



ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

AUTORES:

**LUGMANIA BALLADAREZ, CARLOS SANTIAGO
VÁSQUEZ JÁCOME, WILSON EDUARDO**

**TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE
CORTADORA POR LÁSER DE DIÓXIDO DE CARBONO CON
CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO PARA EL
LABORATORIO CNC DE LA ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA”**

**DIRECTOR: ING. ACUÑA, FAUSTO
CODIRECTOR: ING. TERÁN, HÉCTOR**

LATACUNGA, FEBRERO 2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

ING. ACUÑA C. FAUSTO V. (DIRECTOR)

ING. TERAN H. HECTOR C. (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CORTADORA POR LÁSER DE DIÓXIDO DE CARBONO CON CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO PARA EL LABORATORIO CNC DE LA ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**” realizado por los señores: CARLOS SANTIAGO LUGMANIA BALLADAREZ y WILSON EDUARDO VÁSQUEZ JÁCOME; ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatuarías establecidas por la ESPE, en el Reglamento de estudiantes de la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE.

DIRECTOR

CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**Nosotros,**

LUGMANIA BALLADAREZ CARLOS SANTIAGO y

WILSON EDUARDO VÁSQUEZ JÁCOME

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CORTADORA POR LÁSER DE DIÓXIDO DE CARBONO CON CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO PARA EL LABORATORIO CNC DE LA ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**” ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan manteniendo normas APA, y cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

LUGMANIA B. CARLOS S.

C.C.:0502881667

VÁSQUEZ J. WILSON E.

C.C.:0503512162

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros,

LUGMANIA BALLADAREZ CARLOS SANTIAGO y

VÁSQUEZ JÁCOME WILSON EDUARDO

Autorizamos a LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CORTADORA POR LÁSER DE DIÓXIDO DE CARBONO CON CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO PARA EL LABORATORIO CNC DE LA ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA.”** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad y autoría.

LUGMANIA B. CARLOS S.

C.C.:0502881667

VÁSQUEZ J. WILSON E.

C.C.:0503512162

DEDICATORIA

*A Diego, Loly, Cristy,
Fernando y Andrés. Sin
ustedes nada soy.*

Wilson Eduardo

Siempre me he sentido agradecido por mis padres Georgina y Washington, mis hermanos Andrés – Juan, familiares y allegados me han formado para luchar ante los diversos retos de la vida y más aún en mi vida profesional, aquí estoy con un nuevo logro conseguido, mi proyecto de tesis.

Zuiero agradecerles por todo, no me alcanzan las palabras para expresar el orgullo y lo bien que me siento por tener una familia tan genial.

Santiago

AGRADECIMIENTO

Dios, te damos gracias porque sé que existes, la fuerza, dedicación y constancia entregada para la culminación de esta etapa de nuestras vidas es constancia de que cada día estas a nuestro lado y que no permites que nuestras metas se desvanezcan en el viento.

Nunca esta demás un Dios le pague a quienes no te abandonan en tus peores instantes, nuestros padres el apoyo incondicional en todo momento, el esfuerzo, sacrificio y constancia que cada día nos entregaron los hace parte de este proyecto, dios le pague por hacer que cada día de trabajo, haya sido un día agradable.

A todos nuestros amigos en especial a Cristian, Edwin, Demetrio, Gabriel, Diego y Luis que de una forma u otra permitieron que este logro sea posible.

A los docentes de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE que nos brindaron soporte para la realización del proyecto de tesis.

Y de manera especial a los Ingenieros Fausto Acuña y Héctor Terán por su confianza y apoyo académico, que hicieron posible culminar de la mejor forma este proyecto de grado.

GRACIAS

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
PRESENTACIÓN	xviii
CAPÍTULO I	1
ESTADO DEL ARTE	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes.....	1
1.3 Cortadora láser con dióxido de carbono.....	1
1.3.1 Tecnologías láser con dióxido de carbono desarrolladas.....	2
a) Investigaciones relacionadas con el desarrollo de láser para el corte de materiales blandos por Dióxido de carbono.....	2
b) Investigaciones relacionadas a la Educación Superior Publica en el Ecuador.....	4
c) Descripción mecanismos alternativos para cortadoras láser.....	6
FUNDAMENTOS TEÓRICOS	8
1.4 Plantamiento del problema.....	8
1.5 Justificación.....	9
1.6 Sistema CAD/CAM.....	10
1.7 Control numérico computarizado (CNC).....	10
1.8 Corte con láser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation).....	11
1.8.1 Introducción.....	11
1.8.2 Procesos de corte con láser.....	12
1.9 Corte con láser de dióxido de carbono.....	13
1.9.1 Introducción.....	13

1.9.2 Principio de funcionamiento.	14
1.9.3 Características del corte por láser de CO2.....	15
1.9.4 Diferentes técnicas de corte láser.	16
a) Corte por fusión.....	16
b) Corte a través de la degradación química de los polímeros	16
c) Corte por vaporización	17
1.9.5 Factores que influyen en el proceso de corte.	18
a) Tipo de material	18
b) Características del haz incidente.....	19
c) Variables del proceso.....	19
1.9.6 Parámetros de corte láser CO2.....	20
a) Potencia del haz de luz para corte de materiales blandos	20
b) Velocidad de avance del corte láser por vaporización	22
c) Diámetro de la cintura del haz.....	23
1.10 Cortadora láser CO2.	24
1.10.1 Introducción.....	24
1.10.2 Partes de la cortadora láser CO2.....	24
1.10.3 Operación de la cortadora de CO2 CNC.....	28
1.11 Sistemas de control.....	29
1.11.1 Estrategia de control.....	29
a) Control de sistema a Lazo abierto.	30
b) Control de sistema a lazo cerrado.	30
1.12 Sistema mecánico.....	31
1.12.1 Factor de seguridad.....	31
1.12.2 Eje guía o flecha de movimiento lineal.....	32
a) Tipos de flechas de movimiento.	33
1.12.3 Sistemas de transmisión.....	34
1.12.4 Acoples	36
1.13 Actuadores, elementos de control y protección.....	36
a) Motor paso a paso.....	37
b) Servomotor.....	38
1.13.2 Sensores	39
a) Sensor de Contacto.....	39
b) Sensor infrarrojo.....	40
1.13.3 Controlador DSP.....	40
1.14 Normas de seguridad para el trabajo con tecnología láser.....	41

1.14.1 Protección Personal.....	42
1.14.2 Orden y Limpieza.....	42
1.14.3 Señalización.	42
CAPÍTULO II	44
DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO DEL PROTOTIPO DE CORTADORA LÁSER CO₂.....	44
2.1 Parámetros de diseño mecánico.	45
2.1.1 Potencia de láser para corte.....	45
2.1.2 Área de trabajo.....	47
2.1.3 Velocidad de corte.....	47
2.1.4 Espesor del material.....	49
2.2 Diseño del carro horizontal, coordenada “X”	50
2.2.1 Diseño flecha o eje guía, en el carro vertical coordenada “X”	55
2.3 Diseño del carro horizontal, coordenada “Y”	59
2.3.2 Diseño flecha o eje guía, en el carro horizontal coordenada “Y” ...	62
2.4 Selección de los husillos de bolas.....	64
2.4.1 Selección del husillo de bolas para el eje X.....	65
2.4.2 Selección del husillo de bolas para el eje Y.....	67
2.5 Cálculo del torque, estructuras (coordenadas “Y”, “X”).....	69
2.6 Selección de los motores para los ejes X, Y.....	73
2.7 Selección de los acoples flexibles	74
CAPÍTULO III	76
DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA CORTADORA LÁSER CO₂.....	76
3.1 Parámetros de diseño	77
a) Sistema electrónico de control.....	77
b) Sistema eléctrico de control.	77
c) Software de control.	77
d) Comunicación.	77
3.2 Selección de los elementos del sistema electrónico de control.	77
3.2.1 Procesador de señal digital (DSP).....	78
b) Descripción de la tarjeta DPS AW608.	79
c) Descripción de la tarjeta MS10105 de Shenhui	81
3.2.2 Driver de control para motor a paso.	82
a) La tarjeta Microstepping Driver ND 556.....	82
b) La tarjeta Microstepping Driver KL-4030 Bipolar	83

3.2.3 Actuator (motor a pasos híbrido)	85
3.2.4 Chiller CW-3000.....	85
3.3 Parámetros de diseño de los elementos del sistema eléctrico de control.	86
3.3.1 Fuentes de alimentación.	86
a) Fuente 1: Tensión de alimentación de tres motores KL-350-36.....	87
b) Fuente 2: Tensión de alimentación de DSP y neumática	87
c) Fuente 3: tensión de alimentación para tubo láser	87
3.3.2 Elementos eléctricos de control.....	89
3.3.3 Elementos de protección eléctrica.....	91
3.4 Parámetros de diseño y selección del software de control.	91
3.4.1 Descripción de la pantalla del software LáserCad.....	92
3.5 Proceso de corte CNC	93
3.6 Descripción del sistema de comunicación.	93
CAPÍTULO IV	95
IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA DE CORTE POR LÁSER DE CO2	95
4.1 Implementación del sistema mecánico.....	95
4.1.1 Implementación de la estructura en el eje Y	95
4.1.2 Implementación de la estructura en el eje X	96
4.1.3 Implementación del sistema mecánico de movimiento a la estructura principal.....	97
4.2 Implementación del los sistemas de control.	97
4.2.1 Finales de carrera.	97
4.2.2 Panel principal de control para el sistema automático de la cortadora láser CNC	98
4.3 Configuración del lásercad.....	100
4.3.1 Configuración de puertos.	100
4.3.2 La configuración de los parámetros.....	101
4.3.3 Control y sintonización de los Motores PAP	103
4.3.4 Mandos de control del programa LáserCad.....	105
4.3.5 Enlace CAD/CAM.....	106
4.4 Pruebas y resultados	107
4.4.1 Corte en madera	107

CAPÍTULO V	120
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	120
5.1 CONCLUSIONES.	120
5.2 RECOMENDACIONES.	122
BIBLIOGRAFÍA	124
LINKOGRAFÍA	125
ANEXOS	128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	CNC láser.....	5
Figura 1.2	Mecanismo lineal con guías.....	7
Figura 1.3	Mecanismo lineal con correas.....	7
Figura 1.4	Mecanismo lineal con patín.....	8
Figura 1.5	Láser.....	11
Figura 1.6	Corte con láser.....	13
Figura 1.7	Corte con láser.....	14
Figura 1.8	Volumen de material vaporizado.....	21
Figura 1.9	Velocidad de corte máxima sugerida para diferentes espesores de PMMA con un láser de CO2 de 500 W.....	22
Figura 1.10	Diámetro de la cintura del haz.....	23
Figura 1.11	Cabezal de Corte.....	24
Figura 1.12	Acción de corte con gas de aporte.....	25
Figura 1.13	Partes de la cortadora láser.....	26
Figura 1.14	Equipos adjuntos de la cortadora láser.....	26
Figura 1.15	Partes internas de la cortadora láser.....	27
Figura 1.16	Partes principales sistema de enfoque.....	28
Figura 1.17	Esquema de Funcionamiento del sistema CAD/CAM de corte con láser CO2.....	30
Figura 1.18	Acoples Flexibles en el mercado.....	36
Figura 1.19	Motor paso a paso.....	37
Figura 1.20	Servomotor.....	38
Figura 1.21	Sensor de contacto.....	40
Figura 1.22	Sensor infrarrojo.....	40
Figura 1.23	Controlador DSP.....	41
Figura 1.24	Señalización relativa a un dispositivo láser.....	43
Figura 1.25	Señalización relativa a un dispositivo láser.....	43
Figura 2.1	Cortadora láser por CO2.....	44
Figura 2.2	Velocidad de corte máxima para espesores de PMMA con un láser de CO2 de 80 W.....	49
Figura 2.3	Carro horizontal, en el eje de movimiento X.....	50
Figura 2.4	Carro vertical, coordenada X.....	51
Figura 2.5	Base del Cabezal de Corte o Herramienta.....	53
Figura 2.6	Escalas de tenciones según von mises de base del cabezal de corte o herramienta (cargas laterales).....	54
Figura 2.7	Escalas de tenciones según von mises de base del cabezal de corte o herramienta (cargas normales).....	54
Figura 2.8	El eje guía, en el carro vertical coordenada "X".....	55
Figura 2.9	Diagrama de cuerpo Libre, Fuerzas para el eje guía "X".....	55

Figura 2.10	Diagramas de fuerza cortante y momento flexor máximo de la guía "X".	56
Figura 2.11	Escalas de tensiones según Von mises de Base de la guía "X".	57
Figura 2.12	Diseño del carro en el eje de movimiento Y.	59
Figura 2.13	Carro horizontal, coordenada "Y".	59
Figura 2.14	Base del sistema de movimiento en "Y".	61
Figura 2.15	Escalas de tenciones según von mises de base del sistema de movimiento en Y.	62
Figura 2.16	Diagrama de cuerpo Libre, Fuerzas para el eje guía "Y".	62
Figura 2.17	Diagrama de Fuerza Cortante y Momento Flexor máximo de la guía "Y".	63
Figura 2.18	Escalas de tenciones según Von Mises de Base de la guía "Y".	64
Figura 2.19	Diagrama de cuerpo Libre, Fuerzas distribuidas del Husillo de Bolas.	65
Figura 2.20	Diagramas de fuerza cortante y momento flexor del husillo de Bolas.	66
Figura 2.21	Husillo de Bolas y tuerca (Coordenada en X).	67
Figura 2.22	Diagrama de cuerpo libre del Husillo de Bolas aplicando una carga distribuida.	67
Figura 2.23	Diagramas de fuerza cortante y momento flexor del Husillo de Bolas.	68
Figura 2.24	Husillo de Bolas y tuerca (Coordenada en Y).	69
Figura 3.1	Esquema universal de funcionamiento LÁSER CNC.	76
Figura 3.2	Diagrama de bloques de las tarjeta controladoras.	78
Figura 3.3	Controlador DSP	79
Figura 3.4	Tarjeta MS10105.	81
Figura 3.5	Driver ND556	82
Figura 3.6	Driver KL-4030	83
Figura 3.7	Dispositivo CW-3000.	86
Figura 3.8	Fuente de poder 80w	88
Figura 3.9	Conexión de la fuente láser.	89
Figura 3.10	Posicionamiento del home y límite de recorrido	90
Figura 3.11	Barras de LáserCad	92
Figura 3.12	Diagrama de flujo del proceso CNC de corte por láser.	93
Figura 3.13	Comunicación USB.	94
Figura 3.14	Comunicación Ethernet	94
Figura 4.1	Implementación del sistema mecánico.	95
Figura 4.2	Mecanismo desplazamiento del eje "Y"	96
Figura 4.3	Mecanismo desplazamiento del eje "X"	96
Figura 4.4	Implementación del sistema mecánico.	97

Figura 4.5	Final de carrera.....	98
Figura 4.6	Sensor herradura	98
Figura 4.7	Caja principal en la parte inferior	99
Figura 4.8	Panel de control del prototipo.....	99
Figura 4.9	Fuente de radiofrecuencia (Generador láser).....	100
Figura 4.10	Tipo de comunicación en LáserCad	100
Figura 4.11	Selección del tipo de puerto.	101
Figura 4.12	Opciones del sistema	101
Figura 4.13	Parámetros de la tarjeta Láser.	102
Figura 4.14	Configuración de entradas y salidas.....	102
Figura 4.15	Configuración de capas.....	103
Figura 4.16	CAD en AutoCAD.....	105
Figura 4.17	Control de la maquina en LáserCad	105
Figura 4.18	Control desplazamiento y lectura de posición final.	106
Figura 4.19	CAD en AutoCAD.....	106
Figura 4.20	CAM en LáserCad.....	107
Figura 4.21	Materia prima para determinar la precisión.	108
Figura 4.22	Medición de la circunferencia en planos.....	108
Figura 4.23	Gráfico de mediciones de las circunferencias.	109
Figura 4.24	Mediciones del Cuadrado.....	110
Figura 4.25	Gráfico de mediciones de los cuadrados.....	110
Figura 4.26	Circunferencias a diferentes tamaños.	111
Figura 4.27	Medición de la circunferencia a 250 mm.	113
Figura 4.28	Medición de la circunferencia a 200 mm.	113
Figura 4.29	Medición de las circunferencias a 150 mm.....	113
Figura 4.30	Medición de la circunferencia a 100 mm.	114
Figura 4.31	Medición de la circunferencia a 50 mm.	114
Figura 4.32	Cuadrados a diferentes tamaños.	115
Figura 4.33	Medición del cuadrado de 250mm.....	117
Figura 4.34	Medición del cuadrado de 200mm.....	117
Figura 4.35	Medición del cuadrado de 150mm.....	117
Figura 4.36	Medición del cuadrado de 100mm.....	118
Figura 4.37	Medición del cuadrado de 50mm.	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Resumen de los diferentes tipos de láser	12
Tabla 1.2	Materiales para corte y grabado	18
Tabla 1.3	Factores de seguridad	32
Tabla 1.4	Tipos de flechas de movimiento	33
Tabla 1.5	Tipos de transmisión.....	34
Tabla 1.6	Ventajas y desventajas de motores a pasos	37
Tabla 1.7	Ventajas y desventajas de servomotor	39
Tabla 2.1	Características de máquinas de corte por láser CO2 de 80 W disponibles en el mercado.....	45
Tabla 2.2	Area de trabajo	47
Tabla 2.3	Estimación sobre velocidades de corte para diferentes espesores de acrílico con láser de CO2 de 80 W	48
Tabla 2.4	Parámetros de diseño.....	50
Tabla 2.5	Dimensión del eje guía o flecha (Y)	57
Tabla 2.6	Tipos de motores paso a paso.....	74
Tabla 3.1	Características de diferentes controladores láser	78
Tabla 3.2	Puertos de conexión de la tarjeta DSP AWC608	80
Tabla 3.3	Puertos de conexión de la tarjeta MS10105	81
Tabla 3.4	Ajuste de corriente.....	83
Tabla 3.5	Puertos de conexión del driver KL- 4030	84
Tabla 3.6	Ajuste de corriente.....	84
Tabla 3.7	Puertos de conexión de la fuente láser	88
Tabla 3.8	Características de elementos eléctricos.....	90
Tabla 3.9	Elementos de protección	91
Tabla 4.1	Mediciones de los diámetros en las circunferencias	108
Tabla 4.2	Error en las circunferencias	109
Tabla 4.3	Mediciones de los lados del cuadrado cortado	110
Tabla 4.4	Error en las mediciones de los lados del cuadrado cortado	111
Tabla 4.5	Medición de los modelos cortados.....	112
Tabla 4.6	Medición de los cuadrados	115

RESUMEN

La automatización de procesos ha ganado importancia en la industria actual, siendo pieza fundamental en este el control numérico computarizado (CNC), capaz de entregar un producto final de alta calidad, el resultado un producto óptimo para la competencia en el mercado. El presente proyecto de investigación consiste en el "diseño y construcción de un prototipo de cortadora por láser de dióxido de carbono con control numérico computarizado para el laboratorio CNC de la ESPE extensión Latacunga.", este prototipo, se entrega con el fin de ser un apoyo para los estudiantes, maestros y personas relacionados con el área de la automatización. El prototipo realiza el corte en materiales blandos (Tela, cuero, foami, espuma flex, madera, acrílico, etc.), mediante el movimiento del cabezal proyector del láser, esta herramienta se desplaza automáticamente en 2 ejes de traslación (X e Y), siendo esto posible gracias a la transformación de movimiento circular (motores a pasos) a movimiento lineal mediante el giro de un usillo de bolas. El corte es concebido por el enfoque del rayo láser formado mediante una unidad de radio frecuencia conectada a un tubo sellado que contiene una mezcla de gases (CO₂, He, N, H), que por la interacción de los mismos permite la concepción de fotones, responsables de la generación de luz láser. El control del sistema se realiza por medio de una tarjeta DSP o procesador de señales digitales; la tarjeta AWC608 admite el desplazamiento de toda la parte mecánica, el control de potencia de láser y la interacción con la plataforma de AutoCAD 2007 para la obtención del diseño a plasmarse, este se enlaza con Lásercad, que permite configurar los parámetros de velocidad, potencia de corte, aceleración, etc. Son necesarias las habilidades de un operador; para verificar el estado de la materia prima resultante y ayudar en la seguridad del Laboratorio Industrial CNC.

Palabras clave:

- AUTOMATIZACIÓN DE MÁQUINAS HERRAMIENTAS.
- CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO.
- CORTE MATERIALES BLANDOS.
- LÁSER DE DIÓXIDO DE CARBONO.

ABSTRACT

The process automation has won importance in the current industry. It has become cornerstone in this computerized numerical control (CNC) capable of delivering a final product of high quality; the controlled movement of the tool at the same time in more than one axis allows performing paths that the user needs for the machining of this design. As a result, we have an optimal product for the competition in the market. The present project of research consists in the “design and construction of a prototype by slitter laser of carbon dioxide with computerized numerical control for the laboratory CNC of ESPE extension Latacunga”. This prototype is delivered in order to be a support to the students, teachers and people related to automation area. The prototype performs cutting in soft materials (cloth, leather, foamy, flex foam, wood, acrylic, soon.) through the movement of the head projector of the laser, this tool moves automatically in two translational axes (x and y), this is possible to the transformation of the circular movement (motors steps) linear movement through turn of a ball-screw. The cutting is conceived by the approach of laser beam formed by a radio frequency unit connected to a covered tube that contains a mixture of gases (CO₂, He, N, H), The interaction of these allows the conception of photons, responsible of the generation of the laser light. The control of system is performed through a DSP card or digital signal processor, the card AWC608 admits the displacement of entire mechanics part, the control of the potency laser and the interaction with the platform of AUTOCAD 2007 for obtaining the design to take shape. This is linked with laser card. It allows setting speed parameters, cutting power, acceleration, so on. It is necessary the skills of an operator to verify the state of raw material and help in the security of the industrial Laboratory CNC.

KEY WORDS:

- AUTOMATION OF MACHINE TOOLS.
- COMPUTERIZED NUMERICAL CONTROL.
- CUTTING IN SOFT MATERIALS.
- CARBON DIOXIDE LASER.

PRESENTACIÓN

En el presente proyecto de tesis se desarrolló un prototipo de cortadora por láser de dióxido de carbono para el corte de materiales blandos utilizando el control numérico computarizado, en el laboratorio CNC de la ESPE extensión Latacunga.

En el Capítulo I se recopiló la información relevante y necesaria sobre el corte de materiales blando mediante la tecnología de Láser de dióxido de carbono, así como las herramientas necesarias para ejecución de este proyecto de investigación.

El Capítulo II presenta el diseño y selección de los diferentes componentes mecánicos del prototipo de cortadora láser CO₂, además se despliega las características de los parámetro necesarios para el corte por láser, información ineludible para el diseño de los componentes mecánicos del prototipo.

En el Capítulo III se presenta la selección de los equipos y sus características, adicionales para la implementación con el sistema mecánico en acuerdo a los parámetros dispuestos en el capítulo II.

En el Capítulo IV se detalla la implementación de los componentes eléctricos y electrónicos al sistema mecánico del prototipo, así como las pruebas realizadas sobre el mismo y la aplicación de los parámetros de corte al proceso por medio del software Lásercad.

El Capítulo V muestra las conclusiones recopiladas a través de la ejecución del proyecto, y las recomendaciones que se deben tomarse en cuenta al aplicar este proyecto como base en futuras investigaciones.

Finalmente, se justifica la investigación mediante las referencias bibliográficas empleadas y los anexos necesarios para reforzar la base teórica del proyecto.

CAPÍTULO I

ESTADO DEL ARTE

1.1 INTRODUCCIÓN.

El corte de materia prima es uno de los primeros procesos que se automatizó, las máquinas cortadoras de control numérico con una tecnología de fabricación que de la mano de la microelectrónica, la automática y la informática industrial ha experimentado en los últimos años un desarrollo acelerado y una plena incorporación de la brecha tecnológica a los procesos productivos, desplazando progresivamente a las máquinas convencionales.

1.2 ANTECEDENTES

Albert Einstein en 1916, fue quien primerizó el camino hacia el desarrollo de la tecnología láser, instaurando los fundamentos para el desarrollo de los láseres y de sus predecesores, apoyada en los conceptos de emisión espontánea y estimulada por radiación.

Hoy en día, existen diversos tipos de máquinas con la utilización de tecnología láser, siendo las cortadoras de control numérico computarizado, tales como: Cortadoras de CO₂, Nd y cortadoras por Nd-YAG, líderes en el ámbito industrial por sus diferentes aplicaciones.

1.3 CORTADORA LÁSER CON DIÓXIDO DE CARBONO.

En sus inicios el corte por láser de CO₂, se vio en la necesidad de ser automatizado, debido que no es una técnica a la cual se le atribuya facilidad de manipulación. Esta tecnología trasciende gracias al modo en que se desempeña, mediante un movimiento lineal de posiciones descritas por un mecanismo de desplazamiento axial también llamados Mesa XY o Axis XY comandados por un sistema de control numérico que salvaguarda la integridad del diseño.

En los inicios del nuevo siglo, este proceso ha adquirido importancia en la fabricación e industrialización de materia prima, empresas como Gbos,

Fanuc, lehk, Sale CNC, Viwa S.A, WMW AG, Jiatai Tecnología Láser entre otras que se encuentran en el mercado mundial, dedicadas al desarrollo de Máquinas – Herramientas CNC.

1.3.1 Tecnologías láser con dióxido de carbono desarrolladas.

En nuestro país no es común hablar sobre el desarrollo de este tipo de máquinas - herramientas en la industria, sin embargo, el control numérico computarizado inicia con la investigación en muchos establecimientos de educación superior que se interesan en promover el estudio de nuevas fases para el desarrollo de sistemas automatizados, a continuación se hablara de muchos proyectos relacionados con este, no solo a nivel nacional sino de países que al igual que el nuestro se ven en la necesidad de explorar esta nueva rama del avance industrial.

a) Investigaciones relacionadas con el desarrollo de láser para el corte de materiales blandos por dióxido de carbono.

En el mundo entero este tipo de tecnología posee un desarrollo acelerado, presentando día a día nuevas características agradables a los ojos de quienes se enfocan en este tipo de procesos como: velocidades altas, mecanismos de movimiento axial y componentes más resistentes, áreas de trabajo cómodas y aún más importante un aumento sorprendente en potencias de láser que hacen que cada vez sea más fácil el mecanizado, no solo de materiales blandos sino en metales y otras materias primas de la industria actual.

A continuación se detallara investigaciones en países de América que aún no industrializan este tipo de tecnología y que se ven en la necesidad de buscar el desarrollo de la misma.

“Sistema CNC de corte por láser” Ing. Carlos Ortega R. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, México D. F – México, Junio 2008

Resumen: En este trabajo de tesis se presenta el desarrollo de un sistema CNC de corte con luz láser. El sistema está compuesto por un láser de CO₂ de hasta 35 W de onda continua, una mesa XY, un cabezal de enfoque y tarjetas de control que conforman el modo CNC. La mesa XY tiene un área de trabajo de 0.229 m² con carreras de 0.520 m en X y 0.442 m en Y. La precisión lograda en el posicionamiento de la mesa es de 0.384 mm.

“Mejoramiento de la calidad del borde cortado en PMMA por láser de CO₂” Cristobal Lohr R. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile – Chile, Diciembre, 2011

Resumen: Este plan se inclina por el mejoramiento de varios parámetros a tomarse para el corte en materiales blandos, La calidad del borde de una plancha de PMMA, cuando es cortada por un haz láser de CO₂, es afectada por la velocidad del corte, la potencia del láser, la presión del gas y la posición del punto focal. Es así como el presente proyecto presenta los niveles de estos factores, como deben ser establecidos, para cada espesor de material a cortar, de manera de poder obtener una buena calidad de corte, entendiéndose esto, como un corte recto y sin estrías o imperfecciones.

“Estudio y optimización del corte láser de alta velocidad en chapa metálica fina.” Tiago Maria Carvalho Cunha de Brito e Faro, Universidad de Do Porto, Porto – Brasil, Junio 2006

Resumen: Este trabajo tiene como objetivo estudiar y caracterizar el corte por láser de alta velocidad, en particular, la influencia del plasma de la velocidad máxima utilizable logrado en condiciones industriales y la calidad de la superficie de corte. Se ha tratado de correlacionar la irradiación del plasma con algunos parámetros de funcionamiento, tales como la posición del punto focal, el tipo de gas asistencia y la velocidad de corte.

El estudio fue desarrollado para el corte de acero no aleado, acero inoxidable y aluminio con un grosor de 1 y 2 mm, utilizando nitrógeno, argón y oxígeno como gas auxiliar. Se concluye con un cambio en el mecanismo para altas velocidades de corte en el que la fuente de energía se convierte en plasma de la ionización del gas y el metal evaporado. El corte de alta velocidad abre nuevas perspectivas para el corte de chapa delgada debido a las altas velocidades de procesamiento y bajo costo.

“Láseres de fibra óptica” Dafne Aguirre T., Universidad Politécnica de Chiapas, Chiapas – México, Enero 2010

Resumen: El proyecto tiene como objetivo realizar nuevos sistemas de láseres de fibra óptica, por lo que se analizaron los sistemas y se tomaron en cuenta estos esquemas para la realización de nuevos prototipos que se realizarán para aplicaciones de láseres, una de estas principales aplicaciones es la creación de sensores que puedan ser utilizados para el control de nuevos parámetros o parámetros existentes, los cuales se desean mejorar o tener lecturas de mayor fiabilidad.

En este reporte se describe brevemente el concepto de láseres de fibra óptica, después se mencionarán los esquemas y avances en láseres y al finalizar se señalarán las aplicaciones y propuestas de creación e implementación de estos.

b) Investigaciones relacionadas a la Educación Superior Pública en el Ecuador.

“Implementación de un sistema de control para una máquina láser CNC.” J. Arpi – D. Cabrera. Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca – Ecuador, Enero 2013.

Resumen: Este proyecto trata sobre la implementación de un sistema de control para una máquina CNC Láser, más una serie de consideraciones y características a tomarse para el correcto funcionamiento del manipulador. En la Figura 1.1, se observa el sistema de

corte por láser, en el cual resalta sus principales características como son: un mecanismo lineal con bandas, tubo láser de 40 vatios de potencia con proyección de espejos para la colocación de láser.

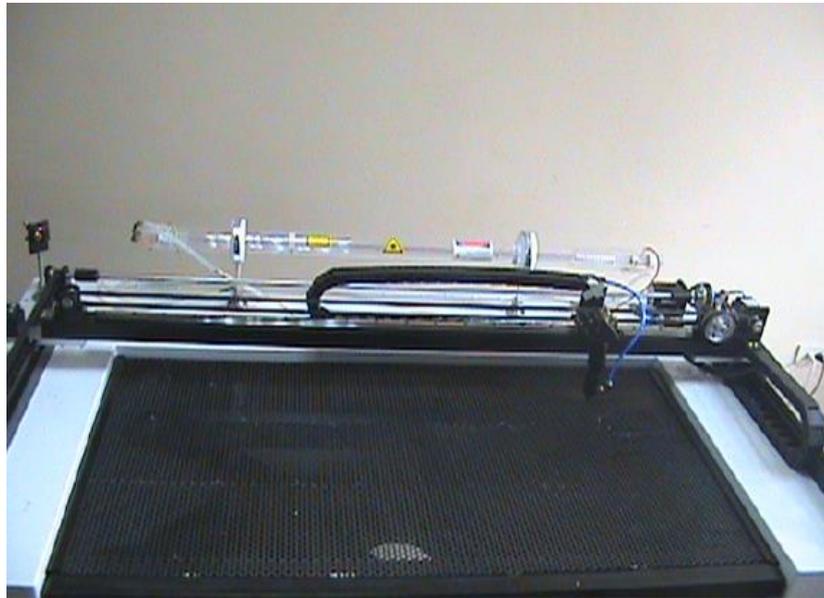


Figura 1.1 CNC láser.

Fuente: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3351>

Varios de los proyectos a mencionarse son requisitos para la obtención de un nivel de educación, generado dentro del sistema de formación superior del país, que están indirectamente ligados al corte por láser de CO₂, sin embargo por desarrollarse dentro de la investigación sobre el control numérico computarizado es necesario citarlos a continuación.

Escuela Politécnica Nacional

- “Diseño y construcción de una máquina cortadora de polietileno expandido con control numérico computarizado”
- “Programación e implementación de un pantógrafo CNC para oxicorte mediante el uso de Matlab basado en la importación de un archivo en formato gráfico”.

Escuela Superior Politécnica del Ejército.

- “Diseño y construcción de un sistema automático de corte por plasma mediante control numérico computarizado CNC.”
- “Diseño y construcción de un prototipo de una máquina taladradora de control numérico computarizado”.
- “Diseño y construcción de un router CNC para la fabricación de puertas MDF.”
- “Diseño y construcción de un prototipo de torno automático mediante control numérico computarizado”
- “Diseño e implementación de un prototipo de torno fresador de control numérico computarizado para el laboratorio CNC de la ESPE extensión Latacunga”

c) Descripción mecanismos alternativos para cortadoras láser

- **Mecanismo con usillo de bolas y rodamientos lineales.**

La guía lineal soporta la masa de la carga a ser conducida y asegura un movimiento suave en línea recta por la circulación de los rodamientos sobre las mismas, minimizando la fricción. El motor gira el usillo de bolas, y su movimiento rotativo es traducido en movimiento lineal por la tuerca acoplada al carro, que transporta la carga a través del eje correspondiente. Este sistema es muy apreciado porque tiene un tiempo de vida muy amplio.



Figura 1.2 Mecanismo lineal con guías.

Fuente: <http://melca.com.ar/apuntes.html>

- **Mecanismo con correas.**

Este tipo de mecanismo con correas es muy beneficioso, debido a su escaso peso. Pero se debe tener en cuenta varios factores como: característica de la correa, engrane en acorde al tipo de correa, tipo de configuración que se piensa dar al sistema correa-engrane. Este sistema es introducido en la mayoría de máquinas de este tipo, pero es difícil encontrar el tipo de correa en acierto al engrane, siendo menos favorable por el tiempo de vida menor de las correas a comparación del usillo de bolas.

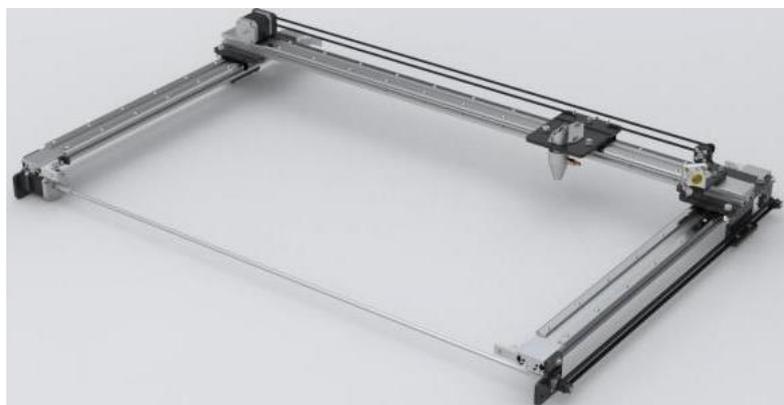


Figura 1.3 Mecanismo lineal con correas

Fuente: <http://prodigycorp.wordpress.com/2012/10/>

- **Mecanismo con correas y patín**

También existe la posibilidad de utilizar guías lineales con patines. Aunque es más costoso es igual de beneficioso. Pueden ajustarse sin juego y son apropiadas para carreras largas e ilimitadas.



Figura 1.4 Mecanismo lineal con patín.

Fuente: <http://prodigycorp.wordpress.com/2012/10/>

En la figura 1.4 se aprecia los patines con recirculación de bolas, estos se pueden montar directamente en la construcción o bien integrarse en un carro que se ajustará a la misma. Por ello, son una solución muy flexible con una reducida altura constructiva y un bajo coeficiente de fricción entre componentes.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.4 PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA.

En el Ecuador no existe empresas que desarrollen este tipo de tecnología, el control numérico computarizado generalmente es muy flexible para el desarrollo de máquinas convencionales comunes, a lo que llevaría un gran adelanto si se investigara más sobre este tema, pero como no es raro, hoy en día es más fácil importar tecnología de países avanzados que aplicar investigaciones para el perfeccionamiento de esta, aumentando no solo el

desarrollo de estos sino ensanchando aún más, la comúnmente llamada brecha tecnológica, que a consideración minimiza las oportunidades de progreso del país.

Una de las áreas de desarrollo tecnológico de la Escuela Politécnica del Ejército Extensión Latacunga, es el laboratorio de control numérico computarizado, que en búsqueda del adelanto educativo, se ve en la necesidad de implementar a su equipo de trabajo, una máquina cortadora por láser de dióxido de carbono para la inclusión de una nueva tecnología en las practica de quienes cursan este laboratorio.

1.5 JUSTIFICACIÓN.

El corte por láser de dióxido de carbono posee varias aplicaciones entre los más importantes tenemos: cirugía eliminadora de agentes patológicos y el corte de materiales blandos (madera, tela, plástico, etc.) y de alta resistencia (metales, Fibra de carbono); en el Ecuador el corte de materia prima para la empresa textilera y publicitaria es la principal aplicación para esta tecnología, según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), en el país existen 11.006 empresas dedicadas a la industria textil, muchas de estas empresas se ven en el trabajo de adquirir esta tecnología para incrementar los estándares que se requiere para competir en el mercado, creando la necesidad de desarrollar este tipo de máquina y sus técnicas. El proyecto pretende impulsar la fabricación de este tipo de máquinas dentro del país, otorgando una investigación completa acerca de los parámetros que intervienen en el corte por láser de CO₂ más la implementación de un sistema con control numérico computarizado.

El presente proyecto permitirá a estudiantes y docentes de la Universidad de las Fuerzas Armadas fortalecer los conocimientos requeridos ante este tipo de tecnología mediante la inclusión del equipo como material didáctico para prácticas de laboratorio de control numérico computarizado.

1.6 SISTEMA CAD/CAM.

En la actualidad existen sistemas de diseño asistido por computadora CAD (Computer Aided Design), se utilizan para generar modelos con rasgos de un producto determinado. Las características pueden ser el tamaño, la forma de los componentes y principalmente su desarrollo ante la función para la cual fue concebida, almacenados en bosquejos electrónicos ya sean bidimensionales o tridimensionales.

A partir de especificaciones en la fabricación a detalle, se crean modelos 3D mediante gráficos generados por computadora, las piezas generadas por computadora son manipuladas para poder someterla a pruebas. Al tener conexión los sistemas CAD con equipos de fabricación también controlados por computadora denominados CAM (Computer Aided Manufacturing) conformar un sistema integrado CAD/CAM.

En lo general, los equipos CAM reafirman la eliminación de los errores del operador y la reducción de los costos de mano de obra, la precisión constante y el uso óptimo previsto del equipo representan ventajas aún más significativas ante la calidad del producto y la integridad de la empresa. (CAD, 2010)

1.7 CONTROL NUMERICO COMPUTARIZADO (CNC)

El control numérico por computadora, de ahora en adelante CNC, es un sistema que permite controlar en todo momento la posición de un elemento físico, normalmente una herramienta que está montada en una máquina.

Esto quiere decir que mediante un software y un conjunto de órdenes numéricas, controlaremos las coordenadas de posición de un punto (la herramienta o cabezal de trabajo) respecto a un origen (cero-máquina). Un sistema CNC a parte de controlar los movimientos de la herramienta, manipula la manera de desplazarse entre ellas, su velocidad, y algunos parámetros más. Una maquina CNC es un equipo totalmente integrado dentro de

máquinas-herramienta de todo tipo como tornos, fresadoras, taladradoras, cortadoras, láser, máquina dobladora, etc. (Israel, 2007)

1.8 CORTE CON LÁSER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

1.8.1 Introducción

Desde hace tres décadas, el láser forma parte de la tecnología de muchas plantas industriales, desde entonces, la tecnología (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, que conforma el acrónimo de LÁSER) (Velasco, 2011), ha experimentado un increíble desarrollo y una gran amplitud de utilidades en los procesos manufactureros.

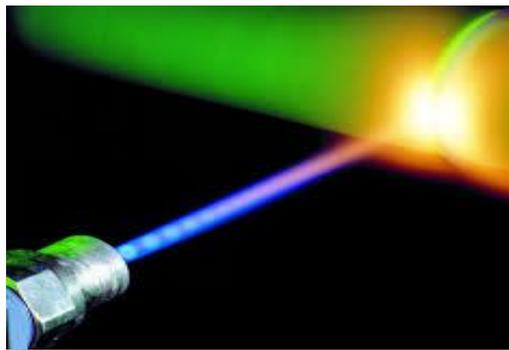


Figura 1.5 Láser.

Fuente: <http://www.mecalux.es/external/magazine/40972.pdf>

Entra las principales aplicaciones están el corte, la soldadura, la perforación, el marcado, el grabado y el tratamiento superficial de los más diversos materiales: metales, aleaciones, plásticos, vidrio, papel, madera, cuero, etc.

Existen distintos tipos de láser dependiendo del medio activo que los genera. Para usos industriales, los más empleados por su potencia y rendimiento, son el de CO₂, cuyo medio activo es el gaseoso, y el Nd-YAG, de estado sólido. Ambos son muy populares en las plantas de fabricación, pero el de dióxido de carbono (CO₂) está más extendido por su mayor potencia y menor coste.

1.8.2 Procesos de corte con láser.

Todo 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.
- **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.
- **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.

A continuación se muestran en la tabla 1.1 los diferentes generadores láser ordenados según la longitud de onda (λ) con la que emiten el haz láser.

Tabla 1.1

Resumen de los diferentes tipos de láser

$\lambda(\mu\text{m})$	Zona del espectro	Tipo de láser	Medio activo
0.03-0.39	Ultravioleta	Excímero	Gas de excímeros
0.39-0.62	Visible	Colorante	Colorante orgánico
0.62-0.78	Rojo (visible)	He-Ne	Mezcla gaseosa: He y Ne
		Diodo baja potencia	Unión P-N de un semiconductor
		Colorante	Colorante orgánico

Continúa →

0.78-3000	Infrarrojo	Diodo alta potencia	Unión P-N de un semiconductor
		Nd-YAG	Cristal YAG con impurezas Nd ³⁺
		CO ₂	Mezcla gaseosa: CO ₂ , N ₂ , He

Fuente: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3013/1/54879-1.pdf>

1.9 CORTE CON LÁSER DE DIOXIDO DE CARBONO.

1.9.1 Introducción.

En los 20 años de presencia del láser de dióxido de carbono en la industria, se ha convertido en una herramienta esencial para una gran variedad de procesos. Actualmente, está disponible en diversos diseños, tamaños y con diferentes potencias, hasta un máximo de 20 kW. No está nada mal teniendo en cuenta que los primeros láseres utilizados en la industria de la automoción, a finales de los años sesenta, sólo alcanzaban los 50 W de potencia.



Figura 1.6 Corte con láser.

Fuente: http://www.ecured.cu/index.php/Corte_por_l%C3%A1ser

1.9.2 Principio de funcionamiento.

El corte con láser de dióxido de carbono es una técnica empleada para seccionar y grabar piezas mediante la concentración de un haz de luz (láser) en un punto específico generado mediante un sistema mecánico comandado por un control numérico computarizado, El medio activo del láser de CO₂ es una mezcla de dióxido de carbono, nitrógeno y helio. El CO₂ es el gas que produce la luz infrarroja invisible del láser mediante la inversión de la población de fotones, al ser inducido a un estado vibratorio por el nitrógeno, el nitrógeno llega a este estado gracias a la emisión de energía eléctrica por una unidad de radio frecuencia. El helio juega un doble papel: contribuye al movimiento del calor del gas y ayuda a que las moléculas de CO₂ regresen a su estado inicial. La máquina en sí está compuesta por el láser, la óptica que focaliza la radiación sobre el material, el sistema para presentar y manipular la pieza a tratar y los servicios conexos. Para poder evacuar el material cortado es necesario el aporte de un gas a presión como por ejemplo oxígeno, nitrógeno o argón.

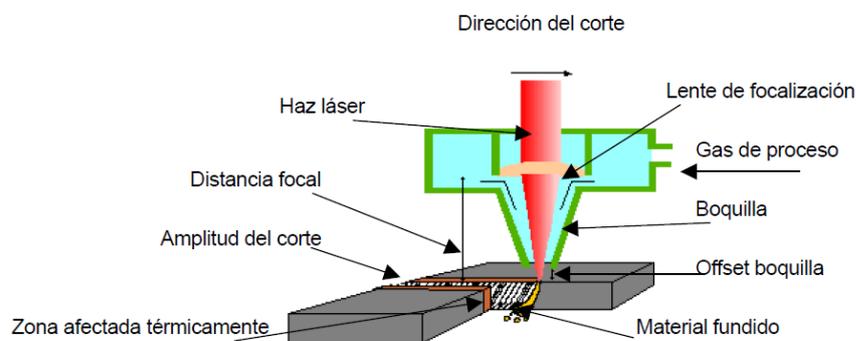


Figura 1.7 Corte con láser.

Fuente:<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3013/1/54879-1.pdf>

Las piezas a trabajar se prefieren opacas y no pulidas porque reflejan menos luz. Este tipo de corte se lleva a cabo con un altísimo nivel de precisión, lo permite realizar tareas sumamente avanzadas y delicadas.

Este sistema de corte es muy seguro. Los usuarios nunca entran en contacto con piezas móviles o abiertas de máquinas, en resumen una

máquina de corte por este sistema es tan segura de aplicar como un reproductor de CD o un horno microondas. (Pino, 2009)

1.9.3 Características del corte por láser de CO₂.

EL corte por láser tiene un fehaciente crecimiento de esta rama en la industria, por ciertas características que hacen atractivo ante la visión manufacturera del mismo, a continuación detallaremos los principales rasgos de este sistema:

- El proceso es sin fricción con el material, la materia prima sólo necesita ser ligeramente sujeta o simplemente colocada en la mesa de trabajo.
- El ancho de corte es muy pequeño, normalmente de 0,1 a 1,0 mm, lo que permite hacer trabajos y piezas muy detalladas, además casi no existe una restricción de radio mínimo interno, pudiéndose lograr esquinas internas casi cuadradas, lo que sería imposible por métodos tradicionales de mecanizado.
- El proceso es controlado de manera CNC, las piezas cortadas pueden estar muy próximas entre sí. Esto reduce el desperdicio de material a un mínimo.
- El costo de inversión en una máquina de corte láser CO₂ es considerable, los costes de operación son generalmente bajos.
- El proceso es silencioso en comparación con otras técnicas competidoras, además de que es seguro para el operador.
- Los equipos de corte láser se encuentran en el rango 25 W a más de 20 kW de potencia, pero las continuas mejoras en la calidad del haz de láser en la salida se ha logrado incrementar el límite superior. Aproximadamente el rango de eficiencia es de 10 y 13%
- Usualmente se utiliza lentes de enfoque de 127 mm y 63,5 mm de longitud focal, generalmente el de menor longitud focal es para materiales de espesor menor a 4 mm. Los lentes por lo general son construidas de seleniuro de zinc (ZnSe), aunque existen de otros

materiales. Como el silicio fundido (SiO_2), arseniuro de galio (GaAs), silicio (Si) o germanio (Ge). (Rodríguez, 2011).

1.9.4 Diferentes técnicas de corte láser.

Para el corte de materiales blandos se pueden realizar a través de una combinación de tres procesos: fusión, vaporización y degradación química.

a) Corte por fusión

La mayoría de los polímeros termoplásticos se cortan por la fusión del material. El mecanismo de este tipo de corte consiste en que el haz láser, a través de la energía aportada al material, produce la fusión, mientras que el gas asistido elimina el material fundido, lo que genera la separación de la pieza. En el caso de los polímeros, el gas utilizado normalmente es aire comprimido. El ancho de sección de corte varía entre de 0,2 a 0,8 mm, de acuerdo al espesor del material. Los materiales que se cortan por la fusión son el polietileno (PE), polipropileno (PP) y policarbonato (PC). (Rodríguez, 2011)

b) Corte a través de la degradación química de los polímeros

El corte a través de la degradación química tiende a producir humo con partículas de carbón que a menudo dan lugar a un residuo que se deposita en los bordes de corte.

La degradación química se utiliza para cortar materiales termoestables. El proceso requiere el uso de una potencia más alta con respecto a la fusión de corte simple, esto debido a la geometría tridimensional de los enlaces que hay que romper y no simplemente una cadena lineal de monómeros como en el caso de los termoplásticos. Por lo tanto, la velocidad de corte es generalmente más baja para los materiales termoestables, en comparación con los termoplásticos.

Las caras del borde cortado son por lo general planas y lisas, ya que son el resultado de un proceso de eliminación que no emplea material fundido.

La superficie de corte puede estar cubierta por una capa delgada de polvo de carbono de aspecto oscuro. En otros polímeros, el ancho de la sección de corte varía entre de 0,2 a 0,8 mm y el perfil de los bordes de corte es aproximadamente perpendicular a la superficie de la pieza (Rodríguez, 2011)

c) Corte por vaporización

A diferencia de los otros polímeros termoplásticos, el PMMA es muy cristalino y es cortado por láser generalmente es a través de vaporización. La calidad del corte resultante es bastante buena. Para lograr adquirir el característico acabado transparente y brillante, la presión y el flujo del gas de corte deben ser suficientemente bajos para permitir que una capa fina de material fundido residual se solidifique en el borde del corte de manera espontánea y no acelerada por el enfriamiento del flujo de gas. Para poder lograr una caída de presión se recomienda utilizar toberas de 2 o 3 mm de diámetro. Si se incrementa la presión, la solidificación del material fundido residual se desordena, dejando el borde del corte con un aspecto poco transparente similar a un hielo con notorias estrías e imperfecciones.

El PMMA al vaporizarse en contacto con oxígeno, se reduce y desprende un vapor de metacrilato de metilo, este vapor es altamente absorbente al haz láser y puede encenderse provocando una llama que daña al material, dejando un hollín de color amarillo. Es por eso que esta llama debe evitarse y prevenirse, esto se puede lograr haciendo que la velocidad del gas que sale de la zona de corte sea mayor que la velocidad del frente de llama, esto se logra aumentando la velocidad de corte o aumentando la presión del gas.

El corte por vaporización se aproxima a un cambio de fase puramente físico, de sólido a líquido, y de este a vapor. Como se mencionó anteriormente, el borde del corte resultante es de una calidad muy buena, siendo superior al de un borde quemado y pulido. (Rodríguez, 2011).

1.9.5 Factores que influyen en el proceso de corte.

a) Tipo de material

El tipo de material tiene una gran importancia en cuanto a la absorción de la energía láser. A continuación en la tabla 1.2. Se presenta un cuadro de materiales que permite grabar y cortar con alta precisión:

**Tabla 1.2 .
Materiales para Corte y Grabado**

MATERIALES	GRABAR	CORTAR
Madera	Si	Si
Acrílico	Si	Si
Vidrio	Si	No
Metales recubiertos	Si	No
Cerámica	Si	No
Tela	Si	Si
Cuero	Si	Si
Mármol	Si	No
Melanina	Si	No
Papel	Si	Si
Mylar	Si	Si
Caucho	Si	Si
Fibra de vidrio	Si	Si

Continúa →

Azulejo	Si	No
Plástico	Si	Si
Corcho	Si	Si
PVC	No	No
Vinilo	No	No

Fuente: <http://www.fablableon.org/PDF/Cursos/CursoIntroCorteLáser.pdf>

En cambio, el láser de CO2 es utilizado, casi con exclusividad, para el corte de plásticos, madera, papel y la mayor parte de cerámicas.

b) Características del haz incidente

Modo transversal: El modo transversal de un haz láser es comparable con el grado de afilado de una herramienta convencional. Así, en modo TEM00 se tiene el punto de focalización más pequeño posible y por tanto una mayor densidad de potencia.

Potencia de salida: Una potencia mayor del haz permite velocidades más elevadas y espesores mayores en el proceso de corte.

Estabilidad: La calidad del corte se ve degradada si la potencia del haz fluctúa aunque sea en un pequeño tanto por ciento.

Polarización: Para tener una buena calidad de corte el haz láser debe estar polarizado circularmente. De esta manera el comportamiento del haz sobre el material es equivalente en todas las direcciones.

c) Variables del proceso

Velocidad de avance del haz láser sobre la pieza: Dependiendo de la potencia, de la calidad del haz y del espesor del material, se tiene un determinado rango de posibles velocidades en el proceso de corte.

Una velocidad por encima de este rango hace que el haz no llegue a cortar el material, y una velocidad inferior a este rango provoca que los bordes del material se quemen.

Lente de focalización: La lente determina el diámetro del punto de focalización. A un menor diámetro de focalización se tiene una densidad de potencia mayor y se podrá aumentar la velocidad de corte. Las lentes que dan densidades de potencia elevadas tienen una distancia focal reducida y solo podrán cortar materiales de poco espesor.

Para poder cortar materiales gruesos se necesitan lentes con una distancia focal profunda y con las que no se podrá tener densidades de potencia tan elevadas; por lo tanto, la velocidad de avance del láser tendrá que ser menor.

Posición del punto focal: Normalmente, la posición del punto focal que da una mayor calidad de corte es en la superficie del material o ligeramente por debajo.

Gas de asistencia: En lo referente al gas de asistencia, los factores que influyen en el proceso de corte son los siguientes: forma de la boquilla de salida del gas, diámetro del orificio de salida del gas, distancia boquilla-pieza, presión y tipo de gas de aporte.

1.9.6 Parámetros de corte láser CO₂.

a) Potencia del haz de luz para corte de materiales blandos.

El modelo plantea que el material al entrar en contacto con el haz láser pasa desde un estado sólido a vapor en una sola etapa, creando un volumen de material removido. La penetración del haz láser puede ser calculada mediante un balance de la transferencia de calor, asumiendo que toda la potencia del haz es utilizada para vaporizar el material y que el flujo de calor es unidimensional, no alcanzado a producirse una conducción de calor hacia el material de manera perpendicular a la línea de corte. (Rodríguez, 2011)

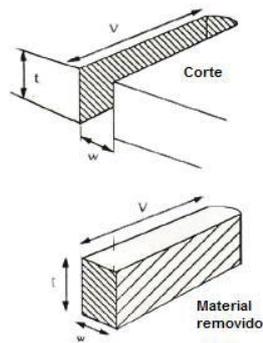


Figura 1.8 Volumen de material vaporizado.

Fuente: www.JournalofMaterialsProcessingTechnology.com

Si se cuenta con más potencia se podrá por un lado aumentar la velocidad de corte, ya que como se verá posteriormente existe una directa relación entre la velocidad de corte y la potencia del haz. Por otro lado, se podrá cortar piezas de mayores espesores, sin embargo, con un aumento en la potencia, se espera que aumente el ancho de sección de corte y existan bordes afectados térmicamente (Steen, W., 1991).

$$\frac{P}{t \cdot V} = \frac{w \cdot \rho}{n} * [C_p (T_v - T_0) + L_v] \left[\frac{J}{m^2} \right] \quad \text{Ec.1.1}$$

Dónde:

n = Eficiencia del acople.

P = Potencia del haz Láser Incidente [W]

w = Ancho de corte [m]

t = Profundidad de corte [m]

V = Velocidad de avance del corte [m]

ρ = Densidad del material [Kg/m³]

C_p = Capacidad calórica [KJ/Kg*K]

T_v = Temperatura de ebullición [K]

T_0 = Temperatura ambiente [K]

L_v = Calor latente de Evaporización [KJ/Kg]

b) Velocidad de avance del corte láser por vaporización

Para la velocidad de corte en materiales blandos se tomó como material muestra Polimetilmetacrilato (PMMA) o Acrílico, por ser el material de mayor dureza, analizado experimentalmente se ha podido establecer una relación entre el espesor del material y la velocidad de corte máxima, con la que aún se logran cortes recomendables. En este estudio se ha utilizado una potencia de 500 W (Powell, 1993), siendo establecidas velocidades de corte máximas, para espesores desde 1 hasta 12 milímetros de Acrílico.

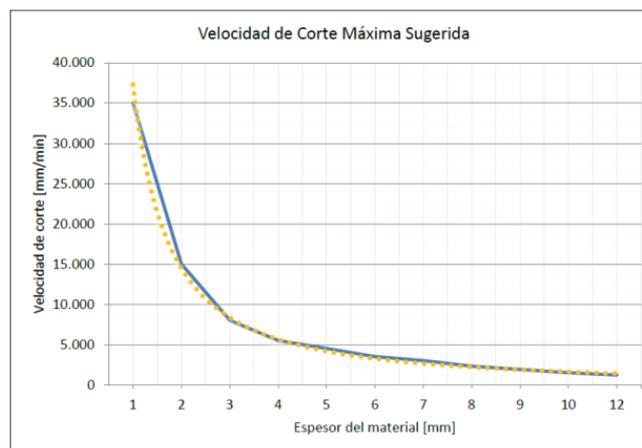


Figura 1.9 Velocidad de corte máxima sugerida para diferentes espesores de PMMA con un láser de CO2 de 500 W.

Fuente: (Powell, 1993).

Según este estudio se determinó una relación entre los principales parámetros de corte como potencia del láser, espesor del material y velocidad de corte, donde la velocidad de corte máxima se aproxima a la Ec. 1.2:

$$V_{corte_{max}} = P * Q * t^{-B} [mm/min] \quad \text{Ec.1.2}$$

Dónde:

$V_{cortemax}$ = Velocidad máxima de corte [mm/min]

P = potencia de láser [W]

Q = Constante que depende del material

$B =$ Constante que depende del material

$t =$ Espesor del material [mm].

c) Diámetro de la cintura del haz

Generalmente el material debe colocarse dentro de este rango, en frente de la lente.

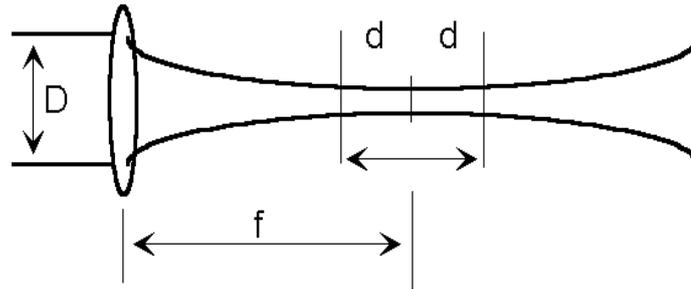


Figura 1.10 Diámetro de la cintura del haz.

Fuente: <http://www.parallax-tech.com/faq.htm>

En primer lugar el material debe colocarse a un determinado rango para lo cual utilizamos la siguiente formula:

$$DOF = 2,5 \times \text{longitud de onda} \times \left(\frac{f}{D}\right)^2 \quad \text{Ec. 1.3}$$

Dónde:

$D =$ Diametro del haz

$f =$ longitud focal del lente

Para el CO_2 láser la longitud de onda = 10 micrones = 0.01 mm.

Con un $f = 200$ mm de distancia focal del objetivo y un diámetro de haz de 10 mm obtenemos:

$$DOF = 0,027 \times \left(\frac{200}{10}\right)^2$$

$$DOF = 10,8\text{mm}$$

1.10 CORTADORA LÁSER CO2.

1.10.1 Introducción.

La cortadora láser por CO2 es un sistema que entrega un proceso térmico en el cual un haz de luz es generado por el tubo láser, este haz se enfoca en espejos para alcanzar la longitud deseada con el fin de llegar al lente de enfoque, cortar sobre la superficie de la pieza, normalmente el diámetro del punto de enfoque es menor a 0.5mm. Logrando que el material se caliente y este se funda o se evapore. (Rodriguez, 2011)

1.10.2 Partes de la cortadora láser CO2.

Cabezal de corte: Su principal función consiste en sujetar el lente de enfoque, con el objetivo de reflejar el haz luz y realizar el corte (véase en la figura 1.11).

Lente de enfoque: Ofrece una mayor precisión de corte y, por tanto, aumentan la velocidad de corte hasta un 5%(véase en la figura 1.11.).

Boquilla: Esta boquilla generalmente es de cobre, con una abertura final fluctúa entre 1,0 y 1,5 mm de diámetro (véase en la figura 1.11.), pudiendo escaparse de este rango en casos particulares, pero manteniéndose entre 0,8 a 2,0 mm como mínimo y máximo respectivamente.

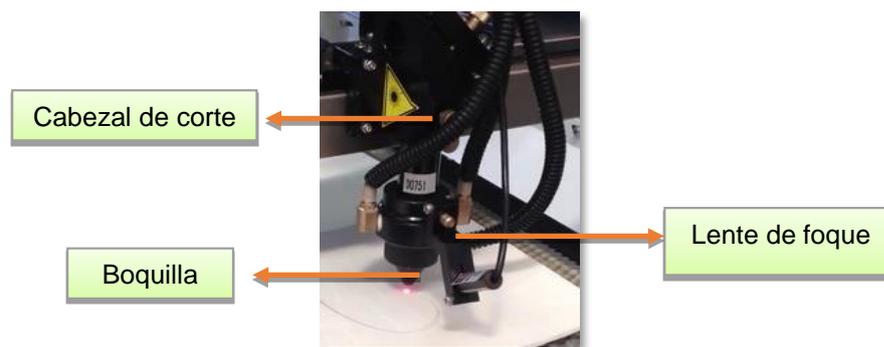


Figura 1.11 Cabezal de Corte

Fuente: <http://www.cncoletech.com/Láser%20Head.html>

Mesa: Sirve de apoyo para las unidades de la cortadora láser (véase en la figura 1.13). La parte superior contiene el sistema de traslación mecánica por la que se desliza el cabezal.

El sistema de asistencia de gas al proceso: Cuando se corta o marca metacrilato (u otros plásticos) mediante láser, es necesaria la asistencia de un gas de aporte al proceso. La función de este gas de aporte es la de expulsar el material fundido o vaporizado de la zona de corte.

En el caso del metacrilato no se tiene material fundido en la zona de corte ya que calentando el material pasa directamente del estado sólido al gaseoso, es decir, sufre una transformación de ablación.

En la figura 1.12, se aprecia un acercamiento de la boquilla donde se observa cómo trabaja el láser concentrado y como el gas remueve el material derretido.

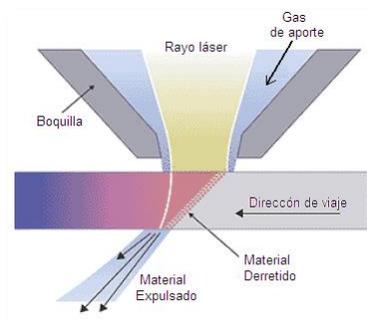


Figura 1.12 Acción de corte con gas de aporte.

Fuente: <http://www.cncoletech.com/Láser%20Head.html>

Espejo: El rayo láser puede ser reflejado en casi cualquier número de espejos y mantener su fuerza visual (véase en la figura 1.13). (Solutions, 2004)

Sistema desplazamiento: El sistema mecánico de movimiento o Mesas XY comúnmente llamadas, son superficies planas montadas sobre cojinetes de bolas (rodamientos lineales) y se componen de forzadores y platinas. El forzador se desliza sobre el cojinete y se mueve continuamente en un movimiento lineal a través de la platina. Para crear múltiples ejes, bases lineales a menudo se apilan uno encima del otro, con el eje superior de "Y" que actúa tanto como un carro a la base inferior y como la base que contiene la tabla. (wikipedia, 2013).

Los materiales utilizados para la construcción de tablas XY incluyen el acero inoxidable y hierro fundido, así como el bronce para los cojinetes y de aluminio para marcos (véase en la figura 1.13).

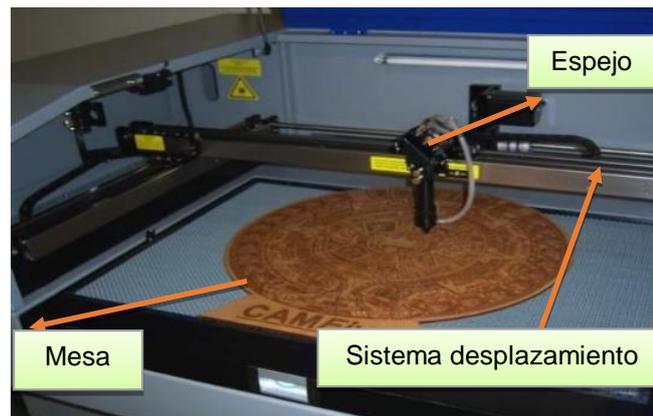


Figura 1.13 Partes de la cortadora láser.

Fuente: <http://www.cncoletech.com/YHengraver.html>

Enfriador De Agua Chiller Cw3000: El objetivo del chiller es mantener la temperatura del agua a aproximadamente 24 grados Celsius (75 grados Fahrenheit) o temperatura ambiente, mientras que su bomba de agua bombea constantemente agua a través del tubo del láser para extraer el calor generado por el proceso, esto ayuda mejorar el rendimiento, la durabilidad y proporcionar una gran protección para el CNC Láser. (Véase en la figura 1.14).

Bomba de aire: La asistencia de aire protege a los lentes focales extendiendo la vida útil protegiéndolos del humo, los desechos o las llamas generadas por el procesamiento de materiales que generan partículas potencialmente inflamables (véase en la figura 1.14).



Figura 1.14 Equipos adjuntos de la cortadora láser.

Fuente: <http://www.cncoletech.com/Láser%20accessories.html>.

Se utiliza un flujo de aire sobre la zona a tratar. Las razones para la utilización son las siguientes:

Proteger la óptica de focalización. Los gases que emanan del material procesado pueden dañar el lente Evitar que la nube de gas generado absorba la radiación láser evitando que ésta siga operando sobre la superficie. El oxígeno favorece reacciones de oxidación lo cual aumenta el coeficiente de absorción y mejora el rendimiento del proceso.

Tubo generador del láser: El tubo láser es un recipiente hermético que contiene en mayor parte CO₂, y otros gases como Nitrógeno, Hidrógeno o Helio. El gas del interior del tubo se activa mediante energía eléctrica, producida por una unidad de alimentación de potencia, y emite energía en forma de luz (véase en la figura 1.15). Una parte de esta luz la más intensa sale a través del espejo parcialmente "transparente" y forma el haz de luz (láser). La otra parte de la luz rebota y vuelve atrás, ganando la intensidad suficiente. (láser, 2013)

Alimentación de Potencia de Tubo de Láser Cristal CO₂: La fuente de alimentación entrega un rango de potencia eléctrica (véase en la figura 1.15) el cual transmite la concentración del haz de luz láser lo que hace posible el corte o grabado a diferentes espesores y en diferentes materiales según la capacidad del Tubo láser. (Láser, 2013)



Figura 1.15 Partes internas de la cortadora láser

Fuente: <http://www.cncoletech.com/Láser%20accessories.html>

DSP Control de Grabado y Corte Láser CO2: El DSP (Digital Signal Processor) admite la manipulación de señales de información esto aprueba mover el cabezal a cualquier punto que el sistema mecánico consienta o en un rango permisible dentro del área de trabajo que posea la máquina .Otra de las principales capacidades del DSP es controlar la potencia del láser para el corte y grabado (véase en la figura 1.15).

Sistema de enfoque: Los efectos térmicos de la radiación láser sobre alguna superficie, son fuertemente notables debido a la acción que producen algunas lentes capaces de concentrar el haz de luz en un área muy pequeña comúnmente llamada punto de enfoque. Existen tratamientos superficiales tales como el arenado o la aplicación de finas capas de sustancias absorbentes que ayudan a la acción láser.

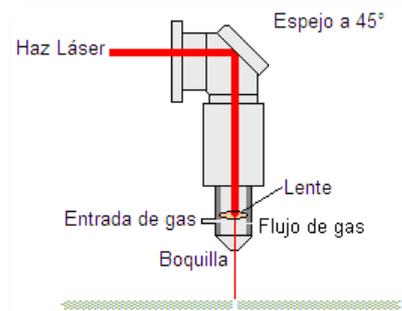


Figura 1.16 Partes principales sistema de enfoque.

Fuente: Ortega, C (2008). Sistema CNC de corte por láser. Fundamentos teóricos. Página 7. Mexico

En la figura 1.16 se observa el trayecto del haz láser, ingresa con cierto espesor, pasa al espejo a 45° el cual se usa para dirigir el haz hacia el lente de enfoque, para luego dicho haz sea expulsado; se puede notar que el espesor está disminuido por el efecto de focalización.

1.10.3 Operación de la cortadora de CO2 CNC.

El sistema de corte de materiales blandos con láser de CO2 está compuesto de subsistemas como: Sistema de control (control numérico computarizado), sistema mecánico (transmisión de movimiento), generador

del láser de CO₂, entre otros. El usuario crea y edita los programas según la necesidad luego los ingresa en el DSP Control de Grabado y Corte Láser CO₂, el cual se encarga de convertir esta información en impulsos, dando paso al control de la posición de un elemento físico. (Molpeceres, 2003). Las instrucciones de control lógico dentro de un programa, sirve para controlar funciones como activación/desactivación de los motores paso a paso, velocidad, potencia, encendido/apagado del generador del láser, que son determinados por el mando CNC.

1.11 SISTEMAS DE CONTROL.

Un sistema de control está definido como un conjunto de componentes que pueden regular su propia conducta o la de otro sistema con el fin de lograr un funcionamiento predeterminado, de modo que se reduzcan las probabilidades de fallos y se obtengan los resultados buscados. (Wikipedia, 2013). Los sistemas de control que frecuentemente se encuentran en las maquinas CNC, están implementados con un control en lazo abierto o en lazo cerrado. Un sistema de control ideal debe ser capaz de conseguir sus objetivos:

- Garantizar la estabilidad, ser robusto frente a perturbaciones y errores en los modelos.
- Lograr fácilmente implementación y cómodo de operar en tiempo real con ayuda de un ordenador.

Los elementos básicos que forman parte de un sistema de control y permiten su manipulación son: Sensores, Controlador y Actuador.

1.11.1 Estrategia de control

La estrategia de control hace referencia a la naturaleza y la dirección de los lazos existentes entre las variables medidas y las variables de control. Existen dos tipos de estrategias en función de la naturaleza de la información utilizada para calcular la acción de control del sistema, lazo abierto y lazo cerrado.

a) Control de sistema a Lazo abierto.

El sistema de control de lazo abierto es más simple y muchas veces resulta más económico. Esta estrategia de control puede compensar los retrasos inherentes del sistema anticipándose a las necesidades del usuario. Los elementos que conforman este sistema son: Elemento de control, Elemento de corrección y Proceso.

b) Control de sistema a lazo cerrado.

En este tipo de sistemas, alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la salida de realimentación a fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor conveniente, este sistema es ideal si se requiere un equipo de gran exactitud, esta cualidad se ve desmerecida al valor económico que este implica. Los sistemas de control realimentados se denominan también control de lazo cerrado, está compuesto de los siguientes elementos: Elemento de comparación, Elemento de control, Elemento de corrección, Elemento de proceso y Elemento de medición.

La cortadora con láser CO₂ CNC posee un sistema de control en lazo abierto, la razón por la cual no pertenece al control en lazo cerrado es que no existe realimentación del proceso, el producto se entrega sin niveles de corrección por parte del mismo.



Figura 1.17 Esquema de Funcionamiento del sistema CAD/CAM de corte con láser CO₂.

Fuente: <http://www.cncoletech.com/Láser%20accessories.html>

En la figura 1.17 se destacan los diferentes niveles que hacen posible el corte de materiales por láser de CO₂, de izquierda a derecha se observa en primera instancia el Sistema CAD (**Diseño asistido por computador**), conectado a la Unidad de control encargada de procesar el diseño a plasmarse, este entrega ordenes al Sistema mecánico (Actuadores) y generador de Láser de CO₂ secuencial mente para luego proyectar el láser mediante Máquina herramienta al material a cortar finalizando con el proceso.

1.12 SISTEMA MECÁNICO

Los sistemas mecánicos constituyen la primera etapa para el desarrollo de un proyecto mecatrónico. Estos sistemas requieren de un diseño y análisis de componentes o actuadores eléctricos, neumáticos, hidráulicos, electrónicos. Al desarrollar un sistema mecánico, el primer paso es el diseño. En la actualidad los diseños son asistidos por programas informáticos conocidos con el nombre de sistemas CAD. El análisis del sistema puede realizarse por medio de un modelado matemático o de simulaciones en el computador. (Hervás, 2001)

Un sistema mecánico o máquina es una combinación de mecanismos que transforma velocidades, trayectorias, fuerzas o energías mediante una serie de evoluciones con la interacción de varios componentes con un margen muy reducido ante el error, este margen se reduce gracias a estimaciones y reglas previstas en el diseño en CAD (Factor de seguridad).

1.12.1 Factor de seguridad.

El diseño en la ingeniería mecánica tiene categorías ante situaciones que confrontan al ingeniero como, el producto se hace en grandes cantidades, es valorable, o es peligroso, lo que justifica el ensayo elaborado de materiales, componentes y prototipos en el campo.

El producto se hace en cantidades suficientes para justificar un programa modesto de ensayos del material, tal vez tan pequeño como los ensayos a la tensión. (Díaz, 2007)

En la tabla presenta a continuación, se exhibe varios factores de seguridad a considerarse para el diseño de sistemas y componentes mecánicos en relación a su función o desempeño.

Tabla 1.3
Factores de seguridad

Tipo de carga	Factor de seguridad
Para soportes elevadores	n=2
Para vigas maestras de soporte y sus conexiones para grúas viajeras operadas desde la cabina	n=1,25
Para vigas maestras de soporte y sus conexiones para grúas viajeras operadas desde el piso	n≥1,10
Para soportes de maquinaria ligera impulsada con eje de transmisión o motor	n≥1,20
Para soportes de maquinaria de movimiento alternativo o unidades con potencia de impulsión propia	n≥1,50
Para suspensiones de piso plataformas	n=1.33

Fuente: (Shigley & Michell, 2002).

1.12.2 Eje guía o flecha de movimiento lineal.

Es parte integral de dispositivos o artefactos como reductores de velocidad tipo engrane, impulsores de banda o cadena, transportadores, bombas, ventiladores, agitadores y muchos tipos de equipo para automatización.

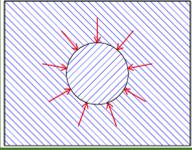
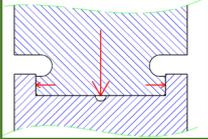
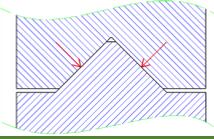
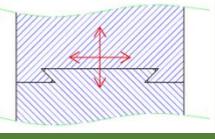
Por lo regular, un eje soporta componentes transmisores de potencia como engranes, poleas acanaladas para bandas o ruedas dentadas de cadena, ejercen fuerzas sobre el eje en sentido transversal, es decir perpendicular a su eje.

a) Tipos de flechas de movimiento.

Dentro de la amplia gama de sistemas guía, existen ciertos tipos que se destacan en el mercado y que en varias ocasiones su sencillez entrega un desempeño óptimo ante factores externos.

Tabla 1.4

Tipos de flechas de movimiento

<i>Tipo de flecha</i>	<i>Descripción</i>
 <p data-bbox="445 969 727 999"><i>Flecha Lineal Redonda.</i></p>	<p data-bbox="831 781 1385 994">Para recorridos cortos o cargas ligeras ya que, al tener que sujetarse la guía por sus extremos, suele tener mucha flexión. (Educación, 2011). Suelen montarse en parejas para evitar el vuelco del elemento.</p>
 <p data-bbox="464 1261 710 1290"><i>Flecha Lineal Plana.</i></p>	<p data-bbox="831 1126 1385 1245">Puede soportar mayores esfuerzos que una redonda. Suele utilizarse para soportar cargas verticales.</p>
 <p data-bbox="432 1552 742 1581"><i>Flecha Lineal Prismáticas.</i></p>	<p data-bbox="831 1417 1385 1536">Permiten soportar cargas oblicuas y son autoajustables (su desgaste no provoca juego alguno).</p>
 <p data-bbox="408 1921 764 1951"><i>Flecha Lineal Cola de Milano.</i></p>	<p data-bbox="831 1738 1385 1951">Su uso está muy extendido. En sus superficies de contacto aparecen fuerzas que se oponen a su movimiento, por ello dichas superficies deben estar perfectamente lubricadas para minimizar este efecto.</p>

Continúa →

 <p><i>Flecha Lineal de recirculación de bolas.</i></p>	<p>Para eliminar o minimizar la fricción que hay entre dos superficies deslizantes, se introducen elementos rodantes.</p>
 <p><i>Flecha Lineal Hidrostáticas.</i></p>	<p>Entre las superficies de rozamiento se introduce aceite a presión. Al no existir contacto entre las superficies se eliminan completamente la fricción y las holguras por uso. La implantación de este sistema resulta muy costoso.</p>

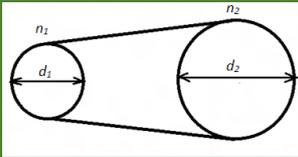
Fuente: <http://propro.galvann.net/index.php/pr3-2>

1.12.3 Sistemas de transmisión.

Un sistema de transmisión es el encargado de interpretar la respuesta del actuador, entregando un sentido de movimiento en alianza al diseño que se pretende entregar. En el **inciso 1.3.1, literal c**, se presentó varias propuestas sobre sistemas mecánicos, en acuerdo a esto se entrega varios componentes que están presentes en el inciso antes mencionado.

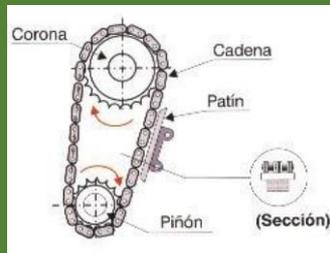
Tabla 1.5

Tipos de transmisión.

<i>Tipo de Transmisión</i>	<i>Descripción</i>
<p><i>Transmisión por polea</i></p>  $d_1 \times n_1 = d_2 \times n_2$	<p>Es un conjunto de dos poleas acopladas por medio de una correa con el fin transmitir fuerzas y velocidades angulares entre arboles paralelos que se encuentran a una cierta distancia. (Educativa, 2010).</p>

Continúa →

Transmisión por cadena



$$v_m = \pi \left(\frac{D}{12} \right) n$$

El movimiento y la fuerza se transmiten a cierta distancia de los engranes y se conserva el sentido de giro. Cuando rueda y piñón no pueden estar juntos se puede utilizar una conexión entre ellos inspirada exactamente en la misma idea que la transmisión por correa, pero manteniendo la pautas del dentado (Ecured, 2013).

Transmisión con correa



Flecha Lineal Prismáticas.

Las transmisiones por correa, consta de una cinta dentada colocada con tensión en dos engranes: uno motriz y otro móvil. Al moverse la correa transmite energía desde el engrane motriz al móvil por medio del acoplamiento de las hendiduras de la correa y el engrane. Durante la transmisión del movimiento, existe un régimen de velocidad uniforme (Ecured, 2013).

Husillo de potencia



$$T = 2 * I * \frac{W}{t} * \frac{\pi\theta}{180} * \frac{1}{24} + \frac{16 * F_f}{2\pi * p * e f f}$$

El husillo de potencia es una forma de materializar un par cinemático helicoidal o de tornillo, constando de dos piezas, un tornillo o husillo y una tuerca, entre las cuales existe un movimiento relativo de traslación y rotación simultáneas respecto al mismo eje. Los movimientos de rotación y traslación están relacionados por el paso de rosca del tornillo, es así como un movimiento circular se transmite en uno lineal con una potencia adquirida. (Gonzales, 2011)

1.12.4 Acoples

Los acoplamientos o acoples mecánicos son elementos de una máquina que sirven para prolongar líneas de transmisión de ejes o conectar tramos de diferentes ejes, en planos diferentes o con dirección paralela, para transmitir energía. (Fernandez, 2013). En la Figura 1.18 se observa varios de los acoples más utilizados y presentes en el mercado, entre los principales tenemos: rígidos, flexible y especiales o articulados.

- **Rígidos:** sin movimiento relativo entre ejes.
- **Flexibles:** permiten cierta desalineación radial, axial y angular.
- **Especiales o articulados:** Estos tienen características rígidas y flexibles por cuanto entrega cierto rango de desalineación dentro de un margen estable configurado.



Figura 1.18 Acoples Flexibles en el mercado.

Fuente:<http://www.melca.com.ar/portal/index.php/tutoriales-guias/fresadoras-cnc-automatizacion/51-tipos-de-transmicion-y-acoples-en-maquinas-cnc>.

1.13 ACTUADORES, ELEMENTOS DE CONTROL Y PROTECCIÓN.

Los actuadores con frecuencia se usan como elemento de control final, este se presenta por lo general como un motor o un pistón (neumático o hidráulico). **En el literal 1.3.1, inciso c** se habla de la transmisión de movimiento circular a lineal, el componente que entrega el movimiento circular es el motor. Los motores eléctricos se dividen en dos grandes grupos: motores de corriente continua y motores de corriente alterna, El control numérico computarizado está estrechamente ligado con motores de corriente continua (motores a pasos, servomotores o híbridos).

a) Motor paso a paso.

El motor paso a paso es un tipo especial de motor que permite el avance de su eje en ángulos muy precisos y por pasos en las dos posibles direcciones de movimiento izquierda o derecha. Aplicando a ellos una determinada secuencia de señales digitales, avanza por pasos hacia un lado u otro y se detienen exactamente en una determinada posición lo que los hace perfectos en para el campo de robótica y automatización. Cada paso tiene un ángulo muy preciso, determinado por su construcción del motor, lo que permite realizar movimientos exactos sin necesidad de un sistema de control por lazo cerrado.



Figura 1.19 Motor paso a paso.

Fuente:<http://cdigital.udem.edu.co/TESIS/CD-COM19352006/09.CAPÍTULO2.pdf>

El ángulo de motores a paso normalmente 1,8 grados. La mayoría de los motores paso a paso tienen 200 pasos para llevar a cabo una rotación o revolución.

Tabla 1.6

Ventajas y desventajas de motores paso a paso.

Ventajas	Desventajas
Se sincroniza con las señales de pulso del comando generado de los pulsos en enviados por los puertos, conveniente para el control exacto de su rotación. (Javier, 2009)	El motor paso a paso produce más ruido y vibración que los servos

Continúa →

Se puede controlar fácilmente su velocidad.	El motor paso a paso no se puede utilizar para tareas de rotación de alta velocidad.
Es fácil de invertir el sentido de rotación del motor.	
Bajo costo	

Elaborado por: Santiago Lugmania, Wilson Vásquez

Para determinar la RPM en motores paso a paso, utilizar una ecuación para convertir pulso por segundo a revoluciones por minuto.

La fórmula para convertir impulsos por segundo o PPS a RPM es:

$$RPM = \frac{PPS}{N} \times 60 \quad \text{Ec. 1.4}$$

PPS = Pasos por segundo

N = Numero de pasos por revolucion 200

El 60 se utiliza como multiplicador porque hay 60 segundos en un minuto

b) Servomotor

El servomotor es un tipo especial de motor que se caracterizan por su capacidad de moverse a posiciones angulares específicas, al enviar una señal codificada, dentro de un rango de operación (Miguel, 2011)

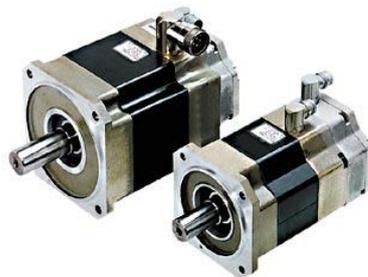


Figura 1.20 Servomotor.

Fuente: <http://www.slideshare.net/themigue10/servo#btnNext>

Tabla 1.7
Ventajas y desventajas del servomotor.

Ventajas	Desventajas
Torque elevado para su tamaño	Esta limitado por el circuito de control a únicamente variar de 0° a 180°.
Potencia proporcional para cargas mecánicas.	Poder controlar varias secuencias de posiciones, es difícil sin utilizar sistemas basados con micros.
No consume mucha energía.	
Mayor precisión	

Elaborado por: Santiago Lugmania, Wilson Vásquez

1.13.2 SENSORES

Los sensores convierten un tipo de energía a otra, miden cierto tipo de energía, un indicador o detector en pocas palabras, la energía detectada se convierte en impulsos eléctricos que son captadas por las máquinas de control. Esta información la utilizan los operadores lógicos. A continuación se presentara varios tipos de sensores usualmente utilizados en la automatización.

a) Sensor de Contacto

Se emplean para detectar el final del recorrido o la posición límite de componentes mecánicos. Los principales son los llamados fines de carrera. Se trata de un interruptor que consta de una pequeña pieza móvil y de una pieza fija que se llama NA, normalmente abierto, o NC, normalmente cerrado.



Figura 1.21 Sensor de contacto.

Fuente:http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esotecnologia/quincena11/4quincena11_contenidos_3b.htm

b) Sensor infrarrojo

El receptor de rayos infrarrojos suele ser un fototransistor o un fotodiodo. El circuito de salida utiliza la señal del receptor para amplificarla y adaptarla a una salida que el sistema pueda entender.



Figura 1.22 Sensor infrarrojo.

Fuente:http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esotecnologia/quincena11/4quincena11_contenidos_3g.htm

La señal enviada por el emisor puede ser codificada para distinguirla de otra y así identificar varios sensores a la vez esto es muy utilizado en la robótica en casos en que se necesita tener más de un emisor infrarrojo y solo se quiera tener un receptor. Este tipo de sensor puede funcionar como un sensor de contacto al acoplar un circuito de interpretación que transforme el corte de la señal de rayos infrarrojos como el cierre de un interruptor.

1.13.3 Controlador DSP

Un procesador de señal digital (DSP) es un tipo de microprocesador increíblemente rápido y poderoso. El DSP realiza el procesamiento de datos en tiempo real. Esta capacidad de operación en tiempo real hace de un DSP la opción perfecta para aplicaciones en las que no vamos a tolerar retrasos.

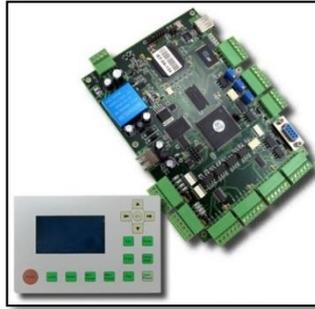


Figura 1.23 Controlador DSP.

Fuente: <http://ayudaelectronica.com/que-es-un-dsp/>

El DSP adquiere una señal digital y la procesa para mejorar la misma. La mejora puede ser un sonido más claro, imagen más nítida o datos más rápidos.

Aplicaciones

Estas aplicaciones soportan algoritmos muy complejos y velocidades de muestreo reducidas (Andoni, 2010). A continuación se presenta varios de los casos en los cuales la implementación de un DSP es favorable:

- Instrumentación y control:
- Filtros digitales, analizadores de espectros, control de robots, control de motores, control de láser.
- Audio y video:
- Rotación 3D, visión artificial, reconocimiento de patrones, compresión.

1.14 NORMAS DE SEGURIDAD PARA EL TRABAJO CON TECNOLOGIA LÁSER.

Uno de los parámetros más importantes para la seguridad en tecnología láser empieza tomando en cuenta que el punto rojo del láser es altamente abrasivo, por lo que una vez se haya acabado de usar es mejor mantenerlo apagado y cuando se esté haciendo uso de él. No mirar directamente el haz láser (Valencia, 2012). Si se quiere saber si la maquina está en funcionando basta con mirar el LED del panel de control.

1.14.1 Protección Personal.

- Antes de iniciar la máquina, el personal debe vestir: braga con mangas largas, gafas de protección láser, zapatos de seguridad, guantes.
- Es peligroso trabajar llevando anillos, relojes, pulseras, cadenas en el cuello, bufandas, corbatas o cualquier prenda que cuelgue.
- Además es peligroso llevar cabellos largos y sueltos, deben recogerse bajo gorro o prenda similar. Lo mismo la barba larga.
- No forzar los dispositivos de cierre de puertas.
- No abrir los paneles cuando está enchufada la máquina.
- No cambiar ninguna conexión si el sistema está encendido.
- No utilice materiales combustibles, explosivos, volátiles ni alcoholes.
- No trabajar nunca con PVC.
- No opere sin la ventilación adecuada.

1.14.2 Orden y Limpieza.

- Cuidar el orden y conservación de las herramientas, útiles y accesorios; tener un sitio para cada cosa y cada cosa en su sitio.
- La zona de trabajo y las inmediaciones de la máquina deben mantenerse limpias y libres de obstáculos y manchas de aceite.
- Los objetos caídos y desperdigados pueden provocar tropezones y resbalones peligrosos, por lo que deben ser recogidos antes de que esto suceda.

1.14.3 Señalización.

La señalización debe estar como mínimo redactada en castellano, y complementariamente, en inglés. La señalización relativa a un dispositivo láser, comprende:



Figura 1.24 Señalización relativa a un dispositivo láser.

Fuente: http://www.sprl.upv.es/IOP_RF_01%28a%29.htm

La señal referida a la prohibición de acceso a los lugares de emplazamiento de este láser, puede verse más abajo, como “Señalización Preceptiva para los Lugares de Trabajo.



Figura 1.25 Señalización relativa a un dispositivo láser.

Fuente: http://www.sprl.upv.es/IOP_RF_01%28a%29.htm.

CAPÍTULO II

DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO DE PROTOTIPO DE CORTADORA LÁSER CO2

Hoy por hoy, el entorno tecnológico incorpora en el mercado distintos tipos de máquinas especializadas en el corte por láser de CO2 con distintivos propios en acuerdo al diseño de la empresa, en base a estas características, como el tamaño, el área de trabajo, el tipo de desplazamiento de sus coordenadas en ejes de movimiento lineal, velocidad adecuada para el trabajo de corte y grabado en materiales blandos se partirá con el diseño de un modelo mecánico en un software de diseño asistido por computador, de tal modo que la estructura obtenga un funcionamiento óptimo. (machine, 2013)



Figura 2.1 Cortadora láser por CO2

Fuente:<http://www.directindustry.es/prod/jinan-bodor-cnc-machine-co-ltd/maquinas-corte-grabado-por-laser-co2-70516-700613.html>

En la Figura 2.1, se observa un modelo común en el mercado, equipos como estos serán examinados posteriormente para el cálculo de parámetros de la máquina, centrándose tanto en las necesidades del operario como en el diseño de la estructura de la cortadora láser con sus respectivos sistemas de movimiento en el eje X e Y, la asistencia de un paquete CAD, permitirá un trabajo rápido y productivo en el esquema máquina de la cortadora láser por CO2.

2.1 PARÁMETROS DE DISEÑO MECÁNICO.

En esta sección se desplegará detalles o característica del corte por láser que enfatizaran las particularidades de la máquina, como: Potencia del haz de luz láser, área de trabajo o desplazamiento de coordenadas, velocidad avance del corte en materiales blandos y profundidad de corte (**Véase en la sección 1.9.6**).

2.1.1 Potencia de láser para corte.

En el corte de materiales por haz de luz láser existe una relación directa entre la velocidad de avance del corte y la potencia del haz de luz. Por lo tanto, se podrá cortar piezas de mayor espesor, mientras uno de los dos parámetros antes mencionados disminuya y su contrario aumente (Véase en la sección 1.9.6, inciso a), en la tabla 2.1 se recopilara información sobre características técnicas de máquinas presentes en el mercado, útiles para el cálculo de la potencia del haz de luz láser, presentadas a continuación:

Tabla 2.1

Características de máquinas de corte por láser CO2 de 80W disponibles en el mercado.

Maquina	Modelo	Velocidad de trabajo (mm/min)	Espesor material Acrílico (mm)	Precisión (mm)	Área de trabajo (mm)	Costo (\$)
	SM-1290	60000	12	0,01	1200*900	10.900
	KR960	60000	11	0,01	900*600	7.040
	NC-C1490	60000	14	0,01	1400*900	11.680

Continúa →

	HI-1610c	50000	14	0,01	1600*1000	16.608
	YLC-60X90	60000	10	0,01	600*900	9.780

Para la potencia de trabajo se tomó en cuenta diversas características de modelos dispuestos en el mercado como velocidad de trabajo y espesor de corte en PMMA (polimetilmetacrilato), detallados en la tabla 2.1, varias de las marcas elegidas consideran que 80 watt son suficientes para cortar de 10 a 14 mm de acrílico o polimetilmetacrilato en el rango de velocidad de avance del corte de los 6000 mm/min, el PMMA al ser el material más resistente dentro de los materiales blandos, completa la incertidumbre sobre si esta potencia será capaz de desempeñar el corte en materiales como cuero, tela, espuma Flex etc.

En el cálculo de la potencia del haz de luz láser, se recurrirá a la Ec. 1.1 detallada en la sección 1.9.6, inciso a, con polimetilmetacrilato como material de estudio, el significado de cada una de las variables utilizadas a continuación están detalladas en el inciso antes mencionado, con un $T_0 = 25$ [°C] o 298 [K], $C_p = 1470$ [J/Kg*K] y $T_v = 198$ [°C] o 473 [K] (Véase en el Anexo D), $L_v = 25100$ [KJ/Kg] (Walters, 2003) y $n = 0,88$ (Robledo, 2001) descrita a continuación:

$$\frac{P}{t * V} = \frac{w * p}{n} * [C_p(T_v - T_0) + L_v] \left[\frac{J}{m^2} \right]$$

Despejamos P (Potencia del haz de luz) de la ecuación 1.1:

$$P = \frac{w * t * V * p}{n} * [C_p(T_v - T_0) + L_v] \left[\frac{J}{s} \right]$$

$$P = \frac{1e^{-03} * 2e^{-03} * 0,1 * 1190}{0,88} * [1470 * (473,15 - 298,15) + 25100] \left[\frac{J}{s} \right]$$

$$P = 2,7045e^{-4} * 2,824e^5 \left[\frac{J}{s} \right]$$

$$P = 76,36 \left[\frac{J}{s} \right]$$

Para el corte de PMMA se utilizara la técnica de evaporización (Véase en la sección 1.9.4, inciso c), según el resultado hallado mediante el cálculo de potencia en base a la Ec. 1.1 se obtuvo una potencia de 73,15 watt o J/s; en el mercado se encuentran tubos generadores de haz de luz láser desde los 15 hasta los 6000 watt de potencia, se elige el más próximo a los cálculos entregados, siendo la potencia de corte y del haz de luz láser de 80 watt.

2.1.2 Área de trabajo

En la tabla 2.1 de este capítulo se detalló varios modelos y sus características, parte de estas características referidas fueron el área de trabajo y el precio del equipo. De acuerdo a esto se iniciara detallando las dimensiones de desplazamiento de la herramienta para un área de trabajo óptima tanto en el eje X como en el eje Y, considerando el tamaño favorable para la reducción en el costo del prototipo a comparación de un equipo dispuesto en el mercado, definida en la tabla 2.2.

Tabla 2.2

Área de Trabajo.

Recorrido en el eje X (mm)	Recorrido en el eje Y (mm)	Área de Total (mm ²)
900	900	810000

2.1.3 Velocidad de corte

Para la velocidad de corte en materiales blandos se tomó como material muestra (PMMA) o Acrílico, analizado en cálculo de la potencia del haz de luz (véase **literal 2.1.1** de esta sección) como material de mayor dureza.

Según el estudio definido en la **sección 1.9.6, inciso b**, se determinó una relación entre los principales parámetros de corte como potencia del láser,

espesor del material y velocidad de avance del corte, donde la última se aproxima a la Ec. 1.2, útil para el cálculo de la misma, detallada a continuación:

$$V_{corte_{max}} = P * Q * t^{-B} \left[\frac{mm}{min} \right] \quad Ec. 1.2$$

Tabla 2.3

Estimación sobre Velocidades de corte para diferentes espesores de Acrílico con un láser de CO2 de 80 W.

POTENCIA (P) [Watt]	Constante (Q)	Espesor del material (t) [mm]	constante (B)	velocidad máxima de corte (mm/min)
80	74,57	1	1,362	5965,60
		2		2320,87
		4		902,92
		6		519,77
		8		351,27
		10		259,21
		12		202,21

Velocidad
Máxima
de corte

En la tabla 2.3 se describe una gráfica en base a la velocidad de corte vs. espesor del material referido en el Figura 1.7. (Véase en la sección 1.9.6, inciso b) y según la Ec.1.2 se genera un rango de velocidades con una potencia elegida de 80 W.

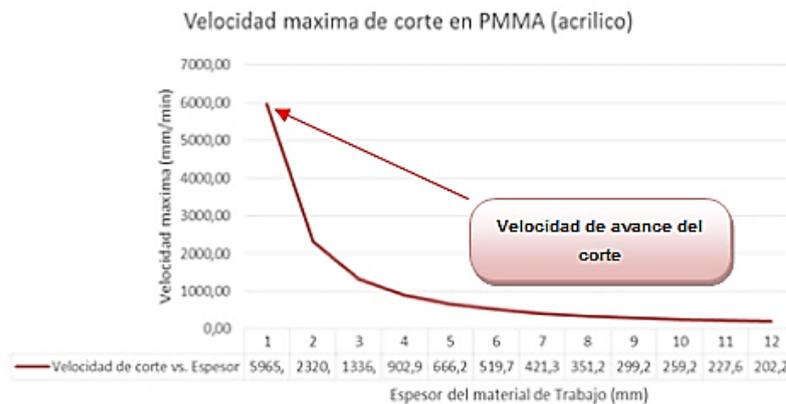


Figura 2.2 Velocidad de corte máxima para diferentes espesores de PMMA con un láser de CO₂ de 80 W. Cortadora láser por CO₂

La representación de la curva velocidad de corte máxima – espesor del material, presentada en el Figura 2.2 relaciona a los valores tomados de la tabla 2.3 con la gráfica de la sección 1.9.6.

En esta grafica se relacionó una potencia definida de 80 W, la misma que detalla un punto máximo en la cual se estima como velocidad de avance del corte (Powell, 1993); según la tabla 2.3 el punto máximo y la velocidad de avance del corte a estimarse para el diseño es de 6000 [mm/min], viable a un espesor de 1 mm en PMMA.

No es recomendable utilizar esta velocidad de corte máxima, sino una fracción de ella (Steen, 1991), de manera en la que se asegurara que los cortes resulten exitosos, pero si consideramos que PMMA es un material considerablemente duro tomaremos como máxima velocidad está en base a que existen materiales de menor dureza que exigirán velocidades mayores, con potencias menores para el ahorro de energía.

2.1.4 Espesor del material

Según el estudio realizado en el cálculo de la velocidad de avance del haz para el corte de este material, 202,2 [mm/min] se estima como la mínima velocidad de corte, si analizamos la figura 2.2. sabemos que el espesor de corte es inversamente proporcional a la velocidad de desplazamiento de la herramienta por ende a una velocidad mínima se produciría un corte de 12

mm de PMMA con una potencia de 80 W. Tomando en cuenta este análisis, se asociara un espesor de 12 mm en acrílico o Polimetilmetacrilato como espesor máximo de corte. En la tabla 2.4 se detallara los diferentes parámetros de diseño, que se tomaran en cuenta para el diseño mecánico de la cortadora láser por CO2, a continuación:

Tabla 2.4

Parámetros de diseño.

Área de Trabajo (mm ²)	Velocidad de corte (mm/min)	Espesor del material en Acrílico (mm)	Potencia del láser (W)
810000	6000	12	80

2.2 DISEÑO DEL CARRO HORIZONTAL, COORDENADA “X”

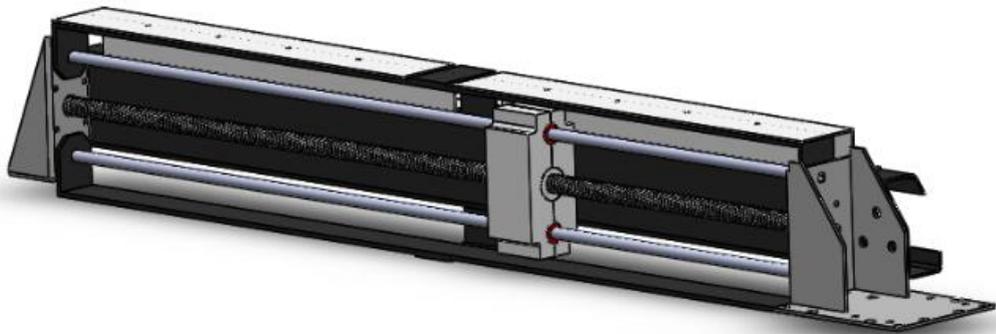


Figura 2.3 Carro horizontal, en el eje de movimiento X

En el figura 2.3, se puede observar el sistema mecánico de desplazamiento de la herramienta, constituido por el carro transportador de la herramienta, ejes de movimiento y rodamientos lineales, quienes serán tema de estudio en esta sección.

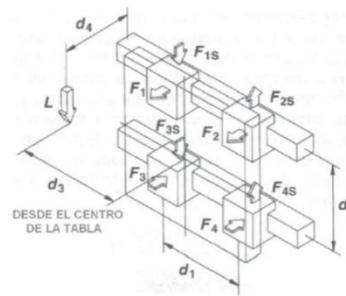


Figura 2.4 Carro vertical, coordenada X.

Fuente: (Guanoluisa & Yáñez, 2007).

Al aplicar una fuerza lateral en el sistema de movimiento en el eje X, la fuerza en la flecha o guía cambia en forma individual. Cada guía tendrá como resultante una fuerza normal así como una fuerza lateral como se puede observar en la figura 2.4.

$$F_1 = F_2 = \frac{L_x}{2} \left(\frac{d_4}{d_2} \right) \quad \text{Ec.2.1}$$

$$F_3 = F_4 = - \frac{L_x}{2} \left(\frac{d_4}{d_2} \right)$$

$$F_{1s} = F_{3s} = \frac{L_x}{4} + \frac{L_x}{2} \left(\frac{d_3}{d_1} \right) \quad \text{Ec.2.2}$$

$$F_{2s} = F_{4s} = \frac{L_x}{4} - \frac{L_x}{2} \left(\frac{d_3}{d_1} \right)$$

En este caso se asume como:

$L_y =$ La fuerza que va aplicarse (N)

$d =$ distancia (mm)

Partiendo la ecuación fundamental:

$$L_x = m_T * g \quad \text{Ec.2.3}$$

$$m_{TX} = m_{\text{laser head}} + m_{\text{soportes y lente}} \quad \text{Ec.2.4}$$

$$m_{TX} = 2 [kg] + 0,5 [kg]$$

$$m_{TX} = 2,5 [kg]$$

A continuación se comete los cálculos a emplearse según la Ec. 2.3:

$$L_X = m_{TX} * g$$

$$L_X = 2.5 [kg] * 9.8 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

$$L_X = 24.5 [N]$$

Se reemplaza en la Ec. 2.1 y 2.2:

$$F_1 = F_2 = \frac{24.5N}{2} \left(\frac{40mm}{85mm} \right)$$

$$F_1 = F_2 = 5,76 [N]$$

$$F_3 = F_4 = -\frac{24.5N}{2} \left(\frac{40mm}{85mm} \right)$$

$$F_3 = F_4 = -5.76 [N]$$

La fuerza generada por el carro vertical, se encuentra localizada en el centro de la tabla del carro horizontal de la coordenada Y, por tanto $d_3 = 0$

Entonces:

$$F_{1s} = F_{3s} = \frac{24,5}{4} = 6,1 [N]$$

$$F_{2s} = F_{4s} = \frac{24,5}{4} = 6,1 [N]$$

Para la construcción del eje X, se parte del diseño del carro que trasladara la herramienta (figura 2.4); al cual se lo debe colocar en la dirección del eje X del sistema de movimiento, este es el encargado de sostener la herramienta proyectora del láser siendo necesario el peso del cabezal o herramienta para el cálculo sobre carro detallado como 6.1 N de fuerza normal y lateral.

Este carro tiene acoplado rodamientos lineales que permitirán reducir la fricción mediante la recirculación de los rulimanes en su interior.

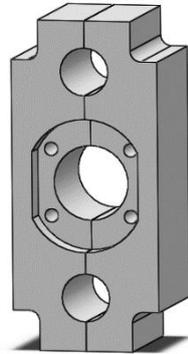


Figura 2.5 Base del Cabezal de Corte o Herramienta.

En el figura 2.5, se observa el diseño de la base que portara la herramienta. Para el diseño del Soporte de la herramienta, se utilizó Nylamid ($S_y=45MPa$) en acuerdo a las características de máquinas difundidas en el mercado, este tipo de material se lo puede encontrar fácilmente en el país debido a su amplia comercialización. Si se considera un factor de seguridad $N = 2$ (véase en la sección 1.12.1), el esfuerzo de diseño máximo es:

$$\sigma_d = \frac{S_y}{N} \quad \text{Ec.2.5}$$

$$\sigma_d = \frac{45}{2} [MPa]$$

$$\sigma_d = 22,5 [MPa]$$

Para el análisis de la base del cabezal se concurrirá al estudio del máximo esfuerzo mediante el paquete de diseño SolidWorks 2014. Los estudios de esfuerzos se tomaran como se muestra en la figura 2.4, de esta sección, en la cual se especifica que las fuerzas que someten a prueba al carro son: Normales y laterales.

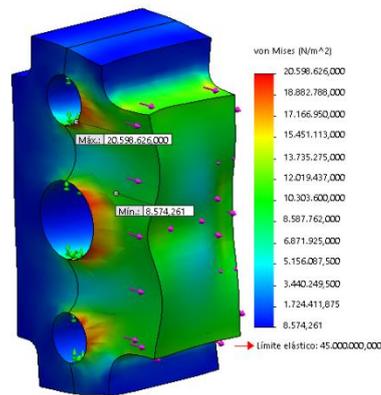


Figura 2.6 Escalas de tensiones según Von Mises de Base del Cabezal de Corte o Herramienta (Cargas Laterales).

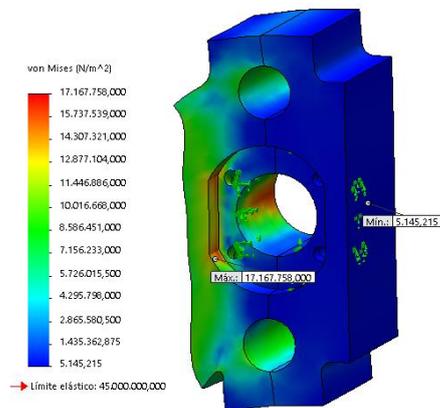


Figura 2.7 Escalas de tensiones según Von Mises de Base del Cabezal de Corte o Herramienta (Cargas Normales).

Según las figura 2.6 y 2.7 del análisis de tensiones de Von Mises tenemos un esfuerzo máximo permisible de 20,52 MPa (Carga Lateral) y 17,16 MPa (Carga Normal), el esfuerzo máximo calculado es de 22,5 MPa cumpliéndose la siguiente ecuación.

$$\sigma' < \sigma_d \quad \text{Ec.2.6}$$

$$20,52 [MPa] < 22,5 [MPa] \text{ (Cargas Laterales)}$$

$$17,16 [MPa] < 22,5 [MPa] \text{ (Cargas Normales)}$$

2.2.1 Diseño flecha o eje guía, en el carro vertical coordenada "X"

El eje guía (flecha horizontal) es un elemento de sección circular que puede ser fijo, al ser ensamblado con un sistema de rodamientos lineales en el centro de la flecha, permite el desplazamiento de un grupo determinado de piezas. El propósito específico de la guía en X, es trasladar la herramienta del sistema de un lugar a otro, a través de su eje de movimiento, este recorrido es en línea recta. El eje guía horizontal está representado en la figura 2.8, con una longitud estimada de 900 mm según el recorrido de la herramienta en este eje de movimiento.

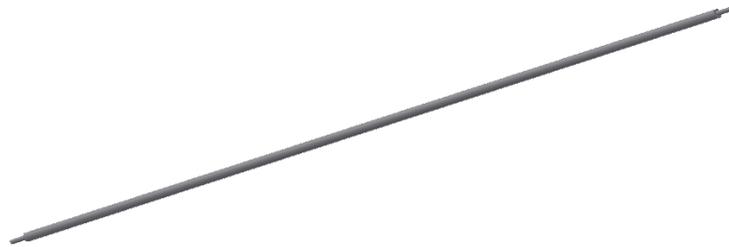


Figura 2.8 El eje guía, en el carro vertical coordenada "X".

Para el diseño de las guías se obtendrá el momento flexor máximo denotado en la figura 2.9, de la estructura correspondiente al Cabezal de corte, mediante el software MDSolids.

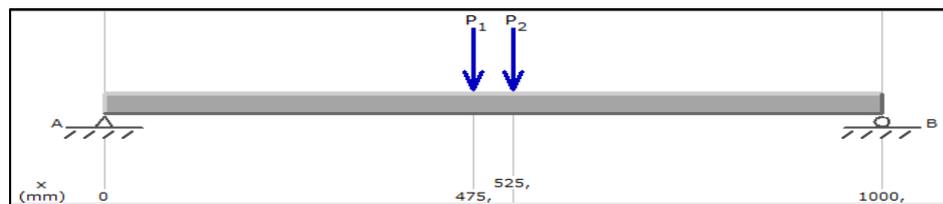


Figura 2.9 Diagrama de cuerpo Libre, Fuerzas para el eje guía "X".

Se realiza el análisis de fuerzas en la figura 2.10, obteniendo el momento flexor máximo $M = 6036 \text{ N}\cdot\text{mm}$ con la ayuda del paquete de diseño MDSolids. A continuación se presenta los diagramas de fuerza cortante y de momento flexor máximo.

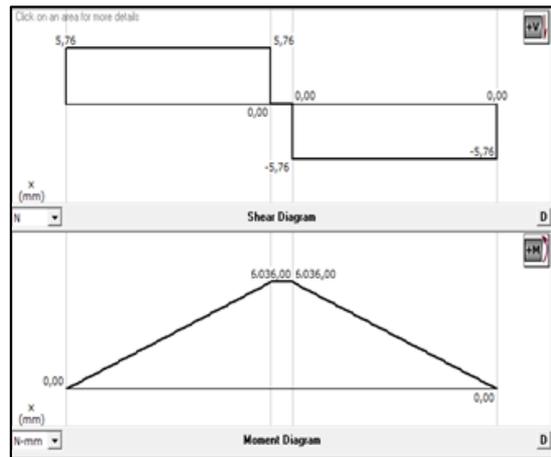


Figura 2.10 Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flexor máximo de la guía "X".

Para soportes de maquinaria ligera impulsada con el eje de transmisión o motor se considera un factor de seguridad $n \geq 1.20$ (Mischke, 2002), se ha considerado un factor de seguridad de 2.5; mayor al valor considerado en el diseño de este tipo de estructura, con una Resistencia a la fluencia del acero inoxidable (SAE 304) de $S_y=310\text{MPa}$.

El esfuerzo normal máximo que puede soportar el acero inoxidable según la Ecuación 2.7 es:

$$\sigma_{max} = \frac{S_y}{n} \quad \text{Ec.2.7}$$

$$\sigma_{max} = \frac{310000000}{2.5} \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

$$\sigma_{max} = 124 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Por lo tanto el valor del módulo de la sección transversal está dado por:

$$S = \frac{M}{\sigma_{max}} = \frac{6036}{124} = 48,67 \text{ [mm}^3\text{]}$$

El diámetro de la guía deberá ser:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * S}{\pi}}$$

Ec.2.8

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * 48,67}{\pi}} = 7,91mm$$

Según la Ec. 2.8, se obtuvo un diámetro de espesor del eje guía de 7,91 mm en el mercado esta medida no se encuentra estandarizada, por cuanto se opta en tomar un valor muy comercial y en acuerdo al ANEXO A, de 3/8 de pulgada (9,5 mm) de espeso.

Tabla 2.5

Dimensión del eje guía o Flecha (X)

Longitud (mm)	Diámetro (mm)
900	9,5

En la Tabla 2.5 se detalla la longitud y el diámetro en milímetros del eje guía o flecha de movimiento lineal.

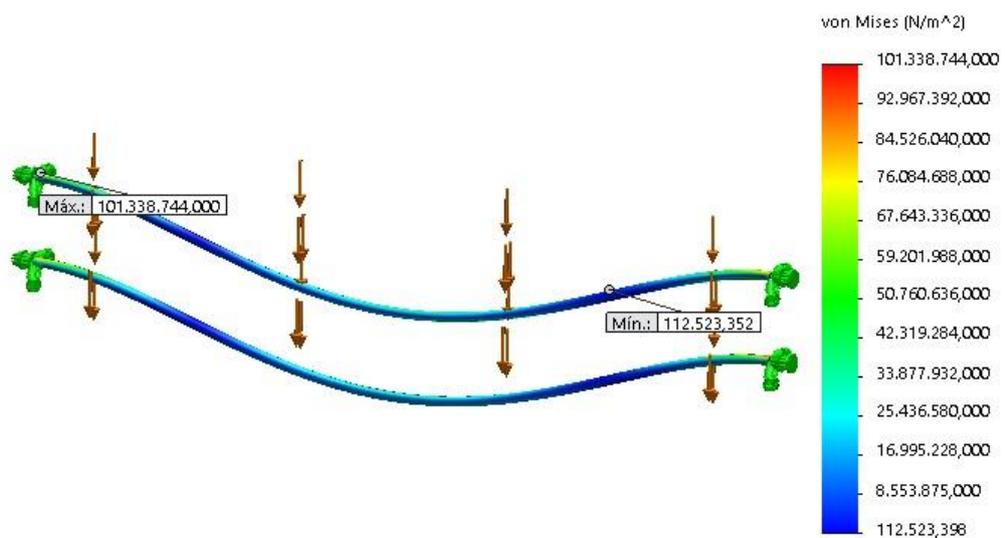


Figura 2.11 Escalas de tensiones según Von Mises de Base de la guía "X".

Según la figura 2.11 del análisis de tensiones de Von Mises tenemos un esfuerzo máximo permisible de 101,33 MPa y el esfuerzo máximo calculado es de 124 Mpa cumpliéndose la Ecuación 2.6.

$$\sigma' < \sigma_d$$

$$101,33 \text{ MPa} < 124 \text{ MPa}$$

Para cálculos posteriores es necesario saber la masa de la guía en acero inoxidable, el cual se necesitamos hallar el volumen del mismo, de tal forma que:

$$V = \pi r^2 L \quad \text{Ec.2.9}$$

$$V = \pi * 4,75^2 * 900 \text{ mm}^3$$

$$V = 6,37 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Obtenido el resultado del volumen precedemos a determinar la masa del eje o flecha con una densidad del acero inoxidable de $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$, la relación que se detallara a continuación:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ec.2.10}$$

$$m_{guia} = \rho * V$$

$$m_{guia} = 7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 6,37 \times 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$m_{guia} = 0,49 \text{ kg}$$

Datos:

$$m_T = 2 * m_{guia} + m_{motor} + m_{husillo} + m_{TX}$$

$$m_T = 2 * (0,49 \text{ kg}) + 1,07 \text{ kg} + 1,45 \text{ kg} + 2,5 \text{ kg}$$

$$m_T = 6 \text{ kg}$$

2.3 DISEÑO DEL CARRO HORIZONTAL, COORDENADA “Y”

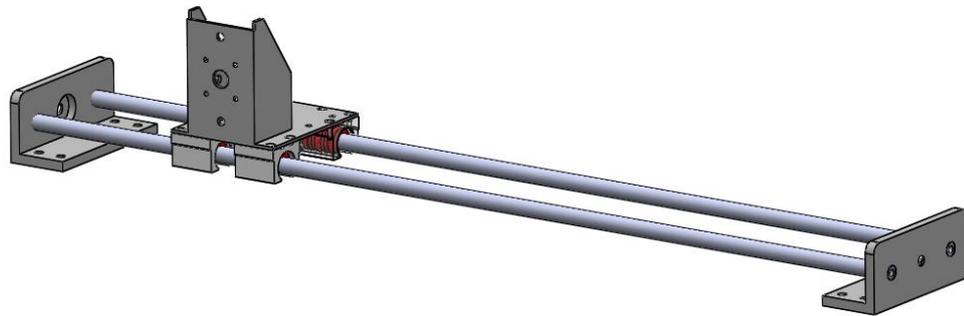


Figura 2.12 Diseño del carro en el eje de movimiento Y.

La fuerza normal esta aplicada a un sistema horizontal de flechas o guías, la necesidad del sistema es mover de forma lineal y precisa en los dos ejes cartesianos, por lo tal motivo se eligió el uso del mecanismo mostrado en la figura 2.12.

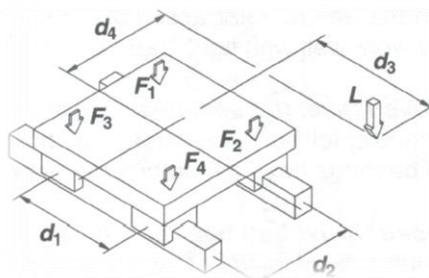


Figura 2.13 Carro horizontal, coordenada “Y”.

Fuente: (Guanoluisa & Yáñez, 2007)

Las ecuaciones presentadas a continuación, están basadas en la figura 2.13 en la que detalla los cálculos necesarios para hallar las fuerzas normales que actúan en el sistema de movimiento en “Y”:

$$F_1 = \frac{L}{4} - \frac{L}{2} \left(\frac{d_3}{d_1} + \frac{d_4}{d_2} \right) \quad \text{Ec.2.11}$$

$$F_2 = \frac{L}{4} + \frac{L}{2} \left(\frac{d_3}{d_1} - \frac{d_4}{d_2} \right)$$

$$F_3 = \frac{L}{4} - \frac{L}{2} \left(\frac{d_3}{d_1} - \frac{d_4}{d_2} \right)$$

$$F_4 = \frac{L}{4} + \frac{L}{2} \left(\frac{d_3}{d_1} + \frac{d_4}{d_2} \right)$$

En este caso tenemos que:

$L =$ La fuerza (N)

$d =$ distancia (mm)

Partiendo la formula fundamental de $L = m_T * g$

$$m_T = 6kg$$

Posteriormente se realiza el cálculo de la fuerza usarse:

$$L = m_T * g$$

$$L = 6kg * 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$L = 58,8N$$

Entonces:

$d_1 = 120mm$

$d_2 = 120mm$

$d_3 = 60mm$

$d_4 = 376mm$

$$F_1 = \frac{58,8N}{4} - \frac{58,8N}{2} \left(\frac{60mm}{120mm} + \frac{333.3mm}{120mm} \right)$$

$$F_1 = -81,7N$$

$$F_2 = \frac{58,8N}{4} + \frac{58,8N}{2} \left(\frac{60mm}{120mm} - \frac{333.3mm}{120mm} \right)$$

$$F_2 = -52,3N$$

$$F_3 = \frac{58,8N}{4} - \frac{58,8N}{2} \left(\frac{60mm}{120mm} - \frac{333.3mm}{120mm} \right)$$

$$F_3 = 81,7N$$

$$F_4 = \frac{58,8N}{4} + \frac{58,8N}{2} \left(\frac{60\text{mm}}{120\text{mm}} + \frac{333.3\text{mm}}{120\text{mm}} \right)$$

$$F_4 = 111,1N$$

En la construcción del eje Y, se abordó el diseño del carro que transportara el mecanismo de traslación de la herramienta en el eje de movimiento "X" en la figura 2.14; al cual se lo debe colocar en la dirección del eje Y del sistema de movimiento de coordenadas.

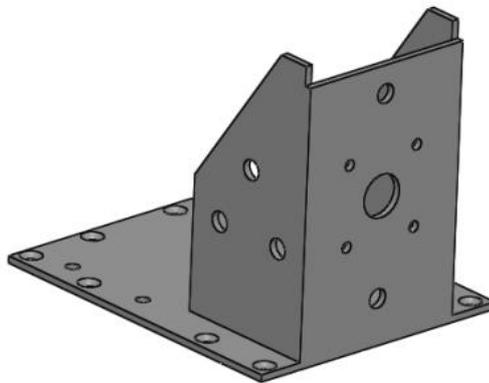


Figura 2.14 Base del sistema de movimiento en "Y".

Para el diseño del Soporte del sistema, se utilizó Acero ASTM A-36 ($S_y=250\text{MPa}$) con un factor de seguridad $N = 2$ (véase en la sección 1.12.1), el esfuerzo de diseño máximo calculado mediante la Ec. 2.5 es:

$$\sigma_d = \frac{S_y}{N}$$

$$\sigma_d = \frac{250 \text{ MPa}}{2}$$

$$\sigma_d = 125 \text{ MPa}$$

Para el análisis de la base del sistema se asistirá al estudio del máximo esfuerzo mediante SolidWorks 2014. Los estudios de esfuerzos se tomarán como se muestra en la figura 2.15 de esta sección, en la cual se especifica las fuerzas que someten a prueba al carro.

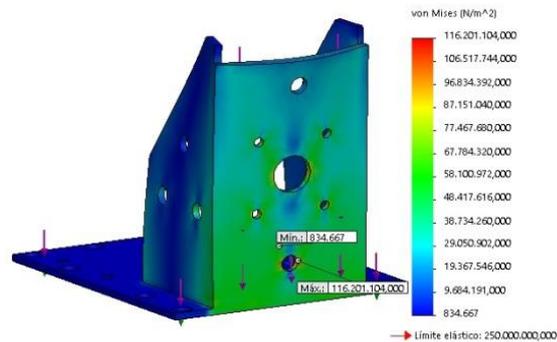


Figura 2.15 Escalas de tensiones según Von Mises de Base del sistema de movimiento en Y.

Según las figura 2.15, del análisis de tensiones de Von Mises tenemos un esfuerzo máximo permisible de 116,2 MPa, el esfuerzo máximo calculado es de 125 MPa cumpliéndose la siguiente relación detallada en la sección 2.2.

$$\sigma' < \sigma_d$$

$$116,2 \text{ MPa} < 125 \text{ MPa}$$

2.3.2 Diseño flecha o eje guía, en el carro horizontal coordenada “Y”

El propósito del eje guía en la coordenada Y es trasladar a todo el sistema de un lugar a otro, a través de dos ejes. Este desplazamiento debe tener un diseño eficaz para el buen desempeño del mismo, que permita posicionarse en cualquier lugar dentro del área de trabajo.

El diseño de las guías se obtendrá del momento flexor máximo de la estructura correspondiente al carro Horizontal.

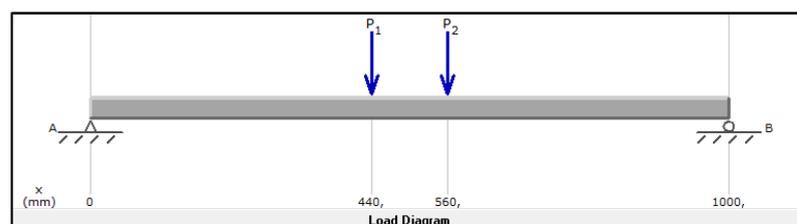


Figura 2.16 Diagrama de cuerpo Libre, Fuerzas para el eje guía “Y”.

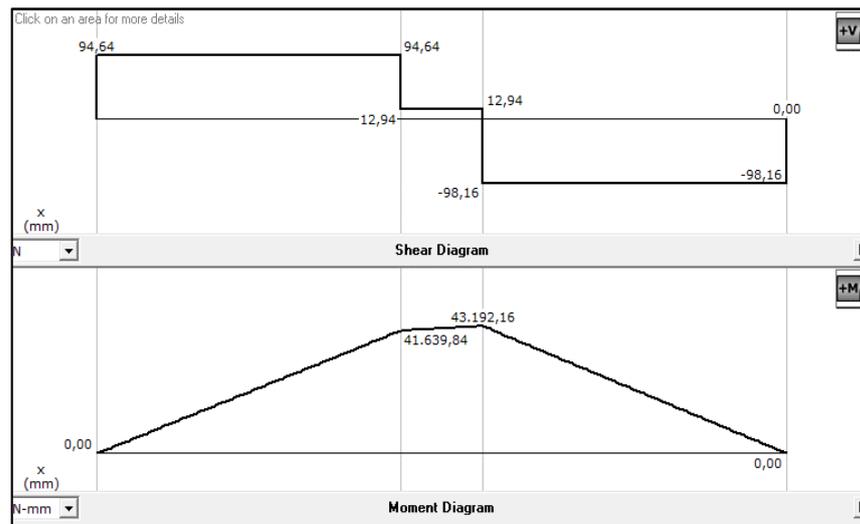


Figura 2.17 Diagrama de Fuerza Cortante y Momento Flexor máximo de la guía “Y”.

Con el análisis de fuerzas en la figura 2.16, obtenemos el momento flexor máximo (figura 2.17) $M = 43192,16\text{N}\cdot\text{mm}$. Se ha considerado un factor de seguridad de 2 y una Resistencia de fluencia de acero inoxidable $S_y=310\text{MPa}$. El esfuerzo normal máximo que puede soportar el acero inoxidable es de:

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

$$\sigma_{max} = \frac{310000000}{2,5} \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

$$\sigma_{max} = 124 \frac{N}{mm^2}$$

Por lo tanto el valor del módulo de la sección transversal está dado por:

$$S = \frac{M}{\sigma_{max}} = \frac{43192,16}{124} = 348,32$$

El diámetro de la guía deberá ser:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * S}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 348,32}{\pi}} = 15,25\text{mm}$$

De esta forma se selecciona según los diámetros nominales en el mercado, en acuerdo al ANEXO A, los ejes guías de la coordenada “Y”, tienen un diámetro de 5/8 de pulgada o 15,90 mm.

A continuación se presenta el estudio de tensiones en SolidWorks:

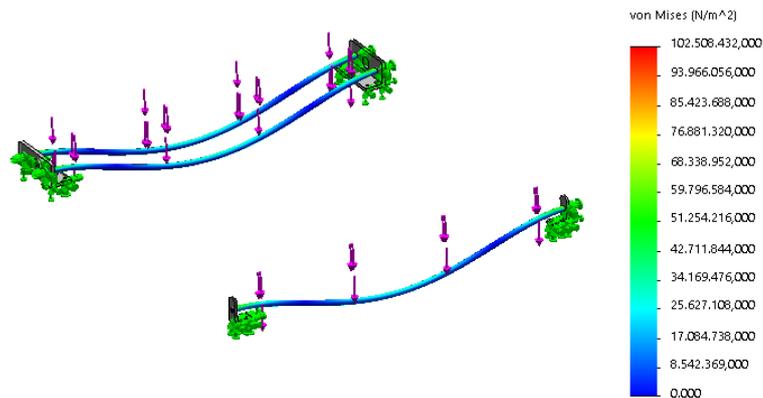


Figura 2.18 Escalas de tensiones según Von Mises de Base de la guía “Y”.

En la figura 2.18, se observa la escala de Von Mises, donde el esfuerzo máximo es de 102.50 MPa y el esfuerzo de diseño es igual a 155 MPa cumpliendo con la Ecuación 2.5:

$$\sigma' < \sigma_d$$

$$102,5 \text{ MPa} < 155 \text{ MPa}$$

2.4 SELECCIÓN DE LOS HUSILLOS DE BOLAS.

Según la recopilación de datos tomada del literal 1.12.3: inciso d, se decidió tomar el usillo de bolas como sistema de transmisión de movimiento, en consecuencia se dispondrá del diseño del mismo partiendo de un análisis de esfuerzos hasta concretar con el paso y diámetro del mismo.

Es necesario recalcar que el sistema de transmisión para el eje de movimiento X e Y serán el mismo.

2.4.1 Selección del husillo de bolas para el eje X.

Para el husillo del eje X, se utiliza la fuerza calculada en la Sección 2.2, $L_x = 24,5 \text{ N}$, se considera un factor de seguridad $N = 3$ (véase en la sección 1.12.1), y ($S_y = 449,1 \text{ MPa}$).

Se calcula el esfuerzo máximo diseño con la ayuda de la Ecuación 2.7:

$$\sigma_{\max \text{ husillo}} = \frac{S_y}{n}$$

$$\sigma_{\max \text{ husillo}} = \frac{449100000 \text{ N}}{3 \text{ m}^2}$$

$$\sigma_{\max} = 149,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

A continuación se presenta el cálculo del momento flexor máximo mediante el software MDSolids:

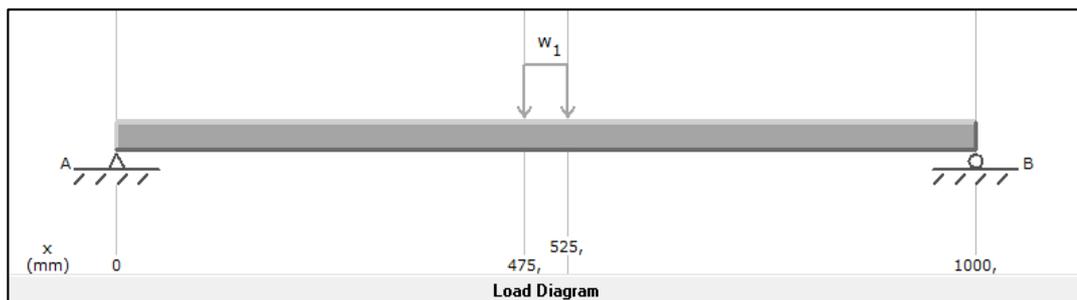


Figura 2.19 Diagrama de cuerpo Libre, Fuerzas distribuidas del Husillo de Bolas.

En el grafico anterior se observa el Husillo de Bolas sometido a una carga distribuida de 1 N/mm que se obtuvo:

$$W = \frac{24,5 \text{ N}}{24,81 \text{ mm}}$$

$$W = 1 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Los diagramas de fuerza cortante y de momento Flexionante, se muestran en la figura 2.20. Con el análisis de fuerzas y el diagrama de momentos realizado en la figura 2.20, se tiene un momento Flector de $M = 12187.5$ N-mm, mediante la ecuación

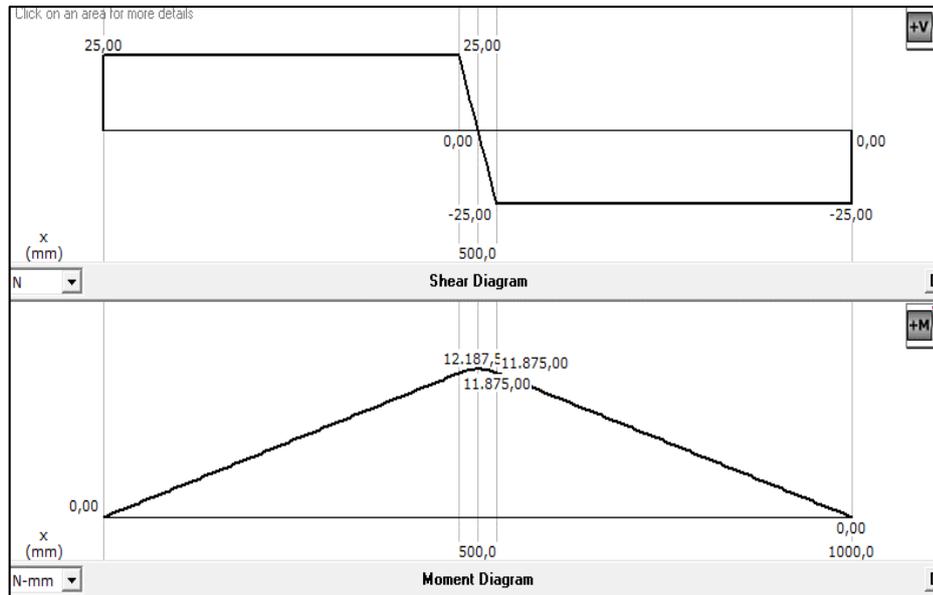


Figura 2.20 Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flexor del Husillo de Bolas.

En resumen, el valor del módulo de la sección transversal está dado por:

$$S = \frac{M}{\sigma_{max}} \quad \text{Ec. 2.12}$$

$$S = \frac{12187.5}{149,7} = 81.41 \text{mm}^3$$

$$S = 81.41 \text{mm}^3$$

El diámetro del husillo deberá ser:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * S}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 81.41}{\pi}} = 9,39 \text{mm}$$

En la Figura 2.21 se observa el diseño del usillo de bolas con un diámetro calculado de 9,39 mm.



Figura 2.21 Husillo de Bolas y tuerca (Coordenada en X).

2.4.2 Selección del husillo de bolas para el eje Y.

El del husillo del eje Y, se utiliza la fuerza calculada en la Sección 2.3, $L_y = 58,8$ N. Calculamos el esfuerzo máximo diseño con la ayuda de la Ecuación 2.5 en la sección 2.2.1:

$$\sigma_{\max \text{ husillo}} = \frac{S_y}{n}$$

$$\sigma_{\max \text{ husillo}} = \frac{449100000N}{3m^2}$$

$$\sigma_{\max} = 149,7 \frac{N}{mm^2}$$

Representación y cálculo del momento flexor máximo mediante el software MDSolids:

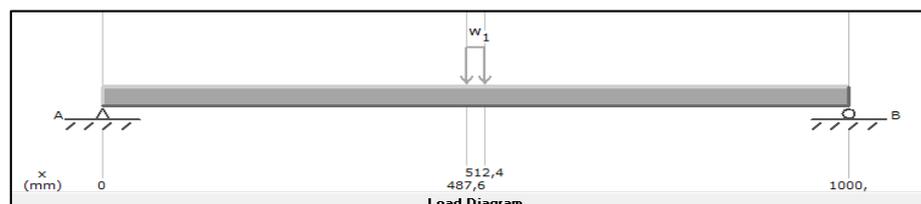


Figura 2.22 Diagrama de cuerpo libre del Husillo de Bolas aplicando una carga distribuida.

En el grafico anterior se observa el Husillo de Bolas sometido a una carga distribuida de 2,4 N/mm que se obtuvo:

$$W = \frac{58,8 \text{ N}}{24,81 \text{ mm}}$$

$$W = 2,4 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Los diagramas de fuerza cortante y de momento Flexionante, se muestran en la figura 2.23:

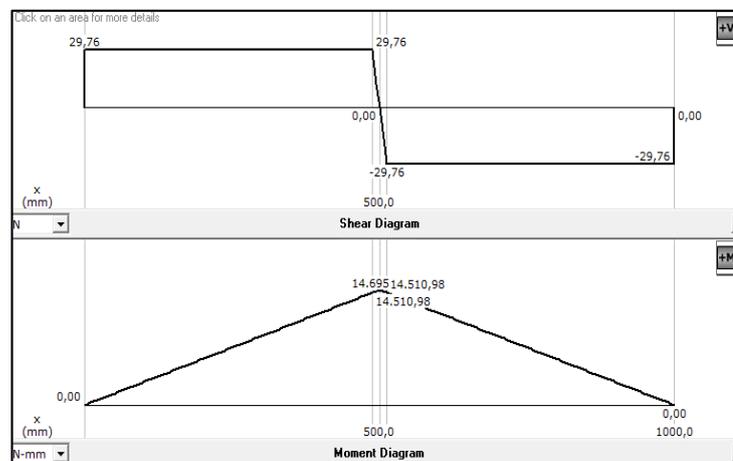


Figura 2.23 Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flexor del Husillo de Bolas.

Con el análisis de fuerzas y el diagrama de momentos realizado en la figura 2.23, se tiene que $M = 14695 \text{ N-mm}$. Por tanto el valor del módulo de la sección transversal está dado por:

$$S = \frac{M}{\sigma_{max}} = \frac{14695}{149,7} = 98,16 \text{ mm}^3$$

El diámetro del husillo deberá ser:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * S}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 98,16}{\pi}} = 9,9 \text{ mm}$$



Figura 2.24 Husillo de Bolas y tuerca (Coordenada en Y).

Los husillos de bolas para los ejes X y Y se eligen de la casa comercial ubicada en USA llamada SKF, cumpliendo con todos los requerimientos para este proyecto. En el mercado encontrar un husillo de un diámetro comercial de 9,39 y 9,9 mm solo se lo puede hacer bajo pedido y a un precio no asequible, se seleccionara un modelo común, el que más se aproxima a las características del obtenido por los cálculos.

Se eligió el modelo SH16x5R, detallado en el ANEXO B (Motion, 2003), el husillos de bolas SH16x5R servirá tanto para el eje X como el Y, el mismo que posee un recorrido 900 mm, con un paso de 5mm y un diámetro de 16mm.

2.5 CÁLCULO DEL TORQUE, ESTRUCTURAS (COORDENADAS “Y”, “X”)

La inercia total J_S , se calcula mediante la sumatoria de las inercias.

$$J_S = J_{MESA} + r * (J_{HUSILLO} + J_{MOTOR}) \quad \text{Ec.2.13}$$

La inercia de la mesa está dada por:

$$J_{mesa} = \frac{m \left(\frac{P_h}{2\pi} \right)^2 * 10^{-6}}{n_p} \quad \text{Ec.2.14}$$

Donde:

m = masa de la mesa total

$P_h = \text{Paso del husillo de bolas}$

$n_p = \text{eficiencia practica}$

$R = \text{relación de poleas}$

Las máquinas CNC tienen el rendimiento que es de 90% (Mott, 2006):

$$n_p = n_t * 0.9 \quad \text{Ec.2.15}$$

$n_t = \text{eficiencia teórica.}$

$$n_t = \frac{1}{1 + \frac{\pi d \phi}{P_h} * u_c} \quad \text{Ec.2.16}$$

$u_c = 0.006$ coeficiente típico de fricción del husillo de bolas (GORDÓN GARCÉS & NÚÑEZ, 2013).

$$n_t = \frac{1}{1 + \frac{\pi * 16}{5mm} * 0,006}$$

$$n_t = 0,943$$

Entonces:

$$n_p = 0,943 * 0.9$$

$$n_p = 0,849$$

Por lo tanto

$$J_{\text{mesa}} = \frac{6kg * \left(\frac{5mm}{2\pi}\right)^2 * 10^{-6}}{0,849}$$

$$J_{\text{mesa}} = 4,56 * 10^{-9} kg * m^2$$

La inercia del husillo de bolas se obtiene por:

$$J_{\text{HUSILLO}} = \frac{(\pi * L * \rho * d^4)}{32} \quad \text{Ec.2.17}$$

Donde:

$L = \text{Longitud del husillo de bolas (1m)}$

$\rho = \text{Densidad del material del husillo de bolas (7850kg/m}^3\text{)}$

$d = \text{Diámetro del husillo de bolas (0.016m)}$

$$J_{\text{husillo}} = \frac{(\pi * 1\text{m} * 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (0.016\text{m})^4)}{32}$$

$$J_{\text{husillo}} = 1,61 \times 10^{-3} (\text{Kg} * \text{m}^2)$$

La inercia de rotor del motor a pasos se asume en base a las características técnicas.

$$J_{\text{Motor}} = 0.83 \times 10^{-4} (\text{Kg} * \text{m}^2)$$

La inercia total es:

$$J_S = 4,53 * 10^{-9} + 1 * (1,61 \times 10^{-3} + 0.83 \times 10^{-4}) (\text{Kg} * \text{m}^2)$$

$$J_S = 1.69 \times 10^{-4} (\text{Kg} * \text{m}^2)$$

El torque total (T_{tot}) está dado por:

$$T_{tot} = r * T_E + T_D (\text{N} * \text{m}) \quad \text{Ec.2.18}$$

Por lo cual:

$T_E = \text{Par Estático}$

$T_D = \text{Par Dinámico}$

$r = \text{Relación de Poleas}$

El torque estático (TE):

$$T_E = T_{pr} + T_L + T_{rod} \quad \text{Ec.2.19}$$

Dónde:

$T_{pr} = 0$ (Par de precarga entre husillos de bolas y tuerca)

$T_L = \text{Par que deberá soportar el motor debido a la carga.}$

$T_{rod} = 0.08\text{N} * \text{m}$ (Par de fricción rodamientos de apoyo)

El Par que soporta el motor T_L , está dado por:

$$T_L = \frac{F_A * P_h * 10^{-3}}{2\pi * n_p} \quad \text{Ec.2.20}$$

Dónde:

F_A = Carga axial soportada por el husillo (N)

P_h = Paso del husillo de bolas

n_p = Eficiencia práctica

La carga axial F_A , se debe encontrar con la siguiente ecuación:

$$F_A = F_L + u_s(F_V + F_P) \quad \text{Ec.2.21}$$

Dónde:

$F_L = 0$ [Carga en dirección del eje del husillo soportada por la mesa (Fuerza de Corte)]

$F_V = L$ = Carga vertical soportada por la mesa (peso estructural)

$F_P = 0$ (Carga en la dirección perpendicular al movimiento soportada por la mesa).

u_s = Coeficiente de rozamiento de las guías acero inoxidable sobre bases de Nylamid

$$F_V = P + F_{RW} \quad \text{Ec.2.22}$$

P = Peso que soporta la estructura

F_{RW} = Fuerza de vertical a la mesa

$$F_A = 0 + 0.10(58,8 + 0.10 * 58,8)N$$

$$F_A = 6,5N$$

Con estos valores se calcula el valor de T_L , con la Ecuación 2.20:

$$T_L = \frac{(6,5 * 5 * 10^{-3}) * 10^{-3}}{2\pi(0.82)} = 6,3 * 10^{-6} (N * mm)$$

Con los valores obtenidos se calcula el torque estático T_E , con la Ecuación 2.19.

$$T_E = 0 + 6,3 \times 10^{-6}(N * m) + 0.08(N * m)$$

$$T_E = 0.08(N * m)$$

Posteriormente se procede a calcular el torque dinámico con la ecuación:

$$T_D = \bar{\omega} * J_S \quad \text{Ec.2.23}$$

Donde:

$T_D = \text{Torque Dinámico}$

$\bar{\omega} = \text{Aceleración angular motor}$

$J_S = \text{Inercia total de la estructura}$

El torque dinámico (TD) se obtiene con la Ecuación 2.23:

$$T_D = \left(2513.27 \frac{\text{rad}}{\text{seg}^2} \right) (1,31 \times 10^{-4} [\text{Kg} * \text{m}^2])$$

$$T_D = 0,39(N * m)$$

$$T_{tot} = 1 * (0.08 + 0,39)N * m$$

$$T_{tot} = 0,47[N * m]$$

Aplicando un factor de seguridad $n=1,5$ tenemos:

$$T_{motor} = T_{tot} * n$$

$$T_{motor} = 0,705(N * m)$$

Con este torque obtenido se puede seleccionar los motores para mover las estructuras en las coordenadas X, Y.

2.6 SELECCIÓN DE LOS MOTORES PARA LOS EJES X, Y.

En la Sección 2.2.5 se puede encontrar el par necesario para los motores de los ejes X, Y. Se opta por la casa comercial Automation Technologies debido a que ofrece una gran variedad y alta calidad en motores de diferente tamaño en acuerdo al torque como se observa:

Tabla 2.6

Tipos de motores pasó a paso

Motores paso a paso híbridos		
TIPO (TAMAÑO)	TORQUE	
	oz-in	N-m
Nema 23	150	1
Nema 23	425	3
Nema 23	570	4

De acuerdo al cálculo el torque realizado en la Sección 2.2.5, se optara por el tipo Nema 23 con un torque 1 N-m

2.7 SELECCIÓN DE LOS ACOPLER FLEXIBLES

La selección del acople se realiza tomando en cuenta principalmente la fuerza que el sistema ejerce (fuerza axial y fuerza radial), velocidad de rotación y la presencia de vibraciones en el mismo. Según la sección 1.12.4 son varios los tipos de acople existentes en el mercado mundial por facilidad, el acople más común en el mercado ecuatoriano es el acople flexible o comúnmente llamado matrimonio. Con el torque encontrado se seleccionó los motores para mover las estructuras de los ejes X, Y a la vez esto nos permite encontrar la potencia útil para el cálculo de acople que se pretende introducir al diseño.

$$P = \frac{F_A * n * Ph}{6000 * n_p} \quad \text{Ec.2.24}$$

Siendo:

$n = \text{RPM del motor}$

$$P = \frac{6,5[\text{N} - \text{m}] * 1500 * 5}{6000 * 0.82}$$

$$P = 10\text{Watt}$$

Aplicando un factor de seguridad $N=2$ se obtiene:

$$P_{\text{MOTOR}} = P_{\text{tot}} * N = 10\text{watt} * 2 = 20\text{watt.}$$

$$\sigma = \frac{\text{Pot.Motor} * 63025 * f_s}{n_{(RPM)}} \quad \text{Ec.2.25}$$

Donde:

$f_s = \text{Factor de seguridad}$

$n_{(RPM)} = \text{Numero de revoluciones del Motor}$

63025 = Constante de transformación

Para el caso del eje X, Y se emplea los siguientes valores a la Ec. 2.25.

$$\sigma = \frac{0.02\text{KW} * 63025 * 1.5}{1500}$$

$$\sigma = 1.2 \text{ [lb - in]}$$

En acuerdo al diámetro máximo y al par de 1.2 lb-in o 0,14 N-m el acople seleccionado es el L- 070, de la empresa Lovejoy, (véase Anexo C).

CAPÍTULO III

DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA CORTADORA LÁSER CO2

El prototipo de cortadora láser CNC tendrá como meta el corte de diferentes materiales blandos: madera, papel, cuero, acrílico etc. como se muestra en la tabla 1.2. (Véase en el literal 1.9.5, inciso a) Para acoplar el funcionamiento del prototipo se diseña y selecciona todos los componentes, considerando que los elementos finales de control son: motores a pasos y sistema generador de láser CO₂, siendo analizado el torque para los motores en la **sección 2.5** y la potencia del láser de CO₂ en la **sección 2.1.1**. En el caso de los motores se podrá controlar: desplazamiento, velocidad y aceleración, en el sistema láser se controlara la potencia para diferentes aplicaciones.

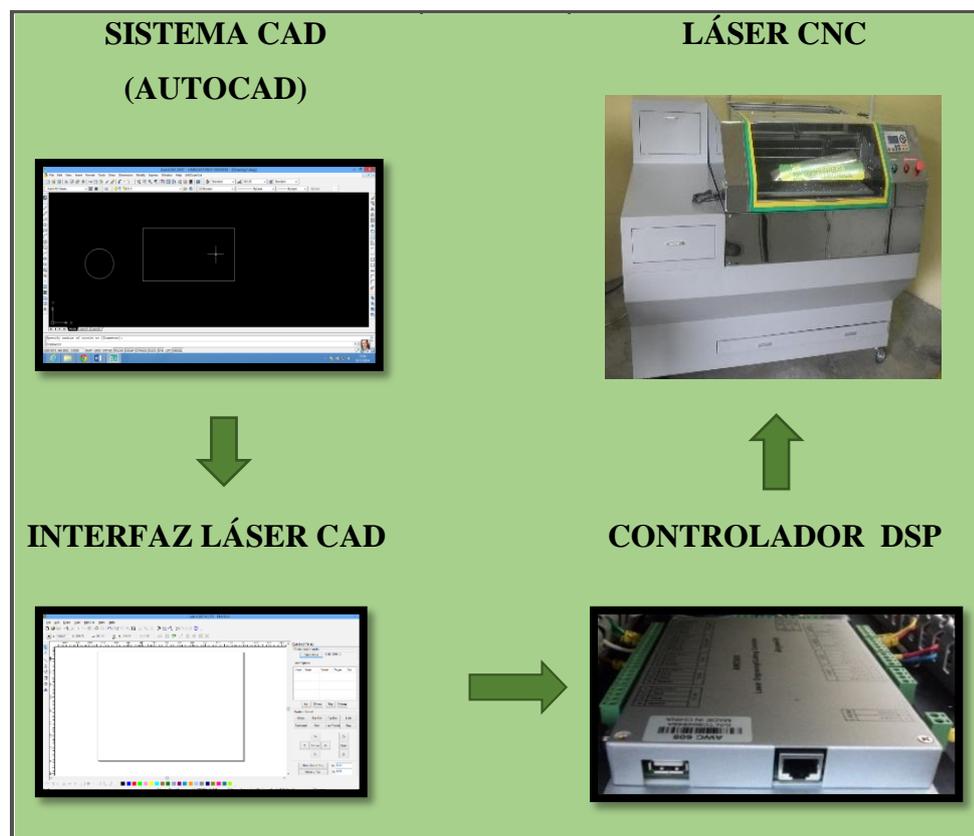


Figura 3.1 Esquema universal de funcionamiento LÁSER CNC.

En la **Figura 3.1**, indica el modelo global del funcionamiento de la cortadora láser cnc, consta de un sistema de diseño asistido por computador (CAD), interfaz mecanizado asistido por computador (CAM), controlador y el sistema de láser de CO2 cnc.

3.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

El sistema de control de la cortadora láser CNC consta de:

a) Sistema electrónico de control.

El sistema está formado de: drives para motores a pasos, una tarjeta controladora DSP (Digital Signal Process).

b) Sistema eléctrico de control.

Este consta de: una fuente de alimentación para dos motores a pasos, tubo láser, tarjeta DSP, elementos eléctricos de control (relay, válvula), elementos de protección eléctrica (fusibles), y elementos para conexión eléctrica (cableado).

c) Software de control.

El software de control permite el uso manual o automático del prototipo, usando un ordenador para la comunicación del mismo.

d) Comunicación.

La comunicación para software de control y el controlador DSP debe ser bidireccional que permita recibir y enviar datos.

3.2 SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE CONTROL.

En la **figura 3.2**, se observa el diagrama de bloques, en la cual se indica que el sistema de control del prototipo será a lazo abierto, por lo que es necesario utilizar un controlador DSP el cual puede comunicarse con el ordenador, este se conecta con dos drivers de los motores del sistema X, Y;

los dos drivers controlan los pulsos de paso y dirección, a su vez el DSP envía datos a una fuente que permite controlar la potencia del tubo láser.

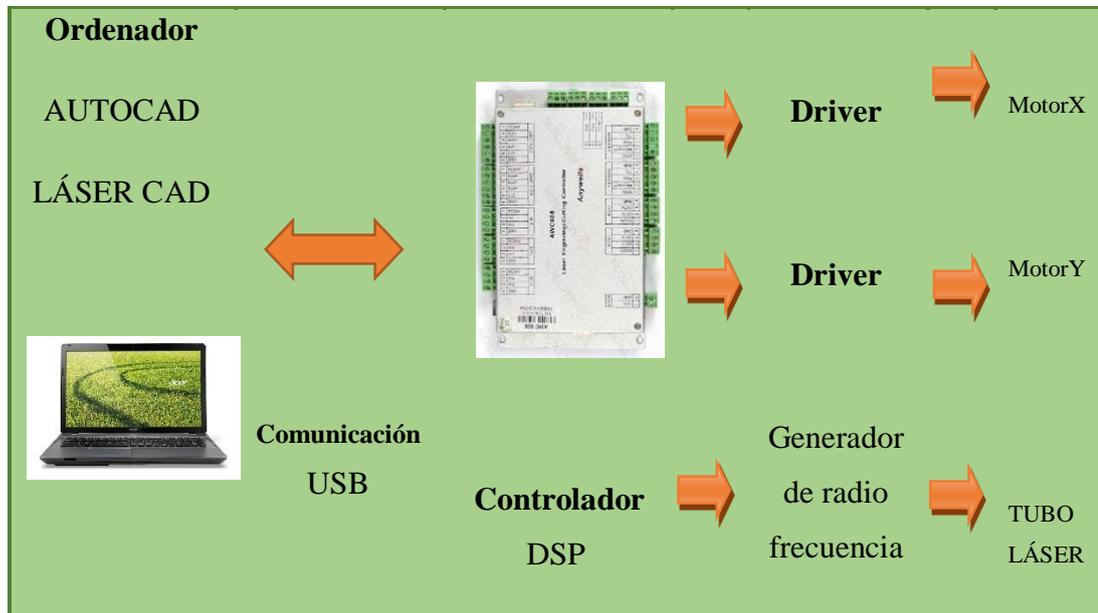


Figura 3.2 Diagrama de bloques de las tarjeta controladoras.

3.2.1 Procesador de señal digital (DSP)

Para el corte por láser CNC existen diferentes tarjetas electrónicas como: placa MS10105 de Shenhui, DSP AWC608 etc., que cumplen con el control de funcionamiento del prototipo con costos moderados, por ende accesibles para este prototipo.

En la **tabla 3.1**, se enumera dos tipos de tarjetas controladoras de láser de similares características.

Tabla 3.1

Características de diferentes controladores láser

<i>Características</i>	<i>MS10105 de Shenhui</i>	<i>DSP AWC608</i>
<i>Comunicación</i>	<i>Puerto Paralelo</i>	<i>Bus universal serie o red</i>
<i>Software compatible</i>	<i>Moshidraw 2012</i>	<i>Autocad 2008 , láser cad</i>

Continúa →

<i>Ejes de control para coordenadas</i>	X,Y	X,Y,Z,U
<i>Control de limit switch para coordenadas</i>	X,Y	X,Y,Z,U
<i>Control de home switch-para coordenadas</i>	X,Y	X,Y
<i>Sistema de refrigeración</i>	NO	SI
<i>Control del láser</i>	SI	SI
<i>Aplicación</i>	Corte	Corte , grabado

b) Descripción de la tarjeta DPS AWC608.

Esta tarjeta permite controlar hasta 4 ejes de movimiento, para esto utiliza señales de pulso de paso y dirección para drivers de motores de corriente continua. Tiene terminales para la activación de un sistema enfriamiento que se usa para la refrigeración del tubo láser. Para controlar la velocidad del motor se utiliza LáserCad que acepta diferentes parámetros según la necesidad del usuario. La comunicación de esta tarjeta al ordenador, es por un bus universal serie. Tiene 4 entradas para switches limitadores de carrera.

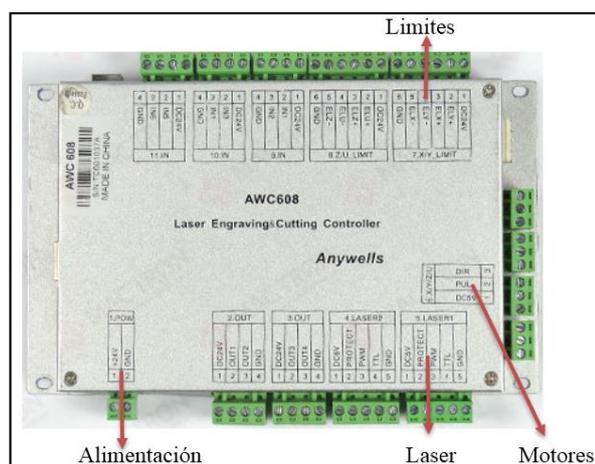


Figura 3.3 Controlador DSP

Fuente: (Shenzhen, 2014)

En la **figura 3.3**, se observa la vista superior de la tarjeta DSP con partes esenciales del controlador. La tarjeta DSP tiene diferentes puertos para su conexión como se describe en la siguiente tabla:

Tabla 3.2

Puertos de conexión de la tarjeta DSP AWC608.

<i>Puerto</i>	<i>Bornera</i>	<i>Terminal</i>	<i>Conexión</i>
Power	1.1 -1.2	+24, Gnd	Entrada de alimentación dc
Out	2.1-2.2-2.3-2.4	+24,Out1, Out2, Gnd	SALIDAS
Out	3.1-3.2-3.3-3.4	+24,Out1, Out2, Gnd	SALIDAS
Láser 2	4.1-4.2-4.3-4.4- 4.5	+24, Protect, Pwm, Ttl, Gnd	Similar al láser 1
Láser 1	5.1-5.2-5.3-5.4- 5.5	+24, Protect, Pwm, Ttl,Gnd	Power (out), Señal de entrada (protección agua), Potencia láser, Señal del interruptor láser, Power GND (out).
X/Y/Z/U	6.1-6.2-6.3	+5V ,Pul, Dir	Power (out), Señales de pulso, Señales de dirección
Limit X/Y	7.1-7.2-7.3-7.4- 7.5-7.6	+24,EL Y +,EL X+,EL Y-, EL – X,GND	Power (out), Límite superior Y, Límite superior X, Límite inferior Y, Límite inferior X, Power, GND (out).
Limit Z/U	8.1-8.2-8.3-8.4- 8.5-8.6	+24,EL U +,EL Z+,EL U-, EL – Z,GND	Power (out), Límite superior Z, Límite superior U, Límite inferior Z, Límite inferior U, Power, GND (out).
IN	9.1-9.2-9.3-9.4	+24,In1,In2,Gnd	ENTRADAS
IN	10.1-10.2-10.3- 10.4	+24,In3,In4,Gnd	ENTRADAS
IN	11.1-11.2-11.3- 11.4	+24,In5,In6,Gnd	ENTRADAS

Fuente: (Shenzhen, 2014)

c) Descripción de la tarjeta MS10105 de Shenhui

Esta tarjeta permite controlar hasta 2 ejes de movimiento, se comunica con el ordenador mediante un puerto USB, tiene 2 entradas para switches limitadores de carrera, no tiene relés de control, tiene un puerto de control del láser.

En la **figura 3.4**, se indica la vista superior de la tarjeta MS10105.

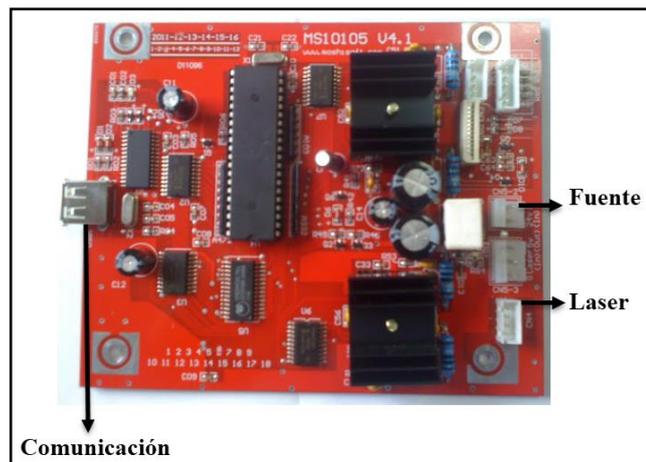


Figura 3.4 Tarjeta MS10105

Fuente: (Technology, s.f.)

La tarjeta MS10105 tiene diferentes puertos para la conexión como se describe en la siguiente **tabla 3.3**

Tabla 3.3

Puertos de conexión de la tarjeta MS10105.

<i>Puerto</i>	<i>Terminal</i>	<i>Conexión</i>
J1	<i>Alimentación</i>	<i>+24, Gnd</i>
J2	<i>Motor A</i>	<i>Pul, Dir, Enable</i>
J3	<i>Motor B</i>	<i>Pul, Dir, Enable</i>
J4	<i>Láser</i>	<i>Control</i>
J5	<i>Limites</i>	<i>X, Y</i>

Fuente: (Blogger, 2012)

Esta tarjeta permite controlar hasta 2 motores a pasos, es compatible con el software MACH2/3, su comunicación a la PC es por un puerto paralelo.

Se escoge la tarjeta DSP AW608 para el control de los ejes, se justifica la selección de esta tarjeta en base a varios beneficios como: gobernar a los motores X Y, controlar potencia del tubo láser, salidas de comunicación para el sistema de refrigeración y varias formas de comunicación.

3.2.2 Driver de control para motor a paso.

Existen diversas tarjetas en lo que se refiere al control de motores a paso híbridos entre ellas nombraremos las siguientes:

a) La tarjeta Microstepping Driver ND 556

Es un driver alta resolución basado en la tecnología de control de corriente. Mediante el uso de la tecnología avanzada de control de corriente sinusoidal pura, tanto el ruido y la vibración del motor paso a paso se han reducido en gran medida. En comparación con el KL-4030, es más pesado, más grande, tiene un costo elevado.

En la **figura 3.5**, se indica el driver ND556 con las diferentes analogías que presenta este.



Figura 3.5 Driver ND556

Fuente: (Blogger, 2012)

El driver puede trabajar desde 20 a 50 VDC y con una corriente de 1 a 5,6 A. El ajuste de la corriente de trabajo estará a cargo de los DIP Switch (1, 2, 3) como se observa en la **tabla 3.4**

Tabla 3.4 .
Ajuste de corriente

Corriente pico(A)	RMS (A)	SW1	SW2	SW3
1.4	1.0	OFF	OFF	OFF
2.1	1.5	ON	OFF	OFF
2.7	1.9	OFF	ON	OFF
3.2	2.3	ON	ON	OFF
3.8	2.7	OFF	OFF	ON
4.3	3.1	ON	OFF	ON
4.9	3.5	OFF	ON	ON
5.6	4.0	ON	ON	ON

Fuente: (Technology, s.f.)

b) La tarjeta Microstepping Driver KL-4030 Bipolar

Es un sistema de control de movimiento de gran alcance y eficaz CNC. Los controladores paso a paso Keling KL-4030 proporcionan 1, 1/2, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64 y microstepping trabaja con un amperaje de 0.9 a 3 A y un voltaje de 20 a 40VDC.

Es conveniente para la conducción motores paso híbrido de tamaño NEMA 17 a 34. En el **ANEXO F** se entrega datos adicionales del mismo. En la **figura 3.5**, se indica el driver KL-4030.



Figura 3.6 Driver KL-4030

Fuente: (Technology, s.f.)

Es la encargada de recibir y procesar la información que envía la tarjeta principal para luego enviar pulsos o señales de control hacia los motores paso a paso. La tarjeta KL-4030 tiene diferentes puertos para la conexión como se describe en la siguiente **tabla 3.5**.

Tabla 3.5
Puertos de conexión del driver KL4030.

Función	Detalles
PUL+, PUL-	Una señal que controlará la distancia y la velocidad de movimiento. Es una señal eléctrica cuyo nivel de voltaje cambia repetidamente entre ON y OFF. Cada ciclo de encendido / apagado se cuenta como un pulso.
Dir +, DIR-	Señal que va a controlar la dirección de movimiento
ENA+,ENA-	El control de velocidad se logra mediante el envío de señales PWM a nuestra línea
A+, A-	Fase A
B+, B-	Fase B
+V, GND	Fuente de alimentación de 20 a 40v DC

Fuente: (Avinash, 2014)

El ajuste de la corriente de trabajo estará a cargo de los DIP Switch (5, 6,7) como se observa en la **tabla 3.6**

Tabla 3.6
Ajuste de corriente

Corriente Amperios	M5	M6	M7
0.9	0	0	0
1.2	0	0	1
1.5	0	1	0
1.8	0	1	1
2.1	1	0	0
2.4	1	0	1

Continúa →

2.7	1	1	0
3.0	1	1	1

Se optó por los controladores KL-4030, se justifica esta selección debido a que son accesibles en el mercado, su costo es razonable, son compatibles con la tarjeta principal DSP CNC (AWC608).

3.2.3 Actuador (motor a pasos híbrido)

La selección del motor a pasos depende de los cálculos encontrados en diseño del sistema mecánico, donde se obtuvo un torque 0.705 N*m (**Véase en la sección 2.5**), con el cual se optó por un motor a pasos híbrido se justifica porque tiene una excelente respuesta ante arranque, parada y reversa existente. En el **ANEXO H** se adjunta datos de placa y configuraciones del motor.

Este motor posee 8 cables, los cuales se puede conectarse de tres maneras: bipolar (paralelo), bipolar (serie) y unipolar, (**véase anexo H**). La razón que se escogió este motor es porque es ideal para trabajar en lazo abierto sin la necesidad de sensores de realimentación, su posicionamiento es excelente además permite variar los parámetros (corriente y torque).según se necesite mediante la configuración de este (serie y paralelo).

A partir de esta elección el equipo adicional, ya viene especificado y seleccionado por lo que se detalla a continuación.

3.2.4 Chiller CW-3000

Este dispositivo es diseñado para cortadores y grabadores láser CO₂, en el mercado es el único a disposición para la refrigeración de este tipo de tubo láser, el chiller o CW-3000 puede trabajar en los rangos de 40W – 80W con un rendimiento excelente, puede desplazarse según la necesidad del usuario, el CW-3000 consta de un sistema inteligente que puede adaptarse a la tarjeta principal DSP para mantener al tubo en una temperatura aceptable y constantemente monitoreada. La descripción del chiller se encuentra en el ANEXO I.

Características

- Tiene una capacidad del tanque de enfriamiento 9lt.
- Extiende la vida del tubo láser para mejorar en efecto el corte.

Las partes principales del sistema de enfriamiento se pueden observar en la **figura 3.7**.



Figura 3.7 Dispositivo CW-3000

Fuente: [http://es.made-in-china.com/co_winsontamg/produt_Chiller-Cooling-80W-CO"-Láser-Engraving-Cutting-Machine-CW-3000AG-_heehuiieh.html](http://es.made-in-china.com/co_winsontamg/produt_Chiller-Cooling-80W-CO)

3.3 PARÁMETROS DE DISEÑO DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE CONTROL.

3.3.1 Fuentes de alimentación.

El equipo de alimentación debe satisfacer las siguientes características de funcionamiento:

a) Fuente 1: Tensión de alimentación de tres motores KL-350-36

Esta fuente puede alimentar a dos motores a pasos que necesitan un voltaje de 30 - 36 voltios en corriente continua y un amperaje de 3 amperios. Las características de esta fuente son

- De alta eficiencia.
- Baja temperatura.
- Protección: Sobre carga y protección contra cortocircuitos, sobre voltaje.
- Entrada: 120 VAC o 220VAC

b) Fuente 2: Tensión de alimentación de DSP y neumática

Esta fuente debe satisfacer la alimentación del controlador DSP que necesitan un voltaje de 24 voltios de corriente continua y 1 amperios a la vez consta de una salida de 12 voltios y 1 amperio para activar una válvula neumática. Esta fuente tiene una entrada 110VAC.

c) Fuente 3: tensión de alimentación para tubo láser

Esta fuente de alimentación del láser del CO₂ a 80W es un generador de corriente de radiofrecuencia, tiene una alta eficiencia y velocidad de respuesta rápida. Por lo tanto, es fácil de combinar con tubo láser de CO₂. Esta fuente de alimentación es fácil de ser controlada, es adecuada para la señal de alto (TTH) o bajo nivel (TTL). El nivel TTL puede controlar o detener inicio de salida del láser en nivel bajo.

La potencia de salida del láser se puede ajustar por 0-5V señal PWM o señal digital-analógica.

Características:

- Entrada de CA Voltaje AC 110V
- Frecuencia AC de entrada 47-440Hz
- Max. Salida de tensión 30KV
- Max. Salida 38mA

- Eficiencia 91%
- Ventilador de refrigeración

En la **figura 3.8**, se indica la fuente del tubo láser, en la parte inferior derecha se muestra la parte de control del sistema láser, más su alimentación.

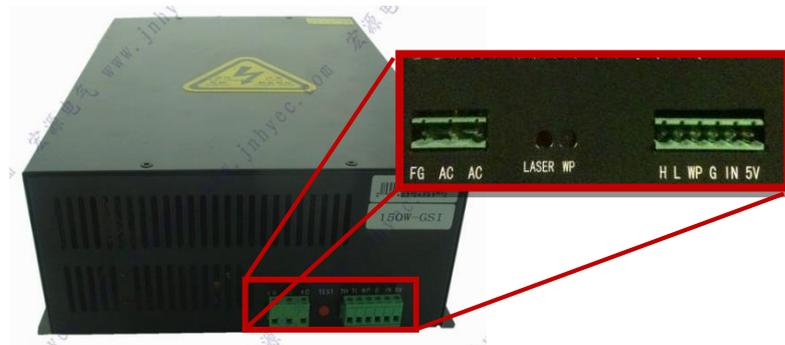


Figura 3.8 Fuente de poder 80w

Fuente: (Bill, 2014)

La fuente de láser tiene diferentes puertos para la conexión como se describe en la siguiente tabla:

Tabla 3.7

Puertos de conexión de la fuente láser.

TH	TL	WP	G	IN	5V
1	2	3	4	5	6

- TH- TL hace referencia al nivel de alta y baja potencia, respectivamente
- WP se refiere a la protección del agua
- G se refiere a tierra
- IN se refiere al extremo de entrada.
- 5V es una fuente de alimentación de 5V. (No es necesario cuando se conecta la placa DSP. Se utiliza para regular la potencia con un potenciómetro, y la corriente debe ser inferior a 10 mA.

Instrucción para el alambre de conexión de láser

- La línea roja positiva con alta tensión se conecta a la cola de láser (Ánodo).
- La línea negativa está conectado a la ventana de salida del láser (Cátodo).

Para la enlace de la fuente con el tubo láser se realiza la siguiente conexión como se muestra en la **figura 3.9**.

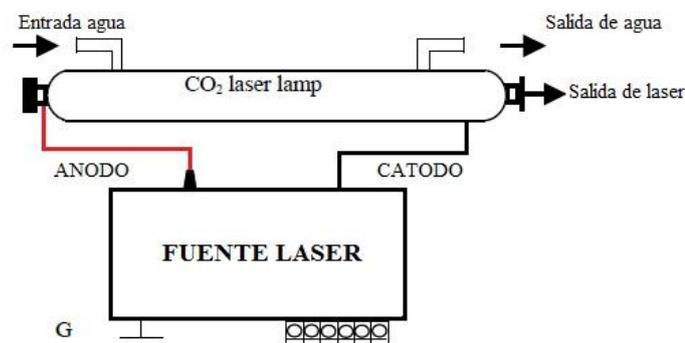


Figura 3.9 Conexión de la fuente láser

3.3.2 Elementos eléctricos de control.

Para el encendido del sistema eléctrico se utiliza una botonera manual que cuenta con un **ON** y un **OFF**. Al instante de accionar se enciende tres fuentes de alimentación y la tarjeta principal DSP, las dos tarjetas KL-4030, el sistema de enfriamiento, y el ingreso de aire.

Como garantía del sistema mecánico y del el sistema eléctrico se cuenta con un paro de emergencia el cual deshabilita el sistema de control inhabilitando los dos sistemas antes mencionados.

Para verificar que el prototipo de láser se encuentra en funcionamiento se acciona una lámpara de color verde **L1**, y cuando el paro de emergencia se encuentre activado se encenderá una lámpara de color rojo **L2**, estos indicadores funcionan a 110VAC.

Para el posicionamiento del home y no exceder los límites de recorrido mecánicos del prototipo (**figura 3.10**), se necesita por cada eje principal tres sensores: home1 (final de carrera), home 2(sensor óptico) y finalmente un límite (final de carrera).

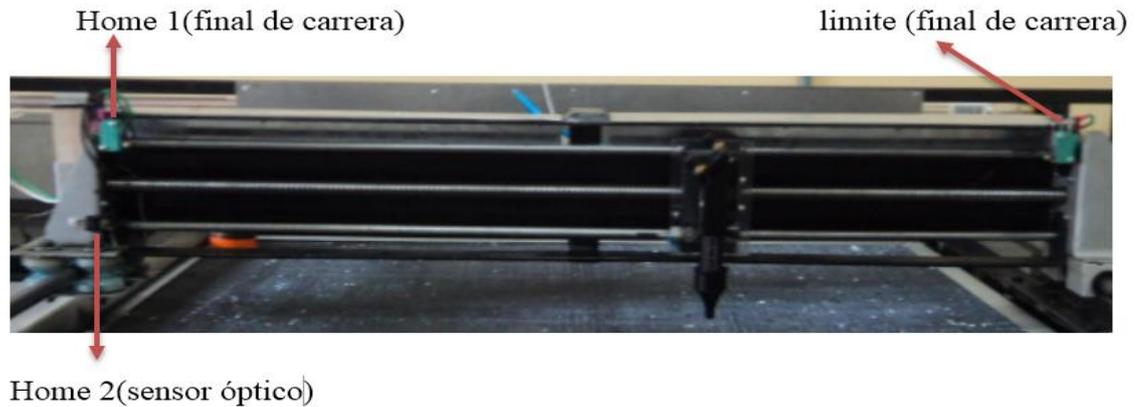


Figura 3.10 Posicionamiento del home y límite de recorrido

En la **tabla 3.8** se detalla los elementos eléctricos para el control del prototipo.

Tabla 3.8

Características de elementos eléctricos

Elemento	Cant.	Vi [V]	Estado de los contactos	Observación
Botonera	1		NC, NO	
Relés	1	110 VAC	NC, NO	4 contactos por relé
Interruptor	1		NC, NO	Tipo hongo
Lámparas	2	110 VAC		verde, rojo
Finales de carrera	4	24 VDC	NC, NO	Mecánicos
Sensores ópticos	2	24 VDC	NC, NO	Eléctricos

3.3.3 Elementos de protección eléctrica.

Para la protección por corto circuito de la tarjeta KL 4030 se considera la corriente máxima del motor que es de 3A. Por lo cual se seleccionan fusibles con un valor de 3A con su respectivo porta-fusibles. Independiente para cada motor evitando daños por sobrecarga en los mismos.

En la **tabla 3.9** se detalla los elementos de protección eléctrica para el control del prototipo.

Tabla 3.9
Elementos de protección

Elemento	Cantidad	Corriente (A)
Fusibles	2	3
Porta fusibles	2	3
Relay	1	3

3.4 PARÁMETROS DE DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SOFTWARE DE CONTROL.

Para el sistema de control, el prototipo de láser CNC es obligatorio al uso de un software de control con las siguientes características:

- Debe ser compatible con las tarjetas electrónicas de control.
- Compatible con el sistema operativo del ordenador.
- Tiene que permitir el control de velocidad y el control de la aceleración de los motores
- Control de potencia del láser.
- Control del sistema de refrigeración.
- Debe permitir el uso manual y automático de la máquina.

Existe distintos tipos de software de control para máquinas láser CNC como:

- Lásercad
- Moshidraw

- Gavograph.

Se opta por el software **LáserCad** por ser un paquete informático que recomienda el fabricante de AWC608 y con el cual se obtuvo una comunicación de datos exitosa, los softwares antes mencionados (Moshidraw, Gavograph) otorgaron cierto nivel de comunicación pero no es el recomendado para el control de este sistema.

3.4.1 Descripción de la pantalla del software LáserCad.

La pantalla que utiliza el sistema de control tiene las siguientes características:

- Barra **communication mode** para la elección de tipo de comunicación
 - Barra de herramientas en **options- system option** para la configuración de los parámetros de control para la CNC láser.
 - Barra de color para añadir capas a diferentes objetos.
 - Barra de **layer option** para agregar velocidades a diferentes objetos.
 - Barra de **machine control** en download para guardar documentos e iniciar el proceso de corte o parar en caso de ser necesario.
 - Barra de **draw** para realizar cualquier dibujo que necesite el usuario
- Todas las barras se pueden observar en la **figura 3.11**. (Avinash, 2014)

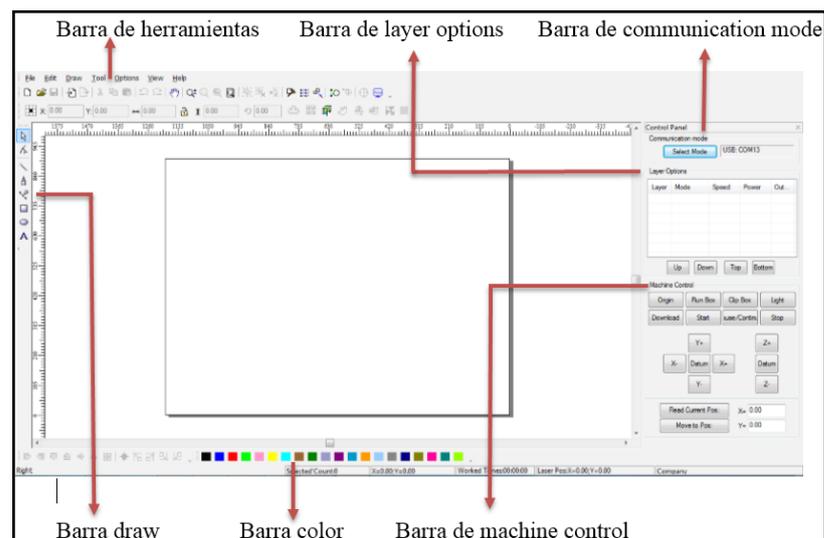


Figura 3.11 Barras de LáserCad

3.5 PROCESO DE CORTE CNC

En la **figura 3.12**, se puede observar las etapas a seguir durante un proceso de corte por láser CNC, donde se puede configurar los parámetros y finalizar con la comprobación del productor final.

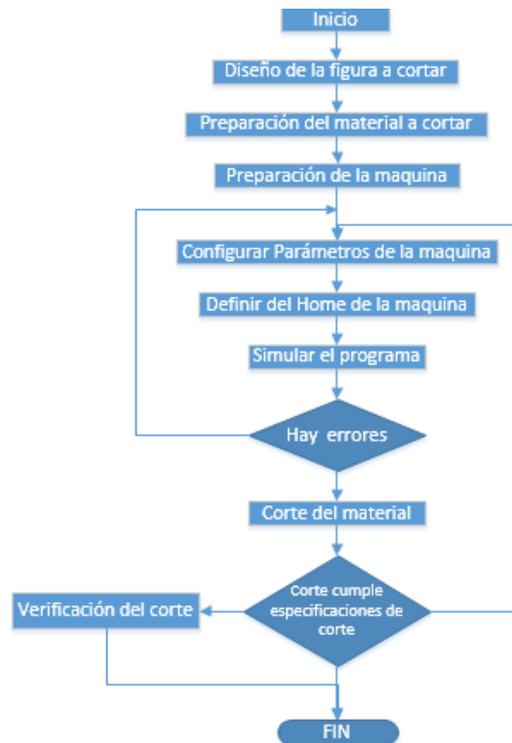


Figura 3.12 Diagrama de flujo del proceso CNC de corte por láser.

3.6 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN.

Para la comunicación entre el ordenador y el sistema electrónico debe tener una interfaz de comunicación bidireccional, es decir que permita comunicar datos de entrada y datos de salida.

La comunicación USB o Bus Universal en Serie puede proporcionar fuente de alimentación a los dispositivos con los que se conecta, con un límite máximo de 15 V por dispositivo. Para poder hacerlo, utiliza un cable que consta de cuatro hilos (la alimentación del BUS, dos hilos de datos llamados D- y D+, la conexión a tierra GND). En la **figura 3.13** se puede observar los tipos de comunicación USB.

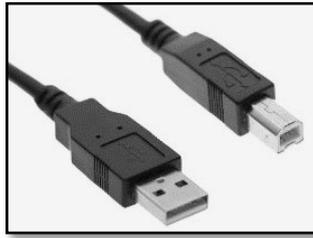


Figura 3.13 Comunicación USB.

La comunicación Ethernet no requiere alimentación propia, por lo tanto, no falla al menos que el cable físicamente tenga una cisura o su terminación sea incorrecta. La conexión implica una topología de bus en la que el cable está terminado en ambos extremos, utiliza múltiples protocolos de comunicación y puede conectar ambos entornos enviando y recibiendo datos.



Figura 3.14 Comunicación Ethernet

La tarjeta AWC608 permite la comunicación USB y Ethernet exitosamente, es decisión del usuario elegir con cuál de estas conexiones se adaptan mejor a la manipulación del prototipo.

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA DE CORTE POR LÁSER DE DIÓXIDO DE CARBONO

4.1 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO.

Una vez finalizado el diseño y selección del sistema mecánico, como se observa en la **Figura 4.1**, se procede a realiza el ensamblaje o implementación de sus piezas.

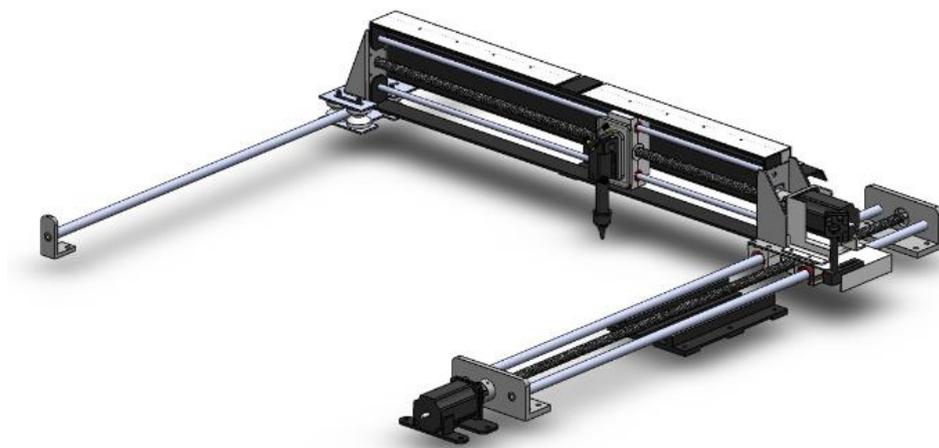


Figura 4.1 Implementación del sistema mecánico.

El diseño global fue realizado en solidworks 2014 como se indica en el **ANEXO K-03**.

4.1.1 Implementación de la estructura en el eje Y

El mecanismo de desplazamiento del eje “Y” está formado de un carro que consta de guías cilíndricas, este se encuentra ubicado en la bancada, el movimiento se realiza por el husillo de bolas con su respectiva tuerca acoplado al carro del eje “Y”. La transmisión del movimiento del motor se da por un acople flexible como se muestra en la **figura 4.2**.



Figura 4.2 Mecanismo desplazamiento del eje “Y”

El ensamblaje se muestra en el ANEXO K-05.

4.1.2 Implementación de la estructura en el eje X

El mecanismo de la estructura del eje “X” consta de un carro secundario con guías cilíndricas, este carro se encuentra instalado en la parte superior, de la estructura “Y”, el sistema está compuesto por un husillo de bolas con su respectiva tuerca para poder desplazar el carro secundario “X”, la transmisión del movimiento del motor se da por un acople flexible como se muestra en la figura 4.3.

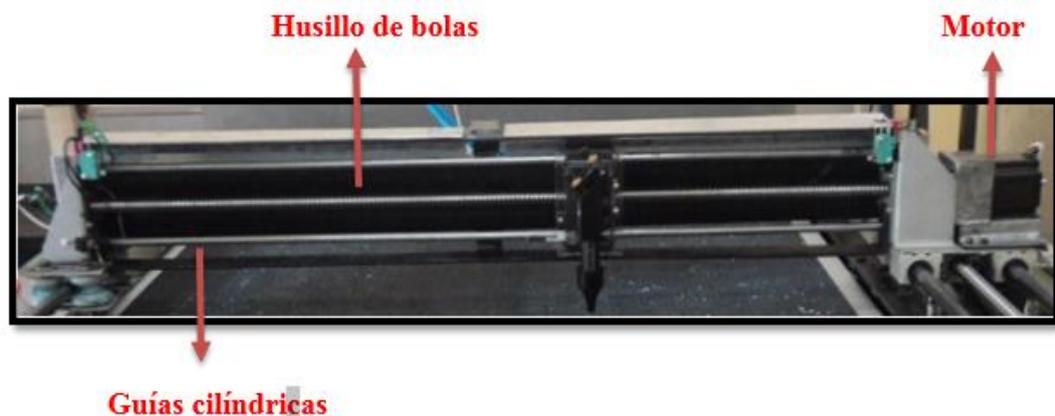


Figura 4.3 Mecanismo desplazamiento del eje “X”

El ensamblaje se muestra en el ANEXO K-05.

4.1.3 Implementación del sistema mecánico de movimiento a la estructura principal.

El sistema mecánico está formado de los ejes X, Y estos están anclados a la bancada principal mediante pernos y tuercas. En la **figura 4.4**, se puede observar todo el sistema mecánico para el proceso de corte láser.

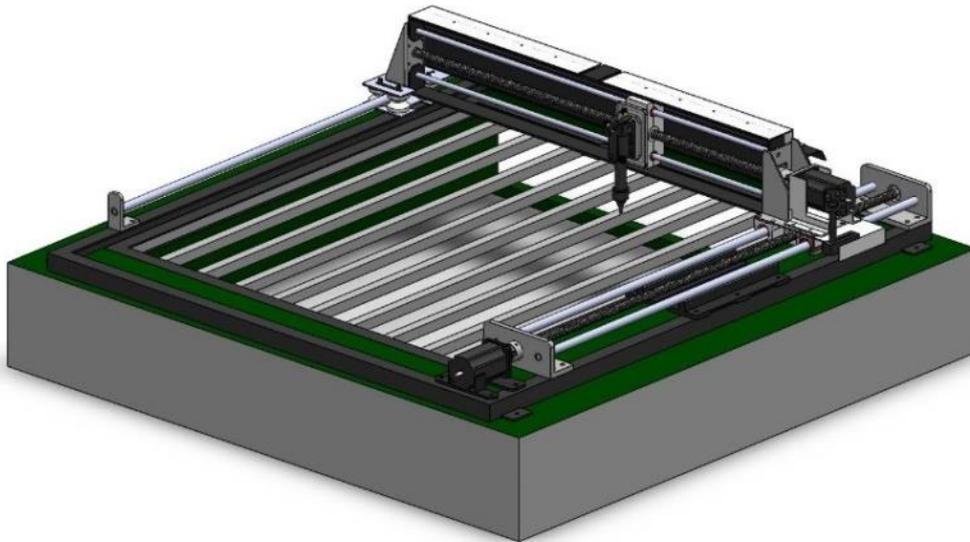


Figura 4.4 Implementación del sistema mecánico.

4.2 IMPLEMENTACIÓN DEL LOS SISTEMAS DE CONTROL.

Finalmente acoplado el sistema mecánico, se procede a implementar el sistema de control como se muestra en el Anexo L.

4.2.1 Finales de carrera.

Los límites desplazamiento están ubicados en las coordenadas X+, X-, Y+, Y-, están regidos mediante el controlador y software LáserCad, los switches limitadores de carrera (**figura 4.5**), usan los contactos normalmente cerrados para enviar una señal en bajo a la tarjeta principal DPS para que detengan el desplazamiento de los ejes X - Y, una vez que las plataformas salgan de los límites de trabajo.



Figura 4.5 Final de carrera.

- **Placas del HOME con sensores tipo herradura.**

El Home de la máquina es de importancia para la posición inicial de la herramienta, por lo tanto utilizaremos sensores tipo herradura para ubicar la punta de la herramienta en un lugar de coordenadas cero, una vez que los sensores (**figura 4,6**) detectan la posición de los carros en las coordenadas en los ejes X, Y, se detiene el movimiento de los actuadores y permite encerrar la posición de la herramienta en el punto de referencia o Home de la máquina.

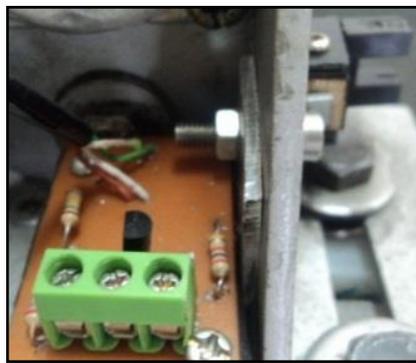


Figura 4.6 Sensor herradura

4.2.2 Panel principal de control para el sistema automático de la cortadora láser CNC

En la caja frontal en la parte inferior (**figura 4.7**) se implementaron los siguientes elementos: Fuente de 24-12VDC (**1**), Fuente de alimentación de 36VDC-3A (**2**), Controlador DSP (**3**), drivers para los motores (**4**), relé de 110 VAC (**5**), fusibles (**6**).

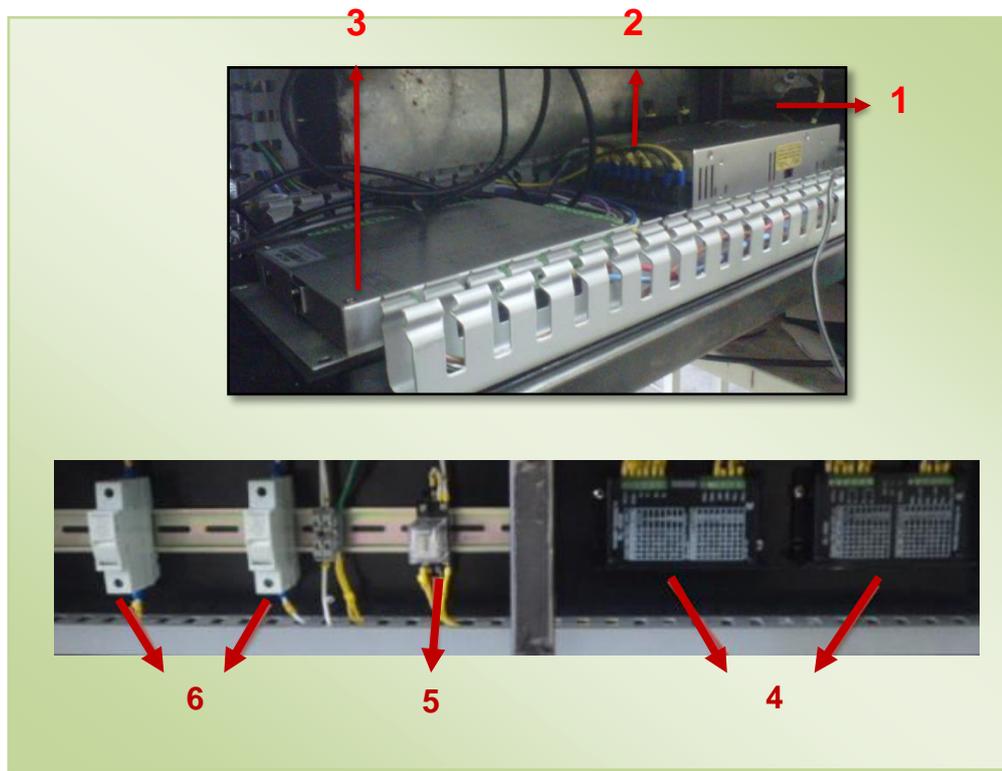


Figura 4.7 Caja principal en la parte inferior

En la parte superior de la maquina (**figura 4.8**) se adjuntaron los siguientes elementos: Selector ON/OFF para el encendido de la máquina (**1**), pulsador de paro de emergencia (**2**), panel de control (**3**), luces pilotos (**4**).



Figura 4.8 Panel de control del prototipo.

En la parte posterior de la maquina (**figura 4.9**) se adjuntara lo siguiente:

Fuente de poder del láser.



Figura 4.9 Fuente de radiofrecuencia (Generador láser).

4.3 CONFIGURACIÓN DEL LÁSERCAD

4.3.1 Configuración de puertos.

La configuración de estos puertos se realiza al ingresar en modo de comunicación, con la opción **select mode** en el cual se encuentra en la parte superior derecha.

Este cuadro tiene la opción de **USB** y **network mode**. (Figura 4.10)

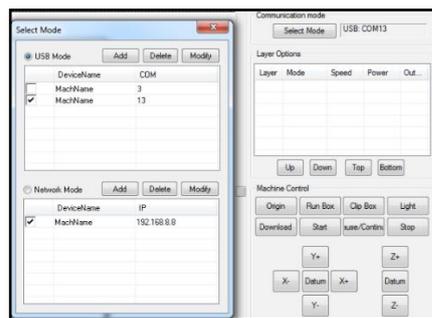


Figura 4.10 Tipo de comunicación en LáserCad

Se usa el icono **ADD** para leer el puerto de comunicación y lo aplicamos como se observa en la **Figura 4.11**.

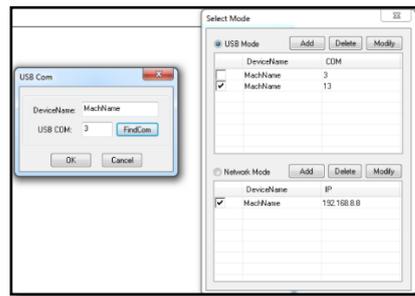


Figura 4.11 Selección del tipo de puerto.

4.3.2 La configuración de los parámetros

En la barra de menú se encuentra la opción de sistema, donde se ingresan los parámetros adecuados para que el software y hardware tengan un funcionamiento óptimo, en esta opción se puede configurar aceleración, velocidad y precisión de la máquina (**figura 4.12**).

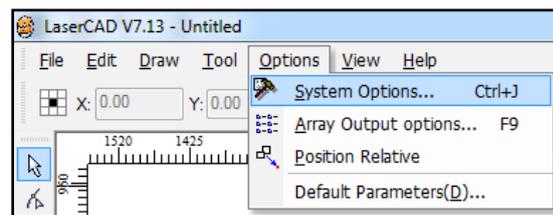


Figura 4.12 Opciones del sistema

En la sección **manufacturer parameter** como se indica en la **figura 4.13**, antes de realizar cualquier cambio es indispensable dar click en READ luego de haber realizado este paso procedemos a configurar los siguientes parámetros:

1. Micro pasos/ pulsos.
2. Ubicación del home X Y respectivamente.
3. Dirección desplazamiento.
4. Límite desplazamiento.
5. Rango.
6. Velocidad.
7. Máxima aceleración.

8. Máxima velocidad.

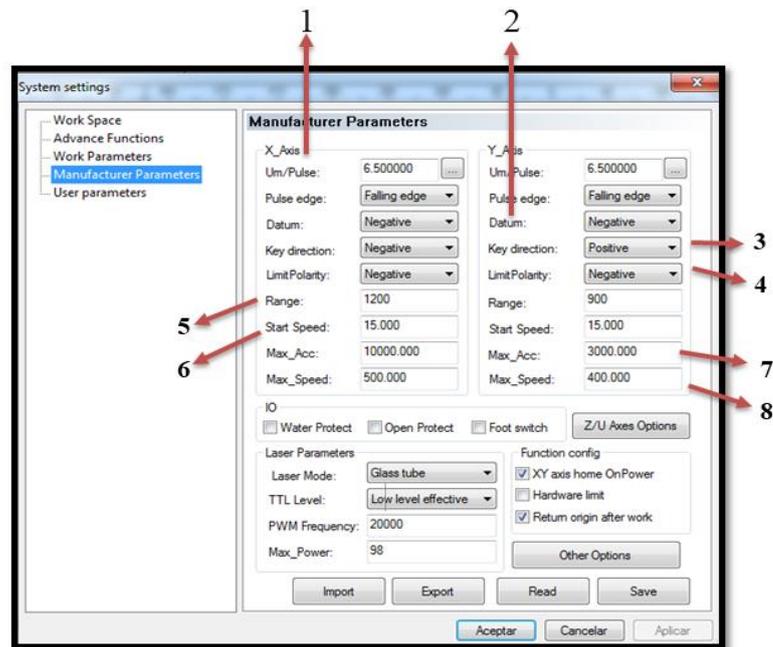


Figura 4.13 Parámetros de la tarjeta Láser.

Realizados estos cambios tanto como en el eje X y Y, configuramos las salidas de la tarjeta principal DSP: protección de agua (1), máxima potencia de láser (2), home (3) que se detalla en la **figura 4.14**

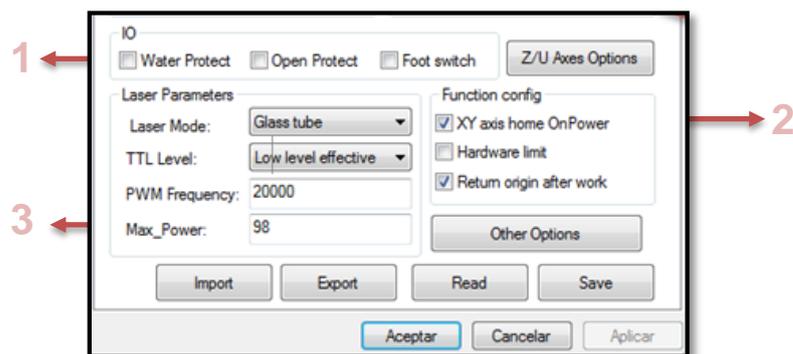


Figura 4.14 Configuración de entradas y salidas

A continuación en **layer option** asignamos diferentes parámetros para el proceso de corte como se describe en la **figura 4.15** potencia máxima (1), potencia mínima (2), velocidad de corte (3), dependiendo la figura el tamaño y el tipo de material.

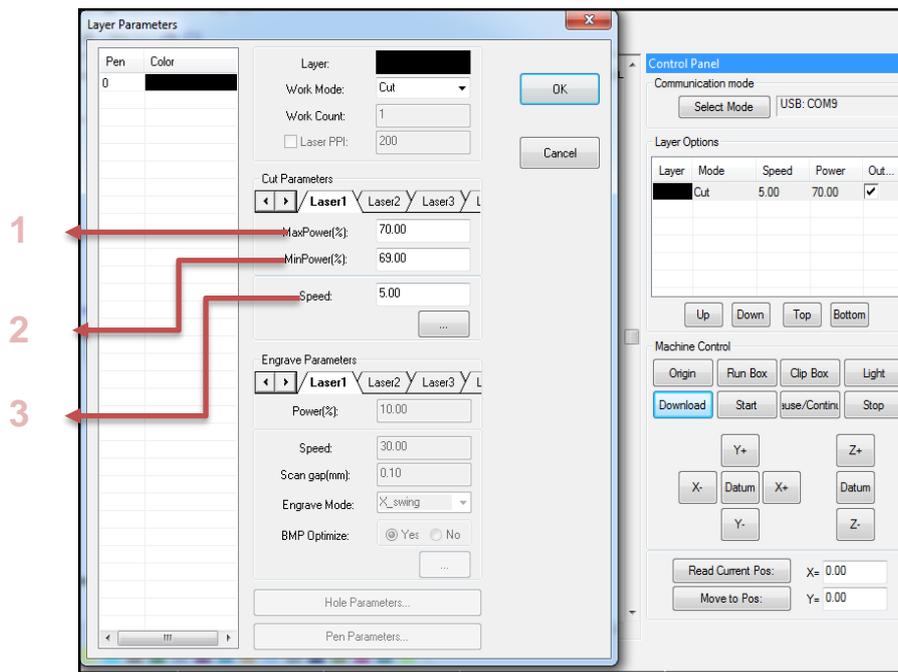


Figura 4.15 Configuración de capas.

4.3.3 Control y sintonización de los Motores PAP

El control sobre el desplazamiento y velocidad de la herramienta para el corte, se da por la manipulación del estado de los motores, donde la instrucción es una señal digital de reloj que envían pulsos (desplazamiento) a diferentes frecuencias (velocidad) a la tarjeta de micropasos (driver). Los pulsos se remiten mediante señales PWM a frecuencias que varían dependiendo de la velocidad dicha. Para determinar las frecuencias de operación del motor de acuerdo a su velocidad.

Los pasos por revolución se determinan mediante la resolución del motor (Véase anexo H). Como el motor elegido tiene una resolución de 1.8 grados, se realiza la siguiente operación:

$$\text{pasos por revolución} = \frac{360^\circ}{1.8^\circ} = 200$$

Entonces el motor opera a 200 pasos para un giro completo del eje. De igual forma se determinan los micropasos que son necesarios para la precisión del prototipo:

$$\text{micropasos por revolucion}_{\left(\frac{1}{16}\text{paso}\right)} = \frac{\text{pasos por revolucion}}{\text{micropasos del driver}} = 3200$$

$$\text{micropasos por revolucion}_{\left(\frac{1}{16}\text{paso}\right)} = \frac{200}{1/16} = 3200$$

Se tomó 1/16 como configuración del driver, mediante varias arreglos realizados (1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32 y 1/64), en el paso elegido disminuyó la pérdida de desplazamiento y se pudo calibrar correctamente la precisión de la máquina.

Para controlar el giro de cada uno de los motores en sus respectivos ejes se realiza el cálculo de los **Pasos por micrómetro** mediante las siguientes ecuaciones:

Donde:

$$\text{Um/Micropasos} = \frac{\text{paso del usillo de bolas}}{\text{pasos de resolución del motor + driver}}$$

$$\text{pasos de resolución del motor + driver} = 3200$$

$$\text{paso del usillo de bolas} = 5000 \text{ Um o } 5 \text{ mm (Anexo B)}$$

$$\text{Um/Micropasos} = \frac{5000}{3200} = 1,5625$$

La sintonización del desplazamiento se realizó mediante el ingreso de Um/micropaso y la ayuda del sintonizador de LáserCad. Donde se tomó medidas sobre el corte en madera y se ingresó la medida real (Actual length) y la esperada (expected) detallada en la **figura 4.16**, llegando a reducir el error hasta centésimas de milímetro.

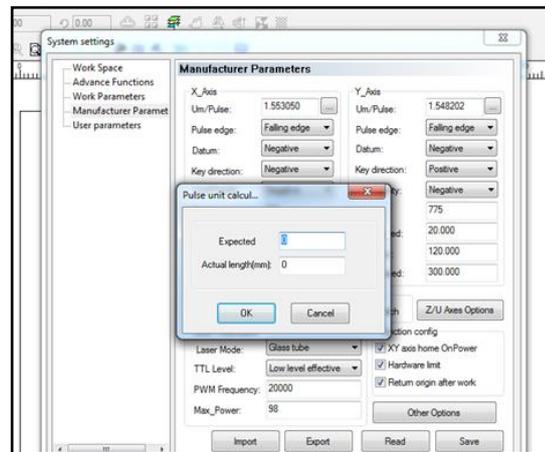


Figura 4.16 CAD en AutoCAD

4.3.4 Mandos de control del programa LáserCad.

A continuación se indica los controles que posee la pantalla principal del programa LáserCad: desplazamiento de los ejes **(1)**, grabar documentos **(2)**, inicio del proceso **(3)**, pausa **(4)**, paro **(5)**, láser **(6)** estos son los mandos de control de la máquina cortadora láser como se observa en la siguiente figura.

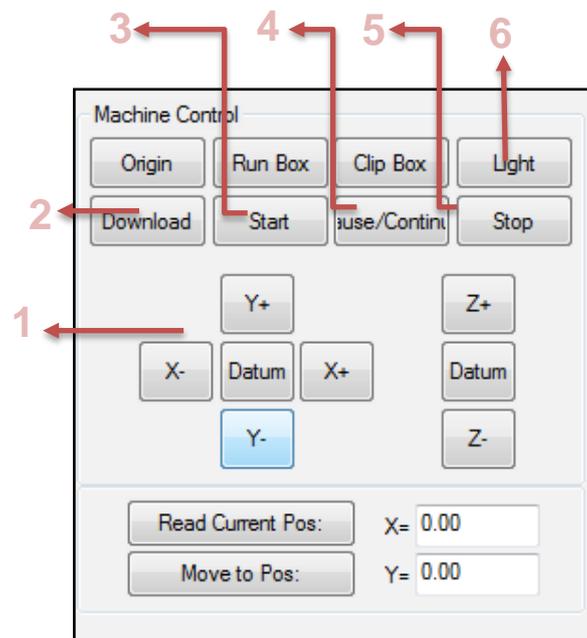


Figura 4.17 Control de la maquina en LáserCad

En la pantalla de posición y lectura de la herramienta, se observa la distancia que se desplaza, además se puede encerrar todos los ejes (**figura 4.18**).



Figura 4.18 Control desplazamiento y lectura de posición final.

4.3.5 Enlace CAD/CAM

Para el diseño asistido por computadora (CAD) las piezas se realizan en AutoCAD (**Figura 4.19.**), las cuales deben ser guardadas con extensión DXF.

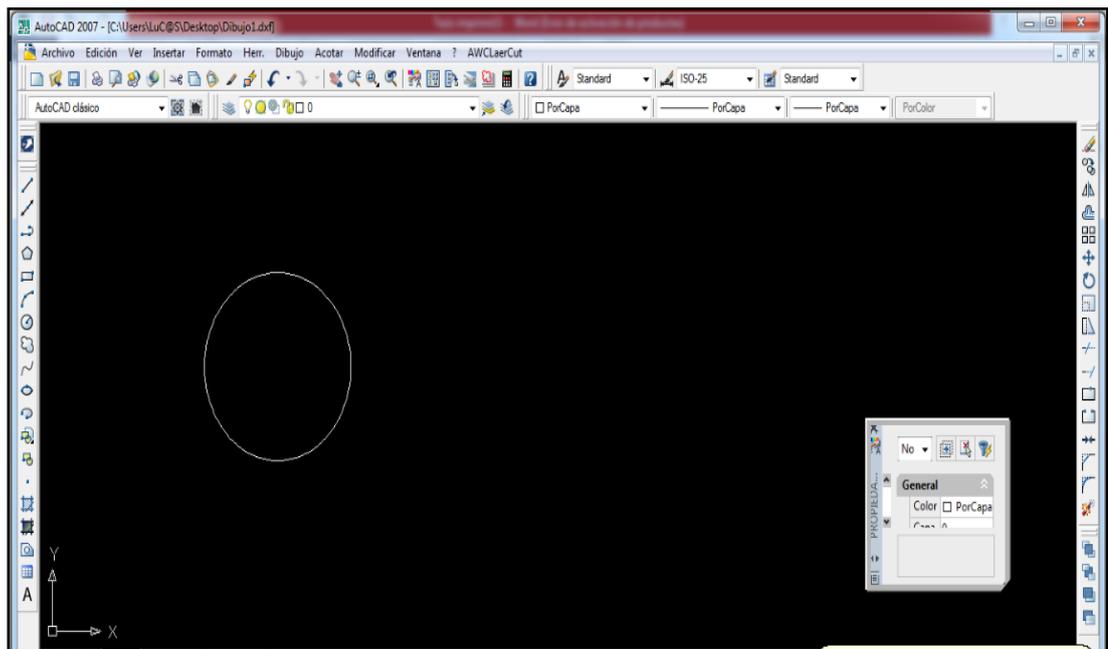


Figura 4.19 CAD en AutoCAD

Elaborado por: Santiago Lugmania, Wilson Vásquez.

Realizado la figura a cortar se procede a abrirlo en el Software LáserCad, el cual es un software que facilita el CAM (manufactura asistida por computadora), sirve para configurar los parámetros necesarios para el corte, además permite observar trayectorias y el tiempo de corte (Figura 4.20)

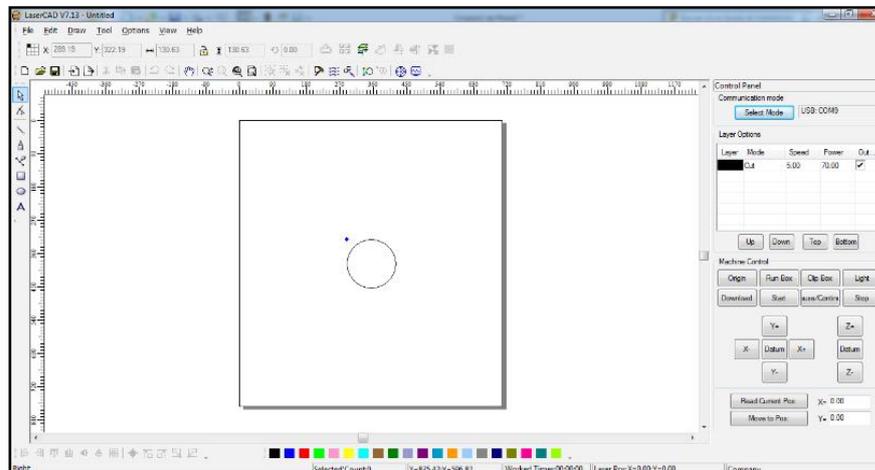


Figura 4.20 CAM en LáserCad

Finalmente en LáserCad procedemos a grabar y ejecutar el trabajo con sus debidas precauciones.

4.4 PRUEBAS Y RESULTADOS

En el prototipo de la cortadora por láser de CO₂, se realizaron varias pruebas de corte. En el cual se pudo cortar exitosamente hasta 6mm de madera a una potencia del 70%, con una mínima velocidad (2mm/s) y con una sola pasada, este resultado nos dice que el corte máximo en madera es de 8 a 9 mm al 100 % de potencia. **Pero se recomienda no sobrepasar el 80% para aplazar la vida útil del tubo láser.** Se justifica las pruebas en madera por cuanto es un material que se degrada químicamente (se convierte en carbón), esto quiere decir que es el material más resistente al corte láser.

Se efectuó circunferencias y cuadrados de iguales dimensiones sobre madera para establecer las fallas del proceso de réplica. Luego se realizó circunferencias y cuadrados de diferentes tamaños para determinar la precisión.

4.4.1 Corte en madera

Para determinar la precisión del corte se realizó varias piezas, se adquirió cinco circunferencias y cinco cuadrados para facilitar las mediciones respectivas. Se debe recalcar, que en cualquier proceso de fabricación,

ningún producto es igual a otro, siempre va existir variabilidad en la medición. Las piezas mecanizadas se observan en la **Figura 4.21**.

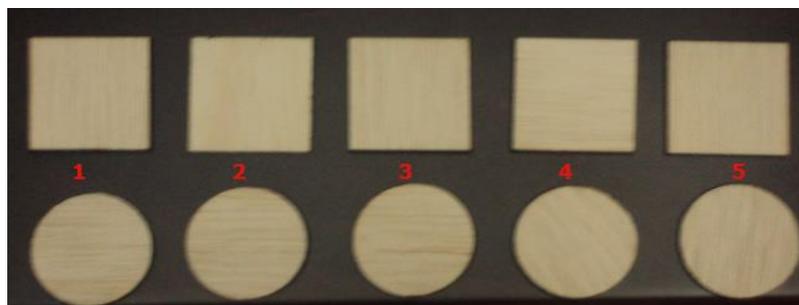


Figura 4.21 Materia prima para determinar la precisión.

La medición de la pieza se puede observar en la **Figura 4.22**, donde se midió en posición vertical (Y) y horizontal (X).

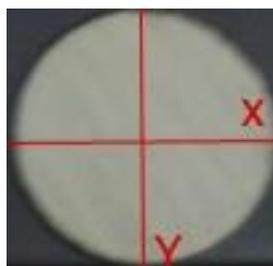


Figura 4.22 Medición de la circunferencia en planos.

Los datos de las mediciones realizadas a las circunferencias, se indican en la **Tabla 4.1** y se representan gráficamente en la **Figura 4.23**.

Tabla 4.1

Mediciones de los diámetros en las circunferencias.

	NÚMERO DE MEDICIÓN	MEDIDA REAL	PIEZA 1	PIEZA 2	PIEZA 3	PIEZA 4	PIEZA 5
Circunferencia	Plano X	40,000	40,020	40,050	40,060	40,070	40,071
	Plano Y	40,000	39,93	39,910	39,890	39,880	39,870
PROMEDIO		40,000	40	39,975	39,98	39,975	39,970



Figura 4.23 Gráfico de mediciones de las circunferencias.

Se obtiene el error mediante las mediciones realizadas a cada de las circunferencias cortadas con respecto a la medida nominal, las cuales se aprecian en la Tabla 4.2

Tabla 4.2

Error en las circunferencias.

NÚMERO DE MEDICIÓN		ERROR 1	ERROR 2	ERROR 3	ERROR 4	ERROR 5
Circunferencia	Plano X	-0,020	-0,050	-0,060	-0,070	-0,071
	Plano Y	0,070	0,090	0,110	0,120	0,13
PROMEDIO		0,045	0,070	0,085	0,0950	0,1

Mediante los datos obtenidos de la Tabla 4.2. Se elige el error del límite superior es de -0,071 y del límite inferior es de 0,13. Finalmente, se obtiene la precisión del corte varía en un 0,2mm para las trayectorias circulares. Se obtuvo mediciones de los lados de los cuadrados, tal manera como se observa en la Figura 4.24. En la Tabla 4.3 muestra los datos obtenidos de las mediciones realizadas.

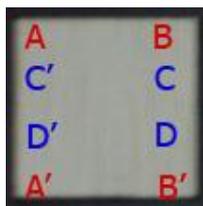


Figura 4.24 Mediciones del Cuadrado

Tabla 4.3

Mediciones de los lados de los cuadrados cortados.

NÚMERO DE MEDICIÓN	MEDIDA REAL	PIEZA 1	PIEZA 2	PIEZA 3	PIEZA 4	PIEZA 5
Cuadrado 1 (Lado C-C')	40,000	40,120	40,120	40,130	40,140	40,150
2 (Lado D-D')	40,000	40,110	40,120	40,120	40,120	40,140
3 (Lado A-A')	40,000	39,990	39,960	39,940	39,940	39,930
4 (Lado B-B')	40,000	39,980	39,95	39,940	39,930	39,920
PROMEDIO	40,000	40,05	40,038	40,033	40,033	40,035

En la siguiente Figura muestra gráficamente los datos obtenidos de las mediciones realizadas a los cuadrados cortados en madera.

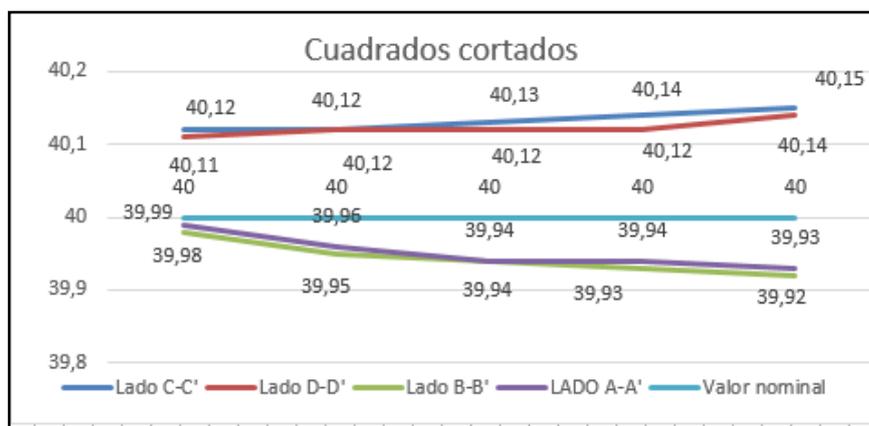


Figura 4.25 Gráfico de mediciones de los cuadrados.

El error obtenido de cada una de Los cuadrados se representa en la tabla 4.4.

Tabla 4.4

Error en las mediciones de los lados de los cuadrados.

NÚMERO DE MEDICIÓN Cuadrado	ERROR PIEZA 1	ERROR PIEZA 2	ERROR PIEZA 3	ERROR PIEZA 4	ERROR PIEZA 5
1 (Lado C-C')	-0,12	-0,12	-0,13	-0,14	-0,15
2 (Lado D-D')	-0,11	-0,12	-0,12	-0,12	-0,14
3 (Lado A-A')	0,01	0,04	0,6	0,06	0,07
4 (Lado B-B')	0,02	0,05	0,06	0,07	0,08

Con los datos de la **Tabla 4.4** se observa que el error del límite superior es de - 0,15 y del límite inferior es de 0,08. Al realizar medidas mediante el calibrador digital se determina que existen variaciones entre el valor nominal y el valor de corte, la precisión de las trayectorias rectas se encuentra en 0,23mm.



Figura 4.26 Circunferencias a diferentes tamaños.

El modelo que se aprecia en la **Figura 4.26**, fue cortado para luego realizar mediciones, compararlas con el nominal así determinar el error. Se realiza

mediciones a cada una de las circunferencias Los valores obtenidos de las mediciones realizadas, se observan en la **Tabla 4.5**

Tabla 4.5

Medición de modelos cortados.

NÚMERO DE MEDICIÓN	MODELO	ERROR	ERROR Mn – Me
Circunferencia 250	250,000	251,300	1,3
Plano x			
Plano Y	250,000	251,500	1,5
PROMEDIO	250,000	251,40	1,40
Circunferencia 200	200,00	200,300	0,3
Plano x			
Plano Y	200,00	200,7	0,7
PROMEDIO	200,00	200,5	0,5
Circunferencia 150	150,000	149,930	0,70
Plano x			
Plano Y	150,000	150,790	0,79
PROMEDIO	150,000	150,36	0,36
Circunferencia 100	100,00	99,820	0,18
Plano x			
Plano Y	100,00	99,7100	0,29
PROMEDIO	100,000	99,765	0,235
Circunferencia 50	50,00	49,570	0,43
Plano x			
Plano Y	50,00	50,360	0,360
PROMEDIO	50,000	49,965	0,035

Los valores obtenidos de la Tabla 4.5, se muestran gráficamente en las siguientes figuras:

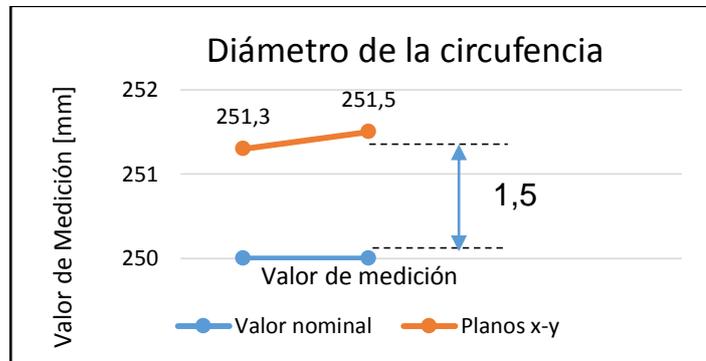


Figura 4.27 Medición de la circunferencia a 250 mm.

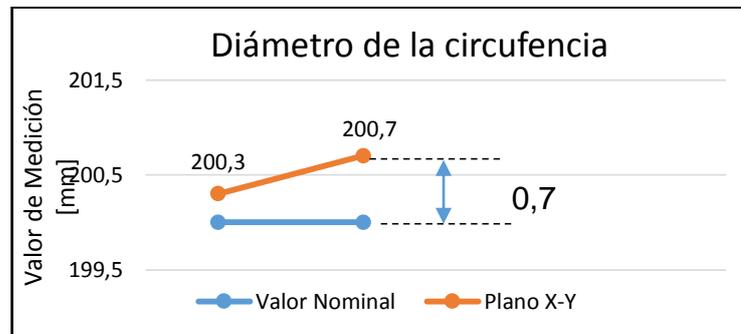


Figura 4.28 Medición de la circunferencia a 200 mm.

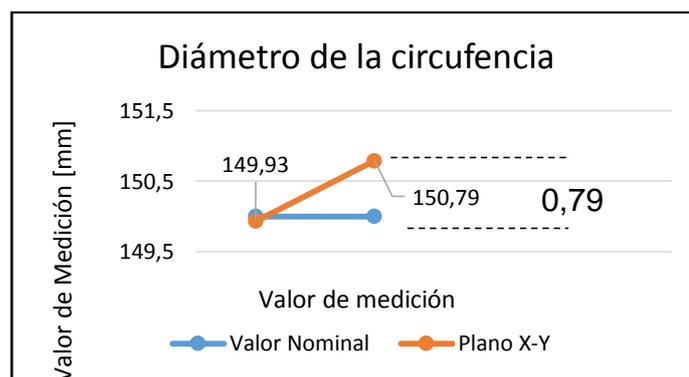


Figura 4.29 Medición de las circunferencias a 150 mm.

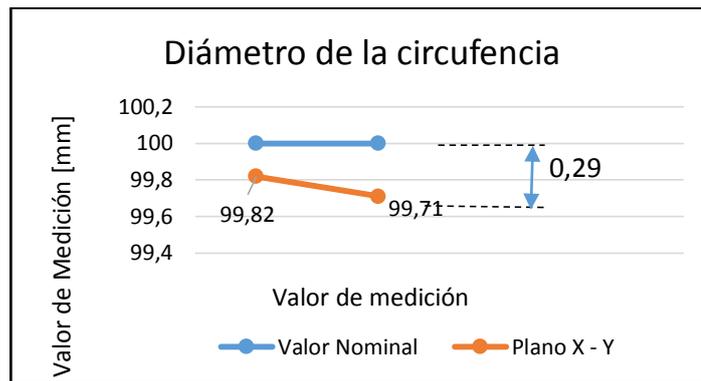


Figura 4.30 Medición de la circunferencia a 100 mm.

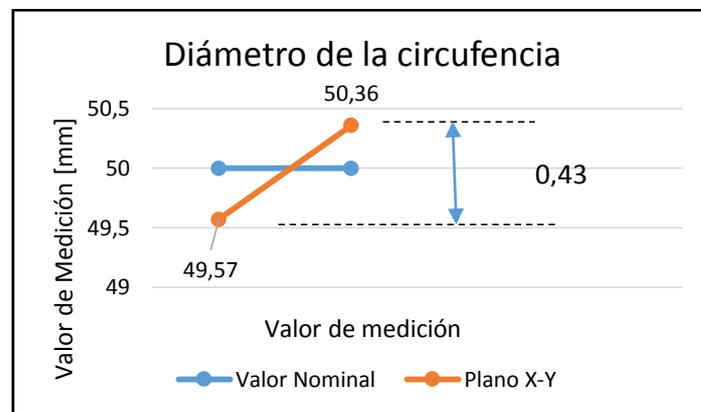


Figura 4.31 Medición de la circunferencia a 50 mm.

Con los valores encontrados de la Tabla se determina el error relativo, expresado como:

$$E_r = \frac{\Delta_x}{x}$$

E_r = Error relativo

Δ_x = Error absoluto

$\Delta_x = |\text{valor medido} - \text{valor verdadero}|$

X = Valor verdadero

Encontrado el error relativo porcentual, se multiplicará por 100:

$$E_{\%} = 100 * \frac{\Delta_x}{x}$$

Hallado el error porcentual de las mediciones para cada figura se obtuvo: 0,28% (circunferencia 250mm), 0,25% (circunferencia 200mm), 0,24% (circunferencia 150mm), 0,235% (circunferencia 100mm), 0,07% (circunferencia 50mm). Se puede concluir que las medidas de error de resolución tanto en el eje X como en el eje Y se encuentra dentro de un rango aceptable, obteniendo un mejor resultado en piezas pequeñas que en piezas grandes.

El modelo que se aprecia en la **Figura 4.32**, fue cortado para luego realizar mediciones, compararlas con el nominal así determinar el error.

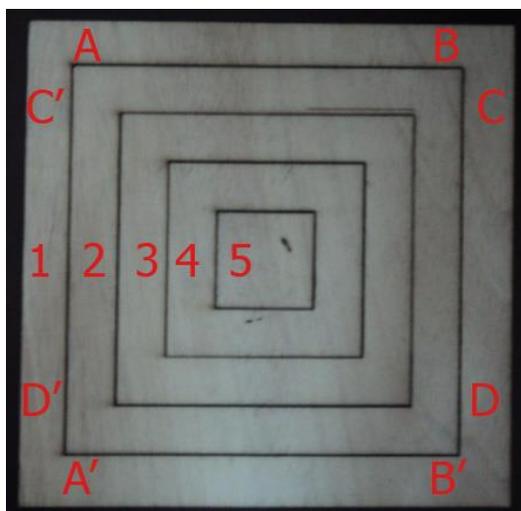


Figura 4.32 Cuadrados a diferentes tamaños.

Se realiza mediciones a cada uno de los cuadrados. Los valores obtenidos de las mediciones realizadas, se observan en la Tabla 4.6

Tabla 4.6

Medición de los cuadrados.

NÚMERO DE MEDICIÓN	MODELO	ERROR	ERROR PE - M
Cuadrado 500	250,000	250,000	0
LADO C-C'	250,000	250,000	0
LADO D-D'	250,000	250,000	0
LADO A-A'	250,000	250,800	0,8

Continúa →

LADO B-B'	250,000	250,800	0,8
PROMEDIO	250,00	250,400	0,4
Cuadrado 200	200,000	200,000	0
LADO C-C'			
LADO D-D'	200,000	200,000	0
LADO A-A'	200,000	200,295	0,295
LADO B-B'	200,000	200,295	0,295
PROMEDIO	200,000	200,147	0,147
Cuadrado 150	150,000	150,088	0,088
LADO C-C'			
LADO D-D'	150,000	150,088	0,088
LADO A-A'	150,000	150,127	0,127
LADO B-B'	150,000	150,139	0,139
PROMEDIO	150,000	150,105	0,105
Cuadrado 100	100,000	100,053	0,053
LADO C-C'			
LADO D-D'	100,000	100,044	0,044
LADO A-A'	100,000	100,080	0,080
LADO B-B'	100,000	100,082	0,082
PROMEDIO	100,00	100,064	0,064
Cuadrado 50	50,000	49,970	0,030
LADO C-C'			
LADO D-D'	50,000	49,970	0,030
LADO A-A'	50,000	50,080	0,080
LADO B-B'	50,000	50,040	0,040
PROMEDIO	50,00	50,045	0,045

Los valores obtenidos de la Tabla, se muestran gráficamente en las siguientes figuras:

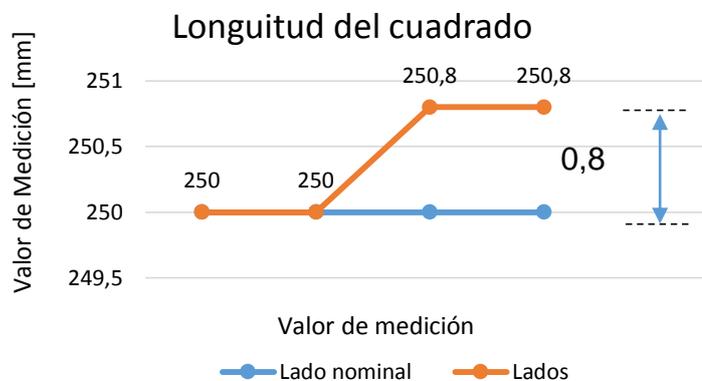


Figura 4.33 Medición del cuadrado de 250mm.

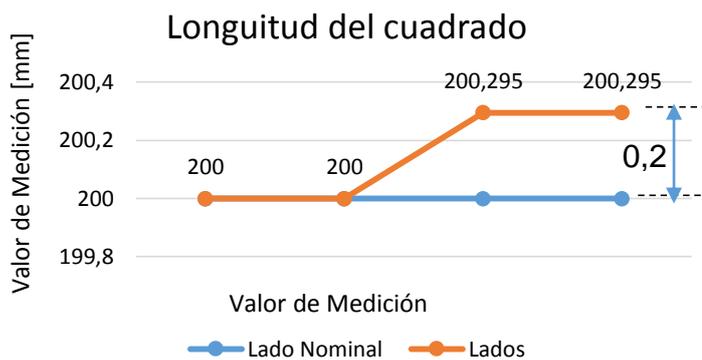


Figura 4.34 Medición del cuadrado de 200mm.

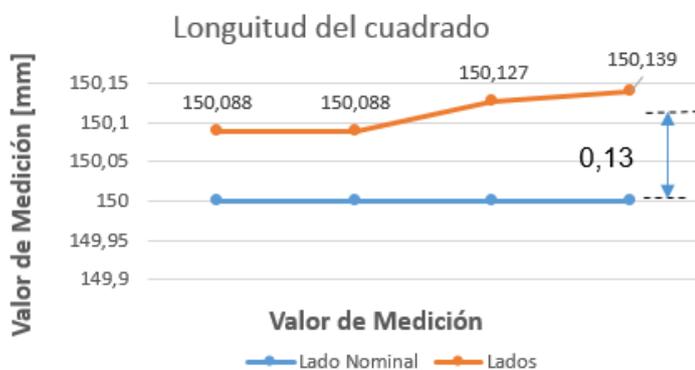


Figura 4.35 Medición del cuadrado de 150mm.

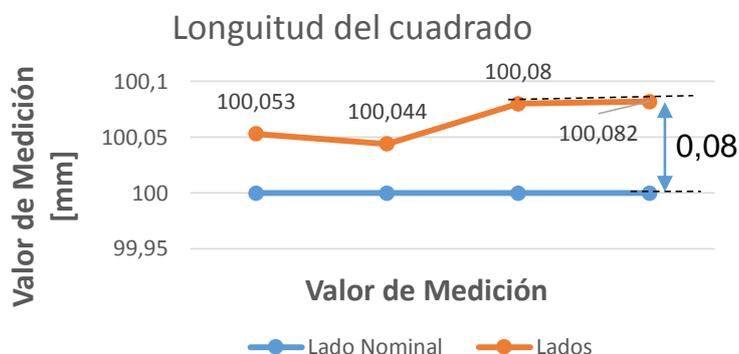


Figura 4.36 Medición del cuadrado de 100mm.

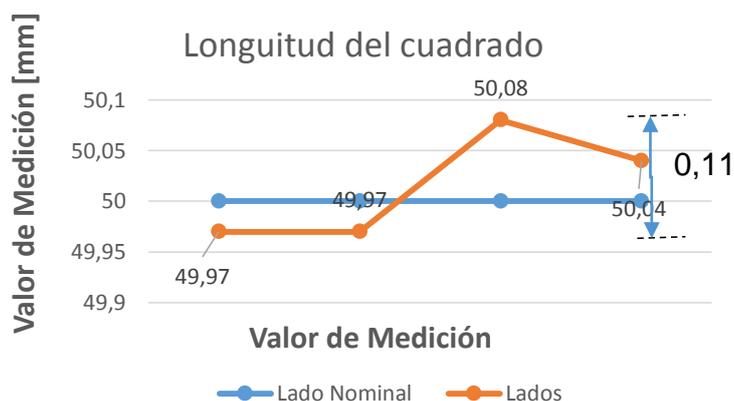


Figura 4.37 Medición del cuadrado de 50mm.

Calculado el error porcentual de las mediciones para cada figura del se obtiene: 0,16% (cuadrado 250mm), 0,0737% (cuadrado 200mm), 0,07% (cuadrado 150mm), 0,064% (cuadrado 100mm), 0,09% (cuadrado 50mm).

El error dispuesto nos dice que a mayor tamaño, el rango entre la medida original y la obtenida crece siendo menor el error en piezas de menor medida. Al comparar las pruebas tanto en los círculos y cuadrados de igual tamaño como en las de tamaño descendente asumimos que existe mayor precisión en los cuadrados, este error es consecuencia de que el carro longitudinal (Y) posee vibraciones al trasladarse por cuando en la parte izquierda de este, no se encuentra sujeto, para una mayor precisión sería el caso de la

implementación de un husillo de bolas que trabaje acorde con el usillo ubicado en el mecanismo longitudinal Y derecho (véase anexo K-05 y K-06)

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES.

- Se diseñó y construyó de manera exitosa, un prototipo de una cortadora por láser de dióxido de carbono con control numérico computarizado para el corte de materiales blandos, el cual posee un área de trabajo de 8100 cm², potencia de corte de 80 vatios a una velocidad entre el rango de 1 – 250 mm/s, controlada por un DSP AWC608 mediante la interface Lásercad, dicho prototipo se encuentra instalado en el laboratorio CNC de la Universidad de la Fuerzas Armadas, ESPE Extensión Latacunga, para la inclusión de una nueva tecnología de mecanizado dentro de este.
- La información recopilada acerca de las características y funcionamiento de una máquina cortadora por láser de CO₂, entregó resultados no tan favorables puesto que sobre esta tecnología no se encuentra la información necesaria y se tuvo que recurrir al estudio de varios modelos dispuestos en el mercado.
- Los parámetros establecidos sobre el diseño de la cortadora por láser de CO₂ permitieron desarrollar un modelo eficaz e idóneo para el corte de materiales blandos, obteniendo como resultado el corte en madera de 8 mm y acrílico de 10 mm de espesor con una potencia de corte de 80 w a una velocidad de 2 mm/s.
- La construcción del prototipo fue un éxito gracias a la acertada selección de los materiales en base a sus características, como resistencia a la fluencia, coeficiente de rozamiento, peso y buena apariencia, determinados durante el diseño mecánico.
- Los equipos y actuadores finales seleccionados en base a la recopilación de datos y parámetros de diseño de la cortadora permitieron una exitosa implementación con el sistema mecánico, siendo dificultosa la adquisición de estos por la falta disposición de

elementos y los cambios en los estatutos de importación en el Ecuador.

- Las pruebas de funcionamiento del prototipo se realizaron de manera adecuada mediante el corte en madera a 64 W o el 80% de potencia, suficientes para cortar 6 mm de madera con una sola pasada, la velocidad adquirida para este corte es de 2 mm/s, estos parámetros fueron dispuestos para materiales duros y para el corte de materiales blandos disminuimos la potencia aumentando la velocidad para garantizar la calidad del acabado.
- El prototipo de corte por láser de dióxido de carbono fue implementado exitosamente en el laboratorio CNC de la Universidad de las Fuerzas Armadas Extensión Latacunga, permitiendo a los docentes y alumnos realizar prácticas de mecanizado mediante láser, reforzando el conocimiento sobre equipos con control numérico computarizado mediante la inclusión de esta tecnológica.
- La construcción e implementación de cortadoras por láser de CO₂ con control numérico computarizado, es un proyecto viable de avance en nuestro país, con investigación y la mejora de este prototipo, se podría desarrollar un equipo altamente eficiente y que podría competir con modelos fabricados en otros países, siendo cada vez más cercano el sueño de reducir la brecha tecnológica que poseemos con varios países de potencia mundial.
- Lásercad es la mejor opción en cuanto a la implementación del software de control, AWC608 admite la introducción de varios paquetes dispuestos en la red, se aduce que Lásercad es el mejor por cuanto no se obtuvo ningún problema en la comunicación bidireccional, contrario a los problemas que ofrecieron otros softwares.
- La vibración presente en el lado izquierdo del mecanismo de traslación del eje Y se debe a que este no se encuentra sujeto, una variación en el diseño de este optimizaría el prototipo.

- Se obtiene mayor precisión en el corte entre más cercano se encuentre la ubicación del material a X positivo e Y negativo, esto se debe a que en la construcción de la máquina no se alineo de manera precisa los ejes de desplazamiento.
- Se consiguió cortar figuras de gran complejidad geométrica, el sistema tiene la capacidad de controlar la velocidad y potencia dependiendo de la figura, en cuanto se aduce que 64 W de potencia y una temperatura de 28 °C, son adecuados para el desempeño optimo del tubo láser, se puede trabajar a 80 W pero arriesgamos la vida útil de este.
- El corte tiene una variación con relación a las medidas de la pieza original de acuerdo al tamaño, obteniendo un mejor resultado en piezas pequeñas con un error de 0,23 mm a diferencia de las piezas grandes con 1 mm de error, y respecto a las figuras, las de superficie recta que implican el recorrido lineal de la herramienta aduce una mejor precisión que las piezas de superficie curva.

5.2 RECOMENDACIONES.

- Es recomendable profundizar en el diseño mecánico, realizando no solo un análisis de cargas estáticas, se debe ampliar con el estudio del sistema en cargas dinámicas enfatizando el problema de vibración en los ejes por la transformación de energía de los motores mediante el husillo.
- Para disminuir el error en las figuras grandes y evitar las variaciones que existan entre mayor número de muestras, es necesario implementar un husillo de bolas en el sistema mecánico izquierdo ANEXO K-06, debido a las vibraciones presentes en el traslado de la herramienta.
- Para optimizar este prototipo, es necesario enfatizar en la construcción del sistema mecánico, una mejor calibración de las guías longitudinales disminuirá el error que posee el sistema de enfoque, por lo tanto se recomienda utilizar un palpador que

otorgue un erro de centésimas de milímetro en la alineación de estos.

- En el caso de observar disminución en la calidad o el espesor de corte es aconsejable realizar una calibración del sistema proyector del láser como se muestra en el manual de usuario.
- Por ser una tecnología que implica alta precisión, el haz de luz láser debe ser perpendicular al material de corte, es necesario eliminar las curvaturas de la mesa para garantizar la precisión en el corte.
- Determinados materiales al ser cortados o grabados con láser liberan gases que son perjudiciales para el usuario, por lo que se propone implementar un sistema de extracción de gases mediante el desalojo de estos fuera del laboratorio.
- Durante el proceso de corte debemos cumplir con todas las normas de seguridad tanto para el equipo como para el usuario, el láser puede causar lesiones graves por quemaduras y ciertas enfermedades por la emisión de gases en el corte.
- La temperatura de trabajo del láser es de 19 a 28 grados centígrados, esta temperatura permite un trabajo constante del láser, si es el caso cuando se trabaje a potencias mayores a los 64 W el tiempo de trabajo debe ser menor o se debe esperar un lapso de tiempo para que el sistema logre una refrigeración adecuada.
- Cuando se realice el cambio de tubo láser asegurarse que ánodo y cátodo se encuentran conectados, estos producirían una variación de voltaje en el equipo que causaría la avería en el sistema de control.
- Para una comunicación de gran capacidad de datos se recomienda la comunicación Ethernet y para una fácil conexión es viable la comunicación en USB.

BIBLIOGRAFÍA

- Gordón Garcés, A. M., & Núñez, W. (2013). Diseño e implementación de un prototipo de torno - fresador de control numérico computarizado para el laboratorio CNC de la ESPE extensión Latacunga. Latacunga: Escuela Superior Politécnica del Ejército - Latacunga.
- Guanoluisa, H., & Yáñez, F. (2007). *Diseño y construcción de un sistema de corte por plasma CNC*. Latacunga: Escuela Politécnica del Ejército Extensión - Latacunga.
- Mischke, J. E.–C. (2002). Factor de seguridad. En J. E.–C. Mischke, *Diseño en Ingeniería Mecánica* (pág. 536). Monterrey: McGraw-Hill,.
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Mexico: Pearson Educación.
- Powell, J. (1993). CO2 láser cutting. En J. Powell, *CO2 láser cutting* (pág. 246). Springer: Verlag.
- Shigley, J., & Michell, L. (2002). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. México: McGraw Hill.
- Steen, W. M. (1991). Láser CO2. En W. M. Steen, *Láser Material Processing* (pág. 558). British: Springer .

LINKOGRAFIA

- Andoni, J. (13 de Marzo de 2010). *Slideshare*. Obtenido de slideshare: <http://www.slideshare.net/fernandodiezpuente/tema-6-dsp>
- Avinash. (28 de abril de 2014). *extremeelectronics*. Obtenido de extremeelectronics: <http://extremeelectronics.co.in/avr-development-board/simple-single-motor-control-using-avr-atmega16/>
- Bill, N. (15 de enero de 2014). *tradeindia*. Obtenido de tradeindia: <http://www.tradeindia.com/fp966424/100W-Láser-Power-Supply.html>
- Blogger. (15 de Noviembre de 2012). *Blogspot*. Obtenido de blogspot: <http://lásercorte.blogspot.com/2012/11/detalles-de-conectores-placa-ms10105-de.html>
- CAD, I. u. (9 de Abril de 2010). *Mecánica y Control para Industriales*. Obtenido de Mecánica y Control para Industriales: <http://www.cmicslp.org/Sistema%20ADCAM.htm>
- Díaz, F. (11 de Agosto de 2007). *Olimpia cuautitlan2*. Obtenido de Olimpia cuautitlan2: http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m1/tablas%20y%20graficas.pdf
- Ecured. (06 de Diciembre de 2013). *Ecured*. Obtenido de Ecured: http://www.ecured.cu/index.php/Archivo:Transmisi%C3%B3n_por_cadena.jpg
- Educación, S. d. (5 de Abril de 2011). *Propro Galvann*. Obtenido de Propro Galvann: <http://propro.galvann.net/index.php/pr3-2>
- Educativa. (8 de Octubre de 2010). *Elementos mecánicos transmisores de movimiento*. Obtenido de Elementos mecánicos transmisores de movimiento: <http://www.mecalux.es/external/magazine/40972.pdf>
- Fernandez, A. (09 de Febrero de 2013). *Melca*. Obtenido de Melca: <http://www.melca.com.ar/portal/index.php/tutoriales-guias/fresadoras->

cnc-automatizacion/51-tipos-de-transmicion-y-acoples-en-maquinas-cnc

- Gonzales. (27 de febrero de 2011). *Mecapedia*. Obtenido de http://www.mecapedia.uji.es/tornillo_de_potencia.htm
- Hervás, V. (22 de Febrero de 2001). *Tecnología*. Obtenido de iesvillalbahervastecnologia:<http://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2010/04/elementos-de-maquinas-y-sistemas.pdf>
- Israel. (14 de junio de 2007). *cosmocax*. Obtenido de cosmocax: <http://cadcamcae.wordpress.com/2007/06/14/el-control-numericopor-computadora-el-cnc/>
- Láser, B. R. (16 de junio de 2013). *Reci*. Obtenido de Reci: <http://www.reciláser.com/sp/productInfo/fc9181e93b448cac013b44fcb0b00f75.htm>
- láser, E. m. (30 de Enero de 2013). *Láser Project*. Obtenido de Láser Project: <http://maquinas-láser-corte-y-grabado.blogspot.com/2013/01/opticas-láser-de-15-2-y-4-diferencias-y.html>
- machine, J. B. (25 de enero de 2013). *Direct Industry*. Obtenido de Direct Industry: <http://www.directindustry.es/prod/jinan-bodor-cnc-machine-co-ltd/maquinas-corte-grabado-por-láser-co2-70516-700613.html>
- Miguel. (29 de Noviembre de 2011). *Slideshare*. Obtenido de Slideshare: <http://www.slideshare.net/themigue10/servo#btnNext>
- Molpeceres, J. L. (03 de Agosto de 2003). *Aplicaciones láser*. Obtenido de Aplicaciones láser: http://ge-iic.com/files/aplicacionláser/fundamentos_fisicos_tecn_láser.pdf
- Motion, L. (28 de diciembre de 2003). *SKF*. Obtenido de SKF: http://melca.com.ar/archivos/Tornillos_a_bolas.pdf

- Pino, A. (10 de Junio de 2009). *Monografias*. Obtenido de Monografias: <http://www.monografias.com/trabajos72/procesos-láser/procesos-láser2.shtml>
- Robledo, D. H. (08 de Julio de 2001). *centroláservigo*. Recuperado el 20 de Enero de 2014, de centroláservigo: <http://www.centroláservigo.com/pdfhilario/cap3.pdf>
- Rodriguez, C. L. (03 de diciembre de 2011). *Repositorio*. Obtenido de Repositorio:<http://repositorio.uc.cl/xmlui/bitstream/handle/123456789/1332/579333.pdf?sequence=1>
- Shenzhen. (1 de Enero de 2014). *Sinjoe láser*. Obtenido de Sinjoe láser: <http://www.sinjoeláser.com/cms/contact/>
- Solutions, O. (23 de julio de 2004). *Ophir*. Obtenido de Ophir: <http://www.ophiropt.com/de/corporate.htm>
- Technology, L. (s.f.). *Leadshine*. Obtenido de Leadshine: <http://www.leadshine.com>
- Valencia, U. P. (09 de Octubre de 2012). *UPV*. Obtenido de UPV: http://www.spri.upv.es/IOP_RF_01%28a%29.htm
- Velasco, S. (9 de enero de 2011). *mecalux*. Obtenido de mecalux: <http://www.mecalux.es/external/magazine/40972.pdf>
- Walters, R. N. (27 de Enero de 2003). *large.stanford*. Recuperado el 25 de Enero de 2014, de large.stanford: <http://large.stanford.edu/publications/coal/references/docs/hoc.pdf>
- wikipedia. (11 de Marzo de 2013). *Wikipedia*. Obtenido de Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/X-Y_table
- Wikipedia. (12 de Diciembre de 2013). *Wikipedia*. Obtenido de Wikipedia: http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_control

ANEXOS