



Universidad Técnica del Norte
Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Carrera de Ingeniería Mecatrónica

“Cortadora láser CNC”

Proyecto previo a la obtención del título de
Ingeniería en Mecatrónica

Autor: KLEBER EFRAIN MAJI REMACHE

Director: Prof. Miguel Rodriguez, Ph.D.

Ibarra, Mayo 2018

Identificación de la obra

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad. Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

Datos Personales

Cédula de Identidad:	1003481072
Apellidos y nombres:	KLEBER EFRAIN MAJI REMACHE
Dirección:	La Florida, Calle Los Girasoles 3-36 y los Gladiolos
Email:	kemajir@utn.edu.ec
Teléfono fijo:	062-630878
Teléfono móvil:	0991377967

Datos de la Obra

Título:	Cortadora Láser CNC
Autor:	Kleber Efrain Maji Remache
Fecha:	22 de Mayo del 2018
Programa:	Pregrado
Título por el que opta:	Ingeniera en Mecatrónica
Director:	Fis. Miguel Rodríguez, Ph. D.

Autorización de Uso a Favor de la Universidad

Yo, Maji Remache Kleber Efrain con cédula de identidad Nro. 100348107-2, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión, en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra. A los 22 días del mes de Mayo de 2018



Firma

Nombre: Kleber Efrain Maji Remache
C.I. 100348107-2

Constancias

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

Ibarra. A los 22 días del mes de Mayo de 2018



Firma

Nombre: Kleber Efrain Maji Remache
C.I. 100348107 2

Certificación

En calidad de tutor del trabajo de grado titulado: "CORTADORA LÁSER CNC", certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr. Kleber Efraín Maji Remache, bajo mi supervisión.

Ibarra. A los 22 días del mes de Mayo de 2018



Firma

Nombre: Prof. Miguel Rodríguez, PH. D.
C.I.: 173713490-1

Agradecimientos

Agradezco a Dios por brindarme la oportunidad de llegar a cumplir una nueva meta y a mi familia por apoyarme incondicionalmente en el transcurso de mi carrera, gracias por estar siempre conmigo, por sus consejos en los momentos de debilidad y por cada una de las enseñanzas que las llevare siempre en el corazón.

Al Prof. Miguel Rodríguez quien con sus conocimientos y experiencia ha contribuido en la culminación del presente trabajo de grado.

A Heartland Worship Center por brindarme su amistad incondicional.

Efrain

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, Juan y Manuela por su apoyo incondicional a lo largo de todos estos años, han sido un pilar fundamental en mi vida y en la obtención de este título, gracias por sus consejos los cuales me han guiado por un buen camino. A mis hermanos, que con su paciencia y apoyo me han dado fuerzas para vencer y seguir adelante para lograr conseguir todos los objetivos propuestos.

Efrain

Resumen

Se presenta la construcción de una cortadora láser CNC para corte de acrílico de 3 mm. La maquina tiene por objetivo facilitar el corte de piezas planas de manera fácil, rápida y a bajo costo. Se diseño la máquina con un láser de 40 W de potencia. En función a la potencia se determinaron los requerimientos mecánicos y electrónicos bajo los cuales trabajara la máquina. Se realizo el diseño asistido por computadora y posteriormente se hizo el análisis cinemático por simulación, esto permitió obtener los parámetros necesarios para la fabricación de cada pieza. Con la información obtenida se procedió a construir el sistema CNC, además de implementar la parte electrónica. Se hizo pruebas preliminares de corte en diferentes tipos de materiales para observar y evaluar el funcionamiento de la máquina. Adicionalmente se añadió una pantalla que servirá como interfaz de comunicación para que el operador conozca detalles del corte. El resultado de corte es el indicado en la premisa inicial el cual corrobora que la máquina corta 3 mm de acrílico.

Abstract

The construction of a CNC laser cutter for 3 mm acrylic cutting is presented. The purpose of the machine is to facilitate the cutting of flat pieces easily, quickly and at low cost. The machine is designed with a laser of 40 W of power. Depending on the power, the mechanical and electronic requirements were determined under the themes of the machine. The computer-aided design was carried out and then the kinematic analysis was done by simulation, this was what I got the necessary parameters for the manufacture of each piece. With the information obtained, it was processed to build the CNC system, in addition to implementing the electronic part. Preliminary cutting tests were made on different types of materials to observe and evaluate the operation of the machine. In addition, a screen was added that will serve as communication interface for the operator to know details of the cut. The cut result is the one indicated in the initial premise which corroborates that the machine cuts 3 mm of acrylic.

Índice general

Identificación de la obra	III
Autorización de Uso a Favor de la Universidad	V
Constancias	VII
Certificación	IX
Agradecimientos	XI
Dedicatoria	XIII
Resumen	XV
Abstract	XVII
1. Introducción	1
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Objetivo General	1
1.2.1. Objetivos específicos	1
1.3. Antecedentes	2
1.4. Justificación	2
1.5. Alcance	2
2. Marco Teórico	5
2.1. Láser	5
2.1.1. Tipos de láser	6
2.1.2. Como trabaja el Láser CO_2	7
2.1.3. Enfriamiento de mezcla de gas	7
2.1.4. Proceso de corte	8
2.1.5. Tipos de corte	9
2.1.6. Respuesta del material a la luz láser	10
2.2. CNC control numérico por computador	11
2.3. Transmisión de movimiento	12
2.4. Motores a pasos	13
3. Metodología	15
3.1. Lista de requerimientos	15
3.2. Características del láser	16
3.2.1. Selección de fuente láser	17

3.3.	Diseño conceptual	17
3.3.1.	Parámetros	17
3.4.	Diseño Mecánico	18
3.4.1.	Diseño de ejes guía en X	19
3.5.	Selección de correas	20
3.5.1.	Procedimiento de selección	21
3.6.	Calibración	24
3.6.1.	Calibración eje X	25
3.6.2.	Calibración eje Y	25
3.6.3.	Calibración espejo móvil	26
4.	Resultados	27
4.1.	Trayectorias generadas por el sistema CNC	27
4.2.	Velocidad y Potencia	28
4.3.	Corte y Resultado	29
5.	Conclusiones Y Recomendaciones	37
5.1.	Conclusiones	37
5.2.	Recomendaciones	37

Índice de figuras

2.1. Corte láser	5
2.2. Proceso generación luz láser con CO_2	6
2.3. Esquema básico de la producción de haz láser.	7
2.4. Esquema del mecanismo de enfriamiento de gas de un láser de flujo lento.	8
2.5. Esquema del mecanismo de enfriamiento de gas de un láser de flujo rápido.	8
2.6. Proceso de corte.	9
2.7. Corte por fusión.	10
2.8. Luz láser.	11
2.9. Proceso comunicación.	12
2.10. Sistema de correas.	13
2.11. Motor a pasos.	13
3.1. Cavidad láser 40 W.	16
3.2. Fuente láser 40 W.	17
3.3. Diseño preliminar.	18
3.4. Mecanismo de posicionamiento.	18
3.5. Eje guía X.	19
3.6. Diagrama de esfuerzos.	20
3.7. Paso de correas dentadas.	22
3.8. Potencias de diseño.	23
3.9. Nombres de referencia.	24
3.10. Calibración eje X.	25
3.11. Calibración eje Y.	26
3.12. Calibración espejo móvil.	26
4.1. Pruebas de complejidad donde se observa la trayectoria del CNC para diferentes figuras.	28
4.2. Pruebas de corte.	29
4.3. Pruebas de corte 10 mm por lado.	31
4.4. Pruebas de corte 20 mm por lado.	32
4.5. Pruebas de corte 30 mm por lado.	33
4.6. Pruebas de corte de 10 mm de diámetro.	34
4.7. Pruebas de corte de 20 mm de diámetro.	35
4.8. Pruebas de corte de 30 mm de diámetro.	36

Índice de cuadros

3.1. Aspectos Mecánicos	15
3.2. Aspectos Electrónico	16
3.3. Aspectos Económico	16
3.4. Diámetros comerciales [4].	21
3.5. Factores de servicio [14].	21
4.1. Trayectorias generadas por el sistema CNC	27
4.2. Tabla de resultados con potencia de 3 v.	29
4.3. Cuadrados de 3 mm de espesor y lados de 10, 20 y 30 mm.	30
4.4. Círculos de 3 mm de espesor y diámetros de 10, 20 y 30 mm.	30

Capítulo 1

Introducción

1.1. Descripción del problema

La tecnología avanza a pasos gigantes con el transcurso del tiempo, esto conlleva a que nuevas técnicas se desarrollen para el cumplimiento de un proceso específico. Debido a esto nuevas tecnologías intervienen en solucionar problemas de un sector industrial estratégico, mejorando la calidad del proceso con la creación de nuevas industrias y brindando al usuario nuevas herramientas o maquinas que faciliten el desarrollo de sus trabajos. Esto permite incrementar el volumen de producción en un menor tiempo y bajar los costo de producción, esto es beneficioso para las empresas ya que se sus metas de éxito se vuelven más factibles. Uno de las sectores que debe estar a la vanguardia tecnológica es la industria manufacturera, es uno de los sectores más trascendentales en el desarrollo de la economía de una empresa o un país, ya que se encarga de transformar la materia prima en un producto o bien terminado. En este contexto, el corte mediante láser se ha ido popularizando durante la última década, ya que es un método muy utilizado para el desarrollo de chapas en diferentes materiales. Su popularidad se debe a la gran versatilidad que tiene para el trabajo, además que puede ser controlada en su totalidad mediante un software. Entre las ventajas frente a otros sistemas de corte tradicionales se tienen su alta velocidad de corte, disponibilidad inmediata y bajo costo de operación. Con todo lo mencionado podemos decir que este proceso nos brindara un trabajo confiable, seguro y muy económico para realizar diferentes proyectos con facilidad y comodidad. Para aprovechar estos beneficios de manufactura se en este trabajo se propone la construcción de una cortadora láser CNC basado en requerimientos de trabajo específicos.

1.2. Objetivo General

Diseño y construcción de una cortadora de láser CNC para el trabajo con acrílico de 3 mm.

1.2.1. Objetivos específicos

1. Definir los requerimientos de diseño de la máquina.
2. Diseñar los componentes mecánicos de la máquina.
3. Construir los componentes mecánicos de la máquina.

4. Seleccionar una placa electrónica adecuada para el funcionamiento de la máquina.
5. Validar el funcionamiento de la cortadora láser CNC.

1.3. Antecedentes

El corte por láser se da a conocer en los años 80 en la industria metalmecánica, dejando atrás tecnologías que utilizaban herramientas externas para el corte [5]. El acrílico o PMMA (polimetilmetacrilato) es el material con el que mas se trabaja con el corte láser para la fabricación de diferentes piezas o rótulos en la industria gráfica, este corte es altamente preciso y no requiere un post-procesamiento adicional debido a su gran acabado. El láser de uso común para corte es el de CO_2 el cual permite cortar hasta 40 mm de grosor con gran eficiencia [14]. Con el fin de aprovechar esta tecnología y sus grandes beneficios, se han realizado estudios de ciertas máquinas las cuales han sido asequible para personas de bajos recursos. Por ejemplo Perez [10] hace el diseño de una cortadora láser de CO_2 en el cual utiliza un sistema de transmisión de movimiento por tornillo que trabaja a una velocidad máxima de 80 mm/s, Burneo [6] de la Escuela Politécnica del Ejército en Latacunga Ecuador diseña un mecanismo de 3 ejes, 2 de ellos servirán para el posicionamiento en los ejes X Y, dejando el tercer eje para control del posicionamiento láser. Con base en estos antecedentes se propone el diseñar y construir una cortadora láser CNC de CO_2 con un sistema de posicionamiento de 2 ejes que trabaje con un rango variable de velocidades el cual nos permita realizar grabado y corte en acrílico. Se va a realizar un diseño liviano y transportable. Además se diseñará una mesa con un área efectiva de trabajo de 30cm×20cm. Finalmente la maquina constará con un sistema de seguridad que protegerá al usuario sobre cualquier riesgo.

1.4. Justificación

El proceso de automatización está vinculado a mejorar y facilitar procesos antiguos de fabricación, en los últimos años el control numérico ha sido una herramienta sofisticada para cumplir con este objetivo, las nuevas tecnologías están directamente asociadas a este sistema de control, el cual permite nuevas formas de solucionar problemas en la producción, en particular la industria manufacturera es una de las más grandes beneficiadas con este sistema, el láser nos brinda grandes facilidades en el momento de realizar algún corte, pero maneja un alto grado de riesgo al utilizarlo de una forma manual, en base a lo mencionado se plantea la realización de este proyecto que permitirá realizar el corte de acrílico, todo el diseño y ensamblaje se basara en conocimientos adquiridos durante un largo proceso de estudios.

1.5. Alcance

1. Se implementará un láser CO_2 de 40 W en un sistema CNC de 2 ejes.
2. El sistema contará con una mesa adaptable para diferentes tamaños de acrílico el cual tendrá una dimensión efectiva de trabajo de 30cm×20cm con su respectivo sistema de sujeción.
3. Se podrá cortar acrílico de hasta 3 mm.

4. Para el control de posicionamiento se implementara la tarjeta electrónica M2 nano desarrollada por LIHUIYU LABS, el cual también controlara la señal del láser.
5. Adicionalmente se adaptará una pantalla donde se pueda apreciar la potencia del láser así como la rapidez del mecanismo necesario para realizar el corte de diferentes profundidades de acrílico.

Capítulo 2

Marco Teórico

En 1917 Einstein propone por primera vez los fundamentos para el desarrollo del láser, basándose en la ley de radiación de Max Planck. Para 1928 Rudolf Landenburg obtuvo la primera evidencia de emisión estimulada de radiación, pero este fenómeno fue validado por Willis Eugene Lamb y Rutherford después de la segunda guerra mundial. La primera máquina cortadora láser apareció en 1965 para la perforación de diamantes, conforme pasaron los años la tecnología fue avanzando dando con esto el desarrollo de máquinas de corte por láser más eficientes y con menor impacto ambiental, se desarrollaron dos tipos de láser, uno de ellos es el de dióxido de carbono que usa un gas para la generación del haz láser y el de Nd:Yag que es comúnmente usado para corte de piezas de metal [7].



Figura 2.1: Corte láser

2.1. Láser

La palabra láser significa luz amplificada por emisión estimulada de radiación, es una fuente de luz diferente a los bombillos luminosos, debido al mecanismo físico por el cual se produce el haz luminoso que consiste básicamente en la liberación de un paquete de energía en forma de partículas de luz o fotones, que deben ser de la misma energía y longitud de onda los cuales al chocar entre si producen un haz con propiedades interesantes, como son alta potencia, direccionalidad, frecuencia definida, la capacidad de emitir pulsos de

corta duración y la coherencia de luz, en la figura 2.2 podemos observar el proceso de generación del haz luminoso en principio la partícula de Oxígeno es excitada por el ingreso de energía eléctrica y colisiona con una partícula de Carbón, provocado que esta partícula alcance diferentes niveles de energía y en su estado mas alto libera el haz de luz, este haz sera monocromático y de una sola longitud de onda [13] . Este proceso es general en

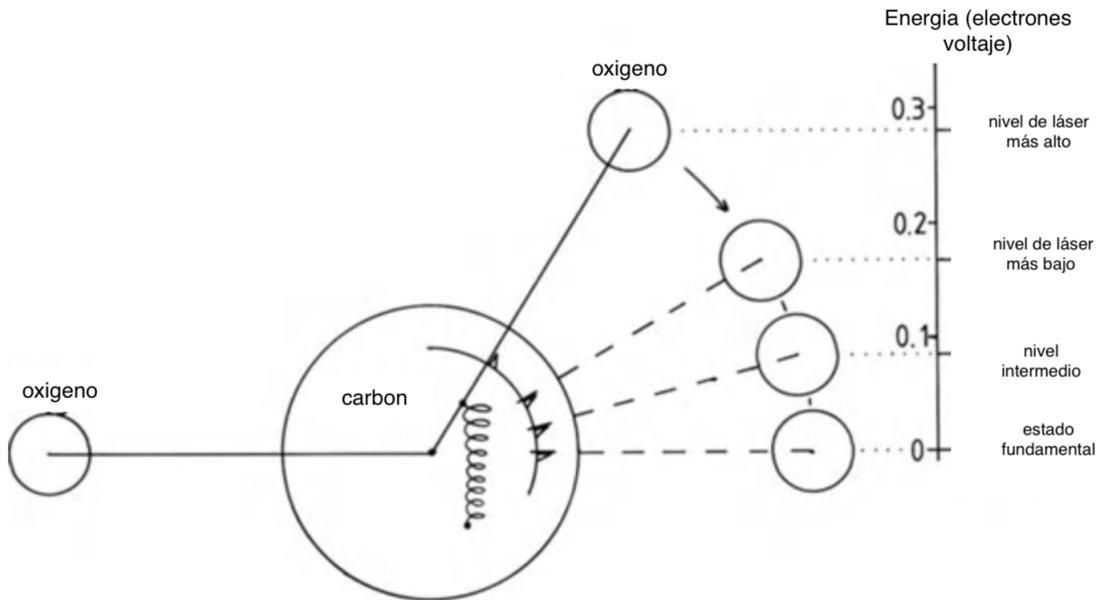


Figura 2.2: Proceso generación luz láser con CO_2 .

los diferentes mecanismos existentes, para tener todo más claro definiremos los dos tipos principales de láser.

2.1.1. Tipos de láser

Existen 2 tipos de láser: El láser de CO_2 y Láser Nd:YAG, los cuales detallaremos a continuación.

1. El láser Nd:YAG es capaz de cortar y soldar metales de forma muy parecida al láser CO_2 , pero el haz de salida generalmente es de menor potencia lo cual tiende a restringir las velocidades de corte y el grosor máximo del material, la longitud de onda de este láser es de 1,06 μm que es una décima parte de la longitud de onda de un láser CO_2 , esto tiene sus ventajas a la hora de trabajar por ejemplo: se puede utilizar lentes de vidrio para enfocar el haz, estos lentes son de una calidad óptica, más alta que los de seleniuro de zinc y también son menos costosas, se puede lograr un punto focal más intenso y con un diámetro mínimo cercano a la décima parte del punto focal que se produce con un láser CO_2 además de esto son ideales para trabajar en metales altamente reflectantes como el oro ya que la absorción de los metales aumenta a medida que disminuye la longitud de onda [12] .
2. En el láser de CO_2 la molécula es lineal y simétrica, los electrones que intervienen en el proceso, colisionan con moléculas de nitrógeno y las energizan para posteriormente estas colisionen con las moléculas de CO_2 quedando estas últimas energizadas y así produciendo el haz de corte, después de esto la partícula de CO_2 se enfría al

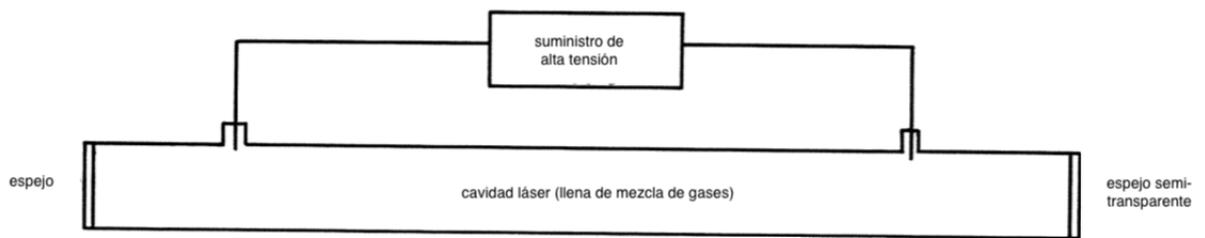


Figura 2.3: Esquema básico de la producción de haz láser.

colisionar con partículas de Helio volviendo a su estado base, para hacer de esto un ciclo cerrado. El láser CO_2 trabaja muy bien con materiales orgánicos (plástico, mdf, cueros) los cuales son transparentes para el láser Nd:YAG, es un método de menor costo, podemos alcanzar potencias que varían desde los 25W hasta 1KW de potencia lo cual nos brinda una mayor velocidad de trabajo y un corte de grosor mayor a su rival, este tipo de láser utiliza espejos de seleniuro de zinc para ser enfocado [12]. En el presente proyecto vamos a trabajar con el láser de CO_2 , por lo tanto conoceremos un poco mas de este tipo de láser en los siguientes puntos.

2.1.2. Como trabaja el Láser CO_2

El láser de CO_2 viene en diferentes tipos de envase o presentación, las principales se diferencian en la forma de excitar las partículas dentro de la cavidad láser y en como enfriar la mezcla de gases de la cavidad del láser. En cualquier presentación el proceso es el mismo; Se da el paso de una corriente de electrones de alta energía a través de la cavidad del láser la cual excitara a las partículas de CO_2 logrando que estas colisionen y liberen un haz luminoso, esta cavidad contiene una mezcla entre CO_2 , Nitrógeno y Helio en proporciones 1:5:20 respectivamente, la presión de estos gases esta cerca a los 27 mbar, el nitrógeno y el helio son gases adicionales al CO_2 los cuales ayudan que la acción láser sea más eficiente, básicamente la entrada del láser es una energía mecánica en forma de electrones que se mueven de forma muy rápida, desprendiendo energía a las moléculas de gas mediante colisión por lo cual el CO_2 genera un haz de luz infrarroja puro y paralela. En la figura 2.3 se detalla cada parte del láser entre ellos los elementos importantes son, la cavidad láser donde se produce todo el fenómeno físico de la generación del haz luminoso, la entrada de energía mecánica el cual excita a los electrones, un espejo en la parte posterior encargada de refractar los electrones en la cavidad láser y un espejo semitransparente por el cual saldrá el haz de luz de corte[12]. Después de conocer la estructura básica de nuestro láser, podemos ver que el proceso de generación del haz luminoso es seguro para el operador, lo cual nos lleva a enfocarnos en el siguiente punto.

2.1.3. Enfriamiento de mezcla de gas

Es necesario mantener toda la mezcla de gas en un a temperatura moderada, para esto existe métodos básicos de refrigeración para la cavidad láser.

1. Flujo lento: Las paredes de la cavidad láser se mantienen aproximadamente a temperatura ambiente mediante refrigeración por agua o aceite, y el gas calentado que

esta dentro de la cavidad pierde calor por conducción mediante estas paredes [12], ver figura 2.4 .

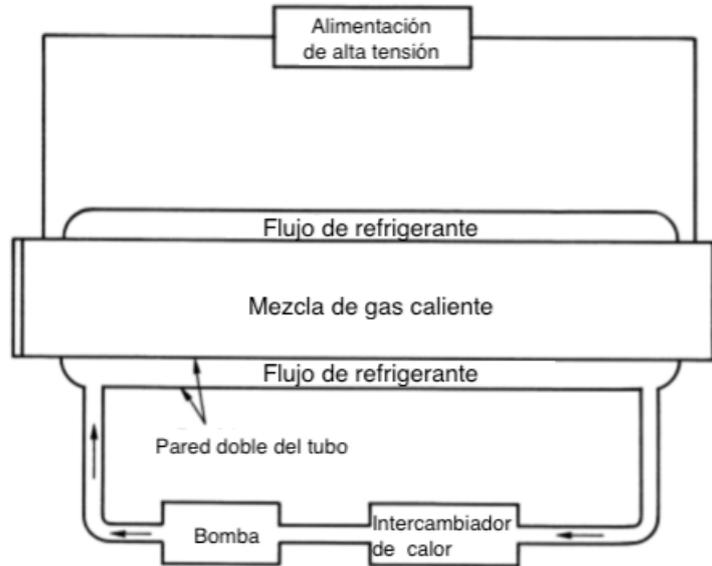


Figura 2.4: Esquema del mecanismo de enfriamiento de gas de un láser de flujo lento.

2. Flujo rápido: Estas contienen una unidad de refrigeración externa a la cavidad del láser mediante el cual el gas es bombeado de manera continua perdiendo así el calor que gana en la cavidad del láser ver figura 2.5.

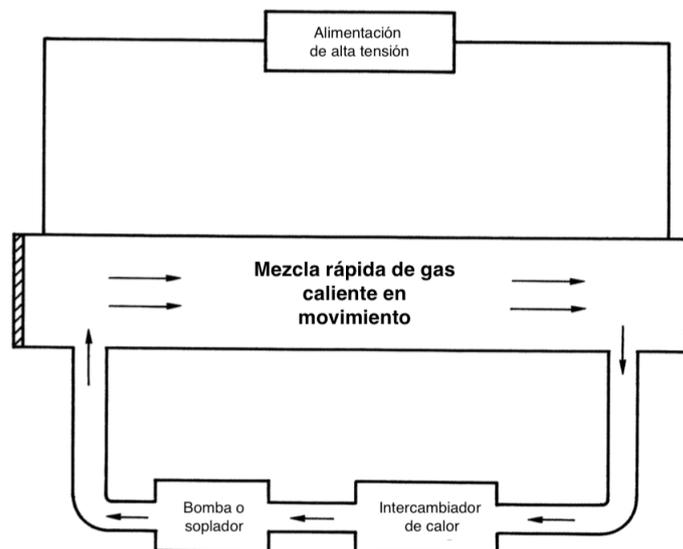


Figura 2.5: Esquema del mecanismo de enfriamiento de gas de un láser de flujo rápido.

2.1.4. Proceso de corte

Primero un haz de alta intensidad de luz infrarroja es generada por un láser, este haz se debe enfocar en la pieza de trabajo mediante espejos, el cual que producirá una reacción

química, calentando el material y estableciendo un punto de fusión muy localizado menor a 0,5 mm en toda la profundidad de la pieza, esta área localizada se mueve a través de la superficie de la hoja generando así un corte, en la imagen 2.6 se detalla cómo se da el proceso de corte [10]. En la imagen 2.6 se observa como el haz luminoso al salir de la

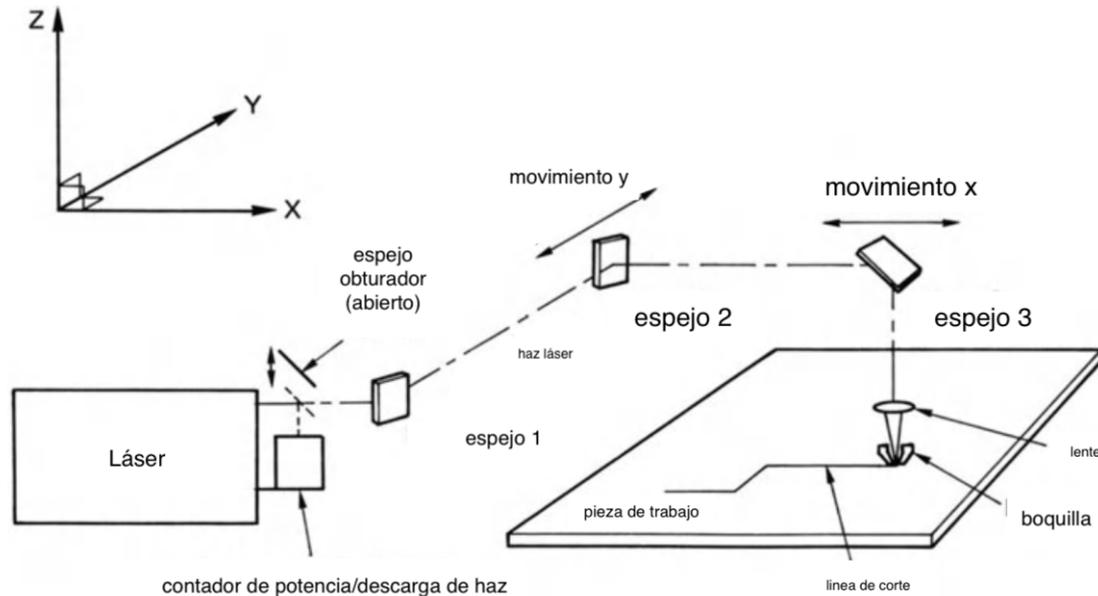


Figura 2.6: Proceso de corte.

cavidad láser se refracta en 3 diferentes espejos hasta llegar a la pieza de corte, el primer espejo siempre permanecerá estático junto a la cavidad láser, los 2 espejos siguientes se mueven en los ejes X y Y , haciendo que el haz llegue al lente, este enfocara el haz sobre la pieza de trabajo generando así el corte de la pieza. Cada material tiene una composición química diferente por el cual reaccionara de diferentes formas al haz láser.

2.1.5. Tipos de corte

La mayoría de materiales no metálicos son altamente absorbentes para el láser CO_2 , este proceso de corte existen 3 mecanismos que son dominantes para el corte de material no metálico, los mismos determinan la calidad de los bordes de corte [12].

1. Corte por fusión, es en la cual el láser genera un pequeño punto de fusión en donde el material que se está cortando experimenta un cambio de fase de sólido a líquido y este es expulsado por un chorro de gas que trabaja coaxial-mente con el láser, este método se trabaja en materiales como la mayoría de los termoplásticos [12].
2. Corte por vaporización, en este proceso el láser calienta el material en un punto focal y funde el material que luego es expulsado de la zona de corte por un chorro de aire, mediante este método se puede trabajar en polimetacrilato de metilo (acrílico) y polyacetil [12].
3. Corte por degradación química, este método es el más complejo pero a la vez el más utilizado, la energía del láser actúa sobre el material de trabajo rompiendo los enlaces químicos alterando la integridad del material y logrando así el corte, este

proceso tiende a ser liso y plano, pero cubierto con una fina capa de polvo, con este método se trabaja 2 grandes grupos de materiales, los polímeros que incluyen la mayoría de materiales termoestables y los productos a base de madera [12].

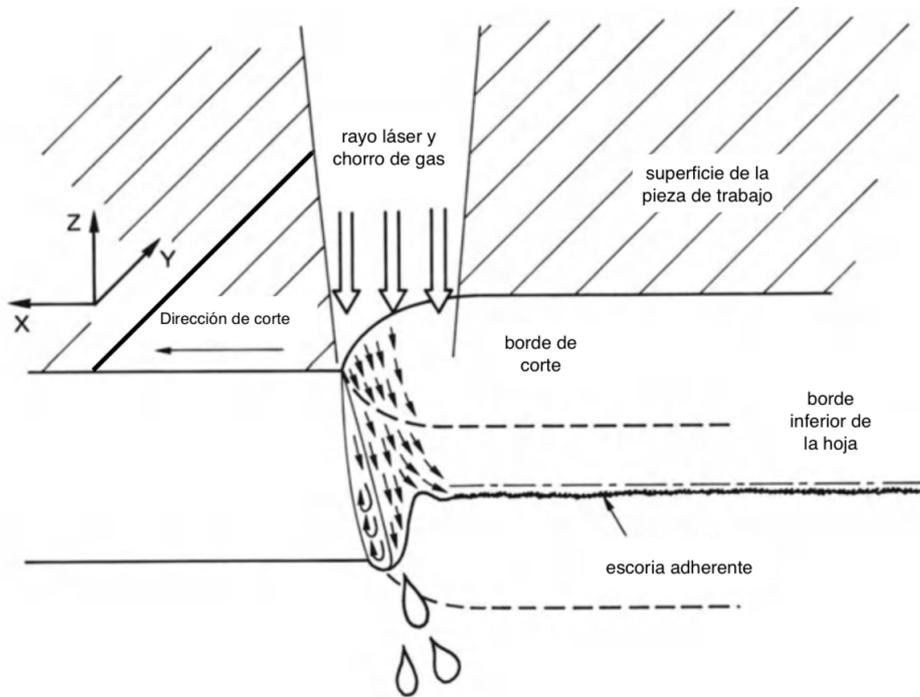


Figura 2.7: Corte por fusión.

2.1.6. Respuesta del material a la luz láser

El haz de luz láser al ser monocromática y paralela permiten que este sea enfocado en un punto pequeño con una alta densidad de energía igual a $1,4 \text{ MW/cm}^2$, lo cual es suficiente para fundir diferentes tipos de materiales si están expuestos a un periodo de tiempo prolongado, el efecto químico del haz de luz incidente de alta energía crea vibraciones térmicas dentro del material hasta que su estructura es degradada, esta degradación puede ser física química dependiendo del material a trabajar, nosotros nos enfocaremos en el acrílico, en este caso la incidencia de la luz láser rompe los enlaces químicos que mantienen las moléculas juntas produciendo así el corte este proceso se lo denomina combustión localizada [9] .

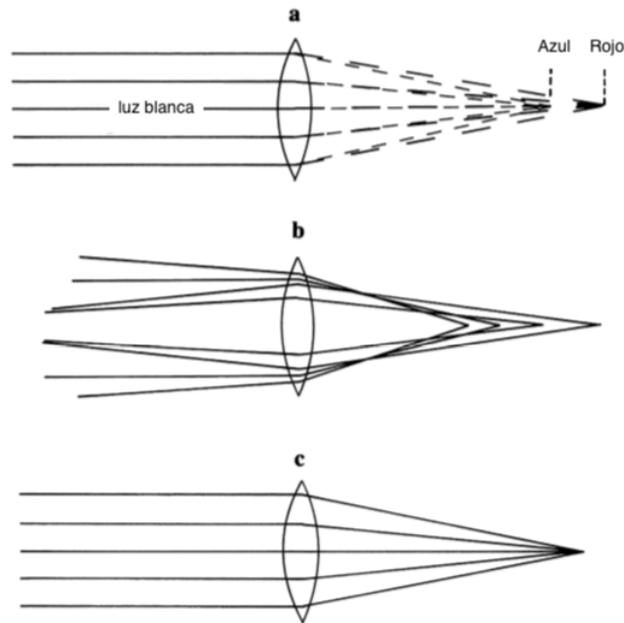


Figura 2.8: Luz láser.

2.2. CNC control numérico por computador

El CNC se origina en los años 50 en la universidad de Massachusetts al automatizar una fresadora, una computadora se encarga de controlar la posición y la velocidad de los motores, debido a esto se puede generar diferentes tipos de movimientos como círculos, líneas o figuras complejas, el termino control numérico se debe a que las ordenes emitidas por el computador hacia la maquina son códigos numéricos [11], por ejemplo: G90: es el código que enviara a la maquina a su punto de origen.

G71: programa la maquina para que trabaje en mm. un conjunto de ordenes que tienen una secuencia lógica forman un programa de maquinado, este programa de maquinado se puede realizar de dos maneras diferentes:

1. Programación manual: El operario escribe el programa pieza en base a razonamientos, cálculos o experiencias.
2. Programación automática: El computador realiza los cálculos y genera el programa pieza en lenguaje máquina, Para realizar el proceso de transformar un modelo virtual de 2 o 3 dimensiones en una pieza de maquinado final pasa por 6 etapas, 3 etapas son de software, el sistema CAD (Diseño asistido por computador), el sistema CAM (manufactura asistida por computador) y el envío del código G hacia la máquina o también llamado Sender. Las siguientes 3 etapas se dan en la máquina estas son el controlador CNC, los drivers de los motores y el movimiento de los ejes. En la siguiente imagen 2.9 se podrá observar la secuencia de cada etapa [11] .

Una máquina CNC puede controlar el posicionamiento de una herramienta en 3 ejes al mismo tiempo, una vez programada la máquina ejecuta las operaciones por si misma sin necesidad de supervisión de un operador, estas órdenes son mediante códigos numéricos [1] .

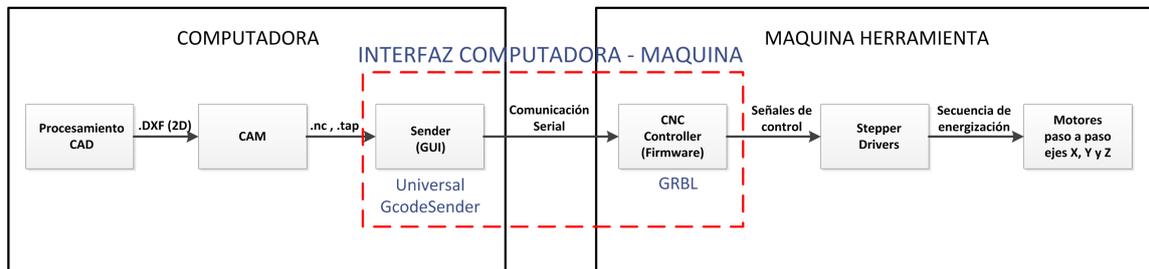


Figura 2.9: Proceso comunicación.

2.3. Transmisión de movimiento

Con el transcurso de los años el hombre a buscado formas de transmitir movimiento de un lugar a otro y con esto poder transferir nuevas características como velocidad o fuerza al otro sistema, existen varios tipos de transmisión de movimiento [15] .

1. Ruedas de fricción.
2. Transmisión por correa.
3. Engranajes.
4. Transmisión por cadena.
5. Tornillo sinfín – corona.

El sistema de poleas con correa, como podemos ver en la figura 2.10 trabaja con 2 poleas que giran al mismo tiempo por efecto de una correa dentada, esta correa está sometida a esfuerzos en sus 2 puntos de agarre, están fabricadas de caucho y son reforzadas mediante hilos internos, existen de distintos tipos [3] :

1. Trapezoidales: se adaptan mejor al canal de la polea evitando deslizamientos
2. Redondas: utilizadas para transmitir movimiento en curvas muy cerradas y con esfuerzos pequeños
3. Planas: se utilizan para transmitir movimiento de los motores a la máquina, se utilizan cada vez menos.
4. Dentadas: también son trapezoidales, y son las mas utilizadas porque aseguran el agarre, el acoplamiento se da con poleas con dientes tallados con el perfil de la correa, ofrecen precisión y una fuerza de trabajo aceptable con un rendimiento entre el 95-98 por ciento de efectividad y con un precio muy bajo [3] .

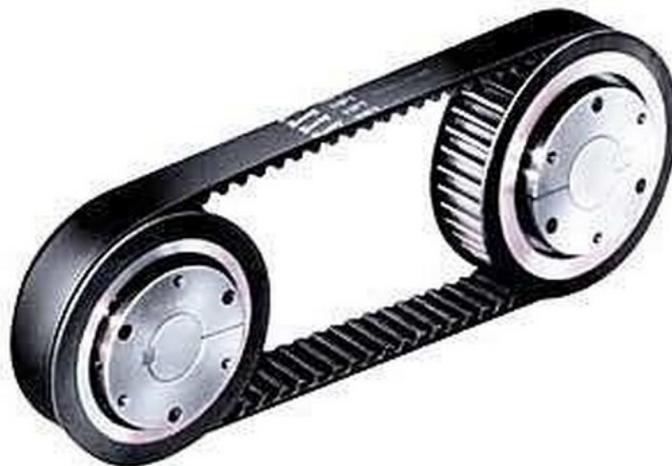


Figura 2.10: Sistema de correas.

2.4. Motores a pasos

Los motores a pasos son muy utilizados por mecanismos que requieren una alta precisión, por el hecho que estos pueden moverse desde un paso hasta un interminable número de pasos dependiendo del pulso que se aplique, todo esto dependiendo de lo que el usuario indique a través de un microcontrolador [2] .



Figura 2.11: Motor a pasos.

En la imagen 2.11 podemos observar un motor a pasos, los cuales poseen la habilidad de enclavarse en una determinada posición cuando sus bobinas están energizadas, existen 2 tipos de configuraciones unipolares y Bipolares, básicamente están constituidos por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes y un número de bobinas excitadoras en su estator [2] .

Capítulo 3

Metodología

Este capítulo detallara toda la metodología utilizada en el proceso de selección de los diferentes componentes que utilizaremos.

3.1. Lista de requerimientos

Hoy en día una de las grandes demandas en el proceso de corte es la precisión y la velocidad con la que se realiza el trabajo, algunos negocios tienen la necesidad de utilizar acrílico para diferentes proyectos y estudiantes universitarios ven la necesidad de utilizar este tipo de material en maquetas o prototipos de ingeniería que den una posible solución a problemas de diseño que se presente durante el diseño final, el proyecto de tesis tiene la finalidad de atender tales necesidades en base a requerimientos que se definirán a continuación en base a 3 aspectos principales como el mecánico, electrónico y económico.

Cuadro 3.1: Aspectos Mecánicos
Detalles

Durabilidad	<ol style="list-style-type: none">1) El material estructural debe ser resistente a golpes, resistente a la intemperie.2) El mecanismo debe ser desmontable para poder ofrecer mantenimiento.3) Los ejes deben ser resistentes a corrosión y oxidación.
Velocidad	<ol style="list-style-type: none">1) Las bases del mecanismo deben estar adaptadas para reaccionar a grandes cambios de velocidad durante el proceso de trabajo.2) El mecanismo de movimiento debe ser capaz de permitir movimientos rector y curvos.3) Ofrecer estabilidad al momento de trabajo.
Seguridad	<ol style="list-style-type: none">1) Contar con un paro de emergencia que detenga el trabajo si se presenta algún inconveniente.2) Contar con sistema de ventilación que evacue gases residuales.3) Enfriador para láser.

Cuadro 3.2: Aspectos Electrónico
Detalles

Láser	1) Un láser de CO ₂ con una potencia máxima de 40W. 2) Una fuente de alimentación específica para el láser.
Alimentación eléctrica	1) Conexión directa de la maquina a una toma eléctrica de 110v. 1) Indicadores luminosos de conexión
Comunicación	1) Puerto de transferencia de datos universal. 2) Interfaz fácil de usar. 3) Software universal para diferentes tipos de dibujos.

Cuadro 3.3: Aspectos Económico
Detalles

Económico	1) Máquina de bajo costo. 2) Accesorios de fácil adquisición en el país. 3) el mantenimiento puede ser por el mismo operario.
-----------	---

3.2. Características del láser

Como habíamos mencionado en capítulos anteriores utilizaremos un láser de CO₂ con las siguientes características:

1. Potencia de 40 W.
2. Láser sellado.
3. Enfriamiento externo por agua.



Figura 3.1: Cavidad láser 40 W.

En base a lo detallado buscaremos una fuente de alimentación que cumpla con estos requerimientos.

3.2.1. Selección de fuente láser

La fuente láser que utilizaremos para el presente proyecto sera uno especialmente diseñado para el tubo láser de 30-40 W como se puede apreciar en la 3.2, posee varias salidas, las cuales se pueden aprovechar para controlar diferentes dispositivos externos, además posee un control TTL lo cual facilita el trabajo y velocidad de respuesta del circuito.



Figura 3.2: Fuente láser 40 W.

3.3. Diseño conceptual

En este punto estudiaremos a profundidad los dispositivos utilizados basándonos en cálculos y tablas de funcionamiento. Como podemos ver en la figura 3.3 se necesita de 3 puntos principales para el correcto funcionamiento del láser, estos son el posicionamiento en el eje X, el posicionamiento en el eje Y, una mesa ajustable para sostener el material de trabajo y adicionalmente a esto debe ser una base fija y rígida.

3.3.1. Parámetros

Las medidas de la mesa de trabajo serán de 30 cm en el eje X y 20 cm en el eje Y esto ya se había definido en el alcance del proyecto, a estas medidas añadiremos algunos parámetros importantes para el diseño del mecanismo X Y .

1. Peso motores. $W_m = 0,14kg = (1,37N)$
2. Peso bases en cada eje. $W_b = 2kg = (19,6N)$
3. Peso espejos y lente reflector. $W_e = 0,50kg = (4,9N)$

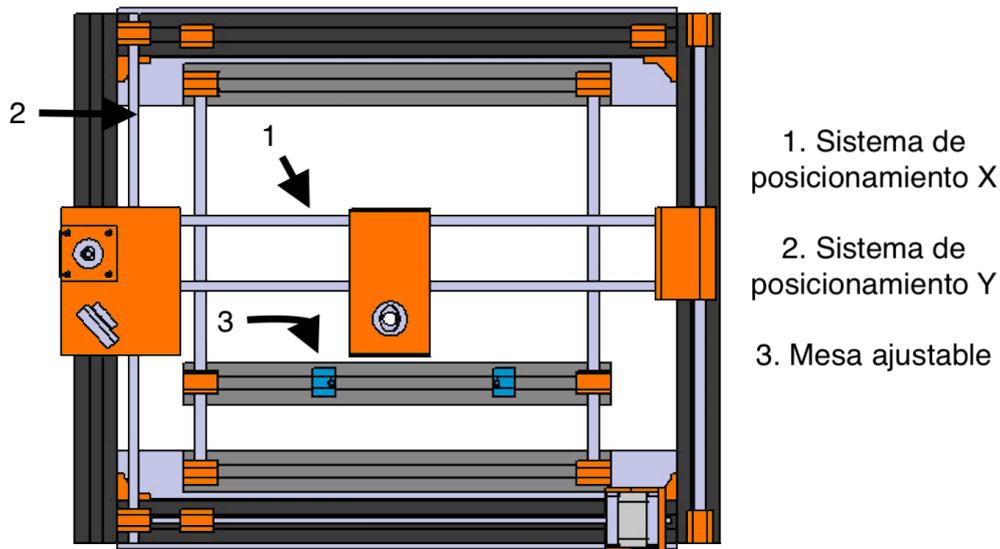


Figura 3.3: Diseño preliminar.

3.4. Diseño Mecánico

El mecanismo de posicionamiento se encuentra compuesto de los elementos como se puede ver en la figura 3.4, este mecanismo permite que el haz de luz láser se posicione en el eje X y en el eje Y mediante espejos y un lente focal.

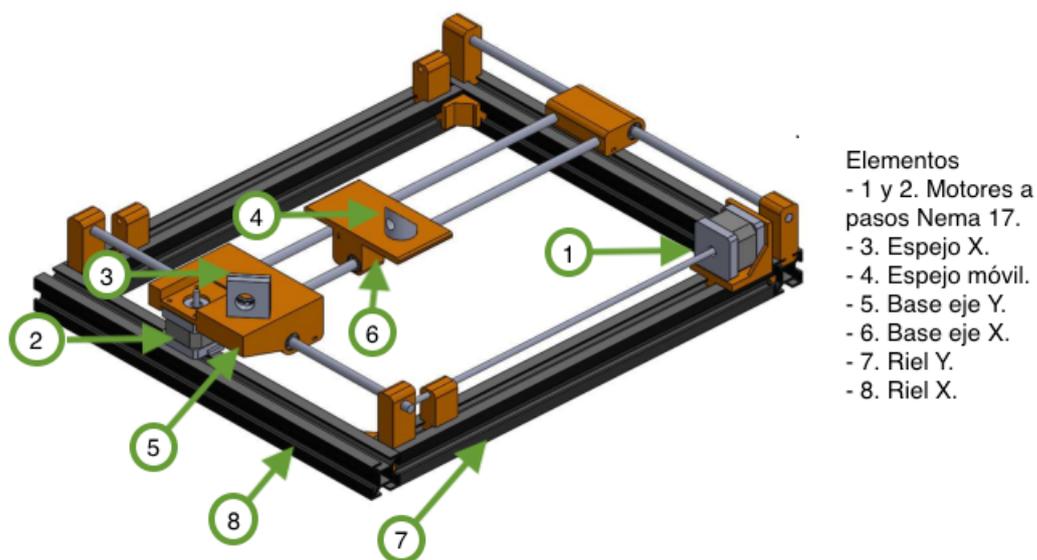


Figura 3.4: Mecanismo de posicionamiento.

3.4.1. Diseño de ejes guía en X

Los ejes guía cumplen la función de guiar las bases con los espejos y el lente focal sobre el plano XY. El diseño de estos ejes se muestran a continuación en la figura 3.5. Necesitaremos calcular el diámetro apropiado para los ejes, este valor lo encontraremos

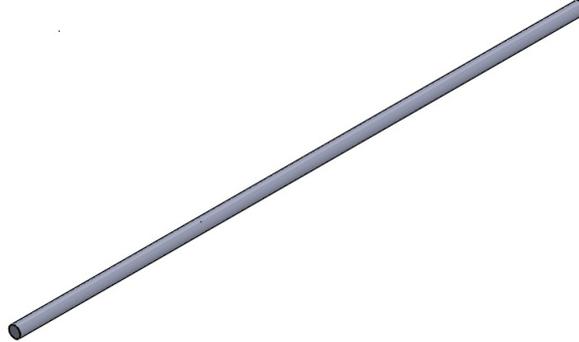


Figura 3.5: Eje guía X.

mediante el momento flector máximo que soportara el eje, este momento se producirá por el peso del espejo, el lente focal, el peso del motor y el peso de las bases en cada eje. Mediante MDSolid se obtuvo un momento flector máximo de 2587 N mm en la figura 3.6 se puede observar con detalle los valores del esfuerzo cortante y el momento flector. Según Budynas, Richard Gordon y Nisbett, J Keith [16] el factor de seguridad (N) para un transporte guiado de una herramienta es de:

$$N = 2$$

También se propone utilizar acero inoxidable SAE 304, por su gran disponibilidad en el mercado y por el bajo costo que representa. El SAE tiene un esfuerzo de fluencia de:

$$\sigma_y = 310MPa$$

Con esto podemos calcular el máximo esfuerzo permisible que sera:

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_y}{N} \quad (3.1)$$

Reemplazando nuestros datos conocidos en la ecuación 3.1 sabemos que:

$$\sigma_{max} = 105MPa$$

Por resistencia de materiales, en una sección circular, la relación entre el momento de inercia, el momento flector y el esfuerzo sera:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}Y}{I} \quad (3.2)$$

En la ecuación 3.2 reemplazaremos la inercia (I) por:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} \cdot R}{\frac{\pi}{4} \cdot R^4} \quad (3.3)$$

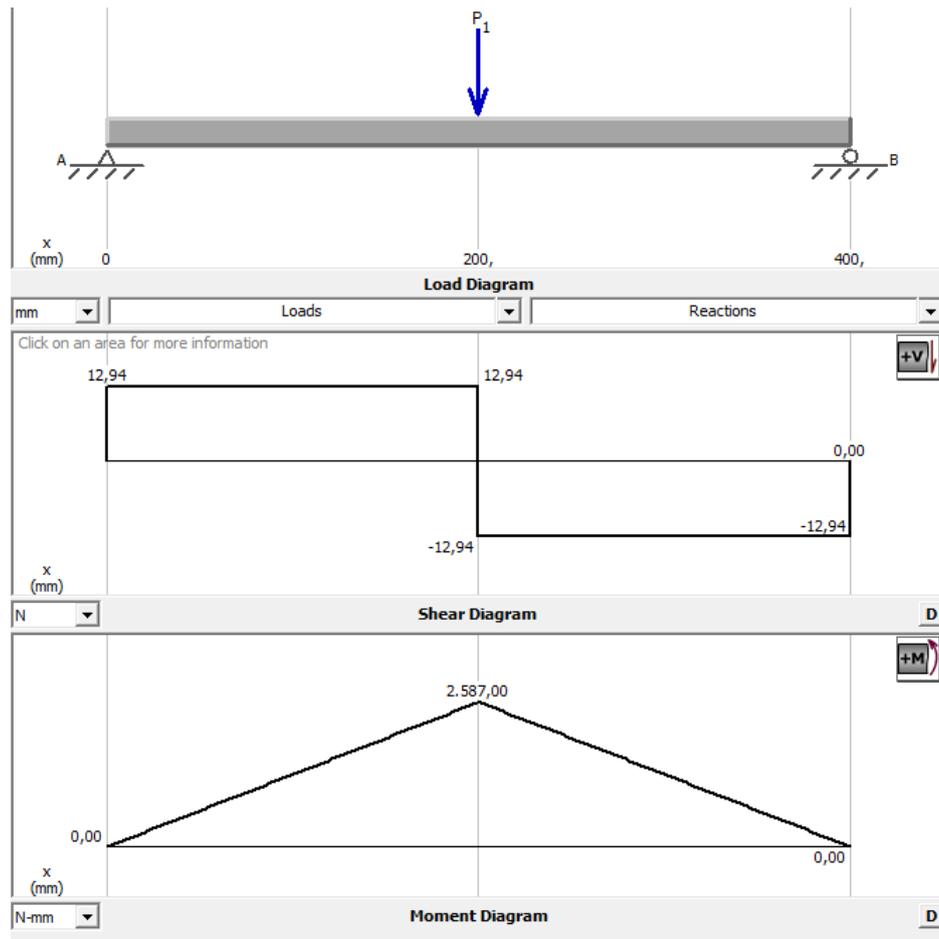


Figura 3.6: Diagrama de esfuerzos.

Finalmente reemplazamos datos y despejamos el radio R:

$$R = 3,153mm$$

Con esto sabemos que nuestro diámetro es igual a $D = 6.307$ mm. Para el cual se tomara una medida comercial en base a la tabla 3.4 que nos proporciona Lenis Cerón [4], la barra que escogemos es la de 8M con un diámetro de 8 mm. Así las guías tendrán un diámetro de 8 mm y un largo de 400 mm, este es el tamaño suficiente para lograr un espacio de trabajo óptimo de 30mm por 20mm como se había propuesto en los alcances de la máquina.

3.5. Selección de correas

Se empleara un sistema de transmisión de movimiento mediante correas dentadas, debido a las ventajas nos brinda este tipo de mecanismo. Las correas dentadas no pierden su forma, debido a aquello no existe un juego entre los dientes de la patea y la correa, son muy precisas, pueden trabajar en un amplio rango de velocidades, no requieren lubricación, son muy silenciosas y no se desgastan al contacto con la patea. Para este punto trabajaremos con los siguientes datos:

1. Motor a pasos $P_m = 48W = (0,064HP)$
2. $V = 3500$ rpm

Diámetros basados en milímetros

Tipo	Factor
Designación de la barra	Diámetro Nominal mm
6M	6.0
8M	8.0
10M	10.0
12M	12.0
16M	16.0
18M	18.0
20M	20.0
22M	22.0
25M	25.0
30M	30.0
32M	32.0

Cuadro 3.4: Diámetros comerciales [4].

3.5.1. Procedimiento de selección

Hay pasos importantes para definir la correa a utilizar para llegar a definir las medidas debemos identificar: la potencia de diseño, P_d , el ancho de la correa, A_c , y la longitud de la correa, L_c

Potencia de diseño

Para la selección de la correa a utilizar necesitamos conocer la potencia del diseño en HP con la cual trabajaremos, podemos encontrar la potencia de diseño P_d conociendo dos valores importantes los cuales son la potencia del motor P_m y el factor de servicio F_s esta ecuación es igual a

$$P_d = P_m \cdot F_s \quad (3.4)$$

En la ecuación 3.4 podemos reemplazar el valor de P_m porque ya lo conocemos como un dato de entrada, pero el F_s es un dato desconocido el cual debemos buscarlo en tablas. En la tabla 3.5 [14] podemos apreciar los diferentes valores de Factores de servicio dependiendo del trabajo que se va a realizar, trabajaremos con el factor de servicio de 1.6 por ser una maquina y herramienta. por lo tanto nuestra potencia de diseño es igual a:

$$P_d = 0,10HP$$

Factores de servicio básico para máquinas

Tipo	Factor
Maquinas	taladros, tornos.
herramientas	maquinas de tornillo, esmeril.
	fresadoras, cepillos, troqueles

Cuadro 3.5: Factores de servicio [14].

Al conocer la potencia de diseño requerida vamos a seleccionar el tipo de correa a utilizar, para esto utilizaremos la imagen 3.7 proporcionada por Intermecc [8]. En la imagen

seleccionaremos el paso de la correa considerando la potencia de diseño y la velocidad del motor. Con estos datos la imagen nos dice que se debe utilizar una correa XL (extra-ligero) de paso igual a 1/5 pulg esto debido a que la potencia de trabajo es pequeña.

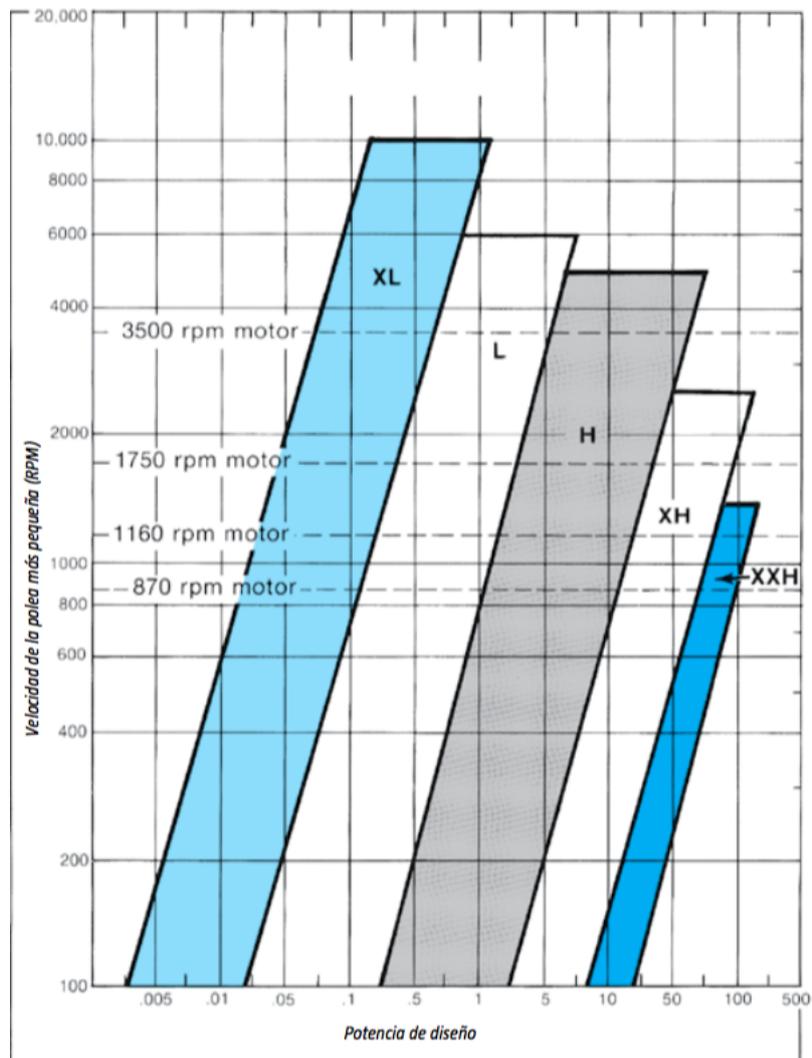


Figura 3.7: Paso de correas dentadas.

Para determinar la correa a utilizar aun necesitamos conocer otro aspecto importante, este es el ancho de correa, esto se determinara en base a ciertos datos que iremos describiendo durante el transcurso de este tema:

Ancho de la Correa

para determinar el ancho de la correa necesitamos algunos datos:

1. Relación de transición: 1
2. Número de dientes: 20
3. Velocidad de transmisión: 3500 rpm

En la figura 3.8 podemos observar cual son las potencias que nos brinda una correa de una pulgada de ancho. Con los datos de velocidad (*rpm*) y el numero de dientes de la

RPM Eje más Rápido	No. de Dientes de la Polea Pequeña												
	10XL	11XL	12XL	14XL	15XL	16XL	18XL	20XL	21XL	22XL	24XL	26XL	30XL
	Diámetro permitido de la polea pequeña												
	.837	.700	.764	.891	.955	1.019	1.146	1.273	1.337	1.401	1.528	1.783	1.910
100	.02	.02	.02	.03	.03	.03	.04	.04	.04	.04	.05	.06	.06
200	.04	.04	.05	.06	.06	.07	.07	.08	.08	.09	.10	.11	.12
300	.06	.07	.07	.09	.09	.10	.11	.12	.13	.13	.14	.17	.18
400	.08	.09	.10	.11	.12	.13	.14	.16	.17	.17	.19	.23	.24
500	.10	.11	.12	.14	.15	.16	.18	.20	.21	.22	.24	.29	.30
600	.12	.13	.14	.17	.18	.19	.22	.24	.26	.27	.29	.34	.37
700	.14	.15	.17	.20	.21	.23	.26	.28	.30	.31	.34	.40	.43
800	.16	.17	.19	.23	.24	.26	.30	.33	.34	.36	.40	.46	.49
900	.18	.20	.22	.26	.27	.30	.33	.37	.39	.40	.44	.51	.55
1000	.20	.22	.24	.29	.31	.33	.37	.41	.43	.45	.49	.57	.62
1100	.22	.25	.26	.31	.34	.36	.40	.45	.47	.49	.54	.63	.68
1160	.23	.26	.28	.33	.36	.38	.42	.46	.50	.52	.56	.66	.71
1200	.24	.27	.29	.34	.37	.39	.44	.49	.52	.54	.59	.68	.74
1300	.26	.29	.31	.37	.40	.42	.48	.53	.56	.58	.64	.74	.80
1400	.28	.31	.34	.40	.43	.46	.52	.57	.60	.63	.69	.80	.86
1500	.30	.34	.36	.43	.46	.49	.55	.61	.64	.67	.74	.86	.92
1600	.33	.36	.40	.46	.49	.53	.59	.65	.69	.72	.79	.91	.98
1700	.35	.38	.42	.49	.52	.56	.63	.67	.73	.77	.83	.97	1.04
1750	.36	.39	.43	.50	.53	.58	.64	.72	.75	.79	.86	1.00	1.07
1800	.37	.40	.44	.51	.55	.59	.66	.74	.77	.81	.88	1.03	1.10
2000	.41	.45	.49	.57	.62	.65	.74	.82	.86	.90	.98	1.15	1.23
2200	.45	.49	.54	.63	.68	.72	.81	.90	.94	.99	1.08	1.25	1.34
2400	.49	.54	.59	.68	.74	.79	.88	.98	1.03	1.07	1.18	1.37	1.46
2600	.53	.58	.64	.74	.80	.85	.96	1.06	1.12	1.17	1.25	1.48	1.58
2800	.57	.63	.69	.80	.86	.92	1.03	1.15	1.20	1.26	1.37	1.59	1.71
3000	.61	.67	.74	.86	.92	.98	1.10	1.23	1.28	1.34	1.46	1.71	1.82
3200	.65	.72	.79	.91	.98	1.05	1.18	1.30	1.37	1.43	1.56	1.81	1.94
3400	.69	.77	.83	.97	1.04	1.11	1.25	1.38	1.45	1.52	1.66	1.92	2.05
3500	.72	.79	.86	1.00	1.07	1.15	1.28	1.42	1.49	1.57	1.71	1.98	2.11
3600	.74	.81	.88	1.03	1.10	1.18	1.32	1.46	1.54	1.61	1.75	2.03	2.16
3800	.78	.83	.93	1.09	1.17	1.24	1.39	1.54	1.62	1.70	1.84	2.13	2.27
4000	.82	.90	.96	1.15	1.23	1.30	1.46	1.63	1.71	1.78	1.94	2.24	2.39
4200	.86	.94	1.03	1.20	1.28	1.37	1.53	1.71	1.78	1.86	2.03	2.35	2.50
4400	.90	.99	1.08	1.25	1.34	1.43	1.61	1.78	1.86	1.95	2.12	2.45	2.61
4600	.94	1.03	1.13	1.31	1.40	1.50	1.68	1.86	1.95	2.04	2.21	2.55	2.71
4800	.98	1.07	1.18	1.37	1.46	1.56	1.75	1.94	2.03	2.13	2.30	2.65	2.82
5000	1.02	1.12	1.23	1.42	1.52	1.63	1.82	2.01	2.11	2.20	2.39	2.75	2.92
5500	—	—	—	—	1.67	1.78	2.00	2.20	2.30	2.41	2.61	2.99	3.18
6000	—	—	—	—	1.82	1.94	2.16	2.39	2.50	2.61	2.82	3.23	3.41
6500	—	—	—	—	1.96	2.09	2.34	2.57	2.69	2.80	3.03	3.42	3.64
7000	—	—	—	—	2.11	2.24	2.50	2.75	2.87	2.99	3.23	3.65	3.84
7500	—	—	—	—	2.25	2.39	2.66	2.92	3.05	3.18	3.41	3.84	4.03
8000	—	—	—	—	—	—	2.82	3.10	3.23	3.34	3.59	4.02	4.21
8500	—	—	—	—	—	—	2.97	3.26	3.39	3.52	3.76	4.19	4.37
9000	—	—	—	—	—	—	3.13	3.41	3.55	3.68	3.92	4.34	4.51
9500	—	—	—	—	—	—	3.28	3.56	3.70	3.83	4.07	4.47	4.63
10000	—	—	—	—	—	—	3.41	3.71	3.84	3.97	4.21	4.59	4.72

Los valores impresos en azul pueden ser usados si una reducción de la vida útil de la correa es permitida

NOTA
Para encontrar la capacidad en HP de anchos diferentes a una pulgada (1"), multiplique el valor de la tabla por el factor de ancho a continuación:

Factores de Ancho											
Ancho Correa	1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	5/8	3/4	7/8	1	1-1/4	1-1/2
Factor de Ancho	.15	.21	.28	.35	.42	.57	.71	.86	1.0	1.29	1.56

Figura 3.8: Potencias de diseño.

polea se obtendrá una potencia con la verificaremos si es la necesaria o se debe sustituir por otra correa de diferente ancho. Con una pulgada la potencia que transmite la correa es:

$$P_t = 1,42HP.$$

La correa de una pulgada nos brinda una potencia de transmisión muy diferente a la potencia requerida que es de 0,10 HP , por lo tanto necesitamos buscar una correa con un ancho menor a una pulgada que cumpla con este requerimiento. Por lo tanto utilizaremos la siguiente formula

$$P_c = P_t F_a. \tag{3.5}$$

En donde se encontrara la nueva potencia P_c de la correa en base a 2 datos, uno de ellos es la potencia transmisión de la correa P_t que se encontró en el punto anterior. y el otro dato es el factor de ancho F_a el cual lo encontramos en la figura 3.8, con esto podemos reemplazar datos en la ecuación 3.5 con un valor de 0.15 para el factor de ancho. Por lo

tanto nuestra nueva potencia de la correa ser igual a:

$$P_c = 0,213HP.$$

Esta potencia si satisface las necesidades de trabajo, porque es la mas cercana a la potencia requerida, con esto no se sobre dimensiona el tamaño de la correa, lo único que nos falta para concluir con este punto es conocer la longitud de la correa, este dato se toma en base al diseño, teniendo en cuenta la distancia entre las poleas donde se situara la correa, esta longitud es igual a:

$$L_c = 270mm(11pulg).$$

Con esto podemos determinar la correa a utilizar, nos basaremos en la nomenclatura que nos proporciona Intermec [8] (ver anexos) la cual es:

$$110XL025.$$

3.6. Calibración

Un aspecto importante dentro del corte láser es la calibración de los espejos, de esto depende que el haz de luz láser llegue correctamente a la pieza de trabajo por lo tanto una buena calibración nos garantiza un buen trabajo de corte, así también una mala calibración en algún espejo hace que el haz se dirija incorrectamente y pierda focalización, generando así un trabajo inconcluso y de mala calidad.

Nuestro haz de luz, tiene una longitud de onda de 10,6 μm , este espectro es invisible a los ojos del ser humano por lo tanto se necesita un método de prueba y error para lograr la correcta calibración, por lo tanto se utilizara un método denominado 5 puntos que consiste en calibrar cada espejo en cada eje de movimiento.

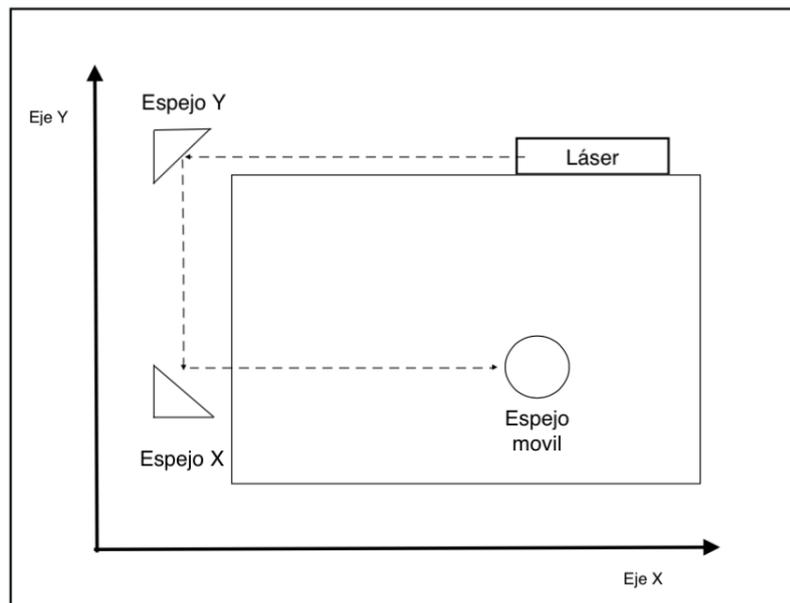


Figura 3.9: Nombres de referencia.

En la figura 3.9 tenemos 3 elementos importantes dentro de nuestra maquina, de estos depende la focalización del haz de luz láser, estos son:

1. Espejo Y: Es un espejo fijo este se encarga de localizar el láser a lo largo del eje Y.
2. Espejo X: Es un espejo móvil, este se encarga de localizar el láser a lo largo del eje X.
3. Espejo móvil: este se mueve a través de los 2 ejes, localizando el haz láser sobre un punto en la pieza de trabajo.

Para empezar con la calibración de los espejos es importante tener encendido la bomba de agua, porque el láser se accionara durante este proceso, no es importante el funcionamiento del extractor de humo, ya que no se realizara un trabajo extenso.

3.6.1. Calibración eje X

1. Se coloca un pedazo de acrílico en la entrada del espejo móvil, posteriormente a esto posicionaremos el espejo móvil en la parte superior izquierda de la máquina, y realizamos un disparo mediante el botón de test que se encuentra en el tablero de control, posterior a esto colocaremos el espejo móvil en la parte superior derecha de la máquina y se realiza un segundo disparo. Si el eje X se encuentra bien calibrado los puntos coincidirán, de no ser así y los disparos no coinciden se procede a ajustar el espejo X.

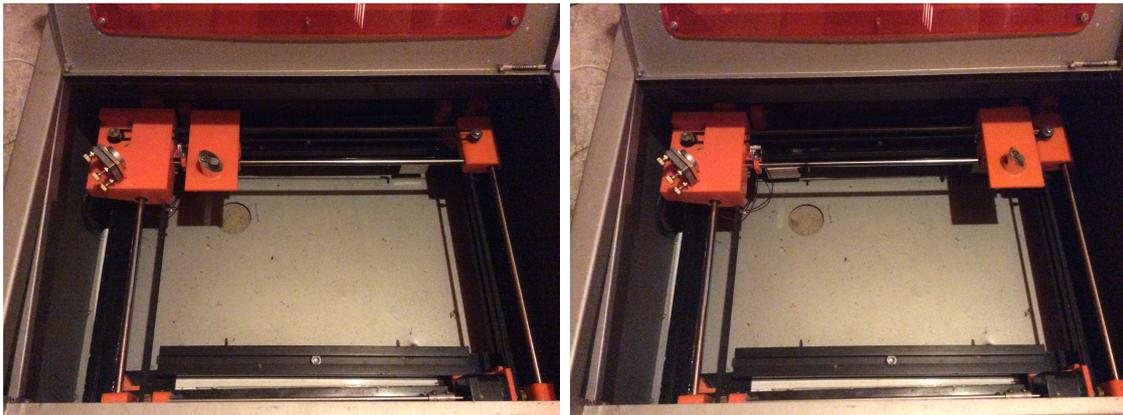


Figura 3.10: Calibración eje X.

2. Para ajustar los espejos disponemos de tres tornillos, estos mueven al espejo dependiendo si atornillamos o desatornillamos, para realizar la calibración exacta del espejo X, debemos ir moviendo estos tornillos de tal manera que al disparar el láser estos puntos coincidan en las dos posiciones 3.10 en las que se encuentre espejo móvil.

3.6.2. Calibración eje Y

3. Una vez posicionado el eje X, posicionamos el espejo móvil cerca del espejo X y en la esquina inferior izquierda. Colocamos un pedazo de acrílico frente al espejo X y disparamos el láser, este debe dar en el centro del acrílico, de no ser así se ajusta el espejo Y, hasta que el punto del haz láser de directamente sobre el espejo X.

- Una vez ajustados el eje x e y , realizaremos el paso 1, pero en las esquinas inferiores de la máquina, de este modo el error sera mayor y la calibración sera mas precisa. Para que la calibración sea exacta en los 4 puntos se realiza lo mismo que en el segundo paso hasta que el haz láser coincida en el mismo punto.

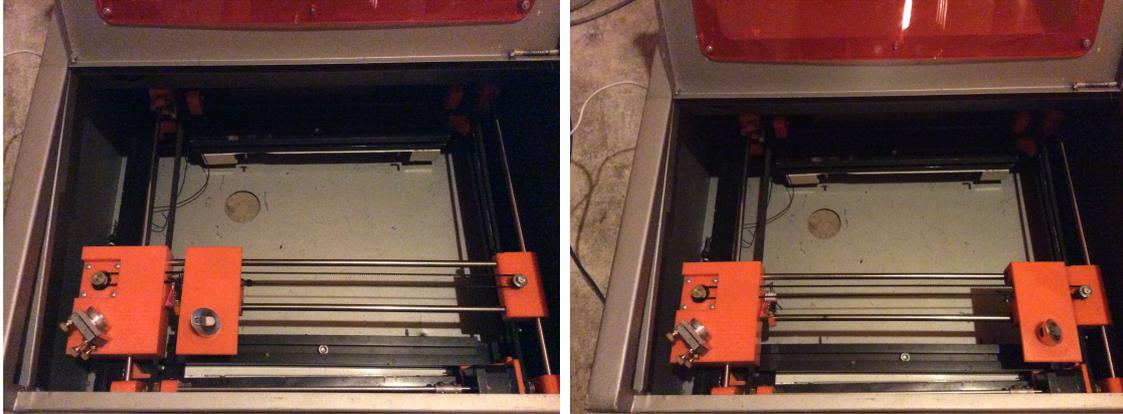


Figura 3.11: Calibración eje Y.

3.6.3. Calibración espejo móvil

- Después de haber terminado de calibrar en los 4 puntos se procede a calibrar el espejo móvil, para esto colocamos el espejo móvil en el centro de la máquina y una hoja en la plataforma de corte, al disparar el láser este debe reflejarse sobre el papel. De no ser así debemos centrar el lente focal hasta lograr que el haz láser se focalice en el papel.
- Después de haber terminado de calibrar en los 4 puntos se procede a calibrar el espejo móvil, para esto colocamos el espejo móvil en el centro de la máquina y una hoja en la plataforma de corte, al disparar el láser este debe reflejarse sobre el papel. De no ser así debemos centrar el lente focal hasta lograr que el haz láser se focalice en el papel.

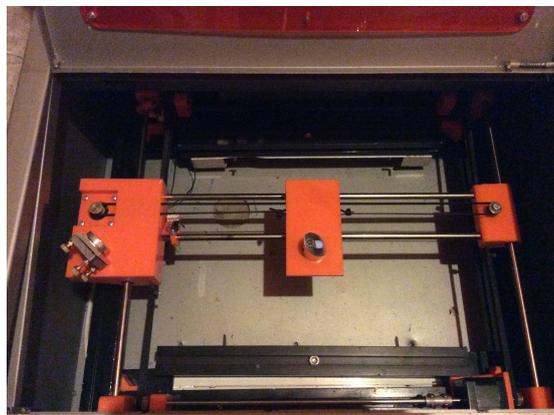


Figura 3.12: Calibración espejo móvil.

Capítulo 4

Resultados

Esta sección se dividirá en 3 fases, en las cuales analizaremos diferentes aspectos de la maquina como son:

1. Trayectorias generadas por el sistema CNC: Se realizaran diferentes tipos de grabado variando las formas de los dibujos con el fin verificar el correcto funcionamiento de los patrones generados por el sistema CNC.
2. Velocidad y Potencia: Se realiza pruebas de corte a diferentes velocidad y potencias para determinar empíricamente cual es la velocidad y la potencia requerida para el corte de acrílico para espesor de 3 mm.
3. Corte y Resultado: en este punto variaremos la potencia del láser y así verificar cual es la potencia necesaria para realizar el corte.

Con las diferentes tablas se podrá analizar el funcionamiento respectivo de la maquina, con esto se validará la eficiencia del presente proyecto.

4.1. Trayectorias generadas por el sistema CNC

Para determinar la trayectoria de trabajo del sistema CNC, se hará el análisis mediante grabado en mdf, a una velocidad arbitraria de 50 mm/s. La maquina puede trabajar en un rango de 1 a 200 mm/s.

Pruebas de trayectorias		
Figura	trayectoria	tiempo (s)
Cuadrados	cumplió	208
Rombos	cumplió	208
Circunferencias	cumplió	160
Estrellas	cumplió	230
Engranajes	cumplió	320
Palabras	cumplió	470

Cuadro 4.1: Trayectorias generadas por el sistema CNC



Figura 4.1: Pruebas de complejidad donde se observa la trayectoria del CNC para diferentes figuras.

Para diferentes modelos de dibujo no existe ningún error en la máquina, el dibujo en el software es similar al de la pieza de trabajo incluso en curvas muy cerradas la máquina logra su objetivo, al igual la velocidad no es ningún inconveniente en el proceso de grabado, no existe ninguna interferencia o pérdida de pasos en ningún momento del trabajo, la máquina se probó durante 30 minutos sin ninguna interrupción por lo cual se puede validar el correcto funcionamiento al momento de realizar trabajos complejos.

4.2. Velocidad y Potencia

Realizaremos 3 tipos de pruebas con voltajes de entrada en el láser de 3, 4 y 5 V. Y velocidades de 7, 5 y 3 mm/s, para determinar cual es la velocidad de corte óptima y a que potencia se logra un mejor corte.

Cabe recalcar un aspecto importante, como se pudo ver en la tabla 4.2 la velocidad es directamente proporcional a la potencia de trabajo, entre mayor velocidad mayor debe ser

Pruebas Corte		
Velocidad (<i>mm/s</i>)	Voltaje (v)	Resultado
7	3	NO
	4	NO
	5	NO
5	3	NO
	4	NO
	5	SI
3	3	NO
	4	SI
	5	SI

Cuadro 4.2: Tabla de resultados con potencia de 3 v.

la potencia para realizar la perforación del acrílico y así generar el corte. El voltaje óptima de corte es de 5 V esto ya lo definimos en el capítulo anterior en la sección velocidad de corte.

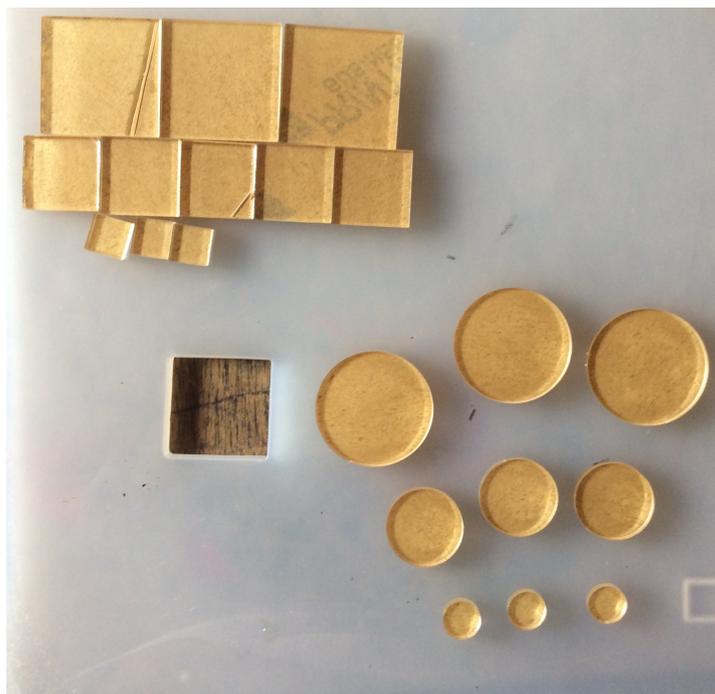


Figura 4.2: Pruebas de corte.

4.3. Corte y Resultado

Una vez que se comprobó la trayectoria de la CNC y que si realiza el corte de acrílico, vamos a realizar directamente el corte de piezas con diferentes medidas y comprobaremos:

1. La calidad de corte.
2. La precisión entre el dibujo y la pieza final.

Con estos 2 puntos podemos validar cual es el error de máquina, por lo tanto las pruebas serán de 4 veces por pieza y tamaño, tomando las medidas de la pieza final y la pieza de dibujo con un calibrador de precisión de 0.05 mm.

Corte de acrílico

Medidas Teóricas mm^2	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Error
10 × 10,00	9,95 × 10,00	10,00 × 10,00	10,00 × 10,05	10,00 × 10,00	0.5
20 × 20,05	20,00 × 19,95	20,05 × 20,00	20,00 × 19,95	20,00 × 20,00	1
30 × 30,00	30,00 × 30,00	30,05 × 30,00	30,00 × 30,00	30,00 × 30,00	0.5

Cuadro 4.3: Cuadrados de 3 mm de espesor y lados de 10, 20 y 30 mm.

Corte acrílico

Diámetro (mm)	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Error
10	10,00	9,95	10,00	9,95	1
20	19,95	20,00	20,00	20,00	0,5
30	30,05	29,95	30,00	30,00	1

Cuadro 4.4: Círculos de 3 mm de espesor y diámetros de 10, 20 y 30 mm.

Desde la imagen 4.3 hasta la imagen 4.8 se puede observar los diferentes tipos de corte realizados con sus respectivas repeticiones y mediciones, estos datos son reflejados en las tablas 4.3 y 4.4, donde se puede observar que el error máximo fue de 0,5 mm en 2 ocasiones, una de las principales razones fue por el calentamiento que sufre el acrílico durante el corte, por lo cual tiende a deformarse provocando así un error en el corte.

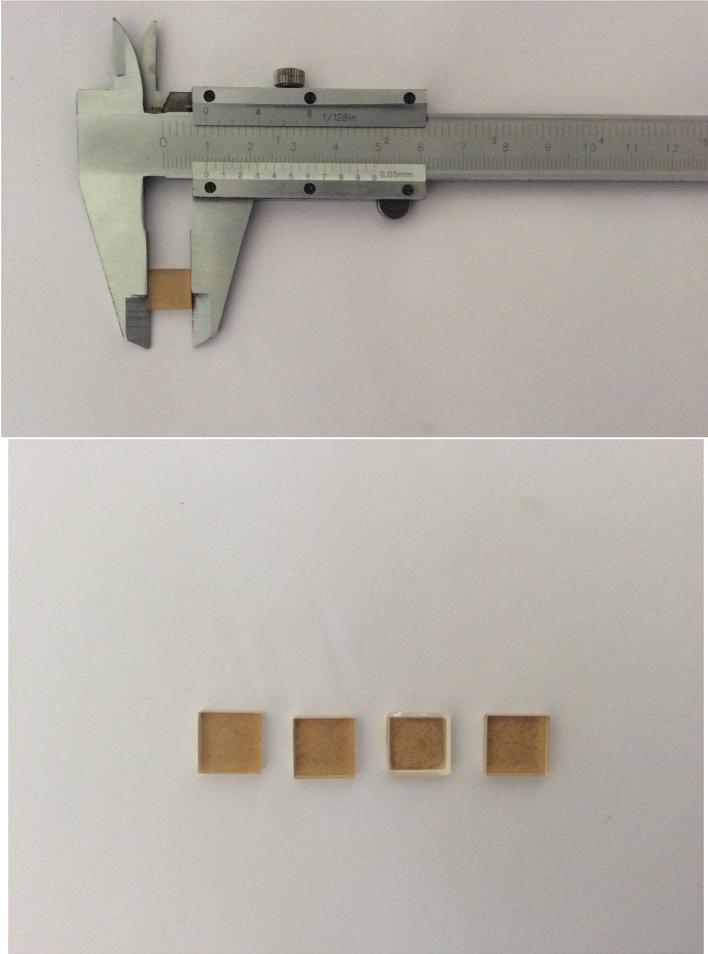


Figura 4.3: Pruebas de corte 10 mm por lado.

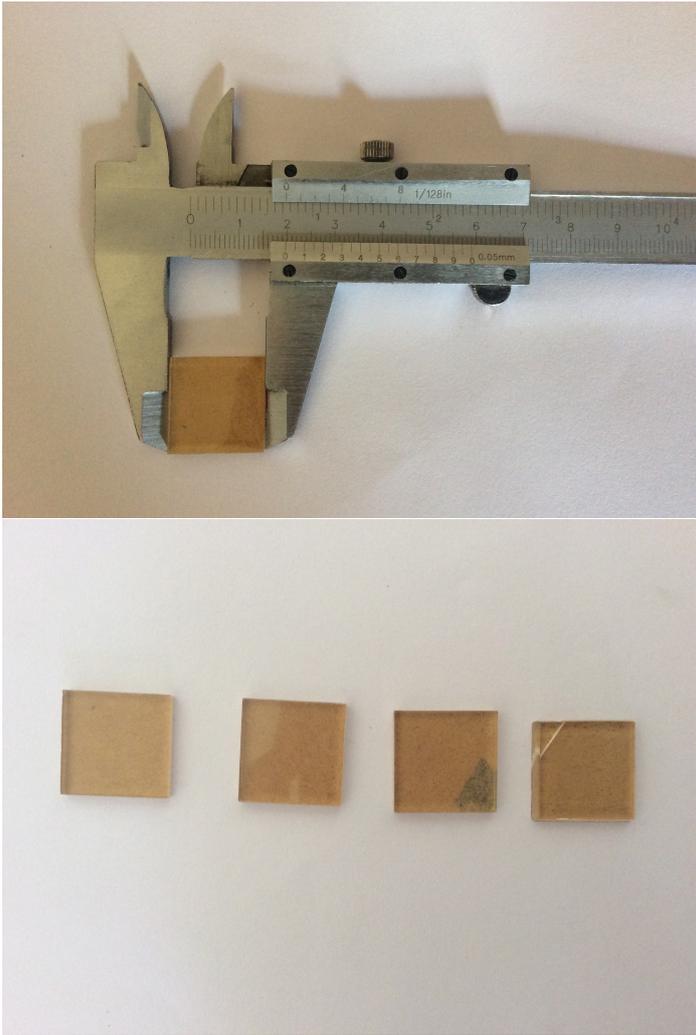


Figura 4.4: Pruebas de corte 20 mm por lado.



Figura 4.5: Pruebas de corte 30 mm por lado.

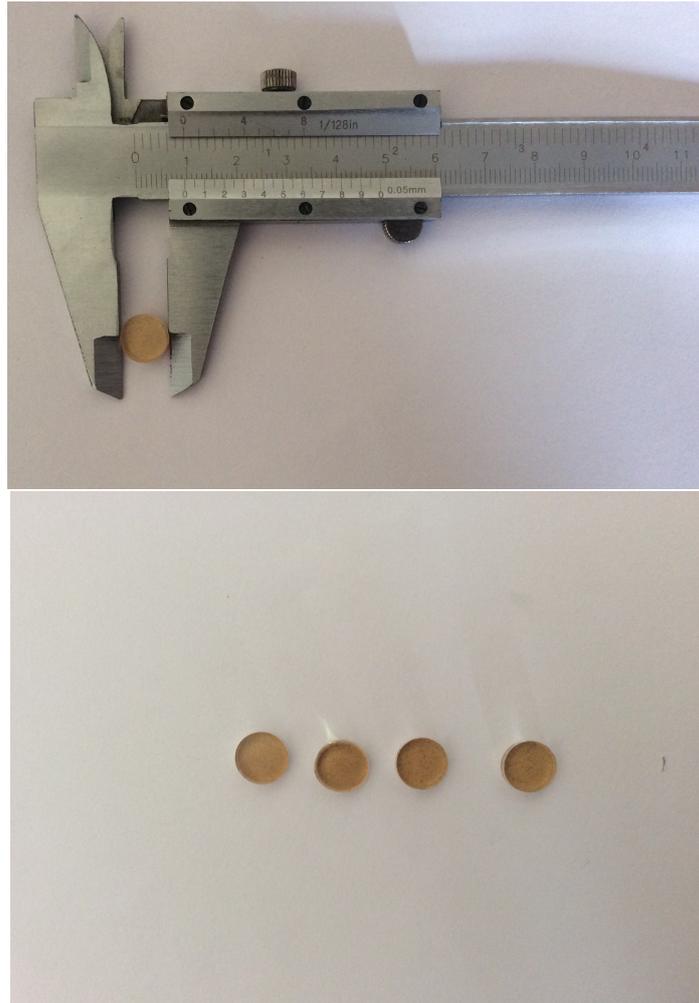


Figura 4.6: Pruebas de corte de 10 mm de diámetro.

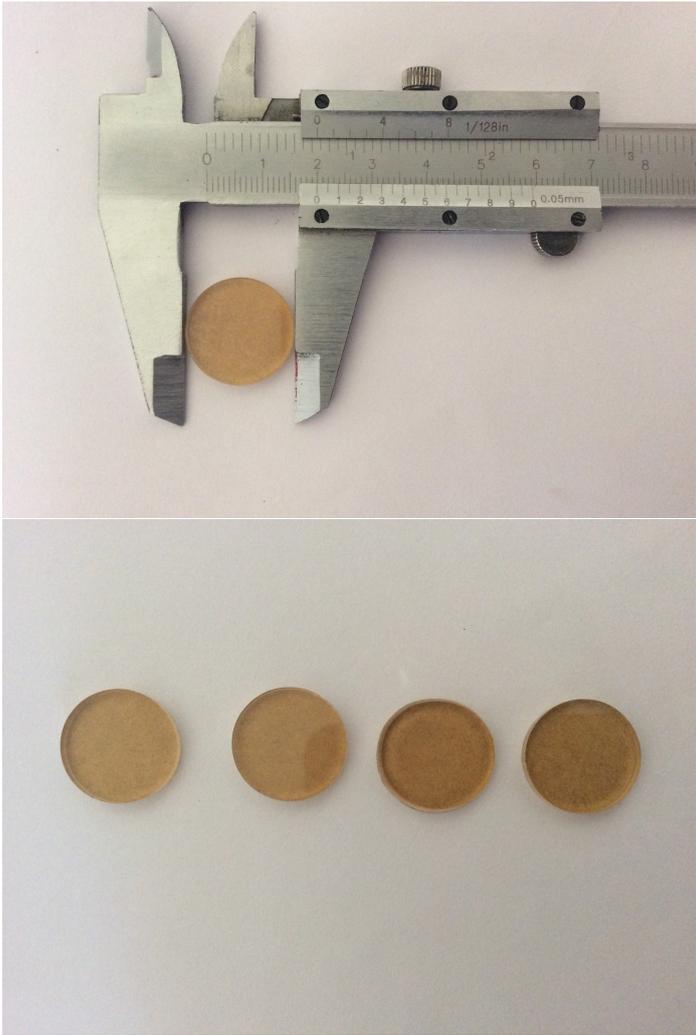


Figura 4.7: Pruebas de corte de 20 mm de diámetro.

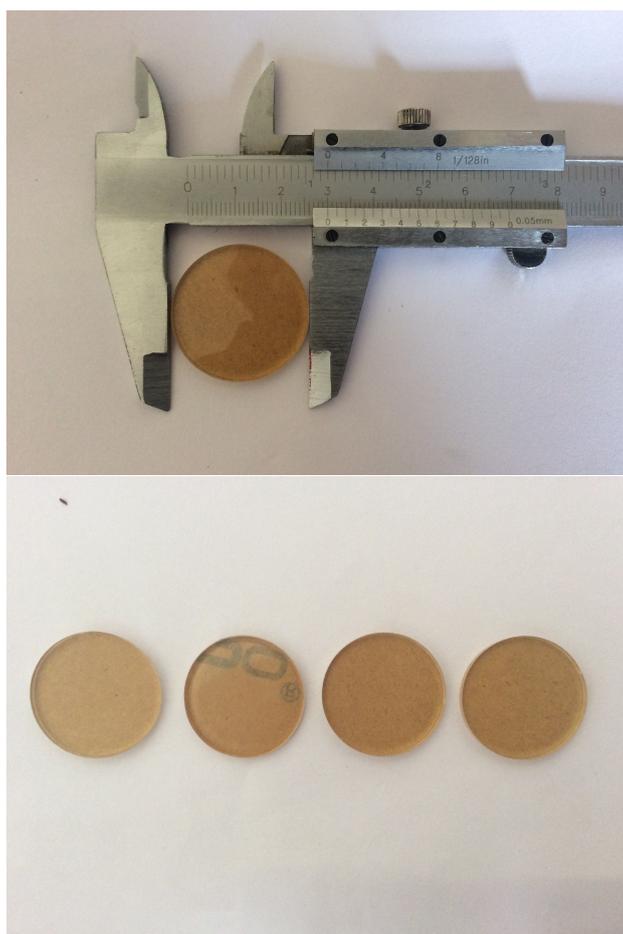


Figura 4.8: Pruebas de corte de 30 mm de diámetro.

Capítulo 5

Conclusiones Y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

Se ha definido parámetros de la maquina y en el transcurso de el trabajo se ha cumplido con cada unos de los objetivos planteados dentro de los requerimientos de diseño, esta maquina lleva consigo nuevas mejoras con respecto a dispositivos antes mencionados en la literatura [10] y [6] . Primero se ha disminuido considerablemente el peso de la maquina, gracias a que las piezas realizadas son de polímero, el área de trabajo es mayormente utilizado, con un espacio de trabajo de 20 por 30 cm, la velocidad de trabajo del sistema CNC ahora se puede llegar a velocidades de 200 mm/s. Cada uno de los componentes mecánicos se han desarrollado mediante impresión 3D lo que nos garantiza que las dimensiones de las piezas cumplen con los requerimientos de diseño. La placa electrónica utilizada nos brinda grandes ventajas en cuanto a facilidad de trabajo, ya que los drivers de los motores vienen incluidas directamente en la placa, esto representa un gran ahorro económico ya que no se debe adquirir por separado además de un ahorro de espacio. Adicionalmente, nos permite implementar nuevas opciones de control, por ejemplo una pantalla táctil para el encendido y control del láser. Con esto la interfaz usuario máquina es mas amigable al operador. Se ha validado el funcionamiento correcto de la máquina, esta cumple con diversas pruebas de cortes obteniendo un error porcentual de lo cual es aceptable para las dimensiones de las piezas que se puedan cortar en esta maquina.

5.2. Recomendaciones

En futuras investigaciones se recomienda aumentar la potencia del láser para poder trabajar en metales. Además, se puede aumentar el área de trabajo para realizar cortes de piezas de mayores dimensiones. Desde un punto de vista comercial, sería pertinente desarrollar un sistema de CNC láser para el corte de patrones en el área textil.

Bibliografía

- [1] C Acuña y col. “Diseño y construcción de un prototipo de una máquina taladora de control numérico computarizado.” B.S. thesis. LATACUNGA/ESPE/2005, 2005.
- [2] Irming Isaac Hernandez Bello. “Control difuso y construcción de un mecanismo capaz de golpear con distintos efectos una bola de billar”. En: (2004).
- [3] Demo Educativa CATEDU. *Transmisión por poleas y correas o cadenas*. URL: http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1101/html/3_transmision_por_poleas_y_correas_o_cadenas.html.
- [4] Arch. Lenis Cerón. *Acero de refuerzo*. URL: <http://lenisrevitarchitecture.com/2015/11/acero-de-refuerzo-nsr10.html>.
- [5] The Fabricator. *Mejores sistemas de accionamiento y tecnología de corte*. URL: <https://www.thefabricator.com/spanish/ningan-agujero-en-la-historia-del-corte-por-laser-moderno>.
- [6] Burneo Álvarez Diego Fernando y Egas Castillo Emilio José. “Diseño, Ensamblaje e Implementación de una cortadora láser automática para la empresa Energypetrol.” En: ().
- [7] Laser Institute. *Conociendo la historia del Láser*. URL: <https://laserinstitutesc.wordpress.com/2014/08/11/resena-historica-del-laser/>.
- [8] LABORATORIOS INTERMEC. “Transmisiones por correas dentadas de tiempo y sincrónicas.” En: *Manual de Selección*. URL: http://lab.transmitec.com/wp-content/uploads/2014/06/manual_poleas_dentadas_intermec.pdf.
- [9] G. y Klein R. y Loosen P. Maerten O. y Herziger. “Medio láser / Interacción de campo del resonador de flujo axial rápido CO₂ - Láseres”. En: *Láseres de alta potencia: fuentes, interacciones de material láser, excitaciones altas y dinámicas rápidas en el procesamiento de láser y aplicaciones industriales*. Ed. por A. y Schuoecker D. Kreutz E. W. y Quenzer. procsPie. DOI: 10.1117/12.941220.
- [10] Alonso Ricardo Pérez Espinoza. “Diseño de una cortadora láser CNC de CO₂ para acrílicos y madera”. En: (2015).
- [11] Juan Jose Peters. *Introducción al control numérico computarizado*. URL: [http://wiki.ead.pucv.cl/Introduccion_al_control_numerico_computarizado_\(CNC\)](http://wiki.ead.pucv.cl/Introduccion_al_control_numerico_computarizado_(CNC)).
- [12] John Powell. *CO₂ laser cutting*. Vol. 214. Springer, 1993.
- [13] “Algunas propiedades fundamentales del haz láser de alta potencia como fuente de calor (Informe 2): CO₂, Características de absorción del láser del metal”. En: *Transacciones de Japan Welding Society* 1 (). Ed. por Corporación Social de Sociedad Legal.

- [14] Trotec. *Corte y grabado de acrílico*. URL: <https://www.troteclaser.com/es-es/aplicaciones/acrilico-plexiglas/>.
- [15] Vinuar. *Máquinas y Mecanismos*. URL: <http://vinuar75tecnologia.pbworks.com/f/maquinas+y+mecanismos+1%e2%80%99eso.pdf>.
- [16] McGraw-Hill Nueva York, ed. *Diseño de ingeniería mecánica de Shigley*.

Anexos