

# Diseño y construcción de un prototipo de cortadora por láser de dióxido de carbono con control numérico computarizado

## (Design and construction of a prototype laser cutter carbon dioxide with computerized numerical control)

Fausto Acuña, Héctor Terán, Santiago Lugmania, Wilson Vásquez

*Departamento de Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga*

*Latacunga, Ecuador*

*fvacunia@espe.edu.ec*

*dawi79@hotmail.com*

*lugmania1@hotmail.com*

**Resumen**— La automatización de procesos ha ganado importancia en la industria actual, siendo pieza fundamental en el desarrollo del control numérico computarizado (CNC), capaz de entregar un producto final de alta calidad, óptimo para la competencia en el mercado.

El laboratorio de CNC de la Universidad de las fuerzas armadas ESPE extensión Latacunga se ve en la necesidad de una máquina de corte de materiales blandos para la inclusión de una nueva tecnología en las prácticas de laboratorio, el presente artículo corresponde a la investigación sobre el diseño y construcción de una cortadora por láser de dióxido de carbono para el corte de materiales como: Tela, cuero, foami, espuma flex, madera, acrílico, etc. para el laboratorio CNC de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga.

El proceso consiste en elaborar mediante software CAD el modelado a cortar. Luego se seleccionan los parámetros óptimos para el corte de acuerdo al tipo de material y dimensiones, el siguiente paso es simular en forma virtual el corte a realizar, si todo está bien el archivo obtenido se descarga al controlador mediante interface USB o Ethernet y finalmente se realiza el proceso.

Con la construcción se logró el corte en materiales blandos, con un espesor de 10 mm en acrílico y 8 en madera mediante la proyección del láser en la pieza a cortar, el movimiento del cabezal proyector del láser contiene 2 mecanismos de traslación en el eje X e Y con una área de trabajo de 8100 cm<sup>2</sup>, el corte es concebido por el enfoque del rayo láser formado en un tubo sellado que contiene una mezcla de gases (CO<sub>2</sub>, He, N, H) con una potencia de 80 W.

**Abstract**— Process automation has gained importance in the industry today, being instrumental in the development of computer numerical control (CNC), capable of delivering a final product of high quality, optimal for market competition.

CNC lab at the University of the armed forces ESPE Extension Latacunga is in need of a machine cutting soft materials for the

inclusion of a new technology in the labs, this item is the design research and construction of a laser cutter carbon dioxide for cutting materials such as fabric, leather, foami, flex foam, wood, acrylic, etc. CNC laboratory for the University of the Armed Forces ESPE Extension Latacunga.

The process is to develop CAD modeling software to cut. The optimal parameters are then selected for cutting according to the type of material and dimensions, the next step is to simulate virtually cut to make, if all is well earned file is downloaded to the controller via USB or Ethernet interface, and finally performs the process.

With the construction was achieved in cutting soft materials, with a thickness of 10 mm and 8 acrylic wood by laser projection in the workpiece, the movement of the laser head projector includes two trolleys in the X axis and Y with a work area 8100 cm<sup>2</sup>, the cut is devised by focusing the laser beam formed in a sealed tube containing a mix of gases (CO<sub>2</sub>, He, N, H) with a power of 80 W.

**Palabras clave** - Automatización de máquinas herramientas, Control numérico computarizado, Corte materiales blandos, Láser de dióxido de carbono.

### I. INTRODUCCIÓN

El corte de materia prima es uno de los primeros procesos que se automatizo, las máquinas cortadoras de control numérico computarizado implican una tecnología de fabricación que de la mano de la microelectrónica, la automática y la informática industrial ha experimentado en los últimos años un desarrollo acelerado, hoy en día, existen diversos tipos de máquinas con tecnología láser, siendo en su totalidad cortadoras de control numérico computarizado, tales como: Cortadoras de CO<sub>2</sub>, Nd y cortadoras por Nd-YAG.

El láser se genera gracias a una unidad de radio frecuencia conectada a un tubo sellado que contiene una mezcla de gases (CO<sub>2</sub>, He, N, H), que por la interacción de los mismos permite la concepción de fotones, responsables de la generación de luz láser como se muestra en la figura 1.

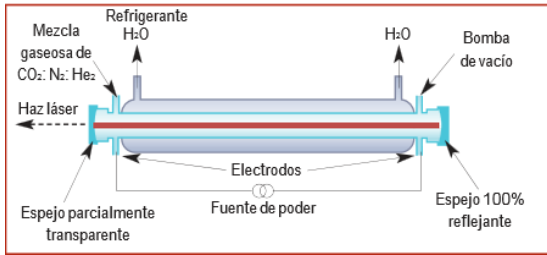


Fig. 1. Generación del láser mediante mezcla de gases.

La cortadora se basa en la recolección del láser mediante la proyección de luz por medio de un sistema de enfoque constituido por espejos especiales [1], los láseres de CO<sub>2</sub> emiten en luz en un estado infrarrojo por ende los espejos de proyección requiere de materiales específicos, esto pueden ser de tipo multicapa fabricados en silicio, molibdeno o en oro. Los lentes de enfoque son de germanio o seleniuro de zinc. [2]

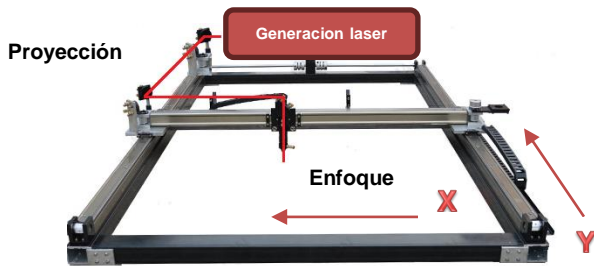


Fig. 2. Enfoque y proyección de la luz láser.

El ancho de corte es muy pequeño, normalmente de 0,1 a 1,0 mm, lo que permite hacer trabajos y piezas muy detalladas, El proceso es controlado por CNC, las piezas cortadas pueden estar muy próximas entre sí. Esto reduce el desperdicio de material a un mínimo.

El proceso es silencioso en comparación con otras técnicas competidoras, además de que es seguro para el operador [3].

Dado la alta potencia combinada con un coste razonable, los láseres de CO<sub>2</sub> se utilizan comúnmente en la industria para el corte y la soldadura, y, con menos potencia, para el grabado, se utilizan en cirugía porque trabajan en una longitud de onda muy bien absorbida por el agua, y por lo tanto por los tejidos vivos (cirugía láser, alisando la piel, ritidectomía - que es esencialmente quemar en la piel para estimular la formación de colágeno - y en la dermoabrasión) [4].

## II. DISEÑO DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS

### A. Parámetros de Diseño.

Se analizaron varios modelos existentes en el mercado obteniéndose un promedio en cuanto a características del prototipo realizado.



Fig. 3. Modelos comunes de cortadora láser por CO<sub>2</sub>.

Modelos como los presentados en la figura 3 fueron útiles para la selección de los parámetros de diseño, entre ellos se especifica los modos de operación, los recorridos de acuerdo con el tamaño y la necesidad de desplazamiento de cada eje: potencia del haz de corte, velocidad y espesor del material a cortar. Los materiales a cortar serán blandos como tela, cuero, espuma flex, foamix, madera, acrílico, etc.

En el cálculo de la potencia del haz de luz láser, se recurrirá a la ecuación 1 con polimetilmetacrilato como material de estudio, con un T<sub>0</sub> = 25 [°C] o 298 [K], Cp= 1470 [J/Kg\*K] y T<sub>v</sub> = 198 [°C] o 473 [K] [5], LV = 25100 [KJ/Kg] [6] y n = 0,88 [7] descrita a continuación:

$$P = \frac{w * t * V * p}{n} * [C_p(T_v - T_0) + L_v] \left[ \frac{J}{s} \right] \quad (1)$$

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

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

Según el estudio presentado en la figura 4 se determinó una relación entre los principales parámetros de corte como potencia del láser, espesor del material y velocidad de corte,

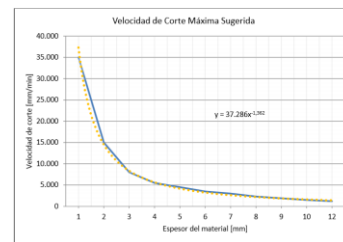


Fig. 4. Velocidad de corte máxima sugerida para diferentes espesores de PMMA con un láser de CO<sub>2</sub> de 500 W [1].

$$V_{corte,max} = P * Q * t^{-B} [mm/min] \quad (2)$$

En acuerdo a la ecuación 2 se presenta la siguiente proyección de velocidades y espesores de corte de PMMA para una potencia de 80W.



Fig. 5. Velocidad de corte máxima sugerida para diferentes espesores de PMMA con un láser de CO<sub>2</sub> de 80 W.

Según los cálculos realizados se obtuvo una potencia de trabajo de 80 w, un espesor de corte máximo de 12 mm en acrílico, una velocidad de 6000 mm/min y un espacio de trabajo de 8100 cm<sup>2</sup>.

**B. Diseño del sistema mecánico para movimiento del eje X.**

Para el eje X, se parte del diseño original del carro longitudinal; al cual se lo debe colocar en la dirección del eje X indicado en la Figura 2.

En la Figura 6 se observa el diseño mecánico del movimiento del eje X.

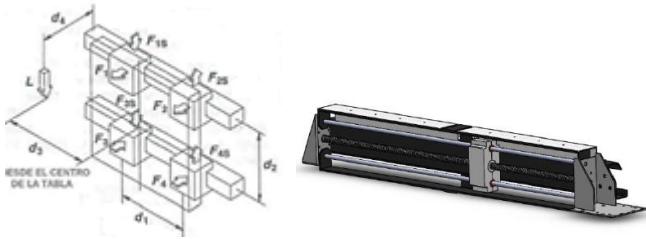


Fig. 6. Mecanismo de movimiento del eje X.

Cuando una fuerza se aplica a un sistema de guías, en cada apoyo se encuentra diferentes fuerzas, que se determinan utilizando el siguiente sistema de ecuaciones [6] 3, 4, 5 y 6 de acuerdo a la Figura 6.

$$F1 = L/2(d4/d2) \quad (3)$$

$$F2 = L/2(d4/d2) \quad (4)$$

$$F3 = L/4 - L/2(d3/d1) \quad (5)$$

$$F4 = L/4 + L/2(d3/d1) \quad (6)$$

$$F1 = 5.76 \text{ N}; F2 = 5.76 \text{ N}; F3 = 6.1 \text{ N}; F4 = 6.1 \text{ N}$$

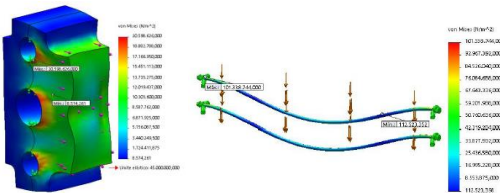


Fig. 7. Análisis de Von mises para el mecanismo de movimiento del eje X.

Tomando en cuenta que la estructura tiene dos ejes guías de iguales características, se considera que las fuerzas mayores son F3 y F4 para realizar el análisis de esfuerzos. Entonces para el diseño se escoge los ejes guías, el momento flector máximo de la estructura, correspondiente al eje X.

Si se considera un factor de seguridad N = 2; material para el eje Nylamide (Sy=45 MPa).

De la ecuación 7, el esfuerzo de diseño máximo será:

$$\sigma' < \sigma d = Sy/N ; \sigma d = 45 \text{ MPa} / 2 = 22,5 \text{ MPa} \quad (7)$$

Del análisis de fuerzas y el diagrama de momentos se tiene que M = 6036 N-mm, por tanto el valor del módulo de la sección transversal, según la ecuación 7, será:

$$S = M/\sigma d ; S = 48.67 \text{ mm}^3 \quad (8)$$

Para el diseño se utilizó Nylamide (Sy=45MP), se consideró un factor de seguridad N=2 [6], el esfuerzo de diseño máximo será:

$$\sigma' < \sigma d = Sy/N$$

$$\sigma d = 250 \text{ MPa} / 2 = 125 \text{ MPa}$$

El diámetro del eje deberá ser:

$$D = \sqrt[3]{32S/\pi} \quad (9)$$

$$D = \sqrt[3]{32 * (48.67 \text{ mm}^3) / \pi} ; D = 7.91 \text{ mm} ; D \cong 8 \text{ mm.}$$

Para comprobar el diseño se realizó el estudio de tensiones en SolidWorks, Figura 7; se observa en la escala de Von Mises que el esfuerzo máximo  $\sigma'$  y el esfuerzo de diseño  $\sigma d$  cumpliendo con la ecuación 7 tanto para el carro transportador como para las guías de traslado.

$$\sigma' < \sigma d$$

Para el carro transportador:

$$116.2 \text{ MPa} < 125 \text{ MPa}$$

Para las guías del transportador:

$$102.5 \text{ MPa} < 155 \text{ MPa}$$

**C. Diseño del sistema mecánico para movimiento del eje Y.**

Para el eje Y, al cual se lo debe colocar en la dirección del eje Y indicado en la Figura 2.

En la Figura 8 se observa el diseño mecánico del movimiento del eje Y.

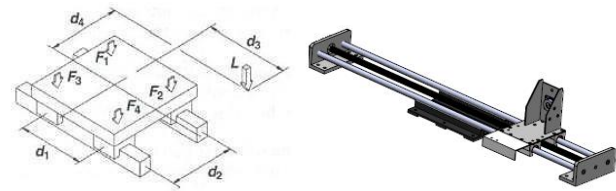


Fig. 8. Mecanismo de movimiento del eje Y

Cuando una fuerza se aplica a un sistema de guías, en cada apoyo se encuentra diferentes fuerzas, que se determinan utilizando el siguiente sistema de ecuaciones [6] 10, 11, 12 y 13 de acuerdo a la Figura 8.

$$F1 = L/4 - L/2(d3/d1 + d4/d2) \quad (10)$$

$$F2 = L/4 + L/2(d3/d1 - d4/d2) \quad (11)$$

$$F3 = L/4 - L/2(d3/d1 - d4/d2) \quad (12)$$

$$F4 = L/4 + L/2(d3/d1 + d4/d2) \quad (13)$$

$$F1 = 81.7 \text{ N}; F2 = 52.3 \text{ N}; F3 = 81.7 \text{ N}; F4 = 111.1 \text{ N}$$

Las fuerzas mayores son F3 y F4 para realizar el análisis de esfuerzos se escoge los ejes guías, el momento flector máximo de la estructura, correspondiente al eje Y.

Si se considera un factor de seguridad N = 2; material para el eje SAE 304 (Sy=310 MPa).

De la ecuación 4, el esfuerzo de diseño máximo será:

$$\sigma' < \sigma d = Sy/N ; \sigma d = 310 \text{ MPa} / 2 = 155 \text{ MPa}$$

Del análisis de fuerzas y el diagrama de momentos se tiene que M = 43192.16 N-mm, por tanto el valor del módulo de la sección transversal, según la ecuación 7, será:

$$S = M/\sigma_d; S=348.32 \text{ mm}^3$$

El diámetro del eje deberá ser:

$$D = \sqrt[3]{32S/\pi}$$

$$D = \sqrt[3]{32*(348.32\text{mm}^3) / \pi}; D=15.25 \text{ mm}; D \cong 16 \text{ mm}.$$

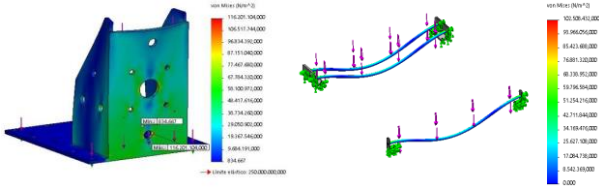


Fig. 9. Análisis de Von mises para el mecanismo de movimiento del eje Y

Para comprobar el diseño se realizó el estudio de tensiones en SolidWorks, Figura 9; se observa en la escala de Von Mises que el esfuerzo máximo  $\sigma'$  y el esfuerzo de diseño  $\sigma d$  cumpliendo con la ecuación 4 tanto para el carro transportador como para las guías de traslado.

$$\sigma' < \sigma d$$

Para el carro transportador:

$$116.2 \text{ MPa} < 125 \text{ MPa}$$

Para las guías del transportador:

$$102.5 \text{ MPa} < 155 \text{ MPa}$$

#### D. Selección del husillo de bolas para los ejes X, Y.

Para la selección se consideró el eje Y, debido a que soporta mayor carga, se utilizó la fuerza calculada  $L_y = 58.8\text{N}$

Si se considera un factor de seguridad  $N = 3$ , material del husillo AISI SAE-410 ( $S_y = 449.1 \text{ MPa}$ ).

El esfuerzo de diseño máximo según la ecuación 7 será:

$$\sigma = 276 \text{ MPa}/3 = 92 \text{ MPa}$$

Del análisis de fuerzas y el diagrama de momentos se tiene que  $M=14695 \text{ N}\cdot\text{mm}$ , por tanto el valor del módulo de la sección transversal está dado por la ecuación 8:

$$S = 14695 \text{ Nmm} / 149.7 \text{ MPa} = 98.16 \text{ mm}^3$$

El diámetro del husillo debe ser según la ecuación 9:

$$D = \sqrt[3]{32 * (98.16\text{mm}^3) / \pi}; D = 9.9 \text{ mm}; D \cong 10 \text{ mm}$$

#### E. Cálculo del torque para los motores.

Se realiza el cálculo del torque para el eje Y, ya que soporta la mayor carga debido a la fuerza sobre el peso de los ejes X, Y;

La inercia total  $J_s$ , se calcula mediante la sumatoria de las inercias en la ecuación 13.

$$J_s = J_{MESA} + r * (J_{HUSILLO} + J_{MOTOR}). J_{mesa} = \frac{m(\frac{r_h}{2\pi})^2 * 10^{-6}}{n_p} \quad (13)$$

$$n_t = \frac{1}{1 + \frac{\pi d \phi}{P_h} * u_c} \cdot n_t = \frac{1}{1 + \frac{\pi * 16}{5\text{mm}} * 0,006} \cdot n_t = 0,943$$

$$n_p = 0,943 * 0.9 \cdot n_p = 0,849$$

Por lo tanto:

$$J_{mesa} = \frac{6\text{kg} * (\frac{5\text{mm}}{2\pi})^2 * 10^{-6}}{0,849} \cdot J_{mesa} = 4,56 * 10^{-9} \text{kg} * \text{m}^2$$

La inercia del husillo de bolas se obtiene por:

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

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

La inercia total es:

$$J_s = 4,53 * 10^{-9} + 1 * (1,61 * 10^{-3} + 0,83 * 10^{-4}) (\text{Kg} * \text{m}^2)$$

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

El torque total viene dado por:

$$T_{tot} = r * T_E + T_D(N * m) \cdot T_E = T_{pr} + T_L + T_{rod}$$

$$T_L = \frac{F_A * P_h * 10^{-3}}{2\pi * n_p} \cdot F_A = F_L + u_s(F_V + F_P) \cdot F_V = P + F_{RW}$$

Con  $T_E$ ,  $T_L$ ,  $F_L$  y  $F_V$  calculamos el torque total:

$$F_A = 0 + 0.10(58,8 + 0.10 * 58,8)\text{N} = 6.5\text{N}$$

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

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

El torque dinámico se obtiene:

$$T_D = \bar{\omega} * J_s = \left(2513.27 \frac{\text{rad}}{\text{seg}^2}\right) (1,31 * 10^{-4} [\text{Kg} * \text{m}^2]) = 0,39(\text{N} * \text{m})$$

Para el cálculo del torque se tiene:

$$T_{tot} = r * T_E + T_D(N * m) = 1 * (0.08 + 0,39)\text{N} * \text{m} = 0,47[\text{N} * \text{m}]$$

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

$$T_{motor} = T_{tot} * n = 0,705(\text{N} * \text{m})$$

### 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. 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.

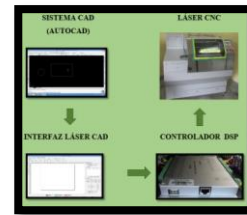


Fig. 10. Esquema universal de funcionamiento LÁSER CNC

En la Figura 10, 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.

### A. Selección de los elementos del sistema electrónico de control.

En la figura 11, 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.



Fig. 11. Diagrama de bloques de las tarjetas controladoras.

### B. Selección de las tarjetas controladoras

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 1, se enumera dos tipos de tarjetas controladoras de láser de similares características

Tabla 1. Características de diferentes controladores láser

Características	MS10105	DSP AWC608
Comunicación	Puerto Paralelo	Bus universal serie o red
Software compatible	Moshidraw 2012	AutoCAD 2008, lasercad
Ejes de control para coordenadas	X,Y	X,Y,Z,U
Control de limit switch para coordenadas	X,Y	X,Y,Z,U
Control de home switch para coordenadas	X,Y	X,Y
Sistema de refrigeración	NO	SI
Control del láser	SI	SI
Aplicación	Corte	Corte, grabado

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,Z, U controlar potencia del tubo láser, salidas de comunicación para el sistema de refrigeración y varias formas de comunicación. A partir de esta elección el equipo adicional, ya viene especificado y seleccionado por lo que se detalla a continuación.

#### 1.- 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.

### 2. 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.

Para la enlace de la fuente con el tubo láser se realiza la siguiente conexión como se muestra en la figura 12.

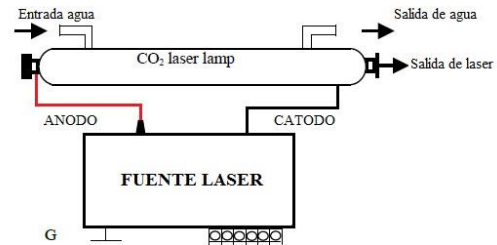


Fig. 12. Conexión de la fuente láser

### C. 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.

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

- Lásercad
- Moshidraw

Se opta por el software LáserCad por ser un paquete informático que recomienda el fabricante de AWC608.

## IV. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA

Una vez finalizado el diseño y selección del sistema mecánico, como se observa en la Figura 13, se procede a realizar el ensamblaje o implementación de sus piezas.



Fig. 13. Implementación del sistema mecánico.

### A. 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 14.



Fig. 14 Mecanismo desplazamiento del eje “Y”

### B. 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 15.

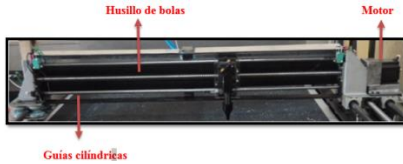


Fig. 15 Mecanismo desplazamiento del eje “X”

### C. 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 16, se puede observar todo el sistema mecánico para el proceso de corte láser.

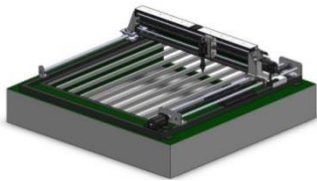


Fig. 16 Implementación del sistema mecánico.

### D. Implementación de los sistemas de control.

#### 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 17), 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.



Fig. 17 Final de carrera.

#### 2. 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 18) 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



Fig. 18 Sensor herradura

#### 3. Panel principal de control para el sistema automático del cortador láser CNC

En la caja frontal en la parte inferior (figura 19) 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).

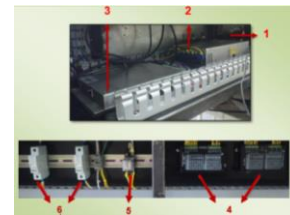


Fig. 19 Caja principal en la parte inferior

En la parte superior de la maquina 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).



Fig. 21 Panel de control del prototipo.

En la parte posterior de la maquina (figura 21) se adjuntara lo unidad de generación de láser:



Fig. 21 Fuente de radiofrecuencia (Generador láser).

#### 4. Control de los motores a pasos:

El control sobre el desplazamiento y velocidad de la herramienta para el corte, se da por la manipulación del estado de los motores. Para determinar las frecuencias de operación del motor de acuerdo a su velocidad.

Los pasos por revolución se determinan mediante la resolución del motor. 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:

$$\text{micropasos por revolución} = \frac{\text{pasos por revolución}}{\text{micropasos del driver}}$$

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

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.

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:

Dónde:

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

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

$$\text{paso del husillo de bolas} = 5000 \text{ Um o } 5 \text{ mm}$$

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

La sintonización del desplazamiento se realizó mediante el ingreso de Um/micropaso y la ayuda del sintonizador de LáserCad.

#### E. 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.

## 1. Corte en madera

Para determinar la precisión del corte se realizó varias piezas, se adquirió cinco circunferencias 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 22.



Fig. 22. Materia prima para determinar la precisión

Los datos de las mediciones realizadas a las circunferencias, se indican en la Tabla II y se representan gráficamente en la Figura 23.

TABLA II. Mediciones de los diámetros en las circunferencias.

Circunferencia	NÚMERO DE MEDICIÓN	MEDIDA REAL	PIEZA 1	PIEZA 2	PIEZA 3	PIEZA 4	PIEZA 5
			Plano X	40,000	40,020	40,05	40,06
Plano Y	40,000	39,93	39,91	39,89	39,88	39,87	
PROMEDIO	40,000	40	39,97	39,98	39,97	39,97	



Fig. 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 III

TABLA III. Error en las circunferencias

Circunferencia	NÚMERO DE MEDICIÓN	ERROR 1	ERROR 2	ERROR 3	ERROR 4	ERROR 5
		Plano X	-0,02	-0,05	-0,06	-0,07
Plano Y	0,07	0,09	0,11	0,120	0,13	
PROMEDIO	0,045	0,07	0,085	0,095	0,1	

Mediante los datos obtenidos de la Tabla III 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 24. En la Tabla IV muestra los datos obtenidos de las mediciones realizadas.



Fig. 24 Mediciones del Cuadrado

TABLA IV. Medición de los cuadrados.

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

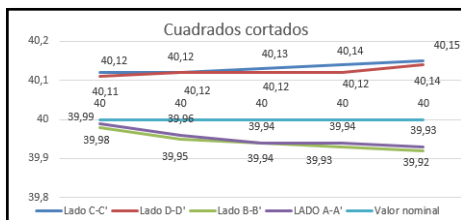


Fig. 25 Gráfico de mediciones de las circunferencias.

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

TABLA V 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
<b>1 (Lado C-C')</b>	-0,12	-0,12	-0,13	-0,14	-0,15
<b>2 (Lado D-D')</b>	-0,11	-0,12	-0,12	-0,12	-0,14
<b>3 (Lado A-A')</b>	0,01	0,04	0,6	0,06	0,07
<b>4 (Lado B-B')</b>	0,02	0,05	0,06	0,07	0,08

Con los datos de la Tabla V 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.

## V. 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 cm<sup>2</sup>, potencia de corte de 80 vatios a una velocidad entre el rango de 1 – 250 mm/s, controlada por un DSP AWC608 mediante la interfase 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 CO<sub>2</sub>, 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 CO<sub>2</sub> 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.

## RECONOCIMIENTOS

Un agradecimiento imperecedero a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por el apoyo económico para realizar el proyecto, al Departamento de Energía y Mecánica, a la Carrera de Ingeniería Mecatrónica y a la ESPE Extensión Latacunga por brindarnos la oportunidad de desarrollar proyectos de iniciación científica en conjunto entre docentes y estudiantes que aporten al desarrollo industrial Ecuatoriano.

## REFERENCIAS