

## SISTEMA CNC DE DOBLE PROPÓSITO PARA DIGITALIZACIÓN DE IMÁGENES Y REPRODUCCIÓN CON TECNOLOGÍA LÁSER

Jaime Fabián Sánchez Castillo, Isidro Robledo Vega\*, Carmen L. García Mata, Alberto Pacheco González, Rogelio E. Baray Arana  
Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Chihuahua  
División de Estudios de Posgrado e Investigación  
Ave. Tecnológico #2909, Col. 10 de mayo, Chihuahua, México  
Teléfono. +52(614)201-2014  
castilloj32@outlook.com, [isidro.rv, carmen.gm, albeto.pg, rogelio.ba]@chihuahua.tecnm.mx  
\*Autor de Correspondencia

### RESUMEN.

Este artículo presenta el desarrollo de un sistema CNC para la digitalización de imágenes de hasta 0.84 x 1 metros. Se ha montado una cámara digital en el cabezal que captura secuencias de imágenes con un determinado traslape entre ellas. Estas imágenes traslapadas son unidas utilizando técnicas de alineamiento y costura para generar un ortomosaico de alta resolución que es convertido a Código G para ser grabado con tecnología láser. Se proporciona una doble funcionalidad al sistema CNC al montar en el cabezal un módulo láser que permite realizar grabado en diferentes materiales. Se presentan experimentos de digitalización y grabado láser de diferentes imágenes para demostrar la funcionalidad del sistema CNC desarrollado.

**Palabras Clave:** sistemas CNC, alineamiento de imágenes, costura de imágenes, grabado láser.

### ABSTRACT.

This article presents the development of a CNC system for the digitization of images up to 1 x 0.84 meters in size. A digital camera has been mounted on tool head that captures image sequences with a certain overlap between them. These overlapping images are stitched together using alignment and stitching techniques to generate a high resolution orthomosaic that is converted to G Code to be engraved with laser technology. Dual functionality is provided to the CNC system by mounting a laser module on the tool head that allows engraving on different materials. Digitization and laser engraving experiments of different images are presented to demonstrate the functionality of the developed CNC system.

**Keywords:** CNC systems, image alignment, image stitching, laser engraving.

### 1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la creación de obras artísticas está limitada a la habilidad del artista, la reproducción de las obras originales queda limitada a una única pieza, reduciendo la capacidad de esta para ser conocida o distribuida en mayores cantidades. Para cualquiera de las técnicas de reproducción, el primer paso es la digitalización de la pieza original, este proceso depende de sus características físicas. Si son pinturas o dibujos de tamaño reducido, una imagen tomada con una cámara de alta resolución será suficiente o también se puede usar un escáner

convencional; si el tamaño es muy grande, para obtener una buena digitalización será necesario utilizar técnicas y aparatos de digitalización especializados. Algunos de estos aparatos digitalizan las piezas por partes y luego las combinan. La costura de imágenes combina múltiples fotografías que se superponen en diferentes áreas lo que genera una vista panorámica en una sola imagen con alta resolución [1].

El ojo humano tiene un campo de visión cerca de 135° x 200°, mientras que una cámara tiene un campo de alrededor 35° x 50° que resulta mucho más reducido, es por eso que la costura de imágenes toma varias imágenes con cierto traslape entre ellas y genera una imagen compuesta u ortomosaico con un campo de visión más grande [2].

Últimamente se ha observado el crecimiento del mercado para piezas de arte reproducidas por medio de grabado con tecnología láser, esto se debe al desarrollo de las tecnologías de emisión de rayos láser y su consecuente reducción de costos. El maquinado por medio de rayos láser es una técnica relativamente nueva, se sabe que hay una creciente atención enfocada en este campo debido a sus características de corte y a que es aplicable a una amplia gama de materiales como metales, cerámica y madera[3]. Mediante esta técnica es posible hacer cortes geométricos de gran dificultad usando sistemas automatizados. Gracias a los avances, el grado de precisión de la forma, la velocidad de eliminación y la calidad de la superficie durante el proceso de maquinado dependerán de las propiedades de los materiales, de las características de la fuente láser y de los parámetros del proceso.[4]

Esta investigación se enfocó en digitalizar piezas artísticas mediante la captura de varias imágenes para luego unirlas obteniendo como resultado una sola imagen de tamaño real con alta resolución y posteriormente realizar su reproducción por medio de grabado con tecnología láser. Se realizó el diseño y construcción de un sistema cartesiano para realizar la digitalización de una pieza original y su reproducción con grabado láser sobre algún material sólido como madera o cartón. El tamaño de las piezas que se pueden digitalizar y

posteriormente reproducir es de hasta 840 mm de ancho por 1050 mm de largo.

## 2. DISEÑO DEL SISTEMA CARTESIANO

El diseño del sistema CNC para este proyecto considera un área de trabajo con movimiento en dos ejes X y Y. Además, se considera el uso de dos módulos diferentes para el cabezal: una cámara digital y un módulo láser, los cuales deben ser intercambiables. La activación del módulo láser es controlada por medio de una señal PWM emitida por el controlador CNC. Esta señal PWM permite controlar la potencia emitida por el láser. Para el control de la cámara digital, primero se envía una confirmación del controlador CNC a una PC (computadora portátil) que indica si la cámara se encuentra en la posición requerida, luego la PC manda una señal para disparar la captura de la cámara, enseguida la cámara envía los datos de la imagen capturada a la PC, donde es almacenada en formato PNG.

La disposición de los ejes en el sistema CNC se muestra en la Figura 1, donde el eje X es el eje horizontal y el eje Y es el eje vertical y la dimensión total del área de trabajo es de 857 x 1073 mm. Para su construcción se utilizaron perfiles de aluminio extruido de 20 x 40 x 1200 mm, conectores y sujetadores de uso estándar. Se diseñaron las placas laterales para el desplazamiento sobre el eje Y y se fabricaron utilizando una impresora 3D. También se diseñaron e imprimieron en 3D las placas del cabezal para el montaje de la cámara digital y el módulo láser.

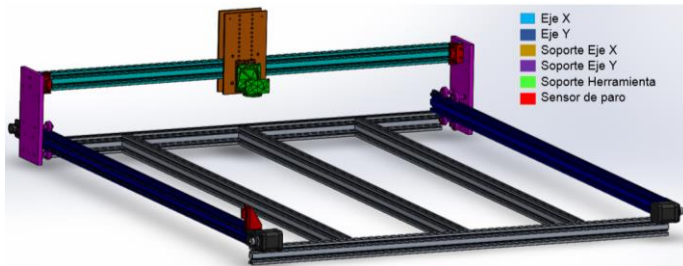


Figura 1. Estructura del sistema CNC.

El controlador CNC utilizado en este proyecto es la tablilla de expansión Arduino CNC Shield V3 que permite controlar hasta 4 motores de pasos, entre sus características tiene un modo de operación de láser dinámico, el cual controla la potencia del láser en relación a la velocidad de movimiento, esto permite dar mejor detalle a los cambios de contraste en las imágenes. Esta tablilla es montada sobre la tarjeta de desarrollo Arduino UNO que tiene instalado el firmware GRBL V1.1, este interpreta el Código G recibido de una computadora externa y lo convierte en señales de control para los motores y el módulo láser.

## 3. DIGITALIZACIÓN DE IMÁGENES

Se considera la digitalización de imágenes litográficas de gran tamaño que serían difícil de procesar con escáneres convencionales. El proceso consiste en colocar la imagen

litográfica en la cama del sistema CNC construido para luego mover la cámara a diferentes posiciones a través de una ruta para ir capturando imágenes con cierto traslape hasta cubrir la dimensión total de la imagen que se desea digitalizar. El tamaño de las imágenes adquiridas depende de las características de la cámara y la lente óptica utilizadas. El proceso de digitalización considera tres etapas: 1) la generación de la ruta de captura que es almacenada en un archivo descrito en Código G, 2) la captura de cada imagen en la posición indicada por el archivo de ruta y 3) la etapa de costura.

### 3.1. Cálculo del Campo de Visión

Los parámetros de la cámara y la lente seleccionados para el sistema se resumen en la Tabla 1. Considerando estos parámetros es posible calcular la distancia de trabajo a la que se realizará la captura, así como las dimensiones de la imagen capturada.

Tabla 1. Parámetros de la cámara y el lente.

Parámetros de la cámara	
Modelo	CMLN-13S2M
Dimensión sensor	1/3"
Resolución Máxima	1296 (H) x 964 (V)
Parámetros del lente	
Modelo	DF6HA-1B
Angulo de visión	0.7567 x .5801 rad
Distancia focal	6 mm

Considerando una distancia de trabajo (*WD* por sus siglas en inglés) de 176mm se utiliza la siguiente fórmula para calcular el campo de visión lineal (*FOV* por sus siglas en inglés).

$$FOV = \tan(AFOV/2) (2WD) \quad (1)$$

Entonces se calcula el campo de visión lineal en las direcciones horizontal y vertical

$$FOV(H) = \tan\left(\frac{0.7567 \text{ rad}}{2}\right) 2 \times 176 \text{ mm} \approx 140 \text{ mm} \quad (2)$$

$$FOV(V) = \tan\left(\frac{0.5801 \text{ rad}}{2}\right) 2 \times 176 \text{ mm} \approx 105 \text{ mm} \quad (3)$$

De esta forma se obtiene una imagen con dimensiones de 140 x 105 mm.

### 3.2. Generación de Ruta de Captura en Código G

Para la generación de la ruta de captura es necesario considerar las dimensiones de la imagen capturada y el porcentaje del traslape requerido. Considerando la siguiente ecuación, se determina el avance en milímetros que ejecuta el sistema CNC:

$$Avance = FOV \left(1 - \frac{\%traslape}{100}\right) \quad (4)$$

Donde *FOV* es el campo de visión en milímetros de cada imagen capturada, de esta manera el avance solo representa un porcentaje de sus dimensiones. Considerando un traslape de 30% en el eje horizontal (eje X) y vertical (eje Y) se calculan los avances:

$$\text{Avance } X = 140 \text{ mm} \left(1 - \frac{30\%}{100}\right) \approx 98 \text{ mm} \quad (5)$$

$$\text{Avance } Y = 105 \text{ mm} \left(1 - \frac{30\%}{100}\right) \approx 73.5 \text{ mm} \quad (6)$$

Luego es necesario considerar el máximo recorrido que la cámara debe desplazarse para que su campo de visión siempre permanezca dentro del área de la imagen, como se muestra en la Figura 2. Este cálculo se realiza con las siguientes ecuaciones:

$$m_{limx} = dim_{imx} - camarafov_h + offset_x \quad (7)$$

$$m_{limy} = dim_{imy} - camarafov_v + offset_y \quad (8)$$

Donde *m<sub>limx</sub>* y *m<sub>limy</sub>* representan el recorrido máximo en los ejes X y Y respectivamente, *dim<sub>imx</sub>* y *dim<sub>imy</sub>* son las dimensiones de la imagen a digitalizar, *camarafov<sub>h</sub>* y *camarafov<sub>v</sub>* se refieren al campo de visión de la cámara, *offset<sub>x</sub>* y *offset<sub>y</sub>* son las distancias iniciales con respecto al origen del sistema CNC a donde la cámara debe desplazarse para que el origen del campo de visión este alineado con el del sistema, como se aprecia en la Figura 3. Todas estas medidas están dadas en milímetros. Entonces se calcula el recorrido máximo horizontal y vertical para una imagen de 400 x 275 milímetros:

$$m_{limx} = 400 \text{ mm} - 140 \text{ mm} + 8 \text{ mm} = 268 \text{ mm} \quad (9)$$

$$m_{limy} = 275 \text{ mm} - 105 \text{ mm} + 30 \text{ mm} = 200 \text{ mm} \quad (10)$$

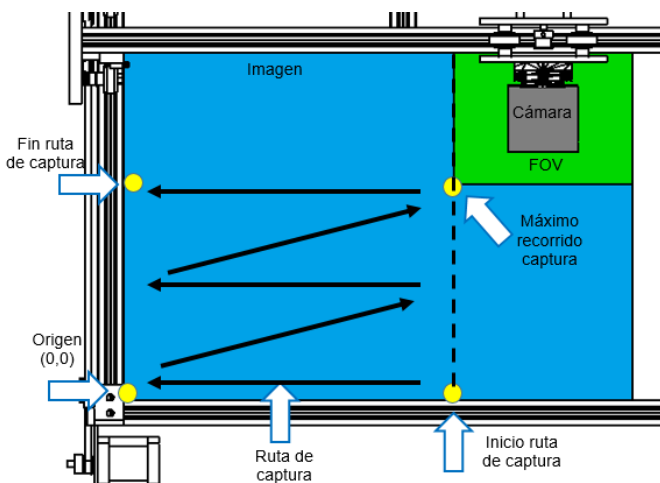


Figura 2. Ruta seguida para la digitalización.

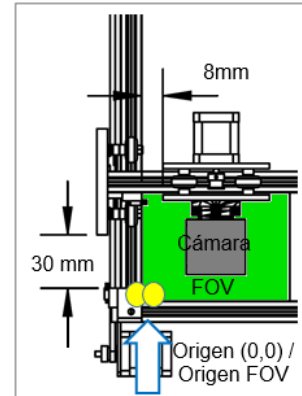


Figura 3. Desplazamientos (*offsets*) del *FOV* con respecto al origen del sistema CNC.

A continuación, se muestran unas líneas de Código G generado para una ruta de captura de imágenes, en amarillo se muestra el encabezado, con color verde los comandos de desplazamiento en los ejes X y Y con avances de 98 y 73.5 mm respectivamente, y en azul los comandos para activar y desactivar la cámara.

```
G92 X0 Y0 Z0; Inicia en la coordenada de origen.
G1 F2000; Fija la Velocidad = 2000 mm/min
M5; Inicia con herramientas apagadas
S1000; Habilita el uso de herramientas
G1 F2000 X268 Y30; Avanza al primer punto de captura
M3; Activa el disparo de la cámara
G4 P3; Retardo de captura
M5; Desactiva el disparo de la cámara
G1 F2000 X170.0 Y30; Avanza al siguiente punto de captura
M3; Activa el disparo de la cámara
G4 P3; Retardo de captura
M5; Desactiva el disparo de la cámara
G1 F2000 X72.0 Y30; Avanza al siguiente punto de captura
M3; Activa el disparo de la cámara
G4 P3; Retardo de captura
M5; Desactiva el disparo de la cámara
G1 F2000 X268 Y103.5; Avanza al siguiente punto de captura
```

#### 4. ALINEAMIENTO Y COSTURA DE IMÁGENES

Las imágenes capturadas en la etapa de adquisición son unidas mediante algoritmos de alineamiento y costura para generar una sola imagen de alta definición, denominada ortomosaico. El proceso comienza con la lectura de las imágenes en una secuencia de izquierda a derecha y arriba a abajo como lo muestra la Figura 2, la resolución de cada imagen es de 1236x907 pixeles. Para la implementación del algoritmo de alineamiento y costura de imágenes se utilizaron las funciones de la librería OpenCV, tomando como referencia la implementación del procedimiento de costura avanzada [4].

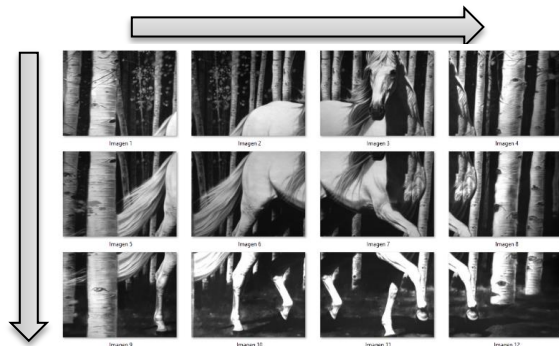


Figura 2. Secuencia de lectura de imágenes.

#### 4.1. Detección y Emparejamiento de Rasgos

Esta etapa inicia aplicando el detector de rasgos SURF y un método emparejamiento con búsqueda de los 2 rasgos más cercanos, este proceso se aplica por cada par de imágenes adyacentes. La búsqueda de rasgos se realiza utilizando un umbral de distancia, el cual es definido por el descriptor del rasgo en cuestión, finalmente los emparejamientos encontrados son almacenados en un arreglo de datos. Es importante remarcar la importancia de contar con un traslape suficiente entre imágenes adyacentes para que puedan realizarse el emparejamiento de rasgos. La Figura 5 muestra el resultado del proceso de detección y emparejamiento de rasgos entre un par de imágenes adyacentes de secuencia de la Figura 4, se pueden observar los rasgos emparejados sobre el área de traslape de las imágenes adyacentes.

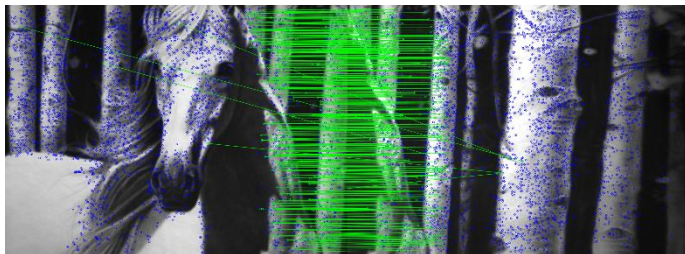


Figura 5. Resultado de la detección y emparejamiento de rasgos.

#### 4.2. Estimación de Parámetros para el Alineamiento de Imágenes

Enseguida se calculan los parámetros de rotación y traslación relativa entre pares de imágenes adyacentes que permitirán aplicar una transformación geométrica para alinearlas. Por tratarse de imágenes en el mismo plano se considera el cálculo de una homografía plana [5] donde  $Z=0$  y el distancia focal  $f=1$ . Esto da como resultado solo parámetros de traslación presentes en la matriz de transformación  $H$ . Se utiliza un arreglo de datos para almacenar los parámetros de traslación estimados para cada imagen como se muestra en la Figura 6.

$$\begin{aligned}
 H0 &= \begin{bmatrix} 1 & 1.072 \times 10^{-03} & 412 \\ -1.072 \times 10^{-03} & 1 & 3.172 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} H1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 H2 &= \begin{bmatrix} 1.001 & 3.902 \times 10^{-03} & -632 \\ -3.902 \times 10^{-03} & 1 & -2.455 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} H3 = \begin{bmatrix} .998 & 6.438 \times 10^{-03} & -1252.5 \\ -6.438 \times 10^{-03} & .998 & 1.373 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 H4 &= \begin{bmatrix} .998 & 1.171 \times 10^{-03} & 415 \\ -1.171 \times 10^{-03} & .998 & -471.7 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} H5 = \begin{bmatrix} .997 & 1.576 \times 10^{-03} & 4.054 \\ -1.576 \times 10^{-03} & .997 & -473.7 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 H6 &= \begin{bmatrix} 1 & 5.355 \times 10^{-04} & -634 \\ -5.355 \times 10^{-04} & 1 & -472.8 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} H7 = \begin{bmatrix} .997 & 3.129 \times 10^{-03} & -1251.9 \\ -3.129 \times 10^{-03} & .997 & -471.2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 H8 &= \begin{bmatrix} .998 & -3.678 \times 10^{-03} & 420 \\ 3.678 \times 10^{-03} & .998 & -947.9 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} H9 = \begin{bmatrix} .998 & -6.987 \times 10^{-03} & 9.79 \\ 6.987 \times 10^{-03} & .998 & -954.4 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 H10 &= \begin{bmatrix} .997 & 9.369 \times 10^{-04} & -632.1 \\ -9.369 \times 10^{-04} & .997 & -939.2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} H11 = \begin{bmatrix} .996 & -1.984 \times 10^{-03} & -1254.1 \\ 1.984 \times 10^{-03} & .996 & -944.2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Figura 6. Parámetros estimados de la homografía plana para las imágenes de la Figura 2.

#### 4.3. Ajuste Global de Parámetros

Posteriormente se toman los parámetros estimados, los cuales relacionan la posición relativa entre los pares de imágenes adyacentes y se realiza un ajuste global, el cual considera la variación de los puntos de cada imagen, en relación al conjunto de puntos de todas las imágenes. Los parámetros ajustados se almacenan en el mismo arreglo de datos. En la Figura 7 se muestran los parámetros ajustados, se aprecian pequeños cambios en las matrices de transformación  $H$ .

$$\begin{aligned}
 H0 &= \begin{bmatrix} 1 & 1.037 \times 10^{-03} & 412.1 \\ -1.037 \times 10^{-03} & 1 & 3.322 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} H1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 H2 &= \begin{bmatrix} .998 & -1.16 \times 10^{-03} & -629.3 \\ 1.16 \times 10^{-03} & .998 & -5.441 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} H3 = \begin{bmatrix} .996 & 3.707 \times 10^{-04} & -1248.1 \\ -3.707 \times 10^{-04} & .996 & -6.122 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 H4 &= \begin{bmatrix} .999 & 1.671 \times 10^{-03} & 414.2 \\ -1.671 \times 10^{-03} & .999 & -471.8 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} H5 = \begin{bmatrix} 1 & 7.878 \times 10^{-04} & 2.255 \\ -7.878 \times 10^{-04} & 1 & -474.9 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 H6 &= \begin{bmatrix} 1 & 9.991 \times 10^{-04} & -628.1 \\ -9.991 \times 10^{-04} & 1 & -478.8 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} H7 = \begin{bmatrix} 1 & 1.157 \times 10^{-03} & -1248.2 \\ -1.157 \times 10^{-03} & 1 & -479.7 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 H8 &= \begin{bmatrix} .999 \times 10^{-01} & 6.184 \times 10^{-05} & 417.4 \\ -6.184 \times 10^{-05} & .999 & -946.5 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} H9 = \begin{bmatrix} .998 & 6.275 \times 10^{-04} & 6 \\ -6.275 \times 10^{-04} & .998 & -949.1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 H10 &= \begin{bmatrix} 1 & 6.632 \times 10^{-03} & -628.4 \\ -6.632 \times 10^{-03} & 1 & -949.3 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} H11 = \begin{bmatrix} 1 & 1.271 \times 10^{-03} & -1253.2 \\ -1.271 \times 10^{-03} & 1 & -952.9 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Figura 7. Parámetros ajustados.

#### 4.4. Transformación Geométrica

En esta etapa se realiza una transformación geométrica para alinear las imágenes utilizando un modelo afín. Las imágenes alineadas formarán parte de la composición final. La Figura 8 muestra la posición de cada imagen transformada dentro de la imagen final u ortomosaico.

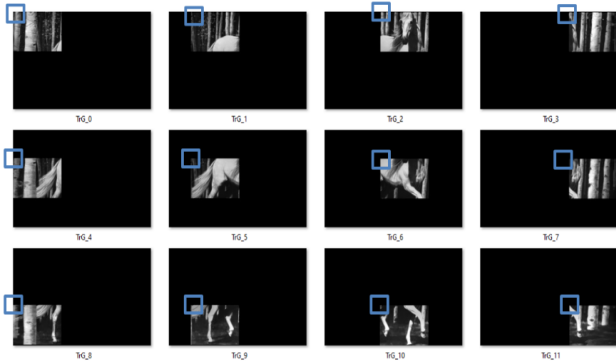


Figura 8. Imágenes transformadas y proyectadas sobre el plano de composición.

#### 4.5. Costura de Imágenes

En esta etapa se lleva a cabo la costura de las imágenes alineadas, para lo cual se realizan tres tareas: 1) la compensación de la exposición de cada imagen, 2) la estimación de la costura o ruta de píxeles entre imágenes y 3) la mezcla de las imágenes. Para la compensación de la exposición se utiliza un método por bloques [6], el cual divide las imágenes en conjuntos o bloques, los cuales son caracterizados y en base a esta caracterización se calcula un promedio para la exposición de todos los bloques. La Figura 9 muestra una imagen antes y después del proceso de compensación de la exposición.



Figura 9. Imagen antes (izq.) y después (der.) de la compensación de la exposición.

La identificación de la ruta de costura o corte en el área de traslape entre imágenes se realiza mediante el método de calidad de color [7]. Se evalúan los valores de los píxeles de manera que la ruta se trace a través de píxeles con un valor de color similar.

La etapa final es la mezcla de las imágenes, la cual implementa un método de mezclado multi-banda, el cual crea  $n$  filtros del área de traslape separando los diferentes componentes de frecuencia, a los cuales se les aplica una función de ponderación para crear un desvanecimiento suave, luego las imágenes filtradas que contienen diferentes componentes de frecuencia son sumadas obteniendo una imagen resultante con una mezcla suavizada. La Figura 10 muestra el ortomosaico

resultante del procedimiento de alineamiento y costura de las imágenes de la Figura 4, la resolución final es de 3522x2223 píxeles.



Figura 10. Ortomosaico resultante del proceso de alineamiento y costura de imágenes.

### 5. GRABADO LÁSER

El objetivo del proceso de grabado láser es plasmar el ortomosaico de alta resolución sobre algún material. En este proyecto se realizaron pruebas con placas de madera de caobilla o triplay con espesor de 2 mm. Se utilizó la aplicación de código abierto denominada *LaserGRBL* para convertir el ortomosaico a Código G. Los comandos de Código G son enviados directamente al sistema CNC para controlar el movimiento del cabezal, además del encendido y variación de potencia del módulo láser.

#### 5.1. Caracterización del Módulo Láser

En esta etapa se utilizó un módulo láser Endurance de 10W de potencia y 445 nm de longitud de onda. La determinación de la longitud focal del rayo láser se realizó de forma práctica, a través de muestras de grabado a diferentes longitudes, determinando la distancia a la cual se produce una línea de grabado con menor grosor, lo que indica la mayor concentración de potencia del rayo láser. La Tabla 2 muestra las alturas o distancias de trabajo del módulo láser a la placa de madera, determinadas para diferentes espesores de placas.



Tabla 2. Distancia de trabajo del módulo láser.

Espesor madera (mm)	Altura del módulo láser (mm)
2	87
15-17	97
30	107

Definida la altura adecuada de montaje para el módulo láser, se procedió a determinar la velocidad para realizar el grabado con buena calidad y en el menor tiempo, para esto se utilizó una imagen como patrón de grabado y se variaron los parámetros de velocidad y potencia. La Tabla 3 muestra los resultados de grabado láser obtenidos utilizando una velocidad de

movimiento del cabezal de 1500 mm/min variando la potencia del láser entre 70% y 100%. Se observa que se puede obtener una buena calidad de grabado utilizando la potencia al 100%.

Tabla 3. Grabado con velocidad fija y potencia al 70% y 100%.

Calidad		
Vel.	1500	1500
Pot. %	70	100

### 5.2. Conversión del Ortomosaico a Código G

Por medio de la aplicación *LaserGRLB* se realiza una conversión línea a línea [8], es decir, se analiza la imagen por columnas y filas de píxeles, luego analiza los segmentos que contienen líneas continuas y los convierte en una ruta en Código G. Los parámetros de velocidad de movimiento, potencia del láser y el tamaño físico de la imagen de salida son muy importantes para definir los comandos de cada línea del Código G. La misma aplicación permite pre-visualizar la imagen, es decir, como se verá una vez que sea grabada con láser. La Figura 11 muestra la pre-visualización el ortomosaico de la Figura 10.



Figura 3. Pre-visualización del proceso de grabado en la aplicación *LaserGRBL*.

### 5.3. Pruebas de Grabado Láser

Se realizaron pruebas de grabado láser utilizando dos diferentes ortomosaicos obtenidos mediante el proceso de digitalización. En la Figura 4 se muestran las placas de madera grabadas con láser de las imágenes de un caballo y una cabaña, con dimensiones de salida de 400 x 275 mm y 840 x 540 mm respectivamente. El tiempo de grabado para la cabaña, que es la imagen mas grande, fue de 27 horas.



Figura 4. Placas de madera grabadas con láser a partir de las imágenes de prueba.

## 6. CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó un sistema CNC que permite digitalizar imágenes con dimensiones de hasta de 840 x 1050 mm para luego reproducirlas al mismo tamaño por medio de grabado láser. Para lograr la doble funcionalidad se diseñaron placas y se instalaron sobre el cabezal del sistema CNC para sujetar tanto la cámara digital, como el módulo láser. Se desarrolló software para digitalizar una imagen colocada en la cama del sistema CNC tomado una secuencia de imágenes para luego unir las utilizando técnicas de alineamiento y costura para producir un ortomosaico de alta resolución. Se utilizó el software *LaserGRLB* para convertir el ortomosaico a Código G y enviarlo al controlador del sistema CNC para ser grabado con láser. Se realizaron pruebas digitalizando imágenes de diferentes tamaños obteniendo ortomosaicos con excelente calidad visual. Se realizaron experimentos para determinar los parámetros de velocidad de movimiento y potencia del láser determinando que una mayor velocidad requiere mayor potencia para obtener una buena calidad de grabado en el menor tiempo posible. Se pudo observar que el tipo de madera a utilizar es un factor importante, en las pruebas se utilizaron placas de madera de caobilla y triplay de 2mm de espesor obteniendo mejores resultados con la caobilla.

## 7. REFERENCIAS

- [1] Adel, E., Elmogy, M., and Elbakry, H., "Image Stitching based on Feature Extraction Techniques: A Survey", *Int. Journal of Comp. Applications*, vol.99,no.6,pp.1-8, 2014.
- [2] Muzaffer Zeren, "A comparative study of natural stone modification by laser", *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 127, Elsevier, 2002, pp. 336-342.
- [3] Leone, C., Lopresto, V. and Iorio, I., "Wood engraving by Q-switched diode-pumped frequency-doubled Nd:YAG green laser", *Optics and Lasers in Engineering*, Elsevier, Vol. 47, Issue 1, January 2009, pp. 161-168.
- [4] Szeliski, R. (2010). *Computer vision: algorithms and applications*. Springer Science & Business Media.
- [5] Kaehler, A., Bradski, G. (2016). *Learning OpenCV 3: computer vision in C++ with the OpenCV library*. O'Reilly Media, Inc.
- [6] Uyttendaele, M., Eden, A., and Skeliski, R., "Eliminating

- ghosting and exposure artifacts in image mosaics". CVPR 2001, Vol. 2, pp. II-II.
- [7] Kwatra, V., Schödl, A., Essa, I., Turk, G. and Bobick, A., "Graphcut textures: Image and video synthesis using graph cuts", ACM Transactions on Graphics, 22(3), 277-286, 2003.
- [8] LASERGRBL.Line to line tool. [En línea] Disponible en: <https://lasergrbl.com/usage/raster-image-import/line-to-line-tool/>. [Último acceso]:14 Julio 2021.