

Diseño y construcción de una máquina CNC para el corte y grabado en madera utilizando láser de CO₂, implementado con hardware y software de uso libre como Sistema de control.

Ana Pamela Castro Martin, Darío Fernando Guamán Lozada
Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE
Latacunga, Ecuador
{apcastro; dfguaman}@espe.edu.ec

Resumen— En el presente documento se detalla el proceso de diseño, construcción e implementación de una máquina CNC para corte y grabado en madera. El sistema de control se implementó utilizando hardware y software de uso libre, gracias a diversas ventajas que ofrece frente al software propietario, siendo las más importantes: el bajo costo y la fácil modificación del código fuente; logrando de esta manera una máquina personalizada y de fácil acceso para pequeñas empresas. Esta máquina consta de un sistema mecánico tipo cartesiano con movimiento bidimensional; el corte y grabado es posible gracias al haz de luz generado por el tubo láser de CO₂ que proyectado mediante espejos llegan hasta un lente que focaliza el haz en un solo punto, ocasionando el incremento de la temperatura y la incineración del material, el diseño de las partes más importantes de la máquina se realizó con la ayuda del software SolidWorks, comprobando el correcto funcionamiento y asegurando los cálculos realizados, evitando de esta manera restricciones antes de comenzar con la construcción. Para el diseño eléctrico-electrónico se consideró elementos que en su mayoría se pueden encontrar en el mercado local; el circuito electrónico cuenta con una tarjeta “Beagle Bone Black”, en esta se cargará y modificará LasaurApp de acuerdo a los requerimientos de nuestra máquina, respetando los derechos del autor bajo licencia GNU Linux. En el capítulo de pruebas se constata el diseño obteniendo errores de precisión, velocidad y posicionamiento.

Palabras Claves - hardware libre; software libre; sistemas de control; tarjeta Beaglebone Black; máquinas CNC.

I. INTRODUCCIÓN

La mayoría de sistemas de control numérico computarizado (CNC) son privados para los usuarios. El fundador del proyecto informático GNU, Richard Stallman sostiene que “El software privativo es como una dictadura, un golpe a la sociedad que impone un sistema muy injusto” “Un programa es Software Libre si respeta la libertad del usuario y la solidaridad entre su comunidad, mientras que los programas que no son libres privan la libertad a sus usuarios, los mantiene divididos e impotentes” [1], esto causa que ingenieros, estudiantes; y más, no tengan la libertad para estudiarlo mucho menos distribuirlo, tan solo programar..

Actualmente los diferentes tipos de maquinaria automática utilizada en procesos industriales como es el caso de la maquinaria CNC, que usan medianas y grandes industrias del Ecuador, se encuentran controladas por hardware y

software privado. A pesar de que en la República del Ecuador no existen antecedentes precisos sobre maquinaria CNC, es importante destacar que se han hecho esfuerzos por parte de empresas privadas para la introducción de máquinas CNC al mercado, así como compañías o talleres que las adquieren mediante importación para mejorar sustancialmente sus procesos y trabajos [2].

El sector productivo ecuatoriano tiene un déficit de producción para competir con mercados internacionales, uno de estos problemas se debe a la falta de nuevas tecnologías en el proceso de fabricación de los productos, como lo menciona la Red Ecuatoriana de Aseguramiento de la Educación Superior “Ecuador no ha logrado aún poner en marcha un plan nacional que desarrolle las capacidades y potencialidades en investigación y desarrollo tecnológico” “se evidencia la necesidad de fortalecer activos fundamentales para el desarrollo del país, su productividad y competitividad tales como la innovación” [3].

II. HARDWARE Y SOFTWARE LIBRE

La parte fundamental del hardware implementado en el sistema de control es una tarjeta embebida “Beagle Bone Black (BBB)”, se refiere a hardware libre porque todos los diseños, así como el esquema de funcionamiento se encuentran colgados en la red [4], esta tarjeta en coordinación con un microcontrolador ATmega permiten el control de la máquina (Aire asistente, drivers, Fuente del láser, entrada de los sensores, etc.).

La BBB utiliza un sistema operativo Ubuntu, mientras que el microcontrolador utiliza el “bootloader” típico de las tarjetas Arduino Uno, además de un código GRBL encargado de interpretar los códigos G enviados desde la BBB [5].

Las modificaciones realizadas dentro de la Aplicación LasaurApp fueron: la modificación del área de trabajo, velocidades, interfaz de usuario y la traducción al español.

```
work_area_dimensions: [1210, 910]
```

En el código GRBL se realizó diferentes modificaciones como la cantidad de pasos por milímetros necesarios para alcanzar la resolución deseada, dependiendo de la configuración de los drivers donde:

$$\#Pasosxmilimetro_x = \frac{1100}{22 * 3} = 16.66$$
$$\#Pasosxmilimetro_y = \frac{800}{(22 * 3 * i)} = \frac{800}{(22 * 3 * 1.375)} = 8.8154$$

```
#define CONFIG_X_STEPS_PER_MM 16.666666
#define CONFIG_Y_STEPS_PER_MM 8.8154565
```

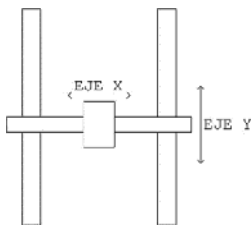
Además se estableció la aceleración máxima en 2m/s^2 y una velocidad máxima de 6000mm/min

La comunicación entre la máquina y la computadora puede establecerse gracias a que cuando se energiza la BBB se ejecuta un script que inicializa LasaurApp, a su vez la BBB interviene como servidor en una red local, de donde es fácil el acceso mediante cualquier navegador que soporte HTML5 como Mozilla Firefox, Google Chrome, entre otros. Dentro de la BBB se configuro los adaptadores Wireless y Ethernet para poder obtener una dirección ip automáticamente (DHCP).

III. DISEÑO

A. Mecánico

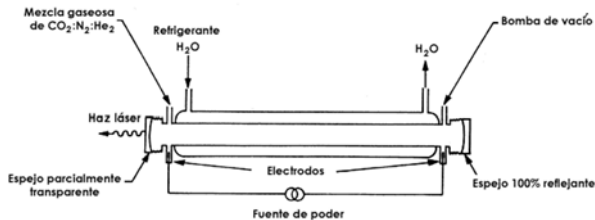
El diseño del sistema mecánico considero las principales estructuras de las máquinas CNC [6], tomando como base un sistema cartesiano como se muestra en la Fig. 1.



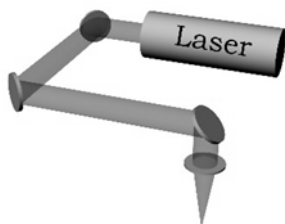
El sistema cartesiano nos ofrece una configuración ortogonal entre sus ejes, siendo importante realizar el análisis en las siguientes partes de la máquina:

1) Láser de CO_2 y Óptica

El láser de tubo sellado de CO_2 contiene una mezcla de gases (CO_2+N_2), que al paso de electricidad se excitan y des-excitan provocando una liberación de energía en forma rayos láser, este láser sale por un espejo semitransparente ubicado en un extremo del tubo [7] como se muestra en la Fig. 2.

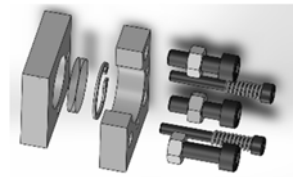


El láser debe ser guiado mediante espejos hasta llegar al cabezal (ver Fig. 4.), quien es el encargado de realizar el corte gracias a un lente que focaliza el rayo láser en un solo punto, estos espejos soportan una potencia máxima de 120Watt y tienen un diámetro exterior de 20mm , la trayectoria se muestra en la Fig. 3.

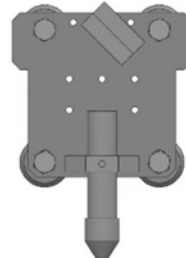


Para poder modificar la trayectoria del haz del láser se decidió

construir soportes para espejos fáciles de calibrar como se ve en la Fig. 4.

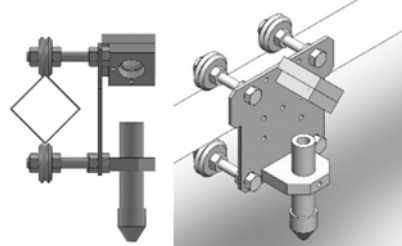


El lente tiene una distancia focal fija y está determinada por el fabricante, la distancia focal utilizada fue de 50.8mm con un diámetro de 18mm

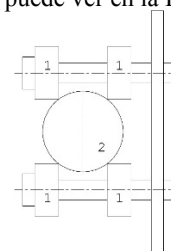


2) Sistema Cartesiano

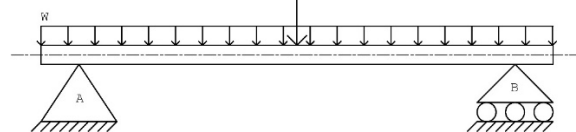
El sistema cartesiano cuenta con dos ejes de movimiento (X, Y) el eje X es donde se desplazara el cabezal, este cuenta con cuatro ruedas ubicadas como se muestra en la Fig. 6.



Este eje a su vez se desplazara sobre el eje "Y", el movimiento de este se lo realiza utilizando una guía circular y rodamientos como se puede ver en la Fig. 7.



El análisis de cada uno de los ejes se los considero como vigas simplemente apoyadas como se puede ver en la Fig. 8.



Con las dimensiones de los perfiles de las guías escogidos se obtuvo unos factores de seguridad de 3.33 para la guía lineal del eje "X" y de 20.76 para la guía lineal del eje Y.

3) Actuadores

Los motores que se utiliza son motores paso a paso que transmiten el movimiento mediante una banda sincrónica de 3mm de paso, el motor del eje "X" tiene una polea de Z=22, mientras el motor del eje "Y" tiene acoplado un sistema de transmisión de poleas (i=1.375), y a la salida un eje con poleas de Z=22 (Ver Fig. 9.).

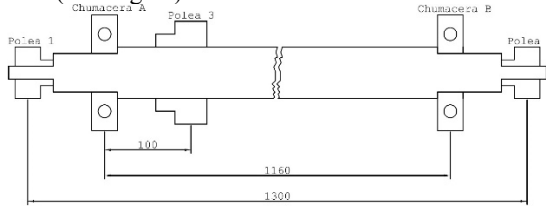


Fig. 9: Viga simplemente apoyada.

Después de haber determinado el torque necesario para desplazar cada uno de los ejes, y considerando la configuración del sistema de movimiento, se procede a seleccionar y configurar los motores paso a paso. Siendo la resolución requerida por el sistema de 0,06mm, se procede a calcular el número de pasos por revolución necesarios obteniendo:

$$\#Pasos_x = \frac{Z_{p1}p}{r} = \frac{(22)3mm}{0.06 mm} = 1100 [Pasos/Rev]$$

$$\#Pasos_y = \frac{Z_{p1}p}{r \cdot i} = \frac{(22)3mm}{(0.06 mm)(1.375)} = 800 [Pasos/Rev]$$

Los motores a pasos normalmente cuentan con 200pasos/rev, siendo necesario utilizar micropasos para alcanzar la resolución deseada. En la tabla 1 podemos ver los valores típicos de micropasos que se puede configurar en los controladores, teniendo 4 micropasos como valor exacto para el motor en el eje "Y" y 8 micropasos como valor cercano para el motor del eje "X".

Tabla 1: Micropasos comunes en diferentes Drivers.

PASOS	200	400	800	1600	3200	6400	12800	256000
MICROPASOS	1	2	4	8	16	32	64	128

El torque necesario en cada uno de los motores se ve afectado directamente por el uso de los micropasos (19.51% para el motor en "X" y 38.27% para el motor en "Y"), de donde se obtiene que el torque que necesitaran los motores será mayor o igual a:

$$T_{mx} = \frac{0.16Nm}{0.1951} = 0.82Nm$$

$$T_{my} = \frac{0.42Nm}{0.3827} = 1.1Nm$$

B. Eléctrico - Electrónico

Para realizar el diseño eléctrico, se consideró las cargas eléctricas instaladas en la máquina así como el voltaje de operación, se detalla en la tabla 2.

Tabla 2: Parámetros eléctricos de la máquina.

Carga	V	P[W]	Cantidad	P total [W]
Motores a Pasos	24Vdc	192	2	386
Ventilador	12Vdc	100	1	100
Bomba de Agua	12Vdc	23.8	1	23.8
Tarjeta Controladora	5Vdc	10	1	10
Fuente láser	110Vac	80	1	80
TOTAL				600

La parte fundamental del diseño electrónico, considera el uso de un microcontrolador ATmega, que cuenta con diferentes interfaces de entrada y de salida hacia sensores y actuadores como se muestra en la Fig. 9.

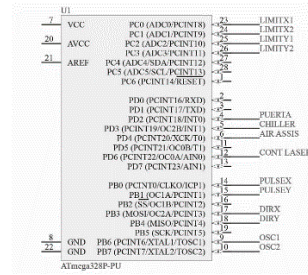


Fig. 10: Configuración de pines Atmega 328p-PU.

Cuenta además con un circuito de protecciones que funciona independientemente del circuito de control, este circuito deshabilita la emisión del rayo láser cuando el sistema haya encontrado un final de carrera, el enfriador se encuentre desactivado o la puerta este abierta; lo podemos apreciar en la Fig.10.

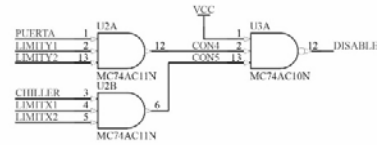


Fig. 11: Circuito de deshabilitación del láser de CO2.

La tarjeta electrónica terminada y con los elementos soldados se ve en la Fig. 11.

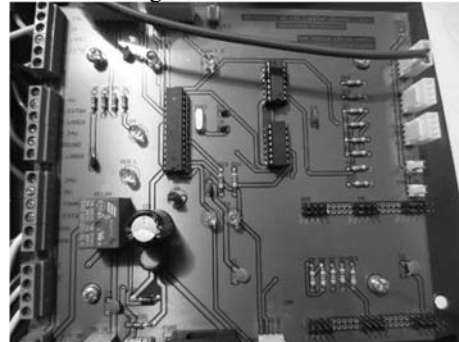


Fig. 12: Implementación de la placa electrónica

IV. INTERFACE HOMBRE-MÁQUINA

El software implementado posee una interface gráfica que es accesible a través de conexión USB, wi-fi o ethernet. A continuación se describe el funcionamiento.

"LasaurApp es una aplicación de control principal para Lasersaur (Láser CNC). Se instala en el driver de Lasersaur y se accede a través de la red local (Ethernet o WiFi) con un navegador web." [5] No requiere ninguna instalación de software o el controlador en el ordenador del usuario y se accede a través de <http://lasersaur.local>.

Las principales características son las siguientes:

- Enviar archivos vectoriales para la Lasersaur
- Importar archivos y optimizar
- Formatos de archivo admitidos son: SVG, G-Code, DXF
- GUI para mover / correr la cabeza del láser
- Parada, pausa, trabajos continuos [5]

En la Fig. 13. se observa la interfaz que tiene el programa, cuenta con una barra de menú principal, y una barra de herramientas lateral.

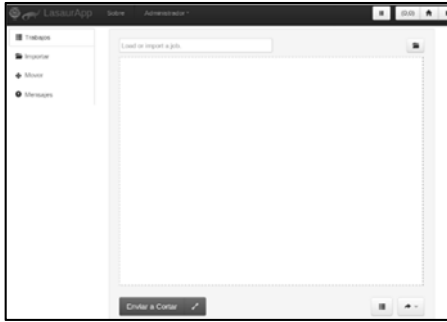


Fig. 13: Interfaz LasaurApp Modificada.

En la barra de menús principal se encuentran los siguientes elementos:

A. Sobre

Muestra información sobre el programa, los autores y la versión del firmware como se observa en la Fig. 14.

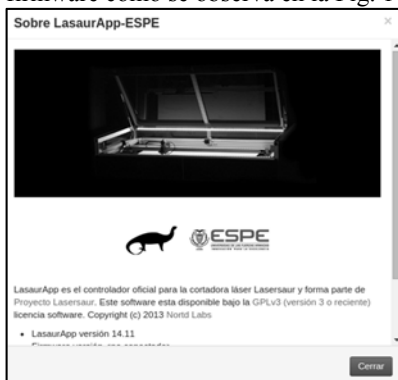


Fig. 14: Menú Sobre.

B. Administrador

Este cuenta con dos submenús (Ver Fig. 15).

- **Compilar y cargar desde la fuente.-** Sirve para cargar el firmware en el ATmega 328p-PU
- **Reseteo ATmega.-** Este comando enviara una nivel lógico 1 por el pin P9-44 de la BBB, reseteando el microcontrolador.

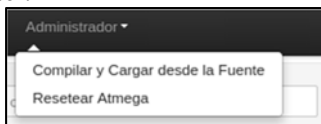


Fig. 15: Menú Administrador.

C. Menú

En la barra de herramientas tiene 4 menús descritos a continuación:

- **Trabajos.-** En este menú se puede visualizar el trabajo activo. (Ver Fig. 16).



Fig. 16: Herramienta Trabajos.

- **Importar Archivo.-** Este menú muestra la opción para importar dos diferentes formatos de Archivos .dxf y .svg (Ver Fig. 17).

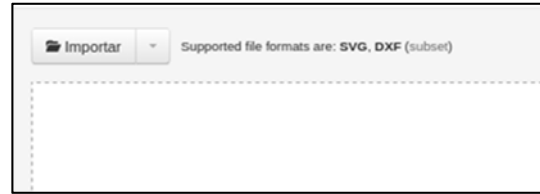


Fig. 17: Herramienta Importar Archivo.

- **Mover.-** Este muestra los comandos básicos necesarios que enviaran la orden al ATmega para que el cabezal se desplace sobre la mesa, así como también hay la opción de realizar cortes sin tener precargado archivo alguno, utilizando o no asistente de aire (Ver Fig. 18).

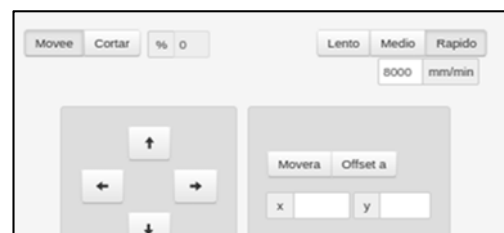


Fig. 18: Herramienta Mover.

- **Mensajes.-** Este muestra los mensajes de aviso que se van generando mientras se ejecute el programa, así como mensajes de error y advertencia (Ver Fig. 19).

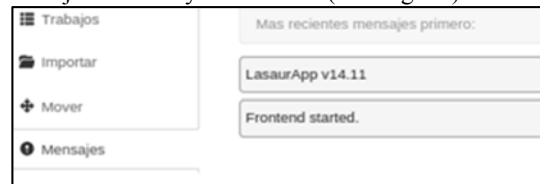


Fig. 19: Herramienta Mensajes.

D. Botones de Estado

Lasaur App, cuenta también con tres botones principales ubicados al lado derecho en la parte superior (Ver Fig. 20):



Fig. 20: Botones de Estado.

- **Conectado/Desconectado.-** Muestra si existe comunicación entre la BBB y el ATmega.
- **Puerta.-** Muestra si se ha cerrado la puerta de la máquina.
- **Enfriador (Sistema de refrigeración).-** Muestra si se ha energizado el enfriador.

E. Botones de Mano

Existen 4 botones de mando que permite al usuario realizar varias funciones

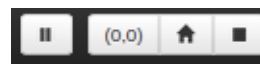


Fig. 21: Botones Mando.

- **Pause.-** Detiene el trabajo que esté realizando la máquina dejando en cabezal en el mismo lugar.
- **(0,0).-** Envía al cabezal láser al origen con coordenadas x=0 e y=0.
- **Home.-** El motor "x" y el motor "y" se moverán hasta que el cabezal láser se desplace a uno de los extremos alcanzando los finales de carrera correspondientes a cada

eje (x, y) encontrando de esta manera el punto de referencia (0,0).

- **Stop.-** Se detiene cualquier trabajo en ejecución, resetea el ATmega y envía al cabezal al origen (0,0).

V. PROCESO GENERAL DE FUNCIONAMIENTO

La máquina de corte y grabado con láser CO2 dispone de las especificaciones técnicas descritas en la Tabla 3, las cuales son importante que el usuario conozca antes de operar la máquina.

Tabla 3: Especificaciones técnicas

Potencia del láser	80 [W]
Área de trabajo	1200 x 900 [mm]
Velocidad máxima	6000 [mm/min]
Resolución	0.06 [mm]
Aceleración	2000 [mm/s ²]
Voltaje	110Vca
Dimensiones	1500mm X 1500mm

A. Puesta en marcha

- Revisar que no exista ningún objeto que interfiera con el movimiento del cabezal.
- Conectar el cable de alimentación.
- Encender el sistema de refrigeración (Chiller).
- Conectar la entrada de aire comprimido y regular la presión a 0.2 MPa.
- Desactivar paro de emergencia
- Encender el absolvedor de humo.

B. Comunicación

Existen 3 formas para establecer comunicación entre la PC y la máquina: USB, Ethernet y Wi-fi



Fig. 22: Comunicación

- **Configuración Wi-fi.-** Conectar el cable USB al computador, ingresar por ssh a la terminal de la tarjeta BBB, a continuación en el archivo interface editar las líneas: a wpa-ssid se ingresa entre comillas el nombre de la red y wpa-psk entre comillas la contraseña como se observa en la figura. Reiniciar la tarjeta y levantar la interface con el comando: ifup wlan0.

```
# WiFi Example
auto wlan0
iface wlan0 inet dhcp
    wpa-ssid "the internets"
    wpa-psk "itpinthehouse"
```

Fig. 23: Configuración wi-fi

C. Trabajo

Para el trabajo de la máquina ingresar a la interface por medio del navegador.

- Importar un archivo con extensión .dxf o .svg.
- Añadir a cola de trabajo.
- Configurar la velocidad de corte y la potencia del láser.
- Enviar a Home.
- Enviar a cortar.

VI. PRUEBAS Y RESULTADOS

A. Pruebas del sistema mecánico.

Las pruebas mecánicas que se procedieron a hacer fueron: de perpendicularidad, precisión, velocidad, posicionamiento y profundidad de corte.

1) Prueba de perpendicularidad

Al ser el sistema una estructura cartesiana, es de importancia comprobar la existencia de perpendicularidad

entre sus ejes (X e Y), se cortó 5 veces un triángulo como se muestra en la Fig. 24.

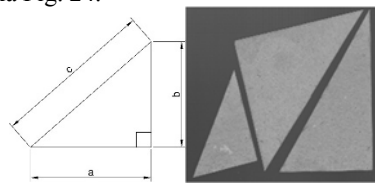


Fig. 24: Triangulo de Prueba.

Se midió los lados, y la hipotenusa para compararlos con valores calculados como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4: Valores obtenidos en la prueba de perpendicular.

a (medido)	b (medido)	c (medido)	c (c = $\sqrt{a^2 + b^2}$)	Error %
98,7	99,1	140,03	140	0,02
68,9	49,4	84,91	85	0,1
129	99	160	163	1,84
118,48	69	137,34	137	0,25
18,7	9,3	20,6	21	1,9
Media				0,82
Desviación				0,96

Como se puede observar de la Tabla 4 el error promedio alcanzado es de 0.82, con una desviación estándar de 0,96.

2) Prueba de velocidad

Para realizar la prueba de velocidad se introdujo diferentes coordenadas para X e Y, determinando con un cronometro el tiempo que toma llegar al destino, los resultados se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5: Datos obtenidos en la prueba de velocidad.

X	Y	Velocidad	Distancia recorrida	Tiempo cronometrado	Tiempo calculado	Error %
1000	0	2000	1000	30,5	30,16	1,13
1000	0	4000	1000	15,4	15,33	0,46
1000	0	6000	1000	10,6	10,05	6,01
0	800	2000	800	24,1	24,16	0,25
0	800	4000	800	12,4	12,33	0,57
0	800	6000	800	8,31	8,05	3,23
800	800	2000	1131	33,8	34,09	0,85
800	800	4000	1131	17,3	17,29	0,06
800	800	6000	1131	10,65	11,36	2,63
Media						1,69
Desviación						1,95

Como se puede observar de la Tabla 5 el error promedio alcanzado es de 0,1.69, con una desviación estándar de 1,95.

3) Prueba de precisión

Se realizaron cortes en diferentes espesores de madera de la pieza que se observa en la Fig. 25, tomando distintos valores para el valor de X e Y.

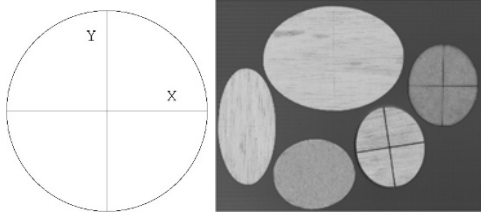


Fig. 25: Pieza de prueba.

Se comparó la distancia que cortó con la distancia real, y se procederá a tabular los datos como se puede ver en la Tabla 6.

Tabla 6: Datos tomados en la prueba de precisión.

Reales		Medidos		Promedio mediciones		Error %	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
70	60	69,7	59,85	69,81	59,86	0,43	0,25
		69,76	59,93				
		69,84	59,77				
		69,96	59,9				
120	90	119,87	89,70	119,88	89,81	0,11	0,33
		119,94	89,71				
		119,97	89,88				
		119,76	89,97				
80	140	79,65	140,15	79,74	140,02	0,44	0,11
		79,72	139,96				
		79,76	140,3				
		79,84	139,67				
70	130	69,3	130,20	69,81	130,63	1,00	0,15
		69,75	129,56				
		69,89	129,84				
		69,79	129,92				
50	100	49,58	99,50	49,73	99,80	0,84	0,50
		49,62	100,03				
		49,96	99,76				
		49,78	99,94				
Media						0,56	0,27
Desviación						0,31	0,13

El error promedio que se puede obtener de los datos tabulados de la Tabla 6 es de 0.56% para el eje X y 0.27% para el eje Y, estos valores dado el nivel de precisión necesaria por la aplicación son mínimos, cabe indicar que estos valores incluyen el error por medición.

4) Prueba de posicionamiento

Se realiza grabado de vectores sobre una superficie en la que se encuentra preestablecido los ejes X e Y, para luego constatar con las coordenadas introducidas en el controlador.

Tabla 7: Datos obtenidos en prueba de posicionamiento.

Coordenadas Enviadas		Coordenadas Medidas		Error %	
X	Y	X	Y	X	Y
50	50	49,92	47,79	0,16	4,62
300	700	300,8	700,3	0,27	0,04
500	400	500,7	400,09	0,14	0,02
580	780	580,45	779,73	0,08	0,03
50	700	49,92	700,35	0,16	0,05
Promedio				0,16	0,95

De los resultados que arroja esta prueba se puede notar que el nivel de exactitud en la prueba de posicionamiento representa el 99.84% para el eje X y el 99.05% para el eje Y.

5) Prueba de profundidad de corte en madera.

Para comenzar las pruebas de profundidad de corte, se configura constante la potencia suministrada por el láser a un 100% que equivale a 80W, partiendo de esto se variara la velocidad decrecientemente de 6000 mm/min hasta alcanzar una velocidad que realice un corte adecuado para según el

espesor del material.

Tabla 8: Profundidades de corte.

Material	Espesor [mm]	Velocidad [mm/min]	Potencia [%]
Balsa	2	4000	15
	4	4000	30
	15	1000	100
Triplex	2	1500	100
	4	800	100
	6	650	100
MDF	3	1000	100
	6	800	100
Cartón	1	6500	50
	5	2500	100

B. Pruebas de corte

Las imágenes vectorizadas desde Inkscape o cualquier programa CAD que permita generar archivos .dxf o .svg, se carga en la aplicación LasaurApp, y envía a cortar. La Fig. 26 muestra la imagen vectorizada en el software Inkscape y la Fig. 27 se muestra el corte realizado.

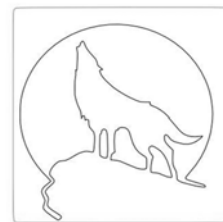


Fig. 26: Archivo extensión svg



Fig. 27: Prueba de corte

C. Pruebas de grabado

A continuación se realiza una imágenes con relleno vectorizado en el software Inkscape como se puede observar en la Fig. 28.



Fig. 28: Archivo extensión svg

El grabado se realizó con una potencia baja, asegurando que el haz del láser no corte la madera, en la Fig. 29 se puede apreciar los diferentes acabados.



Fig. 29: Prueba de grabado

La máquina en su totalidad se la puede ver en la Fig. 30.



Fig. 30: Máquina CNC láser de CO₂

VII. CONCLUSIONES

El hardware y software libre abre amplias posibilidades para la personalización de entornos e interfaces en sistemas de control de maquinaria CNC, actualmente no existe un software libre suficientemente capaz de grabar complejas figuras en 3D como los software propietarios, pero sus beneficios son importantes como es el bajo costo y fácil adquisición. Cabe mencionar la importancia de realizar un análisis sobre el tipo de controlador (libre o propietario) que posee la maquinaria según la aplicación, necesidad, alcances y limitaciones que el usuario requiera.

De las pruebas realizadas se afirma que el hardware y software de uso libre al ser implementado como sistema de control funciona en aplicaciones de corte y grabado de madera, y otros materiales afines (MDF, triplex, acrílico, cartón, papel, entre otros), teniendo en consideración los porcentajes de error alcanzados: 0.82% en la prueba de perpendicularidad, 0.56% en la prueba de precisión y 0.95% en la prueba de posicionamiento; se concluye que las guías lineales que se optó construir tienen un nivel de funcionamiento aceptable para la aplicación que van a desarrollar, cabe indicar que existen máquinas que realizan grabado a mayores velocidades pues utilizan guías lineales comerciales que disminuyen los coeficientes de fricción y rodadura.

La velocidad de trabajo para corte estará en función de las características del material a cortar, siendo el espesor del material fundamental, pues a mayor espesor se necesitará menor velocidad y viceversa; como por ejemplo para cortar una lámina triplex de 2 mm de espesor al 100% de la potencia del láser, se utilizó una velocidad de 2000 mm/min y para 6 mm de espesor una velocidad de corte de 400 mm/min.

El haz de luz proyectado es cónico, consecuentemente el corte realizado por este es diagonal sobre la pieza; lentes con una distancia focal mayor disminuirían el ángulo de inclinación obtenido de 3.18°.

134

Los bordes de la madera tienen una coloración negruzca debido a la incineración de la misma, al disminuir la velocidad se ocasiona que estos bordes se quemen más, provocando una carbonización en gran medida.

De los resultados mostrados se asevera la posibilidad de cortar madera con espesores mayores a 5 mm, afirmando uno de los objetivos planteados en este proyecto.

El haz de del láser pierde energía al incrementarse la distancia entre el punto donde se origina y el punto donde se enfoca para cortar, esto es debido a la presencia de aire en el entorno que rodea al haz de luz durante toda su trayectoria, provocando que el extremo más alejado (1180,900) pierda más energía que en el origen (0,0), está perdida de energía al ser insignificante no causa problemas durante el corte o grabado.

De la configuración que se use para los controladores de los motores paso a paso, se alcanzará precisiones más altas, ocasionando una disminución del torque exponencialmente, siendo importante tomar en consideración para diseños futuros a fin de alcanzar mejores resultados y aprovechar los beneficios de los micropasos.

REFERENCIAS

- [1] S. Richard, «ABN,» 25 Enero 2010. [En línea]. Available: abn.info.ve. [Último acceso: 26 03 2013].
- [2] M. E. Larrea Arias, Diseño y Manufactura Asistida por Computador, Guayaquil, 2010.
- [3] REACES, «REACES,» 10 04 2012. [En línea]. Available: http://www.reaces.ec/reaces/index.php?option=com_content&view=article&id=53:situacion-de-la-ciencia-la-tecnologia-e-innovacion-en-el-ecuador&catid=36:articulos&Itemid=14. [Último acceso: 26 03 2013].
- [4] NexLab, «Osso Beaglebone I/O expansion cape,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.nexlab.net/product/osso-beaglebone-io-expansion-cape/>. [Último acceso: 8 Abril 2015].
- [5] S. Hechenberger, «lasersaur,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.lasersaur.com/manual/lasaurapp>. [Último acceso: 23 Enero 2015].
- [6] Ospina y P. Diaz, «Descripción del diseno y construcción de un torno de control numérico.,» Ingeniería y Ciencia, Nuevo Leon, 2005.
- [7] D. Vallejo, «SISTEMA DE GRABADO CON LÁSER,» INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, México D.F., 2007.

BIOGRAFÍA

Darío F. Guamán



Nació en Quito, Ecuador. Bachiller en Físico Matemático en el colegio Nacional Fernando Daquilema, Egresado de la carrera de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.
E-mail: dfguaman@espe.edu.ec

Ana P. Castro



Nació en Ambato, Ecuador. Bachiller en Físico Matemático en el colegio Nacional Ambato, Egresada de la carrera de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.
E-mail: apcastro@espe.edu.ec

Héctor C. Terán.



Nació en la ciudad de Latacunga, Ecuador. Es Ingeniero Electromecánico, estudios de posgrado en Redes Industriales, Gestión de energías, Seguridad Industrial y riesgos de trabajo, Docente Tiempo completo en la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.

E-mail: heteran@espe.edu.ec

Wilson O. Trávez



Nació en Latacunga, Ecuador. Es Ingeniero Electrónico en Control, dispone estudios de Posgrado en Redes Digitales Industriales, Docente Tiempo parcial en la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.
E-mail: wotravez@espe.edu.ec