



**“UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA”**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA:**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CORTADORA  
LÁSER PARA PAPEL CON INTERFAZ GRÁFICA”**

**Autor:**

**PADILLA ORTIZ ROXANA NATALI**

**Director:**

**Ing. COSME MEJIA Msc.**

**Ibarra – Ecuador**

**2017**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**  
**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN**

**1. 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 se pone a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DEL AUTOR</b>	
<b>CEDULA DE IDENTIDAD</b>	100385960-8
<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	Padilla Ortiz Roxana Natali
<b>DIRECCIÓN</b>	Pasquel Monje 2-34 y Benjamín Carrión
<b>E-MAIL</b>	newroxy_90@hotmail.com
<b>TELÉFONO MÓVIL</b>	0987806404
<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO</b>	“Diseño y construcción de una cortadora láser para papel con interfaz gráfica”
<b>AUTOR</b>	PADILLA ORTIZ ROXANA NATALI
<b>FECHA</b>	JULIO DEL 2017
<b>PROGRAMA</b>	PREGRADO
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA</b>	INGENIERO EN MECATRÓNICA
<b>ASESOR</b>	Ing. Cosme Mejía.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

## **2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD**

Yo, Roxana Natali Padilla Ortiz, con cédula de identidad Nro. 100385960-8, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del 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.

## **3. CONSTANCIAS**

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

Ibarra, Julio del 2017

  
Padilla Ortiz Roxana Natali

C.I. 100385960-8



**“UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS”**

**DECLARACIÓN:**

Yo, Roxana Natali Padilla Ortiz, con cédula de identidad N° 100385960-8, declaro bajo juramento que: el trabajo aquí descrito es de mi autoría; y que éste no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la “Universidad Técnica del Norte”, según lo establecido por las Leyes de la Propiedad Intelectual, Reglamentos y Normativa vigente de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, julio del 2017

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Roxana Natali Padilla Ortiz'.

Padilla Ortiz Roxana Natali

C.I. 100385960-8



**“UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS”**

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE  
LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Roxana Natali Padilla Ortiz con cédula de identidad N° 100385960-8; manifiesto mi voluntad de ceder a la “Universidad Técnica del Norte” los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4,5,6, en calidad de autor del trabajo de grado denominado; **“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA CORTADORA LÁSER PARA PAPEL CON INTERFAZ GRÁFICA”**, que ha sido desarrollado para optar por el título de; **Ingeniero en Mecatrónica** en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, julio del 2017



Padilla Ortiz Roxana Natali

C.I. 100385960-8



**“UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS”**

**CERTIFICO**

Que la Tesis previa a la obtención del título de **Ingeniero en Mecatrónica** con el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CORTADORA LÁSER PARA PAPEL CON INTERFAZ GRÁFICA”**, ha sido desarrollado y terminado en su totalidad por la Srta. Roxana Natali Padilla Ortiz, con cédula de identidad 100385960-8, bajo mi supervisión para lo cual firmo en constancia.



Ing. Cosme Mejía.  
**DIRECTOR**



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

#### AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradezco a Dios porque día a día ha guiado mis pasos y me ha dado la fortaleza para seguir adelante.

A mis padres María Ortiz y Cesar Padilla por brindarme su apoyo incondicional, y enseñarme que siempre debo seguir adelante sin importar los obstáculos que se me presenten.

A mi familia y seres queridos por permanecer a mi lado, dándome su apoyo y la fuerza necesaria para culminar mi carrera.

A cada uno de los docentes, personas de gran sabiduría quienes se han esforzado por ayudarme a llegar al punto en el que me encuentro.

**Roxana P.**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios y a mi familia que se encontraron a mi lado durante todo este proceso brindándome su apoyo, cariño y comprensión, alentándome en todo momento. Ellos me enseñaron que con dedicación, esfuerzo y perseverancia se pueden cumplir todas las metas que nos planteemos.

**Roxana P.**

## RESUMEN

La cortadora láser para papel con interfaz gráfica es una máquina que realiza cortes y grabados en diferentes clases de papel, con el uso de una interfaz gráfica en la cual se puede realizar el diseño que se quiere cortar o grabar para que la máquina realiza el corte con la herramienta que en este caso es un láser de baja potencia, de esta manera el operario puede realizar diversos diseños para obtener tarjetas personalizadas de acuerdo al requerimiento que presente el cliente de una manera más eficiente, debido a que antes estos trabajos se los enviaba a realizar a la ciudad de Quito por lo que al implementar esta máquina se acorta el tiempo de entrega, se aumenta la calidad, y disminuyen los costos de producción.

Añadiendo el hecho de que no solo se pueden realizar cortes sino también grabados en materiales como fomix, madera y cartón.

Se determinaron los requerimientos de la cortadora, las dimensiones, las cargas a soportar y de acuerdo a esta información se seleccionó el material, el sistema de transmisión, la herramienta de corte, el actuador y el controlador para la máquina.

## **ABSTRACT**

The laser cutter for paper with graphic interface is a machine that cuts and engraves different types of paper, using a graphical interface in which the design can be made that is cut or engraved for the machine to make the cut with the tool that in this case is a low power laser, in this way the operator can make various designs to obtain customized cards according to the requirement that the client presents in a more efficient way, because before this work was sent To be made to the city of Quito.

So when this machine is implemented, delivery time is shortened, quality is increased and production costs are reduced, adding that not only cuts can be made but also engraved in materials such as Fomix, wood and cardboard.

The requirements of the cutter, the dimensions, the loads to be supported were determined and according to this information the material, the transmission system, the cutting tool, the actuator and the controller for the machine were selected.

## CONTENIDO

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	i
2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD. ....	ii
3. CONSTANCIAS.....	ii
AGRADECIMIENTO .....	vi
DEDICATORIA .....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
CAPITULO 1.....	1
1.1 TITULO.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.3 OBJETIVOS .....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 ALCANCE.....	2
1.5 JUSTIFICACIÓN .....	3
CAPITULO 2.....	4
2.1 ANTECEDENTES.....	4
2.2 MARCO TEÓRICO.....	5
2.2.1 MÉTODOS PARA CORTE DE PAPEL.....	5
2.2.2 EL LÁSER.....	6
2.2.3 CORTE DE PAPEL CON LÁSER.....	7
2.3 MÁQUINAS CNC PARA CORTE.....	8
2.3.1 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE UNA CNC LÁSER .....	9
2.3.2 COMPONENTES DE UNA CNC LÁSER .....	10
2.3.2.1 Actuadores .....	10
2.3.2.1.1 Motores Paso a Paso (MPP).....	10
2.3.2.1.2 Servomotores .....	11
2.3.2.2 Láseres en máquinas CNC.....	12
2.3.2.3 Controlador CNC .....	12
2.3.3 SECUENCIA QUE SIGUE UNA CNC .....	12
2.3.4 PROGRAMACIÓN CON CONTROL NUMÉRICO.....	13
2.3.5 COMANDOS GENERALES DE UN PROGRAMA CNC .....	13

2.3.6 SOFTWARE PARA MÁQUINAS CNC.....	14
CAPITULO 3.....	15
3.1 PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO .....	15
3.2 LISTA DE REQUERIMIENTOS .....	15
3.3 MATRIZ MORFOLÓGICA .....	16
3.4 EVALUACIÓN DE SOLUCIONES .....	16
3.5 SELECCIÓN DE COMPONENTES DE LA CORTADORA LÁSER.....	17
3.5.1 ESTRUCTURA .....	17
3.5.2 DISEÑO DE MÓVIL.....	17
3.5.2.1 Deflexión en vigas para eje X .....	18
3.5.2.1 Deflexión en vigas para eje Y .....	19
3.5.2.3 Cálculo fuerza cortante y momento flexionante para eje X.....	20
3.5.2.4 Cálculo fuerza cortante y momento flexionante para eje Y .....	21
3.5.3 SISTEMA DE TRANSMISIÓN .....	22
3.5.3.1 Transmisión por tornillo de bolas recirculantes.....	23
3.5.3.2 Transmisión por piñón – cremallera .....	24
3.5.3.3 Transmisión por correa de caucho .....	25
3.5.3.4 Selección del sistema de transmisión.....	26
3.5.4 GUIAS LINEALES .....	26
3.5.5 ACTUADORES.....	27
3.5.5.1 Selección de Motores de Paso.....	27
3.5.6 FINALES DE CARRERA.....	28
3.5.7 SELECCIÓN DE LÁSER.....	29
CAPITULO 4.....	30
4.1 SOFTWARE INKSCAPE.....	30
4.1.1 CONFIGURACIÓN DE SOFTWARE INKSCAPE .....	33
4.1.1.1 Configuración parámetros iniciales Inkscape .....	33
4.1.1.2 Vectorización de una imagen en Inkscape .....	35
4.1.1.3 Generación de Código G en Inkscape.....	38
4.2 SOFTWARE MACH3 .....	41
4.2.1 CONFIGURACIÓN DE SOFTWARE MACH3.....	46
4.2.1.1 Configuración parámetros iniciales Mach3 .....	46
CAPITULO 5.....	50

5.1 CONFIGURACIÓN DE MOTORES .....	50
5.1.1 PASOS POR UNIDAD.....	50
5.1.2 CÁLCULO CONTROLADOR MECÁNICO .....	50
5.1.3 DETERMINACIÓN DE VELOCIDAD DE CORTE MEDIANTE PRUEBAS REALIZADAS.....	51
5.1.4 MONTAJE SISTEMA DE TRANSMISIÓN .....	53
5.2 MONTAJE DEL SISTEMA DE CONTROL.....	54
5.3 IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS .....	55
5.3.1 PRUEBAS DE CORTE .....	56
5.3.2 PRESUPUESTO .....	60
5.3.3 ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO .....	60
CONCLUSIONES .....	62
RECOMENDACIONES .....	63
BIBLIOGRAFÍA .....	64
ANEXOS .....	66
ANEXO 1.....	66
MANUAL DE USUARIO .....	66
ANEXO 2.....	67
MANUAL DE MANTENIMIENTO .....	67
ANEXO 3.....	68
PLANOS MECÁNICOS DE LA CORTADORA .....	68
ANEXO 4.....	69
DIAGRAMA DE CONEXIONES Y VISTAS DEL GABINETE DE CONTROL.....	69

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Resumen de los diferentes Tipos de Láser [4].....	7
Figura 2.2 Esquema de sistema de corte por láser [6] .....	8
Figura 2.3 Motor paso a paso [7] .....	11
Figura 2.4 Servomotor [8].....	11
Figura 3.1 Mecanismo de movimiento .....	18
Figura 3.2 Límites de deflexión [10] .....	19
Figura 3.3 Diagrama de cargas Eje X .....	20
Figura 3.4 Diagrama de fuerza cortante eje X .....	20
Figura 3.5 Diagrama de momento flexionante eje X.....	20
Figura 3.6 Diagrama de cargas eje Y .....	21
Figura 3.7 Diagrama de esfuerzo cortante eje Y.....	22
Figura 3.8 Diagrama de momento flexionante eje Y .....	22
Figura 3.9 Tornillo de bolas recirculantes [11].....	23
Figura 3.10 Transmisión piñón-cremallera [11] .....	24
Figura 3.11 Transmisión por correa de caucho [11] .....	25
Figura 3.12 Guías lineales tipo $\Omega$ .....	27
Figura 3.13 Motores paso NEMA 23 y drivers.....	27
Figura 3.14 Finales de carrera [12] .....	28
Figura 3.15 Módulo láser infrarrojo.....	29
Figura 4.1 Abrir instalador Inkscape.....	30
Figura 4.2 Aceptar términos de licencia Inkscape .....	31
Figura 4.3 Seleccionar instalación típica Inkscape .....	31
Figura 4.4 Empezar instalación Inkscape .....	32
Figura 4.5 Proceso de Instalación Inkscape .....	32
Figura 4.6 Fin de instalación Inkscape.....	33
Figura 4.7 Ventana de trabajo Software Inkscape .....	33
Figura 4.8 Abrir documento nuevo en Inkscape .....	34
Figura 4.9 Selección de unidades predeterminadas en Inkscape .....	34
Figura 4.10 Establecer tamaño personalizado del área de trabajo .....	35
Figura 4.11 Imagen creada en Inkscape.....	36

Figura 4.12 Imagen copiada a Inkscape.....	36
Figura 4.13 Ventana para vectorizar una imagen .....	37
Figura 4.14 Imagen Vectorizada.....	37
Figura 4.15 Ventana configuración de puntos de orientación de Inkscape .....	38
Figura 4.16 Ventana para selección de herramienta .....	39
Figura 4.17 Datos herramienta predeterminada.....	39
Figura 4.18 Datos configurados para el uso del láser .....	40
Figura 4.19 Ventana trayecto a GCode.....	40
Figura 4.20 Código G generado.....	41
Figura 4.21 Abrir instalador MACH3.....	42
Figura 4.22 Aceptar términos de licencia MACH3 .....	42
Figura 4.23 Seleccionar ruta de instalación MACH3 .....	43
Figura 4.24 Seleccionar paquete de programas a instalar.....	43
Figura 4.25 Selección perfiles de MACH 3.....	44
Figura 4.26 Empezar instalación MACH3.....	44
Figura 4.27 Proceso instalación MACH3 .....	45
Figura 4.28 Fin instalación MACH3.....	45
Figura 4.29 Ventana Selección del perfil en Mach3 .....	46
Figura 4.30 Ventana Ports and Pins .....	46
Figura 4.31 Configuración input signals.....	47
Figura 4.32 Configuración Motor Outputs .....	47
Figura 4.33 Configuración output signals.....	48
Figura 4.34 Configuración Motor Signal.....	48
Figura 4.35 Configuración de Home and Limits .....	49
Figura 4.36 Código G cargado en Mach3 .....	49
Figura 5.1 Código G cargado en Mach3 .....	51
Figura 5.2 Velocidad de corte .....	53
Figura 5.3 Montaje del sistema de transmisión.....	53
Figura 5.4 Vista interna caja de control .....	54
Figura 5.5 Vista externa gabinete de control .....	55
Figura 5.6 Vista frontal de la cortadora .....	56

Figura 5.7 Vista lateral de la cortadora .....	56
Figura 5.8 Ensayo corte papel colores claros.....	57
Figura 5.9 Ensayo corte papel colores oscuros .....	57
Figura 5.10 Grabación en madera .....	58
Figura 5.11 Ensayo Grabado en madera y fomix.....	58
Figura 5.12 Imagen grabada en madera .....	59
Figura 5.13 Corte en Papel.....	59

**INDICE DE TABLAS**

Tabla 1 Estructura general de un bloque de programa CNC [9].....	14
Tabla 2 Lista de requerimientos.....	15
Tabla 3 Matriz Morfológica.....	16
Tabla 4 Evaluación de soluciones.....	17
Tabla 5 Ventajas y desventajas de la transmisión por tornillo de bolas recirculantes [11] .	23
Tabla 6 Ventajas y desventajas de la transmisión piñón-cremallera [11].....	24
Tabla 7 Ventajas y desventajas de la transmisión por correa de caucho [11].....	25
Tabla 8 Selección del sistema de transmisión.....	26
Tabla 9 Resultado ensayo de cortes papel colores oscuros.....	52
Tabla 10 Resultado ensayo de cortes papel colores claros .....	52
Tabla 11 Presupuesto cortadora láser.....	60
Tabla 12 Costo fabricación de tarjetas .....	60
Tabla 13 Margen de utilidad .....	61

# CAPITULO 1

## 1.1 TITULO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CORTADORA LÁSER PARA PAPEL CON INTERFAZ GRÁFICA

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La industria gráfica en los últimos tiempos ha despuntado en una forma acelerada en cuanto a lo que tiene que ver con publicidad y diseño, exigiendo a las empresas la utilización de máquinas que agilicen y faciliten el servicio que proporcionan ayudando a brindar un servicio personalizado de acuerdo a las necesidades de los clientes.

En la actualidad la empresa Digital Flash ubicada en la ciudad de Ibarra, ofrece servicios de impresión de trabajos personalizados para publicidad, tarjetas y folletos, incluyendo cortes. Actualmente la demanda es de 330 docenas de tarjetas mensuales, la cual no se cubre en su totalidad, ya que se producen alrededor de 148 docenas, debido a esto el cliente se ve obligado a esperar o buscar otra empresa que ofrezca este servicio, pues para los diseños de corte con curvaturas, se subcontrata los servicios a empresas ubicadas en la ciudad de Quito, ya que en la ciudad de Ibarra no existe la maquinaria que ofrezca este servicio, como una cortadora de papel CNC. Esto incrementa notablemente el costo y el tiempo de entrega, que puede variar de dos a ocho días laborables afectando directamente al precio de venta, además que repercute en gastos operacionales y tiempos de desarrollo de los diseños l momento de entregar al cliente.

La implementación de una cortadora de papel con interfaz gráfica busca ofrecer un mejor servicio para publicidad, promoción y presentación en trabajos personalizados, brindando un producto con mayores estándares de calidad, disminuyendo gastos operacionales y tiempo de desarrollo de nuevos diseños y de esta manera satisfacer la demanda actual con un menor tiempo de entrega.

Se hace indispensable la tecnificación de herramientas que permitan realizar trabajos especializados y personalizados; con el objetivo de disminuir costos y a la vez ofrecer

nuevos servicios que capten la atención de nuevos mercados y mejorar la competitividad de la empresa.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Construir una máquina cortadora láser de Papel con interfaz gráfica para la elaboración de diseño de corte.

#### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar la estructura con sus respectivos sistemas de desplazamiento en los ejes X e Y para la cortadora láser.
- Seleccionar el láser que se va utilizar en la cortadora.
- Seleccionar una interfaz gráfica que permita la comunicación entre el usuario y la máquina.
- Construir la cortadora láser.
- Realizar pruebas de funcionamiento y calibración de la máquina.
- Elaborar el manual de operación y funcionamiento de la máquina.

### **1.4 ALCANCE**

Este proyecto consiste en implementar el Corte CNC con Láser de dos ejes para papel, aproximadamente 15 pliegos de 60g de 0.9m x 0.65m, utilizando motores paso con sus respectivos drivers y un controlador para CNC que interpretará comandos en código G mediante el software MACH3, que es un software de bajo costo desarrollado bajo políticas de software libre, la licencia de este software tiene un precio en el mercado de alrededor de \$175.

Se implementará una interfaz gráfica en un computador, donde el operador dibujará el área a extraer, por medio del corte, luego se generará el código G a partir del diseño creado por el operario. La máquina de corte podrá realizar cortes personalizados con curvaturas, que con el sistema de trabajo actual que es por medio de guillotinas no se pueden hacer ya que solo se realizan cortes rectos.

Se espera cubrir la demanda de tarjetas que se tiene en el mercado que es aproximadamente de 330 docenas al mes con un menor costo y entregando las tarjetas en menos tiempo ya que normalmente como el trabajo se envía fuera de la ciudad, el costo varía de acuerdo a la complejidad del diseño, el diseño menos complejo tiene un valor de 15 dólares la docena, y el tiempo de entrega es de 48 horas o más dependiendo de la complejidad del diseño.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN**

La demanda de los clientes para obtener productos con diseños personalizados exige a las empresas la implementación de maquinaria automatizada para la elaboración de dichos productos, al implementar este Servicio se estaría entregando un servicio con valor agregado permitiendo la captación de potenciales clientes que buscan sobresalir dentro del mercado en que se desenvuelven.

Por esto es necesario realizar la implementación de la Cortadora de Papel que permita dar este Servicio Adicional, con esta cortadora se podrá aumentar la productividad de la Empresa para cubrir la demanda existente, mejorando la calidad del producto ya que el corte con láser hace mejores acabados, y disminuyendo el precio y el tiempo de entrega del mismo, ya que ya no se subcontrataría a una empresa de Quito para que elabore el diseño de corte en las tarjetas, con lo cual disminuirían los costos de producción y se podrían entregar las tarjetas en menos tiempo.

## CAPITULO 2

### 2.1 ANTECEDENTES

En la década de los 80's se empezó a hacer uso del láser como una herramienta de corte, utilizada en un primer momento para realizar corte en metales, luego paso a ser utilizado en varios sectores, como son la medicina, la industria metalmecánica, la industria gráfica, entre otros.

El sector de la industria gráfica comprende a todas las empresas dedicadas a las actividades de edición; impresión y actividades de servicio conexas; y, de reproducción de grabaciones.

En la industria gráfica los sistemas de corte son actividades que se realizaban de forma manual, por lo que el realizar cortes personalizados es algo que no se podía realizar de una manera fácil, por lo cual el aplicar nuevas tecnologías que permitan realizar este tipo de trabajos de una manera más eficiente es muy importante.

A partir de la revolución industrial se implementaron diferentes métodos de corte entre los primeros se encuentran los modelos de corte. Se fabricaron distintos tipos de maquinaria que pudieran facilitar el corte del papel, al mismo tiempo diferentes empresas internacionales se dedicaron exclusivamente a la fabricación de sistemas de corte como son: Polar Mohr, Schneider, Wohlenberg, Perfecta y Guaraní. [1]

Estas empresas crearon las primeras máquinas de corte para papel, siendo la Compañía Perfecta la que desarrollará en 1876 la primera guillotina para papel que ofrecía eficiencia, en la cual el papel se movía por medio de un tren de rodillos y enfrentaba a una cuchilla que se encargaba de cortarlo. [1]

En Alemania Oriental en 1947 el principio de funcionamiento cambió, Rudolph Mohr desarrollo para la compañía Polar A. un sistema de corte en el que el papel se mantenía quieto y era la cuchilla la que se movilizaba, con esto se garantizaba que el corte de la materia prima seria en el mismo punto y el volumen de trabajo era mayor. [1]

En 1948 la compañía Perfecta acopló al diseño de Polar A. un motor con el cual se podía movilizar la cuchilla. [1]

En 1950 a partir de los diseños de Polar A. las compañías Wohlenberg y Schneider diseñaron máquinas electromecánicas. Posteriormente en 1952 se construyó la primera cortadora con mando parcialmente electrónico, en 1954 se implementaron sistemas de óptica a los mecanismos de corte y medida. [1]

Para mejorar la maquinaria construida en los años de 1963 y 1965 se implementaron sistemas hidráulicos y neumáticos respectivamente, en 1972 se crea la primera máquina con limitación electrónica para el recorrido de la escuadra. En el año de 1977 se usa un ordenador para la operación de la máquina, a partir de esta fecha diferentes compañías se dedicaron a desarrollar este sistema de ordenador para regular el desplazamiento de la escuadra, la presión del pistón, el embrague, la fuerza y la repetición del corte que realiza la cuchilla. [1]

La empresa Heidelberg realiza el diseño más innovador, que consiste en una estación de corte en donde a través de un módulo ubicado en la mesa en donde descansa el papel, se desplaza un rayo láser de baja potencia, realizando el corte de material en cualquier sentido, ya que la posición y el desplazamiento del láser está establecido por un programa de computador. [1]

## **2.2 MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1 MÉTODOS PARA CORTE DE PAPEL**

El corte es una operación mecánica que tiene por misión separar un elemento en dos partes. Las herramientas utilizadas para cortar suelen clasificarse atendiendo a si el corte se efectúa con desprendimiento de viruta o sin desprendimiento de viruta. [2]

Al cortar un material hay que tener en cuenta su naturaleza, a fin de seleccionar la herramienta más apropiada. [2]

Para realizar el corte longitudinal del papel cada una de las máquinas descritas emplean diferentes métodos, caracterizados por el tipo de herramienta cortante que utiliza, estas se distinguen por la herramienta de corte. Así se tiene:

- Cuchillas Planas o Rectas.
- Cuchillas Circulares o Rotatorias.
- Corte de Papel con Láser.
- Corte por Chorro de Agua.

### 2.2.2 EL LÁSER

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. [3]

Cualquier tipo de láser consta principalmente de tres elementos:

- Medio activo: es una colección de átomos o moléculas en los que se pretende producir el fenómeno de la emisión estimulada. [4]
- Mecanismo de excitación o bombeo: es el mecanismo mediante el cual se proporciona energía al medio activo para excitar sus átomos o moléculas con el fin de conseguir la inversión de población. [4]
- Resonador óptico: consiste normalmente en un par de espejos a ambos lados del medio activo. La misión de los cuales es hacer rebotar el haz láser entre ellos de manera que pase muchas veces por el medio activo. De esta manera y gracias al fenómeno de la emisión estimulada combinado con la inversión de población del medio activo, se consigue una amplificación del haz láser. Finalmente, el haz sale por uno de los espejos, el cual es parcialmente transparente. [4]

Habitualmente los generadores láser se clasifican según el medio activo que utilicen. El medio activo puede ser un gas, un líquido, un sólido, o una unión P-N en un semiconductor. [4]

En la fig.2.1 se muestran los diferentes generadores láser ordenados según la longitud de onda ( $\lambda$ ) con la que emiten el haz láser.

$\lambda$ ( $\mu\text{m}$ )	Zona del espectro	Tipo de láser	Medio activo
0.03-0.39	Ultravioleta	Excímero	Gas de excímeros
0.39-0.622	Visible	Colorante	Colorante orgánico
0.622-0.780	Rojo (visible)	He-Ne	Mezcla gaseosa: He y Ne
		Diodo baja potencia	Unión P-N de un semiconductor
		Colorante	Colorante orgánico
0.780-3000	Infrarrojo	Diodo alta potencia	Unión P-N de un semiconductor
		Nd-YAG	Cristal YAG con impurezas $\text{Nd}^{3+}$
		$\text{CO}_2$	Mezcla gaseosa: $\text{CO}_2$ , $\text{N}_2$ , He

*Figura 2.1 Resumen de los diferentes Tipos de Láser [4]*

### 2.2.3 CORTE DE PAPEL CON LÁSER

El corte con láser es un proceso inducido térmicamente, en el cual la energía del haz de luz focalizado es absorbida por el material, que se vaporiza formando así el corte. Los factores que determinan la posible aplicación del láser en el corte de materiales son, en su mayoría, propiedades ópticas, térmicas, eléctricas y mecánicas del propio material. [5]

La absorción de la radiación incidente es uno de los más importantes. No sólo depende de las características del material, sino también en gran medida de la longitud de onda de la radiación. En la técnica de corte por láser la extracción del material se realiza por evaporación del mismo a lo largo de la zona de corte. El calor necesario para conseguir esta evaporación viene proporcionado por un sistema constituido por la fuente del haz láser y la boquilla, que incorpora la óptica de focalización, acoplado todo ello a un conjunto mecánico que permita el movimiento relativo entre el haz láser y la pieza a cortar. [5]

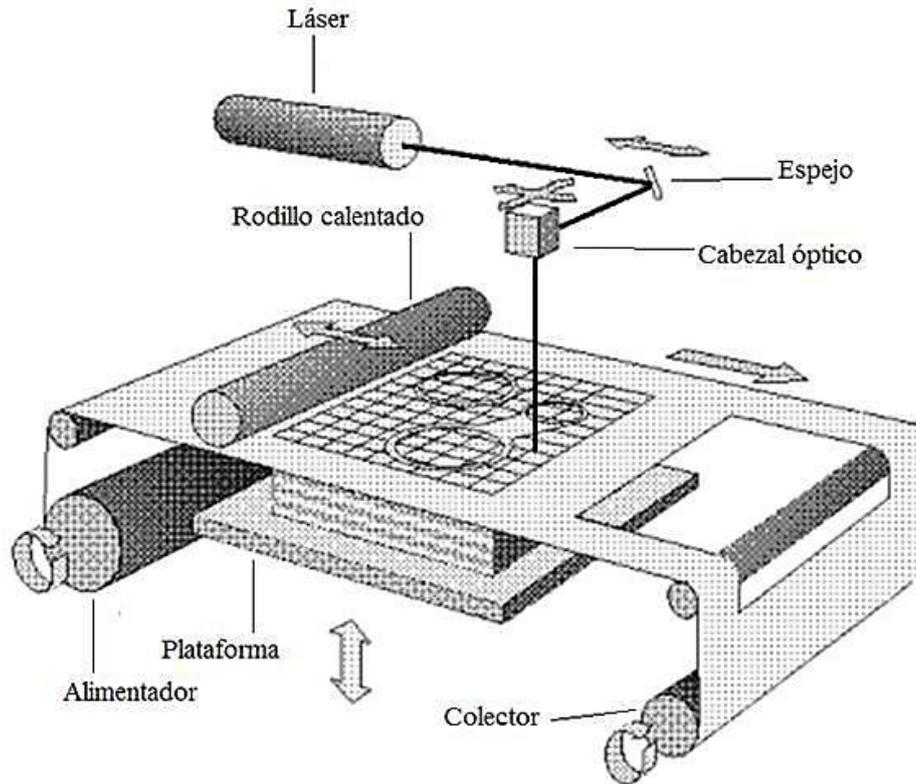


Figura 2.2 Esquema de sistema de corte por láser [6]

### 2.3 MÁQUINAS CNC PARA CORTE

Las máquinas CNC “Control Numérico Computarizado” tienen como principal característica controlar completamente una Máquina-Herramienta desde un computador mediante un control numérico, facilitando en su totalidad el trabajo a desempeñar. Este tipo de controladores CNC están basados en Código G para la generación de las trayectorias, siendo este un código alfanumérico. [7]

Al trabajar con el Código G, brinda la facilidad a los usuarios de realizar los diseños en diferente 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. [7]

En general la CNC está catalogada en la parte mecánica como máquinas de precisión siendo una de sus características más importantes, también se debe tomar muy en cuenta la velocidad de trabajo, está depende de la aplicación que va a desempeñar. [7]

El Código G es generado por software CAM, siendo el único que varía cuando se va a controlar una herramienta como un láser, el software CAM en este caso, puede tener la opción de manipular la potencia del haz del láser, ya que en la mayoría de diseños no son solo cortes, este puede tener la combinación de corte y grabado en el mismo diseño. [7]

Una de las ventajas de las máquinas CNC es el poder generar trayectorias tan difíciles como sea posible dentro del área de trabajo en tiempos tan rápidos que se les denomina procesos en tiempo real. Cada trayectoria está conformada por datos diferentes ya que los movimientos que se generan están formados por velocidad, aceleración y coordenadas de posición específicas. [7]

### **2.3.1 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE UNA CNC LÁSER**

Al hablar de una CNC láser solo se está cambiando la aplicación o herramienta que se desea realizar o controlar, ya que el algoritmo del control numérico computacional es lo que varía de una aplicación a otra más el software CAM. [7]

Centrándose en las máquinas CNC láser, se puede decir que son máquinas que trabajan a velocidades de tiempo real con una muy alta precisión de corte y/o grabado, como toda máquina esta presenta una interfaz muy amigable y fácil de utilizar para los usuario, para lograr la precisión y altas velocidades la CNC láser debe cumplir con ciertos requerimientos como los que se puede ver a continuación entre otros, los cuales se va ir presentando a su debido tiempo. [7]

Las características generales de una máquina CNC láser a considerar son:

- Precisión en el movimiento de los ejes.- Entrega la calidad de resolución para cada una de las trayectorias, es determinada por el tipo de motor a utilizar generalmente se utilizan motores Paso a Paso (MPP), servomotores, etc. [7]
- Láser.- varía dependiendo del material que se desea cortar. Se pueden utilizar láseres de diodo infrarrojo ya que tienen un menor costo y son más eficientes y versátiles [7]
- Controlador CNC.- Permite la comunicación entre una interfaz gráfica de una computadora y demás elementos que constituyen la cortadora. [7]

## 2.3.2 COMPONENTES DE UNA CNC LÁSER

### 2.3.2.1 Actuadores

Los actuadores son dispositivos que generan energía mecánica a partir de líquidos, gases, energía eléctrica. Se activan mediante una señal proveniente de un controlador y son usados para accionar máquinas y mecanismos. Los actuadores pueden ser de tipo hidráulico, neumático o eléctrico. Siendo los de tipo eléctrico los más usados en máquinas CNC como son:

- Motores paso a paso (MPP).
- Servomotores.

#### 2.3.2.1.1 Motores Paso a Paso (MPP)

Son controlados por pulsos desde el sistema CNC. La principal característica de estos motores es que se los puede controlar cuando sea necesario con Micro-Pasos ayudando a aumentar la resolución en los trazos de las trayectorias. [7]

En el mercado se encuentran motores de pasos con diferentes resoluciones, estos pueden ser tan precisos que pueden dar pasos con un ángulo menor a  $1^\circ$  o pasos con ángulos de mayores de  $15^\circ$ , ya que depende de las características propias de cada MPP, al tener una resolución de menor grado ayuda a mejorar la precisión de la máquina y aún más al realizar micro pasos. Estos tipos de motores trabajan a 3 voltios y consumen 3 amperios. [7]

Existen una gran variedad de MPP, los más utilizados para máquinas CNC láser son MPP de reluctancia variable, MPP de imán permanente. Los MPP-RV permiten tener mayor velocidad y presentan menor inercia que los MPP-IP, también se tiene MPP híbridos que es la combinación de los MPP-RV y MPP-IP, siendo el más comercializado por sus características. [7]

Dependiendo el enfoque al que se va a desarrollar la CNC se debe escoger los motores de pasos, siendo estos los que van a dar mayor o menor precisión de la máquina, lo cual es ideal para las CNC láser, mientras que para una aplicación de una fresado, torneado, taladrado, se puede implementar motores que brinden mayor

inercia, en caso que la aplicación requiera precisión y fuerza se podría utilizar los motores híbridos que son los que brindan la combinación deseada. [7]



*Figura 2.3 Motor paso a paso [7]*

#### *2.3.2.1.2 Servomotores*

Un servomotor es básicamente un motor eléctrico de corriente continua con un gran par, que permite situar su eje de salida en una determinada posición angular, mediante una señal externa de control. [8]



*Figura 2.4 Servomotor [8]*

Las características fundamentales que se deben buscar en un servomotor son:

- El par de salida del motor sea proporcional a su voltaje de control aplicado.

- La dirección de par es determinada por la polaridad instantánea del voltaje de control.

Hay dos tipos de servomotores, los de corriente continua y los de corriente alterna. [8]

#### 2.3.2.2 Láseres en máquinas CNC

Los láseres semiconductores corresponden simplemente a diodos semiconductores capaces de emitir luz coherente cuando se excitan con una corriente eléctrica. Aunque su monocromaticidad no es tan pura como en otros láseres, resultan significativamente importantes en la industria de las comunicaciones, optoelectrónica, microelectrónica, computación, entre otras aplicaciones. [5]

La potencia del láser es controlada de igual manera desde el sistema CNC, dando la facilidad de cortar completamente el material o simplemente realizar grabados en la superficie del material. [5]

La mayor parte de las industrias ecuatoriana están enfocadas al corte y grabado en material plástico, sea este para realizar letreros publicitarios o diseños y construcción de piezas plásticas para repuestos. También se tiene empresas que están dedicados a la parte de corte o diseño de logotipos en material textil. [5]

#### 2.3.2.3 Controlador CNC

El controlador CNC es una tarjeta electrónica que permite la comunicación entre el post-procesador y los diversos dispositivos que conforman la cortadora CNC (drivers, motores, láser). [9]

El Post-procesador enviara el GCode a la tarjeta cnc y esta se encargara de enviar la señal a los drivers para posicionar los motores de acuerdo a las coordenadas que sean respectivamente. enviadas y activar o desactivar el láser para iniciar o terminar el corte. [9]

### 2.3.3 SECUENCIA QUE SIGUE UNA CNC

Un control numérico computarizado gobierna las máquinas herramientas de la misma manera que lo haría un experto, pero se hace automáticamente a través de un

programa almacenado en una computadora. El CNC elimina los errores humanos en la manufacturación ya que la operación es controlada por un programa que no depende de las habilidades del operador. La siguiente es la secuencia que realiza una CNC [9]:

- 1) Los datos numéricos pueden ser introducidos al sistema mediante algún dispositivo de almacenamiento o directamente desde la computadora.
- 2) Una unidad traduce los datos y los convierte a una forma eléctrica de manera que la máquina herramienta pueda entender,
- 3) Una memoria guarda los datos hasta que sea necesario.
- 4) Los drivers de los motores de paso de la máquina herramienta convierten los datos en el movimiento requerido.

#### **2.3.4 PROGRAMACIÓN CON CONTROL NUMÉRICO**

El objetivo de un programa con control numérico es generar las trayectorias necesarias de la herramienta y de la pieza de trabajo, así como ejecutar algunas funciones adicionales para obtener una geometría determinada, a través de un proceso mecanizado. Los parámetros que se deben tomar en cuenta en la programación CNC son [9]:

- Avance de la herramienta.
- Velocidad de corte.
- Geometría de la pieza terminada.
- Material de la pieza de trabajo.

#### **2.3.5 COMANDOS GENERALES DE UN PROGRAMA CNC**

En el cuerpo de un programa de control numérico se encuentran diferentes códigos. Los más usados son los siguientes:

- X, Y son las direcciones a los ejes coordenados de la máquina herramienta.
- I, J son instrucciones de movimiento secundario, aceptan números con signo.
- G es la dirección correspondiente a las funciones preparatorias. Se utilizan para informar al control de las características de las funciones de mecanizado, como por ejemplo, forma de la trayectoria, parada temporizada, ciclos

automáticos. La función G va seguida de un número de dos cifras que permite programar hasta cien funciones preparatorias diferentes. [9]

- M es la dirección correspondiente a las funciones auxiliares o complementarias. Se usan para indicar a la máquina herramienta que se deben realizar operaciones tales como: parada programada, rotación de husillo a derechas o izquierdas. La función M va acompañada de dos números que permite programar hasta cien funciones diferente. [9]

Un programa CNC es un archivo de texto que contiene uno o varios bloques. Cada bloque está constituido por una o más palabras que son generalmente direcciones de registro seguidas por valores. El bloque indica a la máquina herramienta una secuencia de tareas que debe ejecutar. Un ejemplo de bloque puede ser: G2 X30 Y-20 M8. Donde las direcciones G, X, Y, M son usadas. [9]

*Tabla 1 Estructura general de un bloque de programa CNC [9]*

# de bloque	Código G ó M	Coordenadas X, Y		Parámetros complementarios
N010	G92	X200	Y-55	(fin del programa)

### 2.3.6 SOFTWARE PARA MÁQUINAS CNC

Entre los softwares más comerciales en el país para maquinaria CNC tanto por el soporte como asesoría técnica se encuentran:

- SolidCAM
- BobCadCAM
- LazyCam
- Inkscape

Estos utilizan interfaces CAD/CAM. Además es necesario un post-procesador entre el Código ISO (Código G) generado y los movimientos que deberá realizar los motores.

## CAPITULO 3

### 3.1 PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

Las funciones que se enlistan a continuación, indican el trabajo que va a realizar la cortadora mediante afirmaciones cualitativas de sus acciones:

- Transmitir potencia a un mecanismo que permita el movimiento lineal del láser en los ejes cartesianos X e Y.
- Posicionamiento automático y manual del láser.
- Interfaz CAD/CAM que genere Código G a partir de una imagen para que el post-procesador Mach3 lo transmita al controlador CNC.
- Monitorear y establecer parámetros de funcionamiento de la máquina a través del post-procesador Mach3.

### 3.2 LISTA DE REQUERIMIENTOS

En base a los parámetros de funcionamiento antes enunciados, se definen los requerimientos del sistema mecatrónico a diseñar en el punto 3.1

*Tabla 2 Lista de requerimientos*

LISTA DE REQUERIMIENTOS CORTADORA LÁSER PARA PAPEL				
No.	Nivel de Importancia		Necesidad	Requerimiento Técnico
1	10		Seguridad	Sensado de límites de desplazamiento de la Máquina (X e Y).
2	10		Láser	Módulo Láser de Potencia baja
3	10		Velocidad de Corte	Máxima de 20 mm/min
4	9		Capacidad de Corte	15 Pliegos de papel de 0.9 x 0.65 (m)
5	5.1	9	Interfaz usuario - máquina	Interfaz en el Computador que permita la realización de diseños de corte personalizados
	5.2	9	Costo licencia	Costo de la licencia de la interfaz usuario – máquina a utilizar
6	9		Bajo Costo	Asequible para empresas y negocios pequeños

### 3.3 MATRIZ MORFOLÓGICA

De acuerdo a la lista de requerimientos definida anteriormente se formuló la siguiente matriz morfológica

*Tabla 3 Matriz Morfológica*

No.	FUNCIONES	ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN		
		1	2	3
1	Sensar límites de desplazamiento	Finales de Carrera	Magnéticos	Infrarrojo Emisor - Receptor
2	Tipo de Láser	Infrarrojo	CO2	Fibra Óptica
3	Desplazamiento (Motores)	Paso a Paso	Servomotores	DC
4	Potencia Láser	2W	60W	80W
5.1	Compatibilidad con el post-procesador	Inkscape	LazyCAM	BobCadCAM
5.2	Costo Licencia Interfaz	Software Libre	75.00 USD	1000USD
6	Costo Comercial	4000 USD	10000 USD	15000 USD

### 3.4 EVALUACIÓN DE SOLUCIONES

A continuación se pasará a evaluar las alternativas de solución propuestas (3.3), de acuerdo a los criterios técnicos y económicos definidos, y sus respectivos niveles de importancia.

Siendo el puntaje para calificar (de 0 a 4), el siguiente:

0 = No satisface

1 = Aceptable

2 = Suficiente

3 = Muy Bueno

4 = Excelente

*Tabla 4 Evaluación de soluciones*

No.	Criterios Técnicos y Económicos	Nivel de Importancia	Solución		
			1	2	3
1	Seguridad	10	3	4	4
2	Láser	10	4	3	2
3	Velocidad de Corte	10	3	3	4
4	Capacidad de Corte	9	4	3	2
5	5.1 Interfaz usuario - máquina	9	4	3	2
	5.2 Costo licencia interfaz	9	4	3	1
6	Bajo Costo	9	4	2	1
		<b>Suma Total</b>	<b>244</b>	<b>199</b>	<b>154</b>

De acuerdo a los criterios utilizados se determinó que la solución 1 es la mas óptima; Utilizando los componentes que en la siguiente sección se detalla.

### **3.5 SELECCIÓN DE COMPONENTES DE LA CORTADORA LÁSER**

#### **3.5.1 ESTRUCTURA**

Debido a la funcionalidad de la cortadora ya que solo va a trabajar en los ejes X e Y, la estructura a construir es una mesa de las dimensiones 0.8 (m) de altura, 1(m) de ancho y 1.3 (m) de largo, que con el montaje del sistema de transmisión permita tener un espacio de trabajo de 0.9x0.65 (m) que es el tamaño del pliego a recortar.

#### **3.5.2 DISEÑO DE MÓVIL**

El Mecanismo de diseño seleccionado consta de dos estructuras una en el eje X y otra en el eje Y, soportadas sobre guías lineales en forma de Omega ( $\Omega$ ), El carro en el eje X se desplazara a través de este soportando el peso del módulo láser, el carro en el eje Y se desplazara en conjunto con la estructura del eje X por lo que soportara la mayor carga.

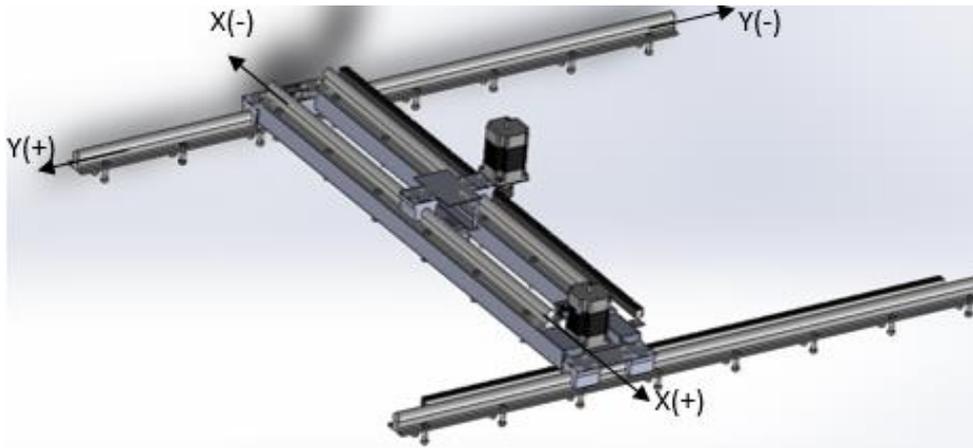


Figura 3.1 Mecanismo de movimiento

### 3.5.2.1 Deflexión en vigas para eje X

Para el cálculo de la Deflexión se considero a la guía, en la que se encuentra apoyada el conjunto con una fuerza aplicada en el centro, considerando que el conjunto esta conformado por el módulo láser, el motor del eje X y toda la demas estructura que se encuentra montada sobre este. Se uso la siguiente ecuación:

$$Y = \frac{PL^3}{48EI} \quad (\text{Ec 3.1) Ecuación deflexión de vigas [10]}$$

En donde:

$m = 3\text{Kg}$  (Masa considerada del conjunto)

Carga máxima =  $P = 29,43\text{N}$

Longitud Viga =  $L = 0,850\text{m}$

$E = 175\text{GPa} = 175 \times 10^9\text{N/m}^2$  (Módulo de elasticidad para el acero AISI 1018)

$I = 3,2 \times 10^{-9}\text{m}^4$  (Momento de inercia de guía  $d = 0,016\text{m}$ )

Reemplazando los datos en Ec 3.1:

$$Y = \frac{-PL^3}{48EI} = \frac{-29,43\text{N} \times (0,85\text{m})^3}{48 \times (175 \times 10^9\text{N/m}^2) \times (3,2 \times 10^{-9}\text{m}^4)}$$

$$Y = -6,72 \times 10^{-4}\text{m}$$

**Límites de deflexión recomendados.** Es responsabilidad del diseñador especificar la máxima deflexión permisible de una viga de máquina, chasis o estructura. El conocimiento de la aplicación debe servir de guía. En ausencia de esta guía, en las referencias 2 y 3 se sugieren los límites siguientes:

Pieza general de máquina:	$y_{\text{máx}} = 0.0005$ a $0.003$ plg/plg o mm/mm de longitud de viga.
Precisión moderada:	$y_{\text{máx}} = 0.00001$ a $0.0005$ plg/plg o mm/mm de longitud de viga.
Alta precisión:	$y_{\text{máx}} = 0.000001$ a $0.00001$ plg/plg o mm/mm de longitud de viga.

*Figura 3.2 Límites de deflexión [10]*

Aplicando los límites de deflexión tenemos:

$$Y_{Max} = 7.9 \times 10^{-4} \text{ mm/mm}$$

Que se encontraría dentro de los límites de deflexión de una pieza general de máquina

### 3.5.2.1 Deflexión en vigas para eje Y

Para el cálculo de la Deflexión se considero a la guía, en la que se encuentra apoyada el móvil con una fuerza aplicada en el centro, considerando que el móvil esta conformado por el módulo láser, el motor del eje Y, motor eje X y toda la demas estructura que se encuentra montada sobre este. Se uso la ecuación Ec3.1:

En donde:

$m = 14\text{Kg}$  (Masa considerada del conjunto)

Carga máxima =  $P = 140\text{N}$

Longitud Viga =  $L = 1,1\text{m}$

$E = 175\text{GPa} = 175 \times 10^9 \text{N/m}^2$  (Módulo de elasticidad para el acero AISI 1018)

$I = 3,2 \times 10^{-9} \text{m}^4$  (Momento de inercia de guía  $d = 0,016\text{m}$ )

Reemplazando los datos en Ec3.1:

$$Y = \frac{-PL^3}{48El} = \frac{-140\text{N} \times (1,1\text{m})^3}{48 \times (175 \times 10^9 \text{N/m}^2) \times (3,2 \times 10^{-9} \text{m}^4)}$$

$$Y = -6,92 \times 10^{-3} \text{m}$$

Aplicando los límites de deflexión tenemos:

$$Y_{Max} = 6,3 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}$$

Que se encontraria dentro de los límites de deflexión de una pieza general de máquina

### 3.5.2.3 Cálculo fuerza cortante y momento flexionante para eje X

Para el cálculo de Fuerza Cortante y Momento Flexionante se tomo en cuenta que el punto que soportara el mayor esfuerzo será cuando la carga se encuentre en la mitad de la guía como se muestra en la fig. 3.3

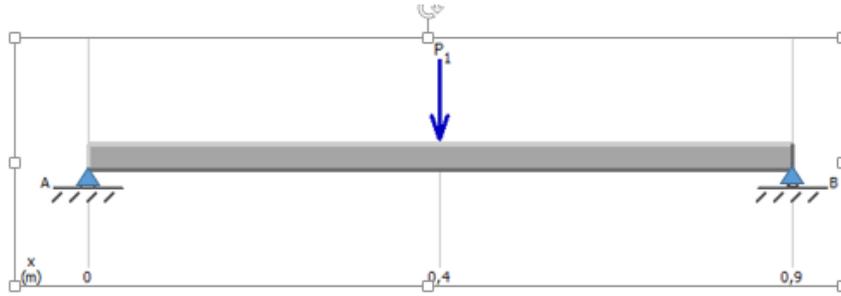


Figura 3.3 Diagrama de cargas Eje X

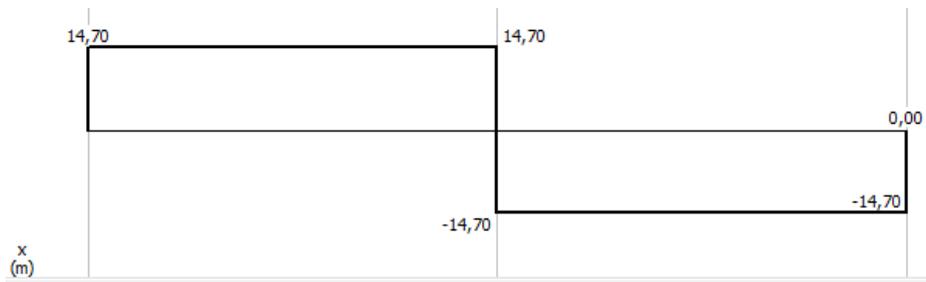


Figura 3.4 Diagrama de fuerza cortante eje X

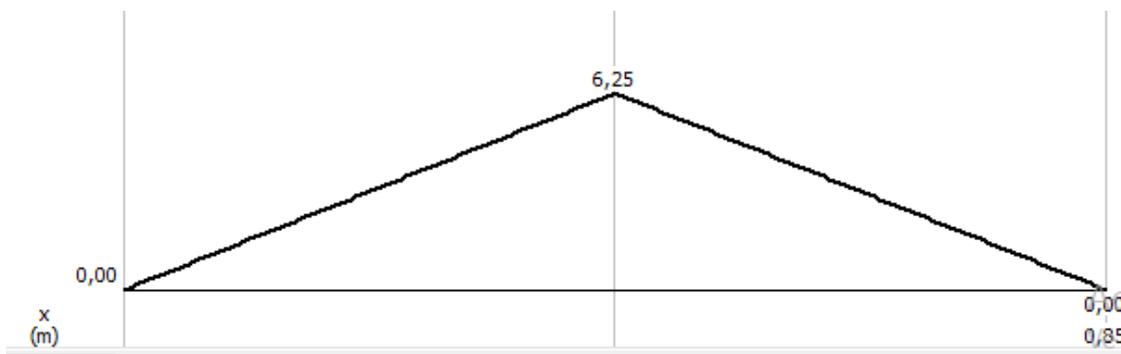


Figura 3.5 Diagrama de momento flexionante eje X

- Cálculo de Esfuerzo Eje X

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

(Ec3.2) Cálculo de Esfuerzo

En donde:

$$\sigma = \text{Esfuerzo}$$

Mc = Momento Flexionante por radio de la guía

I = Momento de inercia de guía

Reemplazando en Ec3.2:

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{6,25 \times 0,008}{3,2 \times 10^{-9}} = 15,6 \text{MPa}$$

- Cálculo de Resistencia última requerida eje X

Considerando un factor de seguridad de 3 la resistencia última será de:

$$S_u = \sigma \times 3 = 46,8 \text{MPa}$$

#### 3.5.2.4 Cálculo fuerza cortante y momento flexionante para eje Y

Para el cálculo de Fuerza Cortante y Momento Flexionante se tomo en cuenta que el punto que soportara el mayor esfuerzo será cuando la carga se encuentre en la mitad de la guía como se muestra en la fig. 3.6

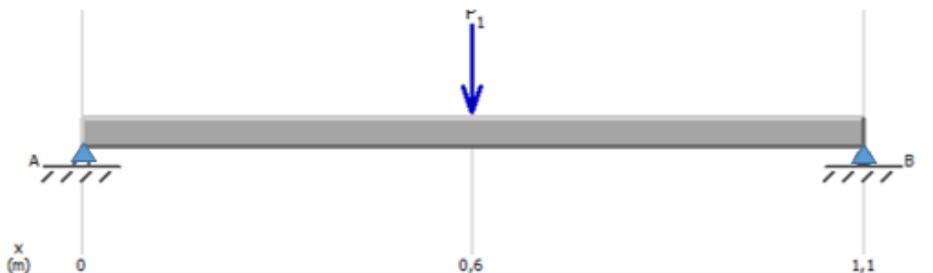


Figura 3.6 Diagrama de cargas eje Y

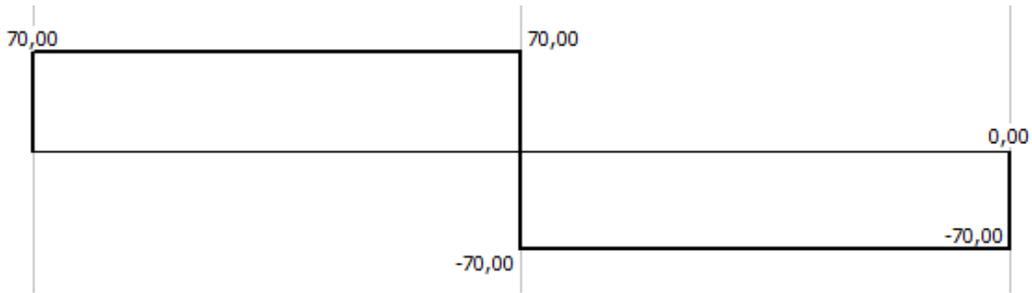


Figura 3.7 Diagrama de esfuerzo cortante eje Y

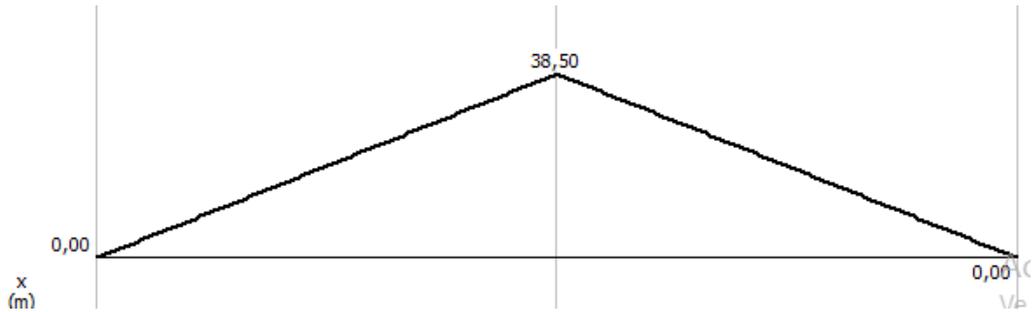


Figura 3.8 Diagrama de momento flexionante eje Y

- Cálculo de Esfuerzo Eje Y

Utilizando Ec3.2

$$\sigma = \frac{38,5 \times 0,008}{3,2 \times 10^{-9}} = 96,2 MPa$$

- Cálculo de Resistencia última requerida

$$S_u = \sigma \times 3 = 288,6 MPa$$

### 3.5.3 SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Para el Sistema de transmisión de la máquina hay algunas alternativas que se pueden considerar tomando en cuenta los siguientes criterios:

- 1) Velocidad.
- 2) Mantenimiento.
- 3) Costo.

Las alternativas a considerar son:

- Transmisión por tornillo de bolas recirculantes.

- Transmisión por piñón y cremallera.
- Transmisión por correa de caucho.

### 3.5.3.1 Transmisión por tornillo de bolas recirculantes.

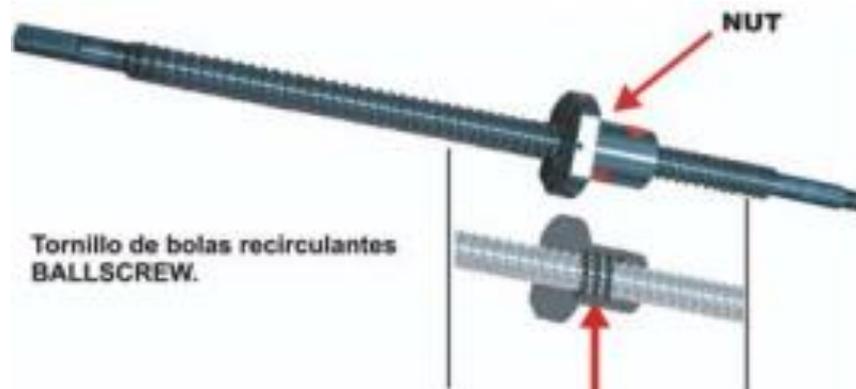


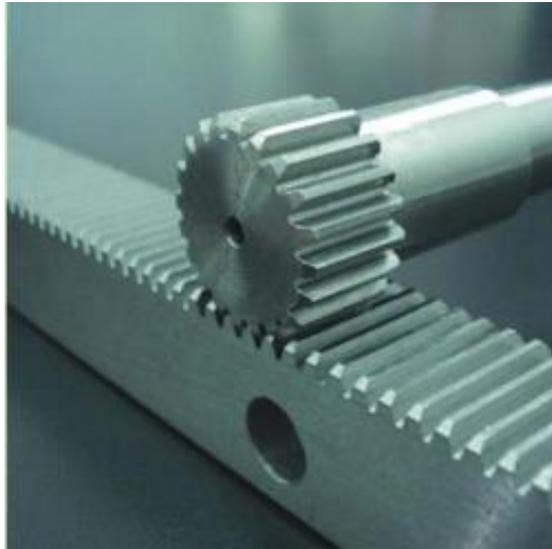
Figura 3.9 Tornillo de bolas recirculantes [11]

El tornillo de bolas es un componente transmisor de una fuerza mecánica mediante la transformación de un movimiento rotativo en uno rectilíneo. Garantiza una marcha suave, “muy liviana y cero juego”, mínimo rozamiento y aceptable velocidad de trabajo, controlada eficientemente con suma precisión, durante todos los desplazamientos. Cuando una bolilla llega al fin de su recorrido, es conducida otra vez hacia el extremo opuesto de la nut (tuerca) para volver a alinearse en la hilera y recircular nuevamente con toda independencia y sin ningún tipo de impedimentos con respecto al tornillo, porque este sistema de circulación está especialmente diseñado para que el rozamiento de cada bolilla con la superficie del tornillo sea despreciable, logrando de esta manera una insignificante pérdida de potencia por fricción, convirtiéndose esta cualidad en uno de los atributos más elocuentes de los tornillos de bolas. [11]

Tabla 5 Ventajas y desventajas de la transmisión por tornillo de bolas recirculantes [11]

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Marcha Suave	Velocidad Baja
Mínimo rozamiento	No soporta mucho peso
Velocidad de trabajo aceptable	Para un desplazamiento amplio es necesario colocar dos tornillos de bolas
Alta Precisión	Alto Costo si se debe colocar más de uno

### 3.5.3.2 Transmisión por piñón – cremallera



*Figura 3.10 Transmisión piñón-cremallera [11]*

Ofrecen solidez y precisión en largos desplazamientos. Alternativa ideal para instalar en routers de robusta estructura, con puentes sobredimensionados para desplazar a régimen de velocidad de trabajo aceptable, motores de fresado de gran torque y peso, o cabezales superpoblados con diversos accesorios de trabajo (drill, engraver, pulidora, lubricador, etc.). Este sistema garantiza décadas de vida útil, ya que la aleación metálica de la cremallera es de mayor dureza que la del piñón, elemento de menor costo en caso de necesitar recambio por desgaste. [11]

*Tabla 6 Ventajas y desventajas de la transmisión piñón-cremallera [11]*

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Solidez y precisión en grandes desplazamientos	Velocidad limitada depende de la relación de paso del piñón-cremallera
Velocidad de trabajo aceptable	Difícil de encontrar comercialmente
Trabaja con motores de alto torque y peso	
Larga vida útil debido a la dureza de la aleación metálica	
Menor costo de mantenimiento	

### 3.5.3.3 Transmisión por correa de caucho



Figura 3.11 Transmisión por correa de caucho [11]

El carro se desplaza de extremo a extremo del perfil de acero de la guía prismática. Por medio del alemite se acopla el engrasador para lubricar el interior del carro. Es altamente recomendable mantener la cavidad interior del carro colmada de grasa, al punto que fluya hacia el exterior por la junta entre el carro y el perfil de la guía, no solo impedirá el ingreso de objetos extraños en su interior, en sus idas y vueltas, los carros “barren” la suciedad originada durante los procesos de ruteado, una vez adherida a esa grasa. [11]

Tabla 7 Ventajas y desventajas de la transmisión por correa de caucho [11]

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Sencillez de diseño	Necesita mantenimiento en periodos cortos de tiempo dependiendo de la intensidad del trabajo
Menor costo	Costo fijo por mantenimiento a largo plazo
Fácil montaje	La correa de goma se estira o se corta debido a la intensidad de trabajo por lo cual hay que cambiarla constantemente
	Hasta realizar el mantenimiento de la máquina existe muchos periodos de inactividad
	No es recomendable para trabajo con motores de alto torque y peso

### 3.5.3.4 Selección del sistema de transmisión

Para seleccionar el sistema de transmisión se evaluaron los criterios que se indican en la Tabla 7

*Tabla 8 Selección del sistema de transmisión*

No.	Criterios Técnicos y Económicos	Nivel de Importancia	Sistema de Transmisión		
			Tornillo de bolas recirculantes	Piñón - cremallera	Correa de Caucho
1	Velocidad	9	3	3	3
2		8	2	4	3
3	Costo	10	2	3	3
	<b>Suma Total</b>		<b>63</b>	<b>89</b>	<b>81</b>

Debido a las grandes ventajas que presenta el sistema de transmisión piñón-cremallera como son costo de mantenimiento, precisión, y que pueda trabajar con motores de alto torque y peso.

### 3.5.4 GUIAS LINEALES

Para complementar el sistema de transmisión se utilizaran guías lineales que cumplan con los siguientes parámetros de funcionamiento:

- Soportar cargas secundarias y guiar a los elementos móviles con mínima fricción para que el movimiento sea más preciso.
- Dar mayor estabilidad a los elementos móviles de la cortadora.

Debido a las funciones que van a cumplir se seleccionó el sistema de guías redondas ya que son de bajo costo y se las puede encontrar comercialmente.



*Figura 3.12 Guías lineales tipo  $\Omega$*

### **3.5.5 ACTUADORES**

Para la selección del actuador se debe tomar en cuenta el peso que va a transportar y la velocidad a la que va a cortar el láser para cumplir con los parámetros establecidos.

#### *3.5.5.1 Selección de Motores de Paso*



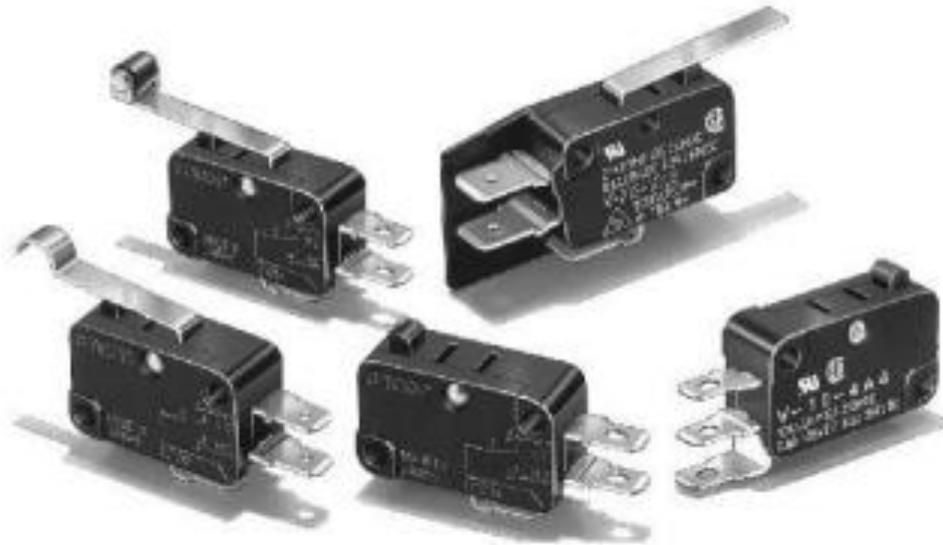
*Figura 3.13 Motores paso NEMA 23 y drivers*

Hay varios tipos de motores paso a paso, diferenciados por su constitución y su forma de construcción. Entre estos destacan tres tipos: de reluctancia variable, de imán permanente e Híbridos (éste último es una combinación de los anteriores). También se caracterizan los motores por ser unipolares y bipolares. En este trabajo se utilizó

motores paso a paso híbridos bipolares, NEMA 23 con un torque 30(kg.cm) los cuales se componen por dos bobinas, las cuales producen un campo magnético al pasar una corriente por ellas. Al alternar los polos (A+, A-, B+ y B-) con una secuencia, el rotor se desplaza angularmente. Para lograr una secuencia apropiada de polaridades se necesita que las corrientes que pasan por las bobinas cambien de sentido en instantes precisos, para que así las bobinas inviertan su polaridad. En los motores bipolares esto se logra invirtiendo las tensiones en los dos terminales de la bobina en forma simultánea, para conseguir esto se seleccionó los drivers DQ942 (Fig 3.13). Estos motores funcionan a 48(V) por lo que necesitan una fuente de alimentación de 48(V) para su funcionamiento.

Se seleccionaron este tipo de motores por sus prestaciones, tanto por disponibilidad en el mercado, costos y precisión.

### 3.5.6 FINALES DE CARRERA



*Figura 3.14 Finales de carrera [12]*

Para determinar los límites mecánicos de la cortadora se seleccionaron finales de carrera que cuando se accionan envían una señal digital que nos permiten detectar que el móvil ha llegado a los límites de la máquina.

### 3.5.7 SELECCIÓN DE LÁSER

Se seleccionó como herramienta de corte un módulo láser infrarrojo industrial que funciona a 12(V) ya que es compacto, su implementación y control es más fácil que un láser de CO<sub>2</sub>, además su costo es menor y cumple con los parámetros de corte que necesita la máquina, este láser puede cortar papel, grabar cartón y acrílico, para obtener un corte preciso por láser se debe tener una fuente de ventilación a lado del cabezal de corte, este módulo posee esta fuente de ventilación integrada por lo cual es la mejor alternativa para la cortadora.



*Figura 3.15 Módulo láser infrarrojo*

## CAPITULO 4

### 4.1 SOFTWARE INKSCAPE

La interfaz que se seleccionó es el software libre Inkscape ya que es compatible con el post-procesador Mach3, esta interfaz es de fácil uso, esta desarrollado como software libre, es una interfaz de diseño desde la cual el usuario puede hacer cualquier gráfico que desee que corte la máquina además también puede copiar imágenes y vectorizarlas para luego generar el Código G que el software Mach3 necesita para el accionamiento de la máquina, este software es muy versátil y es de gran ayuda para los diseñadores gráficos.

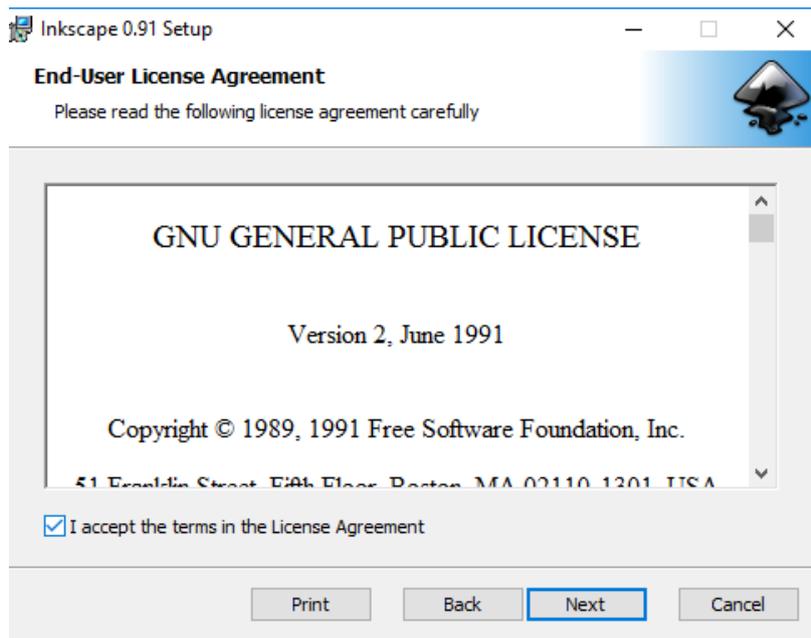
Para comenzar debemos descargar el instalador de la página oficial de Inkscape <https://inkscape.org/es/>. Cabe señalar que puede ser instalado en Linux, Windows o Mac; Los requisitos mínimos que debe tener el Ordenador son:

- Memoria RAM de 4Gb
- Disco Duro de 256 Gb
- Procesador Intel Core I3, AMD similar o superior

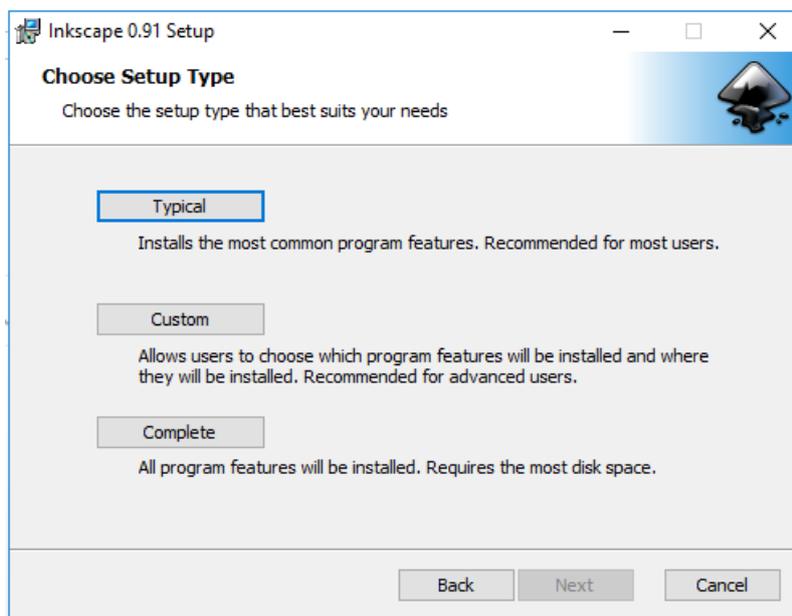
Luego de descargarse la aplicación seguimos los siguientes pasos para instalar el Software.



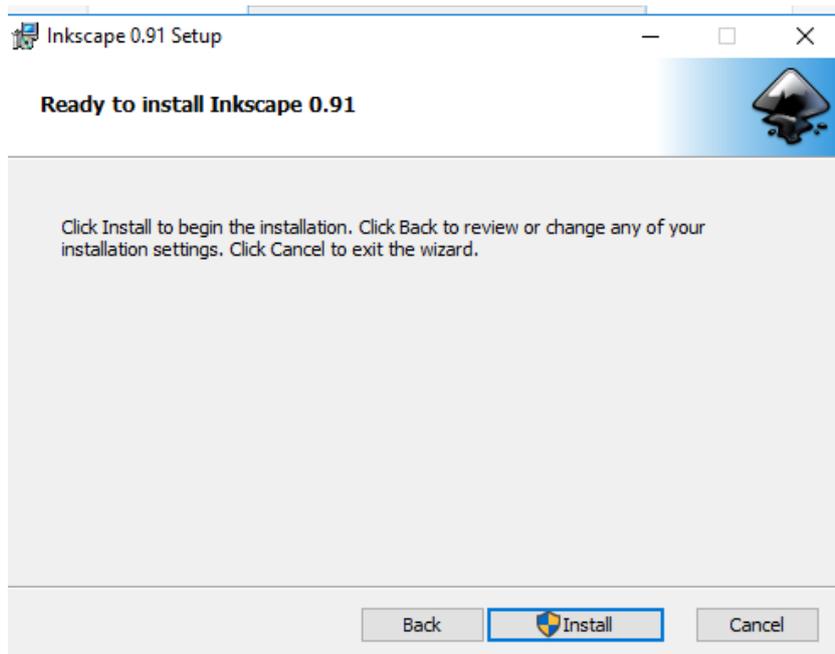
Figura 4.1 Abrir instalador Inkscape



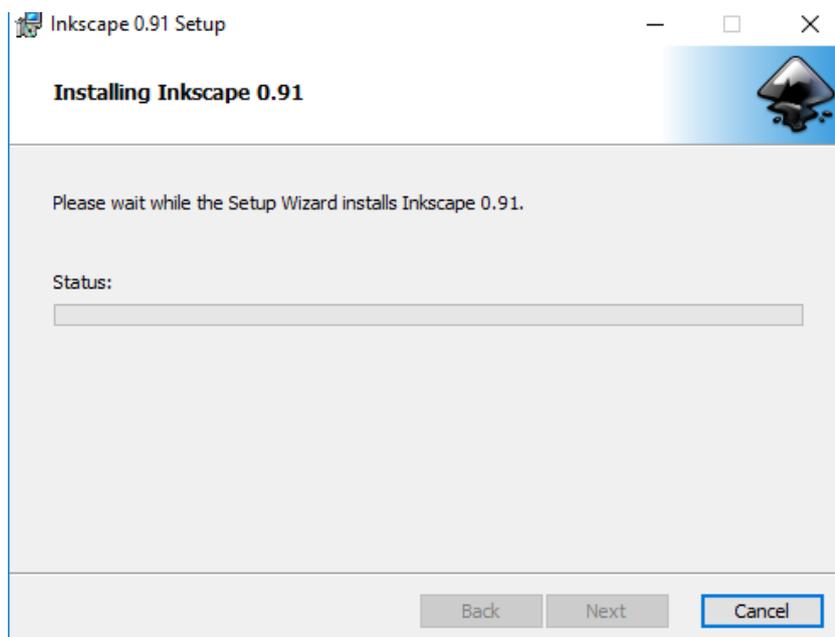
*Figura 4.2 Aceptar términos de licencia Inkscape*



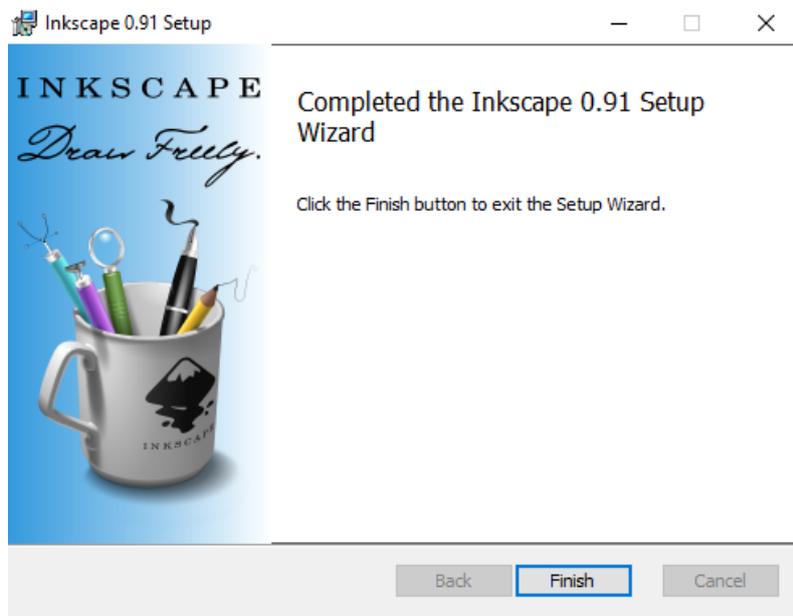
*Figura 4.3 Seleccionar instalación típica Inkscape*



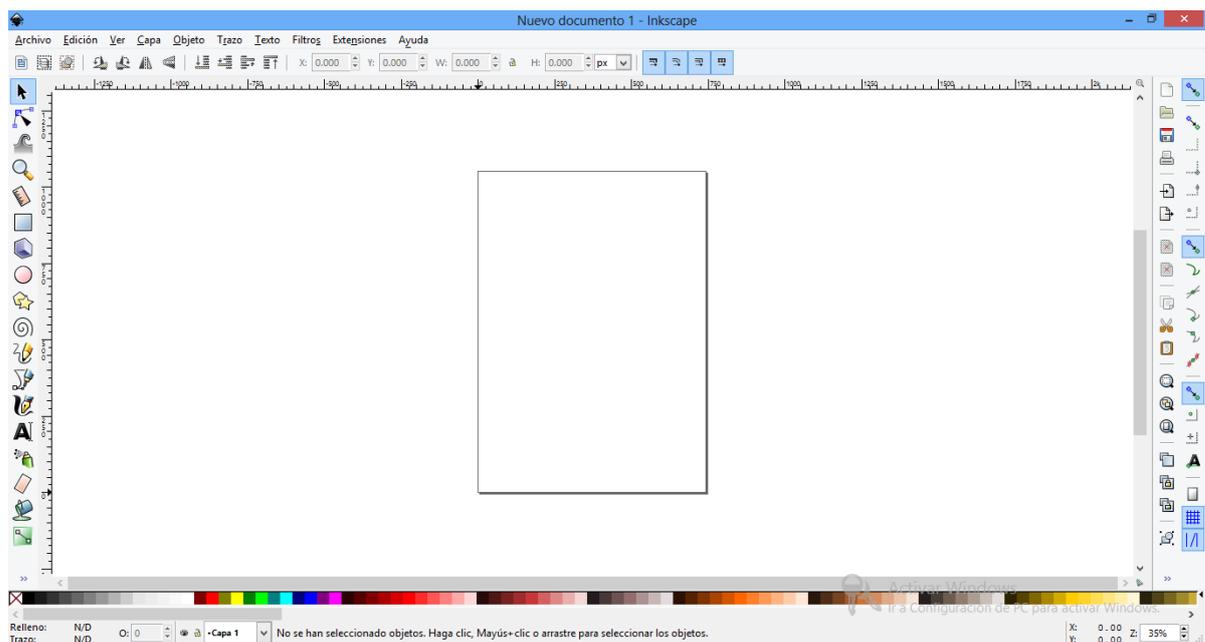
*Figura 4.4 Empezar instalación Inkscape*



*Figura 4.5 Proceso de Instalación Inkscape*



*Figura 4.6 Fin de instalación Inkscape*



*Figura 4.7 Ventana de trabajo Software Inkscape*

## **4.1.1 CONFIGURACIÓN DE SOFTWARE INKSCAPE**

### *4.1.1.1 Configuración parámetros iniciales Inkscape*

Cuando el diseñador quiera hacer un gráfico puede usar las herramientas de Inkscape como en cualquier programa de diseño, ya que es una interfaz fácil de utilizar, lo

primero que debe realizar el usuario es configurar las unidades en las que va a trabajar y el tamaño del espacio de trabajo.

Para realizar estas configuraciones se deben seguir los siguientes pasos:

1) Abrir un nuevo documento de trabajo en Inkscape

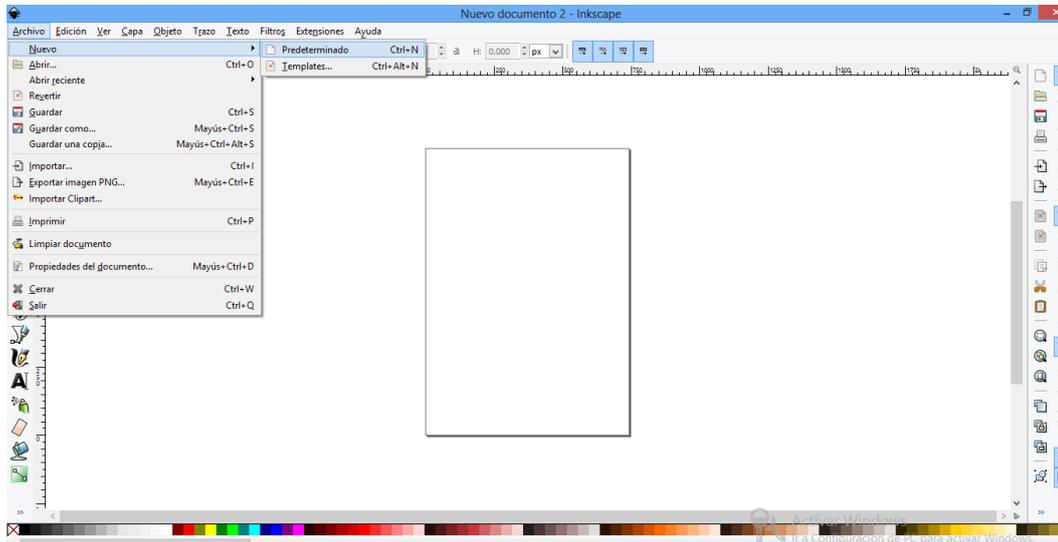


Figura 4.8 Abrir documento nuevo en Inkscape

2) Seleccionar las unidades predeterminadas, ir a propiedades del documento en el menú archivo

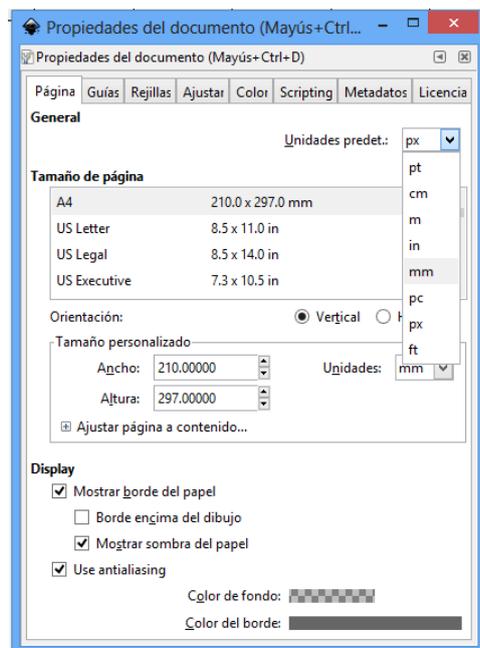
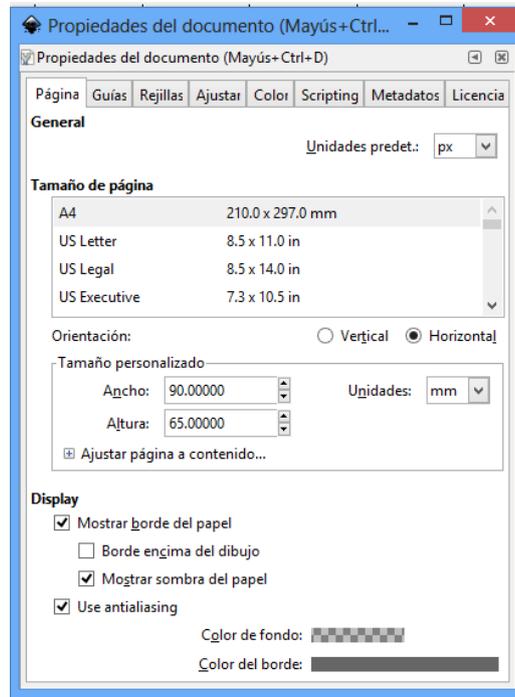


Figura 4.9 Selección de unidades predeterminadas en Inkscape

- 3) Establecer el espacio de trabajo para que coincida con el espacio de trabajo de la cortadora, estableciendo en tamaño personalizado el espacio de trabajo de la cortadora

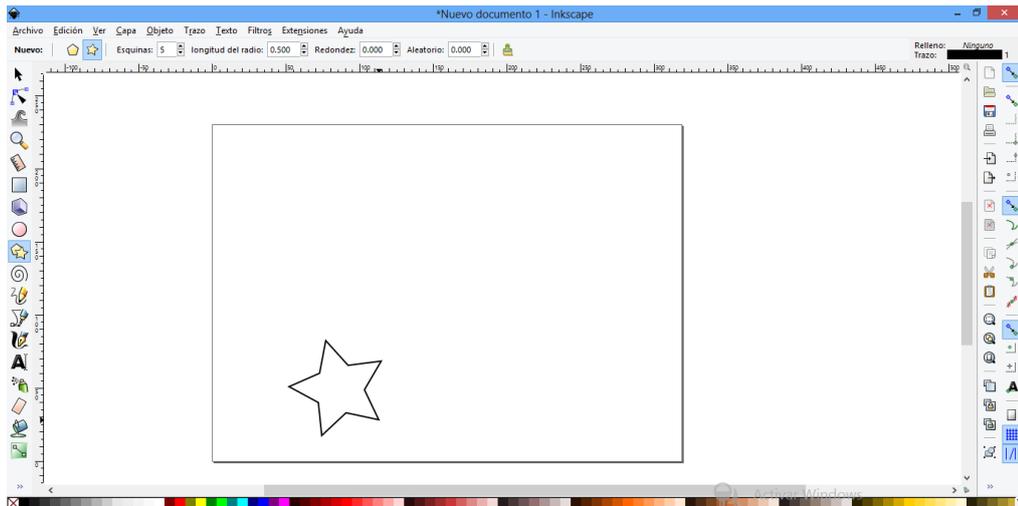


*Figura 4.10 Establecer tamaño personalizado del área de trabajo*

#### 4.1.1.2 Vectorización de una imagen en Inkscape

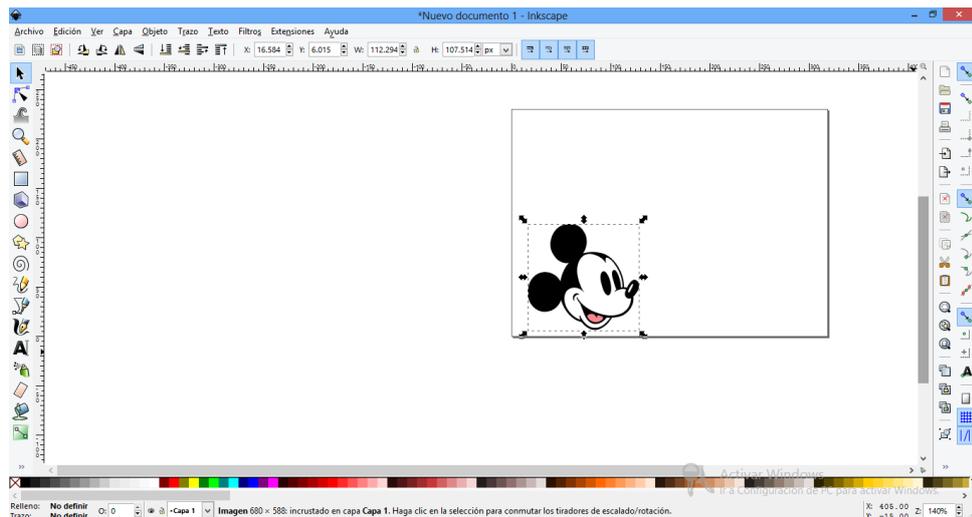
Con los parámetros iniciales establecidos el usuario podrá crear el diseño que desee o también podrá copiar en el programa una imagen ya creada y luego vectorizarla para pasarla a Código G para realizar esto se siguen los siguientes pasos:

- 1) Crear una imagen en Inkscape, al crearla dentro del programa no hay necesidad de vectorizarla.



*Figura 4.11 Imagen creada en Inkscape*

- 2) Copiar una imagen usando los comandos Ctrl+C y Ctrl+V para copiar y pegarla en el espacio de trabajo de Inkscape.



*Figura 4.12 Imagen copiada a Inkscape*

- 3) Vectorizar la imagen copiada a Inkscape haciendo clic derecho sobre la imagen, en la ventana que aparece se selecciona las opciones detección de bordes y eliminar color de fondo, se da clic en actualizar, y luego aceptar.

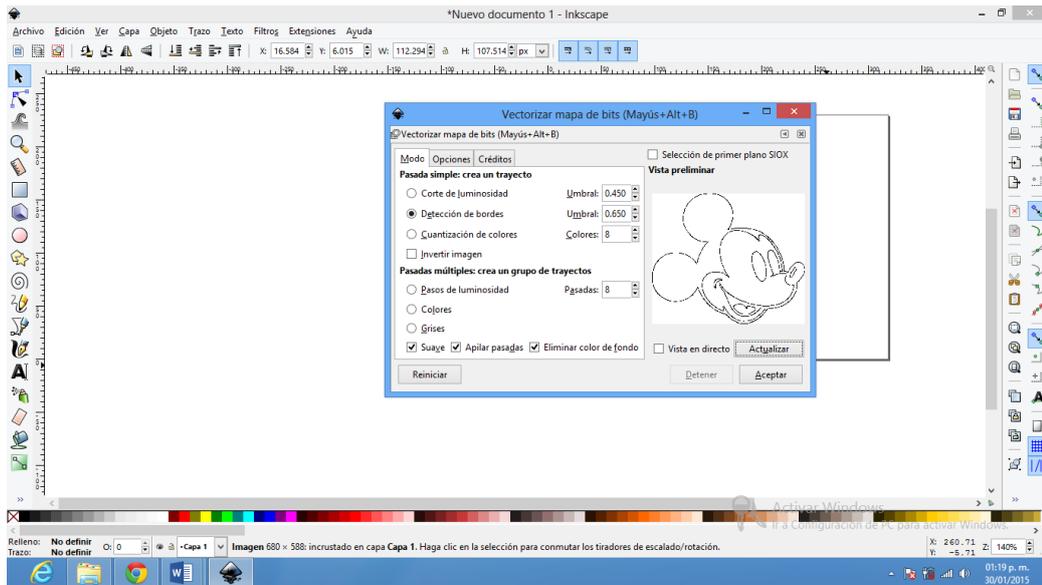


Figura 4.13 Ventana para vectorizar una imagen

- 4) Separar la imagen vectorizada de la imagen principal y borrar la imagen principal, ya que para generar el Código G se necesita solo la imagen vectorizada

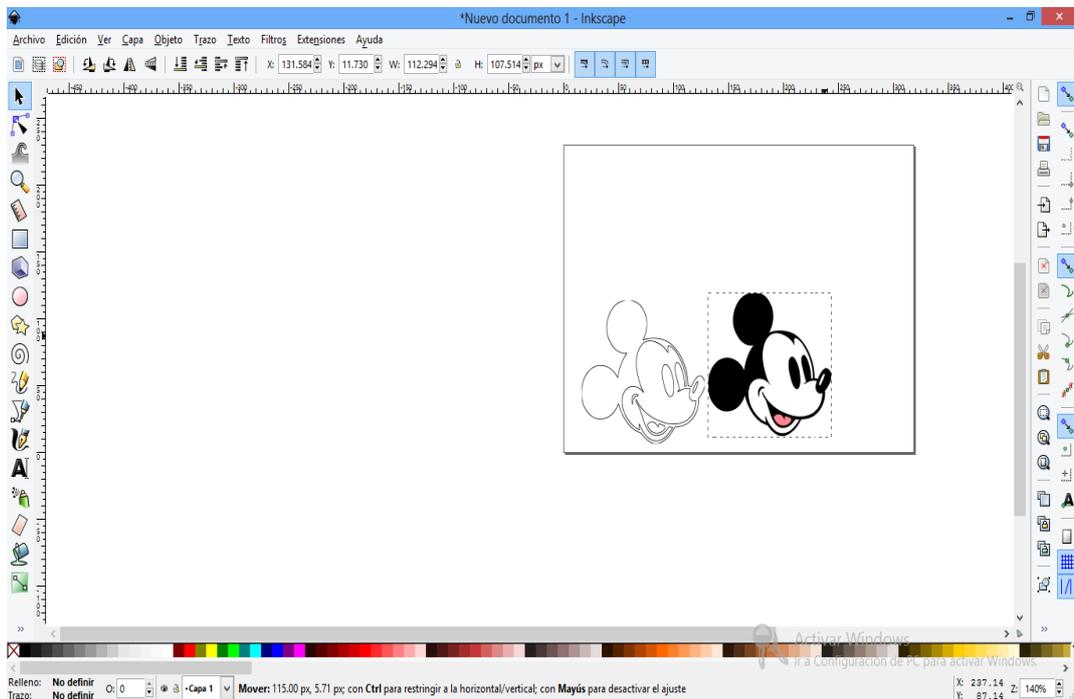


Figura 4.14 Imagen Vectorizada

#### 4.1.1.3 Generación de Código G en Inkscape

Para Generar el Código G ya sea a partir de una imagen hecha en el mismo programa o una imagen copiada luego de obtener la imagen vectorizada, se deben seguir los siguientes pasos:

- 1) Seleccionar la imagen, abrir el menú trazo y escoger la opción objeto a trazo.
- 2) Abrir el menú trazo y seleccionar la opción offset dinámico.
- 3) Abrir el menú extensiones, luego submenú GCode tools y seleccionar la opción puntos de orientación, en la ventana que se abre configurar los puntos de orientación ya que este programa genera el código para los tres ejes (X Y Z) y la cortadora solo va a trabajar en 2 (X e Y) se la superficie del eje Z lo más cercano a cero y la profundidad en 0 para que el programa permita generar el Código G, damos clic en aplicar y luego en cerrar.

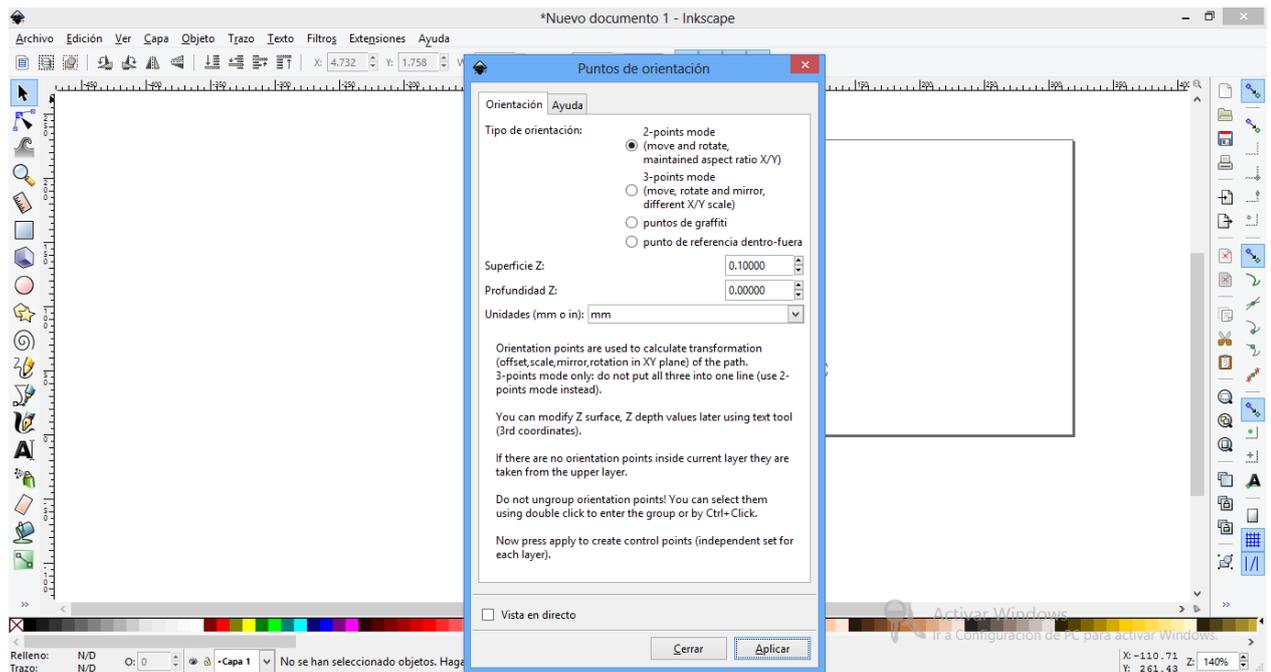


Figura 4.15 Ventana configuración de puntos de orientación de Inkscape

- 4) Para seleccionar la herramienta se abre el menú extensiones, submenú GCode tools opción biblioteca de herramientas en la que se abre la siguiente ventana

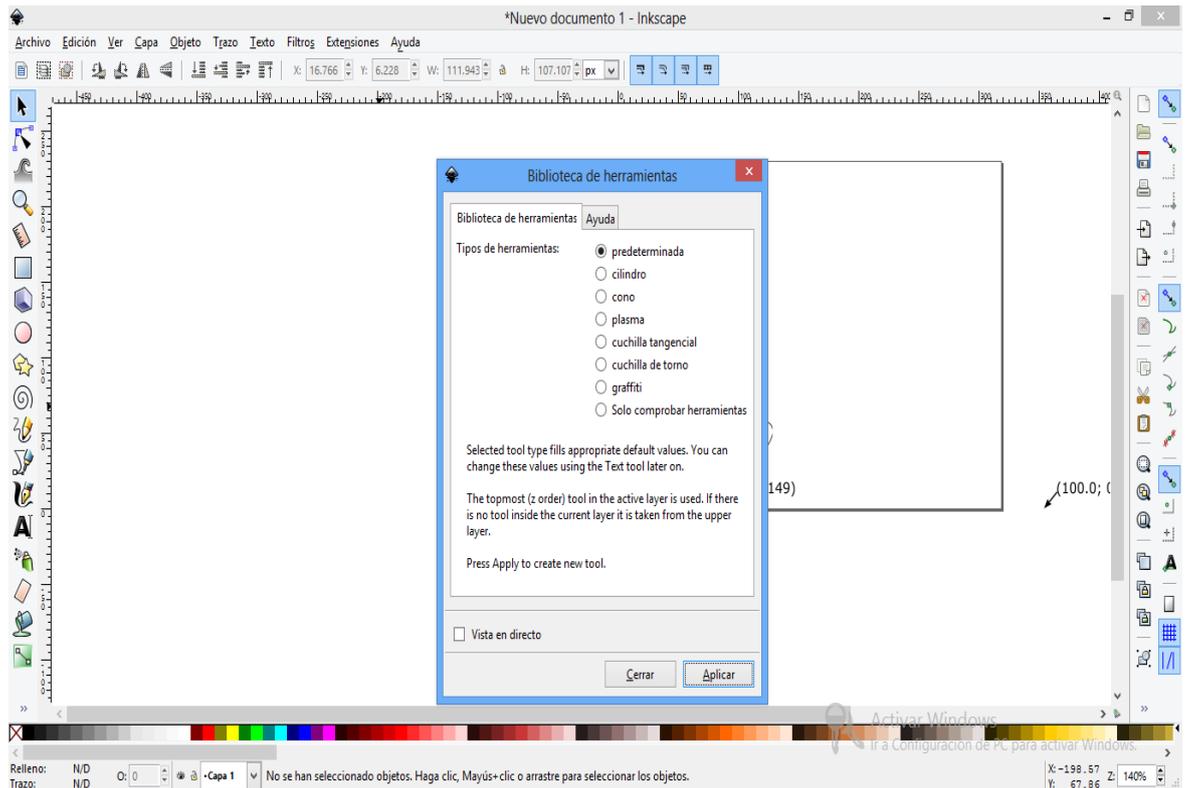


Figura 4.16 Ventana para selección de herramienta

- 5) Se selecciona la herramienta predeterminada y aplicar y obtendremos los datos de la herramienta seleccionada los cuales podemos modificar de acuerdo a los datos de la herramienta que estamos utilizando.

name	Default tool
id	default tool
diameter	10.0
feed	400.0
shape	10
penetration angle	90.0
penetration feed	100.0
passing feed	800
depth step	1.0
in trajetotry	(None)
out trajetotry	(None)
gcode before path	(None)
gcode after path	(None)
sog	(None)
spindle rpm	(None)
CW or CCW	(None)
tool change gcode	(None)
4th axis meaning	(None)
4th axis offset	0.0
4th axis scale	1.0
fine feed	800

Figura 4.17 Datos herramienta predeterminada

- 6) Con la herramienta modificar texto de Inkscape podemos modificar los datos de la herramienta seleccionada para que coincida con los datos de la herramienta de la cortadora que en este caso es el láser. En la Fig. 4.12 Se puede observar cual va a hacer la configuración para el láser.

name	Default tool
id	default tool
diameter	1.0
feed	10.0
shape	10
penetration angle	90.0
penetration feed	300.0
passing feed	250
depth step	1.0
in trajectory	(None)
out trajectory	(None)
gcode before path	(None)
gcode after path	(None)
sog	(None)
spinlde rpm	(None)
CW or CCW	(None)
tool change gcode	(None)
4th axis meaning	(None)
4th axis offset	0.0
4th axis scale	1.0
fine feed	800

Figura 4.18 Datos configurados para el uso del láser

- 7) Para la generación del Código G se selecciona la imagen y se abre el menú extensiones, submenú GCode tools opción trayecto a GCode y se abre la siguiente ventana

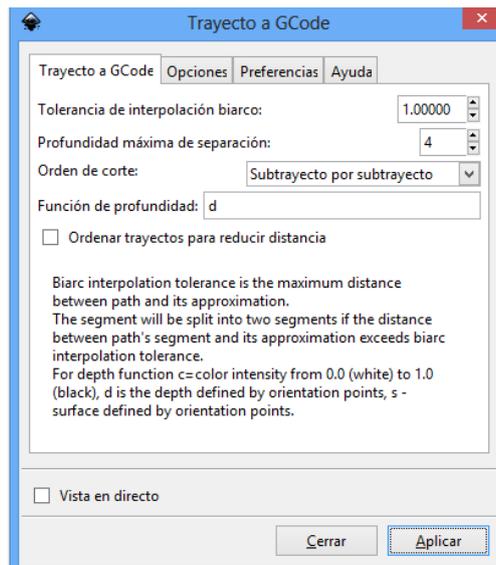
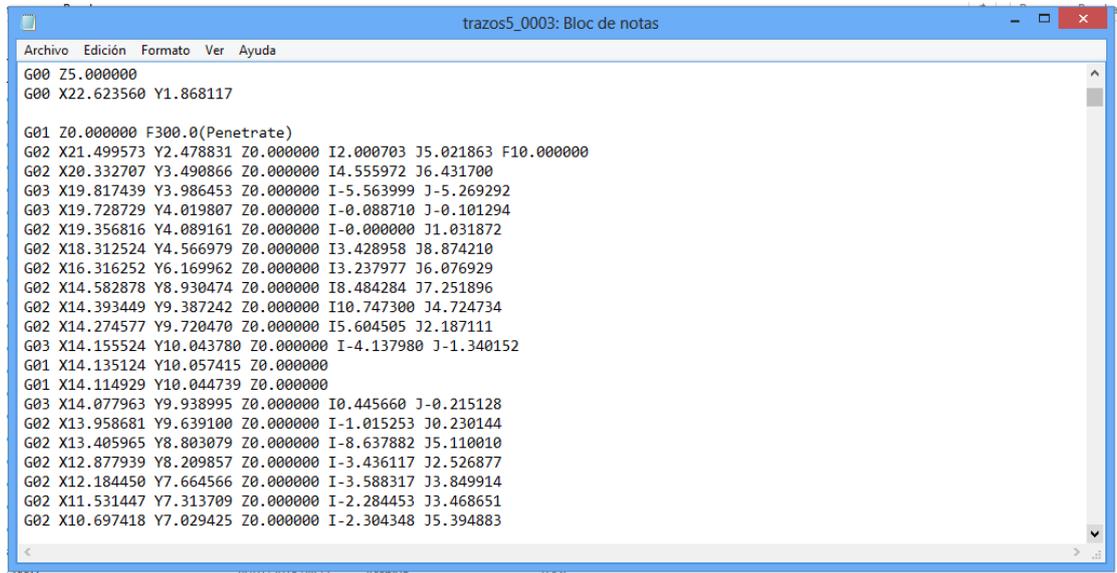


Figura 4.19 Ventana trayecto a GCode

- 8) En el menú preferencias se selecciona el nombre del archivo y la ubicación donde se va a guardar, se regresa al menú trayecto a GCode y se da clic en aplicar, con estos pasos se obtiene el Código G que se ve en la Fig. 4.14



```
trazos5_0003: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
G00 Z5.000000
G00 X22.623560 Y1.868117

G01 Z0.000000 F300.0(Penetrare)
G02 X21.499573 Y2.478831 Z0.000000 I2.000703 J5.021863 F10.000000
G02 X20.332707 Y3.490866 Z0.000000 I4.555972 J6.431700
G03 X19.817439 Y3.986453 Z0.000000 I-5.563999 J-5.269292
G03 X19.728729 Y4.019807 Z0.000000 I-0.088710 J-0.101294
G02 X19.356816 Y4.089161 Z0.000000 I-0.000000 J1.031872
G02 X18.312524 Y4.566979 Z0.000000 I3.428958 J8.874210
G02 X16.316252 Y6.169962 Z0.000000 I3.237977 J6.076929
G02 X14.582878 Y8.930474 Z0.000000 I8.484284 J7.251896
G02 X14.393449 Y9.387242 Z0.000000 I10.747300 J4.724734
G02 X14.274577 Y9.720470 Z0.000000 I5.604505 J2.187111
G03 X14.155524 Y10.043780 Z0.000000 I-4.137980 J-1.340152
G01 X14.135124 Y10.057415 Z0.000000
G01 X14.114929 Y10.044739 Z0.000000
G03 X14.077963 Y9.938995 Z0.000000 I0.445660 J-0.215128
G02 X13.958681 Y9.639100 Z0.000000 I-1.015253 J0.230144
G02 X13.405965 Y8.803079 Z0.000000 I-8.637882 J5.110010
G02 X12.877939 Y8.209857 Z0.000000 I-3.436117 J2.526877
G02 X12.184450 Y7.664566 Z0.000000 I-3.588317 J3.849914
G02 X11.531447 Y7.313709 Z0.000000 I-2.284453 J3.468651
G02 X10.697418 Y7.029425 Z0.000000 I-2.304348 J5.394883
```

Figura 4.20 Código G generado

## 4.2 SOFTWARE MACH3

El software Mach3 es un post procesador encargado de enviar el Código G generado en Inkscape al controlador CNC.

Para comenzar debemos descargar el instalador de la página oficial de MACH3 <http://www.machsupport.com/software/>. Cabe señalar que puede ser instalado en Windows 2000, WindowsXP, Windows 7, Windows 8, Windows 8.1; Los requisitos mínimos que debe tener el Ordenador son:

- Memoria RAM de 512Mb
- Disco Duro de 256 Gb
- Procesador Intel Core I3, AMD similar o superior

Luego de descargarse la aplicación seguimos los siguientes pasos para instalar el Software.

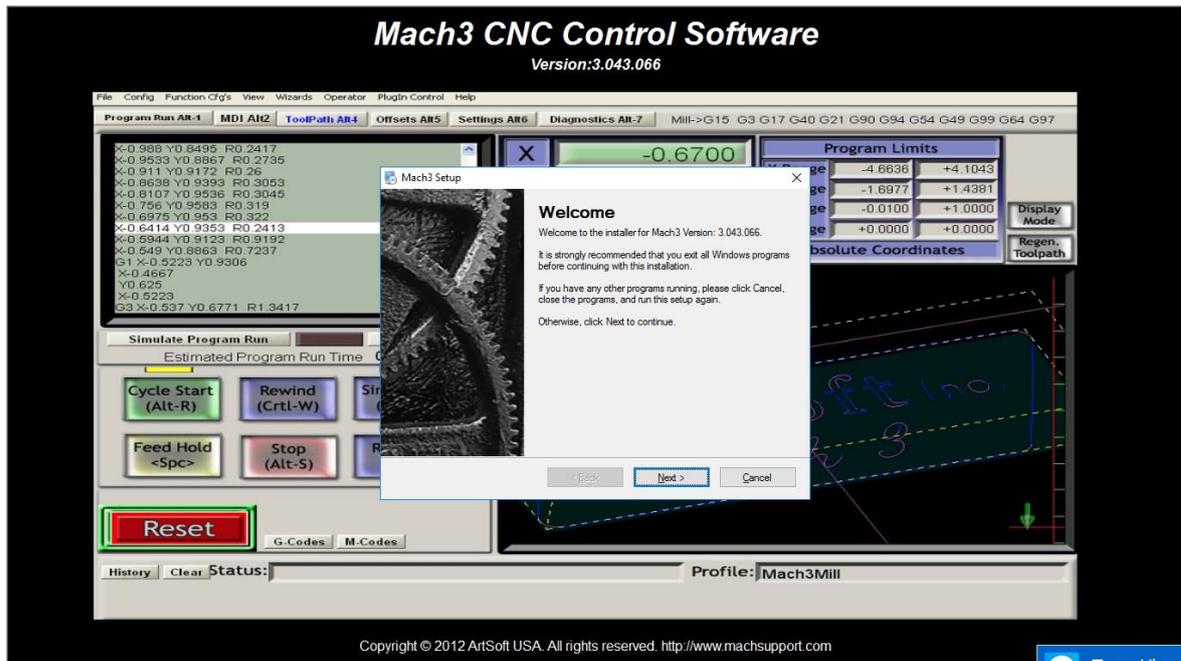


Figura 4.21 Abrir instalador MACH3

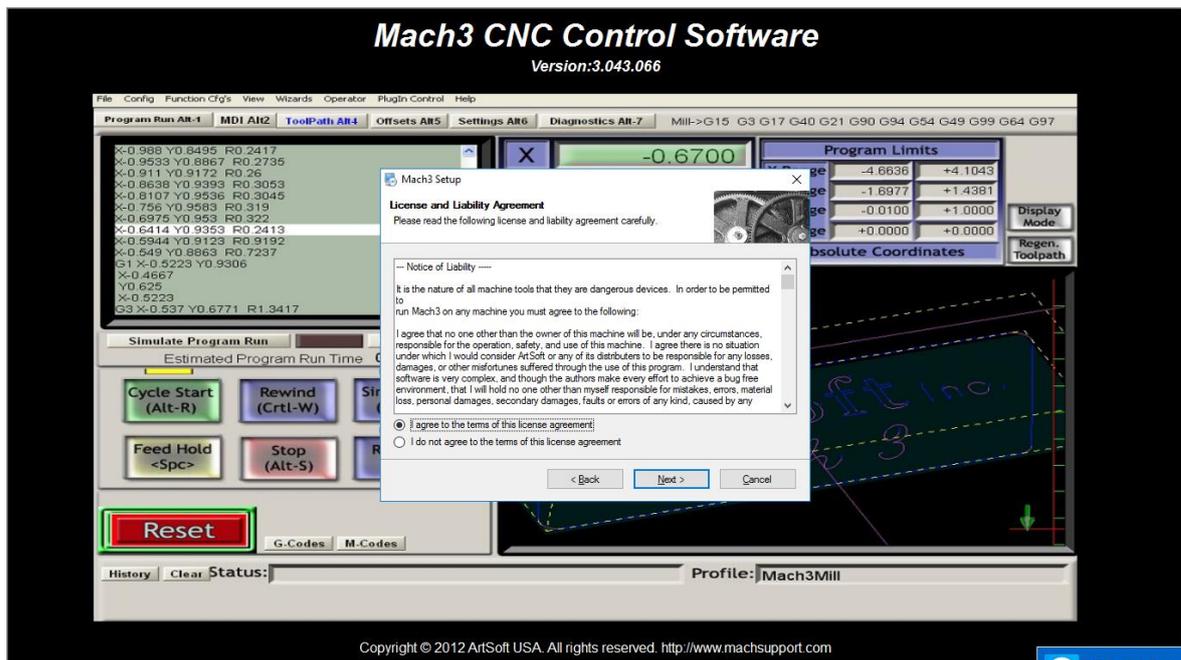


Figura 4.22 Aceptar términos de licencia MACH3

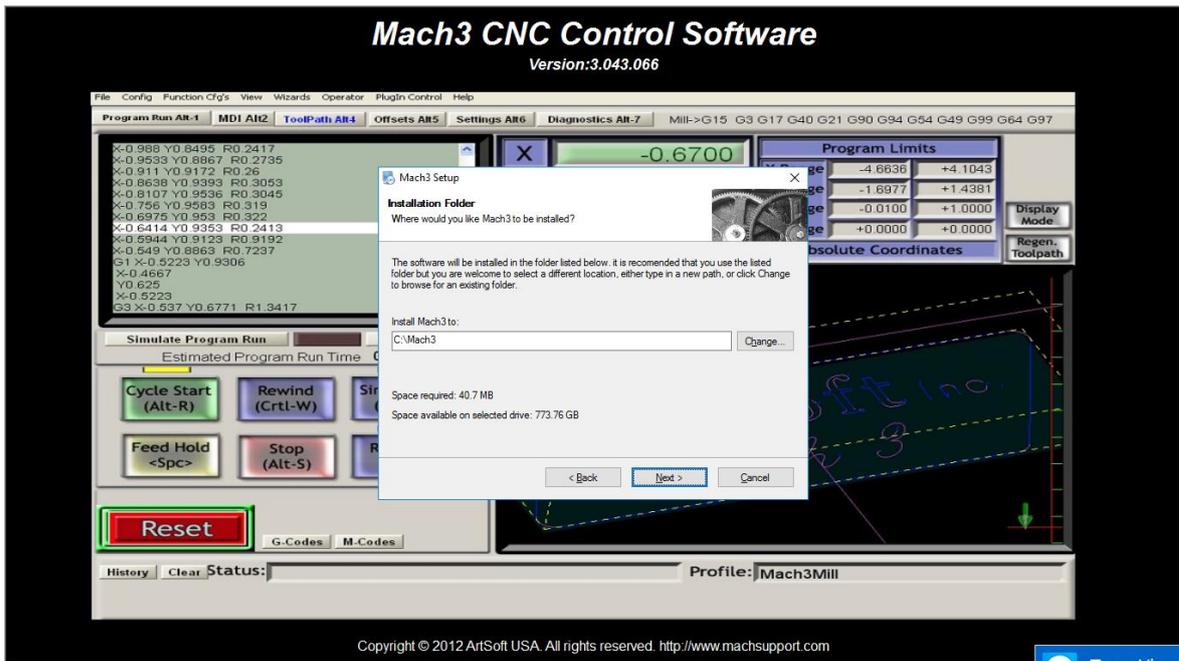


Figura 4.23 Seleccionar ruta de instalación MACH3

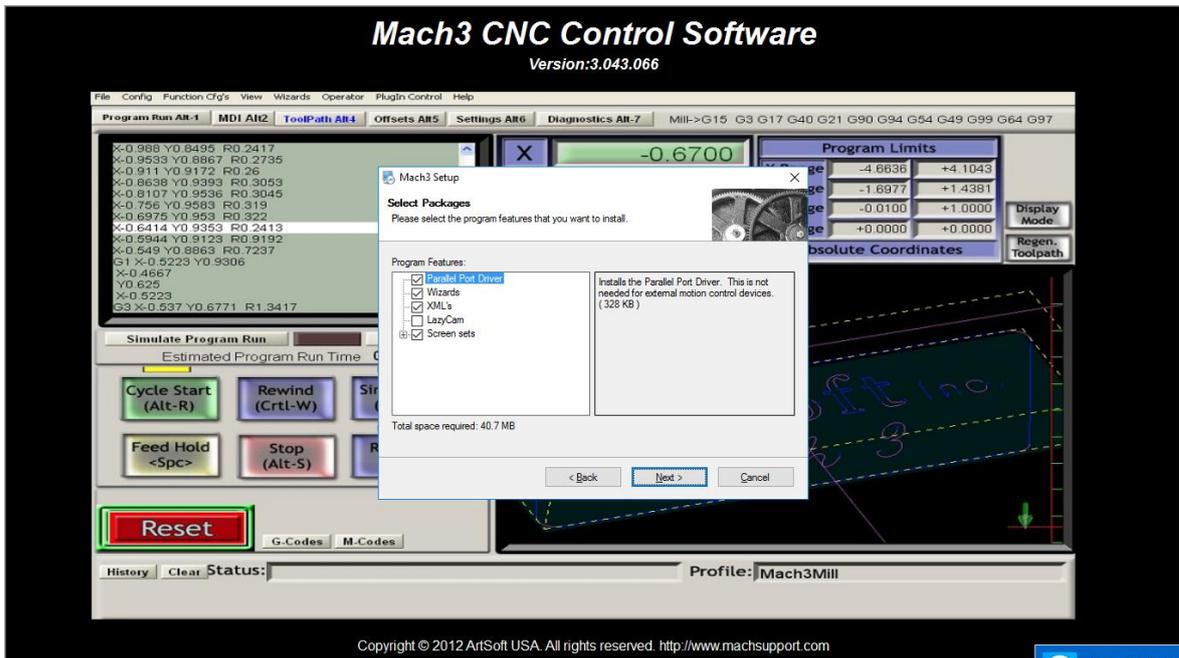


Figura 4.24 Seleccionar paquete de programas a instalar

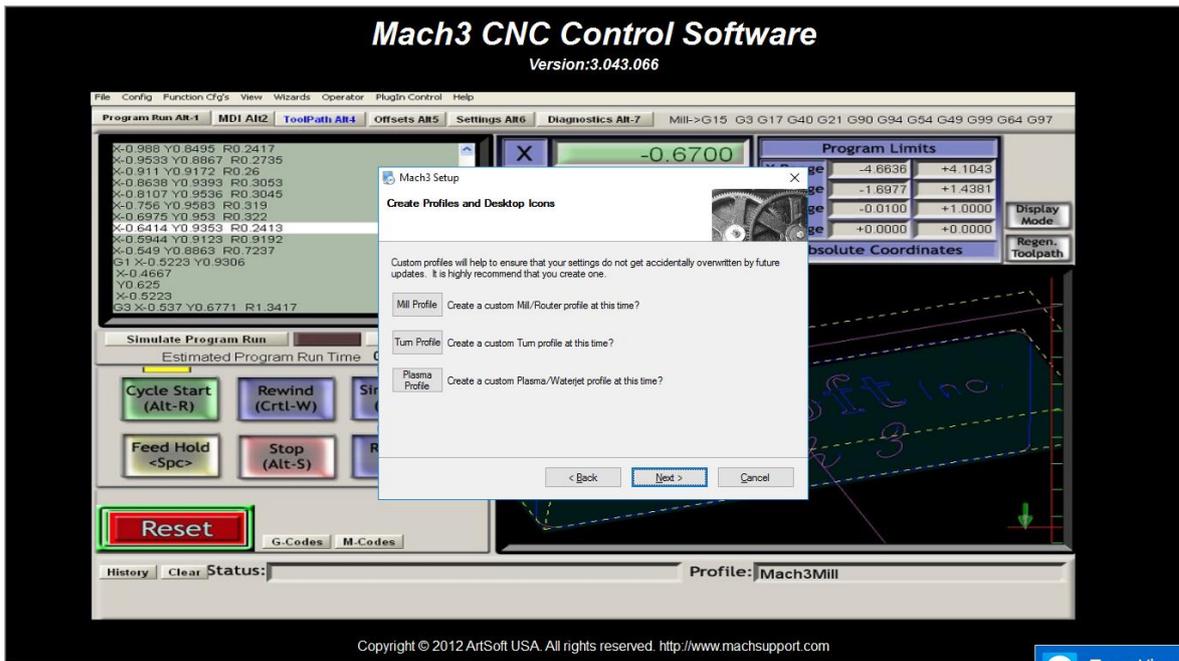


Figura 4.25 Selección perfiles de MACH 3

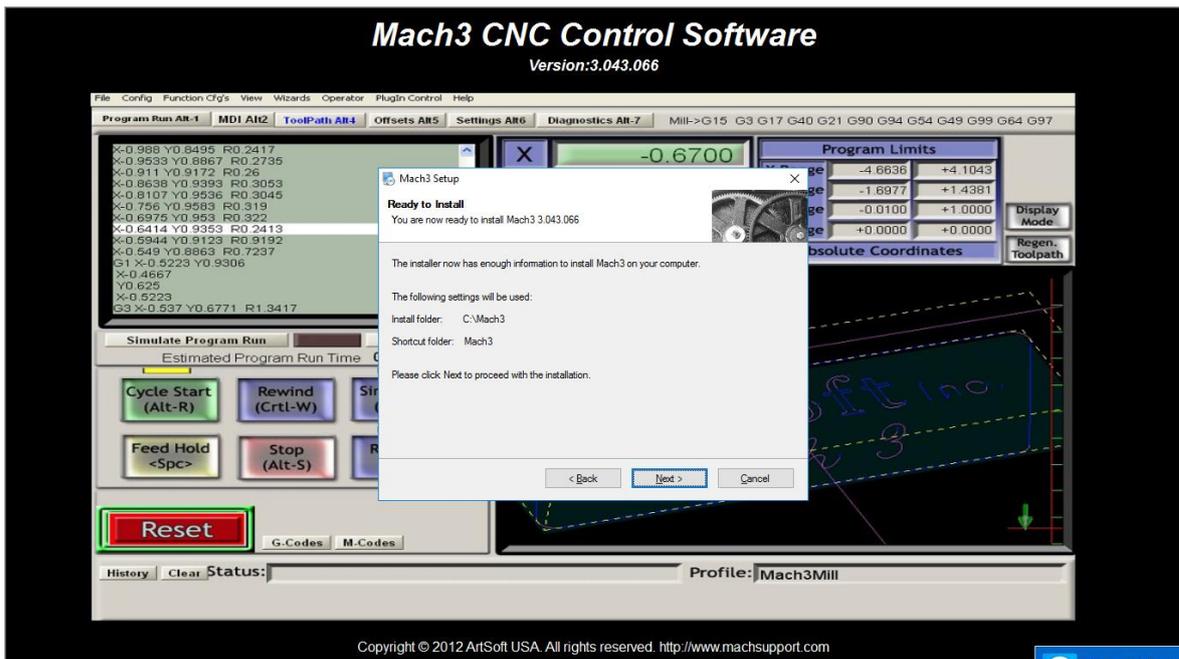


Figura 4.26 Empezar instalación MACH3

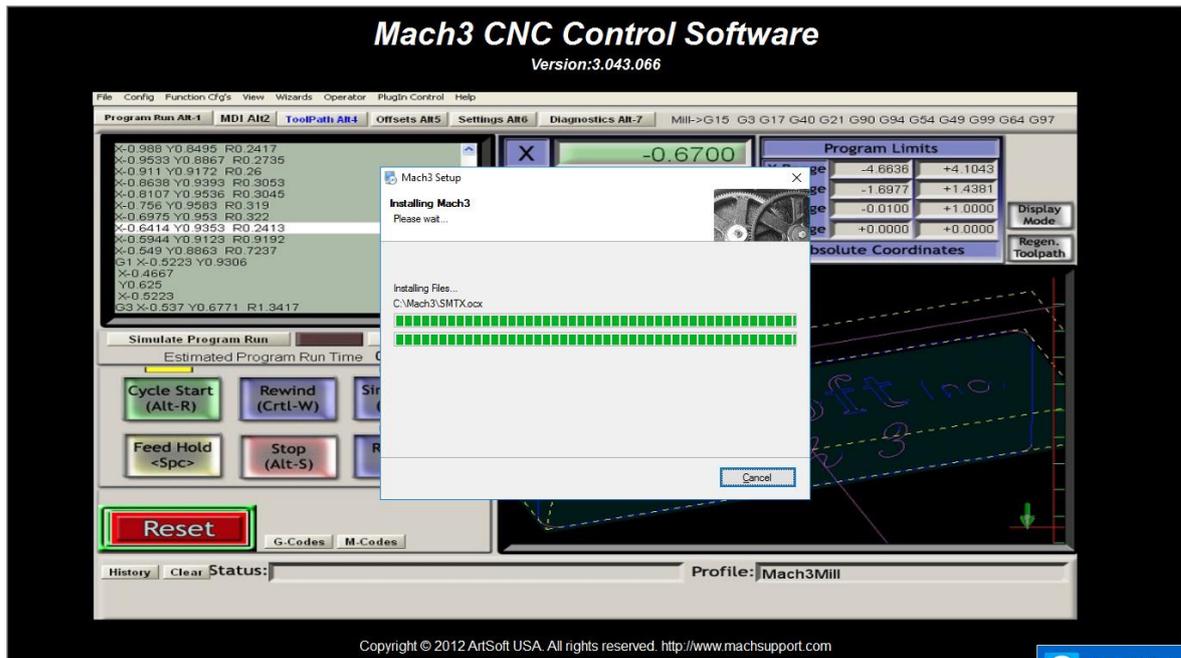


Figura 4.27 Proceso instalación MACH3

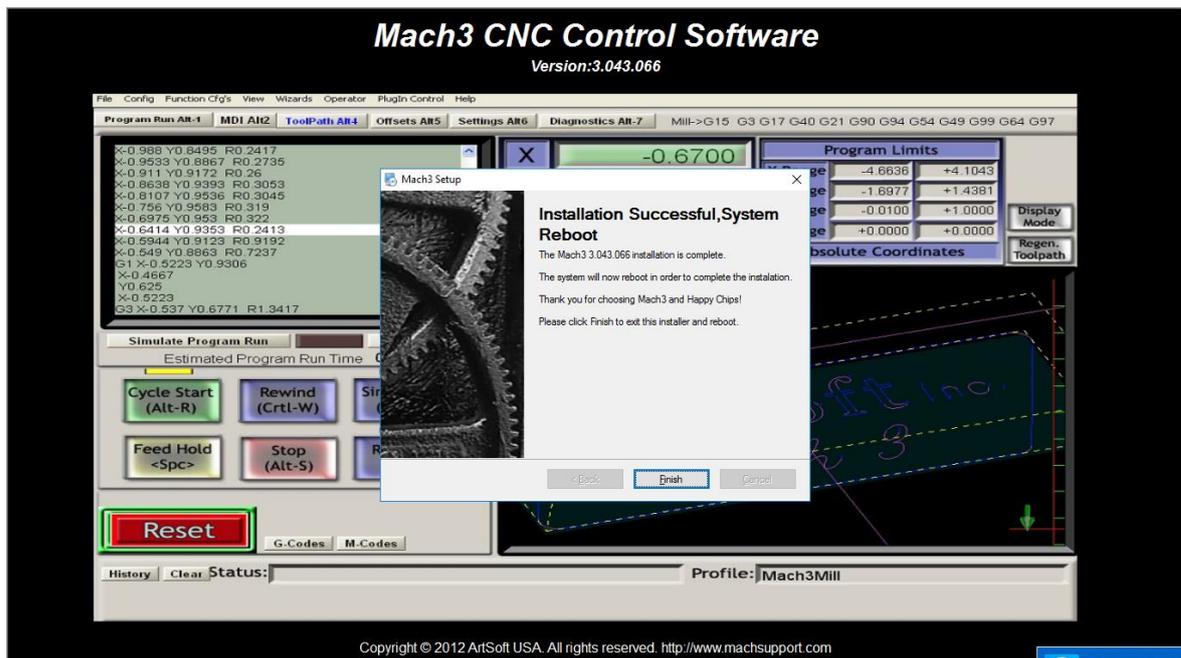


Figura 4.28 Fin instalación MACH3

La versión descargada de este software es un demo por lo que algunas opciones vienen deshabilitadas, para conseguir la versión completa del software se debe comprar la licencia del mismo que tiene un costo de 175 USD.

## 4.2.1 CONFIGURACIÓN DE SOFTWARE MACH3

La configuración a realizar para el uso del Software Mach3 se lo hace una sola vez ya que estos parámetros se quedarán establecidos para esta máquina.

### 4.2.1.1 Configuración parámetros iniciales Mach3

- 1) Abrir el Mach3 y escoger el perfil que se va utilizar, en este caso para la cortadora se elegirá el perfil plasma.

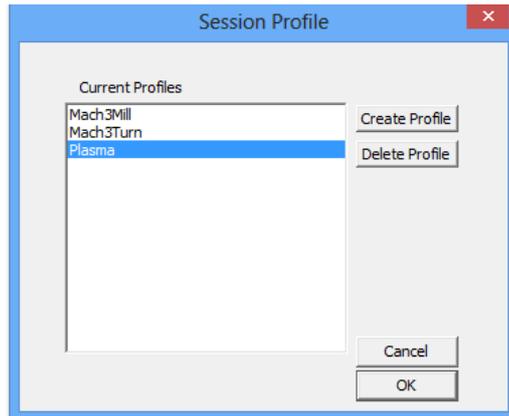


Figura 4.29 Ventana Selección del perfil en Mach3

- 2) Para configurar las señales de entrada del Mach 3 se abre el menú Config luego el submenú Ports and Pins, y se abre la ventana mostrada en la figura 4.30

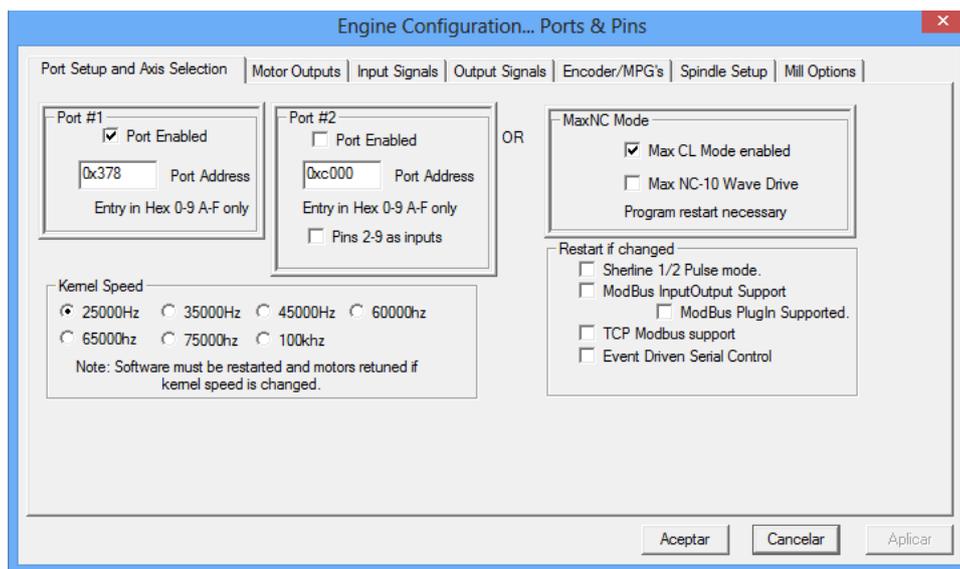


Figura 4.30 Ventana Ports and Pins

- 3) Abrir el menú Input Signals y se realiza la siguiente configuración para establecer los pines en los que estarán conectados los finales de carrera para poder determinar los límites y los home de la máquina.

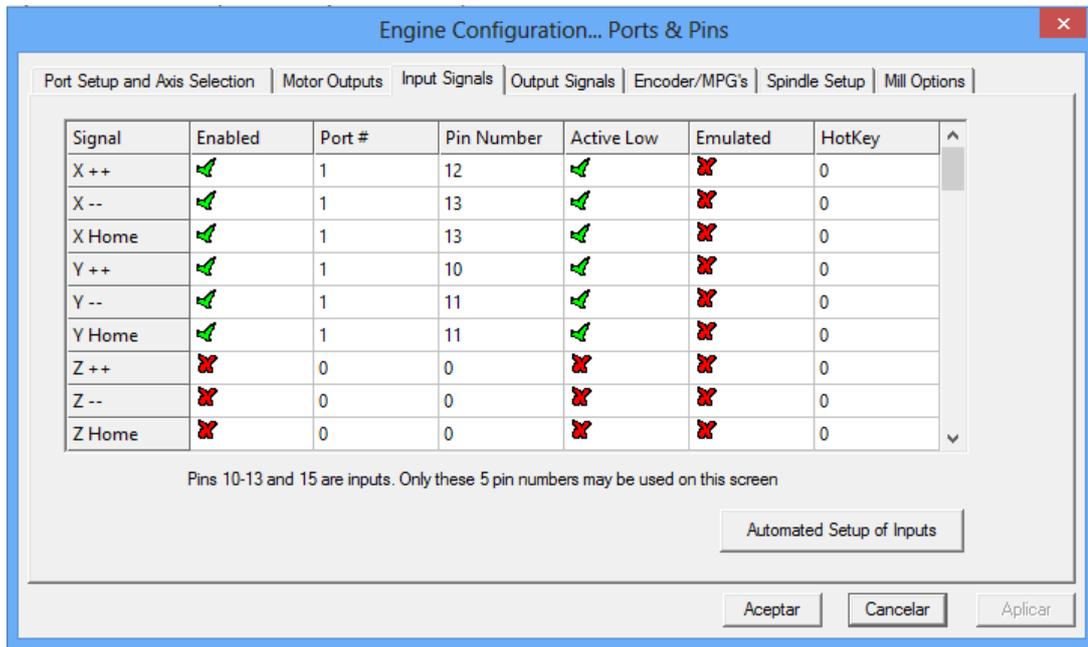


Figura 4.31 Configuración input signals

- 4) Abrir el menú la ventana Motor Outputs y configurar las señales de salida para el control del motor.

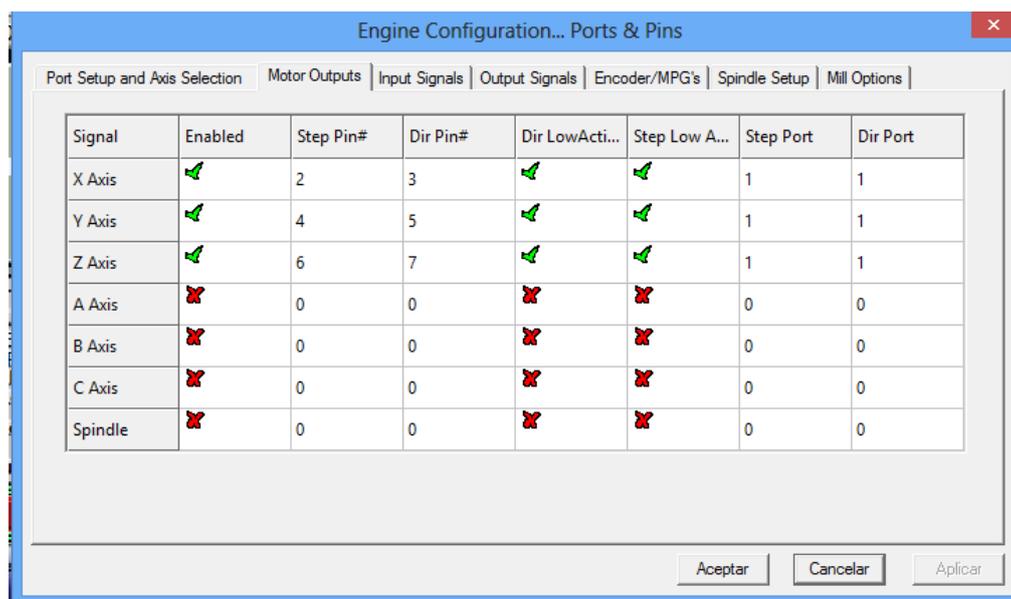


Figura 4.32 Configuración Motor Outputs

5) Abrir la ventana Output Signals y habilitar la salida 1 para la activación del Láser.

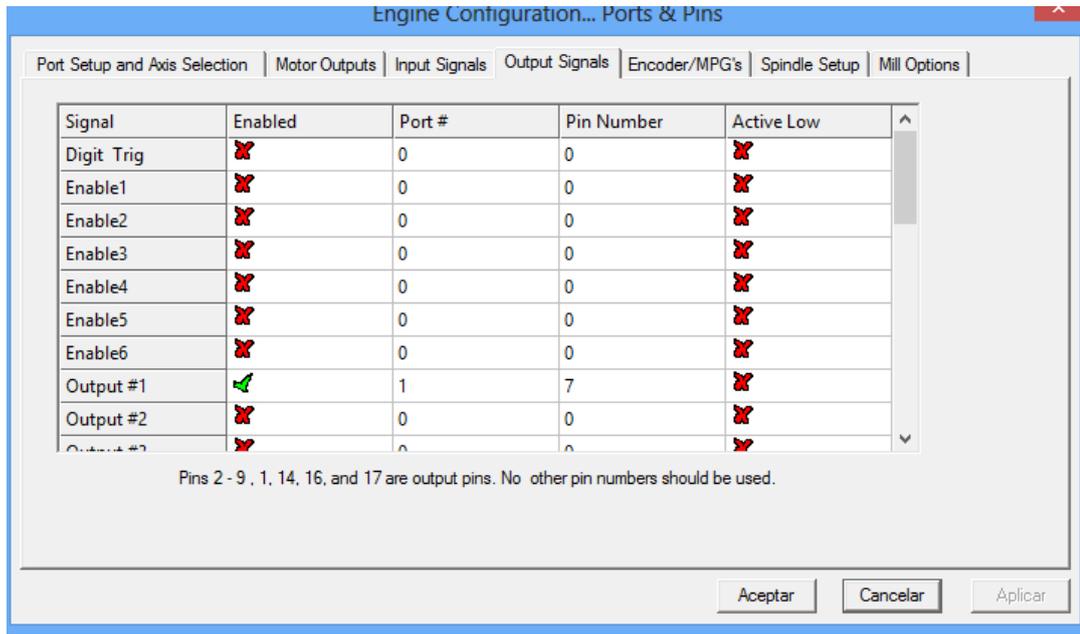


Figura 4.33 Configuración output signals

6) Abrir el menú config escoger la opción Motor Tuning para configurar los parámetros del motor, que serán los datos que nos da el driver del motor.

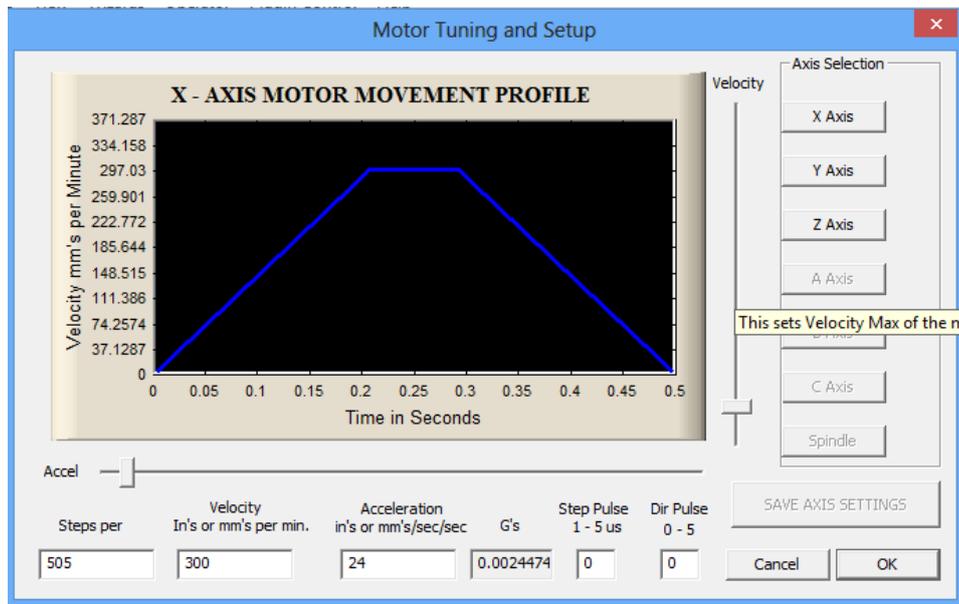


Figura 4.34 Configuración Motor Signal

- 7) Abrir el menú config y seleccionar Homing and Limits configurar según los datos de nuestro espacio de trabajo.

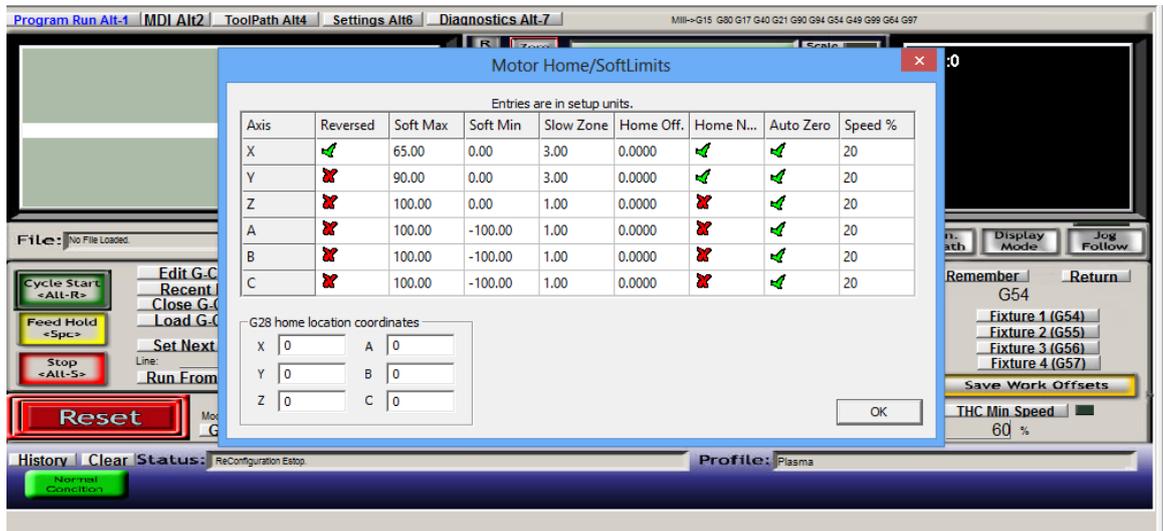


Figura 4.35 Configuración de Home and Limits

Una vez configurado el programa Mach3 se carga el GCode, seleccionando la opción Load GCode en la ventana principal de Mach3, se carga el archivo que se generó en el software Inkscape y por último se envía a correr el programa.

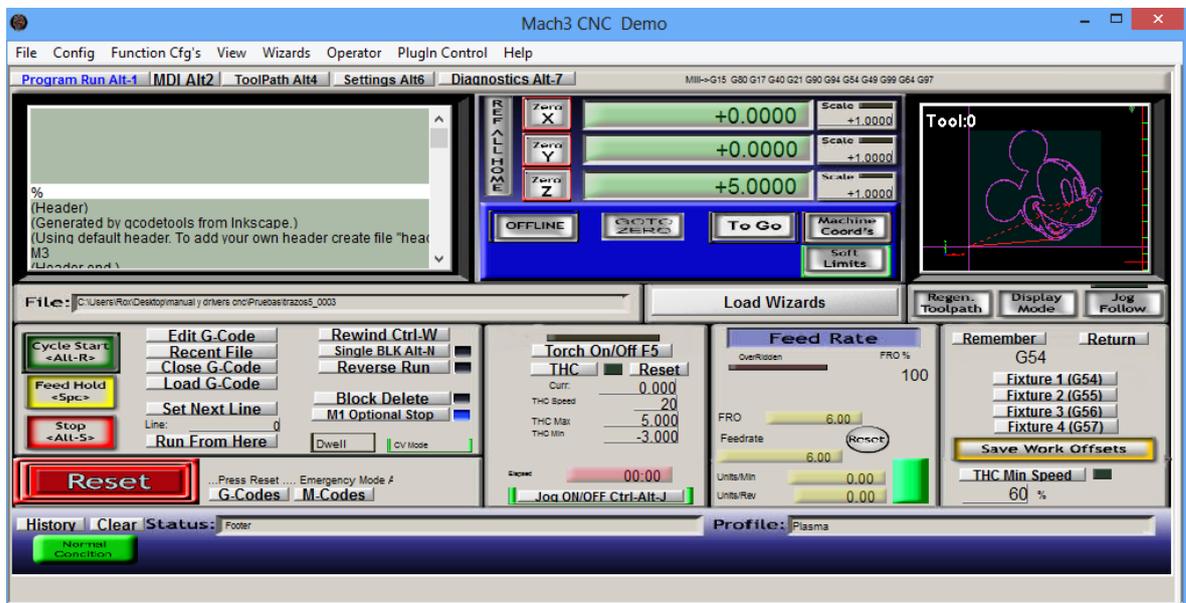


Figura 4.36 Código G cargado en Mach3

## CAPITULO 5

### 5.1 CONFIGURACIÓN DE MOTORES

#### 5.1.1 PASOS POR UNIDAD

Mach3 puede realizar automáticamente una comprobación de movimiento sobre un eje y calcular los pasos por unidad pero esto es probablemente lo mejor para el correcto afinado así presentamos la teoría global aquí. El número de pasos que Mach3 debe enviar por una unidad de movimiento depende del controlador mecánico (e.g. el paso de tornillo de bolas, engrane entre el motor y el tornillo), las propiedades del motor de paso a paso o el codificador en el servo motor y el micro-paso o engrane electrónico en el controlador electrónico. Nosotros miramos a estos tres puntos a la vez entonces estudiarlas en conjunto. [13]

#### 5.1.2 CÁLCULO CONTROLADOR MECÁNICO

En la configuración de los pasos de los motores, para la cantidad de pasos por unidad de distancia en mm se hace un simple cálculo. Tenemos que para el paso configurado en el driver, deben generarse 16 pulsos para lograr un paso completo. Por otro lado, en cada paso el motor avanza  $1.8^\circ$ , lo que equivale a 200 pasos para completar una vuelta. Además, dadas las relaciones del piñón cremallera, para una vuelta del motor, el móvil del láser se desplaza 1mm. Con esto, los pasos por milímetro son:

$$N = \frac{\text{pasos}}{\text{vueltas}} \times \frac{\text{vueltas}}{\text{mm}} \times \frac{\text{pulsos}}{\text{pasos}} \times \text{factor de corrección} \quad \text{Ec 5.1 Cálculo controlador mecánico [13]}$$

Reemplazando en Ec 5.1 tenemos:

$$N = 200 \times 1 \times 16 \times \text{factor de corrección}$$

$$N = 3200 \left( \frac{\text{pulsos}}{\text{mm}} \right) \times \text{factor de corrección}$$

El factor de corrección se determine por medio de ensayos de medición dando como resultado 0.158.

Por lo tanto:

$$N = 3200(\text{pulsos/mm}) \times 0.158$$

$$N = 505(\text{pulsos/mm})$$

Este dato es el que se ingresa en la configuración de Mach3 en la ventana Motor Tuning.

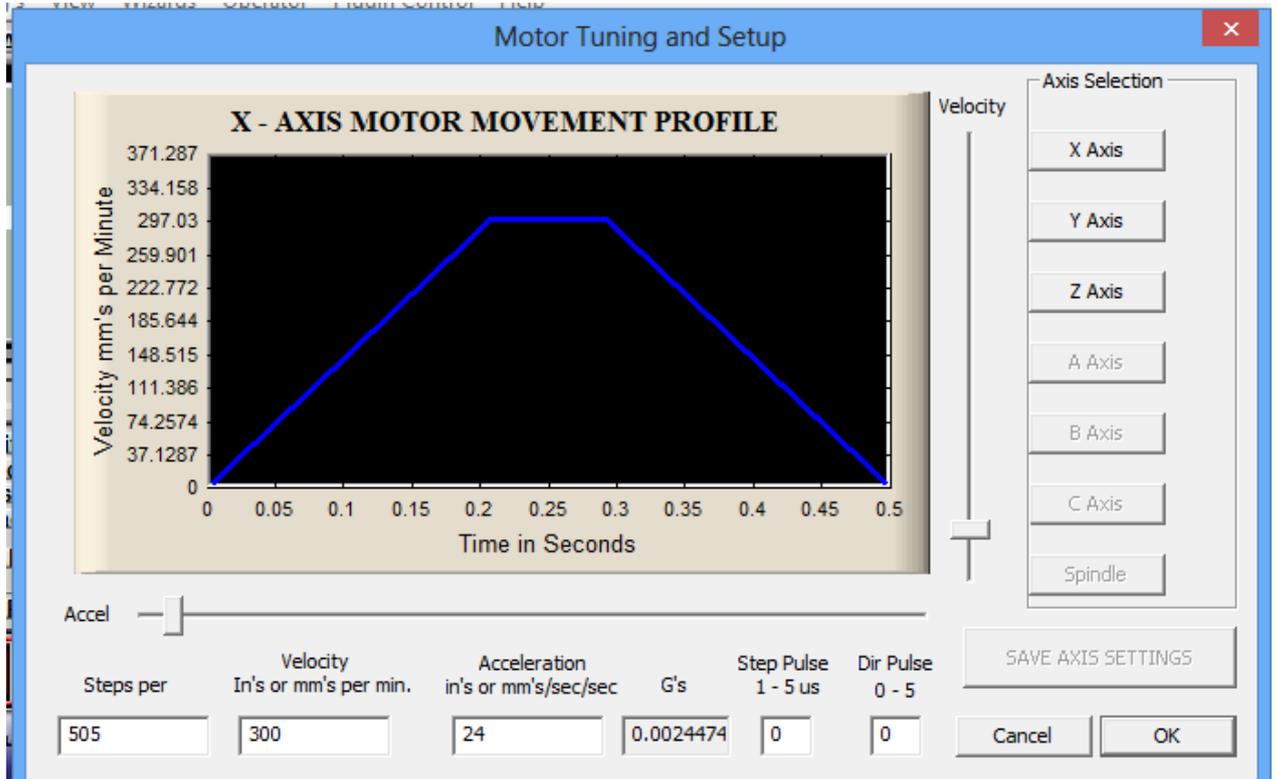


Figura 5.1 Código G cargado en Mach3

### 5.1.3 DETERMINACIÓN DE VELOCIDAD DE CORTE MEDIANTE PRUEBAS REALIZADAS

Para determinar la velocidad de corte se realizó ensayos de corte del material (papel colores oscuros, papel colores claros, madera), teniendo en consideración parámetros como cantidad de hojas y calidad de corte. Como se observa en las tablas 6 y 7.

*Tabla 9 Resultado ensayo de cortes papel colores oscuros*

Velocidad (mm/min)	Cantidad de hojas cortadas	Tipo de Papel	Calidad de corte
30	5	Papel Oscuro	1
20	8	Papel Oscuro	1
15	8	Papel Oscuro	2
12	9	Papel Oscuro	5
10	10	Papel Oscuro	4

En donde se determinó que la velocidad de corte óptima para papel de colores oscuros (azul, verde, negro, café, plomo, morado) es de 12 mm/min ya que la calidad del corte es la mejor.

*Tabla 10 Resultado ensayo de cortes papel colores claros*

Velocidad (mm/min)	Cantidad de hojas cortadas	Tipo de Papel	Calidad de corte
30	2	Papel Claro	1
20	5	Papel Claro	1
15	5	Papel Claro	2
12	7	Papel Claro	4
10	8	Papel Claro	5

En donde se determinó que la velocidad de corte óptima para papel de colores claros (blanco, tomate, amarillo, rosado) es de 10 mm/min ya que la calidad del corte es la mejor. Teniendo en cuenta que para hacer cortes en papel claro se debe colocar un punto negro en donde va a iniciar el corte para que el láser pueda empezar el corte.

De acuerdo a los datos obtenidos en las tablas 9 y 10 se observó que cuando se aumenta el tiempo de exposición al láser la calidad de corte disminuye porque el contorno de corte tiende a quemarse.

Además se realizó ensayos en madera y acrílico donde no se obtuvo un corte pero se obtuvo un grabado de color obscuro con diseños implementados previamente en Inkscape.

La velocidad de corte se configurará en el software Inkscape al momento de escoger la herramienta de corte, tomando en cuenta la opacidad del material a cortar, en

nuestro caso el feed rate para papel de colores oscuros será 12mm/min y para papel de colores claros 10 mm/min.

name	Default tool
id	default tool
diameter	1.0
feed	10.0

*Figura 5.2 Velocidad de corte*

#### **5.1.4 MONTAJE SISTEMA DE TRANSMISIÓN**

En el montaje del sistema de transmisión intervienen varios elementos, el primer paso es el montaje de las guías lineales sobre la estructura de la mesa, luego se procede al montaje de la cremallera en el eje y teniendo en cuenta la distancia que debe tener la cremallera con respecto al piñón que esta acoplado al motor paso para reducir al mínimo el juego en este sistema de transmisión, para evitar problemas con los cables debido al movimiento que va a tener la cortadora se utilizó una cadena plástica portacables para que los cables no sufran daño durante el movimiento.

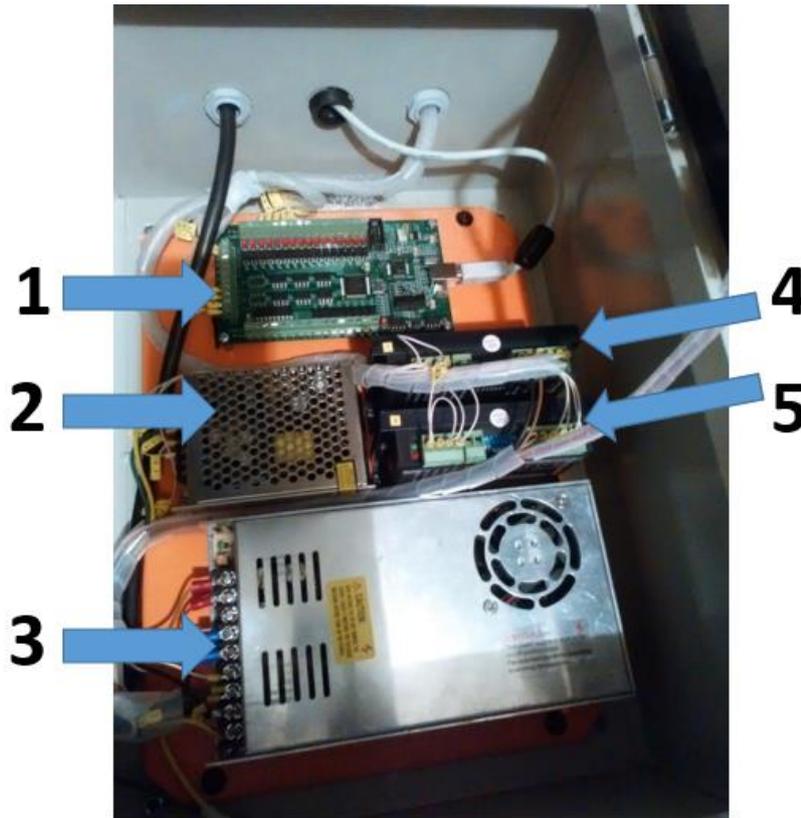


*Figura 5.3 Montaje del sistema de transmisión*

## 5.2 MONTAJE DEL SISTEMA DE CONTROL

El montaje de sistema de control se lo hace en un gabinete de 40 x 30 x 20 (cm), para luego realizar el cableado de los elementos que conforman el sistema de control.

En la figura 5.4 se puede observar la parte interna del gabinete de control con sus respectivos elementos.

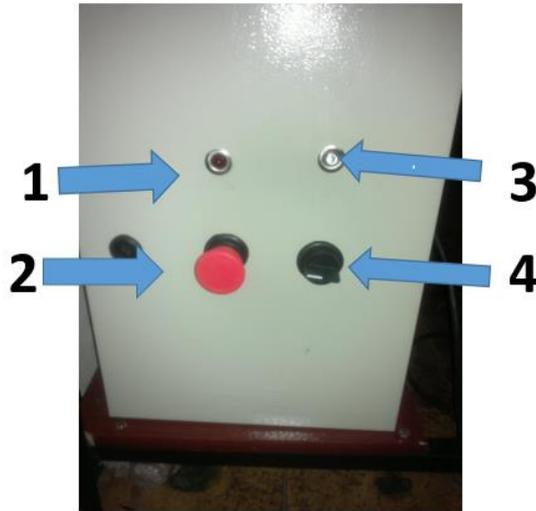


*Figura 5.4 Vista interna caja de control*

A continuación se enumeran los elementos que conforman la parte interna del gabinete de control:

1. Controlador CNC 3-Axis-MACH3-CNC-USB-200KHz.
2. Fuente de 12V-3A para módulo láser.
3. Fuente de 48V-8.3A para motores paso.
4. Driver DQ542MA para motor eje Y
5. Driver DQ542MA para motor eje x

En la figura 5.5 se puede observar la parte externa del gabinete de control



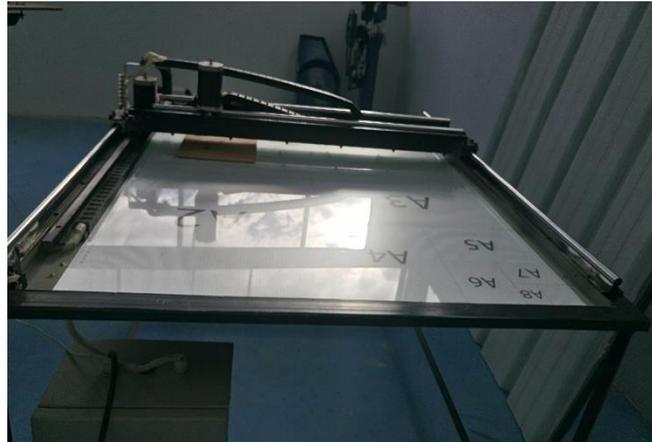
*Figura 5.5 Vista externa gabinete de control*

A continuación se enumeran los elementos q conforman la parte externa del gabinete de control:

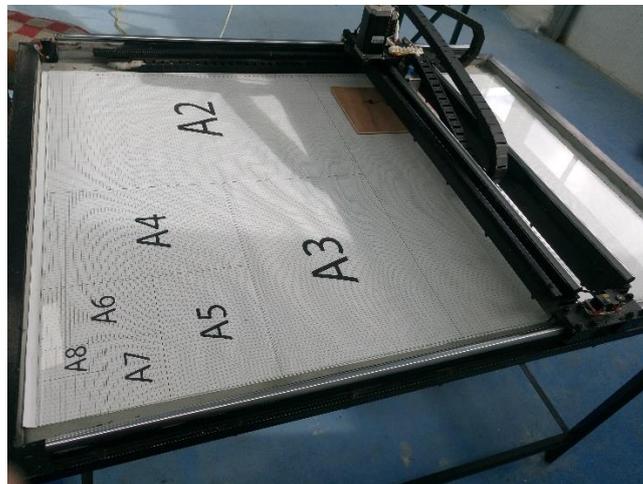
1. Luz piloto paro de emergencia.
2. Pulsador paro de emergencia.
3. Luz piloto encendido.
4. Switch ON/OFF

### **5.3 IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS**

Una vez realizada la construcción de la estructura de la cortadora CNC, el montaje del sistema de transmisión, el montaje del tablero de control, la configuración de los programas que van a ser utilizados en este proyecto, se procede a realizar las pruebas de funcionamiento de la máquina y el análisis costo-beneficio de la misma.



*Figura 5.6 Vista frontal de la cortadora*



*Figura 5.7 Vista lateral de la cortadora*

### **5.3.1 PRUEBAS DE CORTE**

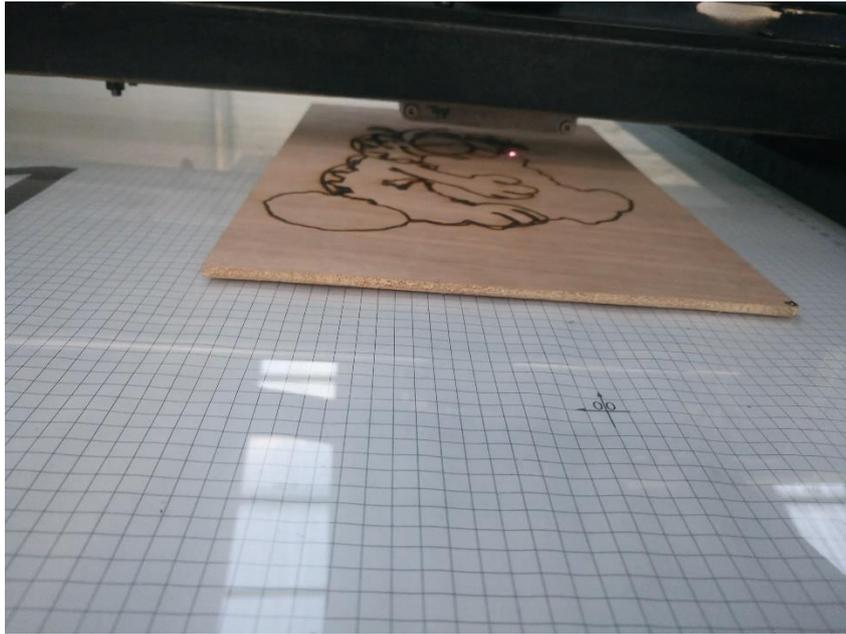
Se realizaron ensayos de corte en diferentes materiales (papel colores claros, papel colores oscuro, madera, fomix), y se obtuvieron los resultados descritos anteriormente en la tabla 10 y 11, en las siguientes imágenes se muestran los resultados obtenidos.



*Figura 5.8 Ensayo corte papel colores claros*



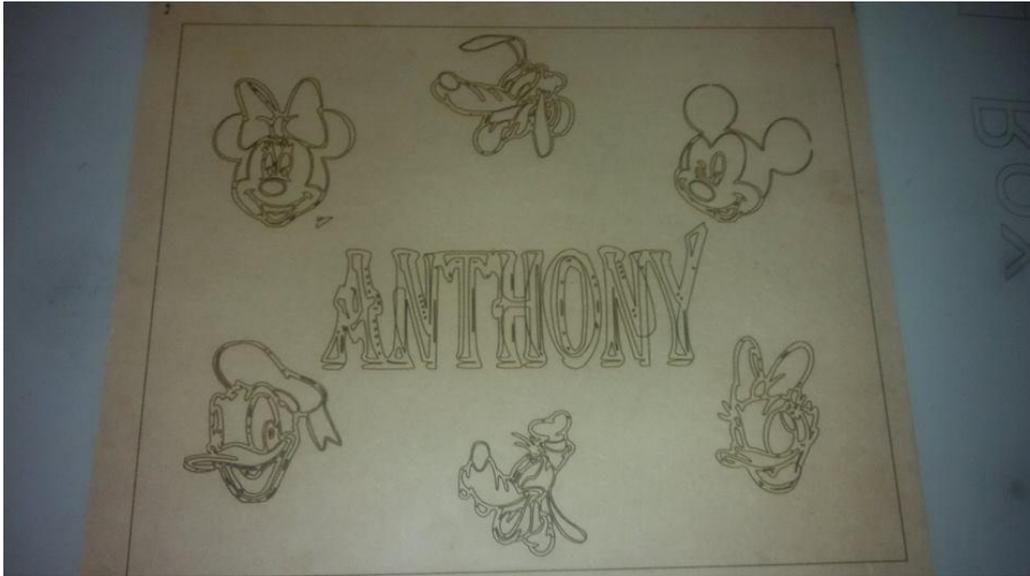
*Figura 5.9 Ensayo corte papel colores oscuros*



*Figura 5.10 Grabación en madera*



*Figura 5.11 Ensayo Grabado en madera y fomix*



*Figura 5.12 Imagen grabada en madera*



*Figura 5.13 Corte en Papel*

Luego de haber realizado las pruebas de funcionamiento y tras la verificación de las medidas de las piezas cortadas se determinó que la precisión de la máquina es de -1mm, esta precisión viene dado por la exposición al láser.

### 5.3.2 PRESUPUESTO

*Tabla 11 Presupuesto cortadora láser*

ELEMENTOS	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Módulo Láser Industrial	1	286	286
Kit de 2 motores NEMA 23 (2,8 N.m) con drivers DQ542MA	1	440	440
Plancha de tool galvanizado de 0,7 mm	1	17	17
Controlador CNC 3-Axis-MACH3-CNC-USB-200KHz	1	243	243
Kit de cremallera de 2m con piñón	1	249	249
Guía lineal con rodamientos	4	95	380
Fuente de 48V para Motores	1	48	48
Fuente de 12V para láser	1	25	25
Tubo rectangular negro (20x40x1.5x6000)(mm)	2	16	32
Angulo (25x25x3)(mm)	1	11	11
Licencia software MACH3	1	175	175
Vidrio antirreflejo (110x70x3)(mm)	1	59	59
Costo de Manufactura	1	150	150
Material eléctrico	1	80	80
Gastos Varios	1	80	80
<b>TOTAL</b>			<b>2275</b>

### 5.3.3 ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO

En la Producción de 16 docenas de tarjetas con cortes rectos sin impresión se incide en los costos que se detalla en la tabla 13

*Tabla 12 Costo fabricación de tarjetas*

	Cantidad	Costo (USD)
Horas hombre	8	20
Materia Prima	1	16
Varios	1	12
Comercialización	1	8
<b>Total</b>		<b>56</b>

El margen de utilidad por docena se detalla en la table 14

*Tabla 13 Margen de utilidad*

<b>Costo de producción</b>	3.50 USD/docena
<b>Precio de venta al público</b>	6.00 USD/docena
<b>Margen de utilidad</b>	41%

Al mes se produce un promedio de 148 docenas teniendo una utilidad de \$364, mensuales.

Considerando que al mes se tiene una demanda aproximadamente de 330 docenas de tarjetas, y que el sistema de corte actual no es capaz de cubrir esta demanda, además de que los diseños personalizados con curvaturas se tienen que enviar a la ciudad de Quito, pues en la ciudad de Ibarra no se cuenta con la herramienta necesaria para hacer este tipo de corte se eleva el valor de las tarjetas a precios que van desde \$15/docena variando de acuerdo a la complejidad del corte.

Se estima elevar la producción al doble de la capacidad instalada actualmente con lo cual se cubrirá la demanda existente en el mercado, recuperando la inversión en un plazo de aproximadamente seis meses

## CONCLUSIONES

- Conociendo los diferentes tipos de láser para corte de papel se seleccionó el láser infrarrojo para la realización del proyecto, considerando que cumple con los parámetros establecidos para un funcionamiento eficiente de la cortadora.
- La cortadora láser optimiza el proceso de corte de diseños sencillos y complejos en papel, disminuyendo el tiempo de entrega, aumentando la calidad y permitiendo realizar diseños personalizados de acuerdo a la necesidad de cada cliente.
- La configuración de la velocidad de corte del láser depende del material que se va a cortar, y mediante ensayos de cortes que se encuentran en las tablas 9 y 10, se pudo determinar el valor de velocidad óptima para cada material.
- La máquina puede realizar corte en fomix; Además grabados superficiales en madera, acrílico y fomix.
- El software Inkscape vectoriza fácilmente una imagen detallada y la transforma en código G, para que la cortadora realice el corte y/o grabado en papel, fomix, madera o acrílico
- El software MACH3 junto con la tarjeta de control pueden ser adaptadas fácilmente a otros sistemas de corte, en los cuales lo que cambia es la herramienta de corte, la cual puede ser cambiada en la máquina dependiendo del peso de la nueva herramienta, ya que se debe tomar en cuenta los límites estructurales de la máquina

## **RECOMENDACIONES**

- Para el corte de papel de colores claros se recomienda colocar un punto negro en donde va a iniciar el corte ya que este tipo de papel refleja la luz del haz del láser, por lo que al colocar el punto negro la energía del haz incide en este y produce el corte.
- Para la correcta operación de la máquina se recomienda leer los manuales de usuario y mantenimiento que se encuentran adjuntos en los Anexo 1 y 2 respectivamente.
- El operario que va a manejar la máquina debe usar el equipo de protección de personal como son: gafas con protección para luz láser y guantes de látex.
- El operario bajo ninguna circunstancia debe exponer cualquier parte del cuerpo al haz de láser, ni permitir que alguien más lo haga ya que le causaría quemaduras graves.
- Se recomienda capacitar al operario tanto en el uso del software como en temas de precaución en la manipulación de la máquina, sobre todo en el uso del láser.

## Bibliografía

- [1] D. F. Castañeda Jácome y H. E. Rayo Luna, EMULADOR PARA CORTE DE PAPEL CON SISTEMA LÁSER, Bogotá, 2007.
- [2] A. I. Mejia, «Materiales herramientas y técnicas,» Mexico, 2013.
- [3] D. F. Burneo Álvarez y E. J. Egas Castillo, «DISEÑO, ENSAMBLAJE E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CORTADORA DE LÁSER AUTOMÁTICA PARA LA EMPRESA ENERGOPETROL,» Quito, 2012.
- [4] J. Martín Monserrat, SISTEMA COMBINADO DE CORTE Y MARCADO LÁSER, Barcelona, 2006.
- [5] J. Esténoz, «ESTUDIO SOBRE LAS APLICACIONES INDUSTRIALES DEL LÁSER,» Zaragoza, 2011.
- [6] TFRIMUNED, «TFRIMUNED,» 20 03 2014. [En línea]. Available: <http://tfrimuned.wordpress.com/fabricacion-por-corte-y-laminado-lom/>.
- [7] J. Arpi, «Implementación de un Sistema de Control para una Máquina CNC Láser,» Cuenca, 2013.
- [8] J. M. Q. Quimbita, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROUTER CNC PARA LA FABRICACIÓN DE PUERTAS MDF,» Latacunga, 2008.
- [9] C. A. O. Ramírez, «SISTEMA CNC DE CORTE POR LÁSER,» México D.F., 2008.
- [10] R. Mott, Resistencia de Materiales Aplicada, México, 2006.

- [11] N. V. Castiglione, «Transmisión del movimiento a los ejes de los CNC-ROUTERS,» *Revista Letreros*, pp. 34-39, 20 12 2014.
- [12] G. X. M. Toro, «DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PROGRAMACIÓN DE UNA MÁQUINA DE CONTROL NUMÉRICO APLICADA AL PROTOTIPADO RÁPIDO DE MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA DE MATERIAL PARA EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR,» Quito, 2012.
- [13] ArtSoft, «Manual Mach3,» 2010.

## **ANEXOS**

### **ANEXO 1**

#### **MANUAL DE USUARIO**

## **ANEXO 2**

### **MANUAL DE MANTENIMIENTO**

## **ANEXO 3**

### **PLANOS MECÁNICOS DE LA CORTADORA**

## **ANEXO 4**

### **DIAGRAMA DE CONEXIONES Y VISTAS DEL GABINETE DE CONTROL**