



ESPE

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

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN**

**TEMA: SISTEMA AUTOMÁTICO DE CORTE Y GRABADO
UTILIZANDO UN MÓDULO LÁSER DE DIODOS PARA
MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN EL ÁREA DE DISEÑO
Y MAQUETERÍA EN LA FERRETERÍA “COLOR THINK”**

**AUTORES: IVETH CAROLINA CHASI BUSTILLOS
ALEX MARCELO CADENA QUIMBITA**

DIRECTOR: ING. MARCO PILATASIG

LATACUNGA

2017



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN
CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación: **SISTEMA AUTOMÁTICO DE CORTE Y GRABADO UTILIZANDO UN MÓDULO LÁSER DE DIODOS PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN EL ÁREA DE DISEÑO Y MAQUETERÍA EN LA FERRETERÍA “COLOR THINK”** realizado por los señores: **IVETH CAROLINA CHASI BUSTILLOS** y **ALEX MARCELO CADENA QUIMBITA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **IVETH CAROLINA CHASI BUSTILLOS** y **ALEX MARCELO CADENA QUIMBITA** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 20 de Octubre del 2017

Atentamente,



ING. MARCO PILATASIG
DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **IVETH CAROLINA CHASI BUSTILLOS** con cédula de identidad N°: 050312474-5; y **ALEX MARCELO CADENA QUIMBITA** con cédula de identidad N°: 050389751-4, declaramos que este trabajo de titulación: **SISTEMA AUTOMÁTICO DE CORTE Y GRABADO UTILIZANDO UN MÓDULO LÁSER DE DIODOS PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN EL ÁREA DE DISEÑO Y MAQUETERÍA EN LA FERRETERÍA “COLOR THINK”**, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 20 de Octubre del 2017

	
ALEX MARCELO CADENA QUIMBITA C.I.: 050389751-4	IVETH CAROLINA CHASI BUSTILLOS C.I.: 050312474-5



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN
AUTORIZACIÓN

Nosotros, **IVETH CAROLINA CHASI BUSTILLOS** y **ALEX MARCELO CADENA QUIMBITA**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación: **SISTEMA AUTOMÁTICO DE CORTE Y GRABADO UTILIZANDO UN MÓDULO LÁSER DE DIODOS PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN EL ÁREA DE DISEÑO Y MAQUETERÍA EN LA FERRETERÍA “COLOR THINK”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 20 de Octubre del 2017

**ALEX MARCELO
CADENA QUIMBITA
C.I.: 050389751-4**

**IVETH CAROLINA
CHASI BUSTILLOS
C.I.: 050312474-5**

DEDICATORIA

A Dios, por todas sus bendiciones y su sabiduría que ha derramado en mi vida, por enseñarme que su tiempo es perfecto y que todo lo que pasa es por su voluntad, así como también recordarme que hay ser fuerte y valiente, no tener miedo ni desanimarme porque el Señor mi Dios estará contigo donde quiera que vaya.

A mis padres, quienes me dieron la vida, por estar conmigo, enseñarme a crecer y a que si me resbalo me levante con más fuerza, por apoyarme y guiarme, por ser ejemplo de amor puro y sincero, y ser las bases que me ayudaron a llegar hasta aquí, les amo con todo mi corazón.

A mis hermanos, pese a los buenos y malos momentos nos amamos; Paty por ser esa persona que con tu alegría contagias a cada uno de nosotros, y apoyarme en todo así me equivoque y decirme “ñaña si esa es tu decisión, ora que todo va a salir bien”; Joel Patricio, recuerdos gratos tenemos y los guardamos en nuestro corazón y donde quiera que estés sé que estarás alegre por cada meta que estamos alcanzando; Joss y Geni, mis negritas por ser mi motivación para seguir adelante y no decaer, A ti José Ramón, mi ratón e hijo postizo, por ser mi fuente de inspiración para poder superarme cada día y así poder luchar por días mejores.

A mis abuelitos Augusto, Carlota, Ramón y María por ese ejemplo de constancia y perseverancia, y a cada uno de mis familiares quienes me dieron grandes enseñanzas y ser los principales protagonistas de este “sueño alcanzado”.

A mis amigos, con quienes nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas.

Iveth Carolina

DEDICATORIA

A Jehová mi Dios, quien ha estado en mis momentos más difíciles, que con todo su poder me ha ayudado cuando ya sentía desfallecer, que cuando ya sentía que no podía tu mi Dios siempre has estado ahí puliéndome en todo sentido y a la ves dándole las gracias por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida, a pesar de las equivocaciones que he causado en toda mi vida.

A mi Madre, por darme todo su apoyo, cariño, amor, ternura y más que todo su confianza en mí.

A mi Padre, quien es el pilar fundamental de mi familia, por ser un ejemplo para mí y mis hermanos, por ser tú mi motivación para seguir adelante por ser el mejor padre del mundo. Papi y Mami los Amo.

A mi Ñañita Carito por tenerme paciencia en mis momentos de locura en mis momentos de llanto y tristeza, te quiero Carito.

A mi Ñañito Mateo el mejor nanito chiquito por ser la alegría de la casa en momentos difíciles.

A mis abuelitos Papá Eduardo y Mamá Carmelina por darme siempre sus consejos que siempre me han servido cada día.

A mis Tías, Nelly, Carmen, Anita, por estar siempre cuando necesitaba mucha ayuda gracias las quiero. Y toda mi familia gracias por todo su apoyo los quiero.

ALEX

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento se dirige a quien ha forjado mi camino y me ha dirigido por el sendero correcto a Dios, el dador de la vida, Él que en todo momento está conmigo, quien guía el destino de mi vida y quien me ayudará a cumplir mis metas futuras.

A mis padres, hermanos, y familiares por estar a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para ser una mejor persona, y ser la motivación para cumplir cada uno de mis anhelos.

Alexito, que más que mi compañero de Tesis, un verdadero amigo, por ser mi consejero, porque pese a que algo anda mal te imagino sonriendo y se me pasa, “esa es tu magia”, gracias por tu apoyo incondicional.

A la Ferretería “Color Think”, quienes confiaron en las capacidades de nosotros para el desarrollo de la tesis.

Gracias a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por haberme permitido formarme en ella, gracias a todas las personas que fueron partícipes de este proceso, ya sea de manera directa o indirecta, gracias a todos ustedes, ya que fueron los responsables de realizar su pequeño aporte, que el día de hoy se vería reflejado en la culminación de mi paso por la universidad.

Iveth Carolina

AGRADECIMIENTO

En primer lugar dándole gracias a ti Jehová mi Dios, quien me ha ayudado dándome fuerzas, aguante, protección y a la vez sabiduría para culminar la carrera y así también dándole gracias por cada día de mi vida.

A mi mami quien supo darme ánimos en momentos difíciles, en momentos en la cual sentía que estaba en el piso, y cuando más necesitaba ayuda Ud. mami siempre estuvo ahí para levantarme, gracias por ser la mejor mami del mundo.

A mi padre quien supo apoyarme y darme un gran ejemplo, por ser un buen consejero cuando más lo necesitaba, y más aun corrigiéndome con cariño cuando me iba por mal camino, gracias papi.

A mi ñañita Carito que siempre estuviste a mi lado cuando derramaba lágrimas de dolor, me tuviste mucha paciencia gracias ñañita linda.

A mi hermano Mateito, el más pequeño de la familia te quiero, gracias por tus ocurrencias.

A Mamá Carmelita y Papá Eduardo gracias por ayudarme en estos meses han sido los mejores abuelitos me han dado mucho ánimo para seguir adelante.

A mis tías Nelly, Carmen, Anita que siempre estuvieron diciéndome si puedes ya te falta poco no te rindas, sus palabras y consejos me sirvieron de mucho gracias.

Y a mi familia en general muchas gracias por toda su ayuda apoyo incondicional por darme todo lo necesito amor, cariño y sobre todo gracias por confiar en mí

ALEX

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I	
ANTECEDENTES	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Antecedentes	2
1.3. Justificación e importancia	2
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo General	3
1.4.2. Objetivos Específicos	3
1.5. Variables	4
1.5.1. Variable dependiente	4
1.5.2. Variables independientes	4
1.6. Hipótesis	4
CAPÍTULO II	
FUNDAMENTO TEÓRICO	5
2.1. Sistema Automático	5
2.1.1. Características de un sistema automático	5
2.1.2. Ventajas y desventajas de los sistemas automáticos	6
a) Ventajas	6
b) Desventajas	6
2.1.3. Máquinas CNC	6
a) Control Numérico Computarizado (CNC)	6
b) Esquema General	7
2.1.4. Importancia de la Manufactura	8
2.1.5. Sistema de Control en las máquinas CNC	9

2.1.6. Grados de libertad.....	11
2.1.7. Sistemas de transmisión.....	11
2.1.8. Actuadores.....	13
2.1.9. Dispositivo Láser.....	14
a) Láser Semiconductor (Láser de diodos).....	14
2.2. Software libre.....	16
2.3. Proceso de corte y grabado de madera.....	17
2.3.1. Material a procesar.....	18
2.3.2. Ventajas del corte por láser.....	18
2.3.3. Sugerencias para cortar madera con láser.....	19
2.3.4. Parámetros del proceso de corte y grabado.....	19
CAPÍTULO III	
DISEÑO Y SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS.....	21
3.1. Componentes del sistema.....	21
3.1.1. Controlador RDC644XG.....	21
3.1.2. Módulo láser de diodos.....	22
3.1.4. Display.....	23
3.1.5. Enfriador Industrial CW-5000/5200.....	24
3.1.5. Mesa de corte y grabado.....	26
3.2. Diseño Mecánico.....	26
3.6. Diseño Eléctrico – Electrónico.....	29
3.6.1. Diseño Eléctrico.....	29
3.6.2. Diseño Electrónico.....	32
3.8. Selección de dispositivos.....	38
CAPÍTULO IV	
ANÁLISIS, PRUEBAS Y RESULTADOS.....	42
4.1. Operacionalización de variables.....	42
4.1.1. Operacionalización de variables dependientes.....	42
4.1.2. Operacionalización de variables independientes.....	42
4.2. Pruebas y resultados.....	42
4.3. Análisis de pruebas y resultados implementado el sistema automático.....	51
4.4. Análisis comparativo entre método tradicional (netamente manual) y el... sistema automático de corte.....	51
4.5. Análisis de rentabilidad y costos.....	53
4.5.1. EVALUACIÓN FINANCIERA.....	56

A.	Tasa Interna de Retorno (TIR)	56
B.	Valor Actual Neto (VAN)	57
C.	Período de Recuperación de la Inversión	57
4.6.	Análisis y resultados finales	58
4.7.	Validación de la hipótesis	60
4.7.1.	Planteamiento de la hipótesis	61
4.7.2.	Planteamiento de la hipótesis de trabajo y nula	61
4.7.3.	Designación de variables	61
4.7.4.	Valores observados	61
4.7.5.	Valor de frecuencias esperadas y observadas	62
4.7.6.	Cálculo del chi cuadrado	62
4.7.7.	Cálculo del grado de libertad y nivel de significancia	63
4.7.8.	Análisis del chi cuadrado mediante tabla	63
CAPÍTULO V		
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
5.1.	Conclusiones	64
5.2.	Recomendaciones	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		66
CERTIFICACIÓN		¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparación entre una máquina convencional vs una máquina CNC	8
Tabla 2 Botones y teclas de función del display	24
Tabla 3 Especificaciones técnicas del Enfriador Industrial CW-5000/5200	25
Tabla 4 Parámetros eléctricos de la CNC	29
Tabla 5 Pines para el control de motores	32
Tabla 6 Pines para control de los ejes “X, Y, Z”	33
Tabla 7 Pines para control del láser semiconductor	34
Tabla 8 Selección de dispositivos	38
Tabla 9 Dimensiones de las figuras de prueba	43
Tabla 10 Resultados de la prueba de calibración	44
Tabla 11 Valores óptimos para el proceso de corte y grabado según el espesor... del material	45
Tabla 12 Tiempos de proceso de corte	47
Tabla 13 Prueba de precisión – corte de un cuadrado	49
Tabla 14 Prueba de posicionamiento de láser	50
Tabla 15 Prueba de perpendicularidad – corte de un cuadrado	51
Tabla 16 Relación entre procesos y número de personas implicadas	55
Tabla 17 Costo de los materiales - Máquina CNC	56
Tabla 18 Detalle del tiempo de proceso Cajita tulipán sin detalle	58
Tabla 19 Detalle del tiempo de proceso Cajita tulipán con detalle	59
Tabla 20 Valores observados	61
Tabla 21 Frecuencia observada	62
Tabla 22 Frecuencia esperada	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Arquitectura General de una Máquina CNC	7
Figura 2. Clasificación del Sistema de Control de acuerdo a la detección de datos de la posición	9
Figura 3. Sistemas de transmisión.....	13
Figura 4. Motor a pasos modelo 753S15.....	14
Figura 5 Recombinación en la unión pn de un diodo láser semiconductor.....	15
Figura 6. Tarjeta controladora RDC644XG-A	21
Figura 7. Módulo láser de luz azul de 15W	22
Figura 8. Display.....	23
Figura 9. Parte frontal del enfriador industrial	25
Figura 10. Parte posterior del enfriador industrial	25
Figura 11. Mesa de trabajo.....	26
Figura 12. Ejes “X,Y” del carro de corte y grabado	26
Figura 13. Esquema eléctrico de convertidores AC/DC	30
Figura 14. Esquema eléctrico de los Motores a pasos	31
Figura 15. Configuración de pines	32
Figura 16. Conexión de los límites del área de trabajo de los ejes “X,Y,Z”	34
Figura 17. Conexión del módulo láser con la tarjeta controladora RDC644XG ...	35
Figura 18. Configuración del USB	35
Figura 19. Conexión entre la tarjeta controladora y los drivers	36
Figura 20. Esquema general de conexión eléctrica	37
Figura 21. Cabezal con módulo laser de diodos.....	38
Figura 22. Eje “X”	39
Figura 23. Eje “Y”	39
Figura 24. Eje “Z”	40
Figura 25. Sistema automático de corte y grabado con módulo láser de diodos	40
Figura 27. Vista frontal de la máquina con sistema automático de corte y grabado láser	41
Figura 28. Esquema de la prueba de precisión	48
Figura 29. Puntos para prueba de posicionamiento.....	49
Figura 30. Referencia para la prueba de perpendicularidad.....	50
Figura 31 Fabricación Tradicional vs Automatizada de la cajita tulipán sin detalle	59
Figura 32 Fabricación Tradicional vs Automatizada de la cajita tulipán con detalle	60

RESUMEN

En el presente proyecto se implementa un sistema automático de corte y grabado, utilizando un módulo láser de diodos para mejorar la productividad en el área de diseño y maquetería de la Ferretería “Color Think”. El análisis desde el punto de vista electrónico y de control hace énfasis en la selección de los dispositivos y componentes adecuados; junto con una correcta calibración para el desarrollo de los procesos previamente definidos, proporcionando un producto de calidad y cumpliendo con la producción establecida. La implementación de los sistemas automáticos, sus ventajas, desventajas, características y aplicabilidad dentro del área para una validación de la hipótesis planteada. Una parte fundamental tiene relación con la verificación de un correcto y eficiente desempeño cumpliendo con los objetivos y metas propuestos dentro de lapsos de tiempos más cortos; de esta manera permitiendo una maximización de recursos, desarrollo de actividades con mayor facilidad y eficiencia, disminución de tiempos de proceso e incremento de la producción lo que le provee una mayor competitividad en el área de diseño y maquetería. Los productos de calidad muestran los beneficios de la implementación de la tecnología como una herramienta para el mejoramiento continuo dentro de áreas como lo son el diseño y la producción.

PALABRAS CLAVE:

- **MÓDULO LÁSER DE DIODOS**
- **CORTE Y GRABADO**
- **AUTOMATIZACIÓN**
- **DISEÑO Y PRODUCCIÓN**

ABSTRACT

In the present project is implemented an automatic cutting and engraving system using a diode laser module to improve production in the area of design and make-up of Ferreteria "Color Think". The analysis from an electronic and control point of view emphasizes the selection of suitable devices and components; Along with a correct calibration for the development of processes and results that provide a quality product, and compliance with established production. The implementation of automatic systems, their advantages, disadvantages, characteristics and applicability within the area for a validation of the hypothesis raised. A fundamental part has a relation with the verification of a correct and efficient fulfillment with the objectives and goals proposed within the shorter times; In this way allowing a maximization of resources, the development of activities with the mayor facility and efficiency, the reduction of processing times and increased production to prove a greater competitiveness in the area of design and scale models. Product quality benefits from the implementation of technology as a tool for continuous improvement within areas such as design and production.

KEYWORDS:

- **DIODE LASER MODULE**
- **CUTTING AND ENGRAVING**
- **AUTOMATION**
- **DESIGN AND PRODUCTION**

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad las empresas tienen la necesidad de crecer, tanto en la calidad del producto como en los ingresos económicos y esto se lo alcanza con la ayuda de la tecnología al facilitar el desarrollo en las empresas manufactureras, ya que han cambiado los procesos manuales a procesos automatizados, existiendo este problema en la Ferretería “Color Think” al utilizar herramientas de mano tales como; sierra circular, sierra circular de mesa, sierra de cinta y caladoras para realizar el respectivo corte de la madera el cual no es efectivo por las imperfecciones generadas e incremento de desechos como viruta o aserrín provocando pérdida del material.

De la misma manera se efectúa el diseño en la madera pero no precisamente el grabado, siendo una gran desventaja debido a que la mayoría de clientes requiere el producto de inmediato lo que no se puede ofrecer por lo que recurren a otras empresas, factores negativos para la empresa al obtener deficiencias en los ingresos como disminución de clientes.

Además es inevitable dejar de lado la seguridad e integridad de los empleados, en vista que al trabajar con herramientas de corte que intervienen directamente con el personal, y al maniobrar de forma errónea o sustituir las cuchillas puede ocasionar cortes y lesiones de gravedad.

La empresa al estar inmersa en procesos manuales requiere que el número de personal elevado para realizar las actividades de producción con lo que se crea una mayor inversión de tiempo, dinero y recursos. Debido al reducido espacio físico se ve en la necesidad de establecer la implementación tecnológica con máquinas automatizadas para maximizar los recursos existentes y priorizando la elaboración de productos de mayor calidad que cumplan las expectativas del cliente viéndose incrementados los parámetros de producción y la flexibilidad en el diseño de modelos.

1.2. Antecedentes

A nivel mundial dentro de los procesos relacionados al diseño y grabado de madera, las empresas han implementado la automatización de procesos y maquinas-herramientas obteniendo ventajas competitivas como mayor producción, exactitud, calidad en los productos terminados, baja inversión de capital inicial y menores tiempos en proceso productivos. Los procesos de manufactura desde hace varios años están inmersos en diferentes talleres y empresas, en las que desde un comienzo los trabajos se realizan de forma manual; partiendo de esta premisa se comprende que se requiere gran habilidad humana para la creación diversos modelos en lo referente al área de diseño y maquetería; es por ello que se busca mediante la incorporación de aparatos y maquinas tecnológicas, obtener una mejora dentro del proceso productivo. (SIDEKO, 2016)

En el Ecuador actualmente se está incursionando en el automatización de procesos debido a las ventajas que estos brindan; las provincias en la cuales se ve reflejada de mayor forma son Quito, Guayaquil, Cuenca, Tungurahua, entre otras debido a la cantidad de empresas industriales existentes. (ForestalEcuador, 2011) Uno de los referentes de empresas destinadas a esta labor productiva es NOVOPAN en la ciudad de Quito. (NOVOPAN, 2017)

En la ciudad de Latacunga el campo relacionado al corte y grabado para maquetería está explotado en menor nivel; existiendo pocas microempresas destinadas a este trabajo.

1.3. Justificación e importancia

A partir de un análisis consiente de las fortalezas y desventajas presentes, la Ferretería “Color Think” se ve en la necesidad de implementar un proyecto que está orientado al corte y grabado de distintos tipos de madera mediante un módulo a láser de diodos, para facilitar la mano de obra de la empresa.

Debido a que posee un proceso manual, los equipos láser son una alternativa que puede abrir nuevas perspectivas para la empresa sobre todo porque está vinculada a campos de diseño en carpintería, juguetería y marquetería; por tal motivo se puede garantizar el corte y grabado dentro de la actividad productiva que se realiza. Esto permitirá lograr satisfacción tanto del

operario al definir el manejo, utilización, mantenimiento del sistema de forma correcta y aceptable; así como también de los usuarios al obtener un producto de calidad, con precisión, exactitud y a un costo accesible; además el sistema a implementarse permite la disminución del desecho de materia prima que se considera como un factor primordial para la conservación del medio ambiente, así como la eliminación de procesos de que requieran mayores lapsos de tiempo y precisión.

Además el proyecto tendrá como valor agregado la capacitación del personal que conforma la empresa para una correcta utilización; así como el desarrollo de un manual de usuario que contendrá especificaciones, modos de uso, tipo y dimensión del material, especificaciones para realizar el corte y grabado para evitar desperdicios de materia prima. Actualmente las soluciones industriales son muy ventajosas en cuanto al ahorro en tiempos, procesos e inversiones (dinero) y flexibilidad en el diseño de nuevos modelos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Implementar un sistema automático de corte y grabado utilizando un módulo láser de diodos para mejorar la productividad en el área de diseño y maquetería en la Ferretería “Color Think”.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar los factores que influyen en la productividad en el área de diseño y maquetería de la Ferretería “Color Think”.
- Investigar los diversos sistemas automáticos de corte y grabado existentes, para diseñar un sistema automático adecuado.
- Seleccionar un controlador adecuado para la sincronización de los motores a paso para el sistema de corte y grabado.
- Implementar un sistema automático de corte y grabado.
- Realizar pruebas de funcionamiento con la materia prima disponible para producción en la empresa.
- Realizar un manual de usuario para brindar mayor facilidad de uso, mantenimiento y utilización del sistema.

1.5. Variables

1.5.1. Variable dependiente

Productividad en el área de Diseño y Maquetería en la Ferretería “Color Think”.

1.5.2. Variables independientes

Sistema automático de corte y grabado utilizando un módulo láser de diodos.

1.6. Hipótesis

¿El sistema automático de corte y grabado utilizando un módulo laser de diodos, mejorará la productividad en el área de diseño y maquetería en la Ferretería Color Think?

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Sistema Automático

Hace referencia a la automatización; de la cual la característica principal es la de proporcionar un funcionamiento independiente o semi-independiente de una máquina o sistema el cual desempeñaba su modo de operación mediante un operador quien realice el control; cabe mencionar que un sistema puede ser automático y semiautomático debido a la naturaleza del proceso, espacio físico requerido y principalmente a un análisis de relación costo – beneficio que determinará la factibilidad y aceptación acerca de la implementación de un sistema de este tipo dentro de un proceso. Un sistema automático efectúa y controla las secuencias y operaciones sin necesidad de la actividad humana brindando ventajas a la producción, calidad de un proceso y maximización de recursos. (Waters, 2004)

2.1.1. Características de un sistema automático

Un sistema automático posee varios aspectos que merecen ser tomados en consideración, los mismos que proveen beneficios amplios a un proceso dentro de una industria. Entre las características más destacables se encuentran:

- Incremento en la producción
- Mayor calidad en el producto terminado
- Minimización de tiempos de proceso
- Decremento de mano de obra
- Mayor fiabilidad y eficiencia productiva
- Innovación tecnológica
- Mayor competitividad en el mercado
- Entre otras (Waters, 2004)

2.1.2. Ventajas y desventajas de los sistemas automáticos

Automatizar o implementar sistemas automatizados para un control de un determinado proceso, puede presentar ventajas y desventajas debido a varios aspectos que se detallan a continuación:

a) Ventajas

- Incremento en la producción
- Mejora en la calidad del producto
- Uniformidad en las especificaciones obtenidos de los productos
- Mejor desarrollo del proceso
- Eficiencia del sistema o máquina
- Reducción de costos
- Reducción de tiempos de proceso
- Reducción de costo de mano de obra
- Facilidad de ejecución de trabajos repetitivos o de alta peligrosidad
- Maximización de recursos
- Mayor seguridad para el personal (Waters, 2004)

b) Desventajas

- Inversión de un capital significativo
- Capacitación para el uso y mantenimiento
- Personal altamente calificado
- Requiere constante revisión, para un funcionamiento eficiente
- Inflexibilidad para adaptarse a la inclusión de nuevos productos

2.1.3. Máquinas CNC

a) Control Numérico Computarizado (CNC)

El control numérico computarizado, conocido comúnmente como CNC, es un sistema que permite el control de los movimientos de un elemento físico, es decir de una herramienta que está montada en una máquina, además manipula parámetros de entrada entre ellos la velocidad, profundidad de corte, todo esto se realiza mediante un software que procesa y envía información a través de un conjunto de instrucciones de programa o códigos de máquina (códigos G) para asegurar con precisión el mecanizado (Londoño Ospina, León Simanga, Álvarez Díaz, & Marín Zapata, 2005).

b) Esquema General

Una máquina CNC es un equipo constituido por sistemas de movimiento automático, sistemas electrónicos y un software de control, como se muestra en la **Figura 1**.

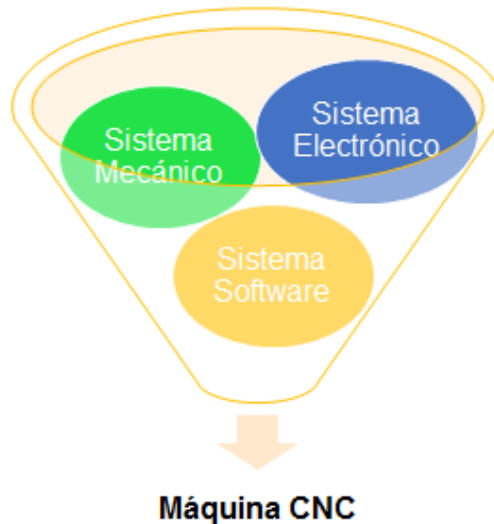


Figura 1. Arquitectura General de una Máquina CNC

Fuente: (Londoño Ospina, León Simanga, Álvarez Díaz, & Marín Zapata, 2005)

c) Ventajas del uso de Máquinas CNC en una empresa

- Las máquinas CNC se programan con un diseño que puede ser realizado cientos de veces obteniendo exactamente con el mismo nivel de perfección.
- El personal que opera las máquinas CNC no necesitan ser expertas o entrenadas para el manejo de las mismas, a diferencia de los máquinas convencional para lo que se requiere personal calificado.
- Las mejoras de los programas informáticos son utilizadas en las máquinas CNC para la creación de piezas de gran precisión.
- El software de diseño avanzado permite la elaboración de productos que no pueden ser realizados por máquinas convencionales, así como también permite que el diseñador simule la producción de su idea sin la necesidad de crear prototipos ahorrando tiempo y dinero.
- Una vez realizada la programación en la máquina CNC, se puede dejar que trabaje de forma autónoma permitiendo que el operador pueda supervisar varias máquinas CNC al mismo tiempo.

- Las máquinas CNC al estar controladas por un software permite que los procesos se terminen de forma rápida, disminuyendo en gran proporción los errores y ayudando a que la productividad mejore.
- Los trabajadores no se encuentran en contacto directo con las herramientas de corte, por el contrario se encuentran en una zona de trabajo con la seguridad respectiva libres de cualquier peligro, debido a que la operatividad de la máquina CNC se realiza mediante instrucciones de programa.
- La incorporación de máquinas CNC ayuda a la reducción del desperdicio de materia prima.
- Mayor precisión y mejor calidad de productos. (Kuzu, 2017)

d) Desventajas del uso de Máquinas CNC en una empresa

- Alto costo de inversión inicial.
- Se requiere una correcta programación de los diseños a procesar.
- El costo de mantenimiento es alto.
- Acorde al volumen de trabajo, puede justificarse su uso.

e) Diferencias entre una máquina convencional vs una máquina CNC

Tabla 1

Comparación entre una máquina convencional vs una máquina CNC

Máquina Convencional	Máquina CNC
El operador puede manejar una sola máquina	El operador puede manejar varias máquinas.
Es necesario consultar constantemente el plano para determinar las dimensiones de las piezas.	No es necesario buscar a cada momento las dimensiones de las piezas en el plano
El operador tiene el control de profundidad, avance del corte.	El control referente a los parámetros de corte lo tiene el programa
Mecanizados imposibles de realizar.	Realiza cualquier tipo de mecanizado
Requiere experiencia para manejar este tipo de máquina.	Para el manejo de la máquina no se requiere experiencia.

2.1.4. Importancia de la Manufactura

La manufactura es una de las actividades más relevantes e importantes que permiten a las empresas, países, naciones crear riqueza material puesto que es una actividad que desde diversos aspectos como tecnológicos, económicos

e históricos han desarrollado mayor éxito al obtener mejores herramientas, perfeccionamiento de artesanías y como parte fundamental incrementar el nivel de vida de las personas.

Tecnológicamente, la manufactura aplica diversos procesos que modifican las propiedades, particularidades, aspectos de los materiales. Manufactura se origina de 2 palabras latinas manus (manos) y factus (hacer) que en un sentido más amplio es el proceso de transformación de materia prima en productos.

2.1.5. Sistema de Control en las máquinas CNC

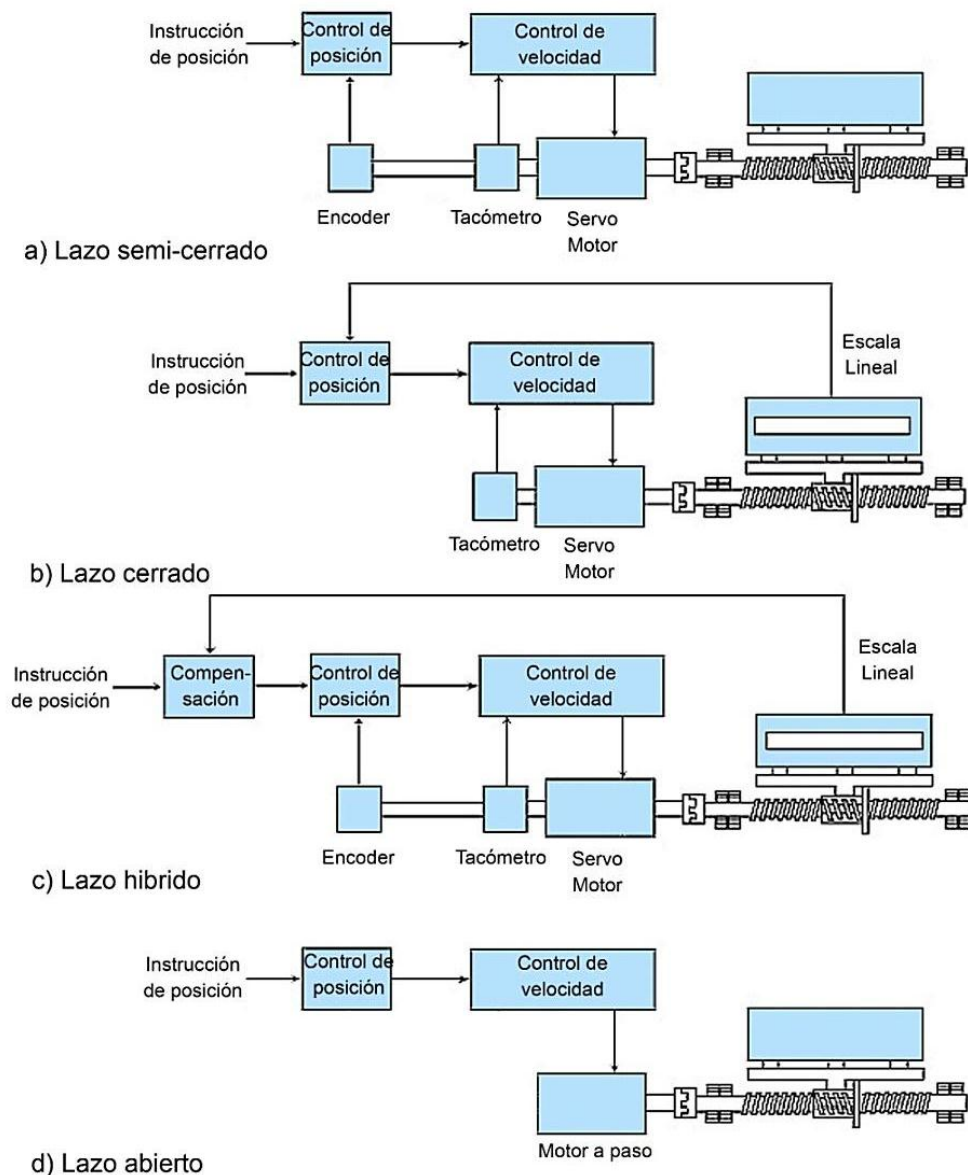


Figura 2. Clasificación del Sistema de Control de acuerdo a la detección de datos de la posición

Fuente: (Suh, Kang, Chung, & Stroud, 2008)

A medida que la velocidad real y la posición detectada desde un sensor son devueltas a un circuito de control, el motor utilizado en las máquinas CNC está controlado continuamente para lograr minimizar el error tanto de la velocidad como el de la posición. El sistema de retroalimentación consta de tres lazos de control que actúan de manera independiente para cada eje de la máquina herramienta. El lazo de control más externo es el de posición que está situado en el control numérico (NC), seguido por el lazo de control de velocidad y al final un lazo de control de corriente ubicados en un dispositivo de accionamiento.

a) Lazo Semi-cerrado

Es el sistema de control más común, en el que un detector de posición se une a un servomotor y detecta el ángulo de rotación, su estructura se muestra en la **Figura 2a**. El rendimiento de este tipo de lazo depende de la precisión del tornillo de bolas pero si es necesario aumentar la precisión del eje se lo puede conseguir mediante la compensación del error y la compensación de la holgura. La cantidad de holgura es variable debido a que intervienen varios factores como el peso de la pieza de trabajo, la ubicación del tornillo de bolas, la temperatura y otros.

b) Lazo cerrado

En el sistema de control de lazo cerrado mostrado en la **Figura 2b**, el detector de posición se fija a la mesa de la máquina y el error de posición se devuelve al sistema de control, es decir existe retroalimentación. Entre los lazos cerrado y semi-cerrado existe la diferencia en la ubicación del detector de posición así como la precisión del lazo de control cerrado es mayor al lazo semi-cerrado.

c) Lazo híbrido

En este caso, el lazo híbrido consta de dos tipos de control **Figura 2c**; el semi-cerrado, en el que se detecta la posición desde el eje de un motor, y por otra parte el lazo cerrado se basa en una escala lineal.

d) Lazo abierto

En la **Figura 2d** se indica la estructura de un sistema de control en lazo abierto que a diferencia de los sistemas de control antes mencionados no tiene retroalimentación. Este tipo de control se aplica cuando no se requiere que la precisión del control sea alta y la vez se utilice un motor paso a paso que influye en el sistema de transmisión.

2.1.6. Grados de libertad

Son la cantidad máxima de direcciones en las cuales puede ser manejada la herramienta en una máquina herramienta de forma simultánea; conforme se incrementa el número de grados de libertad en una máquina se obtiene mayor flexibilidad y versatilidad pero a su vez se incrementa el costo de inversión para la posterior implementación esto debido a los componentes (CNC Control, 2013).

El número de ejes determina las posibilidades de movimiento de la herramienta, en el sistema correspondiente a una máquina de corte y grabado existen 3 ejes (X, Y y Z) los mismos que hacen referencia a un sistema de referencia en el plano cartesiano en 3D, los posibles movimientos se describen de la siguiente manera:

- Eje "X": Desplazamiento horizontal (izquierda - derecha).
- Eje "Y": Desplazamiento horizontal (adelante - atrás).
- Eje "Z": Desplazamiento vertical (arriba - abajo).

2.1.7. Sistemas de transmisión

Los sistemas de transmisión sirven para convertir el movimiento de giro de un motor a desplazamiento lineal, por lo general existen tres formas o sistemas de transmisión y son:

- Varillas roscadas
- Husillo
- Piñón – cremallera
- Correa dentada

a) Varillas roscadas (Figura 3a)

- En relación al costo, es el más barato (respecto a los otros medios de transmisión).
- Consiste en conectar una varilla roscada de una medida requerida al eje de un motor.
- Debido al paso de la varilla, la transmisión es lenta.

b) Husillos (Figura 3b)

- Brinda mayor precisión.
- Tiene un costo más elevado.
- Requiere de una tuerca de acople al tornillo (en la cual va montada la herramienta a desplazar).
- Tiene una transmisión más rápida.
- La tuerca de un husillo de bolas provee mayor precisión y suaves movimientos pero a su vez son de un mayor costo.

c) Piñón - cremallera (Figura 3c)

- Ofrece precisión, velocidad y fuerza (objetos pesados).
- Al ser el piñón y la cremallera sólidos pueden presentar diferentes pasos los cual les provee de mayor fuerza y precisión.
- Son recomendados para cajas reductoras y puntos de lubricación (engrase).
- Deben estar limpios de residuos sólidos debido a que pueden provocar desgaste en los elementos de transmisión.
- Tienen un límite de desplazamiento definido por el espacio físico disponible al tratarse de una cremallera en estado sólido diferente a una correa dentada.

d) Correa dentada (Figura 3d)

- Brinda una buena transmisión, precisión a un costo moderado.
- Debido al paso mayor respecto a los anteriores, la velocidad de transmisión es la mayor posible.
- La velocidad viene definida por el número de dientes de la polea y el tamaño del paso de la correa dentada.

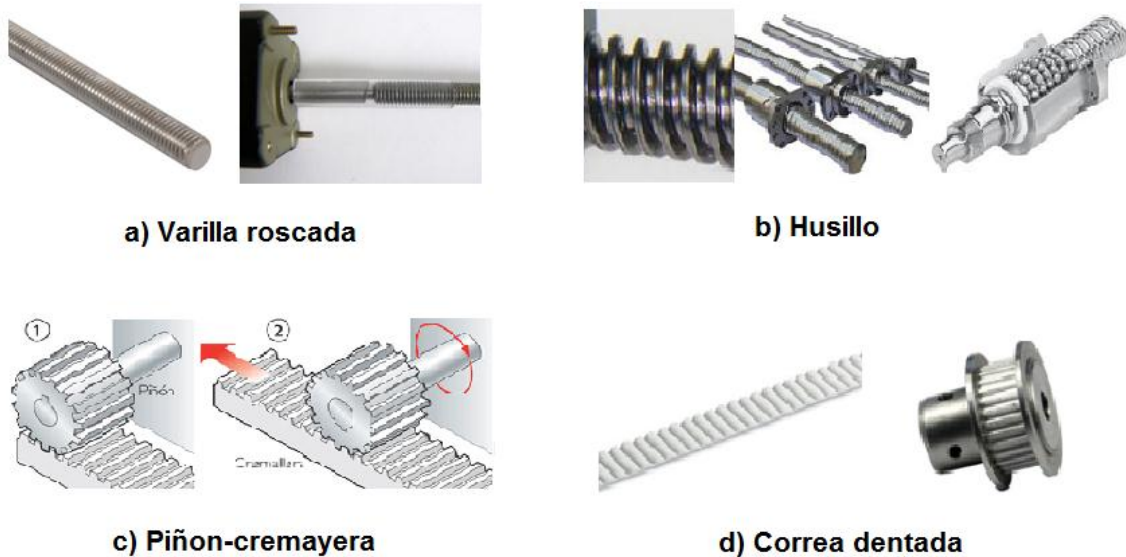


Figura 3. Sistemas de transmisión.

Fuente: (CNC Control, 2013)

2.1.8. Actuadores

Motores a paso: Los motores a paso son utilizados para mecanismos que demandan de movimientos muy precisos. (Bustillos Escola, 2014) Tienen varias características por las cuales en la fabricación de máquinas CNC son muy utilizados como:

- No tienen desgaste de escobillas y son libres de mantenimiento.
- Requieren del uso de correas dentadas para alcanzar una precisión alta y corregir la exactitud posicional.
- Son de costo más bajo que los servomotores.
- No poseen muy buen torque a altas velocidades.
- Usan una configuración de bucle abierto (no tienen realimentación).

En el **ANEXO A** se presenta el data-sheet de los motores a pasos utilizados para cada uno de los ejes (Motor a pasos modelo 573S15-L - **Figura 4**).



Figura 4. Motor a pasos modelo 753S15

2.1.9. Dispositivo Láser

El término láser proviene del acrónimo **L.A.S.E.R** que por sus siglas en inglés significa: amplificación de luz estimulada de radiación (Ligth Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Un láser o conocido también con un generador de luz coherente, está formado por un par de espejos ubicados de forma paralela creando una cavidad óptica. La luz emitida por el láser es la radiación electromagnética. (Ready, 1997)

a) Láser Semiconductor (Láser de diodos)

Los láseres semiconductores llamados también láseres de diodo o láseres de inyección, utilizan un pequeño chip de material semiconductor como medio activo. En tamaño y aspecto, el láser semiconductor es similar a un transistor o a un diodo emisor de luz. El material del láser semiconductor más común es el arseniuro de aluminio de aleación de galio.

b) Ganancia Óptica en Semiconductores

Los láseres de diodo hacen uso de la conductividad de los semiconductores que se refiere a la incorporación de átomos de impurezas que crean estados mecánicos cuánticos en la banda. De acuerdo a la ubicación de los nuevos estados se generan dos tipos de dopaje p y n, el primero hace referencia cuando el estado está cerca del borde de la banda de valencia, los electrones ocuparán estos estados dejando huecos en la banda de valencia, se denomina dopaje p debido a que los portadores con carga positiva se generan en la banda de valencia que puede transportar una corriente.

Por el contrario, si los nuevos estados están cerca de la banda de conducción, los electrones son excitados térmicamente hasta la banda de conducción, llamándose a este caso dopaje n, debido a que los electrones cargados negativamente transportan la corriente si se aplica una diferencia de potencial; al igual que un diodo normal, el diodo semiconductor está formado por los dos dopajes tipo p y n. La ganancia óptica se forma mediante la unión de entre un electrón y un hueco creando un fotón, es decir, la energía se convertirá en luz, como se muestra en la **Figura 5**.

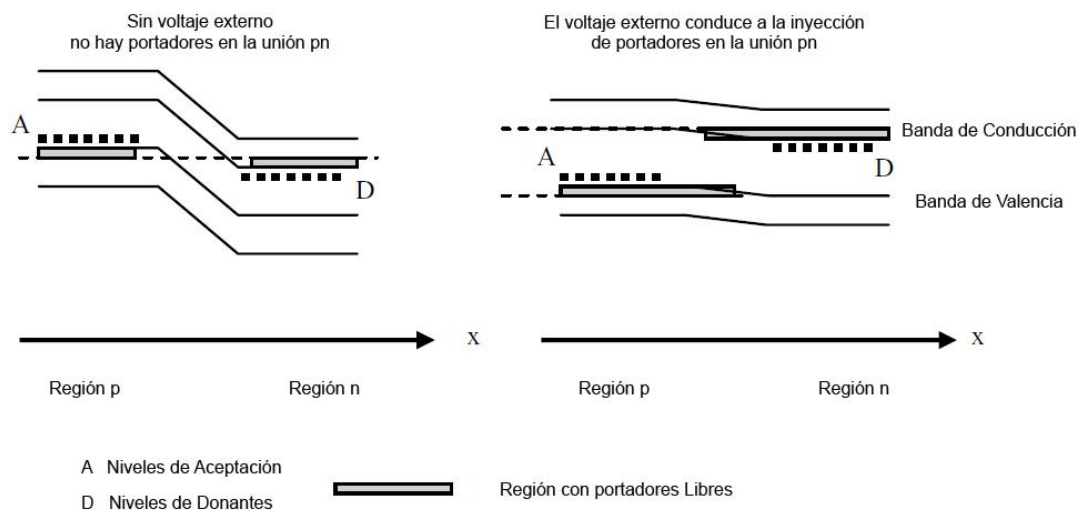


Figura 5 Recombinación en la unión pn de un diodo láser semiconductor

Fuente: (Ready, 1997)

c) Operación del Láser

La operación del láser se basa en dos condiciones, la emisión estimulada del medio amplificador así como la retroalimentación por un resonador óptico. El umbral de la operación del láser se obtiene cuando la ganancia en el resonador óptico compensa las pérdidas totales, es decir, las pérdidas de propagación y las pérdidas aparentes debidas a la extracción de luz. Ambas condiciones son comunes tanto a los láseres de diodos como a los láseres típicos de gas o de estado sólido.

El resonador óptico es dado por la propia estructura semiconductor usando las facetas de cristal como espejos, los cuales tienen como misión hacer rebotar el haz del láser entre ellos. La ganancia en los láseres de diodo consta de una estructura cristalina en la cual no excita átomos, iones o moléculas

individuales. Los láseres semiconductores modernos restringen el volumen excitado permitiendo reducir la corriente del umbral mediante la aplicación de pozos cuánticos o puntos cuánticos.

2.2. Software libre

Debido a la naturaleza del proyecto y al campo de aplicación (microempresa), por cuestión de costos se ha optado seleccionar la posibilidad de utilizar un software libre de diseño para realizar el corte y grabado laser mediante el software Inkscape; el cual presenta las siguientes características:

- Es software libre, lo que implica que no tiene costo y se lo puede obtener de forma gratuita de internet.
- Multiplataforma; puede funcionar en los sistemas operativos Windows y Linux.
- Interfaz gráfica amigable al usuario
- Interfaz intuitiva
- Herramientas de diseño similares a Illustrator o AutoCAD
- El acotamiento (dimensionamiento) está en milímetros para proporcionar mayor exactitud en los procesos de corte y grabado.
- Posibilidad de modificación de las dimensiones del área de trabajo.
- Entre las herramientas de diseño se encuentran las destinadas a figuras, líneas, entre otros.
- Importar archivos diseñados.
- Una vez realizado el diseño de corte, mediante un dispositivo USB se puede transferir el programa a la máquina y realizar el proceso de corte o grabado.
- Parada y pausa de trabajos continuos.
- Admite extensiones de archivos g-code, dxf. (Inkscape, 2017)

En la actualidad se han desarrollado programas de uso libre, los cuales no requieren el pago adicional de licencias por su uso; dentro de la fabricación de máquinas de tipo CNC caseras se ha optado por utilizar estos programas por las ventajas que proveen así como su facilidad de uso y cero costo de licencias, son multiplataforma lo que significa que pueden ser instalados en cualquier sistema operativo (Windows, Linux, IOS), el acceso relacionado al costo es primordial ya que muchas de estas máquinas no son de uso

netamente industrial, sino para el uso en negocios o microempresas que no cuentan con capitales grandes; algunos de estos software de diseño son:

- Image Manipulation Program (GIMP)
- RDWorksV8.0
- Lasersaur
- Entre otros

Cada uno de los programas antes mencionados poseen las características de los software de tipo libre, por lo cual pueden ser adaptados para realizar los diseños previos al proceso.

2.3. Proceso de corte y grabado de madera

El proceso de corte y grabado láser es eficaz dentro de los sectores que requieren una alta tasa de producción y velocidad en el proceso, es debido a ello que los métodos tradicionales son ineficientes y por ello el uso de láser facilita el trabajo mejorando el resultado final; además permite libertad en el diseño y cantidad. El corte y grabado láser se aplica para trabajar distintos tipos de madera; una de las características físicas que se encuentran presentes en los objetos procesados es que los bordes cortados presentan una tonalidad más oscura. Controlando la potencia se pueden realizar grabados superficiales con diversas profundidades, lo cual convierte a un láser en la herramienta ideal para trabajar la madera. Entre los trabajos y productos que se pueden realizar están:

- Manualidades
- Juguetes
- Cajas de recuerdos
- Mobiliario, maquetas
- Marcos de cuadros y fotografías
- Elementos decorativos para interiores
- Portarretratos
- Artículos de regalo
- Prototipos varios, entre otros (Trotec, 2017)

El corte por láser es una técnica de fabricación, se pueden realizar dos procesos uno de corte y otro de grabado; existen varios tipos de materiales que

pueden ser procesados, dichos materiales pueden ser plástico, acrílico, cartón y madera; siendo ésta última la más utilizada debido a su flexibilidad y gran variedad de características.

El proceso en sí consiste en cortar o grabar un material con un láser potente y de alta precisión el cual se centra en una pequeña área del material; la densidad de alta potencia presenta como resultado un elevado calentamiento, fusión, vaporización parcial o total del material a procesar, cabe mencionar que al área afectada por el calor es de alrededor de 0,5 mm el cual proporciona la gran exactitud en las piezas cortadas.

2.3.1. Material a procesar

La madera es uno de los materiales que son utilizados dentro de numerosos sectores debido a su gran aplicabilidad, es por ello que es un material muy apreciado especialmente para la maquetería. Existen algunos tipos de madera los cuales son utilizados para el corte y grabado como por ejemplo:

- Laminado, MDF
- Chapa, contrachapado
- Madera: maciza, blanda y dura
- Madera de balsa
- Acrílico
- Vidrio
- Acetato (Trotec, 2017)

2.3.2. Ventajas del corte por láser

- Corte de contornos finos
- No es necesario de sujeción o fijación del material a la mesa de trabajo
- Disminución de desperdicio provocado por el corte
- Eliminación de una gran cantidad de rebaba de los bordes
- Corte uniforme y de alta calidad

2.3.3. Sugerencias para cortar madera con láser

- a) Dado a que la madera se quema durante el corte láser, se debe tomar en cuenta este efecto; pero para ello la selección de parámetros adecuados y una correcta calibración previa al proceso.
- b) La madera es un material natural frágil por ello el operador de la máquina debe considerar una serie de parámetros como densidad y contenido de resina, durante el procesamiento la potencia del láser, velocidad de corte, entre otros parámetros deben ser calibrados adecuadamente.

2.3.4. Parámetros del proceso de corte y grabado

- a) **Velocidad de corte:** se debe tomar en cuenta que la velocidad, la potencia y la profundidad de corte se encuentran relacionadas entre si por tal motivo se tienen las siguientes relaciones:

- A mayor velocidad; menor profundidad de corte.
- A menor velocidad; mayor profundidad de corte.
- A mayor velocidad; mayor potencia se utiliza para realizar corte rápido sin demasiada precisión.
- A menor velocidad; mayor potencia se utiliza para realizar corte con mayor precisión.

- b) **Potencia de corte**

La potencia de salida del láser de diodos es de 12W por pulso, los cuales están descritos en su respectiva hoja de datos; como se mencionó en el apartado anterior existen relaciones entre los tres parámetros; los relacionados a la potencia con la velocidad se describieron anteriormente, a continuación se describen la potencia respecto a la profundidad:

- A mayor potencia; mayor profundidad de corte pero a su vez mayor pérdida de precisión en la medida, este se utiliza normalmente en espesores mayores a 3 mm o para materiales con mayor dureza.
- A menor potencia; menor profundidad de corte pero a su vez mayor precisión en la medida, este se utiliza para espesores

menores a 2mm, para materiales de menor dureza o para el proceso de grabado.

c) Profundidad de corte: el espesor de material influye directamente en la potencia y velocidad de corte que se debe calibrar; por este motivo se debe tomar en cuenta la siguientes relaciones:

- A mayor velocidad y mayor potencia; menor profundidad de corte (corte incompleto).
- A mayor velocidad y menor potencia; menor profundidad de corte (grabado).
- A menor velocidad y mayor potencia; mayor profundidad de corte (alta precisión).
- A menor velocidad y menor potencia; mayor profundidad de corte (baja precisión).

Cabe recordar siempre tener en cuenta la distancia focal al punto de corte utilizando el láser de diodos, la cual es de 16mm y para ello existen una pieza que permite realizar esa calibración (viene con el láser de diodos).

d) Frecuencia de corte

Al estar utilizando un módulo láser de diodos, la frecuencia de uso viene descrita en su manual y corresponde a los siguientes valores:

- **Frecuencia TTL:** 0V (Off) – 5V (On)
- **Frecuencia PWM:** <9Khz
- **Luz láser:** Luz violeta azul

CAPÍTULO III

DISEÑO Y SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS

El presente capítulo hace referencia a las características de los elementos y componentes del sistema automático de corte y grabado; y posteriormente el diseño del mismo. Adicionalmente se encuentra información relacionada al sistema en sí y la selección de dispositivos y componentes requeridos.

3.1. Componentes del sistema

3.1.1. Controlador RDC644XG

Es un nuevo sistema de generación para el control de corte y grabado por láser; además de estabilidad de hardware este sistema incluye una gran variedad de funciones para el control de movimiento de los ejes de desplazamiento, almacenamiento de archivos, interfaz de control de potencia láser de dos canales. Este sistema puede comunicarse con una PC mediante un puerto USB2.0 o Ethernet para carga de archivos. La **Figura 6** muestra la composición de la tarjeta controladora. (ACS, 2017)

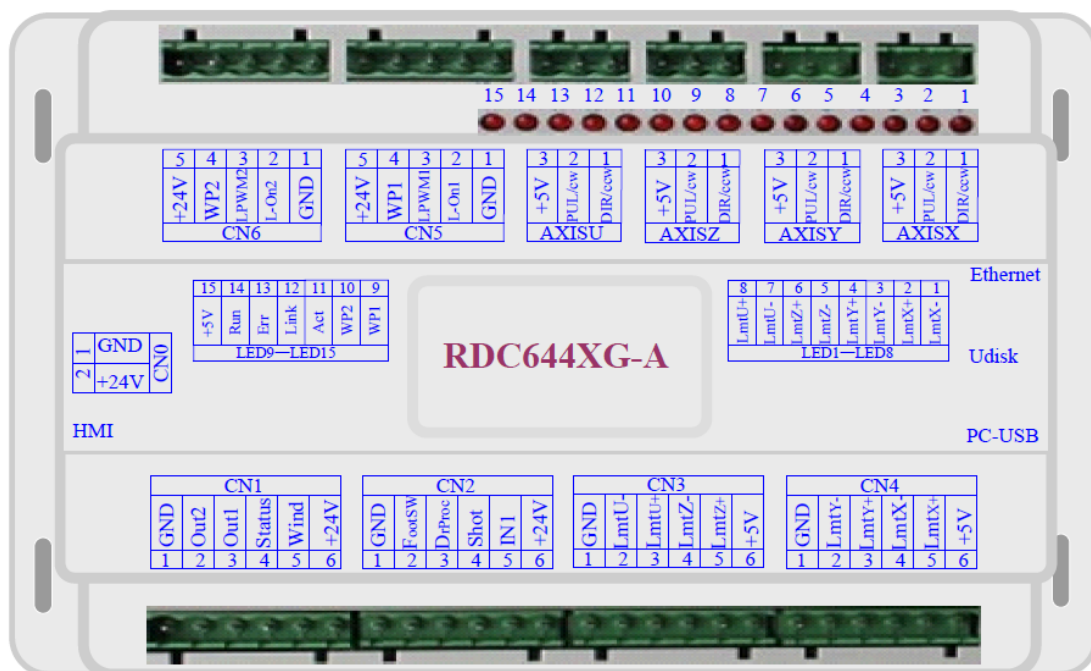


Figura 6. Tarjeta controladora RDC644XG-A

Fuente: (ACS, 2017)

3.1.2. Módulo láser de diodos

El módulo láser de luz azul de 15W sirve para grabado de varios materiales como: acero inoxidable, madera, aluminio, cerámica, bambú, cuero, plásticos, balsa, entre otros. Mediante una adecuada calibración puede ser utilizado para realizar corte en materiales como madera; adicionalmente el módulo no puede ajustar la longitud focal por lo cual debe ser colocado a una distancia de 16mm. En la **Figura 7** se presenta el aspecto de un módulo láser de diodos.



Figura 7. Módulo láser de luz azul de 15W

a) Características del módulo láser de luz azul de 15W:

- **Dimensiones:** 50mm * 50mm * 100mm
- **Longitud de onda:** 445nm – 450nm
- **Potencia de salida:** 12W por pulso
- **Frecuencia TTL:** 0V (Off) – 5V (On)
- **Frecuencia PWM:** <9Khz
- **Luz láser:** Luz violeta azul
- **Tensión de trabajo:** 12VDC
- **Corriente de trabajo:** I<3A
- **Longitud focal:** No es posible ajustar la distancia
- **Material de la carcasa:** Aluminio
- **Temperatura de funcionamiento:** 15-45 °C

La velocidad de grabado es alta, pero esto ocasiona calentamiento en la cabeza del láser; si se utiliza por un periodo de 20min es aconsejable darle un lapso de reposo hasta que la temperatura elevada se disipe, esto permitirá extender el tiempo de vida del módulo láser. Para realizar un correcto grabado el enfoque debe ser el adecuado.

3.1.4. Display

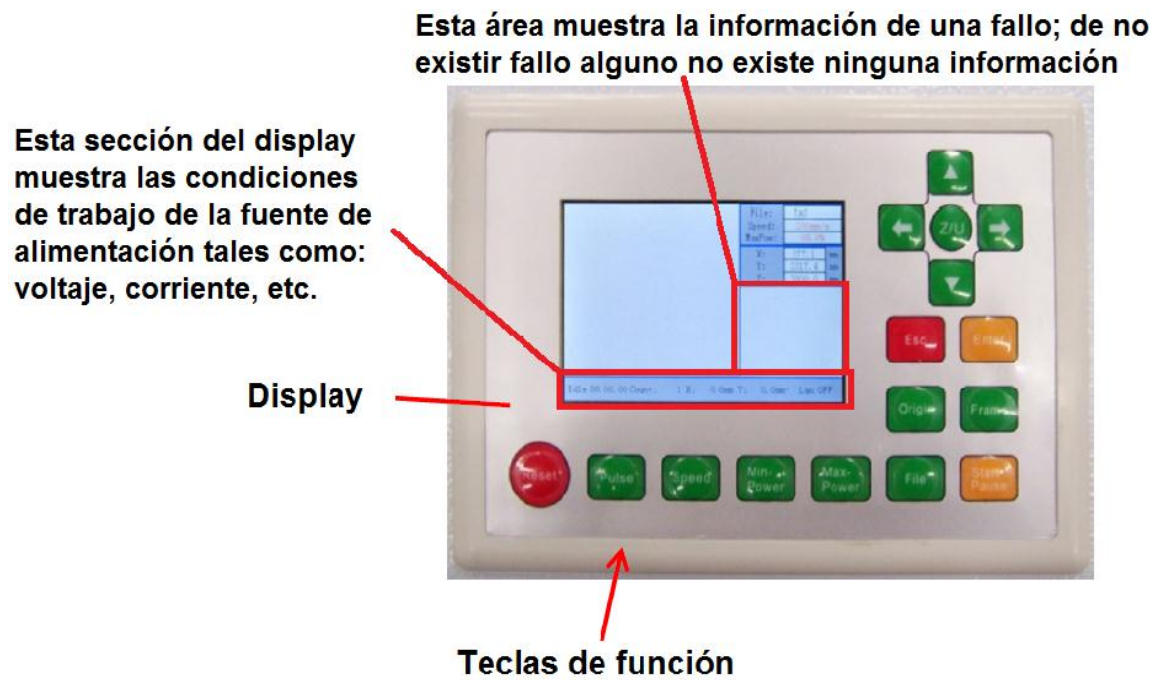


Figura 8. Display

Tabla 2

Botones y teclas de función del display

Botón	Descripción
	Reset: Después de pulsar el botón de reinicio, la máquina pasará por su proceso de volver a su último origen guardado.
	Pulso: Pulsando este botón, la máquina generará un láser mientras sostenga el botón; esto se utiliza para calibrar el láser.
	Velocidad: Se utiliza para cambiar la velocidad de avance de la máquina; esta función también se puede utilizar para cambiar la velocidad de procesamiento en el centro de un programa.
	Potencia mínima: Puede utilizarse para cambiar la potencia de procesamiento mínima de un proyecto; esta función se puede utilizar si la potencia mínima no se ha ajustado utilizando el software RDWorksV8.
	Potencia máxima: Se utiliza para cambiar la potencia máxima de procesamiento de un proyecto; esta función puede utilizarse si la potencia máxima no se establece mediante el uso del software RDWorksV8.
	Archivo: Haga clic para ver / borrar archivo de memoria; la memoria USB se puede copiar en la máquina y los programas guardarlos automáticamente una vez procesado.
	Inicio / Pausa: Se utiliza para iniciar un programa y pausar el programa durante el procesamiento.
	Escape: Saldrá de varios ajustes y volverá al operador a la pantalla principal; también se utiliza para encontrar el último origen guardado.
	Enter: Se utiliza para confirmar los cambios en los parámetros y ajustes.
	Origen: Se utiliza para establecer el origen del láser en la ubicación deseada del operador. El origen es el punto de anclaje del programa.
	Frame: La máquina comenzará desde su origen y correr alrededor del procesamiento del área que el láser estará cortando / grabando. Esto esencialmente "enmarca" el área de trabajo del programa.

3.1.5. Enfriador Industrial CW-5000/5200



Figura 9. Parte frontal del enfriador industrial



Figura 10. Parte posterior del enfriador industrial

Especificaciones:

Tabla 3

Especificaciones técnicas del Enfriador Industrial CW-5000/5200

Item	Valor
Modelo	CW-5000BG
Voltaje	208-230 VAC
Frecuencia	60 Hz
Corriente	1,4-2,1 A
Potencia del compresor	0,38 KW 0,52 HP
Capacidad de refrigeración	2999 Btu/h 0,879 KW 756 Kcal/h
Refrigerante	R-134 ^a
Carga de refrigerante	320 g
Precisión	+/- 0,3 °C
Reductor	Capilar
Protección	Protección contra sobre-corriente para el compresor, alarma de flujo, alarma de sobre-temperatura
Potencia de la bomba	0,03 KW
Capacidad del tanque	6 L
Entrada y salida	Conector de 10 mm de diámetro externo
Dimensiones	55x28x43 cm (LxWxH)

3.1.5. Mesa de corte y grabado

La mesa de trabajo cumple una función muy importante, la cual es contener la materia prima para que se realice el proceso de corte o grabado (**Figura 11**), debido a esto debe cumplir ciertas características como son:

- Dimensión: 1300x900mm
- Material: Tol
- Marco: Ángulo de 1" en acero
- Tipo de mesa: malla metálica
- Forma de la malla: en serpentín (para una mayor estabilidad del material a procesar).
- Peso: 30 kg (aproximadamente)



Figura 11. Mesa de trabajo

3.2. Diseño Mecánico

El diseño mecánico corresponde a los ejes de desplazamiento (X,Y) del carro contenedor del láser de corte y grabado y el eje "Z" de la mesa del sistema de corte (**Figura 12**).

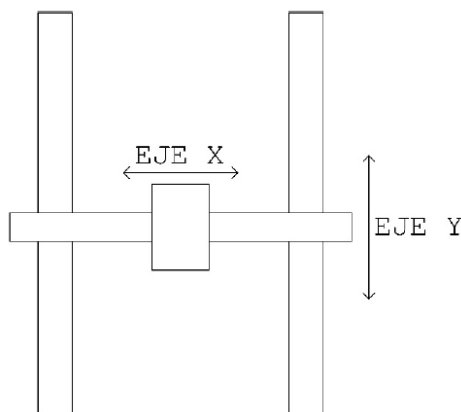


Figura 12. Ejes "X,Y" del carro de corte y grabado

Torque requerido en los motores

Para determinar la potencia base (Ec.1) de selección del motor es necesario puntualizar otros parámetros previamente a partir de esta carga inercial; sabiendo que la potencia de un motor puede describirse a partir de la siguiente relación:

Caso: 500 RPM

$$P[w] = \frac{\text{Torque [Nm]} * \text{Vel. de Rotación [R. P. M.]}}{500}$$

Ec. 1

La velocidad de rotación del motor que revisado previamente es de 64 R.P.M. mientras que el torque (Ec. 2) puede conocerse a partir de la carga inercial y la aceleración angular como se muestra a continuación:

$$\tau[\text{Nm}] = I[\text{Kg} * \text{m}^2] * \alpha \left[\frac{\text{rad}}{\text{Seg}^2} \right]$$

Ec. 2

Dado que la inercia del sistema ya fue calculada sólo resta conocer la aceleración angular para completar la ecuación, por lo tanto se realizó el siguiente análisis:

Se calcula la velocidad angular (Ec. 3) del motor a partir de su velocidad de rotación.

$$\omega = \frac{64 \text{ rev.}}{1 \text{ mín.}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev.}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg.}}$$

Ec.3

$$\omega = 6.7 \frac{\text{rad}}{\text{Seg}}$$

Si se espera que esta velocidad de rotación sea alcanzada al completar una revolución, 2π rad. Lo cual le llevaría, en su estado permanente,

$$t = \frac{2\pi \text{ rad}}{6.7 \frac{\text{rad}}{\text{Seg}}}$$

$$t = 0.94 \text{ Seg}$$

Entonces, la mínima aceleración angular (Ec. 4) para conseguirlo es,

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{t}$$

Ec. 4

Partiendo del reposo:

$$\omega_0 = 0$$

$$\alpha = \frac{\left(6.7 \frac{\text{rad}}{\text{Seg}}\right)}{0.94 \text{ Seg.}}$$

$$\alpha = 7.13 \frac{\text{rad}}{\text{seg}^2}$$

Por lo tanto la potencia mínima para mover los ejes del sistema de corte y grabado es:

$$P[\text{w}] = \frac{\text{Torque} [\text{Nm}] * 64\text{R. P. M.}}{9.550}$$

Reemplazando,

$$\tau[\text{Nm}] = I[\text{Kg} * \text{m}^2] * \alpha \left[\frac{\text{rad}}{\text{Seg}^2} \right]$$

$$P = \frac{\left(\left(I[\text{Kg} * \text{m}^2] * \alpha \left[\frac{\text{rad}}{\text{Seg}^2} \right] \right) * 64\text{R. P. M.} \right)}{9.550}$$

$$P = \frac{\left(\left(0.00237 \text{ Kg} * \text{m}^2 * 7.13 \left[\frac{\text{rad}}{\text{Seg}^2} \right] \right) * 64\text{R. P. M.} \right)}{9.550}$$

$$P = 0.113 \text{ watts}$$

Con este resultado al ser una potencia demasiado pequeña puede parecer un error, a su vez que se considera que existe la necesidad de incluir las

pérdidas por fricción en los rodamientos de cada tornillo y la tensión de la correa por lo cual para una mayor exactitud se debe incluir estos parámetros.

Con la ayuda de la gráfica descrita en el **ANEXO G** de la curva de la velocidad vs el torque en un motor modelo 573S15, se visualiza el porqué de su selección.

3.6. Diseño Eléctrico – Electrónico

3.6.1. Diseño Eléctrico

Para el desarrollo del diseño eléctrico, se considera las cargas eléctricas y el voltaje instaladas en la maquinaria, a continuación en la se detalla sus valores en la siguiente tabla:

Tabla 4
Parámetros eléctricos de la CNC

	VOLTAJE V	CORRIENTE I[A]	POTENCIA P[W]	CANTIDAD	P. TOTAL [W]
Tarjeta Controladora RDC644XG	24 Vdc	2	48	1	48
Driver de los motores XY	40 Vdc	8	320	2	640
Driver de los motores Z	40 Vdc	7.2	288	1	288
Módulo Láser RF	12 Vdc	3	36	1	36
				∑ P	1012

- **Acometida Principal**

El valor total de la potencia obtenido en la **Tabla 4** es utilizado para el cálculo del valor de la corriente (Ec. 5) a circular por el conductor y con este valor se desarrolla el dimensionamiento del cableado en la acometida principal.

$$I_{total} = \frac{P}{V}$$

Ec. 5

$$I_{total} = \frac{1012[W]}{220[V]}$$

$$I_{total} = 4.6[A]$$

Para asegurar que no existan pérdidas de voltaje debido a la ubicación de la máquina respecto a la fuente es necesario multiplicar el valor de la corriente obtenida por un factor de seguridad 2.

$$I_{total} = 4.6[A] * 2$$

$$I_{total} = 9.2[A]$$

La selección del calibre del conductor depende de la corriente total obtenida del sistema que es igual 9.2[A], por lo que mediante el **ANEXO H** se escoge un conductor de calibre 16 AWG que conduce una corriente de 10[A].

• Esquema de Conexión

Para el sistema a implementar es necesario utilizar diferentes valores de voltajes, por lo que se utilizan convertidores AC/DC como se observa en la **Figura 13**, en donde la distribución del voltaje depende de las cargas, la alimentación de 40 [V] se utiliza los drivers 3DM558 para los ejes x,y con una corriente de 8[A], mientras que para el eje z se selecciona el driver DMA860H debido a que posee dos motores en paralelo con una corriente de 7.2 [A] como se observa en la **Figura 14**. La tarjeta controladora requiere una alimentación de 24 [V] con una corriente de 2[A], además el módulo láser RF demanda de una alimentación de 12[V] y 3[A].

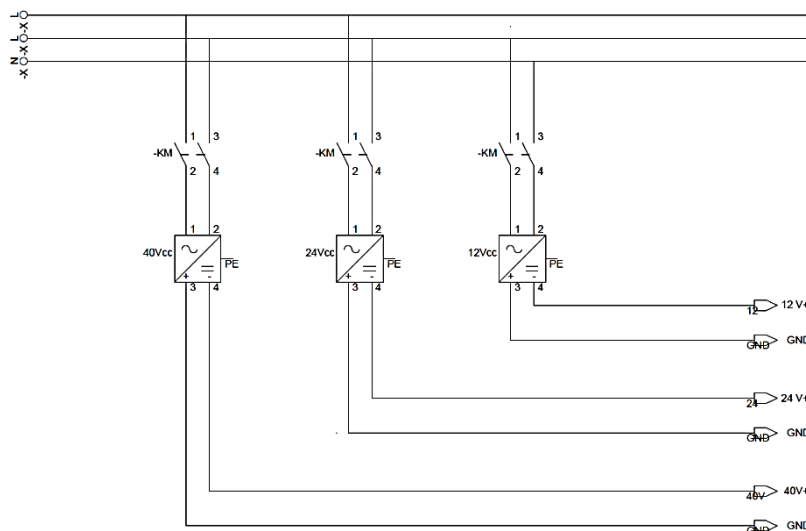


Figura 13. Esquema eléctrico de convertidores AC/DC

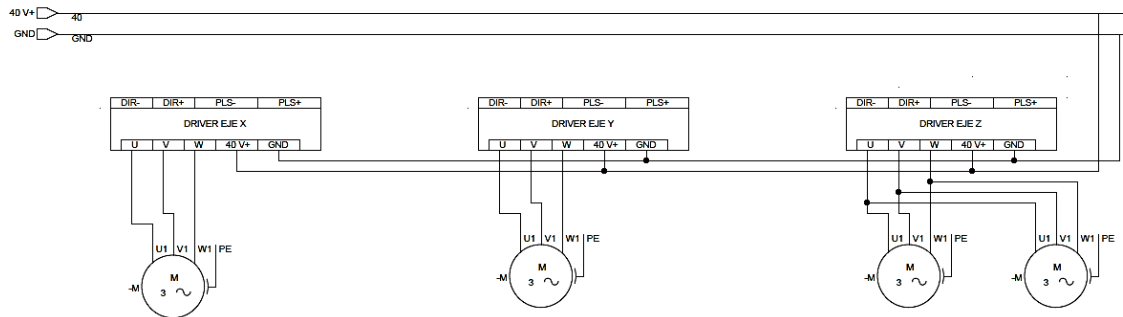


Figura 14. Esquema eléctrico de los Motores a pasos

- Dimensionamiento del cableado
- Motores:

Las corrientes de trabajo para cada una de las fases de los motores son las siguientes:

$$I_x = 4A$$

$$I_y = 4A$$

$$I_z = 3.6A$$

Cada motor posee 2 fases por lo tanto las corrientes son:

$$I_x = 8A$$

$$I_y = 8A$$

$$I_z = 7.2A$$

$$I_{total} = I_x + I_y + I_z$$

$$I_{total} = (8 + 8 + 7.2)A$$

$$I_{total} = 23.2 A$$

El consumo total de corriente de los motores es de 23.2 A cuando los 3 motores x,y,z esten en movimiento, caso contrario si solo están accionando los motores x,y se tiene un consumo de corriente de 16 A, para lo cual se selecciona el cable 10 AWG que soporta una capacidad de corriente máxima 30A.

- **Láser semiconductor RF**

El voltaje y la corriente de la fuente láser es:

$$V = 12 Vdc$$

$$I = 3 A$$

Por lo tanto

$$P = V * I$$

$$P = 12 V * 3 A$$

$$P = 36 W$$

El láser al consumir una corriente baja se utiliza un cable 22 AWG.

- **Finales de carrera**

Para el cableado de los finales de carrera en los que circula una corriente baja de 25mA se utiliza cables 22 AWG.

3.6.2 Diseño Electrónico

Para el diseño electrónico se considera los pines de salida de la tarjeta controladora RDC644XG (**Figura 15**).

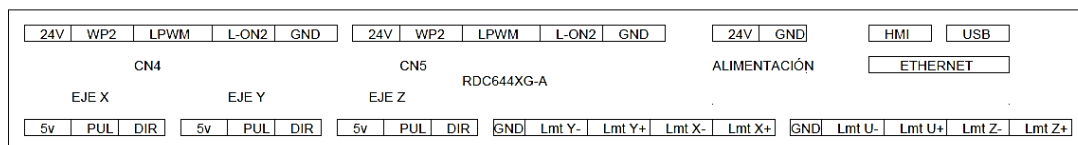


Figura 15. Configuración de pines

- **Control de los motores x,y,z**

Para ello se considera los pines descritos en (**Tabla 5**).

Tabla 5

Pines para el control de motores

PIN	SIMBOLOS	DEFINICION
1	DIR	Señal de dirección (Output)
2	PUL	Señal de pulsos (Output)
3	+5V	Fuente positiva 5V (Output)

Para el funcionamiento de los motores la tarjeta RDX644 se utilizan 2 pines necesarios que son el DIR y PUL ya que al enviar el gráfico el Pin DIR le da la orden de moverse:

- Hacia el lado izquierdo o hacia el lado derecho - eje "X".
- Hacia atrás o hacia adelante - eje "Y".
- Hacia arriba o hacia abajo - eje "Z".
- Simultáneamente los ejes "X,Y".
- Y de forma independiente el eje "Z".

El pin PUL se encarga de enviar los pulsos necesarios para que los ejes "X,Y,Z" se puedan movilizar de acuerdo a las coordenadas requeridas en el diseño.

- **Límites de los ejes "X,Y,Z"**

Para el control de los límites son necesarios los siguientes pines:

Tabla 6

Pines para control de los ejes "X, Y, Z"

PIN	SIMBOLOS	DEFINICION
1	GND	Tierra
2	LmtX-	Coordenada 0 del eje x
3	LmtX+	Coordenada máxima del eje x
4	LmtY-	Coordenada 0 del eje y
5	LmtY+	Coordenada máxima del eje y
6	LmtZ-	Coordenada 0 del eje z
7	LmtZ+	Coordenada máxima del eje z

Al existir un nivel lógico bajo de todos los ejes "X,Y,Z", la máquina funciona de manera correcta, mientras que al activarse uno de esos pines directamente en HMI se visualiza que está excedido en el área de trabajo. En la **Figura 16** se muestra la conexión de uno de los fines de carrera.

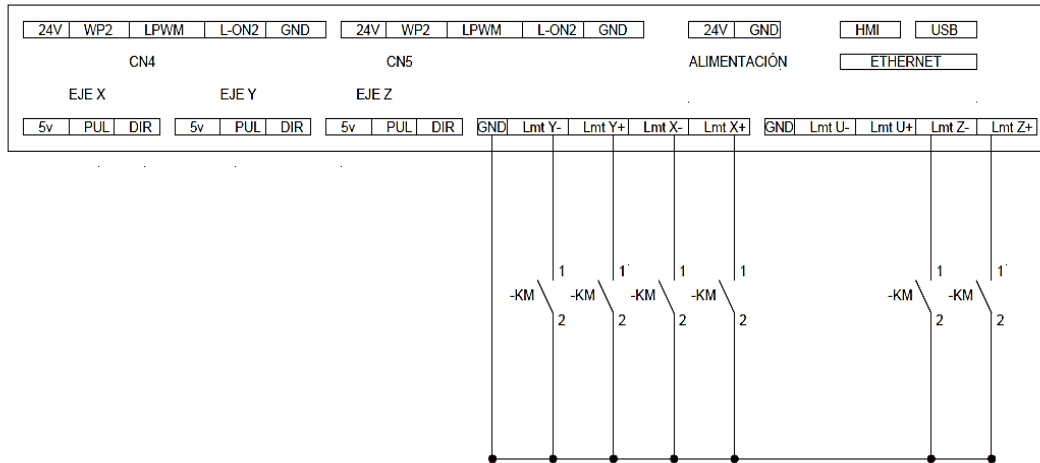


Figura 16. Conexión de los límites del área de trabajo de los ejes “X,Y,Z”

- **Control del Láser semiconductor**

Para el control del láser RF se debe tomar en cuenta los siguientes:

Tabla 7

Pines para control del láser semiconductor

PIN	SIMBOLOS	DEFINICION
1	GND	Tierra
2	LPWM	Interfaz de control para el láser RF mediante PWM

LPWM se utiliza para el control de potencia del láser con señal TTL, donde 4.96 V se considera como 1 lógico, mientras que los voltajes menores a 0.3V se consideran como 0V.

Adicionalmente el láser RF necesita una fuente de alimentación externa de 12V con una corriente de 3A como se indica en la **Figura 17**.

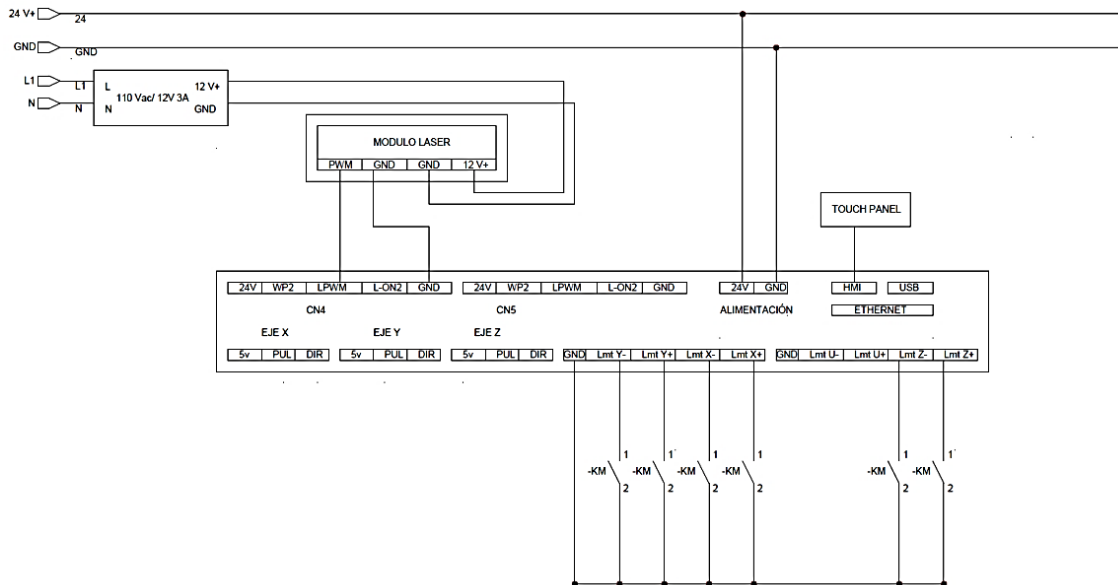


Figura 17. Conexión del módulo láser con la tarjeta controladora RDC644XG

- **Comunicación**

La comunicación entre el controlador RDC644XG y la PC se efectúa mediante una comunicación serial a través de un conector USB (**Figura 18**) con la siguiente configuración:



Figura 18. Configuración del USB

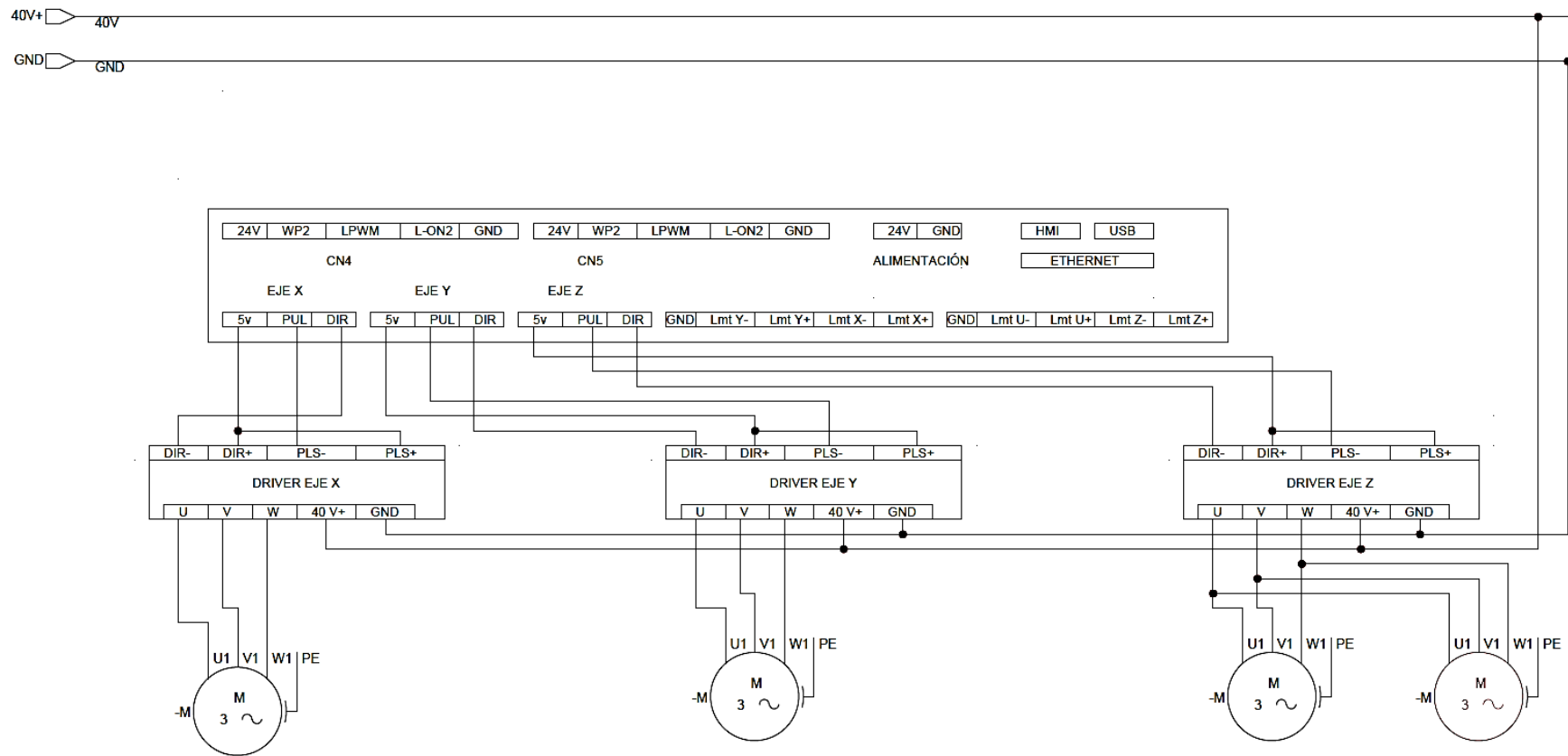


Figura 19. Conexión entre la tarjeta controladora y los drivers

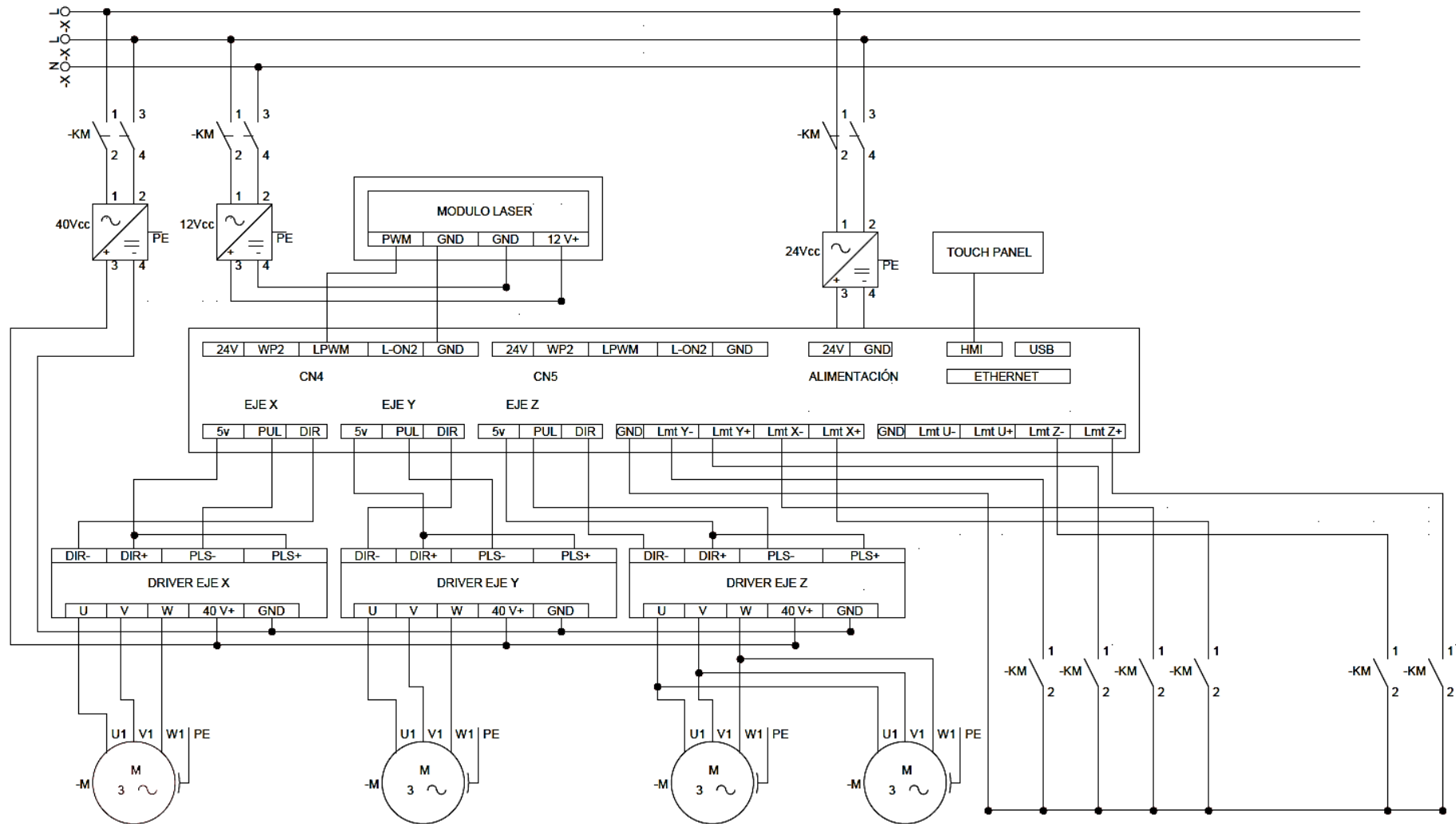


Figura 20. Esquema general de conexión eléctrica

3.8. Selección de dispositivos

Tabla 8

Selección de dispositivos

Dispositivos	Características
Panel de operador	Pantalla full color Pantalla de 4" 16 Teclas de función
Antorcha CO2 (Trabajo futuro)	Tope de altura Rango de operación 4.36 mA Tensión 220 VAC
Láser de diodos	Luz láser azul de 15W Rango de operación 0.46 mA Tensión 12 VDC - 3A
Motores	Voltaje: 5VDC Corriente: 3A
Unidad extractora de humo	Potencia: 500W Velocidad giro: 2800 rpm
Red metálica para mesa de corte y grabado	Material: Tol Dimensiones: (1300x900)mm

Implementación del sistema mecánico

Cabezal láser

Está montado en el eje "X" de la mesa del sistema de corte y grabado (Figura 21).



Figura 21. Cabezal con módulo laser de diodos

Sistema de desplazamiento del eje “X”

Está montado en la parte superior de la mesa de forma perpendicular al eje “Y” de la mesa, en este eje se encuentra el cabezal del sistema de corte y grabado (**Figura 22**).



Figura 22. Eje “X”

Sistema de desplazamiento del eje “Y”

Está formado por dos guías paralelas ubicadas perpendicularmente al eje “X” y en las cuales se desplaza el respectivo eje con el cabezal láser (**Figura 23**).



Figura 23. Eje “Y”

Sistema de desplazamiento del eje “Z”

Está conformado por cuatro husillos (tornillos) acoplado a motores con transmisión por banda dentada, cada uno de los husillos se encarga de regular la estabilidad y la altura de cada una de las cuatro esquinas de la mesa de trabajo; dos motores a pasos modelo 573S15 se encargan de la subida y bajada de la mesa, para ello debe estar nivelada, permitiendo tener estabilidad y un proceso de corte y grabado uniforme en toda la superficie de la materia prima (**Figura 24**).



Figura 24. Eje “Z”

Sistema automático de corte y grabado



Figura 25. Sistema automático de corte y grabado con módulo láser de diodos

Sistema de absorción de humo

Debido a que el proceso de corte y grabado produce una cantidad considerable de humo durante los procesos de corte y grabado, para ello es necesaria una medida de seguridad y salud en el área de trabajo para proveer las condiciones necesarias para un óptimo desempeño y desarrollo de las actividades inherentes al proceso de corte y grabado.

Estructura y carcasa

La máquina tiene forma rectangular, dispuesta de cubierta protectora con vidrio protector para visualizar el proceso mientras la cubierta está cerrada, la función de la cubierta es evitar que salga el humo producido por el proceso de corte y grabado. El material del cual está construido es acero inoxidable de 1mm de espesor (sugerido para este proceso puesto que se tiene temperatura elevada, humo dentro del área de trabajo y esto ocasiona deterioro del material). Revestido con una capa de pintura en polvo que le brinda un acabado estético y protección contra los agentes contaminantes y el medio que lo rodea como se puede apreciar en la **Figura 26** dispone de varias compuertas que permiten el acceso a los actuadores (en caso de mantenimiento y limpieza), acceso al área de trabajo y acceso al tablero de control (lateral derecho).



Figura 26. Vista frontal de la máquina con sistema automático de corte y grabado láser

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS, PRUEBAS Y RESULTADOS

El presente capítulo contiene información referente al respectivo análisis de variables dependientes e independientes para de esta forma verificar la hipótesis planteada; así también existe información relevante a las pruebas y resultados realizados.

4.1. Operacionalización de variables

4.1.1. Operacionalización de variables dependientes

La variable dependiente está orientada a la productividad en el área de diseño y maquetería en la Ferretería “Color Think”, dentro de la cual se pueden analizar los siguientes parámetros:

- Material
- Costo del proceso
- Costo del producto terminado
- Tiempo requerido

4.1.2. Operacionalización de variables independientes

La variable independiente corresponde al sistema automático de corte y grabado utilizando un módulo láser de diodos; dentro del cual se pueden analizar varios parámetros tales como:

- Tensión
- Luz láser
- Profundidad de corte/grabado

4.2. Pruebas y resultados

Las dimensiones correspondientes a las figuras de prueba se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 9
Dimensiones de las figuras de prueba

Figura	Lado a (mm)	Lado b (mm)	Hipotenusa (mm)	Diámetro (mm)
Cuadrado	10	10	-	-
Rectángulo	20	10	-	-
Triángulo	10	10	14,14	-
Rectángulo				
Círculo	-	-	-	10

Prueba 1. Calibración

Descripción:

La prueba de calibración, está orientada a la regulación de los parámetros para el corte y/o el grabado; los mismos que deben ser establecidos previo al inicio del proceso a desarrollar. Entre los parámetros a ser establecidos se tiene:

- Corriente (mA)
- Altura (mm)
- Velocidad (pulsos/mm)
- Potencia (%)
- Tipo de material
- Espesor del material (mm)

El desarrollo de la prueba consiste en tomar 4 tipos de probetas y conforme a los datos recopilados, establecer valores a los parámetros antes mencionados, preferentemente se toman valores extremos y medios para obtener estos datos que proporcionarán puntos e intervalos claves durante el desarrollo de los procesos.

Resultado:

En la **Tabla 10** se visualizan los valores más comunes utilizados dentro del área de diseño y maquetería.

Tabla 10
Resultados de la prueba de calibración

Figura	Parámetro	Valor
Cuadrado	Corriente	-
	Altura	12mm
	Velocidad	5mm/s
	Potencia	40%
	Tipo de material	Ver Tabla 11
	Espesor del material	Ver Tabla 11
Rectángulo	Corriente	-
	Altura	12mm
	Velocidad	10mm/s
	Potencia	40%
	Tipo de material	Ver Tabla 11
	Espesor del material	Ver Tabla 11
Triángulo rectángulo	Corriente	-
	Altura	12mm
	Velocidad	10mm/s
	Potencia	40%
	Tipo de material	Ver Tabla 11
	Espesor del material	Ver Tabla 11
Círculo	Corriente	-
	Altura	12mm
	Velocidad	10mm/s
	Potencia	40%
	Tipo de material	Ver Tabla 11
	Espesor del material	Ver Tabla 11

De los valores obtenidos de la tabla anterior, se modificaron el espesor del material, variación de la velocidad y el porcentaje de potencia; estos valores son considerados como óptimos para el proceso de corte, los valores para el proceso de grabado requiere de una disminución en la potencia. Los valores óptimos para el proceso de corte se representan a continuación:

Tabla 11

Valores óptimos para el proceso de corte y grabado según el espesor del material

Material	Espesor (mm)	Corte	Grabado	V (mm/s)	Corte		Grabado	
					% de Potencia	# de Pasadas	% de Potencia	# de Pasadas
Cuadrado								
Balsa	1	✓	✓	5	40	6	50	1
Balsa	2	✓	✓	5	40	10	50	1
Balsa	3	✓	✓	5	40	7	50	1
Balsa	4	✓	✓	5	40	7	50	1
Cartón	4	✓	✓	5	40	6	50	1
MDF	3	x	✓	5	40	+15	50	1
Rectángulo								
Balsa	1	✓	✓	5	40	6	50	1
Balsa	2	✓	✓	5	40	5	50	1
Balsa	3	✓	✓	5	40	5	50	1
Balsa	4	✓	✓	5	40	5	50	1
Cartón	4	✓	✓	5	40	6	50	1
MDF	3	x	✓	5	40	+15	50	1
Triángulo Rectángulo								
Balsa	1	✓	✓	5	40	3	50	1
Balsa	2	✓	✓	5	40	2	50	1
Balsa	3	✓	✓	5	40	5	50	1
Balsa	4	✓	✓	5	40	5	50	1
Cartón	4	✓	✓	5	40	6	50	1
MDF	3	x	✓	5	40	+15	50	1
Círculo								
Balsa	1	✓	✓	5	40	3	50	1
Balsa	2	✓	✓	5	40	2	50	1
Balsa	3	✓	✓	5	40	4	50	1
Balsa	4	✓	✓	5	40	4	50	1
Cartón	4	✓	✓	5	40	6	50	1
MDF	3	x	✓	5	40	+15	50	1
Otros materiales								
Cuero	-	x	✓	10	60	+15	70	1
Vidrio	-	x	✓	10	60	+15	70	1
Acrílico	-	x	✓	10	60	+15	70	1
Acetato	-	x	✓	10	60	+15	70	1

La tabla anterior presenta los valores analizados de varias pruebas realizadas para un corte óptimo acorde al espesor del material y relacionados a los parámetros principales a programar (velocidad y % de potencia).

Prueba 2. Funcionamiento (Corte y Grabado)

Descripción:

Durante el desarrollo de esta prueba se obtuvieron valores máximos y mínimos de corte; los mismos que están relacionados a la corriente, espesor del material, tipo de material a cortar y velocidad requeridas para un corte preciso. La prueba consiste en cortar segmentos rectos y curvos en diferentes espesores y materiales a fin de determinar parámetros estables para el corte.

Resultado:

Junto con los valores obtenidos de la prueba 1 en las **Tablas 10 y 11**, se determinaron los parámetros adecuados a fin de lograr un eficiente uso de la máquina y una correcta programación de los parámetros iniciales.

Prueba 3. Funcionamiento (Grabado)

Descripción:

El proceso de grabado requiere de una calibración previa, cuyos valores fueron obtenidos de la prueba 1 (**Tabla 11**), sin embargo se debe realizar una valoración de la forma en que se desarrolla la operación durante una etapa completa de proceso, para ello se influencia directamente del amperaje, la altura del láser y la velocidad del mismo. La prueba consiste en grabar un área determinada y verificando el resultado final.

Resultado:

El proceso de grabado se lo realizó sin ningún problema y obteniendo acabados en varias superficies diferentes como:

- Madera
- Vidrio
- Acetato
- Acrílico (no transparente)

Prueba 4. Medición de tiempos del proceso de corte

Descripción:

Dentro de las actividades que se desarrollaron en esta prueba se encuentran la toma de tiempos durante el desarrollo de uno de los procesos cronometrando las instancias que se relacionan como son los siguientes tiempos a cronometrar:

- A. Avance al punto de corte
- B. Tiempo de corte
- C. Avance al punto de cero máquina
- D. Colocación del material
- E. Extracción del material cortado

Tabla 12
Tiempos de proceso de corte

Material	Espesor (mm)	Corte	V (mm/s)	Corte			
				% de Potencia	# de Pasadas	Tiempo una pasada (seg)	Tiempo Total (seg)
Cuadrado							
Balsa	1	✓	5	40	6	7	42
Balsa	2	✓	5	40	10	7	70
Balsa	3	✓	5	40	7	7	49
Balsa	4	✓	5	40	7	7	49
Cartón	4	✓	5	40	6	7	42
MDF	3	x	5	40	+15	7	+105
Rectángulo							
Balsa	1	✓	5	40	6	11	66
Balsa	2	✓	5	40	5	11	55
Balsa	3	✓	5	40	5	11	55
Balsa	4	✓	5	40	5	11	55
Cartón	4	✓	5	40	6	11	66
MDF	3	x	5	40	+15	11	+165
Triángulo Rectángulo							
Balsa	1	✓	5	40	3	6	18
Balsa	2	✓	5	40	2	6	12
Balsa	3	✓	5	40	5	6	30
Balsa	4	✓	5	40	5	6	30
Cartón	4	✓	5	40	6	6	36
MDF	3	x	5	40	+15	6	+90
Círculo							
Balsa	1	✓	5	40	3	5	15
Balsa	2	✓	5	40	2	5	10
Balsa	3	✓	5	40	4	5	20
Balsa	4	✓	5	40	4	5	20
Cartón	4	✓	5	40	6	5	30
MDF	3	x	5	40	+15	5	+75

Resultado:

Como se puede apreciar en la **Tabla 12** se tomaron los valores observados del proceso, quedando comprobada la reducción de tiempos gracias a la implementación de un sistema automático en la etapa de corte y grabado. Posteriormente se realizará un análisis comparativo más profundo de los tiempos de proceso.

Prueba 5. Precisión**Descripción:**

Esta prueba consiste en la verificación de los puntos de inicio de corte de las figuras de prueba, con ello verificando los valores correspondientes a los ejes X e Y en donde deben haber sido realizados los cortes; para ello en el material a procesar se realiza el dibujo previo de una figura básica de prueba (cuadrado, rectángulo, triángulo, círculo) como se puede ver en la **Figura 27**, tomando las mediciones exactas desde los extremos al borde de la figura, de la misma forma los catetos, lados, etc. deben ser medidos y verificados con la ayuda de un flexómetro.

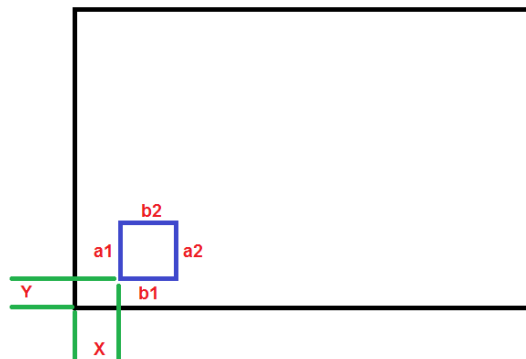


Figura 27. Esquema de la prueba de precisión

Resultado:

La verificación de la precisión realizando el corte de figuras diseñadas con valores exactos, una vez finalizado el proceso, con la ayuda de un calibrador se midió cada uno de los lados de la figura obteniendo así la validación en exactitud de corte; cabe mencionar que incrementando la potencia el margen de error aumentaba; el máximo margen de error es de 1% con la velocidad más alta y la potencia al 100%.

Tabla 13

Prueba de precisión – corte de un cuadrado

	Distancia X desde el origen (mm)	Distancia Y desde el origen (mm)	Lado a1 (mm)	Lado b1 (mm)	Lado a2 (mm)	Lado b2 (mm)
Valores ideales	650	450	10	10	10	10
Prueba 1	650	450	9,8	9,85	9,85	9,8
Prueba 2	650	450	10	9,9	9,85	9,9
Prueba 3	650	450	9,9	10	9,9	10

Prueba 6. Posicionamiento

Descripción:

Esta prueba al igual que la prueba de precisión tienen relación debido a que sirve para analizar el correcto desplazamiento del láser sobre el área de trabajo. El desarrollo de esta prueba consiste en ingresar varias coordenadas de posicionamiento en un orden aleatorio (como se puede ver en la **Figura 28**) previas al inicio de un proceso de corte o grabado, en esta prueba se realiza un comparativo de las distancias de los puntos ingresados a los cuales la herramienta debe desplazarse.

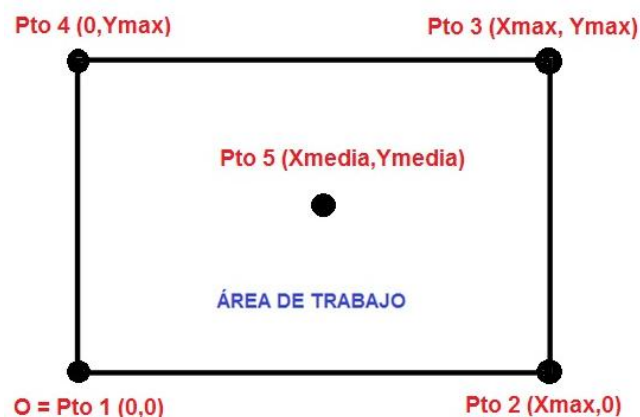


Figura 28. Puntos para prueba de posicionamiento

Resultado:

La verificación de la precisión durante el posicionamiento es fundamental, debido a ello se realizó partiendo del cero máquina (origen) la toma de varias medidas y mediante el panel de control, ubicando el láser en dicho punto, obteniendo valores exactos de posicionamiento.

Tabla 14

Prueba de posicionamiento de láser

Puntos a analizar	Coordenadas ingresadas (mm)		Coordenadas del posicionamiento (mm)		Error (mm)	
	Eje "X"	Eje "Y"	Eje "X"	Eje "Y"	Eje "X"	Eje "Y"
Punto 1	0	0	5	10	5	10
Punto 2	1300	0	1305	10	5	10
Punto 3	1300	900	1305	910	5	10
Punto 4	0	900	5	910	5	10
Punto 5	650	450	655	460	5	10

Prueba 7. Perpendicularidad

Descripción:

Esta prueba consiste en la verificación de la perpendicularidad de corte del material a procesar; el valor recomendable para un corte es de 90° para obtener una cara recta tal como se muestra en la siguiente figura. Cabe mencionar que la calibración va relacionada directamente al sistema de transmisión mecánico y a la calibración de los parámetros del sistema de corte y grabado debido a que de ellos dependerá del espesor del material seleccionado para el proceso de corte y grabado como se puede apreciar en la **Figura 29**.



Figura 29. Referencia para la prueba de perpendicularidad

Como se mencionó anteriormente lo que se busca es que el área de color negro en la figura tenga un corte perpendicular y para ello se debe calibrar acorde al espesor del material. Una de las formas más sencillas de realizar esta prueba es realizando el corte de una figura y verificando sus medidas posteriormente; entre las figuras más recomendables se encuentran, cuadrados, rectángulos, triángulos y círculos.

Resultado:

De forma similar que en las pruebas anteriores, se procedió a realizar un corte de una figura básica; pero en materiales de diferentes espesor, partiendo de espesores de 1mm hasta >3mm.

Tabla 15**Prueba de perpendicularidad – corte de un cuadrado**

	Lado a	Lado b	Hipotenusa	Diámetro	Otros
Valor ideal	10	10	-	-	-
Prueba 1	9,9	9,9	-	-	-
Prueba 2	9,8	9,85	-	-	-
Prueba 3	9,9	10	-	-	-
Prueba 4	10	10	-	-	-

4.3. Análisis de pruebas y resultados implementado el sistema automático de corte

La etapa final de valoración de resultados, está determinada de los valores y parámetros establecidos de las pruebas antes realizadas, teniendo los siguientes resultados:

4.4. Análisis comparativo entre método tradicional (netamente manual) y el sistema automático de corte

Para realizar el correspondiente análisis, se ha tomado en cuenta unos de los productos más solicitados por los clientes siendo este la caja tulipán con y sin detalles; a partir de este producto, se han establecido los principales parámetros para comprobar los beneficios de la implementación de un sistema automático dentro del proceso de diseño y corte de piezas para maquetería los mismos que hacen referencia al tiempo de proceso y al capital invertido.

La información que a continuación se detalla minuciosamente, presenta los valores correspondientes a los tiempos de proceso:

FABRICACIÓN EN MODO TRADICIONAL (NETAMENTE MANUAL)**a) Cajita tulipán sin detalle 70x80mm**

$$t_{proceso1} = t_{prep. material} + t_{diseño} + t_{corte} + t_{extracción de proceso} + t_{muerto} + t_{extras}$$

$$t_{proceso1}(min) = 5 + 60 + 30 + 45 + 10 + 0$$

$$t_{proceso1}(min) = 150$$

$$t_{\text{proceso2}} = t_{\text{lijado}} + t_{\text{armado y pegado}} + t_{\text{secado}} + t_{\text{pintado}} + t_{\text{extras}}$$

$$t_{\text{proceso2}}(\text{min}) = 60 + 120 + 60 + 180 + 324$$

$$t_{\text{proceso2}}(\text{min}) = 744$$

$$t_{\text{proceso total}} = t_{\text{proceso1}} + t_{\text{proceso2}}$$

$$t_{\text{proceso total}} = 894 \text{ min}$$

$$t_{\text{proceso total}} = 14\text{h } 54\text{min}$$

El tiempo que se requiere para realizar 12 cajitas tipo tulipán con una medida de 70x80 mm, es de 2 días laborables.

b) Cajita tulipán con detalle tipo gotas 70x80mm

$$t_{\text{proceso1}} = t_{\text{prep. material}} + t_{\text{diseño}} + t_{\text{corte}} + t_{\text{extracción de proceso}} + t_{\text{muerto}} + t_{\text{extras}}$$

$$t_{\text{proceso1}}(\text{min}) = 5 + 60 + 120 + 15 + 360 + 0$$

$$t_{\text{proceso1}}(\text{min}) = 560$$

$$t_{\text{proceso2}} = t_{\text{lijado}} + t_{\text{armado y pegado}} + t_{\text{secado}} + t_{\text{pintado}} + t_{\text{extras}}$$

$$t_{\text{proceso2}}(\text{min}) = 60 + 120 + 60 + 180 + 324$$

$$t_{\text{proceso2}}(\text{min}) = 774$$

$$t_{\text{proceso total}} = t_{\text{proceso1}} + t_{\text{proceso2}}$$

$$t_{\text{proceso total}} = 1304 \text{ min}$$

$$t_{\text{proceso total}} = 21\text{h } 44\text{min}$$

El tiempo que se requiere para realizar 12 cajitas tipo tulipán con detalle de gotita de una medida de 70x80 mm, es de 3 días laborables.

FABRICACIÓN CON EL SISTEMA AUTOMÁTICO DE CORTE Y GRABADO MEDIANTE UN LASER DE DIODOS

a) Cajita tulipán sin detalle 70x80mm

$$t_{\text{proceso1}} = t_{\text{prep. material}} + t_{\text{diseño}} + t_{\text{corte}} + t_{\text{extracción de proceso}} + t_{\text{muerto}} + t_{\text{extras}}$$

$$t_{\text{proceso1}}(\text{min}) = 5 + 30 + 360 + 5 + 0 + 0$$

$$t_{\text{proceso1}}(\text{min}) = 400$$

$$t_{proceso2} = t_{lijado} + t_{armado\ y\ pegado} + t_{secado} + t_{pintado} + t_{extras}$$

$$t_{proceso2}(min) = 0 + 120 + 60 + 180 + 324$$

$$t_{proceso2}(min) = 684$$

$$t_{proceso\ total} = t_{proceso1} + t_{proceso2}$$

$$t_{proceso\ total} = 1084\ min$$

$$t_{proceso\ total} = 18h\ 4min$$

El tiempo que se requiere para realizar 12 cajitas tipo tulipán con una medida de 70x80 mm, es de 3 días laborables.

b) Cajita tulipán con detalle tipo gotas 70x80mm

$$t_{proceso1} = t_{prep.\ material} + t_{diseño} + t_{corte\ y\ grab} + t_{extracción\ de\ proceso} + t_{muerto} + t_{extras}$$

$$t_{proceso1}(min) = 5 + 30 + 480 + 5 + 0 + 0$$

$$t_{proceso1}(min) = 520$$

$$t_{proceso2} = t_{lijado} + t_{armado\ y\ pegado} + t_{secado} + t_{pintado} + t_{extras}$$

$$t_{proceso2}(min) = 0 + 120 + 60 + 180 + 324$$

$$t_{proceso2}(min) = 684$$

$$t_{proceso\ total} = t_{proceso1} + t_{proceso2}$$

$$t_{proceso\ total} = 1204\ min$$

$$t_{proceso\ total} = 20h\ 04min$$

El tiempo que se requiere para realizar 12 cajitas tipo tulipán con detalle de gotita de una medida de 70x80 mm, es de 3 días laborables

4.5. Análisis de rentabilidad y costos

En el desarrollo de un proyecto con fines empresariales o micro-empresariales, es importante considerar un análisis rentable con el fin de obtener una visión clara y segura de los beneficios que se pueden llegar a obtener de la implementación y puesta en marcha de equipos, máquinas o

herramientas las cuales faciliten; o a su vez maximicen la utilización de los recursos existentes dentro de un ente empresarial. Para ello se analiza la relación entre el costo del proceso manual vs el costo del proceso automatizado.

En el diseño de productos de madera se debe tomar en cuenta todos los procesos previos y posteriores al corte y grabado como lo son: medición y diseño del modelo, corte, lijado, refrentado de bordes, etc.; los cuales se aplican a la materia prima antes y después de los procesos mencionados para convertirla en un producto terminado que cumpla las características requeridas por el cliente y se encuentre listo para su posterior distribución y venta.

Es por ello que el análisis de rentabilidad se analizará a partir del sueldo básico de una persona que en este año es de \$ 382,66 según la tabla sectorial del INEC de la Sección D INDUSTRIAS MANUFACTURERAS D-20 PRODUCCIÓN DE MADERA Y FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DE MADERA Y DE CORCHO EXCEPTO MUEBLES; FABRICACIÓN DE ARTÍCULOS DE PAJA Y DE MATE, adicionalmente se realizará un análisis referenciando al costo de herramientas utilizadas

Nota: Cabe mencionar que las tareas de cortado en grandes cantidades son de cinco meses no consecutivos, lo que resta del año son trabajos en menores cantidades y con varios modelos bajo pedido. Además los meses de mayor oferta y demanda son: Febrero, mayo, agosto, noviembre y diciembre

PERSONAL

- **Fijo:** 2
- **Variable/ocasional:** Mínimo1, máximo 3

De los datos vistos se llega a la conclusión de que la implementación del sistema automático para corte y grabado utilizando un módulo láser de diodos proporciona ventajas en cuanto a mayor facilidad de proceso con menores tiempos, poca inversión entre otras ventajas; dicho de otra manera dado a que el proceso de corte se lo realizaba de forma manual, se invertía muchos recursos con márgenes mínimos de ganancia. Con la implementación de un

sistema automático que facilite y agilice el proceso más laborioso (corte), el operador puede desempeñar otras tareas o actividades mientras se realiza el proceso de forma automática como lo es el diseño de nuevos modelos, o a su vez las etapas posteriores en otros productos ya procesados y de esta manera contribuir con la producción en otra área; así también disminuir la influencia de un persona evita fallos humanos brindando una mayor calidad de producto terminado.

En la **Tabla 16** se presenta el número de personas implicadas dentro de cada uno de los procesos desde el diseño hasta la venta del producto terminado.

Tabla 16

Relación entre procesos y número de personas implicadas

Orden de la operación	Tipo de proceso	Subproceso	Número de personas implicadas	
			Forma manual	Forma automática
1	Diseño	Diseño de modelos	1	1
2	Preparación	Gráfica de bosquejo en la madera		
3		Preparación de las herramientas		
4	Corte	Corte de figuras		
5		Extracción de piezas cortadas		
6		Lijado de bordes		
7	Armado y pintado	Armado	2	1
8		Pegado		
9		Secado (pegamento)		
10		Pintado		
11		Secado (pintado)		
12	Venta	Traslado	3	0
13		Venta		
14	ADICIONAL (por horas)	Trabajos varios (ayudante)	3	0
TOTAL			6	2

Partiendo de la información de la **Tabla 16**, se puede evidenciar que al utilizar el sistema manual se requiere de 6 personas, a comparación del uso del

sistema automático de corte y grabado la Ferretería “Color Think” requiere únicamente de 2 personas para entregar el producto terminado, debido a que mientras el proceso de corte y grabado se realizan en modo automático, significando que no se requiere de labor manual (incluyendo uso de herramientas adicionales, mayor cantidad de tiempo y personal), sino únicamente del ingreso y salida de material; así como de la supervisión durante se desarrolla el proceso (corte – grabado) y la extracción del material procesado. Visto desde el punto financiero:

- Eliminación del pago de cuatro sueldos.
- Incremento de la flexibilidad en el diseño de nuevos modelos.
- Reducción de tiempo de proceso de corte.
- Eliminación del uso de herramientas manuales.
- Mayor calidad del producto terminado.
- Optimización del recurso humano.

4.5.1. EVALUACIÓN FINANCIERA.

En la siguiente tabla se presenta todos los materiales que fueron requeridos para la elaboración de la maquina CNC de corte y grabado para la Ferretería Color Think. Cabe recalcar que para cubrir el costo total de la maquinaria, se recurre a realizar un préstamo de \$5000.

Tabla 17 Costo de los materiales - Máquina CNC

MATERIALES	CANT.	VALOR UNIT	TOTAL
Módulo Láser Diode Cheapo 15 W	1	\$ 650,00	\$ 650,00
Fuentes de alimentación	3	\$ 25,00	\$ 75,00
Tarjeta Controladora RDC644XG	1	\$ 600,00	\$ 600,00
Driver de motor paso a paso	3	\$ 35,00	\$ 105,00
Motores a paso	3	\$ 200,00	\$ 600,00
Construcción mecánica	1	\$ 2.250,00	\$ 2.250,00
Total Maquinaria			\$ 4.280,00

A. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de retorno es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión, expresada en tanto por ciento para evaluar el porcentaje de beneficio o pérdida en los proyectos de inversión. (Casia Carcamo, 2006)

TASA	11,23%
------	--------

INVERSIÓN	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
\$ (5.000,00)	8145,63	8308,55	8474,72	8644,21	8817,10	8993,44	9173,31	9356,77	9543,91	9734,79
VAN	165%									

FUENTE: SIMULADOR

INTERPRETACIÓN:

El análisis de la Tasa Interna de Retorno (TIR) de Color Think muestra un porcentaje del 165%, lo que significa que el proyecto es demasiado rentable analizando el capital invertido más la ganancia adicional, por tanto se puede evidenciar que será lo suficiente para cubrir la deuda que otorgó el banco con una tasa de interés del 11,23% anual.

B. Valor Actual Neto (VAN)

El valor actual neto es un criterio de inversión que sirve para conocer cuánto se va a ganar o perder en una inversión. (Casia Carcamo, 2006)

TASA	11,23%
------	--------

INVERSIÓN	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
\$ (5.000,00)	8145,63	8308,55	8474,72	8644,21	8817,10	8993,44	9173,31	9356,77	9543,91	9734,79
VAN	\$ 41.482,04									

FUENTE: SIMULADOR

INTERPRETACIÓN:

El VAN en Color Think genera un valor de \$ 41.482,04; este valor será obtenido adicional a la inversión.

C. Período de Recuperación de la Inversión.

Es un método utilizado para la evaluación de inversiones que permite determinar el tiempo en se recupera el dinero de la inversión. (Casia Carcamo, 2006)

PAY BACK

AÑO 1	8145,63
AÑO 2	
TOTAL	8145,6333

8145,633333 ---- > 1

\$ 5.000,00 ---- > X

X= 0,6138258 AÑOS
0,6138258 MESES

0 AÑOS
7,37 MESES

FUENTE: SIMULADOR

INTERPRETACIÓN:

El periodo de recuperación de Color Think previo a los datos establecidos se obtiene que se recuperará en 7 meses esto es basado en los flujos de fondos.

4.6. Análisis y resultados finales

La siguiente gráfica comparativa presenta los beneficios obtenidos de la automatización del proceso de corte.

En la **Tabla 18** se detalla el tiempo de los procesos de la fabricación de 12 Cajitas tulipán sin detalle con una medida de 70x80mm.

Tabla 18 Detalle del tiempo de proceso Cajita tulipán sin detalle

Proceso	Subprocesos	Fabricación tradicional (min)	Fabricación con corte y grabado automatizados (min)
Proceso 1	Preparación de material	5	5
	Diseño	60	30
	Corte	30	360
	Grabado	0	0
	Extracción de material procesado	45	5
	Muerto	10	0
Total proceso 1		150	400
Proceso 2	Lijado	60	0
	Armado y pegado	120	120
	Secado (pegamento)	60	60
	Pintado	180	180
	Extras	324	324
Total proceso 2		744	684
Total		894	1084

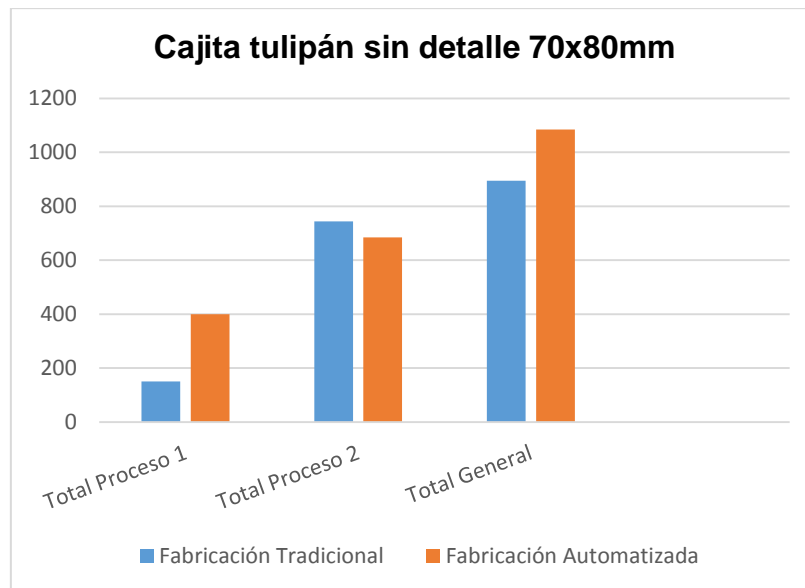


Figura 30 Fabricación Tradicional vs Automatizada de la cajita tulipán sin detalle

En la **Tabla 19** se detalla el tiempo de los procesos de la fabricación de 12 Cajitas tulipán con detalle tipo gota con una medida de 70x80mm.

Tabla 19 Detalle del tiempo de proceso Cajita tulipán con detalle

Proceso	Subprocesos	Fabricación tradicional (min)	Fabricación con corte y grabado automatizados (min)
Proceso 1	Preparación de material	5	5
	Diseño	60	30
	Corte	120	360
	Grabado	120	120
	Extracción de material procesado	15	5
	Muerto	360	0
	Total proceso 1	680	520
Proceso 2	Lijado	60	0
	Armado y pegado	120	120
	Secado (pegamento)	60	60
	Pintado	180	180
	Extras	324	324
	Total proceso 2	774	684
TOTAL	1424	1204	

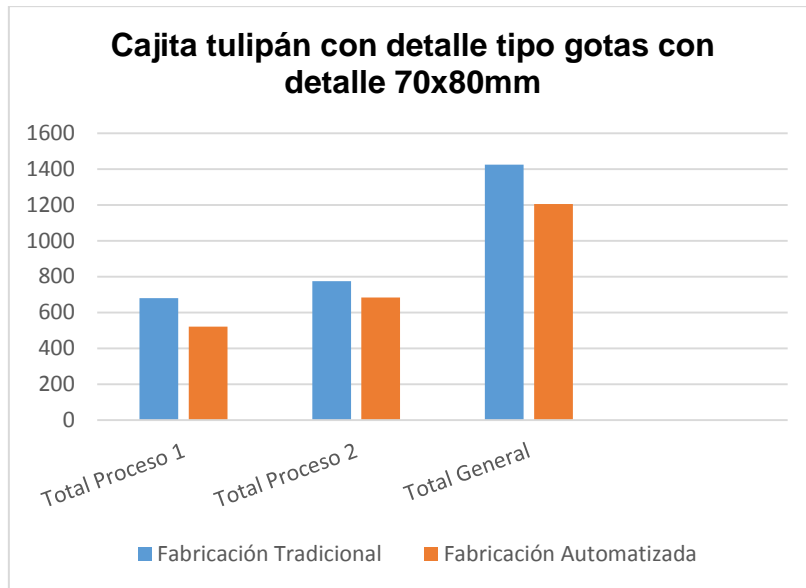


Figura 31 Fabricación Tradicional vs Automatizada de la cajita tulipán con detalle

En las tablas **18** y **19** anteriores se presenta una comparativa entre procesos (manual – automático) así como en el corte y grabado; en la **Figura 30** se observa que el proceso de corte el tiempo de fabricación de manera automatizada es mayor que el proceso manual por el número de pasadas que debe realizarse un corte como se muestra en la **Tabla 11**, por otra parte en la **Figura 31** en el proceso de corte y grabado se obtiene una ventaja en el tiempo de fabricación automatizada en comparación de la tradicional debido a que era necesario acudir a otros lugares para realizar el grabado; de la misma forma las pruebas realizadas de funcionamiento y calibración validan la correcta operación de corte y grabado en diferentes espesores y materiales utilizados en el desarrollo y diseño de productos, así como nuevos modelos siempre buscando brindar seguridad en su uso, eficiencia, optimizando los recursos y mayor calidad en los productos.

4.7. Validación de la hipótesis

Para la validación de la hipótesis se utilizará el método del chi-cuadrado el cual sirve para someter a prueba la hipótesis referida a distribuciones de frecuencia; de manera más general esta prueba contrasta las frecuencias observadas con las frecuencias esperadas y las relaciona con una hipótesis nula. Para aplicar este método se siguen los siguientes pasos:

4.7.1. Planteamiento de la hipótesis

¿El sistema automático de corte y grabado utilizando un módulo laser de diodos, mejorará la productividad en el área de diseño y maquetería en la Ferretería Color Think?

4.7.2. Planteamiento de la hipótesis de trabajo y nula

Hipótesis de trabajo: La implementación de un sistema automático de corte y grabado depende de la utilización de un módulo láser de diodos para la mejora de la productividad en el área de diseño y maquetería en la Ferretería Color Think.

Hipótesis nula: La implementación de un sistema automático de corte y grabado es independiente de la utilización de un módulo láser de diodos para la mejora de la productividad en el área de diseño y maquetería en la Ferretería Color Think.

4.7.3. Designación de variables

Variable independiente: Sistema automático de corte y grabado utilizando un módulo láser de diodos.

Variable dependiente: Factores que influyen en la productividad en el área de diseño y maquetería en la Ferretería “Color Think”.

4.7.4. Valores observados

En la **Tabla 20** se presentan los valores de relación de dependencia existente entre las variables dependiente e independiente; las cuales fueron obtenidas de las pruebas realizadas. Esta escala va de 0 a 5; siendo 0 el mínimo valor de relación y 5 el máximo valor de relación.

Tabla 20

Valores observados

Sistema automático de corte y grabado	Diseño	Corte y grabado	Armado y pintado	Distribución y venta
Dependientes	4	4	3	2
Independientes	5	5	4	4

4.7.5. Valor de frecuencias esperadas y observadas

A continuación en las: **Tabla 21** y **Tabla 22** se observan las frecuencias observada y esperada respectivamente; para obtener los valores de cada frecuencia esperada se multiplica el total de cada columna y fila correspondiente a la celda que se desea obtener para la suma total.

Tabla 21

Frecuencia observada

Sistema automático de corte y grabado	Diseño	Corte y grabado	Armado y pintado	Distribución y venta	TOTAL
Dependientes	4.5	4.5	3.5	1.5	14
Independientes	5	4.5	3.5	4	17
TOTAL	9.5	9	7	5.5	31

Tabla 22

Frecuencia esperada

Sistema automático de corte y grabado	Diseño	Corte y grabado	Armado y pintado	Distribución y venta	TOTAL
Dependientes	4	4	3	2	13
Independientes	5	5	4	4	18
TOTAL	9	9	7	6	31

4.7.6. Cálculo del chi cuadrado

El valor de chi cuadrado se tiene de la ecuación siguiente.

$$x^2_{calc} = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e} \quad \text{Ec. 16}$$

Dónde:

f_o Frecuencia del valor observado

f_e Frecuencia del valor esperado

Reemplazando los valores de las tablas 21 y 22 en la Ec. 16 se tiene:

$$x^2_{calc} = 2 \left(\frac{(4.5 - 4)^2}{4} \right) + \frac{(3.5 - 3)^2}{3} + \frac{(1.5 - 2)^2}{2} + \frac{(5 - 5)^2}{5} + \frac{(4.5 - 5)^2}{5} + \frac{(3.5 - 4)^2}{4} + \frac{(4 - 4)^2}{4}$$

$$x^2_{calc} = 0.125 + 0.083 + 0.125 + 0 + 0.05 + 0.0625 + 0$$

$$x^2_{calc} = 0.445$$

4.7.7. Cálculo del grado de libertad y nivel de significancia

El valor del grado de libertad se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$v = (\text{cantidad de filas} - 1) * (\text{cantidad de columnas} - 1)$$

Ec. 17

Reemplazando los respectivos valores se tiene:

$$v = (2 - 1) * (4 - 1)$$

$$v = 1 * 3 = 3$$

$$v = 3$$

El nivel de significancia es el error que se puede cometer al rechazar la hipótesis nula siendo verdadera; por lo general se trabaja con un nivel de significancia de 0.05 lo cual indica que hay una posibilidad del 95% de que la hipótesis nula sea verdadera.

4.7.8. Análisis del chi cuadrado mediante tabla

Obtenidos el grado de libertad y el nivel de significancia, se obtiene el valor de chi cuadrado mediante la tabla en el **ANEXO I**, siendo este:

$$x^2_{tabla} = 7.82$$

Para el análisis por chi cuadrado se tiene la siguiente condición:

Si $x^2_{calc} \leq x^2_{tabla}$, entonces se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis de trabajo; mientras que si $x^2_{calc} > x^2_{tabla}$, entonces se acepta la hipótesis de trabajo y se rechaza la hipótesis nula.

De los resultados obtenidos se tiene:

$$x^2_{calc} = 0.445 \leq x^2_{tabla} = 7.82$$

Por tal razón se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis de trabajo; esto quiere decir que la implementación de un sistema automático de corte y grabado es independiente de la utilización de un módulo láser de diodos para la mejora de la productividad en el área de diseño y maquetaría en la Ferretería Color Think.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se diseñó e implementó un sistema automático de corte y grabado utilizando un módulo láser de diodos, el cual contribuyó con la mejora de la productividad en el área de diseño y maquetería en la Ferretería “Color Think”.
- Se verificó mediante pruebas y resultados la eficiencia del sistema automático de corte y grabado en el que se redujo el tiempo total del proceso de producción a través de un análisis comparativo de los procesos (manual vs automático).
- Se redujo la mano de obra que influye dentro del proceso, limitando la participación de un operador a un 60% correspondiente a la colocación del material en el sistema, ingreso y modificación de parámetros de corte y extracción de las piezas cortadas, brindándole al operador la posibilidad de desempeñar otras actividades en el lapso que se tarda en finalizar el proceso.
- Se implementó un diseño actual que presenta mayor seguridad para el operador, facilidad de uso y una mejora en la calidad del producto terminado.
- En el análisis de rentabilidad, se ha concluido que la creación del Sistema Automático de corte y grabado, matemáticamente es viable, debido a que el VAN y el TIR obtenidos son positivos, además la inversión es en corto tiempo.
- La implementación de un dispositivo de control más actualizado y con mayores prestaciones, permite la obtención de un control eficiente del proceso y flexibilidad en la etapa de diseño.

5.2. Recomendaciones

- Para mayor seguridad dentro del área de trabajo, se vio la necesidad de implementar del módulo de extracción de humo.
- Leer minuciosamente el manual de operador del software de diseño, para considerar la flexibilidad en el diseño de nuevos modelos.
- Seguir las instrucciones de seguridad y utilizar los equipos de protección descritas en los anexos.
- Para maximizar el uso de la máquina se recomienda realizar ajustes en la velocidad y potencia de corte para reducir tiempos y reutilizar material sobrante.
- Como trabajo futuro se recomienda la implementación de un módulo láser de corte de CO₂, el cual permitirá el corte de espesores >3mm en madera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACS, R. (7 de Marzo de 2017). Recuperado el 15 de 08 de 2017 , Obtenido de <http://en.rd-ac.com/Private/Files/635f44a5a62a888d.pdf>
- Bustillos Escola, D. I. (2014). Diseño y Construcción de un prototipo de Centro de Mecanizado Vertical CNC de 5 ejes para el Laboratorio CNC de la ESPE Extensión Latacunga. Latacunga.
- Casia Carcamo, M. S. (Octubre de 2006). Evaluación Financiera Económica de un Proyecto Privado de Agua Potable en la Aldea Chocal-Municipio de Chiantla, Departamento de Huehuetenango.
- CNC Control. (2013). <http://www.cnccontrolapp.com>. Recuperado el 15 de 08 de 2017, Obtenido de <http://www.cnccontrolapp.com>: <http://www.cnccontrolapp.com/transmision.html>
- ForestalEcuador. (03 de Agosto de 2011). Obtenido de <http://ecuadorforestal.org/actualidad-forestal/industria-de-la-madera-una-gran-oportunidad-para-el-pais/>
- Inkscape. (21 de Marzo de 2017). Recuperado el 15 de 08 de 2017 , Obtenido de <https://inkscape.org/es/>
- Kuzu. (10 de Marzo de 2017). *Kuzu, S.L.* Recuperado el 15 de 08 de 2017 , Obtenido de <http://kuzudecoletaje.es/>
- Londoño Ospina, N., León Simanga, P., Álvarez Díaz, J., & Marín Zapata, E. (2005). www.dialnet.unirioja.es. Recuperado el 08 de 2017
- NOVOPAN. (2017). *NOVOPAN*. Recuperado el 20 de 09 de 2017 , Obtenido de <http://www.novopan.com.ec/>
- Ready, J. F. (1997). *Industrial Applications of Lasers*. London: Academic Press.
- SIDECO. (29 de Junio de 2016). Recuperado el 25 de 08 de 2017 , Obtenido de <https://sideco.com.mx/historia-y-origen-de-las-maquinas-cnc/>
- Suh, S. H., Kang, S., Chung, D. H., & Stroud, I. (2008). *Theory and Design of CNC Systems*. London: Springer-Verlag.
- Trotec. (2017). Recuperado el 15 de 08 de 2017 , Obtenido de <https://www.troteclaser.com/es-ec/aplicaciones/madera/>
- Waters, T. (2004). *Fundamentals of manufacturing for engineers*. UCL Press.



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores: **IVETH CAROLINA CHASI BUSTILLOS** y **ALEX MARCELO CADENA QUIMBITA**.

En la ciudad de Latacunga, a los **20 días del mes de Octubre del 2017**.

ING. MARCO PILATASIG
DIRECTOR DEL PROYECTO

APROBADO POR:

ING. FRANKLIN SILVA
DIRECTOR DE CARRERA

DR. RODRIGO VACA
SECRETARIO ACADÉMICO