3 Aplicación del láser en la industria de la confección

Como parte del proceso innovador en la industria de la confección, existen varias aplicaciones del láser. Las tecnologías de grabado y corte por láser se aplican ahora ampliamente en muchas industrias, unidades de producción de tejidos y otras industrias textiles y del cuero [27].

En la siguiente sección se analizan varias aplicaciones del láser que se han desarrollado en los últimos años:

- **Detección de fallos en la estructura y costuras**

Las principales ventajas de los métodos de inspección óptica son su capacidad para escanear grandes áreas, su aplicabilidad a la medición en proceso y su capacidad para realizar mediciones rápidas. La mayoría de los ciclos de fabricación de componentes incluyen una etapa de inspección para garantizar la conformidad con los requisitos de diseño. Según el estudio realizado por Mursalin [28] con el objetivo de detectar las fallas en la tela proveniente de las tiendas, las unidades de producción de prendas de vestir han implementado el procesamiento morfológico de imágenes basado en láser. Este proceso se origina del análisis óptico de la transformada de Fourier [29] que se obtiene a través del láser para la detección de fallas en la estructura, ya que el patrón se repite a intervalos regulares. El tejido se enfoca con un láser y se superponen las rejillas de difracción obtenidas a partir de la periodicidad de los hilos transversales y longitudinales del tejido. Se utiliza una lente de Fourier para producir el patrón de difracción de la fábrica. Una segunda lente de Fourier con la misma distancia focal se encarga de ampliar e invertir la imagen de muestra de prueba. Para este procedimiento, se aplica una cámara de dispositivo de carga acoplada (CCD) que permite capturar la imagen. Luego, los datos recopilados se transfieren y almacenan en un ordenador. La programación informática ayuda a comparar todas las imágenes adquiridas con las imágenes almacenadas al convertir cada imagen en modo binario. Se informa de un fallo cuando el parámetro medido se desvía de la norma, la gravedad de la falla va a depender directamente de la magnitud de desviación de la norma. Como se observa en la Figura 2.4, los defectos más comunes en la inspección de textiles son fallas relacionadas a la máquina, problemas de hilo, mal acabado y

estiramiento excesivo [30].

Adicionalmente, para la industria textil no es un secreto que la apariencia de la prenda influye en gran medida en la calidad de la misma. Uno de los factores que afecta negativamente la apariencia de la prenda es el fruncido de las costuras. Existen varios métodos para medir el fruncimiento de las costuras, sin embargo, el más usado es el sistema de clasificación convencional desarrollado por la Asociación Estadounidense de Químicos y Coloristas Textiles (AATCC). El rayo láser también se emplea para medir el grado de arrugas en las prendas mediante modelos geométricos. En este método, un escáner láser 3D escanea una costura de la prenda colocando la prenda sobre un maniquí. Con esto, es posible escanear el objetivo desde diferentes ángulos y obtener un perfil fruncido de la costura procesando la imagen con un filtro digital 2D. Los parámetros físicos se obtienen a partir del perfil de fruncido, que luego se puede relacionar linealmente para evaluar el grado de fruncido de la costura [31].

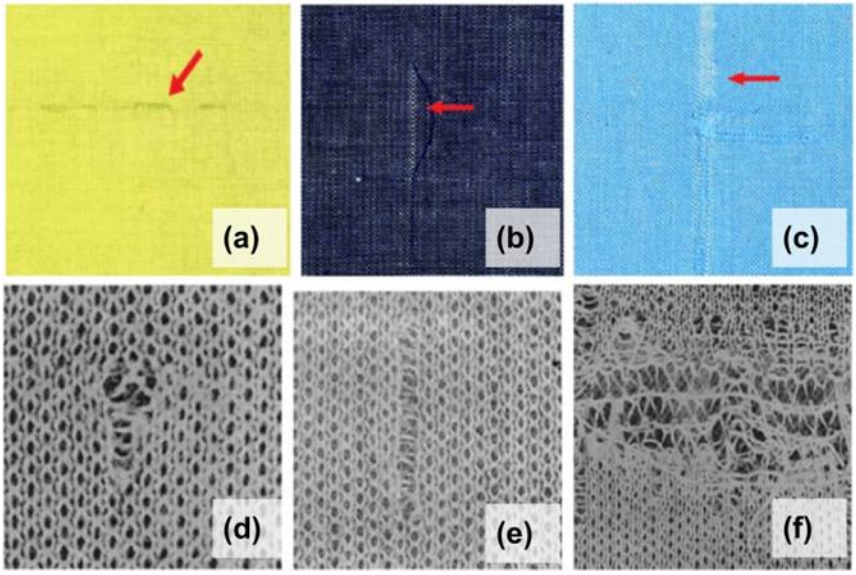


Figura 2. 4 Defectos en la estructura y costuras. (a) gota, (b) flotación de urdimbre, (c) retracción, (d) agujero, (e) puntadas caídas y (f) presión. (Las flechas apuntan a regiones defectuosas)[2].

- **Corte láser**

Después de su primera aparición en el siglo XIX, los diseñadores de moda están adoptando amplia- mente el corte láser en la fabricación de prendas de vestir. En las telas sintéticas, el corte láser produce bordes bien terminados a medida que el láser derrite y fusiona el borde, lo que evita el problema del deshilachado producido por los cortadores de cuchillas convencionales. Durante los últimos años, se evidencia un aumento exponencial para materiales como el cuero debido a la precisión de los modelos cortados. Además, el corte láser se usa ampliamente en el diseño de accesorios de moda y joyería con alternativas nuevas e inusuales [32].

En el corte realizado por láser, a la superficie de las telas se enfoca y se aplica un láser muy fino, aumentando sustancialmente la temperatura lo que produce el corte según el patrón deseado, por acción de la vaporización. Generalmente, para cortar telas se usan los láseres de gas (con mayor frecuencia de CO_2). Las máquinas de corte láser que están disponibles en el mercado y los prototipos incluyen una fuente de láser, un cabezal de corte equipado con espejos para reflejar el rayo láser a la línea de corte, un ordenador para controlar todo el sistema y un medio adecuado para retirar las piezas cortadas.

Entre las principales ventajas de la aplicación de gases inertes (N_2, He) durante el corte se tiene el evitar la carbonización, eliminar los residuos y el humo de la zona de corte. A diferencia de los dispositivos de corte mecánicos, un rayo láser no se vuelve romo ni necesita ser afilado con frecuencia. Existen cortadoras láser automáticas capaces de trabajar con una sola capa, estas son las más rápidas (30-40 m/ min) a comparación de las cortadoras automáticas de cuchillas para cortar múltiples capas (5-12 m/min) [33].

La limitación del corte por láser es el número de capas de la tela que se pueden cortar. El mejor resultado se obtiene al cortar una o varias capas, pero la exactitud y precisión no se obtiene

con varias capas. Además, existe la posibilidad de que los bordes cortados se fusionen, especialmente en el caso de los tejidos sintéticos. En algunos casos, el sellado de los bordes de los patrones de corte y las piezas cosidas de la prenda es esencial para evitar que se deshilachen, donde el láser desempeña el papel. Dado que en las instalaciones de producción de prendas de vestir se hace hincapié en el corte de múltiples capas, parece poco probable que el corte por láser se generalice ya que los cortadores convencionales son más rápidos [16]. Dicho esto, el láser es una gran alternativa para las fábricas textiles que utilizan el corte de una sola capa y que en su producción es deseable una ligera fusión del borde de los materiales sintéticos y tejidos, pero también en algunas áreas de la decoración del hogar.

Con referencia a los costos, el corte láser es más económico en comparación con los métodos de corte tradicionales. Como el corte láser no requiere acción mecánica y tiene una operación más simple, es factible una alta precisión y rapidez en el corte de los componentes. En cuanto a la seguridad, las cortadoras láser tienen menor riesgo de accidentes e incluyen funciones de mantenimiento sencillas, por lo que pueden funcionar durante más tiempo. Este tipo de cortadoras pueden integrarse a la tecnología informática con facilidad y trabajar simultáneamente con los diseños de computadora.

Las máquinas de corte por láser son adecuadas para cortar telas, compuestos y materiales de espuma. Se emplean para una amplia gama de tejidos, lo que no es posible con las troqueladoras [34]. Por lo tanto, las máquinas de corte por láser se aceptan gradualmente en la fabricación de prendas de vestir. Entre las características de las aplicaciones láser se incluyen el marcado, grabado y corte láser combinados en un solo paso, la ausencia de desgaste mecánico y de contacto, no requiere fijación del material, no se deshilacha el tejido en las fibras sintéticas, da lugar a cortes limpios y sin pelusas, tiene un proceso sencillo por diseño informático integrado, la precisión es

extremadamente alta, tiene una alta velocidad de trabajo y hay menos desperdicio.

- **Personalización masiva por escaneo corporal en 3D**

El término personalización masiva se utiliza para referirse a las prendas que se obtienen a medida de acuerdo con las dimensiones del cuerpo y la elección del individuo. Para personalizar las prendas se obtienen las medidas precisas del cuerpo del individuo. La tecnología de escaneo láser es una de las muchas técnicas utilizadas para la medición. La tecnología de escaneo láser utiliza uno o varios láseres de rayas finas y nítidas para medir el tamaño del cuerpo. También se utilizan cámaras para captar la escena y ayudar al escáner láser [35].

Las medidas corporales se obtienen aplicando reglas geométricas simples a través de software especializado como lo explican Tong et.al. [36] y D'Apuzzo [37] en sus estudios. Generalmente, se utiliza dispositivos ópticos adicionales, como espejos, para apoyar al rayo láser. Así, la unidad de escaneo láser está compuesta por sensores de luz y sistemas ópticos, que se centran en el cuerpo humano para su digitalización. El número de sensores de luz y sistemas ópticos van a variar según las posiciones del cuerpo. Como se puede observar en la Figura 2.5 existen cuatro fases en el escaneo láser que son: (a) escaneo 3D del cuerpo, (b) reconstrucción de la superficie de la malla, (c) puntos de referencia digitales y (d) medición digital.

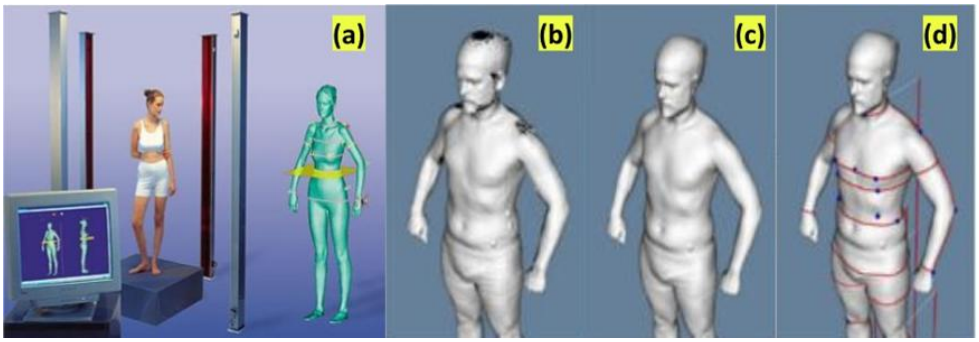


Figura 2. 5 Escaneo corporal 3D por escáner láser. (a) escaneo 3D del cuerpo, (b) reconstrucción de la superficie de la malla, (c) puntos de referencia digitales y (d) medición digital.

Desde la aparición de la tecnología de escaneo corporal en 3D hasta hoy, el progreso de la investigación ha proporcionado varias soluciones que se ofrecen a las necesidades de ropa de los clientes en cuanto a lo que se adapta mejor a los tamaños y formas del cuerpo. Estas soluciones incluyen tablas de tallas y maniquíes corporales en 3D que pueden mejorar el proceso de desarrollo de prendas hasta nuevas aplicaciones móviles que escanean el cuerpo con un smartphone y proporcionan al usuario nuevos servicios de selección de tallas o personalización [38]. Todo este progreso está respaldado por bases de datos de medidas o escaneos corporales en 3D y revela la importancia del acceso a estos datos.

2.2.4 Sistema CNC

Es el sistema de control por computadora capaz de dirigir una variedad de máquinas herramienta que emplean en la fabricación repetida de piezas complejas. Dicho de otra manera, es un proceso de fabricación computarizado en el que un software y un código preprogramados controlan el movimiento del equipo de producción. Entre los tipos de herramientas que incluyen una variante CNC se tienen las rectificadoras, tornos, fresadoras, taladros, entre otras que se utilizan para cortar, dar forma y crear diferentes piezas o prototipos. En un entorno de producción industrial, todas estas máquinas pueden combinarse en una sola estación para permitir la creación continua de una pieza [39].

Estas máquinas son esencialmente lo opuesto a los dispositivos de la "vieja escuela" que se controlan manualmente mediante volantes o palancas, o se automatizan mecánicamente únicamente mediante levas o ejes giratorios. Su funcionamiento comprende el lenguaje de mecanizado CNC, llamado código G, que proporciona indicaciones sobre mediciones precisas para la producción, así como la velocidad de avance, la ubicación y demás detalles de coordinación.

Actualmente, el diseño y las piezas mecánicas de estos sistemas están altamente automatizados, a diferencia de las obsoletas y peligrosas máquinas de fábrica que se utilizaban hace décadas. Por otro lado, las dimensiones mecánicas de cada una de las piezas se definen mediante software de diseño asistido por computadora (CAD) para luego ser traducidas en instrucciones de fabricación mediante software de fabricación asistida por computadora (CAM) [40]. Este tipo de tecnología requiere del personal industrial capacitado y con experiencia tanto para la programación de sistemas CNC como para el correcto manejo de máquinas que incluyan esta nueva tecnología.

- **Tipos de sistema de control numérico**
  - ✓ *Sistema de control punto a punto*

    En este sistema particular, cada uno de los ejes de la máquina se activa de manera independiente mediante tornillos de avance, operando a velocidades variables según la tarea programada. Inicial- mente, la máquina se mueve a una velocidad máxima para minimizar los tiempos de inactividad, pero a medida que la herramienta se acerca a la posición deseada, la velocidad de avance se reduce. Este enfoque de punto a punto se emplea principalmente en actividades como taladrado, punzonado y fresado, donde la secuencia de posicionamiento y ejecución de la operación es crucial [41].
  - ✓ *Sistema de control de trayectoria continua*

    En este tipo de sistemas, tanto la disposición en cuanto a la posición como la realización de las operaciones se llevan a cabo a lo largo de rutas controladas, pero a diferentes velocidades. Dado que la herramienta funciona a medida que avanza a lo largo de una trayectoria predefinida, la precisión en el control y la sincronización de velocidades y movimientos es de suma importancia [41].

2.2.5 Componentes de una máquina CNC láser

De acuerdo con los componentes de una máquina láser, el equipo de corte puede dividirse, según el tipo de láser, en sólido y gaseoso. Además, dependiendo de los diferentes métodos de trabajo del láser puede ser una máquina de láser continuo y láser pulsado. La máquina de corte por láser CNC generalmente se compone de: (1) Sistema láser, (2) Sistema de control, (3) Mecanismo de movimiento, (4) Sistema de enfriamiento y refrigeración, (5) Superficie de trabajo, (6) Sistema de extracción de humo - aire y suministro de gas, (7) Sistema de visión y referencia y (8) Panel de control y pantalla.

Según Mandy Yan, consultor técnico láser de MimoWork, una máquina de corte por láser de CO_2 consta básicamente de un láser, un sistema de guía de luz, un sistema CNC, un soplete de corte, una consola, una fuente de gas, una fuente de agua y un sistema de escape con una potencia de salida alrededor de 500 y 3000 [W] [42]. A continuación, se definen brevemente cada uno de los componentes que se muestran en la Figura 2.6 de la estructura básica de un equipo típico de corte por láser de CO_2:

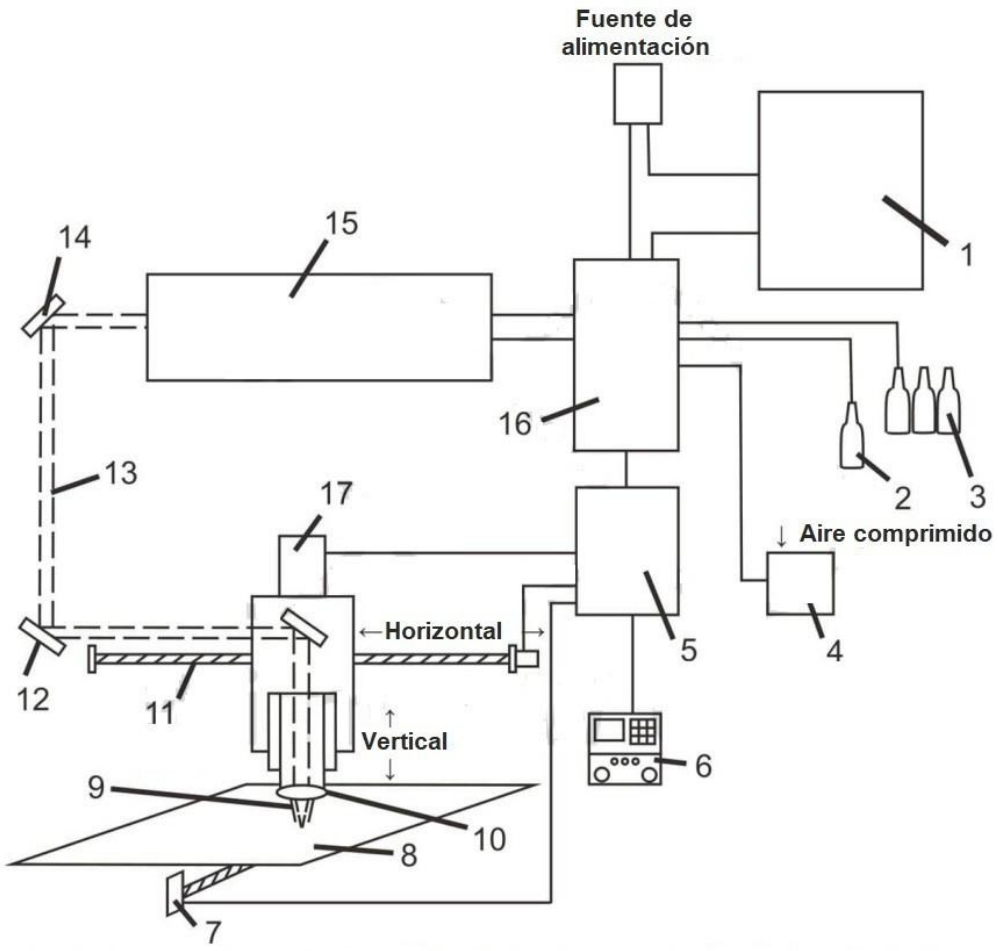


Figura 2. 6 Estructura básica de una máquina de corte por láser de CO_2. 1 enfriador de agua, 2 suministro de gas, 3 suministro de gas auxiliar, 4 bombas de aire, 5 sistema CNC, 6 panel de control, 7 servomotores, 8 mesa de trabajo, 9 antorcha de corte, 10 lentes de enfoque, 11 tornillos de avance, 12 espejos reflectantes, 13 rayos láser, 14 espejos reflectantes, 15 tubos láser, 16 fuentes de alimentación láser, 17 controladores para motores y soplete de corte[3].

- **Sistema láser**

  - ✓ *Fuente de alimentación del láser:* Suministra energía de alto voltaje para los tubos láser. La luz láser generada pasa a través de los espejos reflectantes y el sistema de guía de luz guía el láser en la dirección requerida para la pieza de trabajo.
  - ✓ *Oscilador láser (tubo láser):* Es el equipo principal para generar luz láser.

- **Sistema de Control**
    - ✓ *Sistema CNC:* Controla el movimiento del plano de corte y del soplete de corte, además se encarga de controlar la potencia de salida del láser.
    - ✓ *Software CAM:* Convierte el diseño digital en instrucciones específicas para la máquina CNC láser. Puede generar código G, que es un conjunto de comandos numéricos que indican los movimientos y operaciones que la máquina debe realizar.
- **Mecanismo de movimiento**
    - ✓ *Motores:* Controlan los movimientos de los ejes X, Y y Z de la máquina. Pueden ser motores paso a paso o servomotores, dependiendo de la aplicación y los requisitos de precisión.
    - ✓ *Guías lineales y husillos de bolas:* Proporcionan la estructura y la precisión necesarias para el movimiento controlado de la máquina en los ejes.
    - ✓ *Cabezales láser:* Se utiliza para sostener y dirigir el haz láser hacia el material, se mueve a lo largo del eje Z según los parámetros requeridos de la longitud focal. Algunos cabezales láser permiten el ajuste automático de la altura en relación con la superficie del material, especialmente útil al cortar materiales que no tienen una superficie completamente plana.
- **Sistema de enfriamiento y refrigeración**
    - ✓ *Enfriador de agua:* Se utiliza para enfriar los tubos láser. Un tubo láser es un dispositivo que convierte la energía eléctrica en energía luminosa. Si la tasa de conversión de un láser de CO_2 es del 20 %, el 80 % restante de la energía se convierte en calor. Por lo tanto, es necesario el enfriador de agua para eliminar el exceso de calor y mantener los tubos funcionando bien.

- ✓ *Ventiladores y sistemas de disipación térmica:* Mantienen las temperaturas óptimas de los componentes electrónicos y del tubo láser.

- **Superficie de trabajo**
  - ✓ *Mesa de trabajo:* Se utiliza para colocar la pieza de corte y puede moverse con precisión según el programa de control, generalmente es impulsada por un motor paso a paso o un servomotor.

- **Sistema de extracción de humo - aire y suministro de gas**
  - ✓ *Ventilador y conductos:* Ayudan a eliminar los humos y residuos generados durante el proceso de corte o grabado.
  - ✓ *Bomba de aire:* Se utiliza para suministrar aire limpio y seco a los tubos láser y a la trayectoria del haz para mantener la trayectoria y el reflector funcionando normalmente.
  - ✓ *Cilindros de gas:* Se incluyen los cilindros de gas medio de trabajo con láser y cilindros de gas auxiliares. Se utilizan como suministro de gas para la oscilación del láser y aportar del gas auxiliar para el corte.

- **Sistema de visión y referencia**
  - ✓ *Espejos reflectantes:* Se encargan de guiar el láser hacia la dirección requerida. Para evitar un mal funcionamiento de la trayectoria del haz, todos los espejos deben poseer cubiertas protectoras.
  - ✓ *Antorcha de corte:* Incluye principalmente piezas como el cuerpo de la pistola láser, la lente de enfoque y la boquilla de gas auxiliar, entre otras.

- **Panel de control y pantalla**
    - ✓ *Panel de control:* Se utiliza para controlar todo el proceso de trabajo de este equipo de corte.
    - ✓ *Interfaz de usuario:* Permite a los operadores controlar y monitorear la máquina, así como ajustar parámetros importantes.

En la siguiente sección se detallan a profundidad algunos aspectos importantes sobre los principales componentes que se utilizan para el desarrollo del prototipo de la máquina CNC láser de este trabajo de investigación:

- **Controlador CNC**

Básicamente, el controlador es el cerebro de un sistema CNC, ya que recibe señales condicionadas de una computadora o indexador e interpretar esas señales en movimiento mecánico a través de la salida del motor. Este sistema incluye circuitos de protección, controladores de motor paso a paso o servomotores, fuente de alimentación, interfaces de interruptor de límite, controles de potencia y otros periféricos [39].

Estos controladores se pueden utilizar en varios equipos de taller mecánico; entre ellos se incluyen molinos horizontales y verticales, tornos y centros de torneado, rectificadoras, máquinas de electrodescarga (EDM), máquinas de soldadura y máquinas de inspección. El número de ejes puede oscilar entre uno y cinco, con una configuración que permita controlar más de seis ejes. Los tipos de montaje para controla- dores CNC incluyen montaje en placa, independiente, de escritorio, colgante, pedestal y bastidor. Algunas unidades pueden tener pantallas integradas, pantallas táctiles y teclados para controlar y programar [43].

Este tipo de controladores tienen tres componentes principales que se describen a continuación: (1) la unidad de fuente de alimentación, (2) el sistema de protección de circuitos y (3) el controlador o driver del motor.

- **Fuente de alimentación**

En cuanto a la fuente de alimentación, los controladores CNC requieren una línea de bajo voltaje, a través de la cual se establece esa comunicación entre la computadora y la máquina, necesaria para direccionar o indicarle qué hacer a la máquina. Además, se requiere de una fuente de energía que proporcione el suministro adecuado para realizar operaciones de movimiento, corte y otras similares según las competencias de la máquina. Es importante mencionar la presencia de un convertidor de potencia, más conocido como" unidad de fuente de alimentación (PSU, por sus siglas en inglés)" que se aplica con frecuencia para cambiar la forma de la energía suministrada de corriente alterna (CA) de la red eléctrica a corriente continua (CC). Por otro lado, la fuente de alimentación maneja grandes voltajes y corrientes que podrían resultar perjudiciales para los circuitos NC. Por ello, generalmente la fuente de alimentación, los controladores y los motores se encuentran separados de la computadora por un sistema de protección de circuitos que se encarga de aislar las sobretensiones de energía eléctrica [44].

- **Sistema de Protección de Circuitos**

El sistema de protección de circuitos contiene la placa de conexión que permite aislar las señales de la computadora para luego distribuirlas hasta los controladores deseados. Y, además, permite establecer una conexión más fácil de los periféricos, tales como interruptores de límite, que devuelven información hacia la computadora. Adicionalmente, los fusibles integran el sistema

de protección del circuito por su capacidad de resguardar el equipo en caso de picos eléctricos, cortocircuitos o cableado defectuoso [44].

- **Controlador o Driver del motor**

Un controlador, según la electrónica, la automatización y la ingeniería, es el dispositivo o mecanismo responsable de mantener, influir o dirigir el funcionamiento de un sistema para lograr resultados deseados o cumplir criterios específicos. Los controladores de motor reciben la señal de comunicación y luego coordinan pulsos de corriente y voltaje deseados para provocar el movimiento en los motores de accionamiento. Los controladores del motor pueden llevar información de posición en una dirección al motor (sistema de circuito abierto) o enviar y recibir información de posición (sistema de circuito cerrado), dependiendo del sistema de accionamiento elegido por el usuario [43].

Además, de acuerdo al alcance del estudio, el diseño de la máquina requiere de los componentes que se definen a continuación:

- **Guías**

Las guías lineales son componentes esenciales que facilitan el movimiento lineal en los ejes X, Y y Z. Por lo general, constan de rieles y rodamientos que proporcionan un movimiento suave y preciso al cabezal de corte láser. Entre los elementos de guías más utilizados se tienen: el riel y guía deslizante, la guía lineal con rodillos perfilados y los rodamientos lineales. Específicamente, los rieles son los componentes fijos a lo largo de los cuales se desliza el cabezal de corte láser u otras partes móviles. Están montados en el bastidor de la máquina y proporcionan un camino estable para un movimiento preciso. Mientras que los rodamientos se utilizan para reducir la fricción y

garantizar un movimiento suave a lo largo de las guías lineales. Los tipos comunes incluyen rodamientos de bolas y rodamientos de rodillos, elegidos en función de los requisitos específicos de la máquina de corte por láser.

Para realizar estos movimientos es necesario que el sistema sea preferentemente liso y presente la menor cantidad de fricción posible para no ralentizar el movimiento. Además, las rieles deben ser completamente ortogonales; es decir, fijadas a 90° con respecto a los otros ejes y un rango de juego muy bajo para no alterar la precisión de la máquina. [45].

Para el cumplimiento de los objetivos del estudio se utilizan las guías HIWIN EG15 fabricadas en Taiwan por la Corporación de Tecnologías Hiwin que se describen a continuación. Como se menciona anteriormente, estas guías lineales son componentes esenciales en sistemas de movimiento lineal y forman parte de la serie EG. Están elaboradas en materiales de alta resistencia, como el acero endurecido o el acero inoxidable, brindando durabilidad y resistencia. Estas guías ofrecen un perfil ancho que les permite soportar cargas radiales y axiales [46].

Este tipo de guía es especialmente apreciada en aplicaciones donde la precisión del movimiento es crucial. La precisión es una característica destacada de las guías HIWIN EG15, con tolerancias ajustadas que aseguran movimientos suaves y posicionamiento preciso. Su diseño incorpora sistemas de recirculación de bolas para minimizar la fricción y mejorar la eficiencia en el desplazamiento a lo largo del riel. Además, presentan un sistema de sellado para proteger contra la entrada de contaminantes como polvo y partículas. Este tipo de guía lineal se encuentra disponible en diversas longitudes de raíl para adaptarse a diferentes aplicaciones y requisitos de espacio [46].

- **Motores paso a paso**

Los motores paso a paso son dispositivos electromagnéticos que convierten pulsos digitales

en movimientos de rotación mecánica. La velocidad de rotación está relacionada con la frecuencia de esos pulsos, mientras que la proporción de rotación es proporcional al número de pulsos generados. Debido a la conversión de pulsos eléctricos en movimientos angulares de gran precisión son altamente requeridos en sistemas donde la precisión es una de las características principales. Esto debido a la capacidad de los controladores de subdividir los pasos originales en otros más pequeños para tener una resolución de menor grado. Por otro lado, si la inercia del sistema es reducida; es decir, si el tiempo de aceleración y deceleración es corto, un motor paso a paso es la alternativa adecuada [45].

El motor paso a paso NEMA 23 modelo 23HS3415 es un componente ampliamente utilizado con dimensiones de montaje estándar fabricado en los Estados Unidos por la Asociación Nacional de Fabri- cantes Eléctricos (NEMA). Tiene un ángulo de paso típico de 1,8 ° por paso, este motor proporciona un movimiento preciso avanzando. Una de las especificaciones clave es el torque de detención, que representa el par máximo que el motor puede generar cuando se detiene. Para este modelo, el torque de detención se encuentra alrededor de 2,2 [N · m].

En cuanto a la corriente nominal, es equivalente a 3 [A]. La resistencia por fase está dentro del rango de 1 - 2 [Ω] mientras que la inductancia por fase oscila entre 0,003 y 0,004 [H]. El torque de retención, que es necesario para mover el rotor cuando el motor no está energizado es igual a 1,9 [N · m]. Además, la inercia del rotor es igual a 4600 [$kg \cdot m^2$], esta indica la resistencia a los cambios en la velocidad angular [47].

- **Sistemas de transmisión**

Para transmitir la fuerza de giro del motor a un movimiento lineal es preciso utilizar algunos

elementos esenciales que ayudan a llevar a cabo este proceso, así como:

- ✓ *Varillas roscadas*

  Es un sistema sencillo que consta de una rosca métrica M8 o M10 que va acoplada directamente al motor paso a paso por lo que su movimiento resulta lento pero preciso.

- ✓ *Correa dentada*

  Consta de una correa colocada entre dos engranajes, uno que se conecta al motor paso a paso y el otro al eje que se desea mover. La particularidad de este sistema se centra en la rapidez y uniformidad del movimiento.

- ✓ *Piñón y cremallera*

  Es un sistema de fácil mantenimiento que brinda velocidad y precisión al sistema, cuya característica principal es el soporte de estructuras robustas o sistemas que contienen diversos accesorios acoplados

- **Cabezales láser**

Los cabezales láser son componentes esenciales en las máquinas de corte láser ya que albergan el módulo responsable de emitir el rayo láser. Estos cabezales incluyen lentes de enfoque, boquillas y otros componentes cruciales para dirigir y enfocar el rayo láser sobre el material que se va a cortar. Entre los componentes clave que podrían incluirse en un conjunto de cabezales láser Cloudray C series, que se adapta a los requerimientos de este proyecto, se tienen: (1) el módulo láser que es la fuente real que emite el rayo, la potencia y la longitud de onda varía según la aplicación. (2) el lente de enfoque que ayuda a enfocar el rayo en un punto preciso de la superficie del material. (3) la boquilla que dirige el rayo láser sobre el material y ayuda con el flujo de aire o

gas. (4) Los accesorios de montaje que sirven para montar de forma segura el cabezal láser en la máquina. (5) Los cables y conectores que ayudan a establecer la comunicación entre el cabezal láser y el sistema de control [48].

2.2.6 Máquinas CNC láser comercialmente disponibles

A continuación, en la Tabla 2.2 se presenta un resumen de las características y especificaciones técnicas de los modelos de máquinas de corte láser que se encuentran disponibles en el mercado como son: FUSION PRO 48 [49], PLS6150D [50], SP500 [51], y LS-3655 [52] mismos que se seleccionan en función de los parámetros más adecuados para su adaptación eficiente a las tareas relacionadas con la confección textil a pequeña escala.

2.2.7 Generalidades de la fibra de algodón

El algodón es la fibra natural más importante y ha sido la opción preferida de la industria textil y de los consumidores desde que comenzó la revolución industrial. La proporción de fibras artificiales, tanto regeneradas como sintéticas, ha aumentado considerablemente en los últimos años, sin embargo, la producción de algodón también ha aumentado considerablemente y representa aproximadamente la mitad de las fibras utilizadas para prendas de vestir y productos textiles.

La fibra de algodón es la fuente más pura de celulosa y la fibra natural más significativa alrededor del mundo. La importancia económica del algodón en el mercado mundial es evidente por su participación mayoritaria (más del 50 %) entre las fibras disponibles para la elaboración de prendas de vestir y productos textiles. Tanto el valor de mercado como la calidad de los productos de algodón están directamente relacionados con la calidad de la fibra. La competencia con otras fibras se ve afectada por las innovaciones y la comercialización de otras fibras, como las fibras de

microdenier (poliésteres y nylons), elastoméricas (spandex) y lyocell, entre otras. La comprensión fundamental de las fibras desde su formación estructural durante la etapa de desarrollo, así como sus propiedades químicas y físicas, son parte fundamental en la mejora significativa en la calidad de las fibras, la innovación de procesos y la diferenciación de productos. Todo esto es de gran importancia a la hora de mantener la competitividad entre una gran variedad de fibras por parte de las fibras de algodón y su participación en los mercados mundiales de prendas de vestir y otros textiles [17].

- **Estructura y propiedades fisicoquímicas del algodón**

Todas las plantas están formadas por celulosa, pero en mayor o menor porcentaje de acuerdo con varios factores. La composición química específica de las fibras de algodón varía según sus variedades y entornos de cultivo tales como el suelo, agua, temperatura, plagas, madurez, entre otras.

Las fibras de algodón son la forma más pura de celulosa, el polímero más abundante de la naturaleza. Alrededor del 90 % de las fibras de algodón están hechas de celulosa. Los componentes no celulósicos incluyen proteínas (1,0-1,9 %), ceras (0,4-1,2 %), pectinas (0,4-1,2 %), inorgánicos (0,7-1,6 %) y otras sustancias (0,5-8,0 %). Las ceras y pectinas son las responsables de la hidrofobicidad o baja humectabilidad en agua de las fibras de algodón en bruto [17]. Entre las sustancias inorgánicas, la presencia de fósforo es importante para el proceso de desgrasado utilizado para preparar las fibras para el teñido. Estos compuestos de fósforo son solubles en agua caliente, pero se vuelven insolubles en presencia de metales alcalinotérreos. Como consecuencia, el uso de agua dura, puede precipitar fosfatos metálicos alcalinotérreos en las fibras en lugar de eliminarlas [53].

Por otro lado, la celulosa tiene el peso molecular más alto entre todas las fibras vegetales y el orden estructural más alto. Es decir, presenta una estructura altamente cristalina, orientada y

fibrilar que lo convierte en una fibra y biomasa de primer nivel.

2.2.8 Requerimientos mínimos para cortar tela de algodón

Para cortar tela de algodón con un láser de CO_2, existen varios aspectos y requisitos a considerar para garantizar un proceso eficiente y seguro. Entre los requerimientos mínimos a tener en cuenta se tiene: la potencia del láser, tipo de lente, velocidad de corte, gas de asistencia, enfriamiento, mesa de trabajo, preparación del diseño, entre otras.

La potencia del láser debe ser suficiente para cortar el grosor de la tela de algodón. El grosor de una tela de algodón puede variar significativamente según el tipo específico de tela y su construcción. Las telas de algodón están disponibles en una amplia gama de pesos y texturas, desde telas livianas y suaves hasta telas más pesadas y densas. Las máquinas de corte láser de CO_2 para textiles suelen tener potencias que van desde 30 [W] hasta varios cientos de vatios. Según varios estudios, para el algodón potencias en el rango de 60 y 100 [W] suelen ser adecuadas.

Es importante emplear una lente de enfoque adecuada para el grosor del material ya que la elección de la lente afectará la calidad del corte y la velocidad del proceso. Las lentes de enfoque más comunes tienen distancias focales que van desde 0,0508 a 0,635 [m]. Adicionalmente, es fundamental ajustar la velocidad de corte de acuerdo a las especificaciones del fabricante de la máquina y el grosor del material. De lo contrario, un ajuste incorrecto de la velocidad puede resultar en un corte no uniforme o en un daño excesivo a la tela.

Por otro lado, es muy importante revisar las condiciones del gas de asistencia y el sistema de enfriamiento. Utilizar un gas de asistencia, como el aire o el nitrógeno, es clave para mejorar la eficiencia del corte y evitar que se acumulen residuos en la lente. El gas también es capaz de prevenir el amarilleo en los bordes del material. Además, es importante mantener activo el sistema de enfriamiento del tubo láser ya que este tipo de máquinas láser de CO_2 necesitan mantener

temperaturas estables para un rendimiento óptimo.

Con relación a la mesa de trabajo, es fundamental utilizar una mesa de trabajo que sea adecuada para la manipulación de telas de algodón. Se recomienda usar mesas con sistema de succión para mantener la tela en su lugar durante el corte. Es importante preparar el diseño con el software CAM que permita ajustar la velocidad, potencia y otros parámetros según las recomendaciones del fabricante y las características del algodón. Por ello, se recomienda realizar pruebas de muestra en trozos de tela similares que permita ajustar los parámetros de corte antes de realizar el trabajo final.

Capítulo 3

Marco Metodológico

En el siguiente capítulo se describe el enfoque metodológico empleado para llevar a cabo la investigación, con el propósito de seguir un proceso estructurado que permita alcanzar los objetivos establecidos para el diseño de la máquina cortadora láser para tela 100% algodón.

3.1 Tipo de investigación

Este trabajo se basa en un modelo de investigación documental ya que se requiere consultar diversas fuentes que serán de apoyo para la construcción de la cortadora laser además de hacer uso de una investigación aplicativa ya que se pondrá en práctica varios conocimientos adquiridos y que serán de gran importancia en el desarrollo de este trabajo.

3.2 Diseño de la investigación

A continuación, se presentan las diferentes fases con sus respectivas actividades las cuales son necesarias para cumplir con el objetivo principal del presente trabajo investigativo.

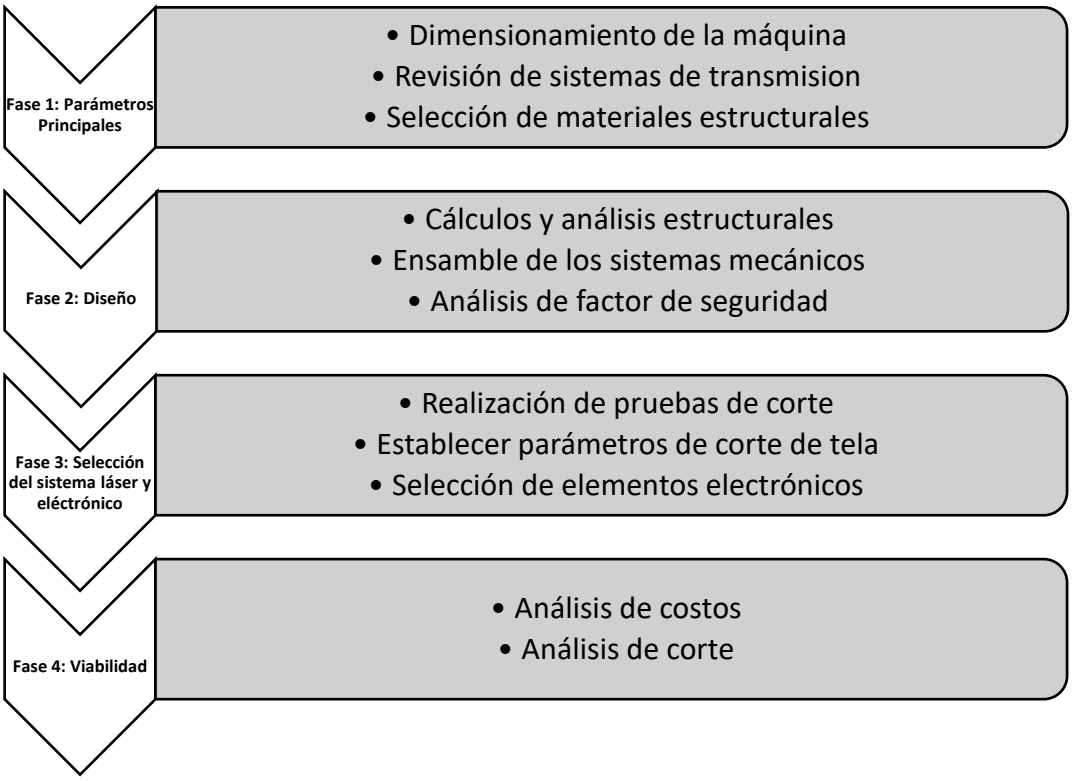


Figura 3. 1 Diagrama de flujo de actividades

3.2.1 Fase 1: Determinar los parámetros principales para el diseño de la máquina.

En este punto se determinarán aspectos como: los materiales, medidas y área de trabajo, los cuales se deben tomar en cuenta para el diseño de la cortadora laser.

- **Actividad 1:** Realizar la consulta de catálogos y normas para determinar los tipos de materiales y seguridades necesarias para el diseño de la máquina
- **Actividad 2:** Establecer las dimensiones de la máquina y el área de trabajo requeridos en base a las normas de ergonomía y medidas de la tela.
- **Actividad 3:** Seleccionar los materiales para el diseño de la estructura de modo que se tenga un fácil acceso y su precio asequible.

3.2.2 Fase 2: Diseñar la máquina con sus respectivos sistemas y parámetros preestablecidos.

En esta etapa se realizará el diseño de la cortadora laser teniendo en cuenta todos los datos obtenidos anteriormente y que se integraran dentro del prototipo.

- **Actividad 1:** Realizar el boceto de la estructura de la máquina.
- **Actividad 2:** Integrar dentro del diseño todos los parámetros preestablecidos.
- **Actividad 3:** Realizar los cálculos correspondientes para verificar la resistencia de la estructura y determinar los elementos esenciales a utilizar.
- **Actividad 4:** Ensamblar los sistemas mecánicos dentro de la estructura.

3.2.3 Fase 3: Selección del sistema láser y electrónico.

- **Actividad 1:** Cortar las muestras de tela de tal manera que podamos obtener datos acerca de la potencia que se requiere para cortar una cantidad mínima de capas.
- **Actividad 2:** Con los resultados de las pruebas anteriormente realizadas establecer los parámetros de corte como la velocidad y potencia necesarias para un resultado óptimo.
- **Actividad 3:** Seleccionar los elementos electrónicos de la máquina que sean compatibles con el láser y el sistema de transmisión de movimiento de la máquina.

3.2.4 Fase 4: Determinar la viabilidad de la máquina dentro de la industria.

- **Actividad 1:** Realizar un análisis de costos para determinar el valor final que tendría la construcción de la máquina en comparación con modelos que se encuentran en el mercado.
- **Actividad 2:** Evaluar los resultados obtenidos de las telas cortadas haciendo énfasis en la calidad de corte y en el acabado final que resulta del paso del láser.

Capítulo 4

Resultados

Esta sección presenta un resumen descriptivo de la metodología llevada a cabo en este estudio. Proporciona información sobre las características del dimensionamiento del producto mecatrónico, así como del diseño estructural de la máquina de corte láser. El diseño se basa en las opciones comercialmente disponibles para la industria textil y de confección a pequeña escala. Previo a la selección de los componentes se realiza un análisis estructural tanto para el ensamblaje del eje X como del eje Y para garantizar que se adapten a las necesidades de los usuarios en conjunto con las bases de ingeniería. En esta sección se realizan los cálculos de torque respectivos para determinar la capacidad de rotación y requisitos de potencia que requiere el sistema para la selección adecuada de los motores. Además, se presenta el análisis estático y el diagrama de corte y momento para cada uno de los ejes. Luego, se registran las diferentes pruebas que justifican la selección de los principales componentes, así como las especificaciones técnicas del fabricante. Después, en las secciones 4.5 y 4.6 respectivamente, se presentan el diseño del sistema eléctrico y las características del software que forma parte de la interfaz de la máquina. Finalmente, se explican los parámetros aplicados, así como la configuración experimental para el análisis de elementos finitos.

4.1 Dimensionamiento del dispositivo mecatrónico

En la actualidad, las cortadoras láser fabricadas por las distintas compañías afines se han venido adaptado a las necesidades de los diferentes campos laborales en los cuales han sido requeridas, como, por ejemplo: en su tamaño y área de trabajo, en la velocidad, la potencia máxima

del láser y los materiales que las máquinas pueden cortar, llegando a dar un soporte valioso en temas de aumento de la producción y calidad del producto final e incluso a permitiendo evolucionar la manera de trabajo.

En el mercado se pueden encontrar varios modelos de cortadoras láser que se pueden adquirir de forma libre y de acuerdo con las necesidades de los usuarios. En la Figura 4.1 se muestra una cortadora láser multipropósito. Para este proyecto se utilizará una máquina similar en la cual se realizarán pruebas de funcionamiento con las que podremos determinar los parámetros necesarios en el corte de tela, además de establecer una guía para el diseño estructural, el sistema mecánico y electrónico que garanticen el buen funcionamiento de la máquina.

El proyecto de tesis tiene como fin hacer frente a todas las necesidades del usuario, para ello se establecen los aspectos fundamentales que se deben considerar antes de realizar el diseño de la máquina mismos que se dividen en tres puntos importantes:

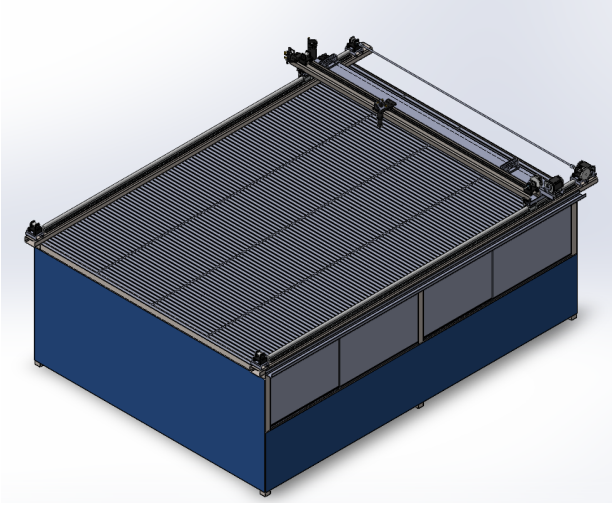


Figura 4. 1 Máquina cortadora láser

- **Aspectos Mecánicos**

Para garantizar la durabilidad de la máquina se deben escoger materiales que presenten una buena resistencia al desgaste y posibles impactos. En el sistema de transmisión y ejes se debe evitar la oxidación permitiendo que el desplazamiento sea óptimo. Por otro lado, se sabe que la velocidad de corte es indispensable para que la máquina sea productiva y pueda aportar a la pequeña industria; en este sentido se determinará en conjunto con los motores, la potencia del láser y la selección de las guías. Por último, la máquina debe precautelar la seguridad del usuario. Para ello el diseño del mismo debe restringir el fácil acceso a las áreas de riesgo en las que el operario pueda sufrir una lesión. Es primordial realizar un manual de usuario que informe del correcto uso y manipulación de la máquina.

- **Aspectos Electrónicos**

Se debe tener una fuente de corriente eléctrica de 110V para la alimentación de la máquina que es el estándar que se maneja en nuestra localidad. El láser debe contar con su propia fuente de alimentación y el sistema de control debe ser de fácil manipulación.

- **Aspecto Económico**

El precio total de la máquina debe ser menor al de las máquinas comerciales que se igualen en tamaño y características. Los materiales para la construcción deben ser accesibles para que el usuario pueda comprarlos de manera fácil.

4.1.1 Dimensiones de la mesa de trabajo

El área de trabajo de la máquina será de 2 m de largo (eje X) y 1,5 m de ancho (puente o eje Y) como se mencionó anteriormente en los alcances de este proyecto, dichas medidas se las asignó a partir del tamaño estándar de los rollos de tela que se consiguen en el mercado nacional esto para facilitar el corte sin necesidad de realizar dobleces o reducir de manera excesiva el tamaño

de la tela al momento de colocarla en la máquina.

Por otro lado, en el presente diseño se consideran los parámetros ergonómicos más adecuados para el operario que realizará la manipulación del mismo. En este sentido, se requiere una altura desde el nivel del suelo hasta la superficie de la rejilla de corte entre los 0,75 y 0,85 [m]. Esto proporciona comodidad al momento de realizar los trabajos evitando la tensión en la espalda cuando se coloque el material. Todo esto concuerda con los parámetros estimados según las dimensiones del cuerpo humano, con el objetivo de alcanzar posturas naturales que garanticen un trabajo eficiente. Según la Organización Mundial de Salud (OMS)[54], se determinó que en Ecuador la estatura promedio en hombres es equivalente a 1,67[m], mientras que en mujeres es igual a 1,54[m].

Según lo mencionado anteriormente, la altura de la mesa presenta una altura igual a 82 cm y una longitud de 185 cm, mientras que el panel de control está ubicado a una altura de 110[cm]. Como se puede ver en la Figura 4. 2, estas dimensiones fueron adaptadas con la finalidad de que el operario pueda manipular la materia prima dentro de la mesa de corte sin ejercer una fuerza considerable de acuerdo con la altura del tórax.

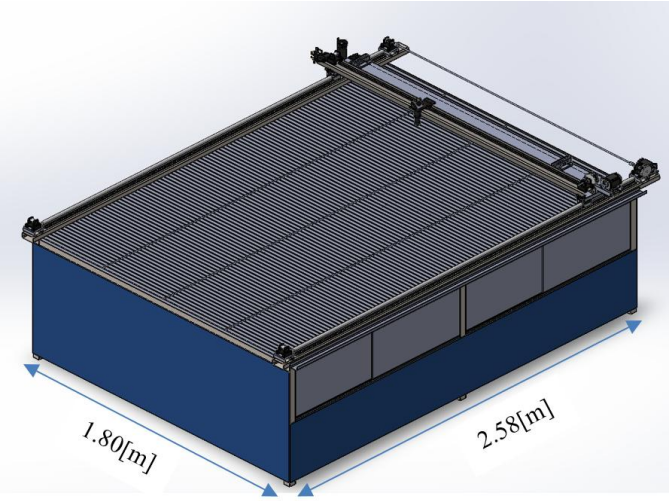


Figura 4. 2 Dimensiones de la máquina cortadora láser

4.2 Diseño estructural

A continuación, se presenta la disposición de la mesa de trabajo y los ejes de traslación para la máquina cortadora láser como se observa en la Figura 3.2. Este diagrama sirve como apoyo en el reconocimiento y diferenciación de los ejes al momento de realizar el respectivo análisis estructural.

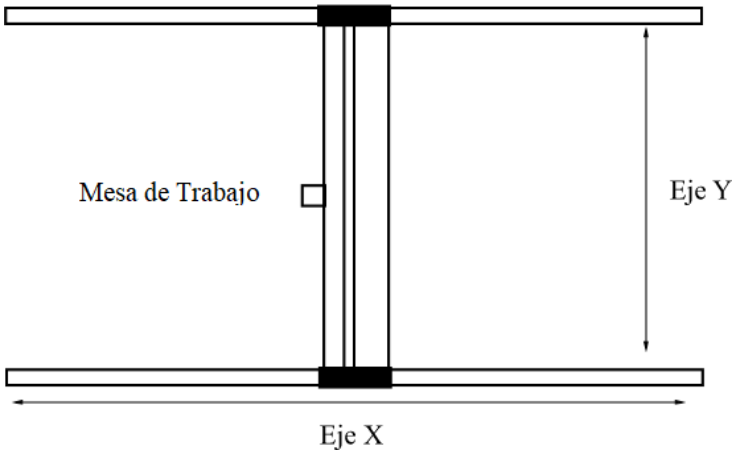


Figura 4. 3 Ejes X e Y en el diseño estructural de la máquina cortadora láser

El diseño estructural de la máquina se realiza tomando en cuenta las dimensiones que se requieren para la colocación del tubo láser y el área de trabajo requerida. En la siguiente sección, se define el armazón de soporte o mesa de trabajo, así como la posición de los ejes y cada uno de los componentes que se emplean en el diseño mecánico y electrónico analizado posteriormente.

4.2.1 Mesa de trabajo

Para la seleccionar el material de la estructura base de la máquina se tomó en cuenta la facilidad de acceso, su precio y facilidad de ensamble, es por ello que se optó por el acero estructural negro ASTM A36 con norma de fabricación NTE INEN 2415 y calidad SAE J 403 1008 debido a sus características de resistencia, durabilidad y la facilidad que nos brinda para la

fabricación de la estructura ya que es más fácil de soldar, lo que permite una construcción robusta y segura. A diferencia del aluminio que, aunque es más liviano, su menor rigidez y modo de ensamble mediante anclas podría generar deformaciones y vibraciones, afectando la estabilidad del sistema. A continuación, en la Figura 4.4 y en la Tabla 4.1 se presenta el diseño de la estructura junto con el tipo de perfiles utilizados y sus dimensiones respectivamente.

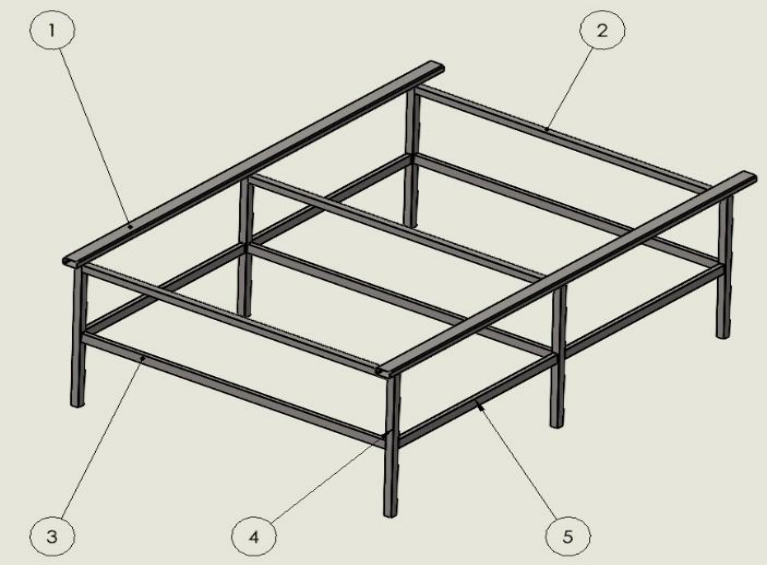


Figura 4. 4 Diseño estructural del armazón de soporte para la máquina cortadora láser

Tabla 4. 1Detalle perfiles de acero estructural negro ASTM 36

#	Perfil	Dimensiones	Cantidad
1	80 x 40 x 1.5	2,58[m]	2
2	40 x 1,8	0,83[m]	6
3	40 x 1,8	1,68[m]	3
4	50 x 25 x 1,5	1,13[m]	4
5	50 x 25 x 1,5	1,68[m]	3

Para comprobar la resistencia de la estructura se realizó un análisis estático aplicando las cargas correspondientes a la rejilla y a la estructura que sostiene a todo el sistema láser. Así podemos evidenciar que tenemos un factor de seguridad de 16.05 en las zonas más críticas de la estructura.

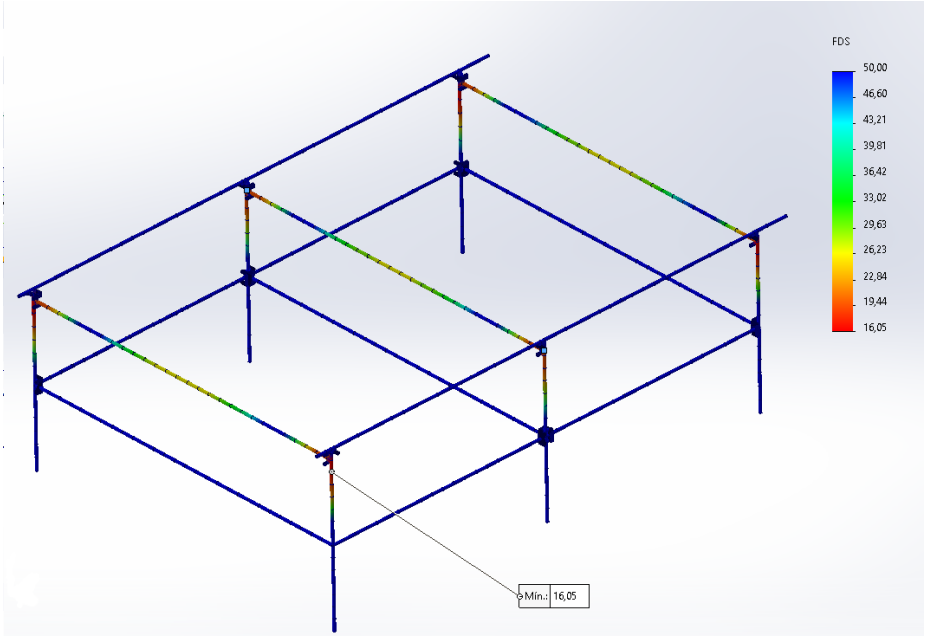


Figura 4. 5 Factor de seguridad de la estructura de la mesa

4.3 Cálculos y Análisis estructural

SELECCIÓN DE RODAMIENTO

Riel Eje Y

Masa total = 3 kg

F_{ra} = 9.81 N

Riel Hiwin EG15 = 7830 N (Carga dinámica)

$$F_s = \frac{7830N}{9{,}81} = 798{,}16 \tag{3,1}$$

Riel Eje X

Masa total = 26,04 kg

Peso = 255,45 N

Riel SBN20 = 860 N (Carga dinámica)

$$F_s = \frac{860N}{276{,}2N} = 3{,}11 \tag{3,2}$$

4.3.1 Análisis del eje Y

DIAGRAMA DE CORTE Y MOMENTO

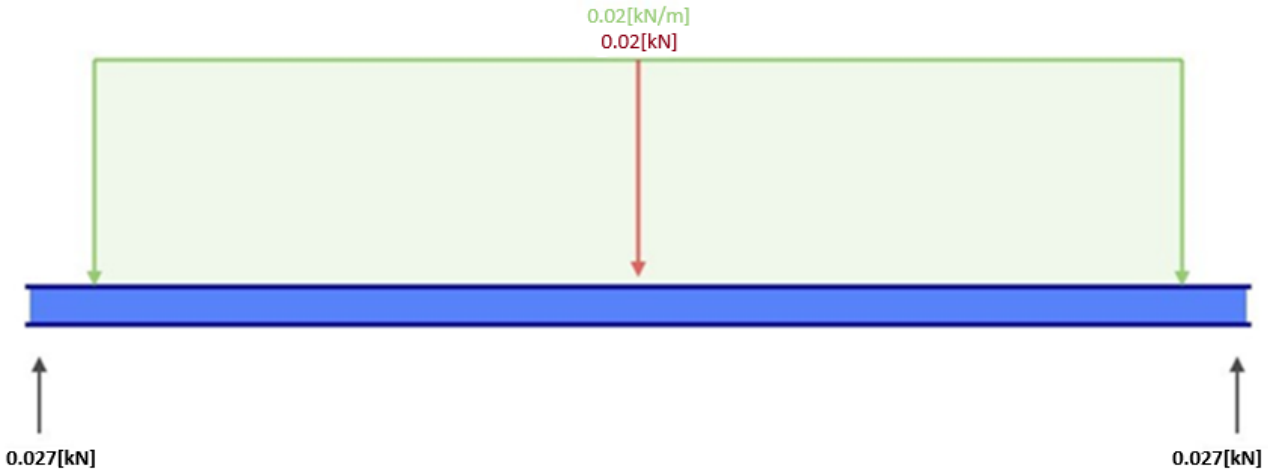


Figura 4. 6 Diagrama de cuerpo libre eje Y

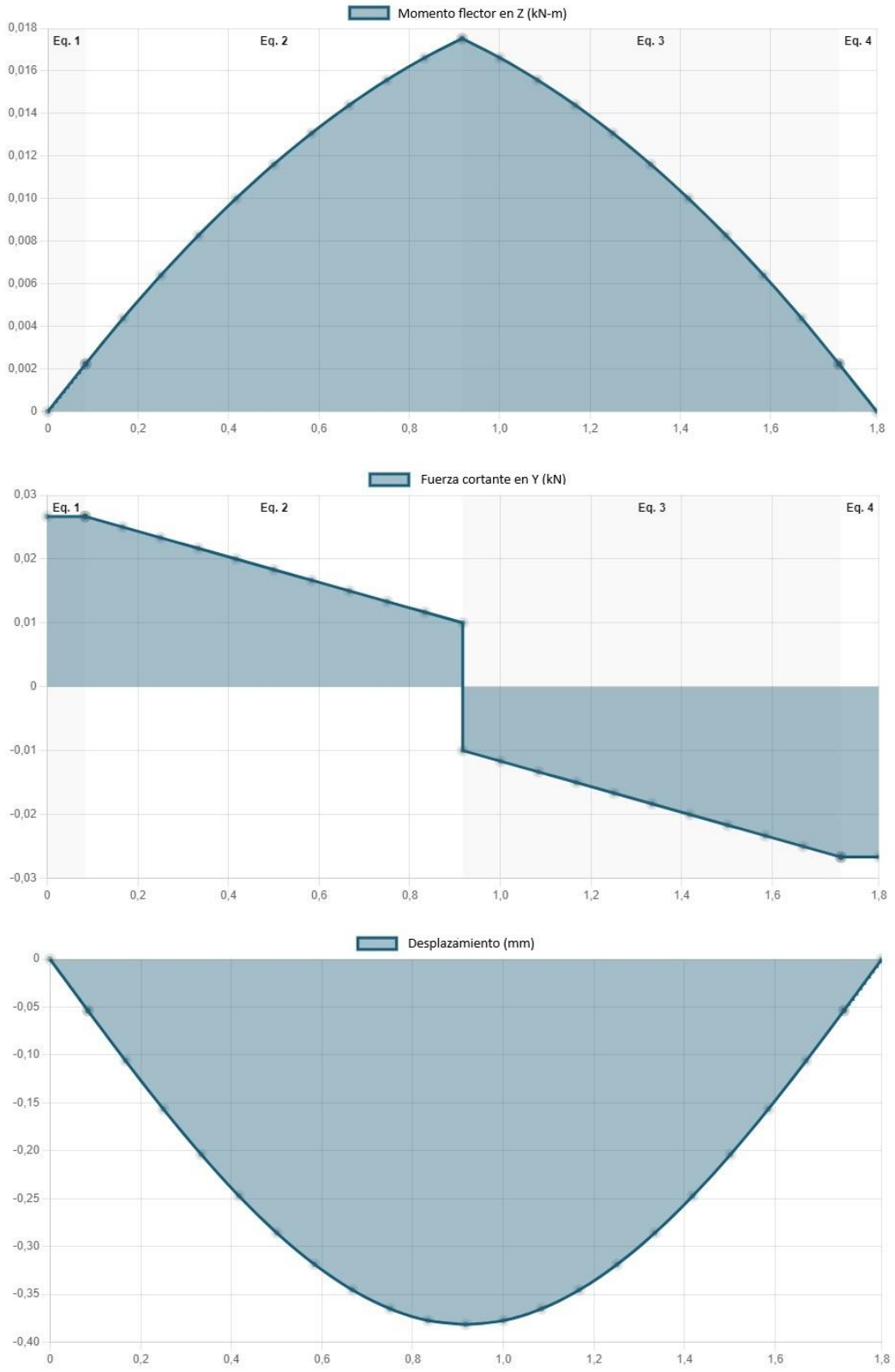


Figura 4. 7 Diagrama de corte y momento eje Y

ANÁLISIS ESTRUCTURAL

$$\Sigma F_y = 0$$

$$\vec{R_A} + \vec{R_B} - (P + Q) = 0$$

(3.3)

Donde

P + Q = Peso del carro X + Peso del riel

$\vec{R_A}$= Reacción en A

$\vec{R_B}$= Reacción en B

$$\Sigma M_a = 0$$

$$\vec{P} \times \frac{\vec{L}}{2} + \vec{R}_B \times \vec{L} = 0$$

(3,4)

Donde:

L = Longitud de la guía = 1,835 m

$P + Q = 29{,}43N$

$\vec{R_A} = \vec{R_B} = 14{,}71N$

$$F_s = \frac{S_y}{\sigma_{max}}$$

(3,5)

Se tiene que $S_y = 250MPa$ y $F_s = 2$, entonces:

$$\sigma_{max} = 125MPa$$

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} \, . \, C}{l}$$

(3,6)

Se conoce que $M_{max} = 18Nm$ y $C = 9{,}929m$, entonces:

$$l = 0{,}288cm^4$$

Para calcular la deflexión en vigas con carga a la mitad se tiene la siguiente expresión:

$$y_1 = \frac{-P\,.\,L^3}{48\,\cdot E \cdot l} \tag{3,7}$$

$$y_1 = \frac{-(20{,}04N)\,.\,(1{,}835)^3}{48\,\cdot (200GPa) \cdot (35{,}25 \times 10^{-8}m^4)} = -0{,}043mm \tag{3,8}$$

Así mismo, para calcular la deflexión en vigas con carga distribuida se emplea la siguiente expresión:

$$y_2 = \frac{-5\,\cdot\, W \cdot L^3}{348\,\cdot E \cdot l} \tag{3,9}$$

$$y_2 = \frac{-5\,\cdot\, (34Nm) \cdot (1{,}835m)^3}{348\,\cdot (200GPa) \cdot (35{,}25 \times 10^{\cdot 8}m^4)} = -0{,}41mm \tag{3,10}$$

De esta manera, la deflexión total estará dada por:

$$y_{max} = y_1 + y_2 = \frac{-P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot l} + \frac{-5\,\cdot\, W \cdot L^3}{348\,\cdot E \cdot l} = -0{,}453mm \tag{3,11}$$

Tabla 4. 2 Tabla de datos del sistema de torque requerido para el eje Y

Datos	Magnitud	Símbolos
Velocidad máxima	6000[mm/min]	V
Resolución	0,0006[m]	η
Masa del carro	2,5[kg]	m_c

Coeficiente de fricción	0,1	μ_c
Diámetro de la polea	0,022[m]	D_p
Ancho de la polea	0,016[m]	L
Masa de la polea	0,3[kg]	m_b
Densidad de aluminio	2700[kg/m^3]	ρ

$$l_{carro} = \frac{1}{4}(m_c)\left(D_p\right)^2 = \frac{1}{4}(2{,}5kg)(0{,}022m)^2 = 3{,}025 \times 10^{-4} kg \cdot m^2$$

(3,12)

$$l_{correa} = \frac{1}{4}(m_b)\left(D_p\right)^2 = \frac{1}{4}(0{,}3kg)(0{,}022m)^2 = 3{,}63 \times 10^{-5} kg \cdot m^2$$

(3,13)

$$l_{polea} = \frac{1}{16}\pi \cdot L \cdot \rho \cdot \left(D_p\right)^4 = \frac{\pi}{16}(0{,}016m)(2700kg/m^3)(0{,}022m)^4 = 1{,}98 \times 10^{-6} kg \cdot m^2$$

(3,14)

La aceleración está dada por la siguiente expresión:

$$\alpha = 2\frac{a_r}{D_p} = 2\frac{2}{0{,}026} = 153{,}84\, rad/s^2$$

(3,15)

$$T_{ac} = (\Sigma l) \cdot \alpha = (3{,}025 \times 10^{-4} + 3{,}63 \times 10^{-5} + 1{,}98 \times 10^{-6} kg \cdot m^2)(181{,}81) = 0{,}0619N \cdot m$$

(3,16)

$$T_{fricción} = D_p \frac{g \cdot m_c \cdot \mu_c}{2} = (0{,}022m)\frac{(9{,}81kg \cdot m/s^2)(2{,}5kg)(0{,}1)}{2} = 0{,}02697N \cdot m$$

(3,17)

$$T_{requerido} = F_s\left(T_{ac} + T_{fricción}\right) = 1{,}5N \cdot (0{,}0619N \cdot m + 0{,}2697N \cdot m) = 0{,}133N \cdot m$$

(3,18)

4.3.2 Ensamble del eje Y

En esta sección se presentan cada uno de los elementos que componen el puente o eje Y del diseño de la máquina láser. Como se observa en la Figura 4.8 y se detallan en la Tabla 4.3, se utilizan 9 elementos entre ellos el rodamiento y el riel lineal HIWIN EG15, la correa G, los tubos, la plancha de acero, el ángulo, un conjunto de piezas metálicas, así como el tubo láser y soportes para el mismo.

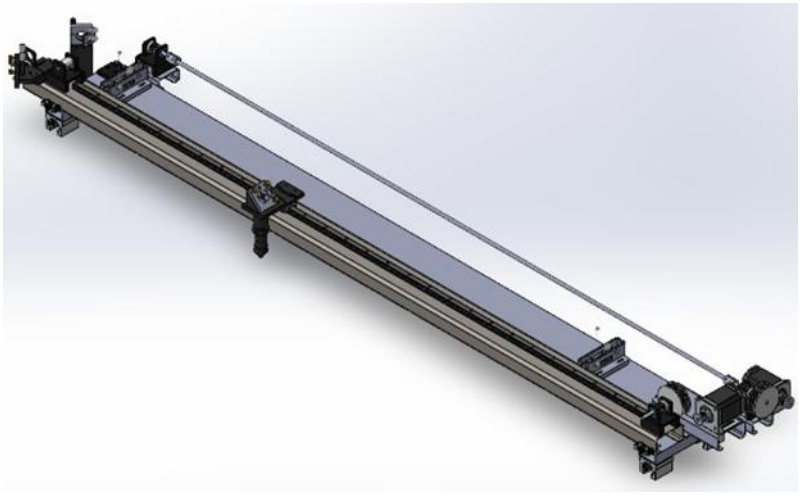


Figura 4. 8 Componentes diseño estructural del puente o eje Y de la máquina

Tabla 4. 3 Detalle componentes eje Y de la máquina láser

Elemento	Dimensiones	Cantidad
Rodamiento HIWIN EG 15		1
Riel Lineal HIWIN EG15	1,66[m]	1
Correa G 80x40x2	1,83[m]	1
Tubos 25x50x3	0,20[m]	2
Plancha de acero 3mm	1,76 x 0,112[m]	1
Ángulo 25x3	1,66[m]	3
Conjunto de piezas metálicas serie C Cloudray		1
Tubo láser CO2 100W	1,45[m]	1
Soportes para tubo láser		2

Adicionalmente, en el anexo 1 se encuentran los planos detallados que describen el diseño estructural de la máquina láser, proporcionando una guía visual y técnica para la construcción e implementación del dispositivo. Los planos ofrecen información exhaustiva sobre las dimensiones, disposición y relaciones entre los distintos componentes, facilitando así la comprensión y la reproducción precisa del diseño.

4.3.3 Análisis del eje X

DIAGRAMA DE CORTE Y MOMENTO

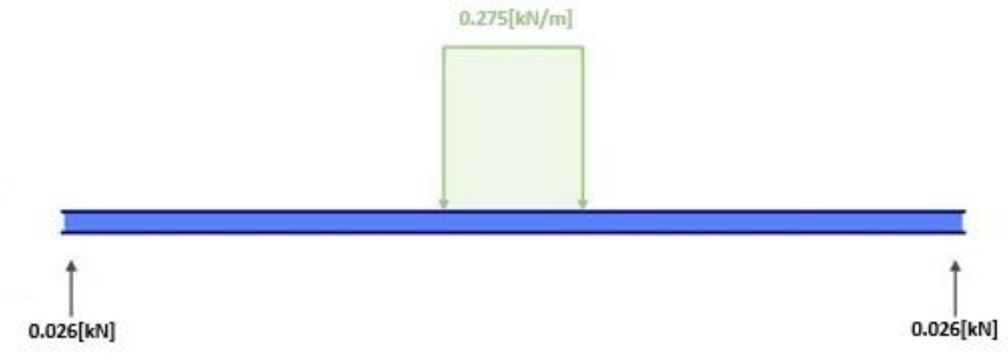


Figura 4. 9 Diagrama de cuerpo libre eje X

ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Masa total = 28,04 kg

Peso = 275,07 N

$\vec{R_A} = \vec{R_B} = 137,535$ N

$$F_s = \frac{S_y}{\sigma_{max}} \tag{3,19}$$

Se tiene que $S_y = 250$ MPa y $F_s = 1,5$, entonces:

$$\sigma_{max} = 166{,}66MPa$$

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} \cdot C}{I} = \frac{15 \cdot N \cdot C}{l} \tag{3,20}$$

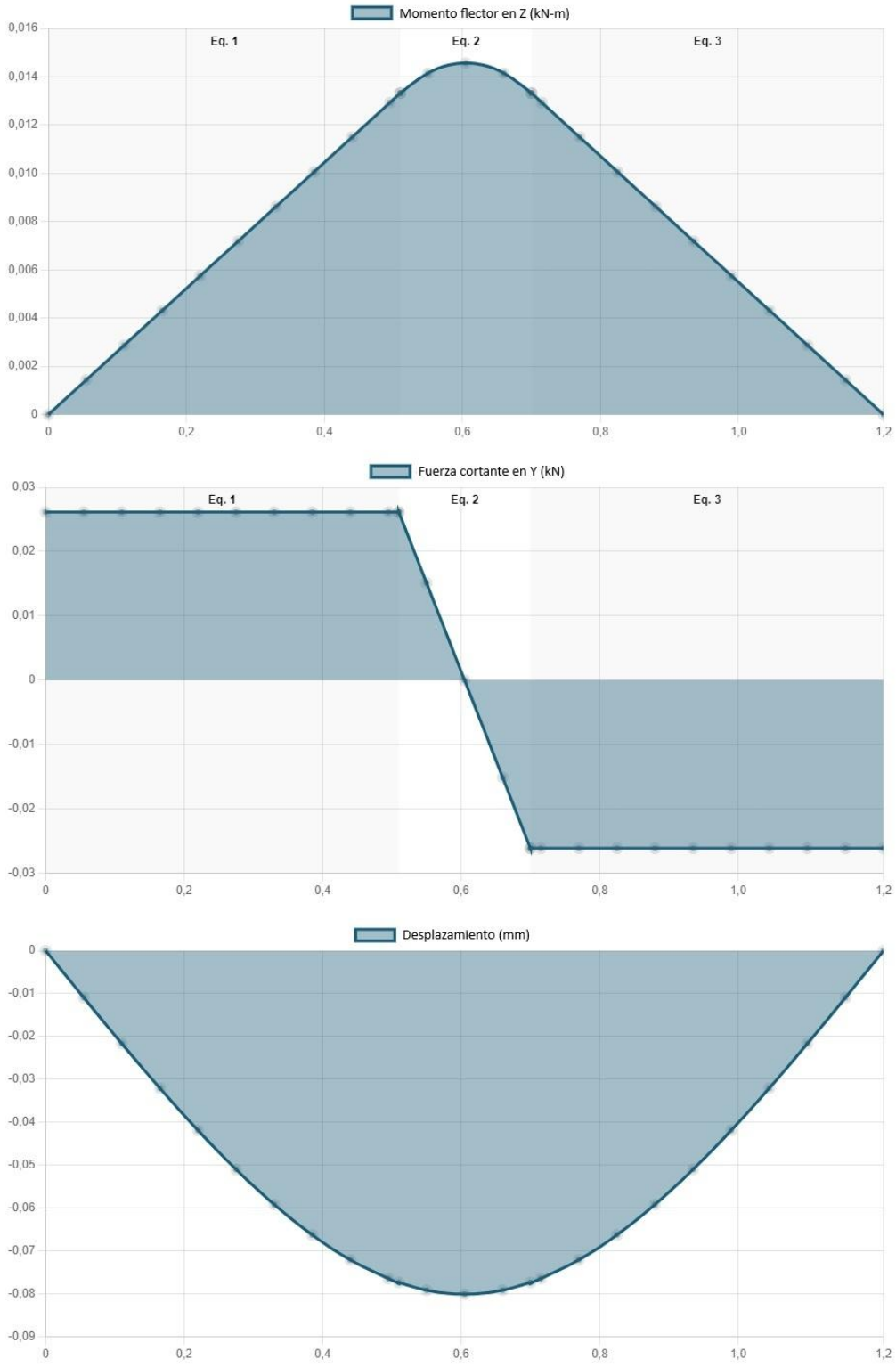


Figura 4. 10 Diagrama de corte y momento eje X

Se conoce que $N = 1,655 \times 10^{13}$ Nm y $C = 0,020$ m, entonces:

$$I = 2,98 \times 10^{10} m^4$$

Reemplazando este valor en la siguiente expresión se tiene:

$$y_{max} = \frac{-5 \cdot P \cdot L^3}{348 \cdot E \cdot l} = \frac{-5 \cdot (55{,}014N) \cdot (1{,}2m)^3}{348 \cdot (200GPa) \cdot (12{,}70 \times 10^{-8} m^4)} = -0{,}0537mm \quad (3{,}21)$$

Tabla 4. 4 Datos del sistema de torque requerido para el eje X

Datos	Magnitud	Símbolos
Velocidad máxima	6000[mm/min]	V
Resolución	0,0006[m]	η
Masa del carro	29[kg]	M_c
Coeficiente de fricción	0,1	μ_c
Diámetro de la polea 1m	0,026[m]	D_{p1}
Diámetro de la polea 2m	0,078[m]	D_{p2}
Diámetro de la polea 3m	0,026[m]	D_{p3}
Ancho de la polea	0,015[m]	L_p
Masa de la correa	0,8[kg]	m_b
Densidad del acero	7850[kg/m3]	ρ_{ac}
Diámetro del eje de trabajo	0,026[m]	D_e
Longitud del eje de trabajo	2[m]	L_e

$$l_{carro} = \frac{1}{4}(m_c)(D_p)^2 = \frac{1}{4}(29kg)(0{,}026m)^2 = 4{,}901 \times 10^{-3} kg \cdot m^2 \quad (3{,}22)$$

$$l_{correa} = \frac{1}{4}(m_b)(D_p)^2 = \frac{1}{4}(0{,}6kg)(0{,}026m)^2 = 1{,}014 \times 10^{-4} Kg \cdot m^2 \quad (3{,}23)$$

$$l_{polea(1)(3)} = \frac{1}{16}\pi \cdot L \cdot \rho_{ac} \cdot (D_{p1})^4 = \frac{\pi}{16}(0{,}026m)(7850kg/m^3)(0{,}026m)^4 = 1{,}83 \times 10^{-5} Kg \cdot m^2 \quad (3{,}24)$$

$$l_{polea(2)} = \frac{1}{16}\pi \cdot L \cdot \rho_{ac} \cdot \left(D_{p2}\right)^4 = \frac{\pi}{16}(0{,}078m)(7850kg/m^3)(0{,}078m)^4 = 4{,}45 \times 10^{-3} kg \cdot m^2$$

(3,25)

$$l_{EjeTrabajo} = \frac{4}{16}\pi \cdot L \cdot \rho_{ac} \cdot \left(D_{p1}\right)^4 = \frac{4\pi}{16}(0{,}026m)(7850kg/m^3)(0{,}026m)^4 = 7{,}32 \times 10^{-5} kg \cdot m^2$$

(3,26)

$$I_{metr} = 0{,}000046 kg \cdot m^2$$

(3,27)

La aceleración está dada por la siguiente expresión:

$$\alpha = 2\frac{a_r}{D_p} = 2\frac{2}{0{,}026} = 153{,}84\, rad/s^2$$

(3,28)

$$T_{ac} = (\Sigma\, l) \cdot \alpha = (9{,}5622 \times 10^{-3}) kg.m^2) \cdot (153{,}84) = 1{,}47 N \cdot m$$

(3,29)

$$T_{fricción} = D_p \frac{g \cdot m_c \cdot \mu_c}{2} = (0{,}026m)\frac{(9{,}81kg \cdot m/s^2)(29Kg)(0{,}1)}{2} = 0{,}36 N \cdot m$$

(3,30)

$$T_{requerido} = F_s\left(T_{ac} + T_{fricción}\right) = 1{,}5N \cdot (1{,}03N \cdot m + 0{,}36N \cdot m) = 2{,}08N \cdot m$$

(3,31)

4.3.4 Ensamble del eje X

En esta sección se describen todos los componentes que integran el eje X en el diseño de la máquina láser. Como se puede apreciar en la Figura 4.11 y se detallan en la Tabla 4.5, se emplean cuatro elementos, incluyendo el rodamiento y el riel lineal SBR20, la varilla de acero inoxidable, y el conjunto de piezas metálicas.

Figura 4. 11 Componentes diseño estructural del eje X de la máquina

Tabla 4. 5 Detalle componentes eje X de la máquina láser

Elementos	**Cantidad**
Rodamientos SBR20	4
Riel lineal SBR20	1
Varilla de acero inoxidable 12mm	1
Conjunto de piezas metálicas serie C Cloudray	1
50 x 25 x 1,5mm	3

4.4 Análisis Estático

Para realizar este análisis se utiliza el software SolidWorks con el cual se obtiene una visión más detallada acerca del comportamiento de las vigas con respecto a las cargas aplicadas. Se empieza con la selección del material a evaluar, seguido de la definición de los puntos de sujeción y cargas aplicadas, por último, se define la malla y se ejecuta el estudio.

En el estudio de la viga para el eje Y se establece los extremos como puntos fijos y una carga al centro que representa al cabezal del láser.

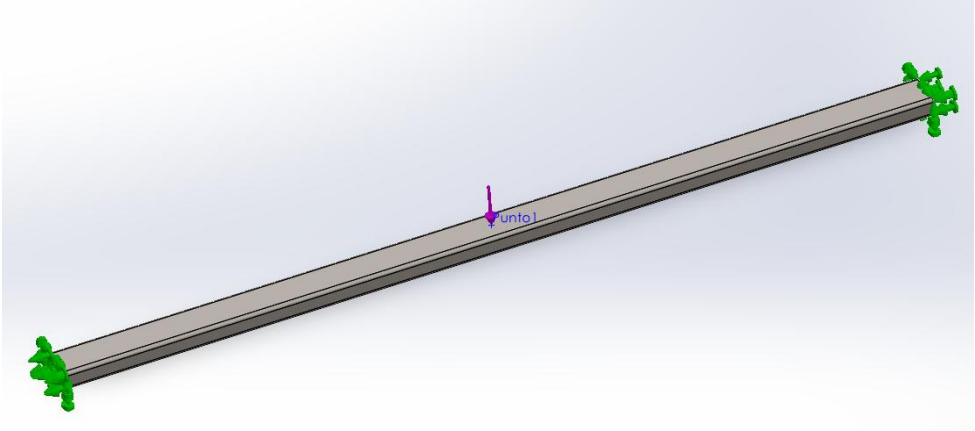


Figura 4. 12 Sujeciones y cargas externas del eje Y

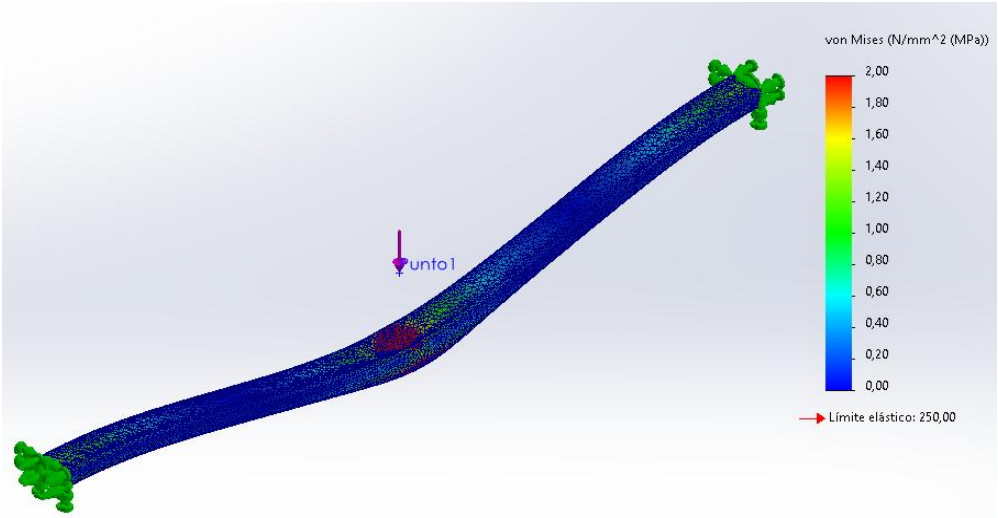


Figura 4. 13 Esfuerzo máximo del eje Y

Para la obtención del factor de seguridad se parte del análisis de convergencia que se obtiene a partir de los datos resultantes de la variación de malla.

En la figura 4.14 se muestra la gráfica obtenida a partir de la tabla anterior.

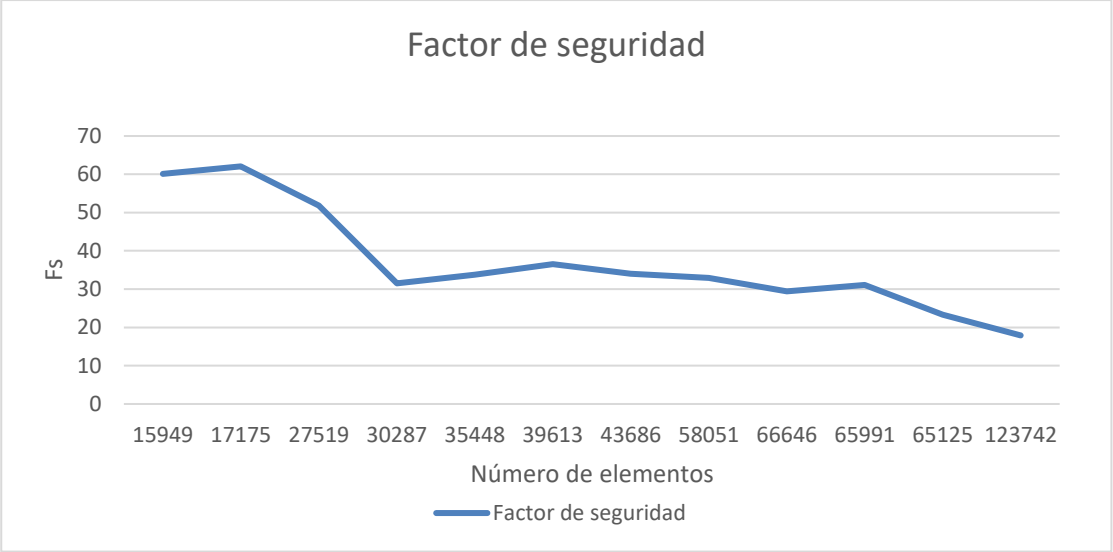


Figura 4. 14 Gráfica de convergencia del eje Y

Como se puede observar en la gráfica para el análisis de convergencia, la relación entre el número de nodos y el factor de seguridad los valores del factor de seguridad mantienen una estabilidad a partir del tercer par ordenado que corresponde desde los elementos 35448 hasta los 65991 con un error del 0.74% se obtiene un factor de seguridad de 33.73 aproximadamente.

Su elevado factor de seguridad se debe a la falta de opciones más delgadas en el mercado para este perfil de acero y aunque esté sobredimensionado garantiza una alta resistencia y durabilidad, minimizando riesgos y fallas mecánicas a comparación de otras opciones. Además, su disponibilidad y facilidad de instalación optimizan el proceso de fabricación, evitando modificaciones adicionales.

De la misma manera se realiza el análisis para el eje X del cual extraemos la sección critica para realizar el estudio.

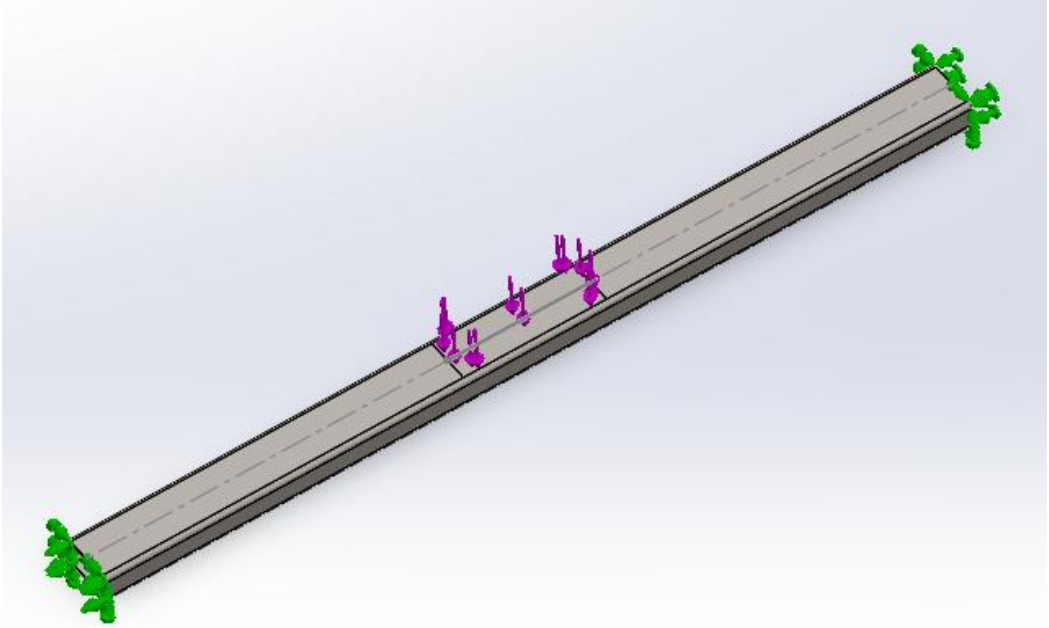


Figura 4. 15 Sujeciones y cargas externas del eje X

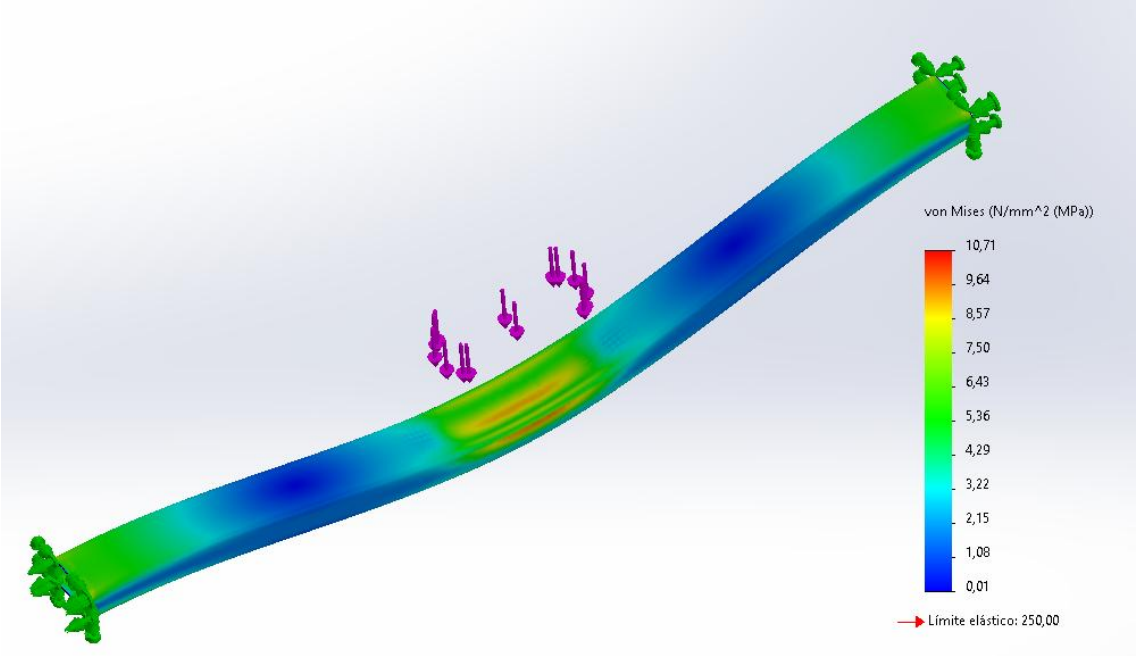


Figura 4. 16 Esfuerzo máximo del eje X.

A si mismo realizamos el análisis de convergencia a partir de los valores obtenidos de la variación de la malla cuya grafica se muestra en la figura 4.17.

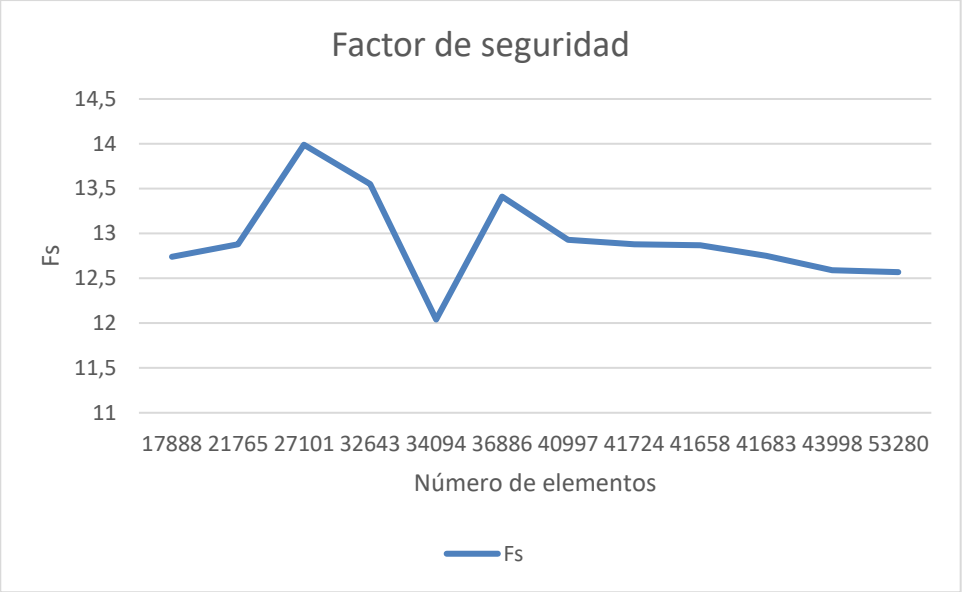


Figura 4. 17 Gráfica de convergencia del eje X.

Tras realizar el estudio se determina que los valores del factor de seguridad para el eje X convergen desde los 40997 elementos hasta los 43998 los que con un error de 0.94% nos dan como resultado un valor de 12,76 aproximadamente.

4.5 Selección de componentes

En esta sección se presenta una revisión de las especificaciones técnicas de los componentes seleccionados para el producto mecatrónico. En la primera parte se presentan los parámetros empleados en las distintas pruebas de corte que sustentan la elección del tubo láser y su fuente. Luego, se describen las condiciones mínimas requeridas por el motor y finales de carrera de acuerdo con el torque, precisión y velocidad adecuadas para el sistema. Más adelante, se presenta el sistema de refrigeración apropiado para garantizar la capacidad de enfriamiento, control de temperatura y sistema de protección. Por último, se exponen las características del sistema de control y el driver requerido para el funcionamiento de la máquina en términos de velocidad, torque, dirección, precisión y consistencia en el corte.

4.5.1 Sistema láser

Para determinar el tipo de láser requerido en este estudio se realizan pruebas de corte con una máquina láser de CO_2 de 100W, con una tela Jersey Boston (3088) 100 % algodón con un peso de 145g/m^2 de la empresa Distritex ubicada en la ciudad de Quito. En las tablas que se muestran a continuación se registran los resultados para el corte de 3, 4 y 5 capas de tela. Para evaluar se implementa un sistema de evaluación que califica la calidad de corte en base a una escala del 1 al 5 donde 1 significa muy malo, es decir cuando el láser no llegó a cortar las capas deseadas y 5 muy bueno cuando se logra cortar de manera limpia toda la tela.

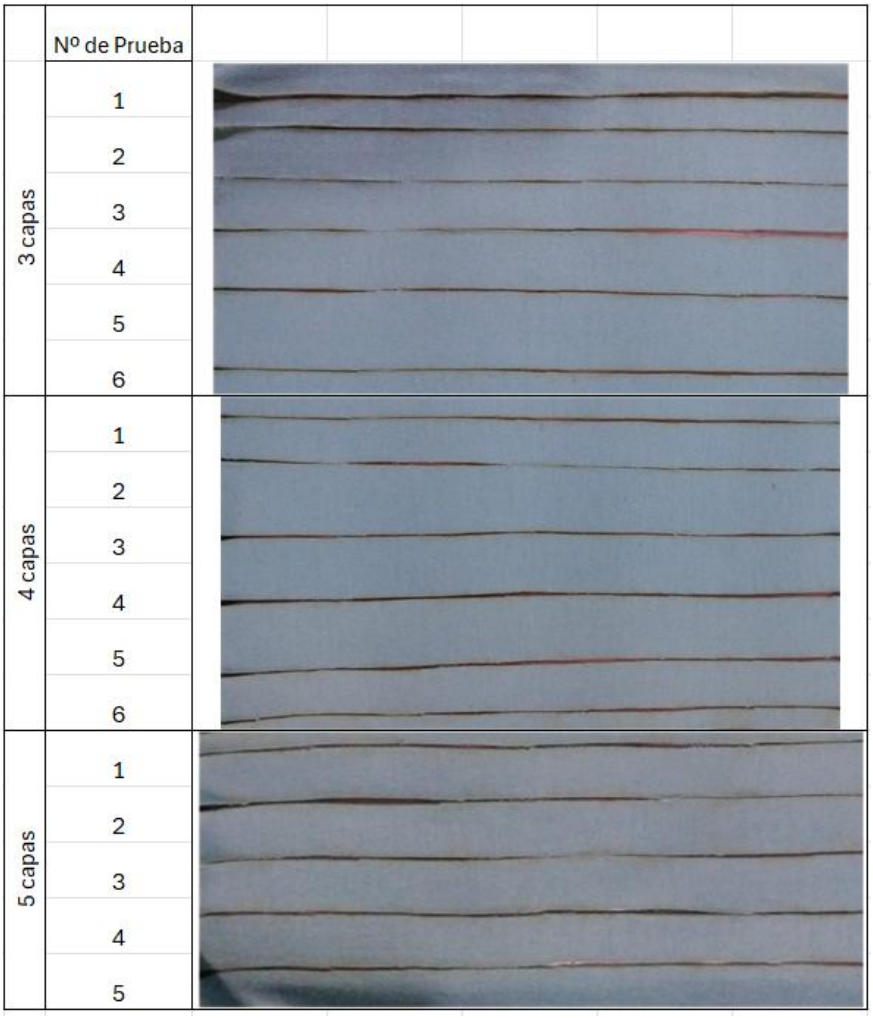


Figura 4. 18 Ensayos del corte de tela

Tabla 4. 6 Pruebas de corte con 3 capas

N° de prueba	Velocidad [mm/s]	Potencia [%]	Capas cortadas	Calidad del corte
1	45	25	2	1
2	55	40	3	5
3	65	45	3	4
4	75	40	2	1
5	100	50	3	5
6	100	45	3	5

Tabla 4. 7 Pruebas de corte con 4 capas

N° de prueba	Velocidad [mm/s]	Potencia [%]	Capas cortadas	Calidad del corte
1	85	45	2	1
2	85	55	3	1
3	85	70	4	5
4	90	75	4	4
5	95	85	4	5
6	100	90	4	5

Tabla 4. 8 Pruebas de corte con 5 capas

N° de prueba	Velocidad [mm/s]	Potencia [%]	Capas cortadas	Calidad del corte
1	80	70	5	3
2	70	70	5	4
3	70	75	5	5
4	80	85	5	5
5	90	95	5	5

Analizando en conjunto la figura 4.19 con las tablas 4.6, 4.7 y 4.8 podemos observar que las primeras pruebas (1 y 2) realizadas con las distintas capas no nos permiten realizar unos cortes limpios ya que presentan secciones en las que el láser no fue capaz de cortar la última capa por lo que fue necesario ir ajustando los parámetros de velocidad y potencia para que el láser pueda cortar de manera efectiva todas las capas de tela.

Con esto, se puede concluir que se requiere de un láser con una potencia de salida de al menos 100 W, para trabajar con una velocidad aceptable. Además, de acuerdo con el mercado

nacional existen dos tipos de láser que podemos encontrar: el láser de diodo y el láser por tubo de CO_2. Para este diseño se usa el tubo láser de CO_2 serie T que debido a su fácil acceso, potencia ideal y bajo costo que forman parte de los parámetros fundamentales para el usuario y el cumplimiento de los objetivos planteados. En la Tabla 4.9 se detallan las especificaciones técnicas del fabricante [55].

Tabla 4. 9 Especificaciones técnicas del tubo láser de CO2

Especificaciones técnicas del tubo láser de CO2	
Modelo	T100
Potencia nominal	100 W
Longitud de onda	10,6 μM
Modo de excitación	Excitación eléctrica
Longitud	1450 $\pm$ 5mm
Máx. Potencia	130 W
Diámetro	80 $\pm$1mm
Estabilidad	$\leq$ 5 %
Ángulo de divergencia del haz	3,1 mrad
Enfriamiento	Refrigerado por agua 15-25 °C
Corriente de estratificación	5 Ma
Tensión de estratificación	24 kV
Voltaje de trabajo	16 kV
Corriente recomendada	24 mA
Corriente de trabajo máxima	$\leq$ 25 mA
Diámetro del punto	5 ± 1mm
Frecuencia modulada	$\leq$ 3 kHz
Calidad del haz	$\leq$ 1,1
Modo láser	Modo de orden múltiple bajo
Peso neto	2,96 kg
Peso bruto	4,2 kg

4.5.2 Fuente láser

Por otro lado, como resultado de las pruebas de corte, se determina que la fuente láser más adecuada y capaz de soportar el tubo láser de 100 W es la fuente de la marca Cloudray modelo M100. Esta fuente de poder proporciona un control sencillo a través de un único puerto, y las señales de nivel TTL que pueden controlar el encendido y apagado del láser. Además, cuenta con un interruptor

de protección que permite comprobar el estado de elementos como el sistema de refrigeración y ventilación.

Este dispositivo es especialmente útil como pieza de repuesto para tubos láser de CO_2 y grabadores láser de CO_2. Permite ajustar la potencia del láser mediante una señal de entrada analógica de 0 - 5 V o a través de una señal PWM. Además, cuenta con una función de protección contra circuitos abiertos que previene posibles daños en la fuente de alimentación láser debido a posibles fallos en el tubo láser [56]. Todas las especificaciones técnicas por parte del fabricante se presentan en la Tabla 4.10.

Tabla 4. 10 Especificaciones Técnicas fuente láser

Especificaciones Técnicas fuente láser	
Modelo	Cloudray M100
Voltaje de entrada	CA 230V
Frecuencia CA	47-440 Hz
Voltaje máx. salida	28 KV
Corriente máx. salida	30 Ma
Dimensiones	230 x 160 x 91 mm
Peso	2,8 kg
Eficiencia	91 %
MTBF	$\geq 30000\ horas$
Velocidad de respuesta	$\leq 1\ ms$
Temp. Ambiente	-30° ~+ 65°
Enfriamiento	Refrigeración por aire (ventilador)
Prueba de inicio-fin	500 veces 7 segundos

4.5.3 Motores

Con respecto a la selección de motores, se considera el torque y velocidad como parámetro principal para este tipo de máquina, por lo que en base a los cálculos realizados con anterioridad se recomienda el uso del motor paso a paso NEMA 23 modelo 23CS22C -400 que resulta el más adecuado para aplicaciones que requieren una mayor fuerza y torque, así como de precisión en el posicionamiento. Además, en la Tabla 4.11 se muestran las especificaciones técnicas de la marca

fabricante que proporciona información detallada sobre el rendimiento y las características físicas clave del motor NEMA 23.

Tabla 4. 11 Especificaciones técnicas del motor NEMA 23

Especificaciones técnicas del motor	
Modelo	23CS22C – 400
Largo	80mm
Diámetro del eje	8mm
Número de fase	2
Ángulo de paso	1,8 + 5%
Torque de retención	2,2 N ·m
Peso del motor	1,2 kg
Corriente nominal	3 A
Resistencia por fase	0,41 ohm $\pm 10\%$
Inercia del rotor	460 g $\times$ cm^2

4.5.4 Finales de carrera

Para establecer los límites de movimiento de la cortadora láser se utilizarán finales de carrera. Estos se colocan en los extremos de los ejes para detectar que el cabezal del láser ha llegado al final de su recorrido. Además, permite un posicionamiento preciso lo que permite que la máquina se oriente de manera correcta evitando errores o defectos en el corte [57]. De acuerdo a los requerimientos del proyecto, se usa el micro switch final de carrera de una rueda de 1A 250V como se detalla a continuación en la Tabla 4.12:

Tabla 4. 12 Especificaciones técnicas micro switch final de carrera.

Especificaciones técnicas micro switch final de carrera	
Potencia nominal	3000 W
Voltaje nominal	250 V
Frecuencia nominal	50 Hz
Corriente nominal	16 A
Dimensiones	28 x 16 x 10 mm
No. De patas	3
No, de canales	1
Posiciones	2

4.5.5 Sistema de refrigeración

Para el sistema de enfriamiento del tubo láser de CO_2 se recomienda utilizar el Chiller CW-5000 de la marca S&N, mismo que está diseñado para trabajar con dispositivos láser que van desde 80 W hasta 100 W de potencia. Entre las características y especificaciones del modelo se tiene: 800W de capacidad de enfriamiento, cuenta con un control inteligente de temperatura, dispone de una función de alarma múltiple tanto para el flujo de agua como de temperatura, presenta un sistema de protección contra aumentos de corriente y además cuenta con un sensor de protección que corta el funcionamiento del tubo láser cuando deja de circular el agua. En la tabla 4.13 se presentan los detalles de las especificaciones por parte del fabricante.

Tabla 4. 13 Especificaciones técnicas sistema de enfriamiento Chiller CW-5000

Especificaciones técnicas sistema de refrigeración	
Modelo	CW-5000TG
Voltaje	AC 1P 220V
Frecuencia	50/60 Hz
Corriente	0,8 – 3,08 A
Potencia	0,51/0,53 KW
Potencia compresor	0,37/0,39 KW 0,5/0,53 HP
Capacidad de enfriamiento	765/928 Kcal/h 0,89/1,08 KW 3037/3686 Btu/h
Carga del refrigerante	280 g

4.5.6 Sistema de control

Para el sistema de control se selecciona el controlador de movimiento que cumple con todas las características requeridas para el funcionamiento de la máquina y además es compatible con el resto de los componentes. En este sentido, se utiliza el modelo Ruida RDC6445S, capaz de controlar, supervisar y coordinar los movimientos del cabezal láser y la mesa de trabajo,

asegurando un corte preciso y consistente. Este modelo posee una mayor estabilidad en su hardware y una mejor resistencia tanto a la alta tensión como a la electricidad estática. Por otro lado, el sistema operativo se basa en una pantalla a color de 5 pulgadas y ofrece una interfaz de operación amigable y con funciones de mayor potencia compatibles con el software RDWorks diseñado para gestionar máquinas de corte láser. Esta interfaz permite configurar parámetros de trabajo como la velocidad del láser, la potencia y el tipo de corte.

4.5.7 Driver

Para el manejo de motores paso a paso bipolares se selecciona el driver DM556S, entre las funciones y características típicas este dispositivo incluye el proceso de microstepping que consiste en dividir cada paso del motor en pasos más pequeños, dando lugar a un movimiento más suave y preciso. Este dispositivo es fundamental ya que permite ajustar la corriente suministrada al motor controlando la velocidad y el torque según las necesidades de la aplicación. Además, brinda protección contra sobrecalentamiento y sobrecorriente así como un estricto control de velocidad y dirección. Su versatilidad en la interfaz le permite aceptar diferentes tipos de señales de control, como pulsos de paso, señales analógicas, o señales de control digital, dependiendo de la configuración y del fabricante. En la Tabla 4.14 se muestran las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante.

Tabla 4. 14 Especificaciones técnicas driver DM556S

Especificaciones técnicas driver	
Modelo	DM556S
Corriente de salida	1,4 – 5,6 A
Suministro de voltaje	18 – 50 VDC
Corriente de señal lógica	7 – 16 Ma
Pulso de frecuencia de entrada	0 – 200 kHz
Peso	278 g
Dimensiones	118 x 76 x 33 mm
Compatibilidad	Nema 17, 23, 24

4.6 Selección de software

El software RUIDA RDWorks es una aplicación de software diseñada para gestionar las máquinas de grabado y corte por láser fabricadas por RUIDA Technology. Este programa ofrece a los usuarios una interfaz gráfica de usuario que les permite crear, modificar y llevar a cabo proyectos de grabado y corte con láser de manera eficiente. Además, RDWorks es compatible con diversos formatos vectoriales, tales como DXF, AI, PLT y DST, ampliando así su versatilidad y capacidad de trabajo. RDWorks brinda a los usuarios la capacidad de importar imágenes y gráficos, seguido de la aplicación de diversas herramientas de diseño, que incluyen la asignación de colores, la administración de capas y la edición de texto. Este software también proporciona a los usuarios el control total sobre la potencia, velocidad y frecuencia del láser, lo que les permite lograr una amplia variedad de resultados. Además de sus capacidades de diseño, RDWorks integra características de gestión de trabajos, como la opción de previsualizar el proyecto antes de su ejecución, establecer prioridades en la cola de trabajos y ajustar el enfoque del láser según sea necesario.

4.7 Viabilidad técnica y económica

En esta sección se determinará el valor y la calidad de corte de la máquina considerando tanto los costes de materiales y mantenimiento, así como la velocidad de corte y la precisión para determinar la eficiencia y rentabilidad de la máquina.

4.7.1 Costos

A continuación, se detallará el costo de las piezas y materiales principales para la construcción de la máquina.

Tabla 4. 15 Costo de materiales

Items	Cantidad	Precio
Perfil 80x40x2	1	$32
Perfil 40x1,8	1	$28
Perfil 50x25x1,5	1	$30
Riel lineal SBR20	2	$97,88
Riel Hiwin EG15	2	$130,04
Rodamiento SBR20	4	$50,72
Rodamiento EG15	1	$73,41
Varilla de 12mm	1	$44,30
Placa de acero 3mm	1	$12
Correa G 80x40x2	1	$32
Angulo 25x3	1	$16
Tubos 25x50x3	1	$25
Conjunto serie C Cloudray	1	$150
Espejos y cabezal serie C	1	$55
Tubo láser CO2 100W	1	$850
Soportes para tubo láser	2	$20
Placa de alucobond	3	$240
Riel W	1	$15
Fuente de láser CO2	1	$128
Motores Nema 23	2	$25
Finales de carrera	4	$15
Chiller CW-5000	1	$400
Ruida RDC6445G	1	$420
Driver DM556S	2	$52
Cables	1	$30
Otros	1	$400
Total		**$3371,35**

Como podemos observar el costo aproximado de todas las piezas es de $3171.35, cabe

recalcar que a este precio se le debe añadir la mano de obra que regularmente ronda en un 60% del monto total de los materiales por lo que el costo final aproximado seria de $5,394.16.

Tabla 4. 16 Especificaciones técnicas y principales características de las máquinas de corte por láser CO_2 comercialmente disponibles.

Característica	FUSION PRO [49]	PLS6.150D [50]	SP500 [51]	LS-3655 [52]
Fabricante	Epilog Laser (EE.UU.)	Universal Laser Systems (EE.UU.)	Trotec Laser GmbH (Austria)	**Boss Laser (EE.UU.)**
Área de trabajo	1,219 x 0,914 [m^2]	0,813 x 0,457 [m^2]	1,245 x 0,710 [m^2]	**1,400 x 0,900 [m^2]**
Dimensiones	1,8 x 1,3 x 1,0 [m]	1,1 x 0,9 x 0,9 [m]	1,9 x 1,2 x 1,1 [m]	**20,7 x 14,7 x 11,3 [m]**
Peso	295 kg	156 kg	520 kg	**522 kg**
Potencia láser	80-120 [W]	10-150 [W]	60-200 [W]	**80, 105 o 155 [W]**
Tipo de láser	CO_2, Fibra, Doble fuente	CO_2	CO_2	**CO_2**
Velocidad Máxima	165 IPS (4,2 [m/s])	3,75 [m/s]	2,54 [m/s]	**4,2 [m/s]**
Requisito de Energía	100-240 [V]	230 [V] / 15 [A]	208 - 230 [V]	**110 [V]**
Enfriamiento	Refrigeración super-silent	Enfriamiento por aire	Enfriado por aire o agua	**Enfriamiento por aire**
Conectividad	USB, Ethernet, Inalámbrica	USB (2.0 o superior)	USB	**USB, Ethernet, Inalámbrica**
Software de control	Laser Dashboard™, Epilog Job Manager™	1-Touch Laser Photo™, CAD, Universal Control Panel	JobControl® Expert	**LightBurn, RD Works**
Tipo de motor	Servomotores CC sin escobillas	Servomotores CC	Servomotores CC sin escobillas	**Servomotores Turbo Drive™**
Materiales compatibles	Acrílico, paño, tela, cuero, cartón, papel, plástico, madera	Acrílico, tela, cartón, papel, plástico, madera	Madera, textiles, acrílico, plástico, cuero, papel	**Orgánicos No metales Metales pretratados**
Costo aproximado	**$35.000**	**$15.000**	**$44.900**	**$ 9.997**

En la tabla 4.16 se describen varios modelos que se encuentran en el mercado con ello podemos comparar el precio de venta de estos productos con el precio de nuestro proyecto, evidenciando que nuestro diseño es económicamente viable representando un ahorro para la empresa que desee construir la máquina.

4.7.2 Análisis de corte

En las pruebas realizadas pudimos observar que el láser CO2 es capaz de realizar cortes de alta precisión con una tolerancia de hasta ±0,1[mm], lo que permite realizar diseños complejos y con mucho detalle dependiendo de la configuración y estabilidad del software de control. Sin embargo, como se puede evidenciar en la figura 4.19 la zona por donde pasa el láser resulta con un ligero oscurecimiento. Esto se debe al efecto de las altas temperaturas con las que trabaja el láser las cuales alcanzan alrededor de los 300ºC en su máxima potencia. A pesar de esto el acabado sigue siendo uniforme.

Figura 4. 19 Acabado del corte laser en la tela

Las tablas 4.6, 4.7, y 4.8 se muestran los parámetros y valores que se tuvieron en cuenta para la selección del láser, en dichas pruebas se obtuvieron diversos resultados, con 3 capas se llegó a un corte óptimo utilizando una velocidad de 100[mm/s] y una potencia del 45% logrando un corte uniforme en todas las capas como se muestra a continuación en la figura 4.20.

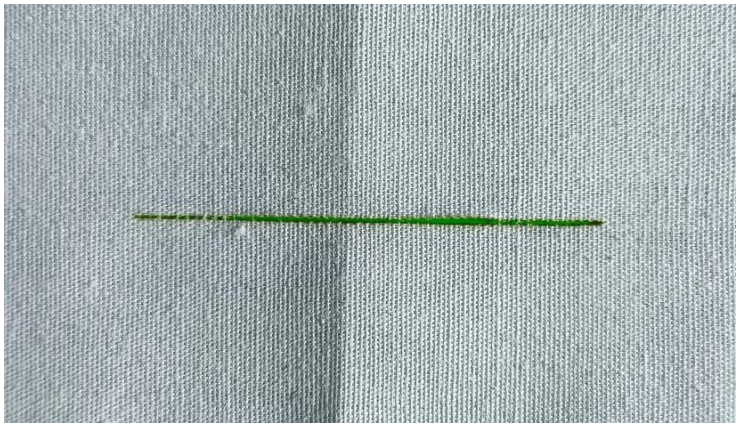


Figura 4. 20 Acabado del corte laser en 3 capas

De igual manera se realizaron pruebas para cortar 4 y 5 capas. Para está última fue necesario aumentar la potencia si se deseaba mantener en su mayoría el parámetro de la velocidad, esto nos obligó a establecer la potencia en 95% para no afectar de manera significativa la velocidad la cual se tuvo que reducir a los 90[mm/s].

Estas pruebas evidenciaron la necesidad de encontrar un balance entre potencia y velocidad para minimizar defectos que con otros parámetros eran perjudiciales para el acabado final como se puede visualizar en la figura 4.21, los que resultaba en cortes incompletos o en la carbonización excesiva de la zona.

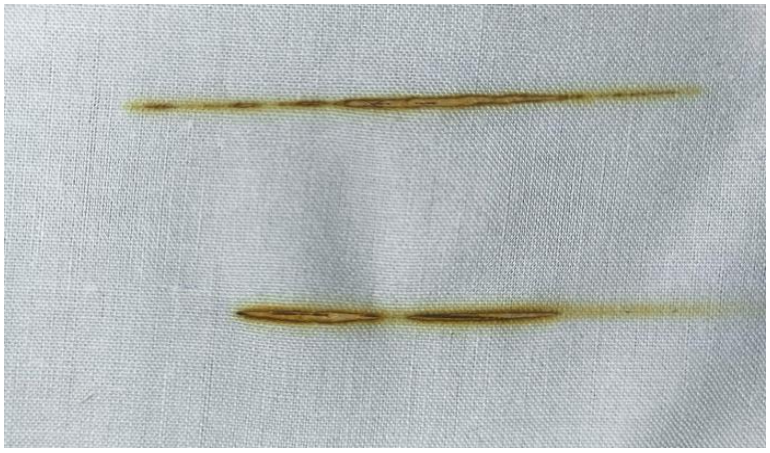


Figura 4. 21 Fallos en el acabado final del corte de tela

Capítulo 5

Conclusiones

5.1 Conclusiones

El diseño de la máquina tiene un tamaño de 2,58[m] de largo, 1,80[m] de ancho y 1,04[m] de alto, lo que resulta en un tamaño adaptable dentro de cualquier espacio y con una altura que resulta ergonómica y amigable con el usuario además cuenta con un área de trabajo de 1,50[m] de ancho y 2[m] de largo respecto al tamaño de rollos de tela promedio que existe en el mercado, tomando como ejemplo la tela Jersey Boston (3088) 100 % algodón de 145[g/m^2]. El láser para corte se definió en uno tipo CO2 de 100[W] de potencia, un controlador Ruida RDC6445S, motores NEMA23 y un sistema de refrigeración liquida con el Chiller CW-5000, estos componentes en conjunto garantizan el funcionamiento de la máquina.

Para el sistema de cabezales y espejos de la máquina se optó por la serie C de la marca Cloudray el cual posee un sistema de boquilla regulable, de la misma manera para los engranajes y piezas metálicas se seleccionaron de la misma marca y serie que son compatibles entre sí. Para el sistema de control se seleccionó el controlador láser Ruida RDC6445S el cual es compatible para la instalación del software RDWorks que nos permite una operación precisa e intuitiva de la máquina.

Las pruebas de funcionamiento con el láser CO2 de 100[W] establecieron que los parámetros para un corte óptimo de las capas de tela son de: 100[mm/s] de velocidad y 45[%] de potencia para un máximo de 3 capas de tela, 100[mm/s] de velocidad y 90[%] de potencia para 4

capas de tela, por último 95[mm/s] de velocidad y 90[%] de potencia para 5 capas de tela, cumpliendo de esta manera con los requisitos de la pequeña industria textil.

La validación de la estructura de la máquina se realizó mediante cálculos manuales en base al peso de los componentes y capacidad de carga de los materiales, de estos resultados y con el uso del software Solidworks se obtuvo como resultado un factor de seguridad de 33,73 para el eje Y y 12,7 para el eje X. Para la validación del láser con las pruebas realizadas anteriormente se determinó que la selección del láser CO2 fue la correcta ya que su potencia de 100[W] es necesaria para alcanzar la velocidad de 100[mm/s].

5.2 Recomendaciones

Es recomendable seguir realizando pruebas adicionales con diferentes tipos de tela y espesores para ajustar y optimizar aún más los parámetros de corte, aunque conlleve a un aumento en la potencia del láser y con ello su costo por lo que se debe analizar el beneficio obtenido con esta máquina.

Se recomienda construir la máquina siguiendo los parámetros establecidos y utilizando los materiales y componentes previamente seleccionados con el fin de evitar fallos tanto el sistema mecánico o electrónico.

Para destacar todo el potencial de la máquina se recomienda realizar diversas pruebas con distintos materiales utilizados en la industria textil para expandir las capacidades de la máquina.

Realizar un análisis detallado de la demanda del producto, identificando nichos específicos dentro de la industria textil que se beneficiarían de una cortadora láser de CO2. Evaluar las necesidades de los fabricantes para determinar la propuesta de valor del diseño, su posicionamiento en el mercado y la rentabilidad potencial del proyecto.

Bibliografía

[1] R. Nayak, D. P. Gon, and A. Khandual, “Application of laser in apparel industry.,” *Man-Made Textiles in India*, vol. 51, no. 10, 2008.

[2] G.-x. Yuan, S.-x. Jiang, E. Newton, J.-t. Fan, and W.-m. Au, “Application of laser treatment for fashion design,” *Journal of the Textile Institute*, vol. 103, no. 1, pp. 48–54, 2012.

[3] R. Nayak, A. Singh, R. Padhye, and L. Wang, “Rfid in textile and clothing manufacturing: technology and challenges,” *Fashion and Textiles*, vol. 2, no. 1, pp. 1–16, 2015.

[4] Z. Ondogan, O. Pamuk, E. N. Ondogan, and A. Ozguney, “Improving the appearance of all textile products from clothing to home textile using laser technology,” *Optics & Laser Technology*, vol. 37, no. 8, pp. 631–637, 2005.

[5] C. Gómez, “Automatización del Corte en el Sector Textil Confección,” p. 24, 2019.

[6] M. L. Abril Moncada, “Evaluación de riesgos que generen accidentes en la empresa textil ICAMO- DA,” 2022.

[7] J. Stenerson and K. Curran, *Computer numerical control: operation and programming*. Prentice-Hall, Inc., 1996.

[8] C. R. Rodríguez Pérez, “Trabajo técnico diseño y fabricación de máquina de grabado y corte láser CNC,” 2017.

[9] N. Cruz Carrillo and J. Pérez Chicaiza, “Dimensionamiento e Implementación de una maquina CNC de corte por láser para optimizar la calidad de trabajos en acrílico de hasta 5 mm de espesor,” 2017.

[10] R. N. Laura Huarcaya, “Diseño y Construcción de un Prototipo de Router CNC de 3 Ejes con un Área de Trabajo de 850 X 550 X 80 mm, para Trabajos en Madera,” *Universidad Católica de Santa María*, 2018.

[11] L. Jinan FIRM CNC Equipment Co., “Desktop Wood CNC Cutting Machine FM6090 - Advertising CNC Router - Jinan Firm CNC Equipement Co,.Ltd,” 2016.

[12] B. I. Chucaralao Minchala and E. I. Llivisaca Silva, “Diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa “S.T.S,” 2021.

[13] R. Padilla, “Diseño y Construcción de una Cortadora Láser Para Papel con Interfaz Gráfica,” *Univer- sidad Técnica Del Norte*, p. 86, 2017.

[14] M. De Podesta, *Understanding the properties of matter*. CRC Press, 2020.

[15] L. Xinju, *Laser technology*. CRC press, 2010.

[16] R. Nayak and R. Padhye, “The use of laser in garment manufacturing: an overview,” *Fashion and Textiles*, vol. 3, no. 1, 2016.

[17] S. Gordon and Y.-l. Hsieh, *Cotton: Science and technology*. Woodhead Publishing, 2006.

[18] W. T. Silfvast, *Laser fundamentals*. Cambridge university press, 2004.

[19] O. Svelto, D. C. Hanna, *et al.*, *Principles of lasers*, vol. 1. Springer, 2010.

[20] W. Koechner and M. Bass, *Solid-state lasers: a graduate text*. Springer Science & Business Media, 2006.

[21] P. Tjossem, "Laser fundamentals by william t. silfvast," *AMERICAN JOURNAL OF PHYSICS*, vol. 65, pp. 932–932, 1997.

[22] M. J. Weber, *Handbook of lasers*, vol. 18. CRC press, 2000.

[23] N. Yusoff, N. A. A. Osman, K. S. Othman, and H. M. Zin, "A study on laser cutting of textiles," in *International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics*, vol. 2010, pp. 1559–1566, Laser Institute of America, 2010.

[24] S. Beggs, J. Short, M. Rengifo-Pardo, and A. Ehrlich, "Applications of the excimer laser: a review,"
Dermatologic Surgery, vol. 41, no. 11, pp. 1201–1211, 2015.

[25] R. Paschotta, "Argon Ion Lasers - an encyclopedia article," *RP Photonics Encyclopedia*, nov 2023.

[26] D. J. Klotzkin, *Introduction to semiconductor lasers for optical communications*. Springer, 2020.

[27] I. A. Choudhury and S. Shirley, "Laser cutting of polymeric materials: an experimental investigation,"
Optics & Laser Technology, vol. 42, no. 3, pp. 503–508, 2010.

[28] T. E. Mursalin, F. Z. Eishita, and A. R. Islam, "Fabric defect inspection system using neural network and microcontroller.," *Journal of Theoretical & Applied Information Technology*, vol. 4, no. 7, 2008.

[29] J.-P. Cáceres and S. Aditiva, "Transformada de fourier," *Londres: Stanford University*, 2007.

[30] H. Y. Ngan, G. K. Pang, and N. H. Yung, "Automated fabric defect detection—a review," *Image and vision computing*, vol. 29, no. 7, pp. 442–458, 2011.

[31] J. Fan and F. Liu, "Objective evaluation of garment seams using 3d laser scanning technology,"
Textile Research Journal, vol. 70, no. 11, pp. 1025–1030, 2000.

[32] S. Petrak and D. Rogale, “Methods of automatic computerised cutting pattern construction,” *Inter- national Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 13, no. 3/4, pp. 228–239, 2001.

[33] P. Badoniya, “Co2 laser cutting of different materials—a review,” *Int. Res. J. Eng. Technol*, vol. 5, no. 06, pp. 1–12, 2018.

[34] W. M. Steen, J. Mazumder, W. M. Steen, and J. Mazumder, “Laser cutting, drilling and piercing,”
Laser Material Processing, pp. 131–198, 2010.

[35] R. Nayak, R. Padhye, L. Wang, K. Chatterjee, and S. Gupta, “The role of mass customisation in the apparel industry,” *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, vol. 8, no. 2,
pp. 162–172, 2015.

[36] J. Tong, J. Zhou, L. Liu, Z. Pan, and H. Yan, “Scanning 3d full human bodies using kinects,” *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, vol. 18, no. 4, pp. 643–650, 2012.

[37] N. D’Apuzzo, “3d body scanning technology for fashion and apparel industry,” in *Videometrics IX*, vol. 6491, pp. 203–214, SPIE, 2007.

[38] S. Alemany, A. Remon, A. Ballester, J. Vicente Durá, B. Nácher, E. Parrilla, and J. Carlos González, “5 - data management and processing of 3d body scans,” in *Digital Manufacturing Technology for Sustainable Anthropometric Apparel* (N. Zakaria, ed.), The Textile Institute Book Series, pp. 97–116, Woodhead Publishing, 2022.

[39] G. Thyer, *Computer numerical control of machine tools*. Elsevier, 2014.

[40] Goodwin University, “What is CNC Machining? | Goodwin College,” 2018.

[41] S. Kalpakjian and S. Schmid, “Manufactura, ingeniería y tecnología, vol,” 2008.

[42] M. Yan, “Wholesale Textile Laser Cutting Machine Manufacturer and Supplier | MimoWork,” 2019.

[43] P. Zhang, “Digital Controllers for Industrial Control,” *Industrial Control Technology*, pp. 429–568, jan 2008.

[44] D. Yu, Y. Hu, X. W. Xu, Y. Huang, and S. Du, “An open cnc system based on component technology,” *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 6, no. 2, pp. 302–310, 2009.

[45] Robotics and CNC Innovation and Training Center INC., “CNC básico: Los 3

Movimientos básicos en una máquina CNC," 2018.

[46] HIWIN, "Eg-15-kk | sealing systems | linear guideway accessories | linear guideways | products | hiwin," 2019.

[47] MOONS, "Motores paso a paso híbridos estándar NEMA 23 - MOONS'," 2020.

[48] C. I. Solutions, "Cloudray c series black co2 laser head set – cloudray laser," 2021.

[49] E. Laser, "Serie de sistemas láser fusion pro," 2020.

[50] U. L. Systems, "Plataforma pls6.150d | uls es-us," 2019.

[51] Trotec, "Large-format laser cutting machine: Sp series | trotec laser," 2021.

[52] B. Laser, "Boss ls-3655 co laser cutter and engraver 155 watts of power," 2019.

[53] A. Borrero, "Propiedades físicas y químicas del algodón," 1979.

[54] B. I. Chucaralao Minchala and E. I. Llivisaca Silva, "Diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa "sts"," B.S. thesis, 2021.

[55] S. laser, "Proveedor de tubos láser de CO2 - SPT Laser."

[56] C. I. Solutions, "Cloudray 100w myjg co2 laser power supply with lcd display – cloudray laser," 2018.

[57] Megatronica, "Final de carrera 16a 250v switch con rueda - mecatrónica," 2019.

[58] R. Controller, "Ruida rdc6445g/s | best co2 laser controller," 2022.

[59] Cloudray, "Cloudray 2 phase digital stepper motor driver dm556s for cnc nema 17 23 34 motor," 2021.

[60] "La luz: ondas electromagnéticas, espectro electromagnético y fotones (artículo) | Khan Academy." Accessed: Feb. 27, 2025. [Online]. Available: https://es.khanacademy.org/science/ap-chemistry/electronic-structure-of-atoms-ap/bohr-model-hydrogen-ap/a/light-and-the-electromagnetic-spectrum

[61] R. Nayak and R. Padhye, "Artificial intelligence and its application in the apparel industry," *Automation in Garment Manufacturing*, pp. 109–138, Jan. 2018, doi: 10.1016/B978-0-08-101211-6.00005-7.

[62] "¿Cuáles son los componentes de una máquina de corte con láser CO2? |." Accessed: Feb. 27, 2025. [Online]. Available: https://www.mimowork.com/es/laser/what-are-the-components-of-a-co2-laser-cutting-machine/

Anexos

Nº de Elemento	Denominación	Código	Cantidad
3	Ensamble eje Y	MCL-097-03	1
2	Ensamble eje X	MCL-097-02	1
1	Estructura base	MCL-097-01	1

UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE
SCIENTIA ET THECNICUS IN SERVITIUM PATRIAE
UTN
AUTÓNOMA DESDE 1995
IBARRA - ECUADOR

FICA | CIME

PROYECTO: Diseño de una máquina láser para el corte de tela

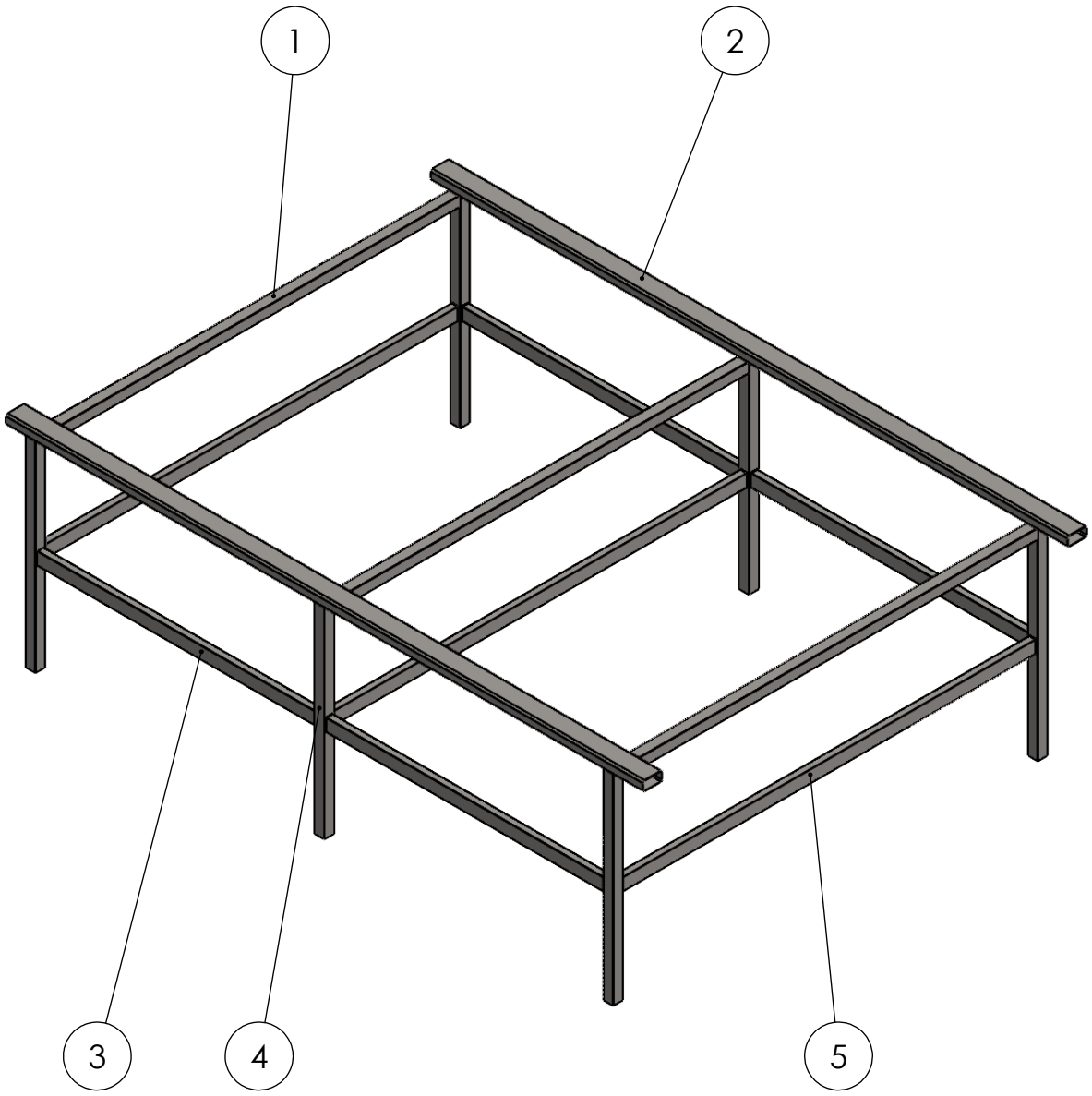
CONJUNTO: Máquina cortadora láser

CODIGO: MCL-097

ESCALA 1:15

PESO:		DISEÑÓ:	CARLOS PINEDA	28/02/2025
LARGO:	2,58m	DIBUJÓ:	CARLOS PINEDA	28/02/2025
ANCHO:	1.9m	REVISÓ:	ING. VALENCIA F.	28/02/2025
ALTO:	1.07m	APROBÓ:	ING. VALENCIA F.	28/02/2025

HOJA: 1



N° DE ELEMENTO	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	Tubo cuadrado 40x1.8	Acero ASTM A36	3
2	Tubo rectangular 80x40x2	Acero ASTM A36	2
3	Tubo rectangular 50x25x1.5	Acero ASTM A36	4
4	Tubo cuadrado 40x1.8	Acero ASTM A36	6
5	Tubo rectangular 50x25x1.5	Acero ASTM A36	3

UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE
RESERVA ET THECNICUS IN SERVITIUM POPULI
UTN
AUTONOMA DESDE 1986
IBARRA - ECUADOR

FICA | **CIME**

PROYECTO: Diseño de una máquina láser para el corte de tela

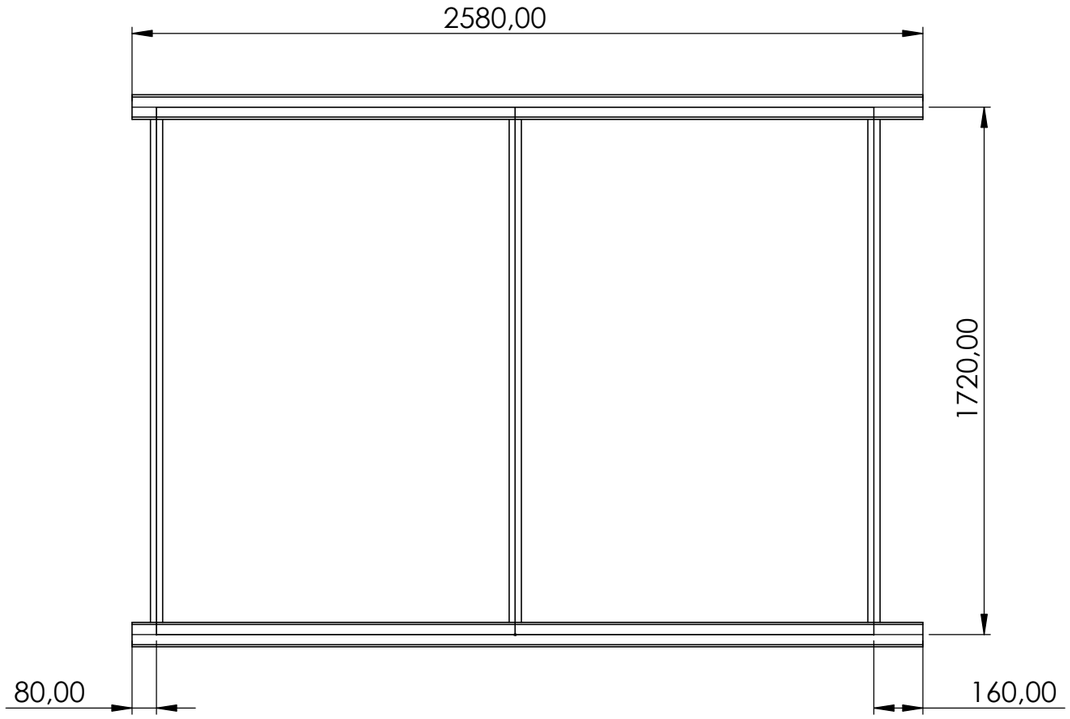
CONJUNTO: Estructura base

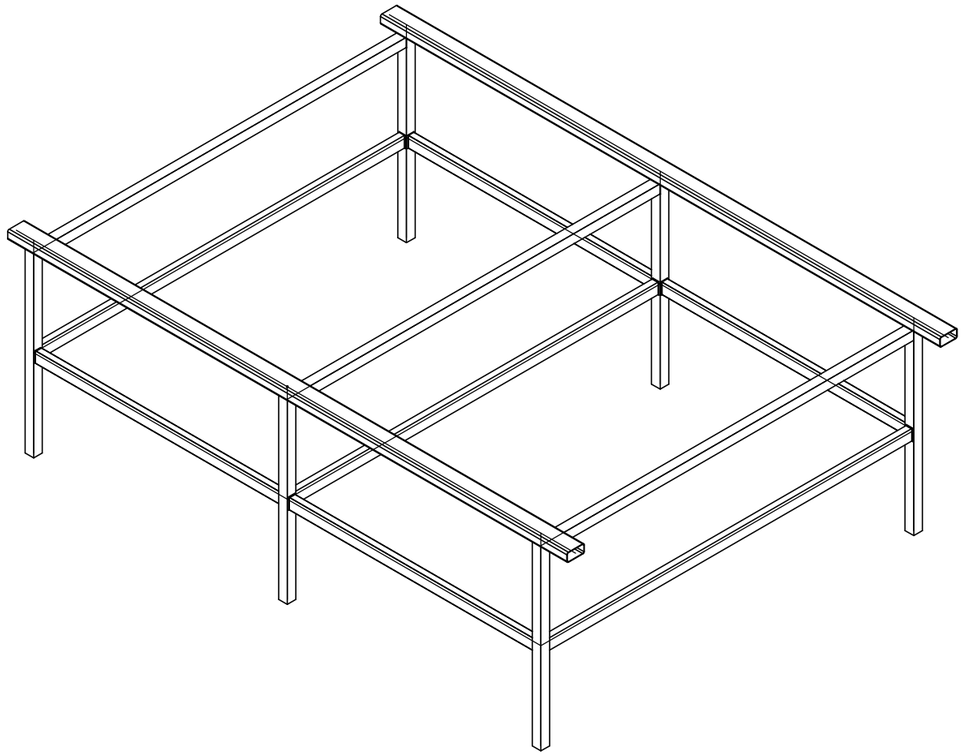
CODIGO: MCL-097-01

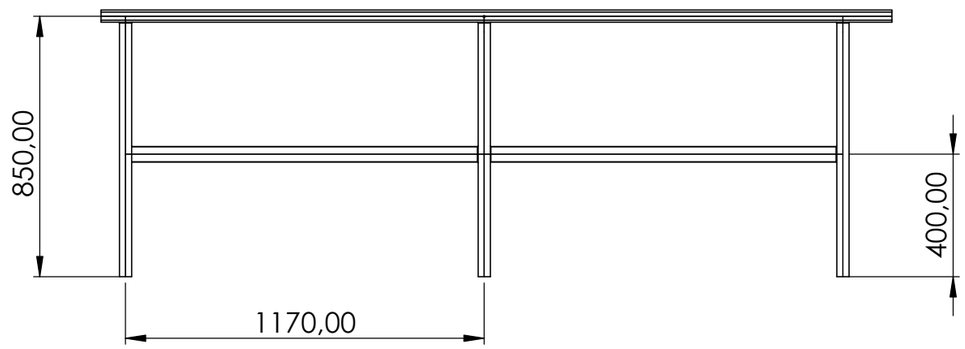
ESCALA 1:20

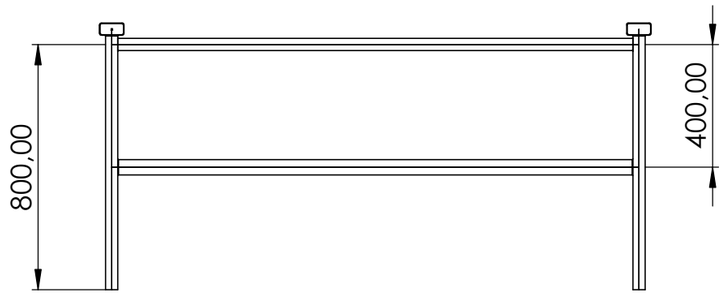
MATERIAL:	ACERO	DISEÑÓ:	CARLOS PINEDA	28/02/2025
TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	CARLOS PINEDA	28/02/2025
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	ING. VALENCIA F.	28/02/2025
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ING. VALENCIA F.	28/02/2025

HOJA: 2

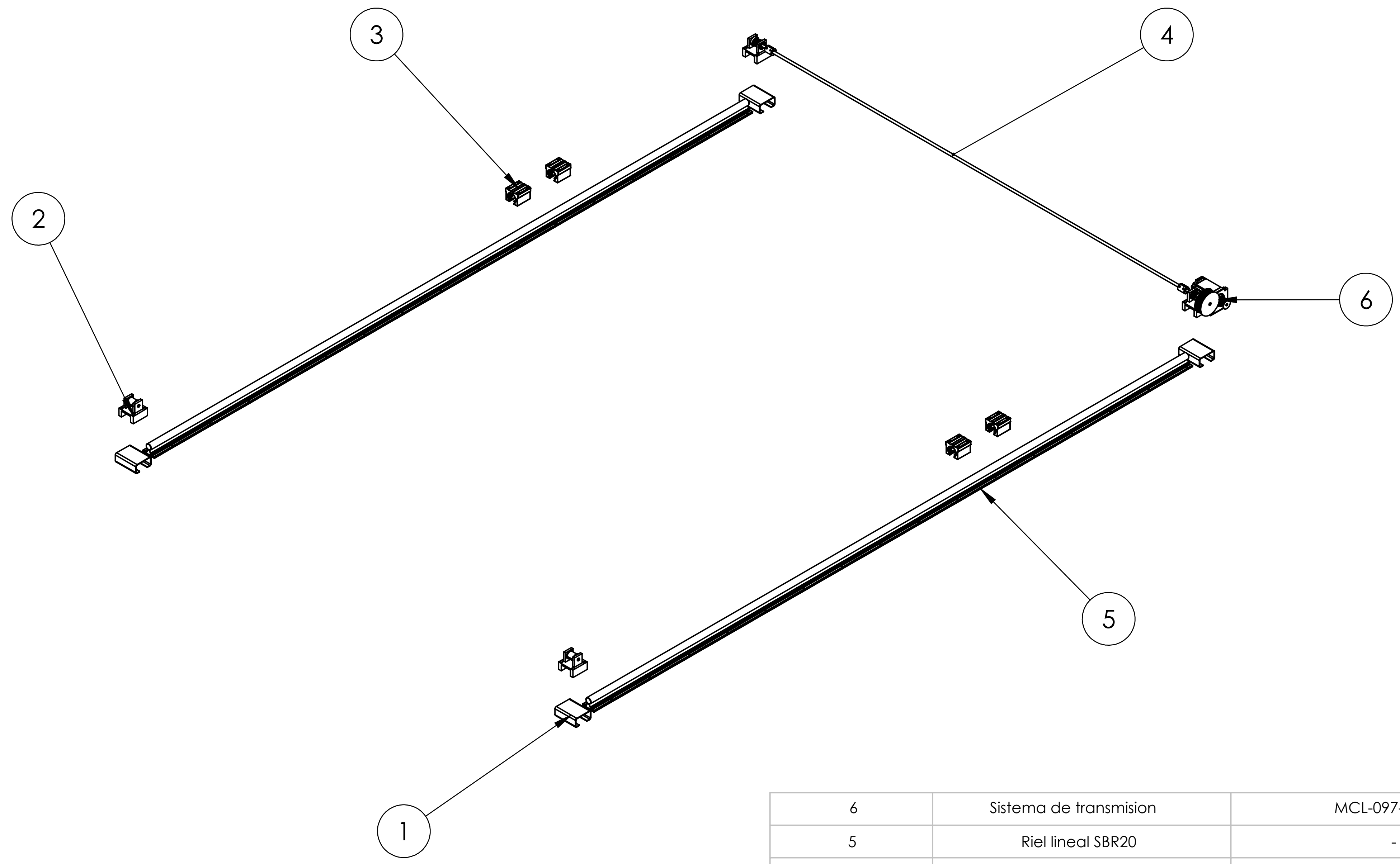








FICA	CIME	PROYECTO: Diseño de una máquina láser para el corte de tela			ESCALA 1:20
		CONJUNTO: Medidas de la estructura			
		CODIGO: MCL-097-01			
		MATERIAL:	ACERO	DISEÑÓ: CARLOS PINEDA 28/02/2025	HOJA: 3
		TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ: CARLOS PINEDA 28/02/2025	
		RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ: ING. VALENCIA F. 28/02/2025	
		CANTIDAD:	1	APROBÓ: ING. VALENCIA F. 28/02/2025	



Nº de elemento	Denominación	Código	Cantidad
6	Sistema de transmision	MCL-097-02-01	1
5	Riel lineal SBR20	-	2
4	Barilla de Acero inoxidable de 12mm	-	1
3	Rodamientos SBR20	-	4
2	Conjunto de piezas serie C Cloudray	-	1
1	Correa G 40x80x1,5	-	4

PROYECTO: Diseño de una máquina láser para el corte de tela

CONJUNTO: Ensamble eje X

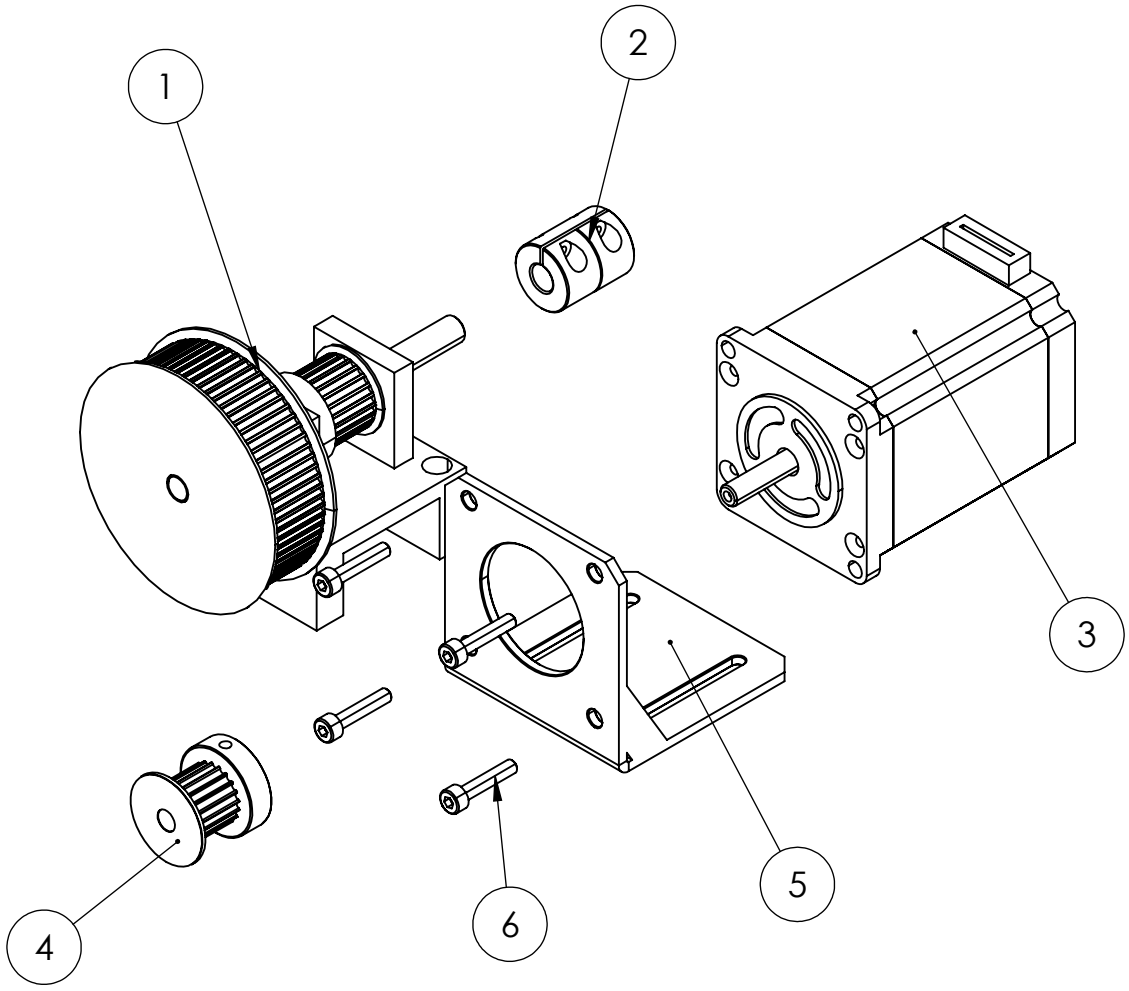
CODIGO: MCL-097-02

ESCALA 1:15

PESO:	N/D	DISEÑÓ:	CARLOS PINEDA	28/02/2025
LARGO:	2.58m	DIBUJÓ:	CARLOS PINEDA	28/01/2025
ANCHO:	1.90m	REVISÓ:	ING. VALENCIA F.	28/02/2025
ALTO:	0.23m	APROBÓ:	ING. VALENCIA F.	28/02/2025

HOJA: 4

FICA CIME



Nº DE ELEMENTO	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
6	Tornillo ALLEN M5	Acero	4
5	Soporte de motor NEMA	Acero	1
4	Rueda Sincrona 12mm	Acero inoxidable	1
3	Motor NEMA 23	N/D	1
2	Acople 12mm	Aluminio	2
1	Caja reductora serie C	Acero	1

UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE
SCIENTIA ET THECNICUS IN SERVITIUM POPULI
UTN
AUTONOMA DESDE 1986
IBARRA - ECUADOR

FICA | CIME

PROYECTO: Diseño de una máquina láser para el corte de tela

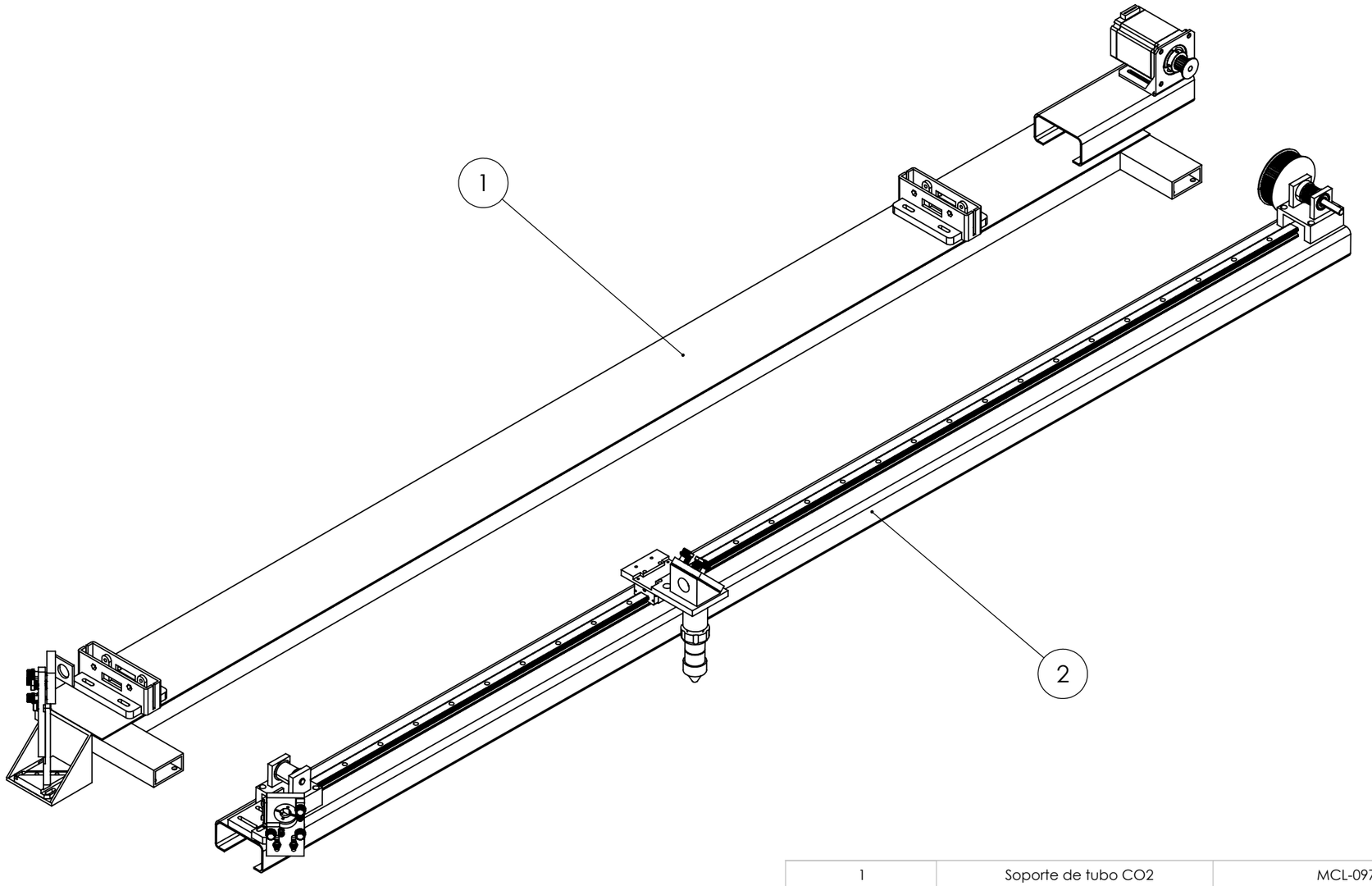
CONJUNTO: Sistema de transmición

CODIGO: MCL-097-02-01

ESCALA 1:2

MATERIAL:	N/D	DISEÑÓ:	CARLOS PINEDA	28/02/2025
TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	CARLOS PINEDA	28/01/2025
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	ING. VALENCIA F.	28/01/2025
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ING. VALENCIA F.	28/01/2025

HOJA: 5



Nº de elemento	Denominación	Código	Cantidad
1	Soporte de tubo CO2	MCL-097-03-01	1
2	Soporte de cabezal láser	MCL-097-03-01	2

UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE
IBARRA - ECUADOR

FICA | CIME

PROYECTO: Diseño de un máquina láser para el corte de tela

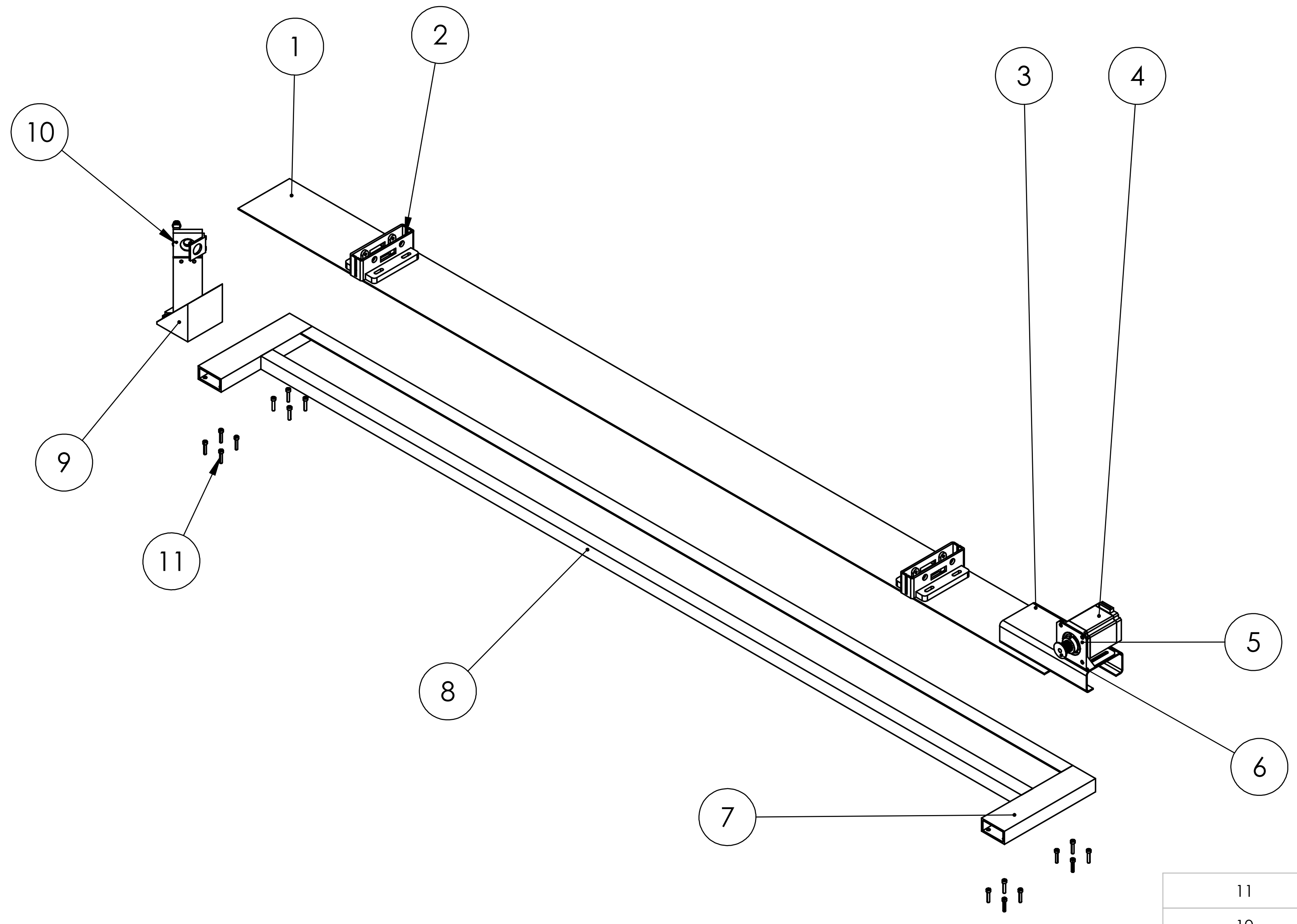
CONJUNTO: Ensamble eje Y

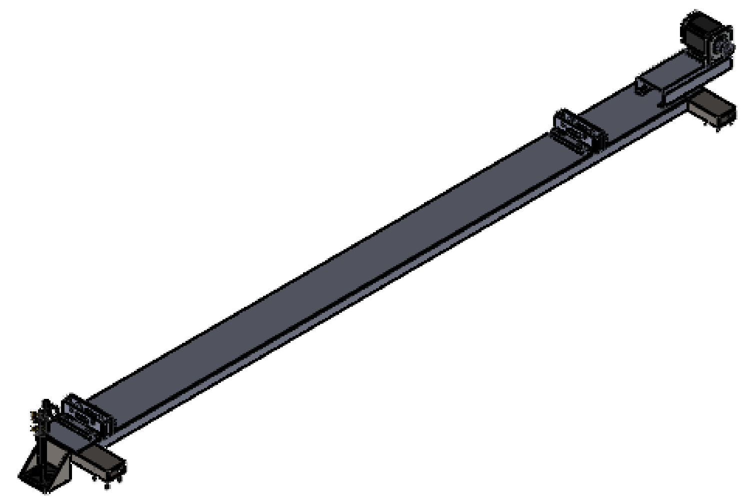
CODIGO: MCL-097-03

ESCALA 1:6

PESO:	N/D	DISEÑÓ:	CARLOS PINEDA	28/02/2025
LARGO:	1,83m	DIBUJÓ:	CARLOS PINEDA	28/02/2025
ANCHO:	0.23m	REVISÓ:	ING. VALENCIA F.	28/02/2025
ALTO:	0,26m	APROBÓ:	ING. VALENCIA F.	28/02/2025

HOJA: 6

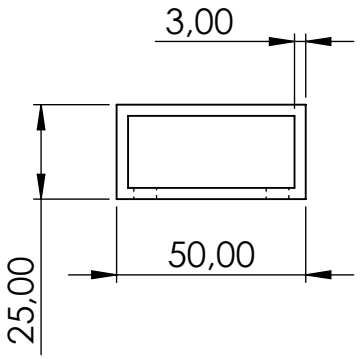


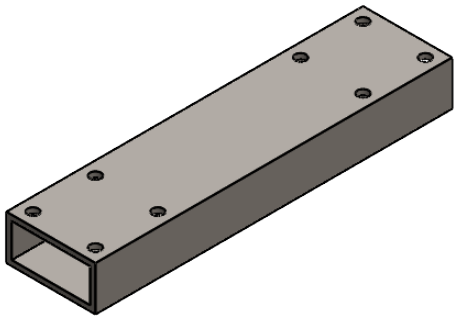


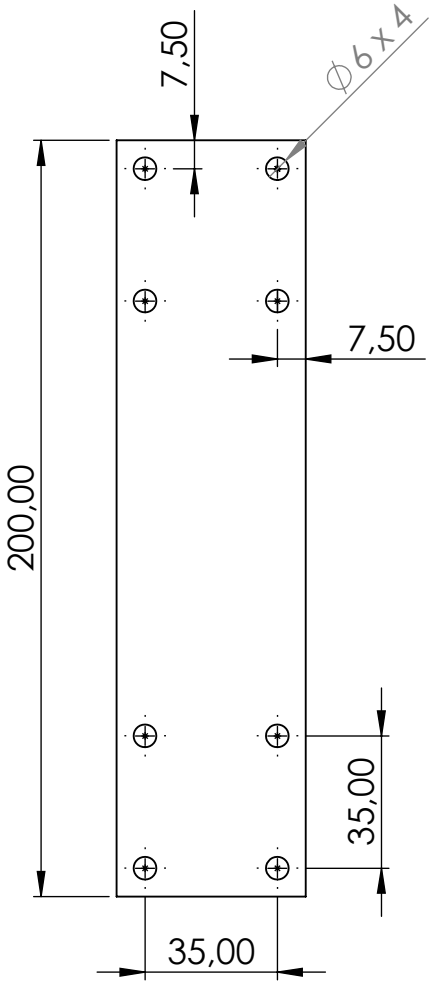
Nº de elemento	Denominación	Código	Cantidad
11	Tornillo ALLEN M5x20	-	16
10	Segundo espejo serie C	-	1
9	Soporte para segundo espejo	MCL-097-03-01-c	1
8	Ángulo de acero 25x25	-	2
7	Tubo de acero 50x25x3	MCL-097-03-01-b	2
6	Rueda sincrona	-	1
5	Soporte de motor NEMA	-	1
4	Motor NEMA23	-	1
3	Correa G 40x80x1,5	-	1
2	Soporte para tubo CO2	-	2
1	Placa de acero	MCL-097-03-01-a	1

PROYECTO: Diseño de una máquina láser para el corte de tela					ESCALA 1:9
CONJUNTO: Soporte de tubo CO2					
CODIGO: MCL-097-03-01					
MATERIAL:	N/D	DISEÑÓ:	CARLOS PINEDA	28/02/2025	HOJA: 7
TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	CARLOS PINEDA	28/02/2025	
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	ING. VALENCIA F.	28/02/2025	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ING. VALENCIA F.	28/02/2025	

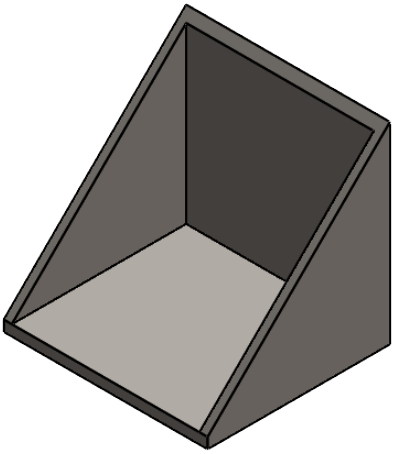
FICA | CIME

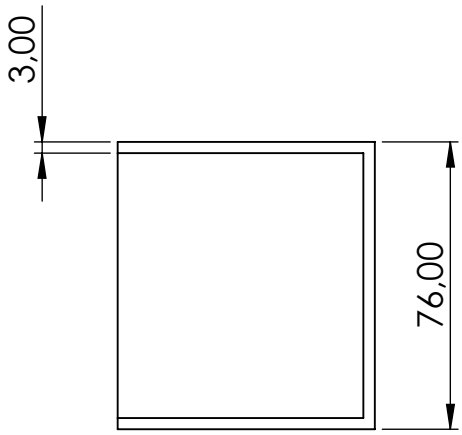


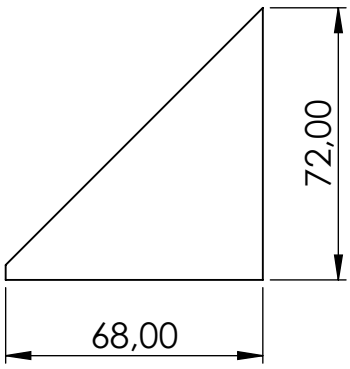




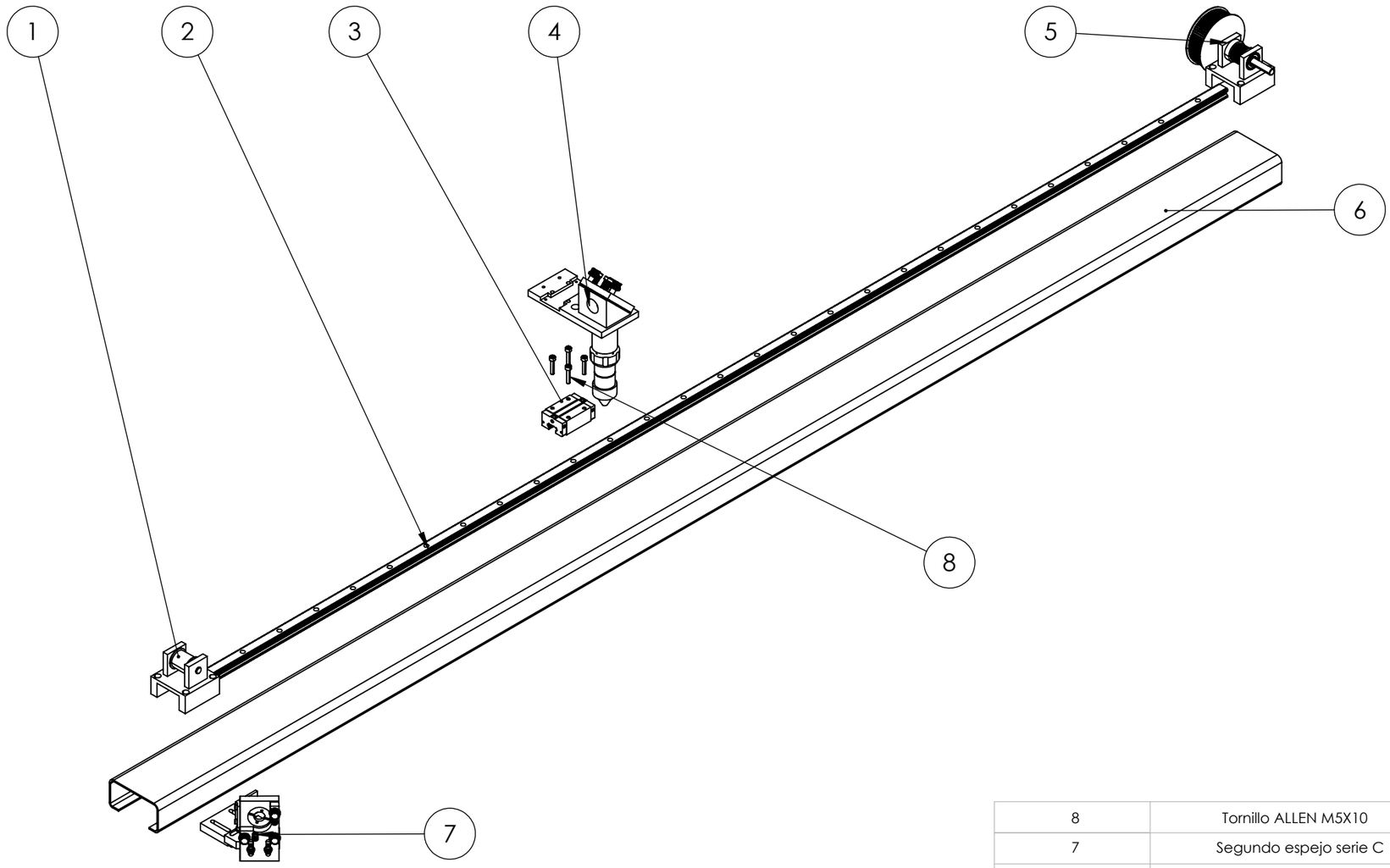
UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE	PROYECTO: Diseño de una máquina láser para el corte de tela				ESCALA 1:2
	CONJUNTO: Tubo de acero 50x25x3				
	CODIGO: MCL-097-03-01-a				
	PESO:	0,644kg	DISEÑÓ:	CARLOS PINEDA 28/02/2025	HOJA: 8
	LARGO:	0,2m	DIBUJÓ:	CARLOS PINEDA 28/02/2025	
FICA / CIME	ANCHO:	0,05m	REVISÓ:	ING. VALENCIA F. 28/02/2025	
	ALTO:	0,025m	APROBÓ:	ING. VALENCIA F. 28/02/2025	







UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE	PROYECTO: Diseño de una máquina láser para el corte de tela				ESCALA 1:2
	CONJUNTO: Soporte para segundo espejo				
	CODIGO: MCL-097-03-01-b				
	PESO:	0,3808kg	DISEÑÓ:	CARLOS PINEDA 28/02/2025	HOJA: 9
	LARGO:	0,076m	DIBUJÓ:	CARLOS PINEDA 28/02/2025	
FICA / CIME	ANCHO:	0,068m	REVISÓ:	ING. VALENCIA F. 28/02/2025	
	ALTO:	0,072m	APROBÓ:	ING. VALENCIA F. 28/02/2025	



Nº de elemento	Denominación	Código	Cantidad
8	Tornillo ALLEN M5X10	-	4
7	Segundo espejo serie C	-	1
6	Correa G 80x40x1,5	-	1
5	Caja reductora	-	1
4	Cabezal láser	-	1
3	Rodamiento HIWIN EG15	-	1
2	Riel HIWIN EG15	-	1
1	Conjunto de piezas serie C Cloudray	-	1

UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE
AUTÓNOMA DESDE 1986
IBARRA - ECUADOR

FICA | CIME

PROYECTO: Diseño de una máquina láser para el corte de tela

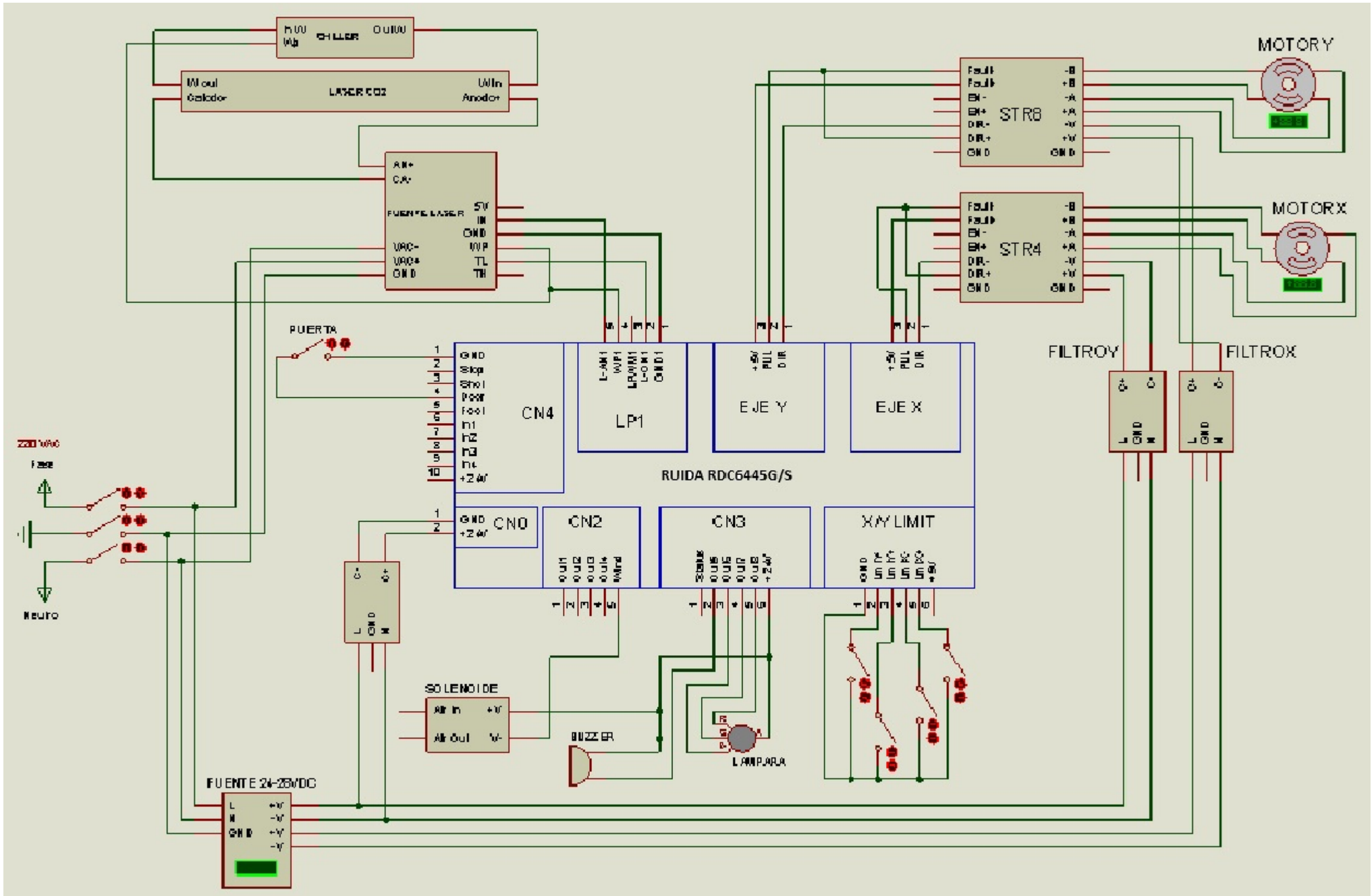
CONJUNTO: Soporte de cabezal láser

CODIGO: MCL-097-03-02

ESCALA 1:6

HOJA: 10

PESO:	N/D	DISEÑÓ:	CARLOS PINEDA	28/02/2025
LARGO:	1,83m	DIBUJÓ:	CARLOS PINEDA	28/02/2025
ANCHO:	0,012m	REVISÓ:	ING. VALENCIA F.	28/02/2025
ALTO:	N/D	APROBÓ:	ING. VALENCIA F.	28/02/2025



UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE – UTN – IBARRA - ECUADOR	PROYECTO: Diseño de una máquina láser para el corte de tela				ESCALA
	CONJUNTO: Diagrama eléctrico				
	CODIGO: MCL-097-04				
	PESO:	N/D	DISEÑÓ:	CARLOS PINEDA	28/02/2025
	LARGO:	N/D	DIBUJÓ:	CARLOS PINEDA	28/02/2025
	ANCHO:	N/D	REVISÓ:	ING. VALENCIA F.	28/02/2025
	ALTO:	N/D	APROBÓ:	ING. VALENCIA F.	28/02/2025
FICA	CIME				HOJA: 11