

INTEGRACIÓN DE SISTEMA DE CONTROL DE MOVIMIENTO PARA MÁQUINA DE CORTE Y GRABADO CON LASER

INTEGRATION OF MOTION CONTROL SYSTEM FOR CUTTING AND ENGRAVING MACHINE WITH LASER

Julio Ortega Alejos

Tecnológico Nacional de México / ITS del Sur de Guanajuato, México
j.ortega@itsur.edu.mx

Manuel Alejandro Pérez Martínez

Tecnológico Nacional de México / ITS del Sur de Guanajuato, México
e15120261@alumnos.itsur.edu.mx

Heriberto López Raya

Tecnológico Nacional de México / ITS del Sur de Guanajuato, México
e15120243@alumnos.itsur.edu.mx

Daniel Guzmán Sánchez

Tecnológico Nacional de México / ITS del Sur de Guanajuato, México
e16120020@alumnos.itsur.edu.mx

José Francisco Arreola Medina

Tecnológico Nacional de México / ITS del Sur de Guanajuato, México
e16120021@alumnos.itsur.edu.mx

Recepción: 2/septiembre/2020

Aceptación: 30/octubre/2020

Resumen

Se presenta el desarrollo de una máquina de corte para aplicaciones textiles, la cual consta de tres elementos principales: sistema de posicionamiento a base de husillos, sistema de control electrónico y software de control. Se utilizó una tarjeta de propósito específico para el control de movimiento de National Instruments, que mediante una interfaz gráfica de usuario desarrollada en LabVIEW controla los motores de pasos de cada eje. Con un LASER de 15 W se logró realizar el corte y grabado sobre de tela. Se presentan también los resultados de precisión y exactitud de la máquina.

Palabras Clave: Corte con LASER, Control de movimiento, Controladores de motores y Trayectoria.

Abstract

The development of a cutting machine for textile applications is presented, which consists of three main elements: ball screw-based positioning system, electronic control system and control software. A National Instruments motion control card was used, which, through a graphical user interface developed in LabVIEW, controls the stepper motors of each axis. With a LASER of 15 W it was possible to cut and engrave on fabric. The precision and accuracy results of the machine are also presented

Keywords: *LASER Cutting, Motion Control, Motor Controllers and Path.*

1. Introducción

Problemáticas asociadas a la industria textil en la zona metropolitana Uriangato-Moroleón-Yuriria

La zona metropolitana Uriangato-Moroleón-Yuriria se ha destacado por su creciente actividad económica derivada del desarrollo de la industria textil. Para la confección de una prenda se utilizan máquinas especializadas, tales como: las máquinas de tejer, planchas automáticas, remalladoras, máquina para pegar botón, máquinas para hacer ojal, overlook, quasar, bordadoras y cortadoras LASER [Ejecutivo, 2010].

Los microempresarios carecen de equipo por los costos elevados que tienen, el precio de una cortadora LASER de procedencia China de un área de trabajo de 1.2 x 0.8 m, oscila entre los \$2500.00 y \$3800 dólares.

Una problemática adicional es la falta de personal de mantenimiento, en la zona metropolitana son 8 personas las que acaparan los servicios de mantenimiento de maquinaria y solamente 2 son las especializadas que atienden la mayoría de los servicios en temporadas altas de producción.

Al ser limitado el personal de mantenimiento los productores deben de esperar su turno para que atiendan su problemática; debido a esto los técnicos cobran sus honorarios en base al tiempo invertido desde el diagnóstico hasta la solución del problema.

Cortadoras con LASER de CO₂ en la industria textil

En la confección de una prenda es muy común utilizar las máquinas para el corte de tela. Éstas se utilizan principalmente en el proceso de bordado para confeccionar letras y formas, conocidas como aplicaciones, que luego el hilo de otra máquina cose sobre una prenda. Las cortadoras LASER remplazaron a las suajadoras manuales que hacían el mismo trabajo, pero se limitaban por la capacidad de realizar diseños y la necesidad de moldes de corte. Las cortadoras LASER no utilizan molde puesto que los diseños se hacen basados en computadora.

Un sistema de corte textil basado en LASER de CO₂ está compuesto principalmente por los subsistemas: de posicionamiento XY, de control de movimiento XY LASER de CO₂, de control de intensidad de LASER, de enfriamiento del LASER, de manejo de residuos, de seguridad y de alimentación (figura 1).

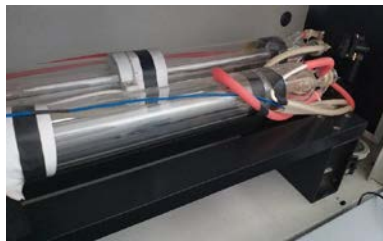


Figura 1 LASERs de CO₂ de una cortadora.

Las máquinas de corte LASER utilizadas en la industria textil son las mismas que ocupan sectores como el automotriz, utilizando regularmente LASER de CO₂ de al menos 80 W de potencia. El LASER se encuentra sobredimensionado para la aplicación de corte de tela. La causa de que se utilice la misma tecnología se puede atribuir a que todas las máquinas que se distribuyen en la zona son importadas de Estados Unidos, China, Corea y Francia, principalmente. En la actualidad las cortadoras de tela están remplazando al LASER de CO₂ por un LASER del tipo semiconductor.

LASER semiconductor

Un amplificador LASER es un dispositivo que permite incrementar la amplitud, y por lo tanto la intensidad, de un campo electromagnético, es decir, incrementar

la densidad de flujo de fotones empleando el fenómeno de la emisión estimulada como mecanismo de amplificación.

Un LASER de semiconductor es una unión p-n amplificante que cuenta con retroalimentación óptica (un resonador). Un cristal semiconductor actúa como un medio de ganancia y también como un resonador óptico. Si el coeficiente de ganancia del amplificador es lo suficientemente grande, la retroalimentación convierte el amplificador en un oscilador óptico de semiconductor, mejor conocido como diodo láser. El diodo láser es similar a un LED, pues en ambos la fuente de energía es la corriente eléctrica inyectada a la unión p-n. Sin embargo, en un LED la luz se genera por emisión espontánea, mientras que en el diodo LASER (LD) la luz se genera por emisión estimulada.

Dispositivos programables de propósito específico para el control de movimiento

El controlador de movimiento es de vital importancia en las máquinas de corte, ya que permite generar las trayectorias de los diseños mediante la sincronización de los motores. El daño de esta etapa del sistema genera una complicación en su mantenimiento al no tener suficiente información de su funcionamiento por estar en algún idioma oriental.

La complejidad de los patrones de movimiento que ejecutará el sistema, tiempo de desarrollo del sistema y costo, son las consideraciones que determinarán el tipo de dispositivo programable que se utilizará en la aplicación. A continuación, se exponen las características más importantes de 3 dispositivos programables para aplicaciones de propósito específico para el control de movimiento: Microcontrolador, Controlador Lógico Programable y Tarjeta de propósito específico para el control de movimiento.

Microchip ofrece una familia de microcontroladores de 16 bits llamada dsPICs para aplicaciones de control de movimiento. Entre las particularidades de este microcontrolador se encuentra un módulo de entrada conocido como QEI (acrónimo del inglés Quadrature Encoder Interface) el cual recibe las tres señales provenientes del Encoder digital, las procesa y entrega como resultado un número equivalente a

la cantidad de pulsos que recibió del encoder y del desfase de las señales del canal A y B. El diseñador del sistema debe desarrollar los algoritmos para realizar los movimientos deseados, utilizando en la lógica las instrucciones de propósito general que se encuentran en cualquier microcontrolador.

Los Controladores Lógicos Programables mejor conocidos como PLC (acrónimo del inglés Programmable Logic Controller) son una alternativa cuando se requiere el control de más de un solo eje. Mitsubishi ofrece la familia FX que cuenta con recursos para el control de movimiento: Entradas y Salidas de alta velocidad e instrucciones de propósito específico para el control de movimiento. Con dichas instrucciones se disminuye el tamaño del programa y el tiempo de desarrollo. Se puede configurar el patrón de aceleración y desaceleración, cambio de velocidades y paros ante la activación de sensores digitales de propósito específico. Sin incorporar módulos de expansión en un PLC de la familia FX, se pueden controlar hasta cuatro ejes y su instrucción más compleja consiste en sincronizar dos ejes para realizar una trayectoria en línea recta.

El PLC ya no es una buena opción para generar trayectorias complejas, por su limitación en la capacidad de generar dichos movimientos y en la programación de estos, puesto que se sigue trabajando con lenguaje de escalera, de bloques o en C. En su lugar se puede utilizar una tarjeta de propósito exclusivo para el control de movimiento.

National Instruments ofrece tarjetas con las cuales se pueden controlar y sincronizar hasta cuatro ejes. Con los instrumentos virtuales de LabVIEW se pueden realizar acciones como configuración de los patrones de aceleración y desaceleración, control de velocidad, arranque y paro de los ejes, monitoreo de la posición, mezclado de movimientos, realizar la rutina de posicionamiento conocida como homming, creación directa de movimientos en línea recta o en círculos. Utilizando LabVIEW como ambiente de programación se pueden crear trayectorias complejas importando las coordenadas desde un programa de diseño asistido por computadora y realizar el posicionamiento punto a punto.

Los tres dispositivos programables de aplicación específica para el control de movimiento que se describieron varían substancialmente en el costo. Un

microcontrolador de la familia dsPIC de Microchip puede costar \$200 pesos mexicanos, un PLC de Mitsubishi de la familia FX puede costar \$15,000 pesos Mexicanos y una tarjeta de control de movimiento de National Instruments para controlar y sincronizar cuatro ejes puede costar alrededor de \$40,000 pesos, sin contar los cables de interconexión entre la tarjeta y la Interface Universal de Movimiento, mejor conocida como UMI (acrónimo inglés Universal Motion Interface). En este artículo se presenta la integración del sistema de control de movimiento de una máquina de corte y grabado de telas que utiliza un LASER semiconductor y una tarjeta de propósito específico para el control de movimiento; con los objetivos de asimilar la tecnología relacionada con el control de movimiento, aumentar el número de personal capaz de atender las necesidades de mantenimiento de la industria textil y tener una opción de maquinaria nacional.

El proyecto fue financiado por el Tecnológico Nacional de México, el Gobierno del Estado de Guanajuato y el Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato a través de la convocatoria de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica 2017.

2. Métodos

El desarrollo de la máquina se divide en 3 etapas: desarrollo del sistema mecánico, desarrollo del sistema de control electrónico y desarrollo del software de control. El sistema mecánico lo componen principalmente los ejes que permitirán el movimiento en la dirección X, Y y Z, la cabina para el alojamiento del sistema de control de los motores y del LASER así como la protección de la máquina; el sistema de control eléctrico lo componen los elementos necesarios para el control de los motores de cada eje y del LASER, entre los que se encuentran: fuentes de alimentación, controladores, distribuidores de señales y panel de control; el software de control permite ejecutar los movimientos del sistema a partir de las coordenadas que se extraen del patrón que se requiere trazar en el material.

Sistema mecánico

La estructura de la máquina de corte y grabado consiste en 3 ejes que utilizan cada uno como mecanismo de movimiento a un tornillo de bolas de paso de 5 mm,

el cual convierte el movimiento rotacional de los motores eléctricos a un movimiento lineal. La máquina tiene un área de trabajo de 70 x 70 cm en el plano X-Y, mientras que en el eje Z tiene una corrida de 10 cm para enfoque del diodo LASER, figura 2.

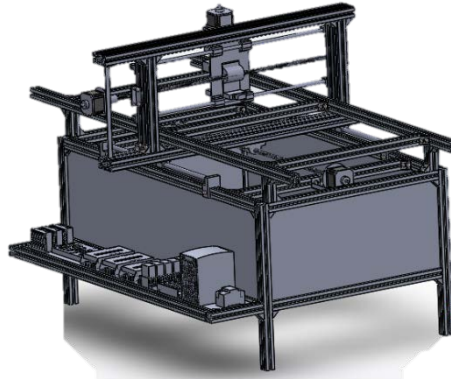


Figura 2 Estructura de máquina de corte y grabado de telas.

Cálculo del torque requerido de los motores para el desplazamiento del mecanismo (TM)

El torque total (TM) está compuesto por: el Torque de carga TL y Torque de aceleración Ta; y se calcula a partir de patrón de operación del motor descrito por la curva trapezoidal de velocidad. Se desarrolló un programa en LabVIEW para realizar el cálculo automático de la capacidad de los motores de acuerdo con el procedimiento que proporciona Oriental Motors. En la figura 3 se muestra la interfaz de usuario, en el lado izquierdo se ingresan los datos conocidos que se utiliza en cada expresión y los cuales se obtienen de las hojas de datos del tornillo de bolas, las guías lineales y de los motores; en lado derecho se obtienen los resultados de cada expresión y la capacidad necesaria del motor en Newton por Metro.

El parámetro que provoca un cambio significativo en la capacidad del motor es el tiempo en el que se desea hacer la posición de un punto a otro; como en las aplicaciones de corte por LASER el diseño con líneas continuas se debe de transformar en una serie de puntos, la cantidad de puntos que se utilizan está en función del método que se está utilizando para la conversión; la cantidad de puntos que se obtienen de una figura con dimensiones de 28 x 18 cm puede ser de 600 puntos para realizar el trazo, esto equivale a una separación entre puntos de 0.15

mm, y si el movimiento completo se desea realizar en 6 segundos, entonces se requeriría un motor para el eje principal (el que mueve a todo el sistema) de 2.7 N·m; entonces para seleccionar el motor hay un compromiso entre velocidad de ejecución del corte y costo del motor; se seleccionaron motores NEMA 34 con capacidad de 1.5 N·m para los dos ejes.

Selección de la capacidad de los motores de pasos utilizando tornillo de bolas como transmisión

Datos requeridos		Resultados del diseño	
J0		teta: Ángulo de avance en el motor por cada pulso [grados]	1.8
0.00011	Inercia del rotor, kg*m ² (0.00011016020941 kg*m ²)	A: Número de pulsos de operación;	40
m	Masa total que se debe de desplazar, Kg.	t1: Periodo de Aceleración (Desaceleración) [s]	0.00875
20		F2:Frecuencia de los pulsos de operación	1523.81
miu	Coefficiente de fricción de las superficies deslizantes	F: Carga en dirección del eje [N]	9.8
0.05		F0	3.26667
n	Eficiencia del tornillo de bolas	TL:Torque de carga [N*m]	0.00944496
0.9		JB:Inercia del tornillo de bolas	16.0824u
miu0	Coefficiente de fricción interna de la tuerca de presión piloto	JT: Inercia de la base + inercia de la carga [Kg*m ²]	12.6651u
0.3		JL:Momento de inercia total del mecanismo [Kg*m ²]	28.7476u
Db	Diametro del tornillo de bolas, m.	Ta: Torque de aceleración [N*m]	0.759975
0.012			
Lb	Longitud total del tornillo de bolas, m.		
1			
r	Densidad del material del tornillo de bolas, Kg/m ³ .		
7900			
Pb	Paso del tornillo de bolas, m.		
0.005			
Al	Resolution (avance lineal por cada paso), m.		
2.5E-5			
l	Avance lineal de la carga, m.		
0.001			
t0	Periodo de posicionamiento, s.		
0.035			

TM: Torque requerido del motor [N*M]

1.53884

Figura 3 Interfaz para determinar la capacidad de los motores de cada eje.

Desarrollo del sistema de control de movimiento (Control electrónico y software de control)

La integración de un sistema de control de movimiento consiste en la interconexión de los mecanismos necesarios para convertir un movimiento rotacional a un movimiento lineal con los motores eléctricos, impulsores, sensores, dispositivo programable, interfaz de usuario y fuentes de alimentación, figura 4.

Control electrónico

Los motores requieren de un circuito electrónico que genere las señales de excitación en la secuencia correcta en los niveles de voltaje y corriente adecuados para generar el par capaz de manipular a la carga que tiene acoplada en su eje. Este circuito es conocido como Impulsor, Driver o Amplificador, al cual le llegan

señales de control provenientes del dispositivo programable; las señales de entrada del impulsor son básicamente 3 del tipo digital: La señal de control de la dirección de giro, la señal de pulso la cual determina la cantidad de pasos que avanzará la flecha por cada pulso (la frecuencia de los pulsos determina la velocidad de la flecha) y la señal de habilitación, [USER MANUAL NI SMD-7611/7612, 2013]. Es necesario utilizar sensores en cada eje del tipo todo o nada para que el sistema tenga una referencia de sus límites de movimiento (sensores de Forward y Reverse) así como de su origen (sensor de Home).

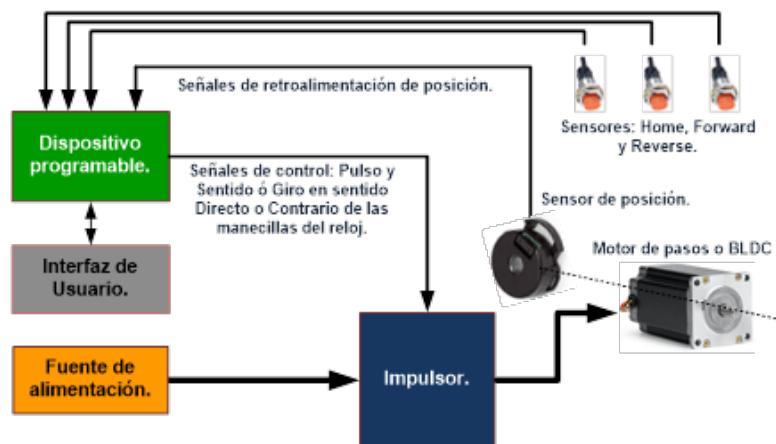


Figura 4 Elementos que integran a un sistema de control de movimiento.

Teniendo en cuenta la arquitectura de un sistema de control de movimiento, se seleccionó como dispositivo programable a la tarjeta de propósito específico para el control de movimiento PCI 7344 junto con la interfaz Universal de Movimiento UMI 7774 de National Instruments, con la cual se pueden controlar y sincronizar hasta cuatro ejes [Motion Control 7344/7334 Hardware User Manual, 2001]. La UMI requiere de dos fuentes de alimentación de 120 V de CA a 24 V CD: una para que opere la UMI más otra fuente para aislar a las señales de los sensores.

Las señales de control STEP, DIR y EN que se obtienen de la UMI, se envían a los Drivers de los motores de pasos SMD 7611 de National Instruments en los que se puede ajustar la resolución del motor desde 200 pasos por revolución hasta 20000 pasos por revolución. Cada driver dispone de una fuente de alimentación de 120 V de CA a 24 V CD para alimentar la etapa de potencia.

Se utilizaron sensores inductivos para la detección de las posiciones de Home, Reverse y Forward en cada eje, los cuales se conectan a las entradas disponibles de propósito específico para cada eje en la UMI. A través de la UMI también se conectan señales de entrada y salida del tipo digital, utilizando una salida se controla el encendido del LASER mediante el programa de LABVIEW que controla a los motores. Todo el sistema consta de un circuito de encendido controlado mediante lógica de contactos, con el cual se habilitan y deshabilitan las alimentaciones de las fuentes de poder. En la figura 5 se muestra la distribución de los componentes del circuito de control ubicado a un costado de la máquina. Los LASERs del tipo semiconductor disponibles en el mercado son de 5 y 15 W, se optó por utilizar un LASER de 15 W para asegurar el corte.

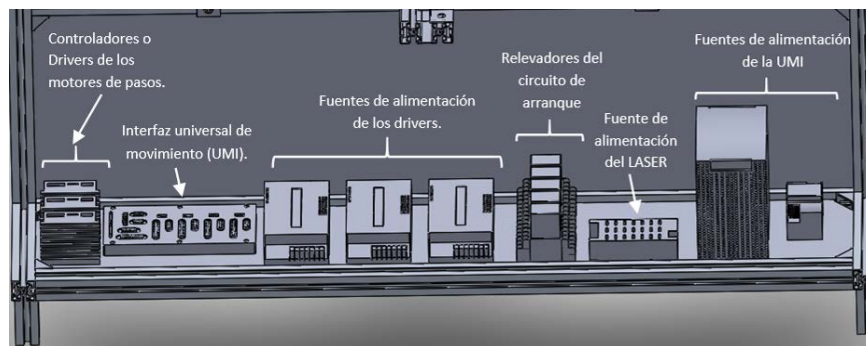


Figura 5 Componentes que conforman el sistema de control de movimiento.

Desarrollo del software de control

El diseño que se requiere trazar o grabar se realiza AutoCAD, el diseño solamente utiliza líneas rectas para solo exportar las coordenadas correspondientes a los dos puntos extremos que definen a cada línea y no saturar de puntos que no son necesarios; cuando el diseño incluye solamente trazos con líneas rectas, esta solución es muy viable; sin embargo, cuando se tienen líneas que no son rectas entonces se deben de seguir utilizando líneas rectas para aproximarse a la geometría deseada, esto conlleva a un mayor trabajo manual y tiempo de desarrollo del diseño.

El programa desarrollado en LabVIEW, figura 6, inicia con la configuración de los ejes que se van a utilizar, velocidad, aceleración, número de tarjeta que se está

utilizando y posteriormente inicia la lógica para extraer las coordenadas de cada punto para ejecutar el movimiento, se monitorea que el movimiento termine para extraer las coordenadas del siguiente punto del archivo; esta rutina se termina hasta llegar con el último punto. Con cada punto se lee también si se debe de activar o desactivar el LASER utilizando las señales digitales de la tarjeta.

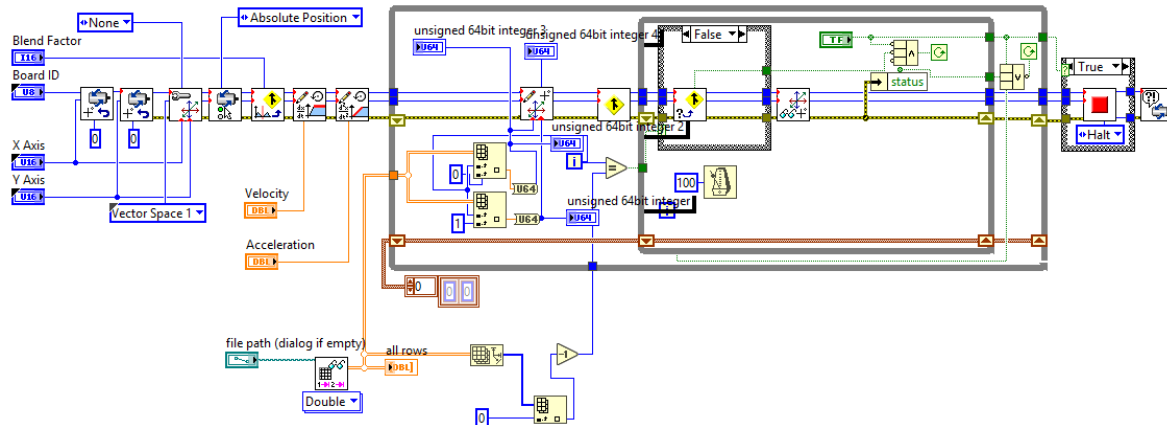


Figura 6 Software de control de la primera versión de la máquina de corte.

3. Resultados

Se diseñaron e imprimieron piezas en 3D, se maquinaron piezas en torno CNC, se conectaron todos los componentes del sistema de control de movimiento y se caracterizó el sistema por parte de alumnos de la carrera de Ingeniería Electrónica quienes están siendo capacitados para atender las necesidades de mantenimiento de la zona metropolitana, figura 7.



Figura 7 Alumnos involucrados en el desarrollo del proyecto.

En la figura 8 se muestra el circuito de control electrónico que está conformado por las fuentes de alimentación, controladores de motores, Interfaz de Movimiento Universal y circuito de encendido.



Figura 8 Componentes que conforman el sistema de control de movimiento.

En la figura 9 se muestra el grabado de un logotipo sobre madera utilizando un LASER del tipo semiconductor. Los diseños más pequeños los determinará el diámetro de 1mm del LASER, a pesar de que la máquina puede realizar movimientos en el orden de los micrómetros gracias al driver que puede configurarse con una resolución de 20000 pasos por revolución. Para las aplicaciones textiles no es necesario tener cortes tan pequeños.

Con el programa de LabVIEW se puede cambiar el tamaño del dibujo sin necesidad de realizar un nuevo diseño en Autocad. En la figura 10 se muestra el grabado del mismo logotipo en diferentes escalas. La velocidad con que se realiza el trazo está en función del material y color sobre el que se está trabajando.

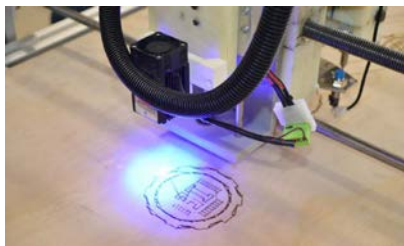


Figura 9 Figura grabada con el Diodo LASER.



Figura 10 Amplificación del grabado.

Se realizaron pruebas sobre las telas más comúnmente utilizadas en las aplicaciones (Letras de diferente tela o color que se pegan sobre las prendas) que

se realizan sobre camisas o sudaderas y se observó que la potencia de 15 W del Diodo LASER es suficiente para realizar el corte en colores oscuros a una velocidad de 4000 mm/min, pero la velocidad del trazo debe de disminuir cuando los colores son muy claros (figura 11).

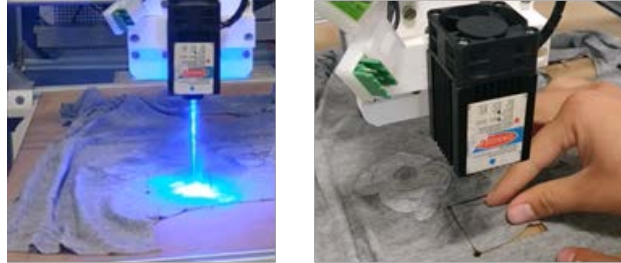


Figura 11 Corte sobre tela 100% algodón.

4. Discusión

Se realizaron pruebas de precisión y exactitud de la máquina, para ello se grabó sobre madera una matriz de puntos equidistantes. Se utilizó el método de los tres puntos que consiste en tomar un punto de referencia y medir la distancia entre los tres puntos adyacentes y repetir el mismo procedimiento sobre diferentes posiciones en la matriz (figura 12).



Figura 12 Medición de la distancia entre dos puntos de la matriz.

Se tomaron ocho puntos de referencia en diferentes posiciones de la matriz, coincidiendo con una separación entre puntos de 6.52 mm en seis de los ocho puntos. El error máximo respecto de las otras mediciones fue de 0.08 mm. El error se atribuye a una curvatura que presenta uno de los husillos en su trayectoria axial. El LASER de 15 W tuvo la capacidad de realizar el corte de telas, sin embargo, se puede aumentar la velocidad del corte si se duplicara la potencia. Un LASER de una

potencia de 30 W corresponde a 1/3 parte de la potencia que utilizan los LASERs de CO₂. Agregando una segunda óptica se puede reducir el diámetro del rayo LASER, permitiendo realizar cortes más finos.

5. Conclusiones

Con la integración de sistema de control de movimiento para máquina de corte y grabado con LASER se logró asimilar la tecnología utilizada en las máquinas para aplicaciones textiles, esto es de gran ayuda puesto que otro tipo de máquinas como cortadoras, bordadoras y tejedoras también requieren de movimientos precisos y utilizan el mismo tipo de elementos que se están utilizando en la máquina desarrollada.

Se logró desarrollar una máquina que es una alternativa a las máquinas de importación, con la ventaja que se tiene toda la información sobre el diseño y funcionamiento de los componentes. La experiencia que obtuvieron los alumnos involucrados es de gran importancia, ya que están desarrollando otra máquina para atender una necesidad de la industria automotriz.

Finalmente, los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México, al gobierno del estado de Guanajuato y al Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato el financiamiento de este proyecto.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Motion Control, NI-Motion™ User Manual.
- [2] User guide and specifications NI UMI-7774/7772.
- [3] Convenio para la constitución de la Zona Metropolitana Moroleón-Uriangato-Yuriria. Periodico Oficial del Estado de Guanajuato, págs. 24-35.
- [4] La industria Textil y del vestido en México.
- [5] Motion Control 7344/7334 Hardware User Manual.
- [6] Getting Started with NI Motion Control.
- [7] User manual NI SMD-7611/7612.
- [8] Oriental motor general catalogue.