

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CORTADORA LÁSER PARA TRABAJO EN 2D

CAMILO ENRIQUE CAMARGO GALÁN
IVÁN CAMILO SAMACÁ MORENO



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
TUNJA
2021

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CORTADORA LÁSER PARA TRABAJO EN 2D

CAMILO ENRIQUE CAMARGO GALÁN
IVÁN CAMILO SAMACÁ MORENO

Trabajo de Grado Para Optar Al Título De Ingeniero Mecánico

Directores de Tesis: Ingeniero Mecánico Carlos Alberto León Medina
Ingeniero Electrónico Fernando Jiménez Díaz



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
TUNJA
2021

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Tunja, julio 29 de 2021

DEDICATORIA

Este proyecto de grado lo dedico primeramente a Dios, por permitirme tener el discernimiento y la valentía de continuar trabajando arduamente por mi futuro y el de mi familia. A mi madre Constanza Galán Granados por brindarme su comprensión, su paciencia, su amor y su incondicionalidad; a mi padre Luis Fernando Camargo Puerto por siempre tener las palabras correctas para tomar las mejores decisiones y guiar mi camino; a mis hermanas que con su apoyo me inspiran a superarme constantemente; a mis familiares y amigos más cercanos por nunca perder la fe en mí y en mis capacidades de seguir creciendo como profesional.

Camilo Enrique Camargo Galán

Dedico este proyecto de grado principalmente a Dios, por permitirme día a día cumplir mis sueños, culminar mi carrera y darme sabiduría en mis decisiones. A mis padres Juber Hernán Samacá Caro y Luz Dary Moreno Becerra por sus consejos, su amor, y confianza en el camino; a mi hermana, mi sobrina y mis abuelas, por ser el pilar más importante y darme siempre la inspiración y apoyo incondicional. A mis tías, tíos, primos, familiares y amigos más allegados; por su cariño y respaldo, gracias a todos ellos he conseguido llegar hasta aquí y ver en lo que me he convertido.

Iván Camilo Samacá Moreno

AGRADECIMIENTOS

Principalmente, queremos dar gracias a Dios por su bendición, salud, nuestra vida y la de nuestras familias por estar a lo largo de este camino. Nuestro aprecio y agradecimiento a los ingenieros CARLOS ALBERTO LEÓN MEDINA y FERNANDO JIMENEZ DÍAZ, principales colaboradores durante todo este proceso, por su paciencia, conocimientos brindados, experiencia, apoyo total y dirección para el desarrollo del presente proyecto.

De igual manera nuestro sincero agradecimiento a la Universidad Santo Tomás Tunja, a la facultad de Ingeniería Mecánica y todos los docentes presentes en nuestro proceso de formación, los cuales nos hicieron crecer como personas y profesionales. De igual manera a Jhon Gerardo Cucanchón, compañero y amigo de la carrera quien nos brindó su apoyo y conocimientos de manera incondicional. Por último, a José Tibacuy Piratoba, laboratorista de la facultad de Ingeniería Mecánica por habernos colaborado y acompañado durante el proceso de construcción del prototipo.

A todos los que hicieron parte del proceso, gracias por la dedicación, apoyo, paciencia y amistad.

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO I	14
1. INTRODUCCIÓN.....	14
2. JUSTIFICACIÓN	16
3. OBJETIVOS	16
3.1 Objetivo General	16
3.2 Objetivos Específicos.....	16
4. ALCANCE	17
CAPITULO II	18
5. MARCOS	18
5.1 MARCO TEÓRICO.....	18
5.2 MARCO HISTÓRICO	21
5.3 MARCO CONCEPTUAL	25
5.3.1 Cortadora Láser CNC	25
5.3.2 Láser.....	25
5.3.3 Propiedades del Láser	26
5.3.4 Proceso de Láser.....	26
5.3.5 Tipos de Láser	27
5.3.6 Control Numérico Computarizado CNC	27
5.3.7 Tecnología CAD	28
5.3.8 Tecnología CAM	29
5.3.9 Motores	29
5.3.10 Fuente de Poder	29
5.3.11 Transmisión de Movimiento	30
5.4 MARCO LEGAL	30
CAPITULO III	32
6. MATERIALES Y MÉTODOS	32
6.1 MATERIALES	32
6.2 DISEÑO METODOLOGICO	33
6.2.1 Proponer alternativas de cortadoras láser 2D con base en antecedentes.....	34
6.2.2 Diseñar una cortadora para madera con un área de trabajo de 40 x 60cm. 34	
6.2.3 Construir prototipo de cortadora láser.	34

6.2.4	Validación del funcionamiento de la cortadora.....	35
7.	DESARROLLO DEL PROYECTO.....	35
7.1	Alternativas de Diseño de Cortadora Láser.....	35
7.1.1	Selección de Alternativas	38
7.2	Diseño CAD Cortadora Láser.....	39
7.3	Cálculos y Análisis	40
7.3.1	Cargas Aplicadas a la Guía de Trabajo X.....	40
7.3.2	Análisis Estático Eje X	42
7.3.3	Cálculos de Esfuerzos Tornillo de Acero Inoxidable 304 Eje X.....	45
7.3.4	Cálculos Del Factor De Seguridad Del Tornillo De Acero Inoxidable Según Goodman Modificado Eje X.....	49
7.3.5	Torque del Tornillo Eje X.....	54
7.3.6	Cargas Aplicadas a la Guia de Trabajo Y.....	55
7.3.7	Análisis Estático Eje Y	56
7.3.8	Cálculos de Esfuerzos Tornillo de Acero Inoxidable 304 Eje Y.....	58
7.3.9	Cálculos del Factor de Seguridad del Tornillo de Acero Inoxidable según Goodman Modificado Eje Y	60
7.3.10	Torque del Tornillo Eje Y	61
7.4	Elementos de Control.....	61
7.4.1	Árbol Láser 450nm 40W-Version Profesional.....	61
7.4.2	Motor Paso a Paso Nema 23	62
7.4.3	Driver A4988.....	64
7.4.4	Drivers DM542A	67
7.4.5	Shield RAMPS 1.4	68
7.5	Procedimiento de Construcción.....	69
	CAPITULO IV.....	73
7.6	ANÁLISIS DEL DESARROLLO DEL PROYECTO	73
7.7	CRONOGRAMA.....	79
8.	CONCLUSIONES.....	79
	BIBLIOGRAFÍA.....	80

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Analisis de Alternativas de Diseño de Cortadora Láser</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 2. Selección de Alterativas.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 3. Datos de Entrada para Calculo de Guía de Trabajo X</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 4. Datos de Entrada para Cálculo de Guía de Trabajo Y</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 5. Especificaciones del Láser.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 6. Característica y Especificaciones Motor Paso a Paso Nema 23.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 7. Especificaciones Técnicas Drivers A4988</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 8. Características Eléctricas Driver DM542A</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 9. Cronograma del proyecto.....</i>	<i>79</i>

LISTA DE GRÁFICAS

<i>Gráfica 1.Reacciones Presentes en el eje X.....</i>	<i>43</i>
<i>Gráfica 2.Diagrama de Fuerza Cortante Eje X.....</i>	<i>44</i>
<i>Gráfica 3.Diagrama de Momento flector Eje X.....</i>	<i>44</i>
<i>Gráfica 4.Reacciones Presentes en el eje Y.....</i>	<i>57</i>
<i>Gráfica 5.Diagrama de Fuerza Cortante Eje Y.....</i>	<i>57</i>
<i>Gráfica 6.Diagrama de Momento flector Eje Y.....</i>	<i>58</i>

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.Diseño 3D del Prototipo	19
Fig. 2.Prototipo de Cortadora Láser CNC	20
Fig. 3.Implementación de Sistema Mecánico de Cortadora Láser.....	21
Fig. 4.Proceso de Fabricación CNC.....	22
Fig. 5.Diseño de Taladro XYZ.....	23
Fig. 6.Módulo de Corte Láser.....	23
Fig. 7.Diseño de Prototipo de Máquina Tipo Cartesiano para Corte y Grabado Láser	24
Fig. 8.Diseño de Sistema de Cortadora Láser	24
Fig. 9.Cortadora láser CNC.....	25
Fig. 10.Coherencia de la luz laser.....	26
Fig. 11.Proceso de Láser.....	26
Fig. 12.Proceso CNC.....	28
Fig. 13.Tecnología CNC	28
Fig. 14.Motores DC.....	29
Fig. 15.Fuente de Poder	29
Fig. 16.Diseño 3D del Prototipo	35
Fig. 17.Prototipo de Cortadora Láser CNC	36
Fig. 18.Implementación de Sistema Mecánico de Cortadora Láser.....	36
Fig. 19.Diseño de Taladro XYZ.....	37
Fig. 20.Diseño de Prototipo de Máquina Tipo Cartesiano para Corte y Grabado Láser ...	38
Fig. 21.Prototipo Cortadora Láser para Trabajo en 2D.....	39
Fig. 22. Diagrama de Cargas Aplicadas Guía X.....	41
Fig. 23.Diagrama de Cargas Aplicadas Guía Y.....	56
Fig. 24.Árbol Láser 40W	62
Fig. 25.Motor Paso a Paso Nema 23	63
Fig. 26.Driver A4988.....	65
Fig. 27.Esquema de Conexiones.....	66
Fig. 28.Driver DM542A	67
Fig. 29.Shield RAMPS 1,4	68
Fig. 30.Estructura de Base Cortadora Láser	69
Fig. 31.Soportes de las Guías.....	70
Fig. 32.Sujeción de Guías.....	70
Fig. 33.Medición Métrica y Angular	71
Fig. 34.Uso de Fresadora CNC.....	72
Fig. 35.Implementación de Rodamientos Lineales.....	72
Fig. 36.Cortadora Láser	73
Fig. 37. Software INKSCAPE.....	74
Fig. 38.Extensión J TECH PHOTONICS LASER TOOLS	75
Fig. 39.Software PRONTERFACE.....	75
Fig. 40.Resultados del proceso de corte	76
Fig. 41.Grabado del Escudo de Ingeniería Mecánica Usta Tunja.....	77
Fig. 42. Grabado del Nombre y del Logo Usta Tunja	78

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. PLANOS DEL PROTOTIPO DE CORTADORA LÁSER PARA TRABAJO EN 2D.

Anexo 2. MANUAL DE OPERACIÓN DEL PROTOTIPO DE CORTADORA LÁSER PARA TRABAJO EN 2D.

Anexo 3. MANUAL DE MANTENIMIENTO DEL PROTOTIPO DE CORTADORA LÁSER PARA TRABAJO EN 2D.

Nota: Estos documentos se encuentran en medio magnético.

GLOSARIO

CAD: Diseño asistido por computador es el encargado de realizar operaciones por medio de un ordenador.

CAM: La manufactura asistida por computador es la encargada de automatizar las diferentes etapas de una producción.

Código G: Es un lenguaje de programación para el control numérico de una herramienta o máquina.

Construcción: Técnica de ejercer el arte de la fabricación.

CNC: Control numérico por computador es el encargado de dar la posición y el control de una pieza o elemento.

Cortadora Láser: Es una máquina encargada de incidir sobre la superficie de un material una luz que separa el material gracias a sus altas temperaturas.

Diseño: Es una actividad productiva encargada de proyectar ideas y necesidades.

Equipos: Son instrumentos creados para un fin necesario y preciso.

Industria: Actividad económica de producción la cual garantiza bienes y servicios.

Láser: Es un dispositivo capaz de generar luz con la suficiente intensidad para separar moléculas.

Máquina: Es un objeto compuesto de varias piezas encargado de transformar energía en un movimiento de trabajo.

Optimización: Proceso que determina valores ideales de una variable.

Prototipo: Es un ejemplar base que se elabora y sirve de guía para mejorar el resultado final de fabricación.

Software: Es un programa encargado de producir y manejar diferentes tareas.

Soldadura: Proceso de unión de 2 o más materiales en un proceso de fabricación.

RESUMEN

La importancia que tiene un ingeniero mecánico dentro de los centros de producción es la manera en la cual se pueden automatizar los diferentes tipos de máquinas, las cuales realizan trabajos a través de software para obtener resultados que no se pueden alcanzar por medio del trabajo humano en el corte de material. En este proyecto se planteó el desarrollo de un prototipo de una cortadora para trabajo en 2D mediante la utilización de un láser.

Es fundamental la ejecución de labores en las que están involucradas las cortadoras láser, donde se maneja la precisión en los diferentes procesos de manufactura con el propósito de satisfacer los requerimientos de los usuarios, de esta manera se han diseñado máquinas que trabajen de forma autosuficiente por medio del control por computadora.

En el desarrollo de este proyecto se explica el diseño, variables, cálculos, materiales, alternativas y el funcionamiento del prototipo, teniendo en cuenta el objetivo de la máquina el cual es el corte de láser. Es muy importante la manera de implementar cada componente tanto electrónico como mecánico para su correcto funcionamiento. Cabe destacar que el diseño del prototipo se realizó para corte con láser en trabajos de 2D utilizando un haz de luz con una potencia de 40Watts.

Para la validación y verificación del prototipo de cortadora láser se realizaron diferentes tipos de pruebas según los factores a evaluar, como velocidades de desplazamiento, precisión, corte del láser y el correcto funcionamiento del código G para lograr los mejores resultados de la máquina.

Por último, se presentan las conclusiones y sugerencias generadas en el desarrollo del proyecto.

PALABRAS CLAVE: Corte, Láser, Materiales, Máquina, Prototipo, Software.

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

En la industria Colombiana el manejo de tecnologías mediante control numérico por computador es de gran importancia en la actualidad, ya que se emplea en la maquinaria que normalmente es operada por el hombre con el propósito de ejecutar procesos especializados.

En Colombia las empresas de gran magnitud están enfocadas en el mejoramiento constante de maquinaria automatizada, por lo cual se busca el progreso de los procesos, recursos, operaciones y la disminución de tiempo en sus actividades; otro factor que minimizan es la intervención humana en estos procesos por cuestiones de seguridad, recursos, tiempo y productividad. Sin embargo, el trabajo con láser es en algunos casos se ve limitado ya que los altos costos pueden causar demoras tecnológicas.

Por estas razones mencionadas se propone el diseño y construcción de una cortadora láser para trabajos en 2D, en material MDF de 5mm de espesor para la Universidad Santo Tomás de Tunja, de manera que la verificación y validación de la cortadora láser se podrá ver reflejada en las piezas obtenidas con acabados de buena calidad y precisión en los procesos de corte.

En este proyecto se realizaron capítulos los cuales contienen de manera detallada el proceso y desarrollo durante el transcurso de todo el documento.

En el primer capítulo, se da a conocer el tema del proyecto a realizar haciendo una introducción al mismo, donde se enfatizan factores tales como la justificación, el alcance y los objetivos propuestos para su desarrollo.

En el segundo capítulo, se realizan investigaciones de carácter teórico, histórico, conceptual, legal y normativo sobre las cortadoras láser de tipo CNC, así mismo, sobre su funcionamiento en la variedad de componentes mecánicos y electrónicos que se implementaran en este proyecto.

En el tercer capítulo, se presentan los materiales utilizados en la construcción de la cortadora láser, del mismo modo, la metodología que se implementó en el desarrollo del proyecto y finalmente los cálculos, el diseño CAD y el proceso de construcción de la máquina.

Para el cuarto y último capítulo, se presenta la verificación y validación del funcionamiento del prototipo de cortadora láser 2D, de igual manera se presentan las conclusiones definitivas del proyecto.

Las Cortadora CNC láser son máquinas que llevan a cabo su función de corte por medio del láser, un haz de luz amplificada. Las cortadoras que funcionan por medio de láser tienen la misma base y funcionan de maneras similares que cualquier otra cortadora CNC. La diferencia principal radica en la fuente que genera el rayo láser. Por lo que los parámetros de corte y grabado son muy amplios.¹

¹ SALVADOR, José. CORTADORA CNC LÁSER. BENEFICIOS, VENTAJAS Y UTILIDADES, México, [En línea] 2019, [Citado 16/06/2021] Disponible en internet: <https://www.stanser.com/cortadora-cnc-laser-beneficios-ventajas-y-utilidades/>

2. JUSTIFICACIÓN

Si se puede desarrollar la cortadora laser de trabajo en 2 dimensiones se puede generar una mayor exactitud en las medidas y un mejor acabado en cada trabajo realizado, reduciendo el tiempo de entrega y los costos adicionales que puedan surgir dependiendo del material a trabajar.

En las posibles empresas usuarias de estos equipos se mejorarán las condiciones para la producción, diseño y construcción de equipos nuevos teniendo en cuenta que muchos componentes que requieran corte se van a poder realizar en los laboratorios con la cortadora laser y de esta manera a nivel general, 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.

La capacitación para el uso de esta maquinaria no es muy complicada y ayudaría a que los operarios se capaciten sin tener que invertir recursos adicionales en su formación, favoreciendo su ingreso y su economía. Al producir esta máquina se van a generar diferentes actividades alrededor de ella, lo que generaría nuevos empleos y nuevos procesos de fabricación.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Diseñar y construir una cortadora de madera láser para trabajo en dos dimensiones.

3.2 Objetivos Específicos

- Proponer alternativas de cortadoras láser 2D con base en antecedentes.

- Diseñar una cortadora para madera con un área de trabajo de 40 x 60 cm.
- Construir el prototipo de cortadora láser.
- Validación del funcionamiento de la cortadora.

4. ALCANCE

En este proyecto se va a diseñar y construir una cortadora láser para espesores variados hasta 5mm. La máquina tendrá unas dimensiones de corte o área de trabajo de 40cmx60cm, se espera que corte madera o MDF con espesores menores a 5mm.

La cortadora tendrá funciones de corte en dos dimensiones y adicionalmente se podrá controlar con software libre. Para el funcionamiento de la máquina se implementa un sistema de control que permite ajustar la velocidad y la posición de los motores.

El proyecto tiene un tiempo de desarrollo de 11 semanas con una inversión de y se va a realizar en los laboratorios de materiales y manufactura de ingeniería mecánica de la Universidad Santo Tomas de Tunja con el apoyo de las áreas de diseño, electrónica, lógica y programación, procesos de manufactura y mantenimiento eléctrico y montaje.

Se realizarán los cálculos correspondientes a las guías de trabajo en el eje X y eje Y; así mismo a los tornillos de potencia correspondientes a cada guía. Es necesario aclarar que no se realizan cálculos a la estructura de la máquina ya que inicialmente ya se contaba con esta.

Para la verificación y validación de la cortadora láser para trabajos en 2D se realizarán figuras geométricas básicas de manera que su funcionamiento sea el correcto. Cabe aclarar que el funcionamiento de la máquina será presentado el día de la sustentación del trabajo.

CAPITULO II

5. MARCOS

En este capítulo se identifican diversas teorías, entes normativos y legales donde se suministrarán conceptos básicos y generales; esto con el fin de demostrar mediante conocimientos sólidos el funcionamiento de los diferentes sistemas que se emplean en una cortadora láser para trabajo en 2D.

5.1 MARCO TEÓRICO

La primera investigación que se asoció con el láser es el efecto de emisión estimulada propuesta por Albert Einstein en 1917, consistía en una explicación teórica de cómo los electrones pueden emitir luz a una longitud de onda específica a partir de una intervención externa.²

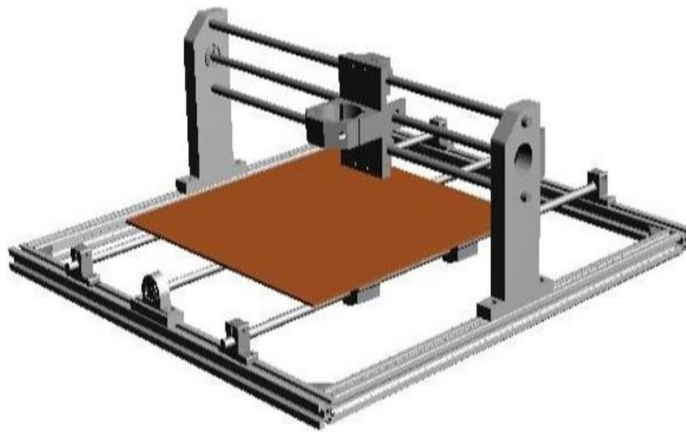
La invención del láser no fue una mera casualidad, fue producto de aproximadamente 40 años de investigaciones y su origen se remonta a una de las grandes ideas que propuso el físico Albert Einstein: el efecto de emisión estimulada. Debido a la originalidad de la idea planteada por este científico, la invención del

² A. Einstein, Phys. Z. 18 (1917) 121.
<https://scholar.google.com/scholar?hl=en&assdt=0%2C5&q=+++++Albert+Einstein.+Phys.+Z.+18+%281917%29+121.&btnG=>

láser fue cuestión de tiempo; el rumbo estaba marcado para que los físicos experimentales pudieran comprobar la existencia de la emisión estimulada.³

Una cortadora láser para trabajo en 3D, tiene como función primordial realizar cortes perfectos por medio del láser, demandan de la ayuda de un equipo de cómputo para crear una diversidad de diseños en diferentes softwares que facilitarán trabajar con vectores para que las órdenes sean precisas y se pueda proceder con el grabado o corte.⁴

Fig. 1. Diseño 3D del Prototipo



Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

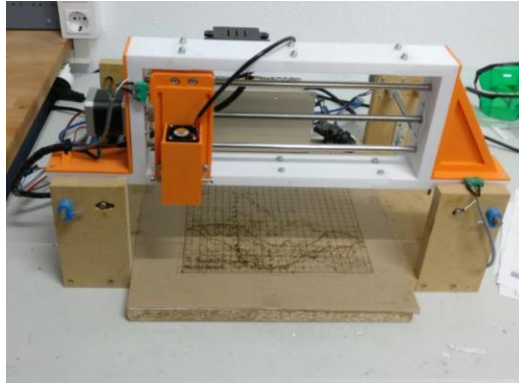
Para el diseño de un prototipo de cortadora y grabadora láser controlada mediante CNC (Control Numérico Computarizado). El láser debe ser controlado mediante una computadora, para la realización de grabados en materiales como madera, cartón y, además, permitir cortar algunos materiales de menor espesor, como el cartón y maderas finas.⁵

³ IBARRA, Hugo; POTTIEZ, Oscar; GOMEZ, Andrés. El camino hacia la luz láser. Rev. Mex. fís. E [En línea] México, 2018, vol.64, n.2 [Citado 16/06/2021] Disponible en internet: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-35422018000200100#c1

⁴ ARMAS, Jonathan; CHÁVEZ, Valeria. Diseño y construcción de un prototipo de cortadora laser CNC para el grabado y corte de madera (MDF) de un espesor 4mm para la empresa Servihardmetal. Quito, Ecuador, 2021, p. 6-7.

⁵ RIBERA, José. Diseño e implementación de un prototipo de cortadora laser controlada mediante CNC, Valencia, España, 2018, p. 41.

Fig. 2. Prototipo de Cortadora Láser CNC



Elaborado por: José Ribera Perelló

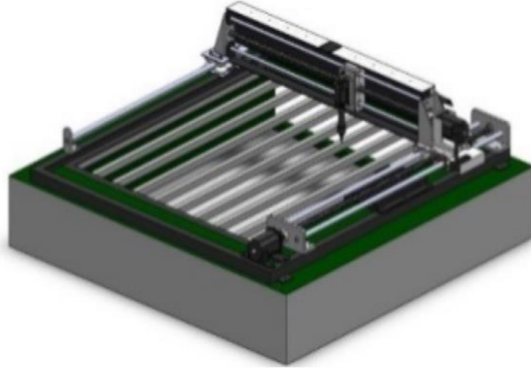
Para el diseño de una máquina cortadora láser se utilizaron las necesidades de un integrante del proyecto que sufre de movilidad reducida de miembros inferiores que ha trabajado en la industria de la confección con máquinas convencionales de corte, las cuales, por su condición son incómodas de operar, además se hicieron consideraciones energéticas y de enseñanza. Se determinó la cinemática directa e indirecta, así como la dinámica del sistema. Posteriormente se utilizó un programa de simulación de circuitos electrónicos para diseñar y construir una interfaz para poder operar el dispositivo.⁶

El corte de materia prima es uno de los primeros procesos que se automatizó, las máquinas cortadoras de control numérico computarizado implican una tecnología de fabricación que, de la mano de la microelectrónica, la automática y la informática industrial ha experimentado en los últimos años un desarrollo acelerado.⁷

⁶ MARTÍNEZ, Rodolfo. DESARROLLO DE UNA MÁQUINA CORTADORA LÁSER CON UNA PERSPECTIVA INCLUYENTE, Ciudad de México, México, 2017, p. 7.

⁷ ACUÑA, Fausto. Cortadora láser de dióxido de carbono de control numérico computarizado con fines didácticos, Ecuador, p. 1.

Fig. 3. Implementación de Sistema Mecánico de Cortadora Láser



Elaborado por: Fausto Acuña, Oscar Chang, Héctor Terán, Santiago Lugmanía, Wilson Vásquez

Una de las aplicaciones principales del láser a nivel industrial es el corte de materiales, el cual supera a los métodos convencionales en cuanto a velocidad, rendimiento y productividad.

5.2 MARCO HISTÓRICO

La palabra LÁSER proviene de "light amplification by stimulated emission of radiation" que en español significa Luz amplificada por la estimulación de la emisión de radiación. El láser se remonta a 1917 con Albert Einstein quien teorizó el principio del láser con la teoría de la emisión estimulada.

Luego a partir de 1940 se empezó a trabajar en la teoría del láser hasta que en 1960 se creó el primer láser funcional y a partir de entonces el láser ha evolucionado en diferentes tipos de industrias incluidas las de corte.⁸

Las máquinas CNC "Control Numérico Computarizado" tienen como principal característica controlar completamente una Máquina–Herramienta desde un

⁸ PÉREZ, Javier, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL DISPOSITIVO SUMINISTRADOR DE POLVO EN UN SISTEMA DE "LASER CLADDING", Madrid, España, 2012, p. 10.

computador mediante un control numérico, facilitando en su totalidad el trabajo a desempeñar.

Los controladores de tipo CNC están basados en Código G para la generación de las trayectorias, siendo este un código alfanumérico. Al trabajar con el Código G, brinda la facilidad a los usuarios de realizar los diseños en diferentes programas CAD, permitiéndoles usar diversos programas computacionales, para luego ser convertido el archivo de formato CAD o DXL en Código G con la ayuda del software CAM.

Desarrollo de cortadora láser para materiales ligeros: En 2010 se hizo un trabajo sobre el desarrollo de láser para corte mediante la implementación de tecnología local. Este desarrollo emplea materiales y componentes de origen nacional logrando entregar productos con excelentes acabados. (Gómez-Rivera W, Aperador-Chaparro W, Delgado-Tobón, 2010).⁹

Fig. 4. Proceso de Fabricación CNC

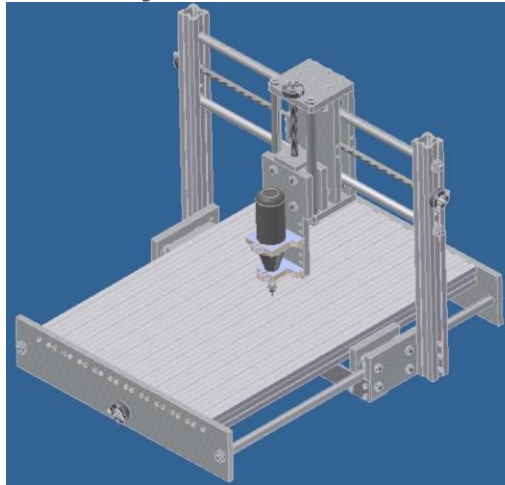


Elaborado por: William Gómez, William Aperador, Emilio Delgado

⁹ GÓMEZ Rivera, W., Chaparro Tobón, W. A., & Delgado, E. (16 de diciembre de 2010). SciELO.

Controlador con interfaz gráfica: En 2010 se trabajó en el diseño y construcción de un taladro XYZ controlado por microcontrolador con interfaz gráfica mediante LabView para la fabricación de circuitos impresos. (Galarza J, Dávila H, 2010).

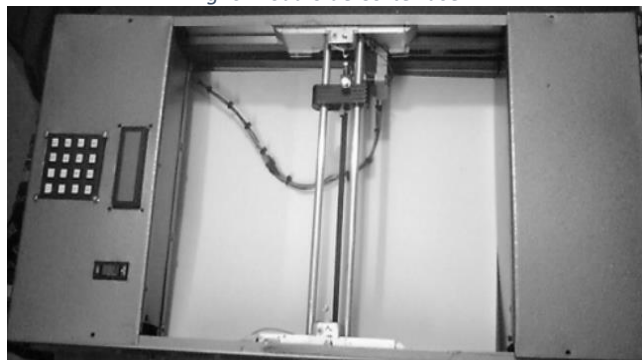
Fig. 5.Diseño de Taladro XYZ



Elaborado por: Juan Galarza, Miguel Dávila

Emulador para corte de papel: En 2014 se hizo una investigación sobre el desarrollo de tecnología para la fabricación de máquinas CNC para corte de tendidos de tela en pequeños talleres de confección. (Rayo Luna H, Castañeda Jácome D, 2014).¹⁰

Fig. 6.Módulo de Corte Láser

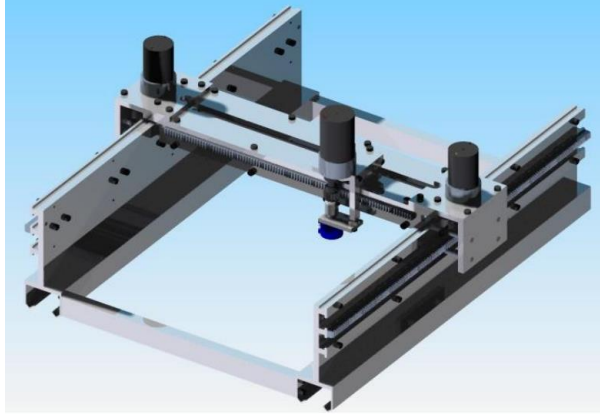


Elaborado por: Daniel Castañeda, Héctor Rayo

¹⁰ RAYO, Héctor, CASTAÑEDA, Daniel. EMULADOR PARA CORTE DE PAPEL CON SISTEMA LASER
Fuente: <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/40911.pdf>. [Accedido: 19-oct-2014].

Trayectorias irregulares mediante computador. En 2015 se llevó a cabo el trabajo de seguimiento de trayectorias irregulares arbitrarias mediante computadora y la implementación de un sistema de control para una máquina CNC láser.¹¹

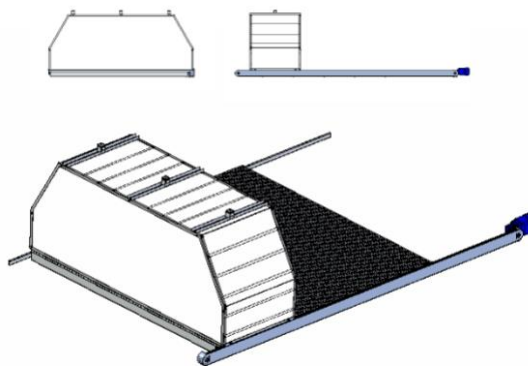
Fig. 7. Diseño de Prototipo de Máquina Tipo Cartesiano para Corte y Grabado Láser



Elaborado por: David Fuentes, Miguel Méndez, Jaime Muñoz, Fabián Romero

Corte con rayo láser. En 2017 se investigó sobre el diseño y simulación de una mesa con sistema de visión artificial, para la detección de imperfecciones y posterior corte con rayo láser, del cuero bovino.¹²

Fig. 8. Diseño de Sistema de Cortadora Láser



Elaborado por: Diego Arredondo, Pedro Bustamante, Juan Giraldo

¹¹ FUENTES, David; MÉNDEZ, Miguel; MUÑOZ, Jaime; ROMERO, Fabián. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA TIPO CARTESIANO PARA CORTE Y GRABADO LÁSER EN PAPEL, Bogotá D.C., Colombia, 2015.

¹² ARREDONDO, Diego; BUSTAMANTE, Pedro; GIRALDO, Juan. DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MESA CON SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL, PARA LA DETECCIÓN DE IMPERFECCIONES Y POSTERIOR CORTE CON RAYO LÁSER, DEL CUERO BOVINO, Bogotá D.C., Colombia, 2007.

5.3 MARCO CONCEPTUAL

5.3.1 Cortadora Láser CNC

Una cortadora laser de tipo CNC se encarga de elaborar cortes precisos por medio de un instrumento laser, se necesita un software especializado para la realización de diferentes diseños y estilos de corte la cual permite que los cortes sean exactos.

Fig. 9. Cortadora láser CNC

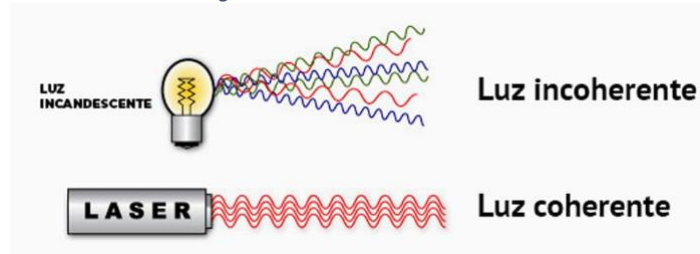


Fuente: https://www.freepik.es/fotos-premium/maquinaria-laser-cnc-corte-metales_5958306.htm

5.3.2 Láser

El principio de funcionamiento de láser fue establecido por Albert Einstein donde la luz que transita en el espacio pasa en forma de fotones, posterior a esto se introduce energía, lo que permite que los electrones se muevan en una órbita superior y para recuperar su estado natural se producen más fotones. Este principio se conoce como la creación de haz de luz en un láser, la característica principal de coherencia genera luz que trasciende en la misma dirección, espacio, tiempo y trayectoria de manera armónica.

Fig. 10. Coherencia de la luz laser



Fuente: <https://ferrosplanes.com/tipos-laser/>

5.3.3 Propiedades del Láser

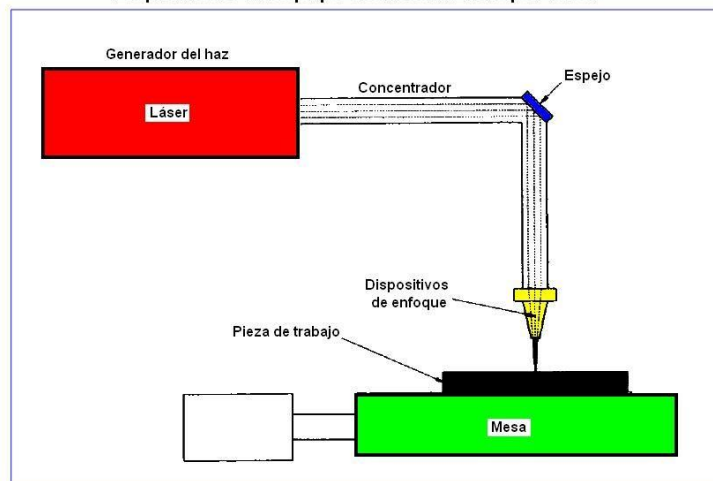
La potencia es un factor muy importante al momento de ser aplicada porque depende de la irradiación que proporciona la fuente en Watts y la frecuencia y amplitud con la que se entrega la luz desde la fuente.

5.3.4 Proceso de Láser

El foco del rayo láser por medio de lente es el encargado de transmitir la luz que fue generada desde la fuente con la potencia necesaria para calentar y posteriormente fundir el material y de esta manera haber realizado el corte.

Fig. 11. Proceso de Láser

Esquema de un equipo de mecanizado por láser



Fuente: https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/DFM/TFM/TFM07/es_DFM_TFM07_Coordenados/TFM07_CONT_R38_EquipoLaser.jpg

5.3.5 Tipos de Láser

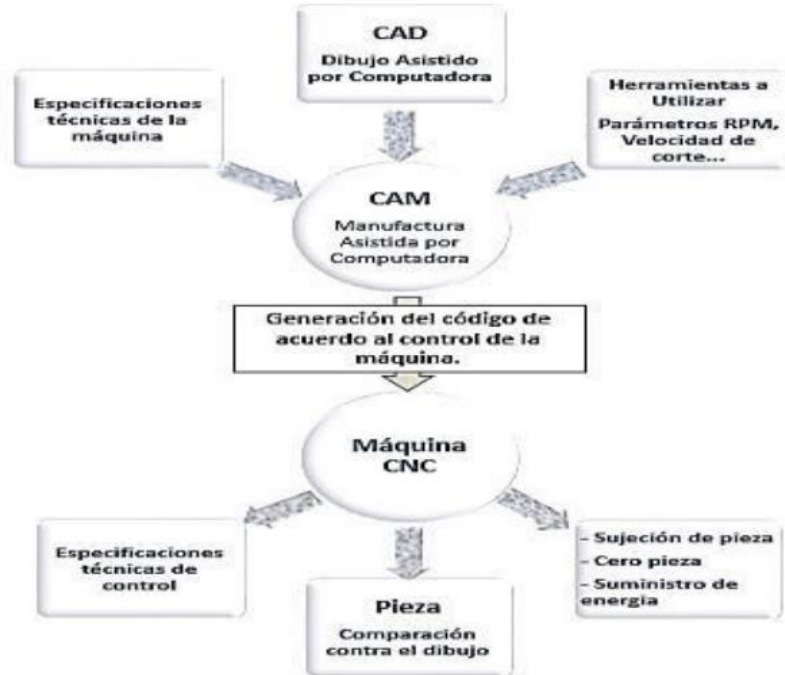
Los diferentes tipos de láser utilizados en la industria se definen por estado líquido, solido o gaseoso, como se muestra a continuación:

- Láser de gas: Por medio de una corriente eléctrica se logra activar el gas como lo es el argón y el helio-neón, estos dos gases son los más comunes a la hora del uso industrial.
- Láser de colorante: Este tipo de láser tiene como material base una solución liquida de tintes orgánicos, la cual es aplicada por medio de diferentes gamas que controlan la longitud de onda, se utiliza la rodamina 6G.
- Láser de estado sólido: Este láser funciona por medio de átomos activos los cuales realizan un haz de luz atravesando un cristal de vidrio o cerámica.
- Láser de diodo: Un diodo proporciona luz ya que este es de un material semiconductor donde la fuente de voltaje está conectada directamente al diodo generando la luz láser.

5.3.6 Control Numérico Computarizado CNC

Este control es el encargado de recibir órdenes por medio de coordenadas numéricas las cuales producen el movimiento y posición exacta de la herramienta que realiza figuras acordes a las ordenes previamente recibidas.

Fig. 12. Proceso CNC

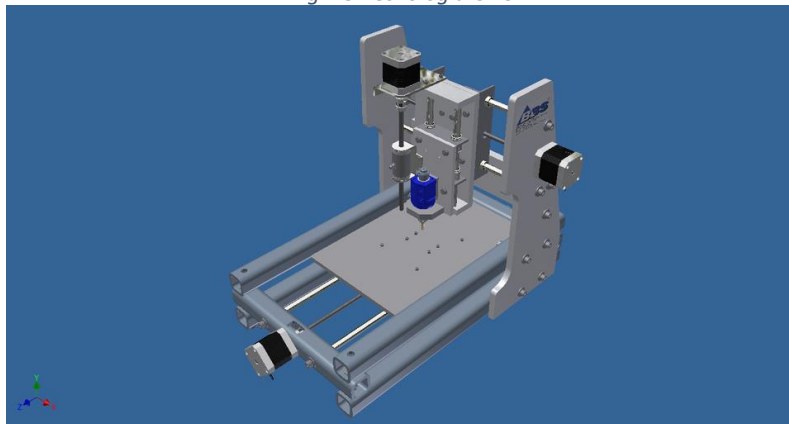


Fuente: <https://www.3dcadportal.com/articulos/3681-desde-cad-al-mecanizado-utilizando-surfcam-2015>

5.3.7 Tecnología CAD

El diseño asistido por computador es capaz de optimizar, analizar y crear diseños de manera rápida y eficaz mejorando la productividad y corrigiendo diferentes errores que puedan surgir al momento de diseñar.

Fig. 13. Tecnología CNC



Fuente: <https://grabcad.com/library/micro-fresadora-cnc-3-eixos-1>

5.3.8 Tecnología CAM

La manufactura asistida por computador se centra en un software el cual controla operaciones, programas, diferentes etapas de los procesos de fabricación de CNC.

5.3.9 Motores

Son dispositivos que reciben energía eléctrica por medio de un mecanismo magnético se genera energía mecánica que es transmitida a los ejes de una maquina CNC.

Fig. 14. Motores DC



Fuente: <https://electronilab.co/tienda/motor-paso-paso-nema-23-425-oz-200-pasos-vuelta/>

5.3.10 Fuente de Poder

La fuente de poder es la encargada de proporcionar la corriente necesaria a los diferentes componentes diseñados para funcionar desde 5v hasta 80v respectivamente.

Fig. 15. Fuente de Poder



Fuente <https://www.steren.com.co/fuente-de-poder-atx-para-pc-de-400-w.html>

5.3.11 Transmisión de Movimiento

Para el proceso de convertir el giro de un motor a un movimiento lineal es necesario valerse de varillas roscadas, husillos, acoples, soportes, entre otros elementos de transmisión conocidos.

5.4 MARCO LEGAL

Para el desarrollo de este proyecto se tendrán en cuenta diversos entes legales y normativos como se muestra a continuación:

- *ANSI Z136.1: Uso seguro de láseres.* Los entes normativos en este documento son la fundación de programas de seguridad láser en la industria, milicia, investigación, laboratorios de desarrollo y educación superior.¹³
- *ANSI Z136.4: Prácticas recomendadas para medidas de seguridad láser para evaluación del riesgo.* Provee una guía para medir los procesos necesarios para clasificar y evaluar los riesgos de la radiación óptica.¹⁴
- *ANSI Z136.5: Uso seguro de láseres en instituciones educativas.* Esta norma indica las medidas de seguridad que se deben seguir en ambientes educativos.¹⁵

¹³ AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE - Z136.1. SAFE USE OF LASERS, [En línea] [Citado 17/06/2021] Disponible en internet: <https://www.lia.org/resources/laser-safety-information/laser-safety-standards/ansi-z136-standards/z136-1>

¹⁴ AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE - Z136.4. RECOMMENDED PRACTICE FOR LASER SAFETY MEASUREMENTS FOR HAZARD EVALUATIONS, [En línea], [Citado 17/06/2021] Disponible en internet: <https://www.lia.org/resources/laser-safety-information/laser-safety-standards/ansi-z136-standards/z136-4>

¹⁵ AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE - Z136.5. SAFE USE OF LASERS IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS, [En línea], [Citado 17/06/2021] Disponible en internet: <https://www.lia.org/resources/laser-safety-information/laser-safety-standards/ansi-z136-standards/z136-5>

- *ANSI Z136.7: Prueba y etiquetado de equipo protector para el uso de láseres.* El objetivo de esta norma es proveer una guía adecuada y razonable en los métodos y protocolos usados para proveer protección ocular contra láseres y sistemas que usen láseres.¹⁶
- *ANSI Z136.8 – Uso seguro de láseres en investigación, desarrollo y evaluaciones.* El propósito de esta norma es proveer una guía sobre el uso seguro de láseres en sistemas que normalmente se encuentran en investigación, desarrollo y evaluación, donde los controles comunes de seguridad usados en láseres comerciales pueden faltar o estar deshabilitados.¹⁷
- *ISO 230-2:2014. Código de prueba para máquinas herramienta. Parte 2: Determinación de la precisión y repetitividad del posicionamiento de ejes controlados numéricamente.*¹⁸
- *ISO 230-4: 2005. Código de prueba para máquinas herramienta. Parte 4: Pruebas circulares para máquinas herramienta controladas numéricamente.*¹⁹

¹⁶ AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE - Z136.7. TESTING AND LABELING OF LASER PROTECTIVE EQUIPMENT, [En línea], [Citado 17/06/2021] Disponible en internet: <https://www.lia.org/resources/laser-safety-information/laser-safety-standards/ansi-z136-standards/z136-7>

¹⁷ AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE - Z136.8. SAFE USE OF LASERS IN RESEARCH, DEVELOPMENT, OR TESTING, [En línea], [Citado 17/06/2021] Disponible en internet: <https://www.lia.org/resources/laser-safety-information/laser-safety-standards/ansi-z136-standards/z136-8>

¹⁸ TEST CODE FOR MACHINE TOOLS — PART 2: DETERMINATION OF ACCURACY AND REPEATABILITY OF POSITIONING OF NUMERICALLY CONTROLLED AXES, [En línea], [Citado 17/06/2021] Disponible en internet: <https://www.iso.org/standard/55295.html>

¹⁹ TEST CODE FOR MACHINE TOOLS — PART 4: CIRCULAR TESTS FOR NUMERICALLY CONTROLLED MACHINE TOOLS, [En línea], [Citado 17/06/2021] Disponible en internet: <https://www.iso.org/standard/36688.html>

- *ISO 841: 2001. Integración y sistemas de automatización industrial. Control numérico de máquinas - Sistema de coordenadas y nomenclatura de movimiento.*²⁰
- *ISO 2806: 1994. Sistemas de automatización industrial. Control numérico de máquinas – Vocabulario.*²¹
- *ISO 2972: 1979. Control numérico de máquinas. Símbolos.*²²

CAPITULO III

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 MATERIALES

Los materiales que se utilizaron en el desarrollo de este proyecto fueron:

- Perfil de acero calibre 16 3inx1.5inx6m
- Placa de acero estructural con espesor de 4mmx17cmx45cm
- Soldadura SMAW con electrodo 6013
- Soldadura MIG con gas y filamento
- Masilla para acabados de ¼
- Tornillo trapezoidal
- Cabezal Láser de 40w de foco fijo
- Husillo de 16mmx90cm

²⁰ INDUSTRIAL AUTOMATION SYSTEMS AND INTEGRATION — NUMERICAL CONTROL OF MACHINES — COORDINATE SYSTEM AND MOTION NOMENCLATURE, [En línea], [Citado 17/06/2021] Disponible en internet: <https://www.iso.org/standard/23949.html>

²¹ INDUSTRIAL AUTOMATION SYSTEMS — NUMERICAL CONTROL OF MACHINES — VOCABULARY, [En línea], [Citado 17/06/2021] Disponible en internet: <https://www.iso.org/standard/7798.html>

²² NUMERICAL CONTROL OF MACHINES — SYMBOLS, [En línea], [Citado 17/06/2021] Disponible en internet: <https://www.iso.org/standard/8027.html>

- Husillo de 16mmx35cm
- Husillo de 16mmx115cm
- Cojinete para eje lineal de 16mmx6cmx2cm
- Motor paso a paso nema 23 de 28kg
- Chumacera con rodamiento de 16mm
- Perfil en ángulo de 5mm de espesor 1.5inx1.5
- Soportes nema 23
- Acople de aluminio flexible con recubrimiento de poliuretano
- Sensor fin de carrera de 3 pines
- Banda siliconada de luz led 5050
- Fuente de poder
- Software CAD Autodesk Inventor Professional 2019

6.2 DISEÑO METODOLOGICO

Este trabajo se realizará dentro de modelos de investigación aplicada con aspectos de ingeniería experimental y empleando datos con aplicación directa en todo el proceso que conlleva el diseño y construcción de una cortadora láser de tipo CNC.

Durante el desarrollo se utilizarán equipos especializados en la construcción de piezas como lo es la máquina de CNC, para lograr piezas complejas y con buenos terminados en tiempos posibles y que están acordes al alcance del proyecto. Estas actividades se realizarán en las instalaciones de la Universidad Santo Tomás de Tunja en los laboratorios de materiales y manufactura. Adicional a esto, se emplearán software de diseño para el análisis, funcionamiento y evaluación con lo cual se podrá calificar su validación.

La metodología que se ejecutará en este trabajo estará de acuerdo a los objetivos propuestos, en los que se generan las actividades correspondientes de manera general hacia lo específico.

6.2.1 Proponer alternativas de cortadoras láser 2D con base en antecedentes.

Este objetivo genera dos actividades:

- Buscar bibliografía y seleccionar los modelos que más se adapten al objetivo.
- Seleccionar los diseños alternativos que complementen la idea general.

6.2.2 Diseñar una cortadora para madera con un área de trabajo de 40 x 60cm.

Para este objetivo las actividades que se generan son:

- Realizar los cálculos pertinentes de la estructura, de los diferentes circuitos, y del control de la máquina.

6.2.3 Construir prototipo de cortadora láser.

Para este objetivo las actividades que se generan son:

- Conseguir los materiales y posteriormente comprarlos.
- Los perfiles, los servomotores, el láser, lámina, y construir.

6.2.4 Validación del funcionamiento de la cortadora.

Para este objetivo las actividades que se generan son:

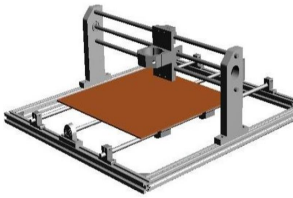
- Observar que la cortadora esté bien hecha, si es el caso que no arreglarla.
- Hacer prácticas para que funcione en su totalidad en cuanto dimensiones y cortes.

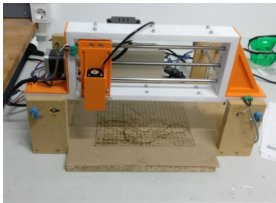
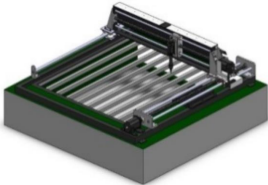
7. DESARROLLO DEL PROYECTO

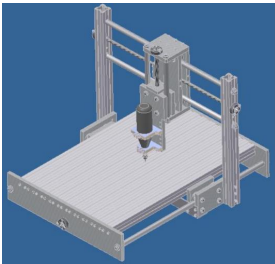
7.1 Alternativas de Diseño de Cortadora Láser

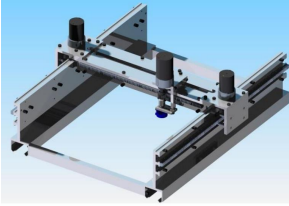
Mediante la búsqueda de referencias bibliográficas se seleccionan los modelos que más se adaptan a los objetivos propuestos sobre la cortadora láser.

Tabla 1. Analisis de Alternativas de Diseño de Cortadora Láser

Alternativa	Máquina	Descripción	Imagen de Referencia	Observaciones
1	Cortadora láser para trabajo en 2D	Se realizan cortes perfectos por medio del láser, con ayuda de un equipo de cómputo para crear diseños en diferentes softwares que facilitarán trabajar con vectores para que las órdenes sean precisas y se pueda	<i>Fig. 16. Diseño 3D del Prototipo</i> 	• Este proyecto servirá como referencia ya que el trabajo de corte realizado será en 2D. • Con ayuda de los cálculos y la correcta programación los cortes y grabados serán precisos. • Este proyecto servirá como apoyo ya que el diseño es

		proceder con el grabado o corte.		similar al que se desarrollará para la cortadora láser.
2	Prototipo de Cortadora Láser CNC	El láser debe ser controlado mediante una computadora, para la realización de grabados en materiales como madera, cartón y, además, permitir cortar algunos materiales de menor espesor, como el cartón y 3 maderas finas.	<i>Fig. 17. Prototipo de Cortadora Láser CNC</i> 	• Este proyecto puede servir como referencia a la hora de seleccionar los materiales ya que los costos serán disminuidos. • El beneficio que tiene esta máquina es que el trabajo de corte se podrá aplicar a varios materiales.
3	Cortadora Mecánica Láser	Para el corte de materia prima se realizan procesos automatizados, las máquinas cortadoras de control numérico computarizado implican una tecnología de fabricación que, de la	<i>Fig. 18. Implementación de Sistema Mecánico de Cortadora Láser</i> 	• Mediante esta referencia se podrá profundizar y definir los procesos automatizados en la cortadora láser. • En este caso el diseño de montaje y sus materiales no serán viables por temas económicos y

		mano de la microelectrónica, la automática y la informática industrial ha experimentado en los últimos años un desarrollo acelerado.		dimensionales .
4	Controlador con interfaz gráfica de taladro XYZ	En 2010 se trabajó en el diseño y construcción de un taladro XYZ controlado por microcontrolador con interfaz gráfica mediante LabView para la fabricación de circuitos impresos.	<i>Fig. 19. Diseño de Taladro XYZ</i> 	• En este proyecto se realiza corte de láser para trabajo en ejes XYZ, de manera que servirá como apoyo para el desarrollo e implementación en la cortadora láser. Cabe destacar que este aspecto será un valor agregado para la máquina. • El diseño de este proyecto es similar al que se está desarrollando así que, se podrá tomar como referencia la construcción de la máquina.

5	Diseño de Prototipo de Máquina Tipo Cartesiano para Corte y Grabado Láser	En este trabajo se analizan las trayectorias irregulares mediante computador. En 2015 se llevó a cabo el trabajo de seguimiento de trayectorias irregulares arbitrarias mediante computador a y la implementación de un sistema de control para una máquina CNC láser.	<i>Fig. 20. Diseño de Prototipo de Máquina Tipo Cartesiano para Corte y Grabado Láser</i> 	• En este caso el análisis de trayectoria de ejes no concuerda con el del proyecto a realizar ya que esta mesa de trabajo es fija. • En este caso el proyecto que se está realizando puede servir como referencia ya que se podrá incluir un sistema de control CNC.
---	---	---	---	---

Fuente: Autores

7.1.1 Selección de Alternativas

Con esta matriz se seleccionan las alternativas de diseños que complementaran la idea general del proyecto.

Tabla 2. Selección de Alternativas

i	Alternativa	Costos	Seguridad	Diseño	Innovación	Total
1	Cortadora láser para trabajo en 2D	4	4	5	4	4,25
2	Prototipo de Cortadora Láser CNC	5	3	4	3	3,75
3	Cortadora Mecánica Láser	2	4	3	3	3

4	Controlador con interfaz gráfica de taladro XYZ	3	4	4	4	3,75
5	Diseño de Prototipo de Máquina Tipo Cartesiano para Corte y Grabado Láser	2	3	2	3	2,5

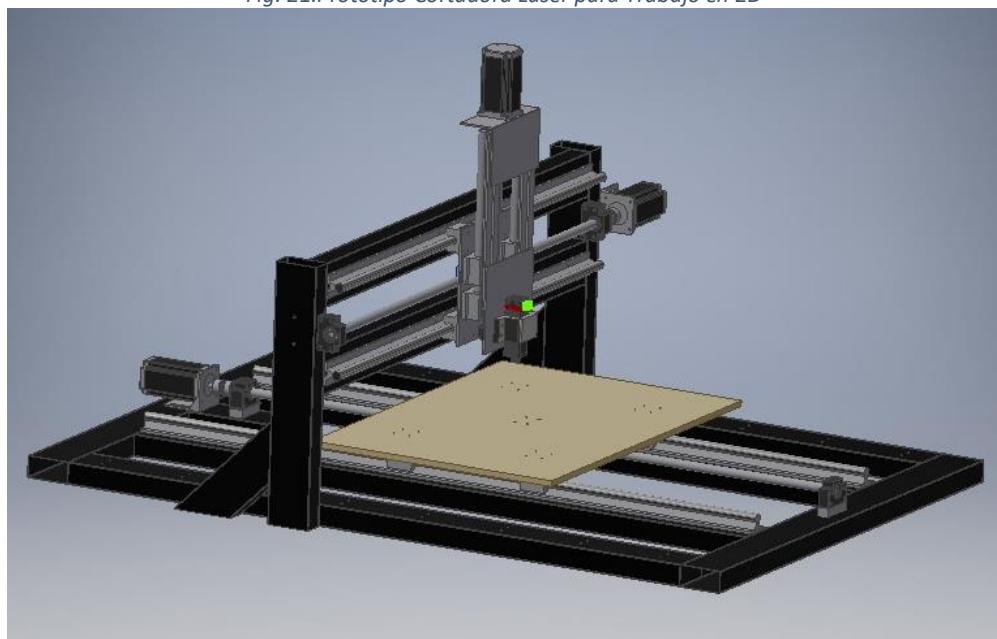
Fuente: Autores

Con estos resultados se seleccionan las alternativas que sean iguales o superiores a 3,5.

7.2 Diseño CAD Cortadora Láser

Se presenta el diseño de la cortadora láser realizado con el Software Autodesk Inventor 2019.

Fig. 21. Prototipo Cortadora Láser para Trabajo en 2D



Fuente: Autores

7.3 Cálculos y Análisis

7.3.1 Cargas Aplicadas a la Guía de Trabajo X

Para el desarrollo de los cálculos de la cortadora láser fue necesario establecer el centro de gravedad de la mesa de trabajo donde se tomó como referencia 4 puntos de aplicación de carga puntual ya que se trata de un sistema que trabaja bajo cargas ejercidas de manera lineal.

Se presentan los datos iniciales para el cálculo de las fuerzas aplicadas en la guía de trabajo X.

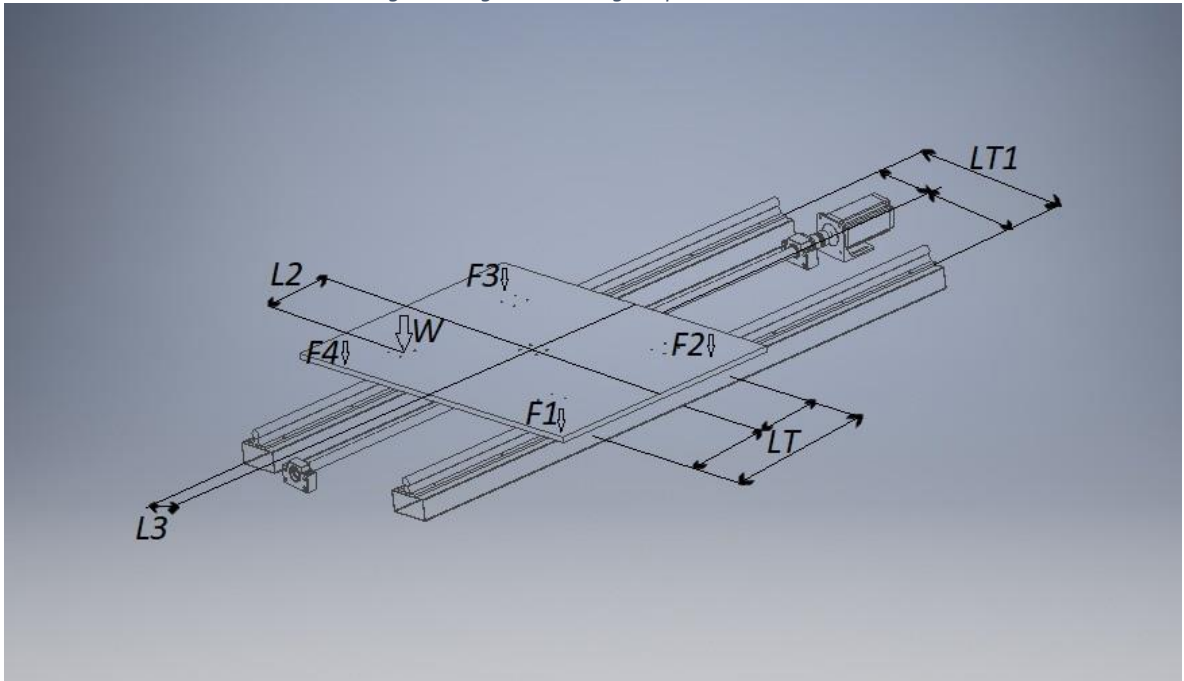
Tabla 3. Datos de Entrada para Calculo de Guía de Trabajo X

Datos de Entrada		
Variable	Cantidad	Unidad
Masa de la guía de trabajo	2,5	kg
Aceleración de la Gravedad	9,81	m/s ²
W= Fuerza	24,525	N
LT	250	mm
LT ₁	372	mm
L ₂	125	mm
L ₃	186	mm
Longitud del Eje X	1150	mm

Fuente: Autores

Se presenta el diagrama de fuerzas aplicadas a la mesa de trabajo y los ejes guía, como se muestra a continuación en la figura 22:

Fig. 22. Diagrama de Cargas Aplicadas Guía X



Fuente: Autores

Se calcula la fuerza 1 aplicada de forma lineal en la ecuación (1)

$$F_1 = \frac{W}{4} + \left(\frac{W}{2} * \frac{L_2}{LT} \right) - \left(\frac{W}{2} * \frac{L_3}{LT_1} \right) \quad (1)$$

$$F_1 = \frac{24,546N}{4} + \left(\frac{24,546N}{2} * \frac{125mm}{250mm} \right) - \left(\frac{24,546N}{2} * \frac{186mm}{372mm} \right)$$

$$F_1 = 6,1365N + (12,273N * 0,5) - (12,273N * 0,5)$$

$$F_1 = 6,1365N$$

Se calcula la fuerza 2 aplicada de forma lineal en la ecuación (2)

$$F_2 = \frac{W}{4} - \left(\frac{W}{2} * \frac{L_2}{LT} \right) - \left(\frac{W}{2} * \frac{L_3}{LT_1} \right) \quad (2)$$

$$F_2 = \frac{24,546N}{4} - \left(\frac{24,546N}{2} * \frac{125mm}{250mm} \right) - \left(\frac{24,546N}{2} * \frac{186mm}{372mm} \right)$$

$$F_2 = 6,1365N - 6,1365N - 6,1365N$$

$$F_2 = -6,1365N$$

Se calcula la fuerza 3 aplicada de forma lineal en la ecuación (3)

$$F_3 = \frac{W}{4} - \left(\frac{W}{2} * \frac{L_2}{LT} \right) + \left(\frac{W}{2} * \frac{L_3}{LT_1} \right) \quad (3)$$

$$F_3 = \frac{24,546N}{4} - \left(\frac{24,546N}{2} * \frac{125mm}{250mm} \right) + \left(\frac{24,546N}{2} * \frac{186mm}{372mm} \right)$$

$$F_3 = 6,1365N - 6,1365N + 6,1365N$$

$$F_3 = 6,1365N$$

Se calcula la fuerza 4 aplicada de forma lineal en la ecuación (4)

$$F_4 = \frac{W}{4} + \left(\frac{W}{2} * \frac{L_2}{LT} \right) + \left(\frac{W}{2} * \frac{L_3}{LT_1} \right) \quad (4)$$

$$F_4 = \frac{24,546N}{4} + \left(\frac{24,546N}{2} * \frac{125mm}{250mm} \right) + \left(\frac{24,546N}{2} * \frac{186mm}{372mm} \right)$$

$$F_4 = 6,1365N + 6,1365N + 6,1365N$$

$$F_4 = 18,4095N$$

Mediante los cálculos realizados anteriormente se presentan las cargas aplicadas en la guía de trabajo:

$$F_1 = 6,1365N$$

$$F_2 = -6,1365N$$

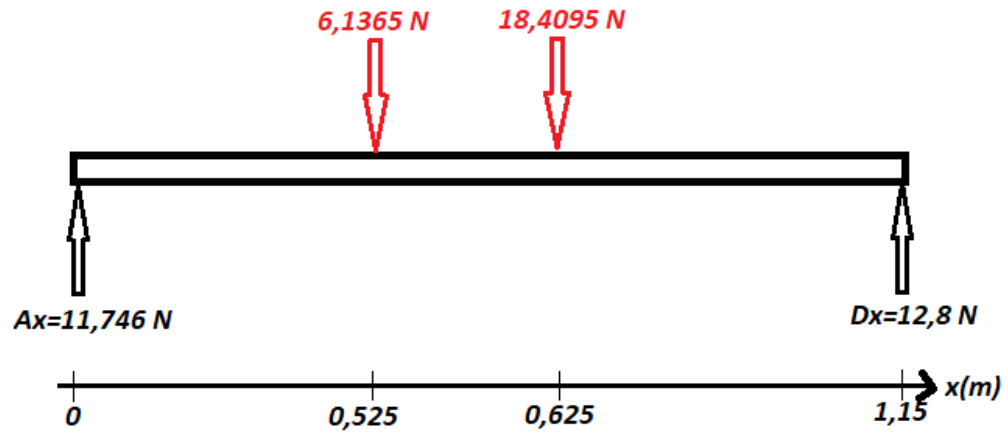
$$F_3 = 6,1365N$$

$$F_4 = 18,4095N$$

7.3.2 Análisis Estático Eje X

Se calculan las fuerzas a las que van a estar sometidas los ejes guías como se muestra a continuación:

Gráfica 1. Reacciones Presentes en el eje X



Fuente: Autores

$$\Sigma F_x: Ax + Dx = 24,546N \quad (5)$$

$$\Sigma MA: -6,1364N * (0,525m) - 18,4095N * (0,625m) + Dx * (1,15m) \quad (6)$$

$$\Sigma MA: -3,22N * m - 11,50N * m + Dx(1,15m)$$

$$\Sigma MA: -14,72N * m + Dx(1,15m)$$

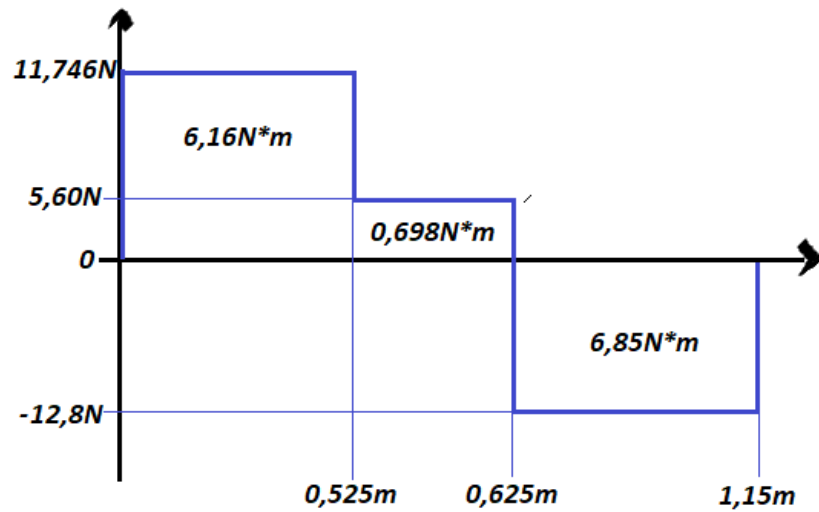
$$Dx = \frac{14,72N * m}{1,15m}$$

$$Dx = 12,8N$$

$$Ax = 24,546N - 12,8N \quad (7)$$

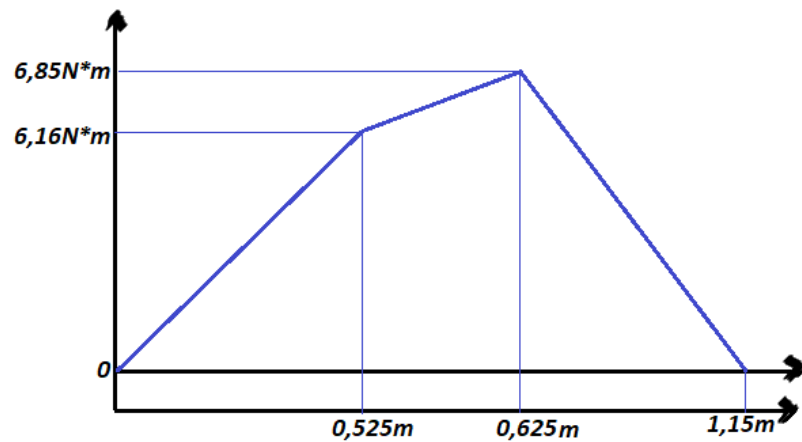
$$Ax = 11,746N$$

Gráfica 2. Diagrama de Fuerza Cortante Eje X



Fuente: Autores

Gráfica 3. Diagrama de Momento flector Eje X



Fuente: Autores

$$\text{Momento Máximo} = M_{\text{máx}} = 6,85N * m$$

$$\Sigma MA = 0$$

$$(6,135N * 0,525m) + (18,4095N * 0,625m) = RD * 1,15m \quad (8)$$

$$3,22N * m + 11,5N * m = RD * 1,15m$$

$$14,72N * m = RD * 1,15m$$

$$RD = \frac{14,72N * m}{1,15m}$$

$$RD = 12,8N$$

$$\Sigma FY = 0$$

$$(F3 + F4 - RA - RD) = 0 \quad (9)$$

$$(6,1365N + 18,4095N - RA - 12,8N) = 0$$

$$RA = 11,746N$$

7.3.3 Cálculos de Esfuerzos Tornillo de Acero Inoxidable 304 Eje X

Variables y Datos

d = Diámetro mayor

dr = Diámetro menor o de raíz

dm = Diámetro medio

f = fc = Coeficiente de fricción

p = Paso

n = Profundidad de la rosca

l = Avance

F = Fuerza

Se selecciona el diámetro mayor del tornillo y el paso según las dimensiones de fábrica del mismo.

$$d = 16mm$$

$$p = 5mm$$

Ya que el tornillo de potencia será de acero inoxidable 304 se define el coeficiente de fricción y el diámetro del collarín los cuales fueron tomados según el Catalogo

BSF²³ basándose en el material del mismo. De igual manera define la fuerza a la que estará sometido el tornillo.

$$f = 0,15$$

$$F = 0,024525KN$$

Cálculos de Esfuerzos

La profundidad y el ancho de la rosca son los mismos y resultan iguales a la mitad del paso, es decir, n y $a = 2,5mm$. Así que se calcula el diámetro medio, diámetro menor y el avance.

Diámetro medio

$$dm = d - \frac{p}{a} \quad (10)$$

$$dm = 16mm - \frac{5mm}{2,5mm}$$

$$\mathbf{dm = 14mm}$$

Diámetro menor

$$dr = d - p \quad (11)$$

$$dr = 16mm - 5mm$$

$$\mathbf{dr = 11mm}$$

Avance

$$l = n * p \quad (12)$$

$$l = 2,5mm * 5mm$$

$$\mathbf{l = 12,5mm}$$

²³ Catalogo BSF. Tornillo de Potencia. [En línea], [Citado 22/06/2021] Disponible en internet: https://cncrepowering.com.co/es/tornillos-de-bolas/523-tornillo-de-bolas-recirculantes-1605.html#/402-longitud_tornillo_bola-1000_mm

El esfuerzo cortante en el cuerpo τ , debido al momento de torsión T_R (Dato tomado del catálogo BSF) en el exterior del cuerpo del tornillo, es igual a:

$$\tau = \frac{16 * T_R}{\pi * d_r^3} \quad (13)$$

$$\tau = \frac{16 * (2,8N * m) * (10^3)}{\pi * (11mm^3)}$$

$$\tau = 10,71 MPa$$

Encontrar Resistencia del Material y Compararlo

El esfuerzo axial normal nominal σ es igual a:

$$\sigma = -\frac{4 * F}{\pi * d_r^2} \quad (14)$$

$$\sigma = -\frac{4 * (0,024525N * m) * (10^3)}{\pi * (11mm)^2}$$

$$\sigma = -0,258 MPa$$

El esfuerzo de apoyo σ_B es, con una rosca que soporta 0.38F es igual a:

$$\sigma_B = -\frac{2 * (0,38F)}{\pi * dm * (1) * p} \quad (15)$$

$$\sigma_B = -\frac{2 * (0,38) * (0,024525N * m) * (10^3)}{\pi * (14mm) * (1) * 5mm}$$

$$\sigma_B = -0,085 MPa$$

El esfuerzo flexionante en la raíz de la rosca σ_b con una rosca que soporta 0.38F, es igual a:

$$\sigma_b = \frac{6 * (0,38F)}{\pi * dr * (1) * p} \quad (16)$$

$$\sigma_b = \frac{6 * (0,38) * (0,024525N * m) * (10^3)}{\pi * (11mm) * (1) * 5mm}$$

$$\sigma_b = 0,323 MPa$$

Para determinar los esfuerzos principales y después usar la ecuación (5-12) del libro de Shigley²⁴ para encontrar el esfuerzo de von Mises. También sería útil el evaluar $\tau_{\text{máx}}$. Los esfuerzos principales pueden encontrarse a partir de la ecuación (3-15) del libro de Shigley; Por lo tanto, los esfuerzos principales son:

$$= \frac{-0,085MPa}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{-0,085MPa}{2}\right)^2 + (10,71MPa)^2} \quad (17)$$

$$\textbf{Resultado Positivo(+)} = 10,66MPa$$

$$\textbf{Resultado Negativo(-)} = -10,75MPa$$

Si se ordenan los esfuerzos principales resultan de la siguiente manera:

$$\sigma_1 = 0,323MPa$$

$$\sigma_2 = 10,66MPa$$

$$\sigma_3 = -10,75MPa$$

Al sustituir estos esfuerzos en la ecuación (5-12) del libro de Shigley se obtiene:

$$\sigma' = \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (18)$$

²⁴ BUDYNAS, Richard; NISBETT, Keith. DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY, NOVENA EDICIÓN.

$$\sigma' = \left[\frac{(0,323MPa - 10,66MPa)^2 + (10,66MPa - (-10,75MPa))^2 + (-10,75MPa - 0,323MPa)^2}{2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\textbf{Esfuerzo de Von Mises} \quad \sigma' = \mathbf{18,54MPa}$$

El esfuerzo cortante máximo está dado por la ecuación (3-16) del libro de Shigley, donde $\tau_{m\acute{a}x} = \tau_{1/3}$, de donde se obtiene:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (19)$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{18,54MPa - (-10,75MPa)}{2}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \mathbf{14,464MPa}$$

7.3.4 Cálculos Del Factor De Seguridad Del Tornillo De Acero Inoxidable Según Goodman Modificado Eje X

El límite de la resistencia a la fatiga se calcula con la ecuación (20):

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S'_e \quad (20)$$

Para determinar el factor de superficie k_a se realiza mediante la ecuación 6-19 del libro de Shigley, seleccionando un acabado superficial de maquinado obteniendo los siguientes datos y resultados:

$$k_a = a * S_{ut}^b \longrightarrow \text{Factor de Superficie} \quad (21)$$

$$a = 4,51MPa \longrightarrow \text{Factor } a$$

$$b = -0,265 \longrightarrow \text{Exponente } b$$

$$k_a = 4,51MPa * (568MPa^{-0,265})$$

$$\mathbf{k_a = 0,839}$$

Para determinar el factor de tamaño k_b se realiza mediante la ecuación 6-20 del libro de Shigley, este se selecciona según los parámetros del diámetro del tornillo utilizando $1,24*d^{-0,107}$ el cual está dentro de los rangos de $2,79\text{mm} \leq d \leq 51\text{mm}$.

$$\begin{aligned}
 d = 16\text{mm} &\longrightarrow \text{Diámetro del Tornillo} \\
 k_b = 1,24 * d^{-0,107} &\longrightarrow \text{Factor de Tamaño} \\
 k_b = 1,24 * (16^{-0,107}) & \\
 \mathbf{k_b = 0,923} &
 \end{aligned} \tag{22}$$

Para el factor de modificación de la carga se trabaja bajo torsión ya que es el más crítico.

$$k_c = 0,59 \longrightarrow \text{Torsión}$$

Para el factor k_d se toma el valor de 1 ya que es el que corresponde a la temperatura ambiente.

$$k_d = 1 \longrightarrow \text{Temperatura Ambiente}$$

Para que el diseño sea conservador se utiliza un factor de confiabilidad k_e para el 99,9% de fiabilidad que se desea utilizando la tabla 6-5 del libro de Shigley.

$$k_e = 0,753 \longrightarrow \text{Factor de Confiabilidad}$$

El esfuerzo último de la tensión del acero inoxidable 304 se tomó por estandarización del material el cual es igual a:

$$\mathbf{S_{ut} = 568MPa}$$

La resistencia a la fatiga prima se calcula con la siguiente ecuación:

$$S'_e = 0,5 * S_{ut} \quad (23)$$

$$S'_e = 0,5 * (568MPa)$$

$$S'_e = 284MPa$$

Se aplica la ecuación (20) para calcular el límite de la resistencia a la fatiga:

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S'_e$$

$$S_e = 0,839 * 0,923 * 0,59 * 1 * 0,753 * 284MPa$$

$$S_e = 97,70MPa$$

Se define que el esfuerzo alternante es igual al esfuerzo medio como se muestra a continuación:

$$\sigma_a = \text{Esfuerzo alternante}$$

$$\sigma_m = \text{Esfuerzo medio}$$

$$\sigma_a = \sigma_m$$

$$\sigma_a = \sigma_m = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} - \sigma_{m\acute{i}n}}{2} \quad (24)$$

$$\sigma_a = \sigma_m = \frac{18,54MPa - 0}{2}$$

$$\sigma_a = \sigma_m = 9,27MPa$$

Se realiza la ecuación (25) para calcular el factor de seguridad de Goodman Modificado:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{nf} \quad (25)$$

$$\frac{9,27\cancel{MPa}}{97,70\cancel{MPa}} + \frac{9,27\cancel{MPa}}{568\cancel{MPa}} = \frac{1}{nf}$$

$$0,111 = \frac{1}{nf}$$

$$nf = \frac{1}{0,111}$$

$$\mathbf{nf = 9}$$

Se determina un factor de seguridad adecuado para el tornillo potencia de la cortadora láser.

Se calcula el esfuerzo admisible con la ecuación (26).

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{nf} \quad (26)$$

Donde:

σ_{adm} = *Esfuerzo Admisible*

S_y = *Resistencia a la Fluencia del Acero Inoxidable 304*

nf = *Fator de Seguridad*

Datos:

$S_y = 276MPa$ *Este dato se obtuvo del libro de Shigley Tabla A – 22*

$nf = 9$

Se aplica la ecuación (26) como se muestra a continuación

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{nf}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{276MPa}{9}$$

$$\mathbf{\sigma_{adm} = 30,66MPa}$$

Se procede con la ecuación (27) para calcular el diámetro mínimo requerido para el trabajo del tornillo.

$$\sigma_{adm} = \frac{32 * M_{m\acute{a}x}}{\pi * d^3} \quad (27)$$

Despejamos d^3 de la ecuación (27) y lo calculamos con la ecuación (28)

$$d^3 = \frac{32 * M_{m\acute{a}x}}{\pi * \sigma_{adm}} \quad (28)$$

$$d^3 = \frac{32 * 6,85N * m}{\pi * 30,66MPa}$$

$$d^3 = \frac{32 * 6,85N * m}{\pi * 30660000Pa}$$

$$d^3 = \frac{32 * 6,85N * m}{\pi * 30660000 \frac{N}{m^2}}$$

$$d^3 = 2,27 \times 10^{-6} m$$

$$d = \sqrt[3]{2,27 \times 10^{-6} m}$$

$$d = 0,01314m$$

$$d = 13,14mm$$

Con el diámetro obtenido de $d=13,14mm$, de manera que el eje va a ser el que soporta el peso de la guía de trabajo de la cortadora láser, así que se rectifica que para acero inoxidable 304 se podrá utilizar un diámetro de 16mm con una longitud 1,15m ya que se encuentra en el mercado y cumplirá con las exigencias del diseño para ser utilizadas como guías en los ejes "X".

7.3.5 Torque del Tornillo Eje X

Para finalizar los cálculos del eje X se calcula el torque requerido para el giro del tornillo.

$$T = \left(\frac{F * d}{2} \right) * \left(\frac{p + \pi * f * d}{\pi * d - f * p} \right) \quad (29)$$

Donde:

F = Fuerza Aplicada

d = Diametro Exterior del Tornillo en mm

f = Coeficiente de Fricción del Acero Inoxidable 304

p = Paso del Tornillo en mm

Datos:

$F = 24,546N$

$d = 16mm$

$f = 0,15$

$p = 5 mm$

Se resuelve la ecuación (29)

$$T = \left(\frac{24,546N * 16mm}{2} \right) * \left[\frac{(5mm + \pi) * (0,15 * 16mm)}{(\pi * 16mm) - (0,15 * 5mm)} \right]$$

$$T = \left(\frac{24,546N * 0,016m}{2} \right) * \left[\frac{(5mm + \pi) * (0,15 * 16mm)}{(\pi * 16mm) - (0,15 * 5mm)} \right]$$

$$T = 0,196N * m * 0,394$$

$$\mathbf{T = 0,0772N * m}$$

Según el resultado del torque requerido por las exigencias del sistema el tornillo seleccionado comercialmente cumple según la salida del motor a implementar ya que este tiene un par de torque de 2,8N*m.

7.3.6 Cargas Aplicadas a la Guia de Trabajo Y

Para el desarrollo de los cálculos de la cortadora láser fue necesario establecer el centro de gravedad de la mesa de trabajo donde se tomó como referencia 4 puntos de aplicación de carga puntual ya que se trata de un sistema que trabaja bajo cargas ejercidas de manera lineal.

Se presentan los datos iniciales para el cálculo de las fuerzas aplicadas en la guía de trabajo Y.

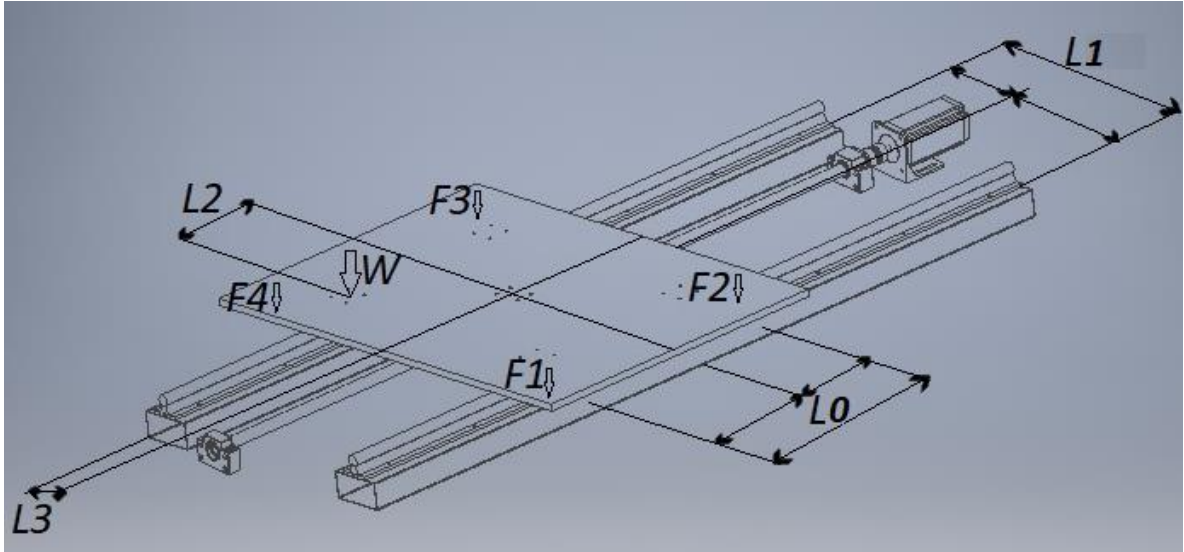
Tabla 4. Datos de Entrada para Cálculo de Guía de Trabajo Y

Datos de Entrada		
Variable	Cantidad	Unidad
Masa de la guía de trabajo	5	kg
Aceleración de la Gravedad	9,81	m/s ²
W= Fuerza	49,05	N
L ₀	100	mm
L ₁	150	mm
L ₂	50	mm
L ₃	75	mm
Longitud de Eje Y	900	mm

Fuente: Autores

Se presenta el diagrama de fuerzas aplicadas a la mesa de trabajo y los ejes guía, como se muestra a continuación en la figura 23:

Fig. 23. Diagrama de Cargas Aplicadas Guía Y



Fuente: Autores

Se repite los procedimientos realizados en la sección 7.3.1 teniendo como resultados para el eje Y:

Fuerzas aplicadas de forma lineal

$$F_1 = 12,26N$$

$$F_2 = -12,26N$$

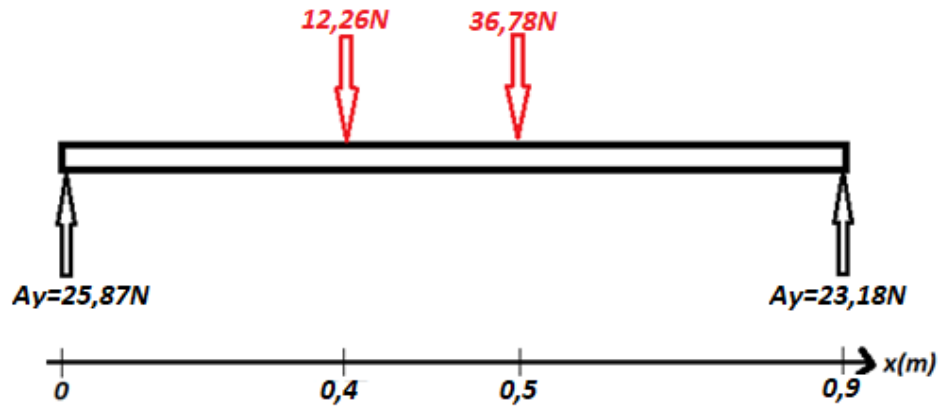
$$F_3 = 12,26N$$

$$F_4 = 36,78N$$

7.3.7 Análisis Estático Eje Y

Se calculan las fuerzas a las que van a estar sometidas los ejes guías como se muestra a continuación:

Gráfica 4. Reacciones Presentes en el eje Y



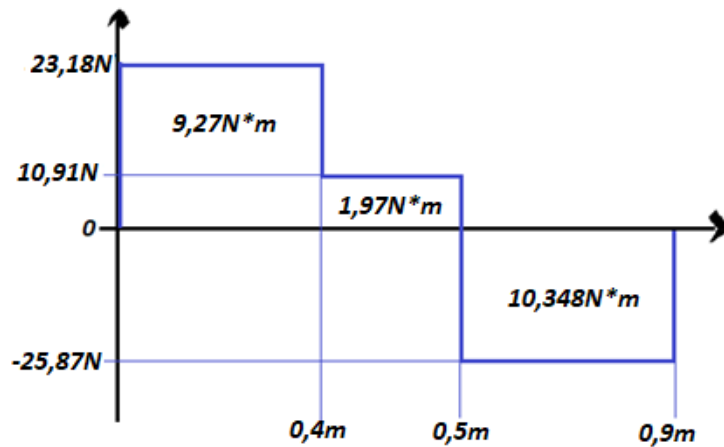
Fuente: Autores

Se repite los procedimientos realizados en la sección 7.3.2 teniendo como resultados para el eje Y:

$$A_y = 25,87N$$

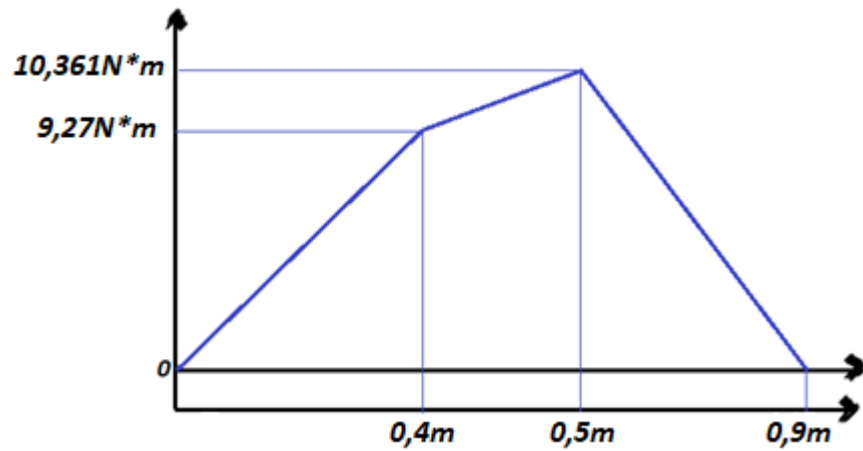
$$D_y = 23,18N$$

Gráfica 5. Diagrama de Fuerza Cortante Eje Y



Fuente: Autores

Gráfica 6. Diagrama de Momento flector Eje Y



Fuente: Autores

$$\text{Momento Máximo} = M_{\text{máx}} = 10,361 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Se repite los procedimientos realizados en la sección 7.3.2 teniendo como resultado.

$$RD = 25,87 \text{ N}$$

$$RA = 23,18 \text{ N}$$

7.3.8 Cculos de Esfuerzos Tornillo de Acero Inoxidable 304 Eje Y

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$dr = 11 \text{ mm}$$

$$dm = 14 \text{ mm}$$

$$f = fc = 0,15$$

$$p = 5 \text{ mm}$$

$$n = 2,5 \text{ mm}$$

$$l = 12,5 \text{ mm}$$

$$F = 49,05 \text{ N} \longrightarrow F = 0,04905 \text{ KN}$$

Se repite los procedimientos realizados en la sección 7.3.3 teniendo como resultados para el eje Y:

El esfuerzo cortante en el cuerpo τ , debido al momento de torsión TR (Dato tomado del catálogo BSF) en el exterior del cuerpo del tornillo, es igual a:

$$\tau = 10,71 \text{ MPa}$$

Encontrar Resistencia del Material y Compararlo

El esfuerzo axial normal nominal σ es igual a:

$$\sigma = -0,516 \text{ MPa}$$

El esfuerzo de apoyo σ_B es, con una rosca que soporta 0.38F es igual a:

$$\sigma_B = -0,169 \text{ MPa}$$

El esfuerzo flexionante en la raíz de la rosca σ_b con una rosca que soporta 0.38F, es igual a:

$$\sigma_b = 0,647 \text{ MPa}$$

Para determinar los esfuerzos principales y después usar la ecuación (5-12) del libro de Shigley²⁵ para encontrar el esfuerzo de von Mises. También sería útil el evaluar $\tau_{\text{máx}}$. Los esfuerzos principales pueden encontrarse a partir de la ecuación (3-15) del libro de Shigley; Por lo tanto, los esfuerzos principales son:

$$\textbf{Resultado Positivo(+)} = 10,62 \text{ MPa}$$

$$\textbf{Resultado Negativo(-)} = -10,79 \text{ MPa}$$

Si se ordenan los esfuerzos principales resultan de la siguiente manera:

$$\sigma_1 = 0,647 \text{ MPa}$$

²⁵ BUDYNAS, Richard; NISBETT, Keith. DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY, NOVENA EDICIÓN.

$$\sigma_2 = 10,62MPa$$

$$\sigma_3 = -10,79MPa$$

Al sustituir estos esfuerzos en la ecuación (5-12) del libro de Shigley se obtiene:

$$**Esfuerzo de Von Mises \quad \sigma' = 18,55MPa**$$

El esfuerzo cortante máximo está dado por la ecuación (3-16) del libro de Shigley, donde $\tau_{m\acute{a}x} = \tau_{1/3}$, de donde se obtiene:

$$\tau_{m\acute{a}x} = 14,67MPa$$

7.3.9 Cálculos del Factor de Seguridad del Tornillo de Acero Inoxidable según Goodman Modificado Eje Y

Se repite los procedimientos realizados en la sección 7.3.4 teniendo como resultados para el eje Y:

$$k_a = 0,839$$

$$k_b = 0,923$$

$$k_c = 0,59$$

$$k_d = 1$$

$$k_e = 0,753$$

$$S_{ut} = 568MPa$$

$$S'_e = 284MPa$$

$$S_e = 97,70MPa$$

$$\sigma_a = \sigma_m = 9,27MPa$$

$$nf = 9$$

$$\sigma_{adm} = 30,66MPa$$

$$d = 15,09mm$$

Con el diámetro obtenido de $d=15,09mm$, de manera que el eje va a ser el que soporta el peso de la guía de trabajo de la cortadora láser, así que se rectifica que para acero inoxidable 304 se podrá utilizar un diámetro de 16mm con una longitud 0,9m ya que se encuentra en el mercado y cumplirá con las exigencias del diseño para ser utilizadas como guías en los ejes “Y”.

7.3.10 Torque del Tornillo Eje Y

Se repite los procedimientos realizados en la sección 7.3.5 teniendo como resultados para el eje Y. De manera que, para finalizar los cálculos del eje Y se calcula el toque requerido para el giro del tornillo.

$$T = 0,1546N * m$$

Según el resultado del torque requerido por las exigencias del sistema el tornillo seleccionado comercialmente cumple según la salida del motor a implementar ya que este tiene un par de torque de 2,8N*m.

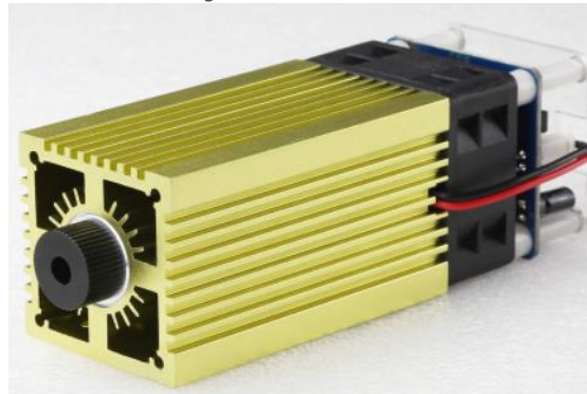
7.4 Elementos de Control

7.4.1 Árbol Láser 450nm 40W-Version Profesional

Este producto es de tecnología de punto comprimida cabeza láser de enfoque ajustable, grabado ultra rápido de acero inoxidable. Puede tallar regalos, puede tallar tarjetas, puede tallar dibujos y figuras geométricas, puede grabar la

personalización de la marca del logotipo del producto; además funciona como cortador láser para espesores de 5mm.²⁶

Fig. 24.Árbol Láser 40W



Fuente: https://www.amazon.com/-/es/40W-Versi%C3%B3n-Profesional-Tecnolog%C3%ADa-comprimido-inoxidable/dp/B091YZ71D2/ref=pd_lpo_201_t_0/130-6037621-1207346?encoding=UTF8&pd_rd_i=B091YZ71D2&pd_rd_r=67046f7c-f8ac-484d-87c5-e2eeff7b1fda&pd_rd_w=XseDj&pd_rd_wg=pc0Qx&pf_rd_p=3b5203d9-bdd0-47f6-97e5-387010fc3251&pf_rd_r=DG0HYDZQ4T5HDE1SGMYS&refRID=DG0HYDZQ4T5HDE1SGMYS&th=1

Tabla 5. Especificaciones del Láser

Especificaciones del Láser	
Máquina	Cortadora Láser
Dimensiones	4,72X2,36X2,36in
ASIN	B091YZ71D2
Fabricante	LASER TREE
Potencia	40W

Fuente: Autores

7.4.2 Motor Paso a Paso Nema 23

Para que se realice el movimiento de cortadora láser se necesita de una base rígida y de motores eléctricos con la precisión y potencia suficiente. Para este proyecto se

²⁶ ÁRBOL LÁSER 450nm 40W-Versión Profesional, Tecnología de punto comprimido cabeza láser de enfoque ajustable, grabado ultra rápido de acero inoxidable , [En línea] [Citado 23/06/2021] Disponible en internet: https://www.amazon.com/-/es/40W-Versi%C3%B3n-Profesional-Tecnolog%C3%ADa-comprimido-inoxidable/dp/B091YZ71D2/ref=pd_lpo_201_t_0/130-6037621-1207346?encoding=UTF8&pd_rd_i=B091YZ71D2&pd_rd_r=67046f7c-f8ac-484d-87c5-e2eeff7b1fda&pd_rd_w=XseDj&pd_rd_wg=pc0Qx&pf_rd_p=3b5203d9-bdd0-47f6-97e5-387010fc3251&pf_rd_r=DG0HYDZQ4T5HDE1SGMYS&refRID=DG0HYDZQ4T5HDE1SGMYS&th=1

usaron motores de tipo paso a paso NEMA 23 los cuales trabajan con un alto torque de 425 Oz.in. Es importante resaltar que dichos motores cuentan con la suficiente fuerza para desplazar cada riel a través de las guías lineales.

En el funcionamiento de un motor paso a paso se pueden hacer avanzar a frecuencias de audio, lo que les permite girar muy velozmente. Con un controlador apropiado, se los puede hacer arrancar y detenerse en un instante en posiciones controladas.²⁷

Los motores bipolares requieren circuitos de control y de potencia más complejos. Pero en la actualidad esto no es problema, ya que estos circuitos se suelen implementar en un integrado, que soluciona esta complejidad en un solo componente. Como mucho se deben agregar algunos componentes de potencia, como transistores y diodos para las contracorrientes, aunque esto no es necesario en motores pequeños y medianos.²⁸

Fig. 25. Motor Paso a Paso Nema 23



Fuente: Autores

²⁷ CARLETTI, Eduardo. Motores paso a paso, Características básicas, Cuestiones básicas, [En línea] [Citado 23/06/2021] Disponible en internet: http://robots-argentina.com.ar/MotorPP_basico.htm

²⁸ CARLETTI, Eduardo. Motores paso a paso, Características básicas, Motores paso a paso bipolares. [En línea] [Citado 23/06/2021] Disponible en internet: http://robots-argentina.com.ar/MotorPP_basico.htm

Tabla 6. Característica y Especificaciones Motor Paso a Paso Nema 23

Características y Especificaciones Motor Paso a Paso Nema 23	
Tipo de Motor	Bipolar
Angulo de Motor	1,8°
Par de Retención	3 N*m (425 Oz/in) (30,60 Kg/cm)
Corriente Nominal/Fase	4,2 A
Resistencia de Fase	0,9 Ohms
Tensión Recomendada	3,78 V
Inductancia	3,8mH ± 20%(1KHz)
Tamaño del marco	57 x 57mm
Longitud	113mm
Diámetro del eje	Φ10mm
Longitud del eje	24mm
Longitud de corte en D	20mm
Número de derivaciones	4
Longitud del cable	400mm
Peso	1,8kg

Fuente: <https://www.omc-stepperonline.com/nema-23-stepper-motor/>

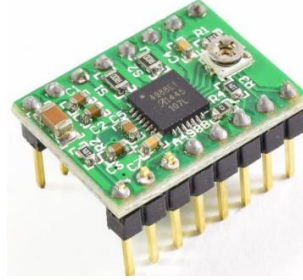
7.4.3 Driver A4988

El driver Pololu A4988 permite controlar motores paso a paso bipolares de hasta 2A. Basado en el chip Allegro A4988. Ampliamente utilizado con placas de control de impresoras 3D y Máquinas CNC Open Source, como: RAMPS y CNC Shield. Es conocido con el nombre de "Pololu" o "controlador Pololu". El Driver A4988 es pin-compatible con el Driver DRV8825.

Permite regular la corriente máxima de salida por medio de un potenciómetro. Además, posee protección contra sobre corriente y cinco resoluciones diferentes de microstepping. Trabaja con voltajes de alimentación entre 8V a 35V, puede de corriente de hasta 2A. Para manejar el driver solo son necesarios 2 pines, uno para la dirección de giro (DIR) y otro para dar el paso (STEP). El pin Enable debe estar conectado a Tierra (GND) para que el motor funcione. El microstepping se configura con los pines MS1, MS2 y MS3.²⁹

²⁹ NAYLAMPMECHATRONICS. DRIVER PAP POLOLU A4988. [En línea] [Citado 23/06/2021] Disponible en internet: <https://naylampmechatronics.com/drivers/63-driver-pap-pololu-a4988.html>

Fig. 26.Driver A4988



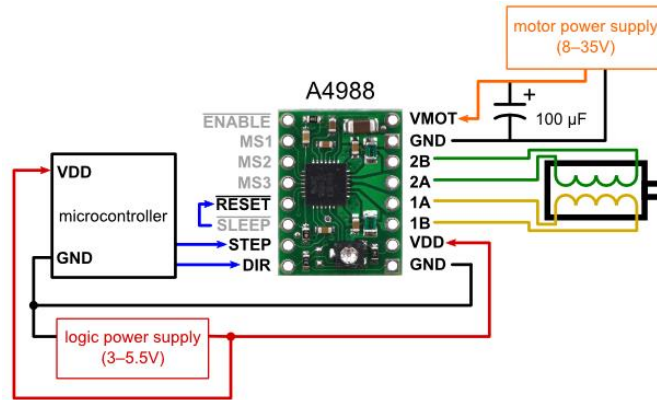
Fuente: <https://naylorlampmechatronics.com/drivers/63-driver-pap-pololu-a4988.html>

Tabla 7.Especificaciones Técnicas Drivers A4988

Especificaciones Técnicas Drivers A4988	
Voltaje de alimentación-potencia(VMOT)	8V-35V DC (recomendado 12V/24VDC)
Voltaje de alimentación-control(VDD)	3V-5V DC
Voltaje de control lógico	3.3V-5V DC
Corriente de salida	1A por bobina (máx. 2A con ventilación)
5 resoluciones de pasos	full-step, half-step, 1/4, 1/8 y 1/16
Salidas	Low RDS (ON)
Detección de caída de corriente automático	Si
Rectificación síncrona para una baja disipación de potencia	Si
UVLO Interno	Si
Protección de corriente-crossover	Si
Circuito de protección térmica interno	Si
Circuito de Falla de Tierra	Si
Protección de cortocircuito	Si
Pin-compatible con el Driver DRV8825	Si

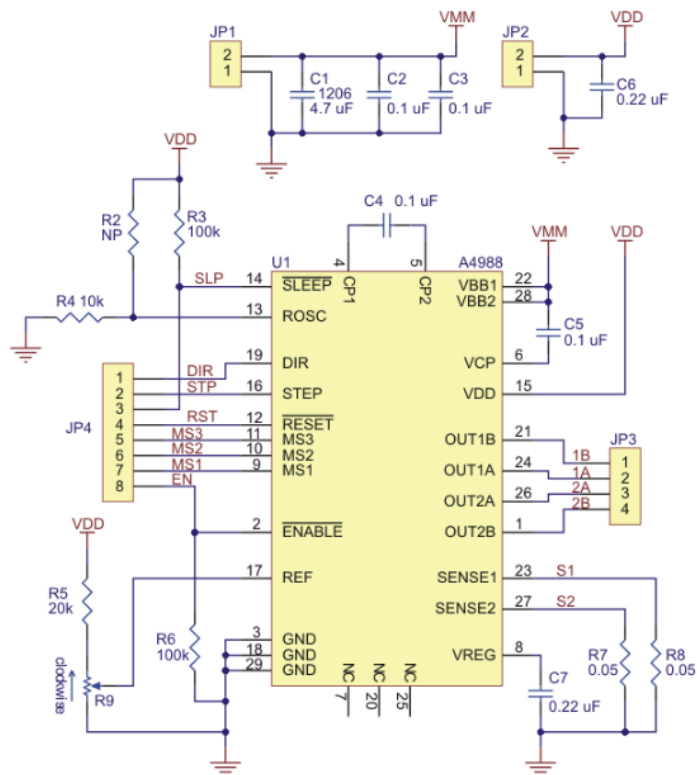
Fuente: <https://naylorlampmechatronics.com/drivers/63-driver-pap-pololu-a4988.html>

Fig. 27. Esquema de Conexiones



Fuente: <https://naylorlampmechatronics.com/drivers/63-driver-pap-pololu-a4988.html>

MS1	MS2	MS3	Resolution
LOW	LOW	LOW	Full Step
HIGH	LOW	LOW	Half Step
LOW	HIGH	LOW	Quarter Step
HIGH	HIGH	LOW	Eighth step
HIGH	HIGH	HIGH	Sixteenth Step

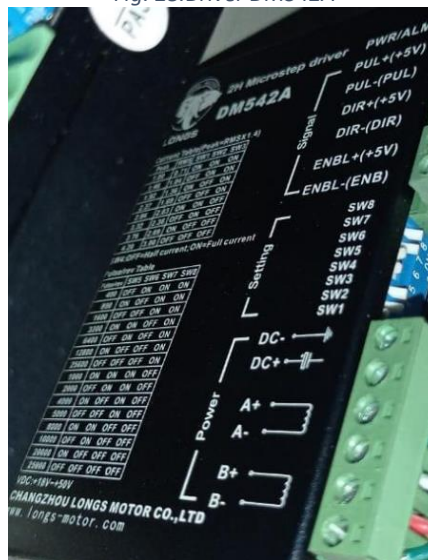


Fuente: <https://naylorlampmechatronics.com/drivers/63-driver-pap-pololu-a4988.html>

7.4.4 Drivers DM542A

Este es un driver industrial que sirve para controlar motores paso a paso Nema 23 trabaja con corriente de fase inferior a 4.0A. El circuito con el cual está incorporado es similar al circuito de servo control por lo tanto casi no se presentan ruidos o vibraciones. Cuando se ejecuta el driver DM542A el par de torsión trabaja a alta velocidad.

Fig. 28.Driver DM542A



Fuente: Autores

Tabla 8.Características Eléctricas Driver DM542A

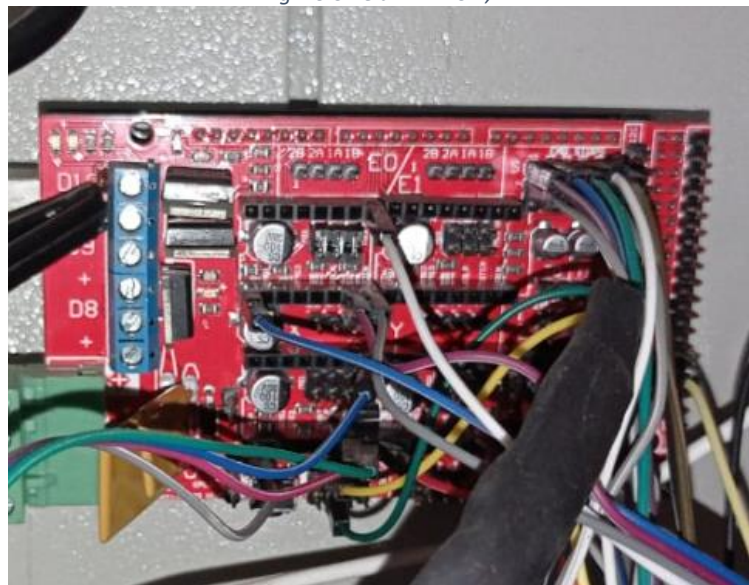
Características Eléctricas Driver DM542A	
Voltaje de entrada	18-50 VDC
Corriente de entrada	<4 A
Corriente de salida	1.0 A ~ 4.2 A
Consumo	Consumo:80 W; seguro interno: 6 A
Temperatura	Temperatura de Trabajo: -10 ~ 45°C Temperatura Media: -40°C ~ 70°C
Humedad	Sin condensación, sin gotas de agua
Gas	Se prohíbe los gases combustibles y suciedad conductiva
Peso	200 g

Fuente: <https://www.longs-motor.com/es/4axis-nema-23-stepper-motor-425-oz-driver-dm542a.html>

7.4.5 Shield RAMPS 1.4

RAMPS es la abreviatura de “RepRap Arduino Mega Pololu Shield” y es el Shield más utilizado en el mundo para construir Impresoras 3D DIY. RAMPS ha sido diseñado para integrar toda la electrónica necesaria para una impresora 3D RepRap en un pequeño tamaño y a un bajo costo. RAMPS es un Shield para Arduino Mega, aprovechando el poder del Mega y deja espacio para futuras expansiones. Su diseño modular permite insertar Drivers PaP (A4988 o DRV8825) y el control electrónico para un extrusor, por lo que es sencillo reemplazar partes, realizar mejoras y hacer expansiones. Adicionalmente se pueden añadir más Shields siempre y cuando RAMPS se coloque encima de los demás Shields. Ideal para desarrollar proyectos como Impresora 3D, Router CNC, Cortador Láser, Cortadoras Láser, Brazo robótico y hasta una Máquina Pick&Place.³⁰

Fig. 29.Shield RAMPS 1,4



Fuente: Autores

³⁰ NAYLAMPMECHATRONICS. SHIELD RAMPS 1.4 PARA IMPRESORA 3D. [En línea] [Citado 23/06/2021] Disponible en internet: <https://naylampmechatronics.com/ardusystem-shields/69-shield-ramps-impresora-3d.html>

7.5 Procedimiento de Construcción

Para el proceso de construcción se realizaron etapas de evaluación de materiales y de la estructura que inicialmente estaba construida la cual se retomó para este proyecto, de manera que contenía los elementos y la base de la cortadora láser.

Fig. 30. Estructura de Base Cortadora Láser



Fuente: Autores

Se escoge un perfil de acero estructural de calibre 16 de 3X1,5in para construir el soporte de las guías, que van a mantener el carro superior o transversal. Se procede a cortar el material para realizar las respectivas uniones por medio de soldadura de arco eléctrico (SMAW).

Fig. 31.Soportes de las Guías



Fuente: Autores

Se procede a asegurar las guías de aluminio las cuales soportan la varilla de acero inoxidable 304 de 16mm, por medio de sujecion por elementos roscados.

Fig. 32.Sujeción de Guías



Fuente: Autores

Como se trata de una maquina de presición se verificó por medio de elementos de medición métrica y angular la paralelidad entre ejes y guías por medio de su punto centro.

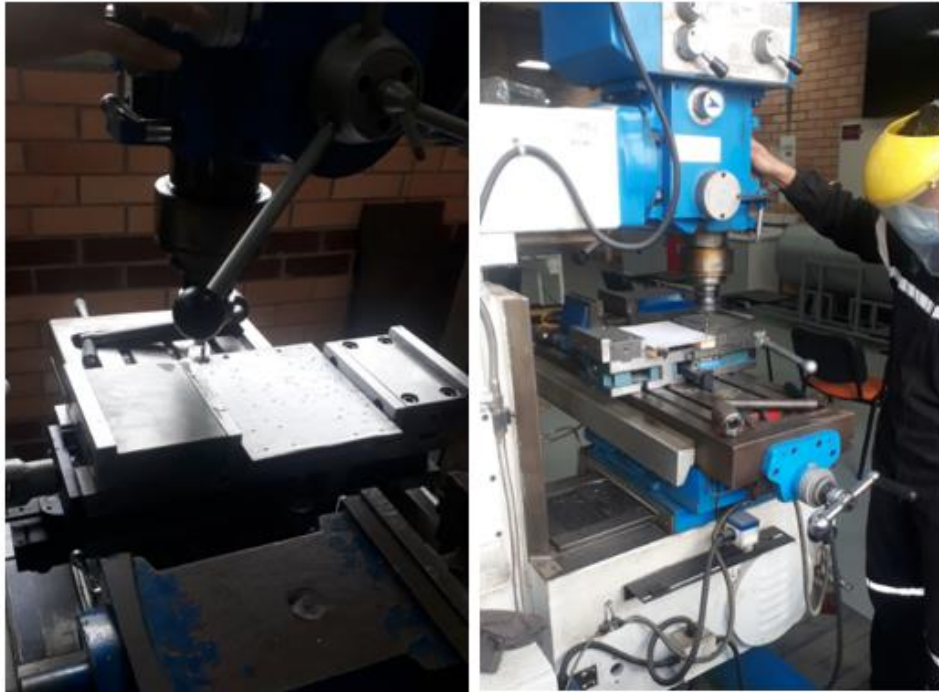
Fig. 33. Medición Métrica y Angular



Fuente: Autores

Se hace uso de la fresadora CNC con una broca de 3/16 para realizar perforaciones localizadas en las placas encargadas de sujetar los carros guía y el portador de herramienta que en este caso es el cabezal láser.

Fig. 34. Uso de Fresadora CNC



Fuente: Autores

Con las placas perforadas se procede a ensamblar por medio de uniones roscadas los rodamientos lineales en las guías lineales, de tal manera que se verificó su paralelidad y ortogonalidad.

Fig. 35. Implementación de Rodamientos Lineales



Fuente: Autores

Finalmente se implementan los componentes de transmisión de potencia, eléctricos, fuente de poder, controlador, mesa de trabajo, láser, como se muestra a continuación.

Fig. 36. Cortadora Láser



Fuente: Autores

CAPITULO IV

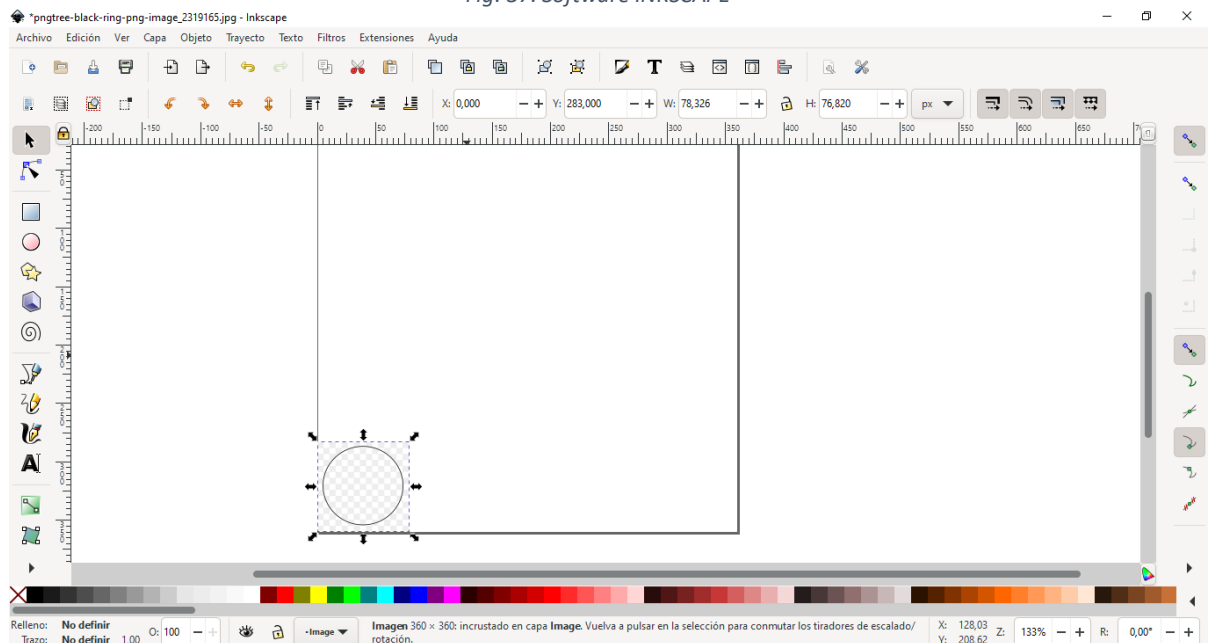
7.6 ANÁLISIS DEL DESARROLLO DEL PROYECTO

Una vez realizada la verificación de funcionamiento de las partes mecánicas y electrónicas, se carga a la placa ARDUINO el código de programación Marlin 2.0

para así usar una señal de control PWM, el cual fue el encargado de dar las instrucciones adecuadas a la máquina en cuanto a velocidad, dimensiones, número de pasos de los motores. La placa Arduino se acopló a una placa de control *ramps* 1.4, la cual posee una salida de PWM donde se conectó el láser. Para esta validación se usó un multímetro con el fin de proteger el láser de sobrecargas o un mal funcionamiento durante algún proceso de corte.

El controlador de la maquina trabaja con código G, así que se usó el software INKSCAPE para convertir las imágenes seleccionadas a este formato y permitir un correcto funcionamiento de todos los componentes. Ya que este software está diseñado para trabajos de CNC fue necesario descargar una extensión adicional denominada J TECH PHOTONICS LASER TOOLS para usar los comandos correctos que el código Marlín ofrece.

Fig. 37. Software INKSCAPE



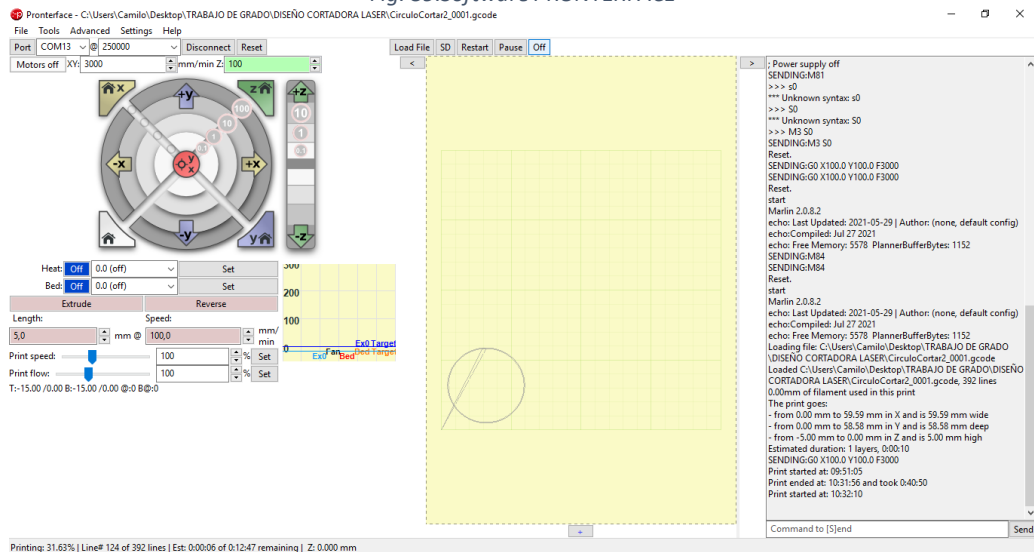
Fuente: Autores

Fig. 38. Extensión J TECH PHOTONICS LASER TOOLS

Fuente: Autores

Dependiendo de la función que se le asigne a la máquina, se configuran los parámetros del código y se genera un archivo con la extensión. gcode; si se realiza un grabado serán menos la cantidad de pasadas del láser y la velocidad será mayor. Se exporta al software PRONTERFACE para la prueba de corte.

Fig. 39. Software PRONTERFACE

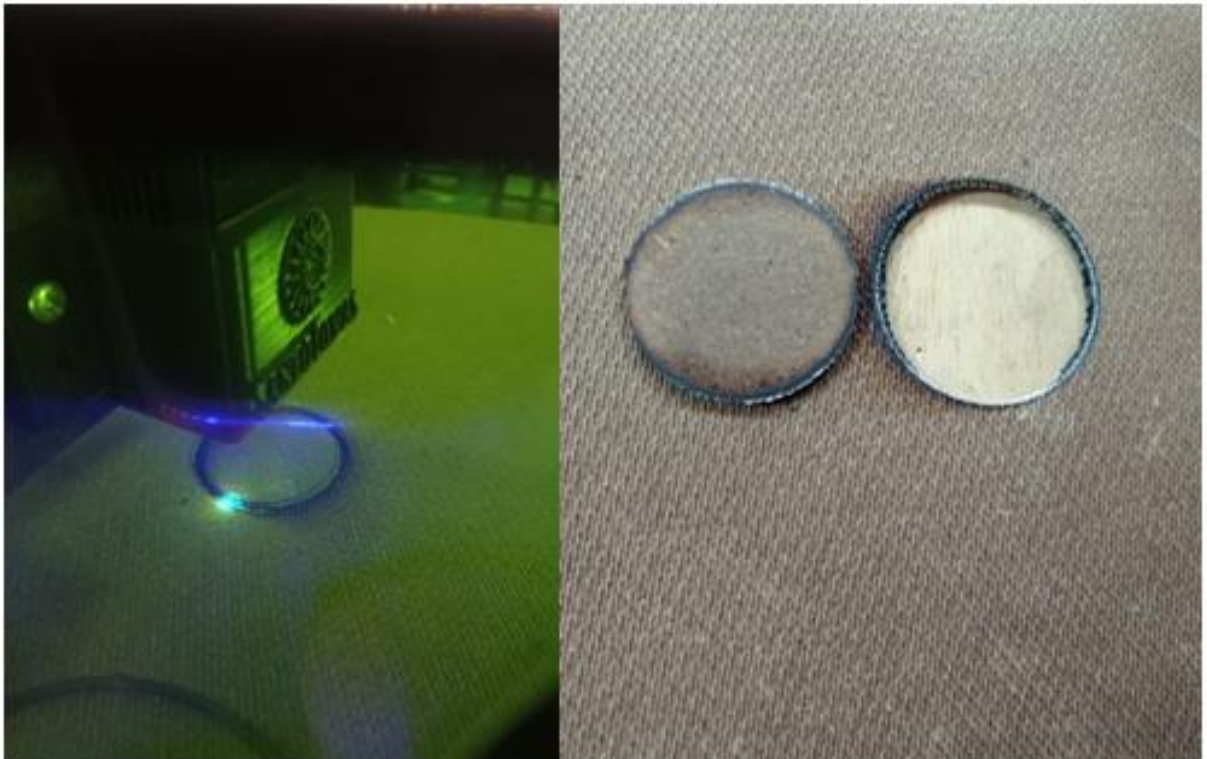


Fuente: Autores

Ya enlazado el programa con la máquina, se carga el archivo generado en INKSCAPE y se ejecuta en el comando “Print” e inmediatamente se inicia el proceso de corte. Los resultados son los siguientes:

Resultados del proceso de corte:

Fig. 40.Resultados del proceso de corte



Fuente: Autores

De la misma forma enlazado el programa con la máquina, se carga el archivo generado en INKSCAPE y se ejecuta en el comando “Print” e inmediatamente se inicia el proceso de grabado. Los resultados son los siguientes:

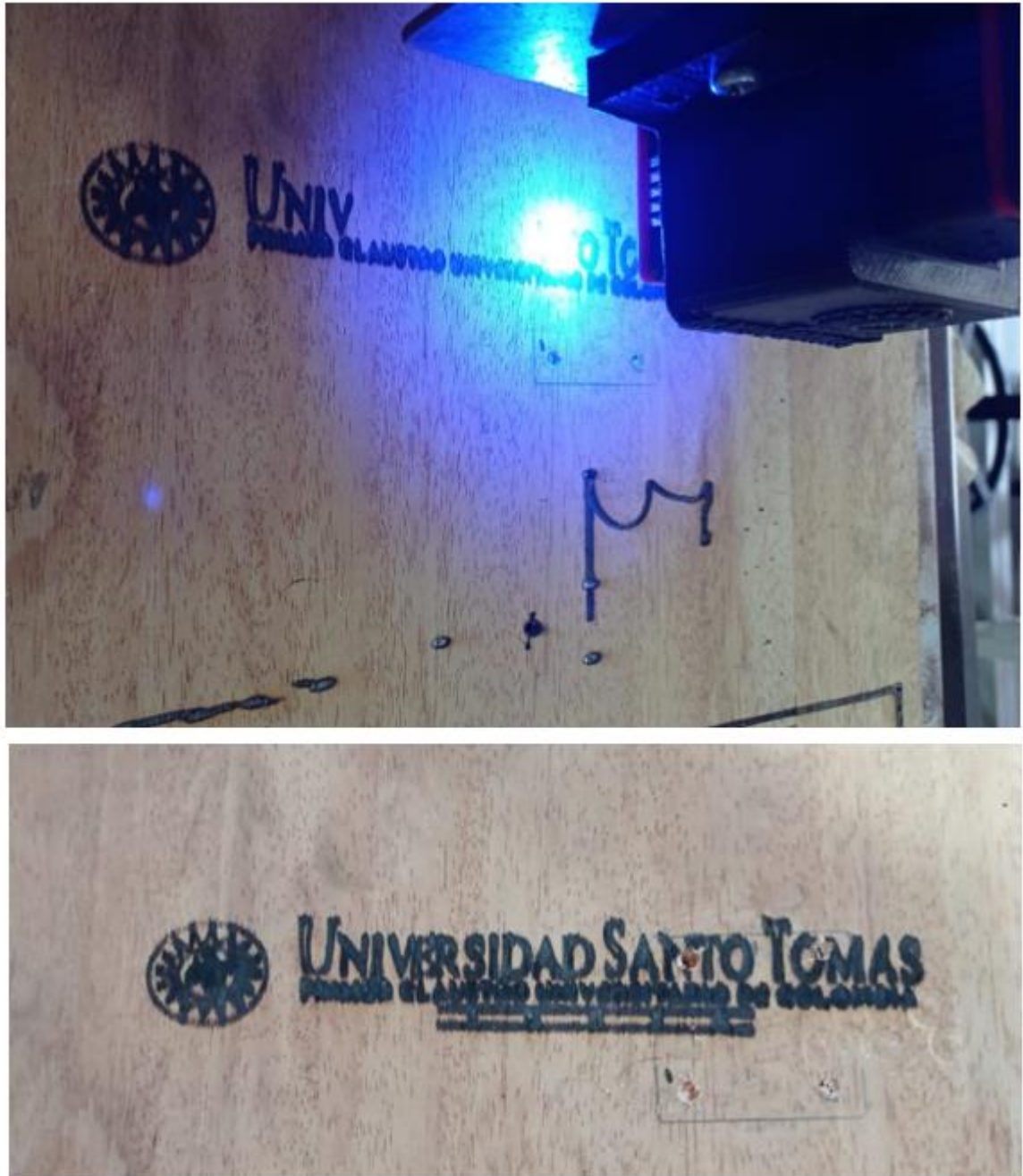
Resultados del proceso de grabado:

Fig. 41. Grabado del Escudo de Ingeniería Mecánica Usta Tunja



Fuente: Autores

Fig. 42. Grabado del Nombre y del Logo Usta Tunja



Fuente: Autores

7.7 CRONOGRAMA

Tabla 9. Cronograma del proyecto

OBJETIVO	ACTIVIDAD	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7	SEMANA 8	SEMANA 9	SEMANA 10	SEMANA 11	AVANCE	PESO	PORCENTAJE
Proponer alternativas de cortadoras láser 2D con base en	Busqueda de bibliografía													5	10%
	Estudio de otras maquinas ya hechas													5	
Diseñar una cortadora para madera con un área de trabajo de 40 x 60 cm	Diseño de maquina													10	20%
	Selección de materiales													10	
Construir prototipo de cortadora	Construcción													30	60%
	Puesta a punto													30	
Validación del funcionamiento de la cortadora.	Programación													5	10%
	Calibración de maquina													5	
														100	100%

Fuente: Autores

8. CONCLUSIONES

- Se tuvieron en cuenta las alternativas propuestas de cortadoras laser en 2d con base en los antecedentes y marcos referenciales investigados.
- En base a las alternativas planteadas, el diseño de este prototipo se desarrolló tomando las características más sobresalientes de cada una de las alternativas mencionadas.
- En el proceso de investigación se tomaron en cuenta las alternativas viables para llevar a cabo la construcción de una manera más eficiente y acorde a las exigencias requeridas por el proyecto. Dicho lo anterior se lleva a ejecución el proceso de construcción donde a lo largo de este, se encontraron diferentes desafíos y retos que ayudaron a mejorar el resultado final.
- Mediante diferentes pruebas de funcionamiento se comprobó que el haz de luz si realiza cortes sectorizados previamente ordenados por medio del software que se maneja en la máquina.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] (s.f.). A. Einstein, *Phys. Z.* 18 (1917) 121. <https://scholar.google.com/scholar?hl=en&assdt=0%2C5&q=+++++Albert+Einstein.+Phys.+Z.+18+%281917%29+121.&btnG=> .

- [2] A. Einstein, *Phys. Z.* 18 (1917) 121. <https://scholar.google.com/scholar?hl=en&assdt=0%2C5&q=+++++Albert+Einstein.+Phys.+Z.+18+%281917%29+121.&btnG=> . (s.f.).

- [3] ACUÑA, Fausto. Cortadora láser de dióxido de carbono de control numérico computarizado con fines didácticos, Ecuador, p. 1. (s.f.).

- [4] AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE - Z136.1. SAFE USE OF LASERS, [En línea] [Citado 17/06/2021] Disponible en internet: <https://www.lia.org/resources/laser-safety-information/laser-safety-standards/ansi-z136-standards/z136-1> . (s.f.).

- [5] AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE - Z136.4. RECOMMENDED PRACTICE FOR LASER SAFETY MEASUREMENTS FOR HAZARD EVALUATIONS, [En línea], [Citado 17/06/2021] Disponible en internet: <https://www.lia.org/resources/laser-safety-information/laser-safety-standard>. (s.f.).

- [6] AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE - Z136.5. SAFE USE LASERS IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS, [En línea], [Citado 17/06/2021] Disponible en internet: <https://www.lia.org/resources/laser-safety-information/laser-safety-standards/ansi-z136-standards/z136-5>. (s.f.).

- [7] AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE - Z136.7. TESTING AND LABELING OF LASER PROTECTIVE EQUIPMENT, [En línea], [Citado 17/06/2021] Disponible en internet: <https://www.lia.org/resources/laser-safety-information/laser-safety-standards/ansi-z136-standards/z>. (s.f.).

- [8] AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE - Z136.8. SAFE USE OF LASERS IN RESEARCH, DEVELOPMENT, OR TESTING, [En línea], [Citado 17/06/2021] Disponible en internet:

<https://www.lia.org/resources/laser-safety-information/laser-safety-standards/ansi-z136-standa>. (s.f.).

- [9] *ÁRBOL LÁSER 450nm 40W-Versión Profesional, Tecnología de punto comprimido cabeza láser de enfoque ajustable, grabado ultra rápido de acero inoxidable*, [En línea] [Citado 23/06/2021] Disponible en internet. (s.f.). Obtenido de https://www.amazon.com/-/es/40W-Versi%C3%B3n-Profesional-Tecnolog%C3%AD-a-comprimido-inoxidable/dp/B091YZ71D2/ref=pd_lpo_201_t_0/130-6037621-1207346?_encoding=UTF8&pd_rd_i=B091YZ71D2&pd_rd_r=67046f7c-f8ac-484d-87c5-e2eeff7b1fda&pd_rd_w=XseDj&pd_rd_wg=pc0Qx
- [10] ARMAS, Jonathan; CHÁVEZ, Valeria. Diseño y construcción de un prototipo de cortadora laser CNC para el grabado y corte de madera (MDF) de un espesor 4mm para la empresa Servihardmetal. Quito, Ecuador, 2021, p. 6-7. (s.f.).
- [11] (s.f.). ARREDONDO, Diego; BUSTAMANTE, Pedro; GIRALDO, Juan. *DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MESA CON SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL, PARA LA DETECCIÓN DE IMPERFECCIONES Y POSTERIOR CORTE CON RAYO LÁSER, DEL CUERO BOVINO, Bogotá D.C., Colombia, 2007.*
- [12] BUDYNAS, Richard; NISBETT, Keith. *DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY, NOVENA EDICIÓN.* (s.f.).
- [13] CARLETTI, Eduardo. *Motores paso a paso, Características básicas, Cuestiones básicas*, [En línea] [Citado 23/06/2021] Disponible en internet: http://robots-argentina.com.ar/MotorPP_basico.htm. (s.f.).
- [14] CARLETTI, Eduardo. *Motores paso a paso, Características básicas, Motores paso a paso bipolares.* [En línea] [Citado 23/06/2021] Disponible en internet: http://robots-argentina.com.ar/MotorPP_basico.htm. (s.f.).
- [15] *Catalogo BSF. Tornillo de Potencia.* [En línea], [Citado 22/06/2021] Disponible en internet: https://cncrepowering.com.co/es/tornillos-de-bolas/523-tornillo-de-bolas-recirculantes-1605.html#/402-longitud_tornillo_bola-1000_mm. (s.f.).

- [16] s.f.). FUENTES, David; MÉNDEZ, Miguel; MUÑOZ, Jaime; ROMERO, Fabián. *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA TIPO CARTESIANO PARA CORTE Y GRABADO LÁSER EN PAPEL*, Bogotá D.C., Colombia, 2015.
- [17] GÓMEZ Rivera, W., Chaparro Tobón, W. A., & Delgado, E. (16 de diciembre de 2010). SciELO. (s.f.).
- [18] IBARRA, Hugo; POTTIEZ, Oscar; GOMEZ, Andrés. *El camino hacia la luz láser*. *Rev. Mex. fís. E* [En línea] México, 2018, vol.64, n.2 [Citado 16/06/2021] Disponible en internet: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-3542201800020010. (s.f.).
- [19] *INDUSTRIAL AUTOMATION SYSTEMS — NUMERICAL CONTROL OF MACHINES — VOCABULARY*, [En línea], [Citado 17/06/2021] Disponible en internet: <https://www.iso.org/standard/7798.html> . (s.f.).
- [20] *INDUSTRIAL AUTOMATION SYSTEMS AND INTEGRATION — NUMERICAL CONTROL OF MACHINES — COORDINATE SYSTEM AND MOTION NOMENCLATURE*, [En línea], [Citado 17/06/2021] Disponible en internet: <https://www.iso.org/standard/23949.html> . (s.f.).
- [21] MARTÍNEZ, Rodolfo. *DESARROLLO DE UNA MAQUINA CORTADORA LÁSER CON UNA PERSPECTIVA INCLUYENTE*, Ciudad de México, México, 2017, p. 7. (s.f.).
- [22] NAYLAMPMECHATRONICS. *DRIVER PAP POLOLU A4988*. [En línea] [Citado 23/06/2021] Disponible en internet: <https://naylampmechatronics.com/drivers/63-driver-pap-pololu-a4988.html> . (s.f.).
- [23] NAYLAMPMECHATRONICS. *SHIELD RAMPS 1.4 PARA IMPRESORA 3D*. [En línea] [Citado 23/06/2021] Disponible en internet: <https://naylampmechatronics.com/ardusystem-shields/69-shield-ramps-impresora-3d.html>. (s.f.).
- [24] *NUMERICAL CONTROL OF MACHINES — SYMBOLS*, [En línea], [Citado 17/06/2021] Disponible en internet: <https://www.iso.org/standard/8027.html> . (s.f.).

- [25] PÉREZ, Javier, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL DISPOSITIVO SUMINISTRADOR DE POLVO EN UN SISTEMA DE “LASER CLADDING”, Madrid, España, 2012, p. 10. (s.f.).
- [26] (s.f.). RAYO, Héctor, CASTAÑEDA, Daniel. EMULADOR PARA CORTE DE PAPEL CON SISTEMA LASER Fuente: <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/40911.pdf>. [Accedido: 19-oct-2014].
- [27] RIBERA, José. Diseño e implementación de un prototipo de cortadora laser controlada mediante CNC, Valencia, España, 2018, p. 41. (s.f.).
- [28] SALVADOR, José. CORTADORA CNC LÁSER. BENEFICIOS, VENTAJAS Y UTILIDADES, México, [En línea] 2019, [Citado 16/06/2021] Disponible en internet: <https://www.stanser.com/cortadora-cnc-laser-beneficios-ventajas-y-utilidades/> . (s.f.).
- [29] TEST CODE FOR MACHINE TOOLS — PART 2: DETERMINATION OF ACCURACY AND REPEATABILITY OF POSITIONING OF NUMERICALLY CONTROLLED AXES, [En línea], [Citado 17/06/2021] Disponible en internet: <https://www.iso.org/standard/55295.html> . (s.f.).
- [30] TEST CODE FOR MACHINE TOOLS — PART 4: CIRCULAR TESTS FOR NUMERICALLY CONTROLLED MACHINE TOOLS, [En línea], [Citado 17/06/2021] Disponible en internet: <https://www.iso.org/standard/36688.html> . (s.f.).