



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIEROS MECATRÓNICOS**

**TEMA: REPOTENCIACIÓN DE UNA CNC DE CORTE LÁSER Y
DISEÑO DE SU SISTEMA DE PRODUCCIÓN**

AUTORES:

**CABRERA SORIA, ANDRÉS ALEJANDRO
CEDILLO TAPIA, JULIO CÉSAR**

DIRECTOR:

ING. CORTEZ PAZMIÑO, BYRON HERNÁN

SANGOLQUÍ

2019



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y LA MECÁNICA


CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**REPOTENCIACIÓN DE UNA CNC DE CORTE LÁSER Y DISEÑO DE SU SISTEMA DE PRODUCCIÓN**” fue realizado por los señores **CABRERA SORIA, ANDRÉS ALEJANDRO** y **CEDILLO TAPIA, JULIO CÉSAR** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 15 de Julio del 2019

Firma:


.....
Ing. Cortez Pazmiño, Byron Hernán

DIRECTOR

C.C. 171447108-1



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y LA MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **CABRERA SORIA, ANDRÉS ALEJANDRO** y **CEDILLO TAPIA, JULIO CÉSAR** declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **REPOTENCIACIÓN DE UNA CNC DE CORTE LÁSER Y DISEÑO DE SU SISTEMA DE PRODUCCIÓN** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 15 de Julio del 2019



**CABRERA SORIA
ANDRÉS ALEJANDRO**
C.C.: 1721260659



**CEDILLO TAPIA
JULIO CÉSAR**
C.C.:1720933983



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y LA MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **CABRERA SORIA, ANDRÉS ALEJANDRO** y **CEDILLO TAPIA, JULIO CÉSAR** autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **REPOTENCIACIÓN DE UNA CNC DE CORTE LÁSER Y DISEÑO DE SU SISTEMA DE PRODUCCIÓN** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 15 de Julio del 2019

**CABRERA SORIA
ANDRÉS ALEJANDRO**
C.C.:1721260659

**CEDILLO TAPIA
JULIO CÉSAR**
C.C.:1720933983

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi esposa y a mi hija, ya que todo el esfuerzo hecho y por hacer será siempre para ellas. A mis padres, que me apoyaron en cada instancia de este largo trayecto. A todas las personas que me han apoyado y a Dios que está siempre conmigo.

Andrés Alejandro Cabrera Soria

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, a mi hermana y a todas las personas que me han apoyado para culminar esta etapa de mi vida.

Julio César Cedillo Tapia

AGRADECIMIENTO

A Dios, por su amor y constantes bendiciones en mi vida y en la vida de las personas que me rodean, por su bondad eterna y oportunidades que me han ayudado a reconocer mis logros y errores, y poder aprender de ellos, para crecer como persona.

A mi padre Manolo y a mi madre Jacqueline, porque gracias a ellos hoy puedo culminar una gran etapa de mi vida, porque durante una época dura de mi vida, y vida universitaria estuvieron ahí cuando más los necesitaba, con su apoyo y amor incondicional.

A mi padre por siempre forjarme como una persona honesta, justa e íntegra, inculcándome siempre que con esfuerzo, constancia y dedicación se consiguen grandes logros como este.

A mi madre por mostrarme su amor, paciencia y perseverancia que me ayudaron en los momentos más duros de esta gran etapa y poder salir siempre victorioso.

Papi y Mami, su ayuda y apoyo fueron fundamentales para la culminar mi carrera, estaré siempre infinitamente agradecido. Los amo.

A mi novia y ahora esposa por su apoyo y paciencia durante todo este largo trayecto, porque a pesar del tiempo ella nunca se alejó de mí y siempre estuvo ahí.

A mis amigos que durante toda la carrera, se pudo disfrutar y sufrir cada momento en cada materia.

Andrés Alejandro Cabrera Soria

AGRADECIMIENTO

A mi madre Geoconda por brindarme amor incondicional y apoyarme todos los días de mi etapa académica, y estar dispuesta a ayudarme sin importar la hora del día, soportándome durante las difíciles épocas de exámenes y proyectos.

A mi padre Julio que siempre me ha apoyado e impartido valores que me han convertido en la persona que soy hoy en día, por ayudarme siempre en mis proyectos sin importar el día o la hora.

A mi hermana Paola quien ha sido mi compañera y amiga desde el día que nací, por apoyarme y darme consejo.

A ellos simplemente gracias principalmente por creer siempre en mí y motivarme a cumplir mis sueños, por estar siempre para mí y brindarme su amor y apoyo. Prometo no decepcionarlos.

A mis amigos agradecerles por los momentos vividos, las risas y el apoyo que siempre me han brindado. En especial quiero agradecer a mi mejor amiga Erika a quién conocí en el inicio de esta etapa y quien siempre ha estado sin importar si son buenos o malos momentos.

Julio César Cedillo Tapia

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
CAPÍTULO I	1
GENERALIDADES	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación e importancia	2
1.3. Alcance	3
1.4. Objetivos	7
1.4.1. Objetivo General.....	7

1.4.2. Objetivos Específicos.....	7
CAPÍTULO II.....	8
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	8
2.1 Máquinas CNC.....	8
2.1.1 Componentes y arquitectura.....	8
2.2 Corte por láser	9
2.2.1 Generación del haz de láser.....	10
2.2.2 Diferencia entre láseres.....	10
2.3 Definición de Chiller	11
2.4 Refrigerantes	12
2.5 Ciclo refrigeración	13
2.6 Transferencia de calor.....	16
2.6.1 Conducción	16
2.6.2 Radiación	17
2.6.3 Convección	17
2.6.4 Coeficiente global de transferencia de calor	20
2.6.5 Ecuación general de intercambiadores de calor.....	22
2.7 Equipos de bombeo.....	22
2.7.1 Altura de succión y carga neta de succión positiva NPSH	23

2.8 Pérdidas en tuberías	24
2.8.1 Pérdidas primarias	24
2.8.2 Pérdidas secundarias	27
2.8.3. Pérdidas Totales	30
2.8.4. Ecuación de Bernouilli	30
CAPÍTULO III	31
ESTADO TÉCNICO INICIAL DE LA MÁQUINA CNC DE CORTE LÁSER	31
4.1 Evaluación del estado técnico	31
4.2 Diagnóstico general de la máquina.....	36
CAPÍTULO IV	37
REDISEÑO E IMPLEMENTACIÓN	37
4.1 Diseño de chiller industrial	38
4.1.1 Selección de componentes electrónicos	39
Interruptor Térmico	39
Termómetro Digital	41
Relé de Potencia.....	43
4.2 Sistema de Refrigeración.....	44
4.2.1 Selección del Tubo	46
4.3 Selección de Bomba.....	50

4.3.1. Pérdidas Primarias	50
4.3.2. Pérdidas Secundarias	51
4.4 Interruptor de Flujo de Agua	55
4.5 Panel de Control.....	57
4.5.1. Selección de Indicadores y Selectores	57
4.5.2. Software y Tarjeta de control.....	58
CAPÍTULO V	60
5.1 Prueba de escala.....	60
5.2 Prueba de grabado.....	62
5.3 Prueba de corte	66
5.4 Pruebas de grabado y corte con figuras complejas	71
5.5 Pruebas del sistema de refrigeración Chiller	73
CAPÍTULO VI.....	75
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
6.1 Conclusiones	75
6.2 Recomendaciones	76
REFERENCIAS	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Alcance del proyecto	3
Tabla 2 Tipos de evaporadores	15
Tabla 3 Ecuaciones para el cálculo del coeficiente de pérdidas primarias.....	27
Tabla 4 Estado técnico de los componentes	31
Tabla 5 Evaluación técnica subsistema mecánico.....	32
Tabla 6 Evaluación técnica del subsistema eléctrico y electrónico	33
Tabla 7 Evaluación técnica del subsistema de control.....	34
Tabla 8 Evaluación del sistema de generación de láser	35
Tabla 9 Características de la máquina previas al diseño	37
Tabla 10 Características técnicas tubo láser marca Reci	37
Tabla 11 Alternativas de interruptor térmico	39
Tabla 12 Ponderación de parámetros según su importancia.....	40
Tabla 13 Ponderación de valores en base a la satisfacción de cada parámetro	40
Tabla 14 Alternativas de Termómetro	41
Tabla 15 Alternativas de Relé de Potencia.....	43
Tabla 16 Características del ventilador	45
Tabla 17 Alternativas de Tubo.....	46
Tabla 18 Resultados de cálculos.....	49
Tabla 19 Resultados de cálculos.....	50
Tabla 20 Datos dimensionamiento de bomba.....	50

Tabla 21 <i>Resultado de cálculos de pérdidas primarias</i>	51
Tabla 22 <i>Resultados de cálculos de pérdidas secundarias</i>	53
Tabla 23 <i>Alternativas de Bomba de Agua</i>	54
Tabla 24 <i>Alternativas de Interruptor de Flujo de Agua</i>	56
Tabla 25 <i>Selectores e indicadores</i>	57
Tabla 26 <i>Alternativas de tarjeta controladora</i>	58
Tabla 27 <i>Pruebas iniciales en el motor del eje X</i>	61
Tabla 28 <i>Pruebas iniciales en el motor del eje Y</i>	61
Tabla 29 <i>Pruebas con figuras geométricas básicas</i>	62
Tabla 30 <i>Pruebas con figuras geométricas básicas</i>	62
Tabla 31 <i>Prueba de grabado en MDF con distintos parámetros</i>	64
Tabla 32 <i>Prueba de grabado en acrílico transparente</i>	66
Tabla 33 <i>Parámetros usados en la prueba de corte de MDF de 3 mm</i>	67
Tabla 34 <i>Parámetros usados en la prueba de corte de madera MDF de 4 mm</i>	68
Tabla 35 <i>Parámetros usados en la prueba de corte de acrílico de 3 mm</i>	69
Tabla 36 <i>Parámetros de corte usados en acrílico de 4 mm</i>	70
Tabla 37 <i>Parámetros ideales para grabado y corte en MDF y acrílico</i>	71
Tabla 38 <i>Primera prueba de funcionamiento continuo de chiller</i>	73
Tabla 39 <i>Segunda prueba de funcionamiento continuo de chiller</i>	74
Tabla 40 <i>Tercera prueba de funcionamiento continuo de chiller</i>	74

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Máquina de corte por Láser, Laboratorio de Procesos de Manufactura.	1
<i>Figura 2.</i> Subsistema mecánico	4
<i>Figura 3.</i> Subsistema electrónico.....	5
<i>Figura 4.</i> Subsistema de control	6
<i>Figura 5.</i> Componentes básicos de una máquina CNC	8
<i>Figura 6.</i> Arquitectura de una máquina CNC.....	9
<i>Figura 7.</i> Generación de haz de láser.....	10
<i>Figura 8.</i> Ciclo de refrigeración por evaporación.....	14
<i>Figura 9.</i> Evaporador de tubo liso	15
<i>Figura 10.</i> Evaporador de placa.....	15
<i>Figura 11.</i> Evaporador de aletas	15
<i>Figura 12.</i> Corte de tubería bañada por fluidos a distintas temperaturas	21
<i>Figura 13.</i> Diagrama de NPSH.....	23
<i>Figura 14.</i> Tubería horizontal con sección constante	24
<i>Figura 15.</i> Codos diversos usados en tuberías.....	28
<i>Figura 16.</i> Valores del coeficiente de pérdidas secundarias de los distintos codos.	29
<i>Figura 17.</i> Estado técnico del subsistema mecánico	32
<i>Figura 18.</i> Estado técnico del subsistema eléctrico y electrónico	33
<i>Figura 19.</i> Estado técnico del subsistema de control.....	34
<i>Figura 20.</i> Estado técnico del sistema de generación de láser.....	35
<i>Figura 21.</i> Circuito de alarma del chiller.....	38
<i>Figura 22.</i> Interruptor térmico KSD301 Fuente: (DataSheet.es, 2019).....	39

Figura 23. Interruptor térmico KSD302 Fuente: (ViaIndustrial, 2019)	39
Figura 24. Porcentaje de importancia de parámetros del sensor fuera del tanque	40
Figura 25. Tabla Comparativa de alternativas.....	40
Figura 26. Sensor NTC Fuente: (PCEinstruments,2019)	41
Figura 27. Sensor RTD con display Fuente:(Omega,2019)	42
Figura 28. Porcentajes de importancia de parámetros del indicador y sensor.....	42
Figura 29. Tabla comparativa de alternativas.	42
Figura 30. Relé JQX-13F Fuente: (ElectroRelay, 2019).....	43
Figura 31. Relé JTX-2C Fuente: (ElectroRelay, 2019).....	43
Figura 32. Porcentajes de importancia de parámetros del Relé.....	44
Figura 33. Tabla comparativa de alternativas.	44
Figura 34. Tubo de cobre Fuente: (Shutterstock,2019).....	46
Figura 35. Tubo de acero inoxidable Fuente: (SoloStocks,2017)	46
Figura 36. Tubo de Aluminio Fuente: (Shutterstock, 2019)	46
Figura 37. Porcentajes de importancia de parámetros del Tubo.	47
Figura 38. Tabla comparativa de alternativas.	47
Figura 39. Diagrama de Moody. Fuente: (Cengel Y., Ghajar A., 2011).....	52
Figura 40. Bomba de agua Empoint Fuente: (Heliplast,2019).....	54
Figura 41. Bomba de agua Owo Fuente: (Solarmat, 2018).....	54
Figura 42. Porcentajes de importancia de parámetros de la Bomba de Agua.	55
Figura 43. Tabla comparativa de alternativas.	55
Figura 44. Interruptor de flujo Zerone Fuente: (Solarmat, 2018)	56
Figura 45. Interruptor de flujo Kolas Fuente: (Heliplast, 2019)	56

Figura 46. Porcentajes de importancia de parámetros del Interruptor de flujo de agua.	56
Figura 47. Tabla comparativa de alternativas.	57
Figura 48. Controlador M2 Nano Fuente: (CncZone, 2019).....	58
Figura 49. Controlador Ruida Fuente: (RuidaACS, 2019).....	58
Figura 50. Porcentajes de importancia de parámetros de los controladores.....	59
Figura 51. Tabla comparativa de alternativas.	59
Figura 52. Pruebas de grabado en MDF.....	63
Figura 53. Pruebas de grabado en acrílico transparente.....	65
Figura 54. Resultados de corte con parámetros varios.....	67
Figura 55. Resultado de prueba de corte con los parámetros ideales.....	67
Figura 56. Prueba de corte en madera MDF de 4 mm.....	68
Figura 57. Cortes realizados en acrílico blanco de 3 mm.....	69
Figura 58. Cortes realizados en acrílico transparente de 4 mm.....	70
Figura 59. Imágenes complejas vectorizadas con capas de corte y grabado.....	72
Figura 60. Corte y grabado complejo en madera MDF de 3 mm.....	72
Figura 61. Corte y grabado complejo en acrílico transparente de 4 mm.....	72

RESUMEN

El presente proyecto describe la repotenciación de una máquina CNC de corte láser y el diseño de su sistema de producción. La cortadora láser permite cortar y grabar madera MDF y acrílico de 3 y 4 milímetros de espesor. La importancia del proyecto se basa en la necesidad de los estudiantes que acuden al Laboratorio de Procesos de Manufactura de realizar piezas y prototipos a través de procesos no convencionales. Se realizó un análisis técnico del estado de la cortadora láser, el cual permite identificar las fallas que presentaba cada subsistema y establecer una estrategia de trabajo para cumplir con los requerimientos y características de la cortadora láser. Posteriormente se realizó el rediseño e implementación de los subsistemas que presentaban fallas críticas como fueron el subsistema de refrigeración y el subsistema de control, además de un mantenimiento general y la lubricación y limpieza del sistema de transmisión de movimiento. Se diseñó un sistema de producción que ofrece una guía completa a los usuarios sobre las normas de seguridad, uso y mantenimiento de la cortadora láser. Finalmente se realiza pruebas de funcionamiento corroborando que se realicen los procesos de corte y grabado, y asegurando un funcionamiento continuo del sistema en conjunto.

PALABRAS CLAVE:

- **REPOTENCIACIÓN**
- **CNC**
- **CORTE LÁSER**
- **MÁQUINA**

ABSTRACT

This project describes the repowering of a CNC laser cutting machine and the design of its production system. The laser cutter allows cutting and engraving MDF wood and acrylic 3 and 4 millimeters thick. The importance of the project is based on the need of students who come to the Manufacturing Process Laboratory to make parts and prototypes through unconventional processes. A technical analysis of the status of the laser cutter was carried out, which allows to identify the faults presented by each subsystem and establish a working strategy to meet the requirements and characteristics of the laser cutter. Subsequently, the subsystems with critical failures such as the cooling subsystem and the control subsystem were redesigned and implemented, as well as general maintenance and lubrication and cleaning of the transmission system Movement. A production system was designed that provides complete guidance to users on the safety, use and maintenance standards of the laser cutter. Finally, operational tests are carried out by verifying that the cutting and engraving processes are carried out, and ensuring continuous operation of the system as a whole.

KEY WORDS

- **REPOWERING**
- **CNC**
- **LASER CUT**
- **MACHINE**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

En el capítulo se describe los trabajos realizados anteriormente en la máquina CNC, partiendo de ello se plantea la justificación, alcance y objetivos por los que se realiza la repotenciación de la máquina CNC de corte por láser. Se realiza una breve explicación de los componentes de cada uno de los subsistemas que conforman la máquina estableciendo el punto de partida de las actividades a ser realizadas para lograr la repotenciación de la máquina.

1.1. Antecedentes

Roger Casco y Diego Gordon, en el año 2015, realizaron el diseño y construcción de una cortadora laser para láminas de acrílico y madera MDF de hasta 6 mm de espesor (Casco & Gordon, 2015) (Figura 1), con un bajo costo en relación a las cortadoras industriales de características similares.



Figura 1. Máquina de corte por Láser, Laboratorio de Procesos de Manufactura.

El sistema fue controlado a través de un software libre, permitiendo el movimiento en 2 ejes ya establecidos y con un software LazyCAM, que permite la transformación de un archivo CAD a código G para una operación adecuada de la máquina. Además realiza el corte con diferentes elementos mecánicos, electrónicos y de control que permite el posicionamiento, corte y grabado en acrílico y madera MDF.

La máquina tiene un sistema de refrigeración por convección forzada, que después de su operación continua no funciona adecuadamente.

La cortadora láser (Casco & Gordon) en la actualidad no puede operar por largos periodos de tiempo al no poder trabajar por más de una hora, por lo que se presume una falla en la etapa de potencia o en la red de suministro eléctrico.

Con la finalidad de ayudar al Laboratorio de Procesos de Manufactura de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”, nuestro proyecto propone repotenciar la máquina CNC de corte láser, y diseñar un sistema de producción para un uso amigable de la máquina por cualquier usuario. Entendiendo por sistema de producción los pasos detallados a seguir para llegar de la idealización de un concepto a una pieza o prototipo físico.

1.2. Justificación e importancia

Los estudiantes que acuden al Laboratorio de Procesos de Manufactura requieren realizar prácticas de control numérico y de procesos de manufactura no tradicionales como es el corte y grabado con láser. Al reactivar la máquina los estudiantes pueden realizar corte y grabado de piezas usadas en el desarrollo de prototipos o proyectos.

La repotenciación y el diseño del sistema de producción de la plataforma robótica de corte láser pretende obtener una máquina apta para el desarrollo de prototipos y la realización de prácticas. Definiendo el proceso a seguir desde la idealización del concepto de un prototipo hasta la fabricación del mismo, ofreciendo una fácil interacción entre hombre y máquina.

El presente proyecto permitirá a estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”, fortalecer los conocimientos relacionados a dicha tecnología, mediante la inclusión de la máquina como material didáctico para prácticas de control numérico computarizado y procesos de manufactura.

1.3. Alcance

Para la descripción del alcance del proyecto planteado se tiene los siguientes subsistemas mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1
Alcance del proyecto

Subsistemas		
Mecánicos	Eléctricos/Electrónicos	Control
<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de Refrigeración 	<ul style="list-style-type: none"> • Etapa de Potencia • Actuadores. • Sensores. • Indicadores de funcionamiento (luces). 	<ul style="list-style-type: none"> • Tarjeta de Control. • HMI • Post-Proceso

Componentes mecánicos

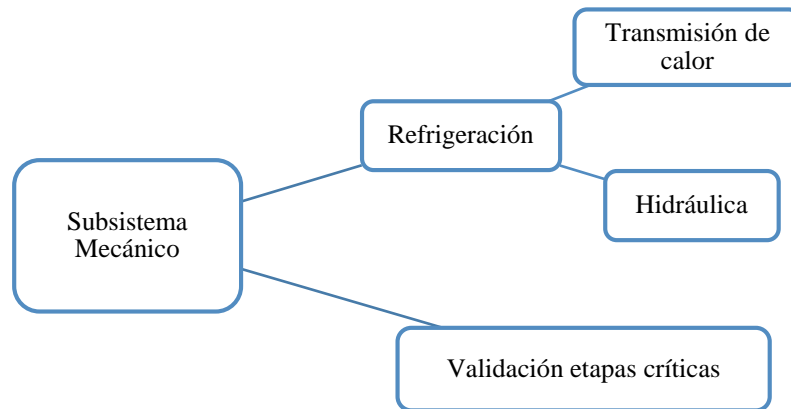


Figura 2. Subsistema mecánico

En la Figura 2 se tiene los componentes que conforman el subsistema mecánico de la máquina, los cuales deben ser rediseñados o validados, estos son detallados a continuación.

- Refrigeración: La refrigeración de la máquina es por convección forzada, usando un radiador, ventilador y una bomba de agua.
- Validación etapas críticas: Verificación del correcto dimensionamiento de la estructura de la máquina.

Componentes electrónicos/eléctricos

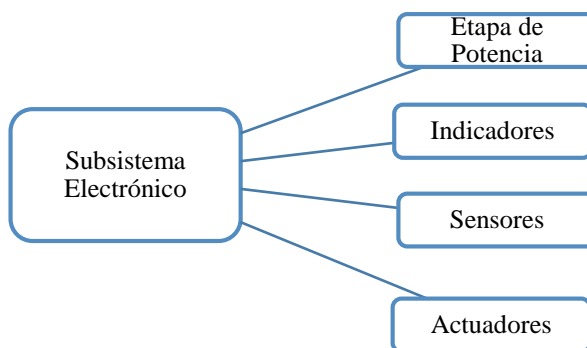


Figura 3. Subsistema electrónico

El subsistema electrónico consta de varios componentes como se puede observar en la Figura 3, cada uno de ellos es detallado a continuación:

- **Etapa de Potencia:** Proteger los elementos eléctricos de la máquina por posibles fallos en la energía. Botones de paros de emergencia, medidas de seguridad industrial en general.
- **Indicadores:** Indicar al operador de la máquina el estado de la misma, si se encuentra en correcto funcionamiento o si por algún motivo se detectan problemas dentro del proceso.
- **Sensores:** Sensores internos que envían información acerca de velocidad, posición, entre otras variables. Sensores externos que enviarán información del entorno de trabajo y el estado de la máquina.
- **Actuadores:** Motores accionados por una señal eléctrica proveniente de la etapa de control, y una bomba de agua para el sistema de refrigeración.

Componentes del sistema de control

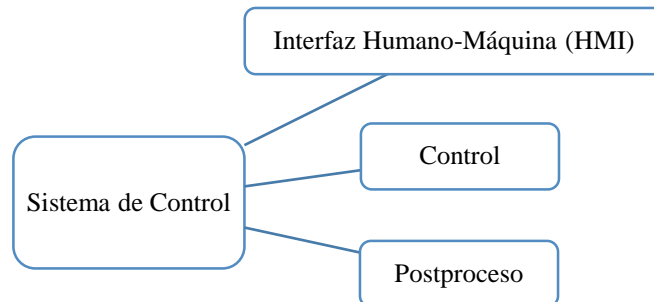


Figura 4. Subsistema de control

Los componentes que conforman el sistema de control de la máquina pueden observarse en la Figura 4, cada uno de ellos es detallado a continuación.

- HMI: Visualizar todos los parámetros de control de la máquina, configuración y supervisión del funcionamiento de la misma.
- Control: Analizar las posibles soluciones para optimar el sistema de control del robot CNC.
- Post-proceso: Ofrecer un sistema amigable, para que cualquier persona sin un conocimiento técnico elevado pueda usar la máquina.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Repotenciación de una CNC de corte láser y diseño de su sistema de producción.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Realizar pruebas de funcionamiento de la máquina, diagnosticando las fallas que presentan sus distintos subsistemas.
- Diseñar una nueva etapa de potencia reemplazando a la existente, por equipos industriales que ofrezca una mayor protección de los elementos eléctricos y electrónicos ante sobre tensiones y sobre corrientes.
- Diseñar un sistema de refrigeración adecuado para un proceso industrial, mejorando el proceso de convección forzada.
- Implementar una interfaz humano-máquina (HMI), que facilite la comunicación entre controladores y actuadores.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Máquinas CNC

El Control Numérico por Computador, conocido como CNC por sus siglas en inglés Computer Numerical Control, es todo dispositivo con la capacidad de controlar el posicionamiento automático de un dispositivo mecánico, por medio de la interacción de un software de control y un computador.

El surgimiento de nuevos mercados ha permitido el desarrollo de nuevas tecnologías en las que se busca reducir tiempos de maquinado y aprovechar de mejor manera la materia prima.

2.1.1 Componentes y arquitectura

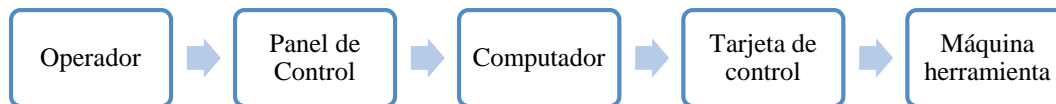


Figura 5. Componentes básicos de una máquina CNC

En la Figura 5 se muestra los componentes básicos que conforman una máquina CNC, donde se puede observar que la parte central de un sistema CNC es un computador en el cual se realizan las conexiones lógicas y los cálculos requeridos, y debe constar de dos interfaces que son el puente de unión entre la máquina y el operador:

- Interfaz del operador: Formado por el panel de control y dispositivos periféricos que pueden ser conectados al mismo.
- Interfaz de control de máquina-herramienta: Subdividido subsistemas con conexiones de control de los actuadores de ejes, control de la herramienta.

En la Figura 6 se observa los componentes de la arquitectura general de una máquina CNC, en la cual se puede identificar los siguientes componentes.

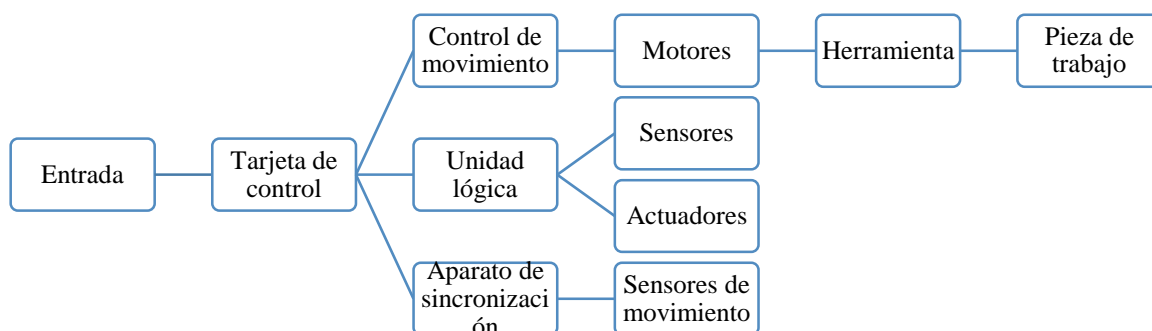


Figura 6. Arquitectura de una máquina CNC

2.2 Corte por láser

El corte por láser se basa en la generación y transporte de un haz de luz de alta densidad de energía. Generado el haz de luz este pasa por una pequeña apertura, por sus características el haz tiene poca desviación, por lo que se dirige hacia el punto de corte por medio de espejos y enfocado por un lente que permite aumentar al máximo la densidad de energía. La posición del punto de corte es controlada por un sistema de movimiento, el cual es dirigido por un sistema de Control Numérico Computarizado (CNC). De esa manera cualquier pieza que fuese dibujada en un plano puede ser traducida a un camino de corte y reproducida por el sistema de guía del haz, logrando entonces cortar el perfil deseado.

2.2.1 Generación del haz de láser

La sigla en inglés Laser (Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation), los láseres tienen esencialmente 3 componentes: un medio de amplificación, una fuente de energía para excitar electrones, un camino óptico; cada uno de ellos pueden ser observados en la Figura 7.

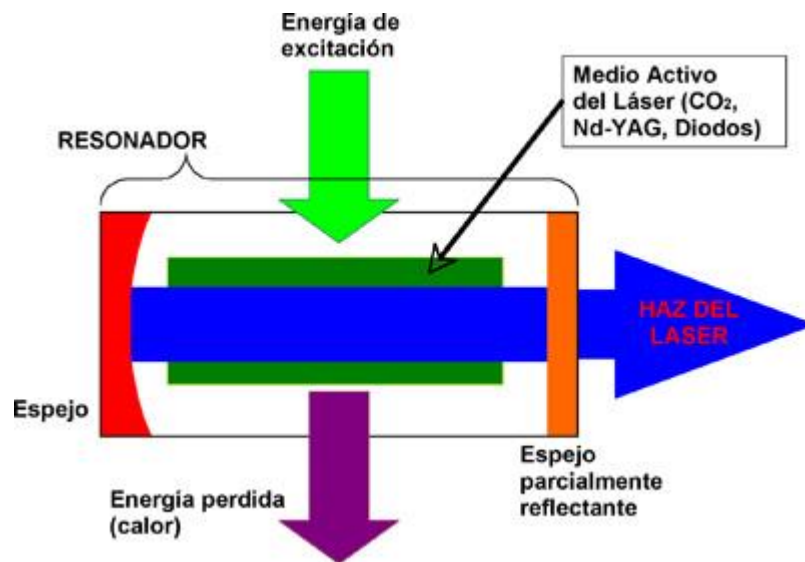


Figura 7. Generación de haz de láser

Fuente: (Interempresas, 2011)

Los electrones dentro del medio donde se genera el láser se excitan al inyectar energía, al decaer los estados se liberan fotones con una longitud de onda idéntica, una única longitud de onda es amplificada en la caja de resonancia del medio de generación abriendo un orificio óptico en uno de los extremos y por medio de un espejo parcialmente reflectante se extrae el haz de láser.

2.2.2 Diferencia entre láseres

En el mercado existen distintos tipos de equipos que operan con láser, los cuales se diferencian por la fuente de láser, existen tres tipos con los cuales se puede procesar materiales a gran escala.

- **Láser de CO₂** : el Dióxido de Carbono sellado dentro del tubo de cristal es excitado mediante una corriente eléctrica que crea el flujo de fotones.
- **Láser de granate de itrio-aluminio dopado con neodimio (Nd-YAG)**: Se usa una lámpara o diodo para generar el flujo de fotones, es usado en metales y cerámicas.
- **Láser de fibra**: Como mecanismo de generación de flujo de fotones utiliza diodos semiconductores y una fibra óptica dopada con un elemento de tierras raras como erbio, neodimio entre otros.

2.3 Definición de Chiller

Es una máquina usada en varias industrias y procesos de manufactura no convencionales como el corte láser, que permite enfriar un medio líquido el cual tiene contacto con el proceso, este retorna al chiller donde reduce su temperatura y es enviado nuevamente al proceso.

Un chiller deber operar de forma automática y continua para mantener la temperatura del fluido dentro del rango de temperatura deseado. Existen dos tipos de chiller los cuales son:

- **Enfriados por aire**: Tiene un evaporador donde se realiza la transferencia de calor y un condensador donde se disipa el calor forzando aire a través de el por medio de un ventilador.
- **Enfriados por agua**: Requieren torres de enfriamiento o recursos de agua natural.

2.4 Refrigerantes

Es cualquier material o sustancia con la capacidad de absorber el calor de otro, actuando como agente de enfriamiento. En procesos de refrigeración se requiere transmitir calor de manera eficiente y poder repetirlo continuamente.

Las sustancias líquidas en su mayoría pueden absorber calor, pero los líquidos refrigerantes deben cumplir con ciertas propiedades físicas, químicas y termodinámicas que las hagan seguras para su uso.

Se puede considerar a un refrigerante ideal si cumple con las condiciones y necesidades de la aplicación a la que está destinado.

Para un uso apropiado los fluidos deben cumplir con la mayoría de las siguientes características:

- No inflamables o explosivos.
- No tóxicos.
- No corrosivos.
- Bajo costo inicial y de mantenimiento.
- Bajas presiones de saturación a temperaturas normales.

Tipos de refrigerantes

Según sus propiedades los refrigerantes pueden ser clasificados en distintos grupos.

Inorgánicos: Agua, Amoníaco.

Orgánicos: Hidrocarburos

Perjudiciales para la capa de ozono: HCFC, mezclas.

Grado de seguridad:

- Grado 1: No combustibles o tóxicos.
- Grado 2: Corrosivos, tóxicos o explosivos con concentración mayores a 3.5%.
- Grado 3: Corrosivos, tóxicos o explosivos con concentración menores a 3.5%.

2.5 Ciclo refrigeración

Un ciclo básico de refrigeración consta de dos presiones básicas, presión de evaporación y presión de condensación. El refrigerante permite transportar el calor del evaporador hacia el condensador.

Un ciclo de refrigeración mecánico ideal consta de 4 procesos:

- Compresión
- Condensación
- Expansión
- Evaporación

Para lograr este ciclo es necesario contar con ciertos componentes básicos, cada uno realizando una parte del ciclo, en la Figura 8 se puede observar cada uno de estos componentes y cómo interactúan para formar un ciclo ideal.

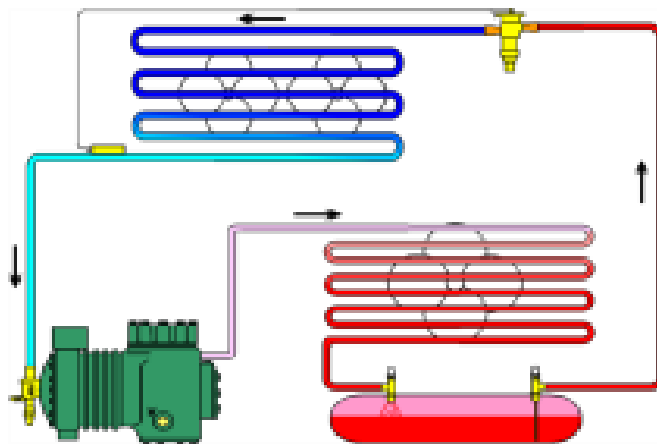


Figura 8. Ciclo de refrigeración por evaporación

Fuente: (Yañez, G., 2019)

Componentes básicos de un sistema de refrigeración:

Compresor: Succiona el vapor del refrigerante y reduce la presión en el evaporador. Y eleva la presión del vapor del líquido refrigerante, existen tres tipos de compresores los llamados alternativos, rotativos y centrífugos, los compresores alternativos ofrecen un alto rendimiento y fácil mantenimiento por lo que son los más usados.

Condensador: Es un intercambiador de calor, en el que recorre un fluido que debe cambiar de fase gaseosa a fase líquida, la condensación puede producirse usando aire o agua.

Evaporador: Intercambiador de calor entre fluidos donde se transmite la energía térmica desde el medio a ser enfriado y es enviado a un fluido refrigerante que circula en el dispositivo.

Los evaporadores se clasifican en función de la aplicación a la cual es destinado y en base a su construcción, según su construcción los más usados en sistemas de refrigeración se pueden ver en la Tabla 2.

Tabla 2
Tipos de evaporadores

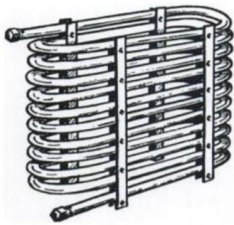

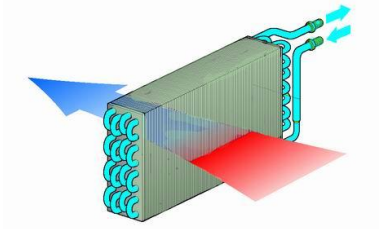
Tipo	Imagen	Características
Evaporador de tubo liso		Son contruidos con tubos de cobre o acero con distintas formas geométricas.
Evaporador de placas		Construidos con placas metálicas con canales que son unidas por soldadura, formando tubos interiores.
Evaporador de aletas		Están contruidos de un serpentín de cobre con aletas de aluminio las cuales aumentan la superficie de transmisión.

Figura 9. Evaporador de tubo liso
Fuente: (I.E.S. Virgen del Pilar, 2018)

Figura 10. Evaporador de placa
Fuente: (NauticExpo, 2019)

Figura 11. Evaporador de aletas
Fuente: (MIAC,2018)

Válvula de expansión: Dispositivo usado para controlar el flujo del fluido refrigerante en el evaporador, su objetivo principal es establecer la diferencia de presiones entre los dos lados del circuito de refrigeración.

Se usa tubos capilares entre los evaporadores y condensadores en pequeñas instalaciones, para sistemas de refrigeración con grandes cantidades de refrigerante es necesario usar válvulas de expansión termo estáticas.

2.6 Transferencia de calor

Existen tres modalidades en las que se realiza la transferencia de calor que son conducción, convección y radiación, cada una de las describe como se transmite el calor a través de varios medios hasta lograr el equilibrio térmico, al tener dos objetos con una diferencia de temperaturas el proceso de transferencia no puede ser detenido.

2.6.1 Conducción

La energía es transmitida por medio de interacción directa entre moléculas, es decir entre átomos, moléculas adyacentes. El calor fluirá desde el objeto a mayor temperatura hacia el que este a menor temperatura buscando llegar al equilibrio térmico, el flujo de calor puede ser representado por la siguiente ecuación.

$$Q = -kA \frac{dt}{dL} \quad (1)$$

Donde:

Q = Calor conducido por una superficie A

dL = Espesor de la pared

dt = Diferencia de temperatura

k = Conductividad térmica del material, cantidad de calor transmitida por unidad de tiempo.

$\frac{dt}{dL}$ = Gradiente de temperatura

2.6.2 Radiación

La transmisión de energía se produce entre dos objetos o medios que se encuentran separados, no necesita un medio material por lo que puede producirse en el vacío y se distribuye de forma difusa en todas las direcciones.

La ley fundamental de la radiación térmica es la Ley de Stefan, que expresa que la potencia de radiación es la rapidez a la cual es liberada la energía y puede ser expresada mediante la siguiente ecuación.

$$H = \varepsilon\sigma AT^4 \quad (2)$$

Donde:

H = Potencia de radiación

ε = Emisividad del material tiene un valor entre 0 y 1

σ = Constante Stefan-Boltzmann con un valor de $5.66 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right]$

A = Área de la superficie

T = Temperatura de la superficie

2.6.3 Convección

En este proceso de transferencia de calor interviene un fluido líquido o gaseoso, se da cuando se genera una circulación del fluido transmitiendo el calor hacia las zonas frías, el proceso de convección puede ser natural o forzada.

Convección natural: Cuando la circulación del fluido se da por la diferencia de temperaturas, se debe tomar en cuenta el ambiente al que se exponen los fluidos, el calor por convección natural está dado por la Ecuación 3.

Convección forzada: Se produce al mover el fluido a través del intercambiador de calor con medios externos como ventiladores o bombas.

$$Q = hA(t_s - t_f) \quad (3)$$

Donde:

h = Coeficiente convectivo.

A = Área en contacto con el fluido.

t_s = Temperatura del sólido.

t_f = Temperatura del fluido.

Para obtener el valor del factor h de la Ecuación 3, es necesario calcular los números adimensionales usados en la transferencia de calor para determinar el coeficiente convectivo.

Número de Nusselt: Expresa el aumento del calor transferido por conducción en comparación al transferido por convección. (Mataix C. 1993).

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (4)$$

Donde:

h = Coeficiente convectivo.

D = Diámetro hidráulico.

k = Conductividad del fluido.

El número de Nusselt también puede ser expresado en función de los números de Reynolds y Prandtl. (Mataix C. 1993).

$$Nu = 0.023Re^{0.8}Pr^n \quad (5)$$

Donde:

$$n = \begin{cases} 0.4 \text{ Para calentamiento} \\ 0.3 \text{ Para enfriamiento} \end{cases}$$

Para el aire la ecuación de Nusselt con $Re < 10^4$ es la siguiente:

$$Nusselt = 0.3 + \frac{0.62(Re)^{1/2}(Pr)^{1/2}}{\left[1 + \left(\frac{0.4}{Pr}\right)^{2/3}\right]^{1/4}} \quad (6)$$

Número de Reynolds: Caracteriza el tipo de flujo, puede ser turbulento, laminar o encontrarse en la zona de transición. (Mataix C. 1993).

$$Re = \frac{D\rho v}{\mu} \quad (7)$$

Donde:

D = Diámetro de la tubería en la que circula el fluido.

ρ = Densidad del fluido.

v = Velocidad del fluido.

μ = Viscosidad.

Número de Prandtl: Relaciona la velocidad de difusión de un fluido y su difusividad térmica. (Mataix C. 1993).

$$Pr = \frac{c_p \mu}{k} \quad (8)$$

c_p = Calor específico a presión constante.

k = Conductividad térmica del fluido.

μ = Viscosidad

Número de Grashof: Relaciona las fuerzas viscosas y fuerzas de flotación que actúan sobre un fluido. (Mataix C. 1993).

$$Gr = \frac{\rho^2 \beta g L^3 (t_s - t_f)}{\mu^2} \quad (9)$$

Donde:

ρ = Densidad.

β = Coeficiente de dilatación térmica.

g = Gravedad.

L = Longitud característica.

t_s = Temperatura de sólido.

t_f = Temperatura de fluido.

μ = Viscosidad cinemática.

Número de Rayleigh: Permite obtener rangos de valores para el número de Nusselt asociando el número de Prandtl y Grashof. (Mataix C. 1993).

$$Ra = GrPr \quad (10)$$

2.6.4 Coeficiente global de transferencia de calor

Se calcula al hacer un proceso símil al realizado con las resistencias eléctricas, en la Figura 12 se observa el corte de una tubería recta que se encuentra en contacto con un fluido externo e interno a distintas temperaturas. (Mataix C. 1993).

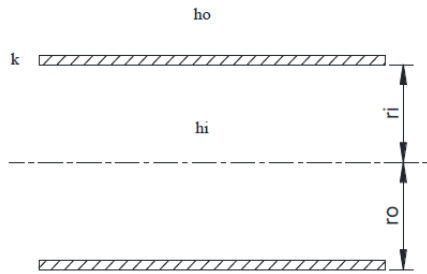


Figura 12. Corte de tubería bañada por fluidos a distintas temperaturas

$$U = \frac{1}{A_0 \sum R_T}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)}{2\pi \times K \times L} + \frac{1}{h_e A_e}} \quad (11)$$

Donde:

h_i : Coeficiente de transferencia de calor interno.

A_i : Área interior de transferencia.

K : Conductividad térmica.

L : Longitud del ducto.

h_e : Coeficiente de transferencia de calor externo.

A_e : Área exterior de transferencia.

r_i : Radio interior del ducto.

r_e : Radio exterior del ducto.

U : Coeficiente global de transferencia de calor.

2.6.5 Ecuación general de intercambiadores de calor

Permite conocer cuánto calor es necesario retirar o entregar a cierto fluido o equipo y saber cuál el área de transferencia. (Mataix C. 1993).

$$Q = UAF(T_a - T_b) = UAF\Delta T \quad (12)$$

Donde:

U = Coeficiente global de transferencia de calor.

A = Área de transferencia de calor

F = Factor de corrección, 1 para evaporadores y condensadores

ΔT = Diferencia de temperaturas de los fluidos.

2.7 Equipos de bombeo

En la selección del correcto equipo de bombeo se debe tomar en cuenta la viscosidad y densidad del fluido, además de tomar en cuenta las pérdidas que puede presentar el sistema dependiendo del diseño del mismo.

Para un correcto cálculo es necesario que los datos usados sean lo más exactos posible, los datos necesarios son caudales, presiones, recorrido geométrico de la tubería, fluido.

Se pueden establecer pasos fundamentales para la selección del equipo de bombeo, primero se debe determinar la capacidad que necesita la bomba es decir el caudal, determinar la altura de bombeo, cálculo y selección de tuberías para asegurar pérdidas mínimas.

2.7.1 Altura de succión y carga neta de succión positiva NPSH

La altura de succión es un dato importante en la selección del equipo de bombeo, para poder realizar este cálculo se plantea el teorema de Bernoulli, en la Figura 13 se observa el diagrama de un caso básico para el cálculo de la altura de succión y la carga neta de succión.

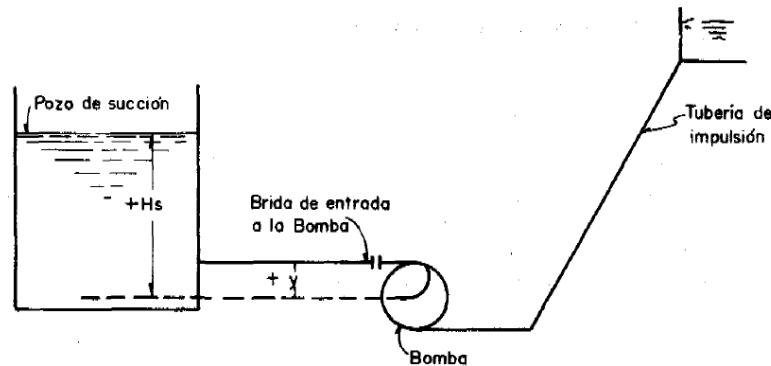


Figura 13. Diagrama de NPSH

Fuente: (Bombas y Máquinas de Bombeo, Castilla A., Galvis G., 1993)

$$H_a + H_s = \frac{V^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + y + H_{fs} \quad (13)$$

Se plantea las siguientes relaciones.

$$\frac{p}{\gamma} = H_v + H_e \quad (14)$$

$$H_z = \frac{V^2}{2g} + H_e + y \quad (15)$$

Reemplazando las relaciones dadas en la ecuación del teorema de Bernoulli

$$H_z = H_a + H_s - H_v - H_{fs} \quad (16)$$

Donde:

H_z = Llamado NPSH por las siglas en inglés de Carga neta de succión positiva.

H_a = Altura a la presión atmosférica en el lugar de bombeo.

H_s = Altura de succión

H_{fs} = Carga por pérdidas de fricción

H_v = Altura a la presión del vapor de agua.

V = Velocidad del agua en la entrada de la bomba

p = Presión absoluta en la entrada.

y = Altura de la brida de la bomba respecto al eje.

γ = Peso específico del agua.

2.8 Pérdidas en tuberías

Para transportar fluidos se pueden usar dos tipos de conductos, conductos cerrados o tuberías y conductos abiertos o canales. En ambos casos se puede tener pérdidas de cargas primarias y secundarias, para el diseño a realizar solo son de interés las fórmulas y conceptos usados en tuberías.

2.8.1 Pérdidas primarias

Corresponden a las pérdidas que se dan por el contacto del fluido con la tubería, para el cálculo de estas pérdidas se supone una tubería horizontal por la cual circula un fluido cualquiera, debe cumplirse la ecuación de Bernoulli con pérdidas, en la Figura 14 se observa el corte de una tubería recta con sección constante.

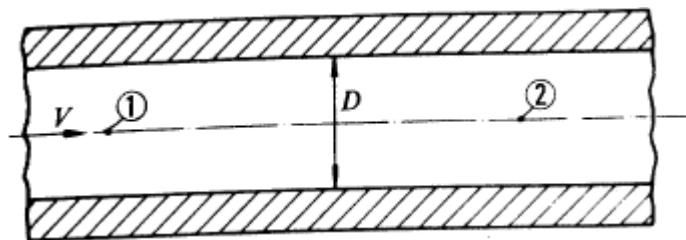


Figura 14. Tubería horizontal con sección constante
Fuente: (Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas, Mataix C., 1993)

$$\frac{p_1}{\rho g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + H_{r1-2} \quad (17)$$

En el caso planteado $z_1 = z_2$ por tratarse de una tubería horizontal y $v_1 = v_2$ ya que el fluido recorre una sección transversal constante.

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho g} = H_{r1-2} = H_{rp1-2} \quad (18)$$

Donde:

H_{rp1-2} = Pérdidas primarias entre 1 y 2

En tramos en los que se tiene accesorios como filtros, codos entre otros se considera pérdidas secundarias producidas por estas, por lo que la ecuación básica quedaría de la siguiente forma.

$$H_{r1-2} = H_{rp1-2} + H_{rs1-2} \quad (19)$$

Donde:

H_{rp1-2} = Pérdidas primarias entre 1 y 2.

H_{rs1-2} = Pérdidas secundarias entre 1 y 2.

Para calcular las pérdidas tomando en cuenta varios parámetros que por lo general no se consideran en valores tabulados se tiene la ecuación de Darcy-Weisbach y la ecuación de Hazen-Williams que se deriva de esta.

$$H_{rp} = \lambda \frac{L v^2}{D 2g} \quad (20a)$$

Donde:

H_{rp} = Pérdida de carga primaria.

λ = Coeficiente de pérdida primaria.

L = Longitud de la tubería.

D = Diámetro de la tubería.

v = Velocidad media del fluido.

$$H_{rp} = 10.679 \times \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} \times \frac{L}{D^{4.87}} \quad (20b)$$

Donde:

H_{rp} = Pérdidas primarias por flujo turbulento.

Q = Caudal (m^3/s).

C = Coeficiente de fricción de Hazen – Willians.

D = Diámetro de la tubería.

L = Longitud de la tubería.

2.8.1.1 Coeficiente de pérdida primaria

Este es un número adimensional que debe ser calculado en función de la velocidad, densidad, viscosidad, rugosidad y diámetro de la tubería.

En su cálculo se pueden presentar los siguientes casos:

a) Régimen laminar:

- Tuberías lisas como vidrio o cobre.
- Tuberías rugosas como hormigón.

b) Régimen turbulento:

- Tuberías lisas.
- Tuberías rugosas

En la Tabla 3 se resume las ecuaciones usadas para el cálculo de este factor en cada caso.

Tabla 3*Ecuaciones para el cálculo del coeficiente de pérdidas primarias*

Régimen	Tuberías	Fórmula	
Laminar	Lisas y rugosas	$\lambda = \frac{64}{Re}$	(21)
Turbulento con $Re < 100000$	Lisas	$\lambda = \frac{0.316}{Re^{\frac{1}{4}}}$	(22)
Turbulento con $Re > 100000$	Lisas	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log_{10}(Re\sqrt{\lambda}) - 0.8$	(23)
Turbulento en zona de transición	Rugosas	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k}{D} + \frac{2.51}{R\sqrt{\lambda}} \right)$	(24)
Turbulento en zona final	Rugosas	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log_{10} \left(\frac{D}{2k} \right) + 1.74$	(25)

Fuente: (Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas, Mataix C., 1993)

2.8.2 Pérdidas secundarias

Las pérdidas secundarias se dan en lugares con cambios de sección y dirección de corriente también donde se tiene accesorios como codos, válvulas. Todos estos elementos pueden aumentar las pérdidas al producir perturbaciones de corrientes o desprendimientos.

Existen dos métodos para el cálculo de las pérdidas secundarias, el primero con una ecuación especial con su propio coeficiente, y el segundo usando la fórmula de pérdidas primarias tomando en cuenta la longitud equivalente.

2.8.2.1 Primer método

El primer método es la ecuación fundamental de las pérdidas secundarias.

$$H_{rs} = \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (26)$$

Donde:

H_{rs} = Pérdida secundaria.

ζ = Coeficiente de pérdida de carga secundaria, depende del tipo de accesorio además de otros factores como la rugosidad y el número de Reynolds.

v = Velocidad media en la tubería.

Se tendrá un valor distinto para cada accesorio, por lo que se debe recurrir a tablas en libros o manuales de hidráulica. En la Figura 15 se observa las ilustraciones de los codos que comúnmente se encuentran en tuberías, y en la Figura se presentan los valores del coeficiente de pérdidas secundarias de cada uno.

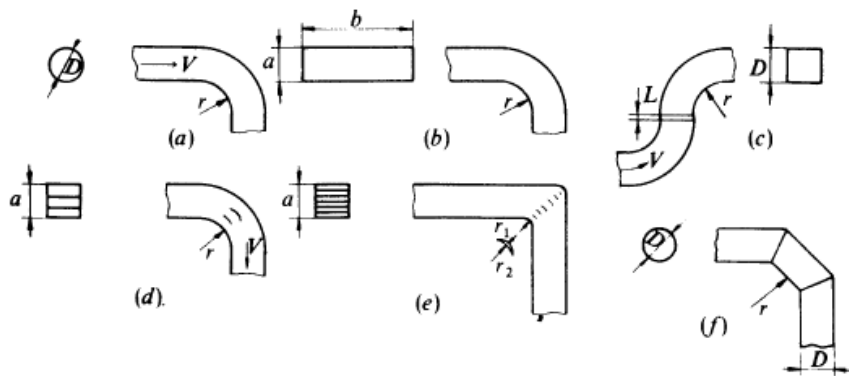


Figura 15. Codos diversos usados en tuberías

Fuente: (Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas, Mataix C., 1993)

(a)	$\frac{r}{D} = 0$	0,25	0,5	1,0	
	$\zeta = 0,8$	0,4	0,25	0,16	
(b)	$\frac{r}{a}$	$\frac{b}{a} = 1$	$\frac{b}{a} = 2$	$\frac{b}{a} = 3$	$\frac{b}{a} = 4$
	0	$\zeta = 1,0$	$\zeta = 0,9$	$\zeta = 0,8$	$\zeta = 0,73$
	0,25	0,4	0,4	0,39	0,32
	0,5	0,2	0,2	0,19	0,16
	1,0	0,13	0,13	0,13	0,10
(c)	$L = 0$	$L = D$			
	$\zeta = 0,62$	$\zeta = 0,68$			
(d)	N.º de álabes =		1	2	3
	$\frac{r}{a}$	=	0,25	0,2	0,15
	ζ	=	0,15	0,12	0,10
(e)	$r_1 = \frac{r_2}{2} = \frac{a}{b}$	$\zeta = 0,1$			
(f)	$\frac{r}{D} = 0,25$	0,5	1		
	ζ (codo de 3 piezas)	0,8	0,4	0,3	
	ζ (codo de 5 piezas)	0,5	0,3	0,2	

Figura 16. Valores del coeficiente de pérdidas secundarias de los distintos codos

Fuente: (Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas, Mataix C., 1993)

Aunque tengan valores distintos todas las pérdidas por accesorios se expresan por la misma ecuación por lo que deben ser sumados para obtener el valor total de pérdidas secundarias.

2.8.2.2 Segundo método

Se considera la longitud equivalente para el cálculo de las pérdidas secundarias, esta longitud es reemplazada en la ecuación fundamental de pérdidas primarias obteniendo el siguiente resultado.

$$\zeta = \lambda \frac{L_e}{D} \quad (28a)$$

$$H_r = \lambda \frac{(L + \sum L_e) v^2}{D 2g} \quad (28b)$$

Donde:

H_r = Pérdida total.

λ = Coeficiente de pérdidas.

L = Longitud total de tramos rectos de tubería.

$\sum L_e$ = Sumatoria de longitudes equivalentes a todos los accesorios.

v = Velocidad media en la tubería.

2.8.3. Pérdidas Totales

Para calcular las pérdidas de carga totales que se presentan en la tubería se debe sumar los valores de todas las pérdidas primarias más los valores de todas las pérdidas secundarias por los accesorios. Este valor también puede ser calculado al usar la Ecuación 26, la cual toma en cuenta tanto longitudes de tramos rectos como el equivalente de las longitudes de cada accesorio.

$$H_r = \sum H_{rp} + \sum H_{rs} \quad (27a)$$

Donde:

H_r = Pérdida total en la tubería.

$\sum H_{rp}$ = Sumatoria de pérdidas primarias.

$\sum H_{rs}$ = Sumatoria de pérdidas secundarias.

2.8.4. Ecuación de Bernoulli

$$\frac{p_1}{\rho g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + H_B = \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + H_{total} \quad (27b)$$

H_B = Carga de la Bomba

z = Altura del punto de estudio.

v = Velocidad del fluido

p = Presión del sistema

H_{total} = Pérdidas totales

CAPÍTULO III

ESTADO TÉCNICO INICIAL DE LA MÁQUINA CNC DE CORTE LÁSER

Un análisis inicial del estado técnico permite conocer el estado de cada uno de los subsistemas de la máquina CNC, estableciendo un punto de partida para plantear un plan de trabajo de las actividades a realizar para lograr la repotenciación de la máquina CNC de corte láser.

Para realizar este análisis se levanta los datos técnicos de cada uno de los componentes de los subsistemas que conforman la máquina, evaluando si se requiere el rediseño de ciertos subsistemas y el reemplazo o reparación de componentes.

4.1 Evaluación del estado técnico

La máquina CNC de corte láser estuvo en inactividad por un período de tiempo aproximado de 3 años, con esta evaluación se detectara el grado de desgaste de los distintos componentes presentes en la máquina. Para el sistema de evaluación se usan las ponderaciones descritas en la Tabla 4.

Tabla 4
Estado técnico de los componentes

Estado	Porcentaje
Excelente	90 a 100
Bueno	80 a 90
Regular	65 a 80
Malo	50 a 64
Muy malo	Menor a 49

A continuación se realiza la evaluación técnica de los principales componentes de cada subsistema de la máquina CNC, esto se puede ver de la Tabla 5 a Tabla 8.

Tabla 5
Evaluación técnica subsistema mecánico

SUBSISTEMA MECÁNICO						
Ítem	Descripción	Excelente	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo
1	Estado de los tornillos sinfín	X				
2	Estado de los rodamientos	X				
3	Estado de los ejes de soporte		X			
4	Estado de la carcasa		X			
5	Estado de la estructura	X				
6	Lubricación de la máquina				X	
7	Estado del sistema de refrigeración					X
Suma		3	2	0	1	1

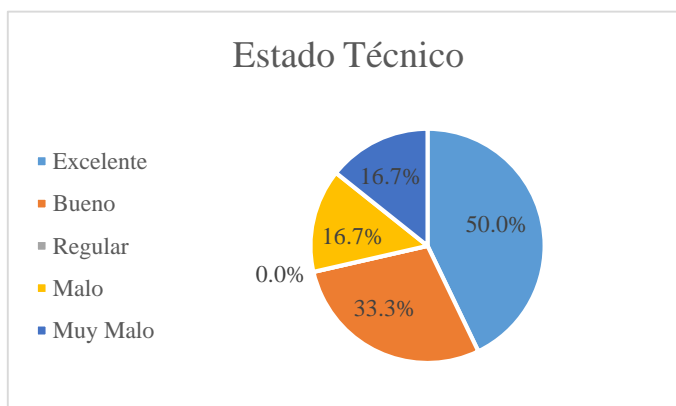


Figura 17. Estado técnico del subsistema

Tabla 6
Evaluación técnica del subsistema eléctrico y electrónico

SUBSISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO						
Ítem	Descripción	Excelente	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo
1	Estado de las fuentes de alimentación	X				
2	Estado de portafusibles	X				
3	Estado de cableado eléctrico				X	
4	Estado de drivers		X			
5	Estado tarjeta de control			X		
6	Estado de conexiones eléctricas externas				X	
7	Estado de motores a pasos	X				
8	Estado de sensores fin de carrera					X
9	Estado luces piloto				X	
	Suma	3	1	1	3	1

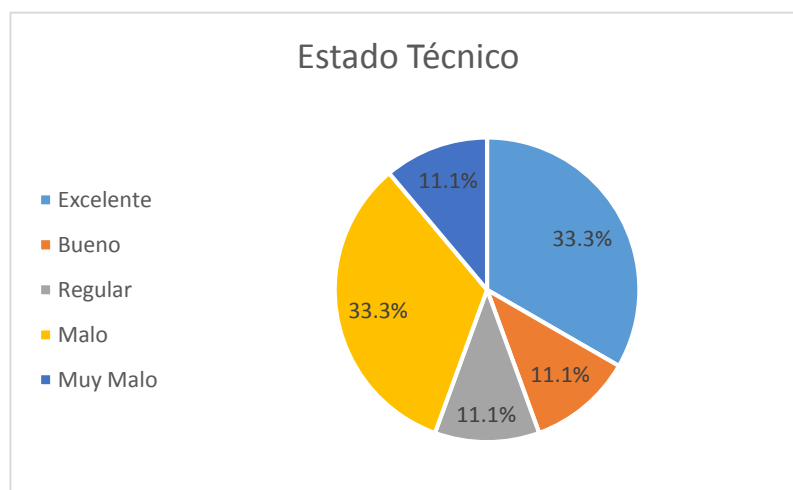


Figura 18. Estado técnico del subsistema eléctrico y electrónico

Tabla 7
Evaluación técnica del subsistema de control

SUBSISTEMA DE CONTROL						
Ítem	Descripción	Excelente	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo
1	Estado del tablero control		X			
2	Estado pulsadores			X		
3	Estado Interfaz Humano Máquina					X
4	Estado software de control					X
5	Estado tarjeta de control			X		
	Suma	0	1	2	0	2

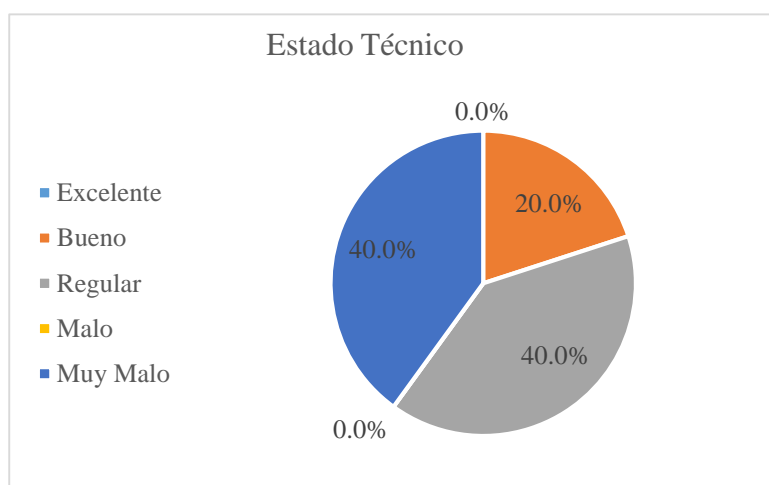
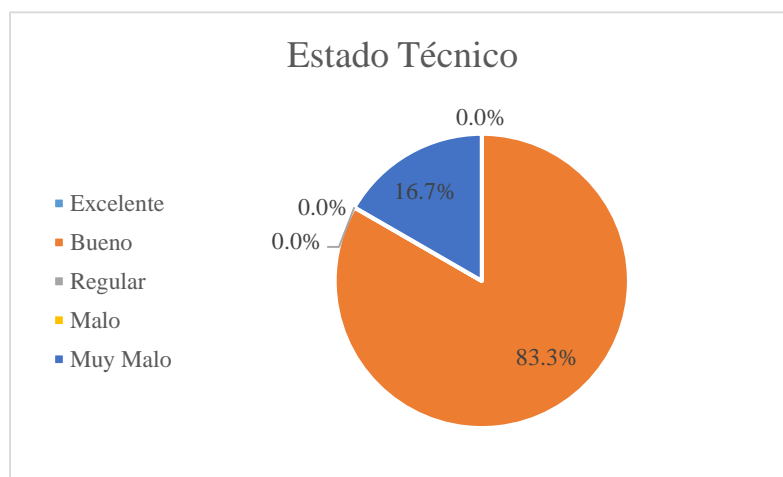


Figura 19. Estado técnico del subsistema de control

Tabla 8*Evaluación del sistema de generación de láser*

SISTEMA DE GENERACIÓN DE LÁSER						
Ítem	Descripción	Excelente	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo
1	Estado tubo láser instalado					X
2	Estado tubo láser empacado		X			
3	Estado de espejos		X			
4	Estado de lente		X			
5	Estado de boquilla		X			
6	Estado fuente de alimentación de láser		X			
Suma		0	5	0	0	1

**Figura 20.** Estado técnico del sistema de generación de láser

4.2 Diagnóstico general de la máquina

La cortadora láser actualmente no se encuentra en funcionamiento y se encuentra en inactividad aproximadamente desde el año 2016, la estructura de la cortadora láser se encuentra en buen estado sin presentar daños o corrosión al igual que la carcasa que presenta daños menores en su pintura.

El sistema mecánico se encuentra en general en buen estado, el sistema de transmisión de movimiento no presenta daños, requiere mantenimiento y limpieza. El sistema de refrigeración se encuentra en estado crítico al estar totalmente desmantelado por lo que requiere un rediseño completo, ya que sin este resulta imposible usar el tubo de generación láser.

Los componentes del sistema eléctrico y electrónico funcionan correctamente al probarlos individualmente, el cableado presenta daños impidiendo comprobar el funcionamiento del sistema en conjunto, la conexión de los sensores fin de carrera es inexistente y estos presentan daños. El sistema de control no pudo usarse por la falta de disponibilidad del software de control además de la inexistencia de una interfaz humano-máquina por lo que es necesario un rediseño del mismo.

El tubo de generación láser instalado en la máquina no se encuentra en funcionamiento por lo que debe ser reemplazado por el tubo empacado el cual se encuentra en buen estado aunque no está al cien por ciento de su capacidad por la inactividad, los espejos para dirigir el haz de láser y la boquilla para concentrarlo en un punto se encuentran en buena condición.

CAPÍTULO IV

REDISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

El propósito de este capítulo es realizar el diseño de ciertos subsistemas de la cortadora láser tomando en cuenta las características actuales y los requerimientos dados por parte de los responsables del Laboratorio de Procesos de Manufactura. Definiendo bien los requerimientos y haciendo un análisis detallado para así identificar soluciones en cada caso. En la Tabla 9 se puede ver las características principales de la máquina dadas por trabajos anteriores.

Tabla 9

Características de la máquina previas al diseño

#	Características	Descripción
1	Refrigeración en el Tubo Láser	Agua
2	Tasa de Flujo del Tubo	2 – 5 L/min.
3	Temperatura del Agua en el Tubo	10°C - 40°C
4	Temperatura Ambiente para el Tubo	2°C - 40°C
5	Área de Trabajo	850 x 1000 mm
6	Profundidad de Corte	6 mm
7	Chiller	Desmantelado
8	Controlador	Tarjeta e-cut

Tabla 10

Características técnicas tubo láser marca Reci

Líquido refrigerante	Agua pura
Tasa de flujo	2-5 L/min
Temperatura estándar del agua	10°C - 40°C
Temperatura Ambiente	2°C - 40°C
Humedad	10% - 60%
Corriente de operación	22mA
Vida útil del láser	3.500 horas totales de trabajo

4.1 Diseño de chiller industrial

Para el diseño del chiller se opta por un sistema de convección forzada con un evaporador, el cual se encuentra en equipos industriales usados junto con máquinas comerciales. El sistema se divide en dos etapas, la parte electrónica del sistema y la parte mecánica que realiza el proceso de refrigeración del agua que circula por el tubo láser. Las dos etapas se describen a continuación:

1. Un circuito de alarma que suena cuando no existe circulación del líquido refrigerante o cuando la temperatura del líquido en el tanque es igual a los 60°C , el diagrama del circuito planteado se observa en la Figura 21.
2. Diseño y selección de los componentes que conforman el sistema de refrigeración incluyendo ventilador para forzar la circulación de aire, bomba de agua, evaporador de tubos por donde circula el líquido refrigerante.

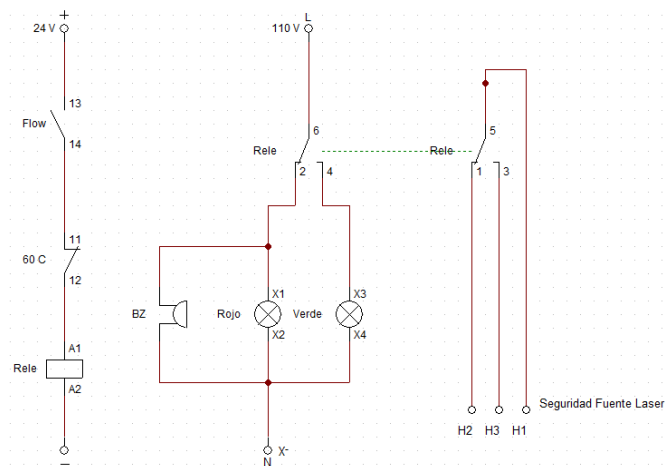


Figura 21. Circuito de alarma del chiller



4.1.1 Selección de componentes electrónicos

Interruptor Térmico

Se necesita controlar la temperatura del agua en el tanque para que se encuentre entre 18°C - 28°C, que es temperatura especificada a la que tiene que estar el agua al interior del tubo laser, para esto se opta por usar un interruptor térmico (termostato) ya sea NO o NC, que al llegar a la temperatura dada este se cierra o abre según sea su especificación. En la Tabla 11 se pueden ver las opciones de termostatos disponibles en el mercado.

Tabla 11

Alternativas de interruptor térmico

Nombre	Imagen	Propiedades
KSD301	 <p>Figura 22. Interruptor térmico KSD301 Fuente: (DataSheet.es, 2019)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • AC 125/250V -- 10A • NC/NA (Automatic Reset) • Tolerancia ± 5, ± 10
KSD302	 <p>Figura 23. Interruptor térmico KSD302 Fuente: (ViaIndustrial, 2019)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • AC 250V --15A • NC/NA (Automatic Reset) • Tolerancia ± 3, ± 5

Para la selección del componente se realiza una tabla de comparación con los dispositivos que se pueden encontrar en el mercado y que estén dentro de las características deseadas. En ella se le otorga una ponderación a cada parámetro para determinar su importancia (Tabla 13), la ponderación usada se describe en la Tabla 12.

Tabla 12*Ponderación de parámetros según su importancia*

Ponderación	Descripción
0	Parámetro no es importante en comparación al otro
2.5	Los dos parámetros tienen igual importancia
5	El parámetro es más importante.

Parametros	Precision	Facil Adquisicion	Costo	Exactitud	Dimensionamiento	$\Sigma + 1$	Porcentaje
Precision		5	2.5	5	5	18.5	33.64%
Facil Adquisición	0		2.5	0	2.5	6	10.91%
Costo	2.5	2.5		2.5	2.5	11	20.00%
Exactitud	0	5	2.5		5	13.5	24.55%
Voltaje de Operación	0	2.5	2.5	0		6	10.91%
Total						55	100.00%

Figura 24. Porcentaje de importancia de parámetros del sensor fuera del tanque

A continuación se compara las alternativas para el sensor en base a los porcentajes de importancia de cada parámetro, para ello se asigna una ponderación numérica a cada uno que permita evaluar si cumple satisfactoriamente cada parámetro (Figura 24). Los valores usados se ven en la Tabla 14.

Tabla 13*Ponderación de valores en base a la satisfacción de cada parámetro*

Ponderación	Descripción
1	Bueno
3	Muy bueno
5	Excelente

Parametros	Porcentaje	KSD 301		KSD 302	
		Valor	Total	Valor	Total
Precision	33.64%	3	1.01	3	1.01
Facil Adquisición	10.91%	5	0.55	5	0.55
Costo	20.00%	5	1.00	3	0.60
Exactitud	24.55%	3	0.74	3	0.74
Voltaje de Operación	10.91%	5	0.55	3	0.33
		Total	3.84	Total	3.22

Figura 25. Tabla Comparativa de alternativas

En base a los resultados obtenidos en la Figura 25, se puede concluir que el sensor adecuado para el tanque es el KSD301, el cual tiene una buena exactitud y precisión, el costo es menor y no existe un sobredimensionamiento del dispositivo en relación a las propiedades eléctricas.

Termómetro Digital

También se requiere un sensor que indique la temperatura al interior del tanque, para esto se usa un sensor de temperatura con un indicador numérico digital incluido que permita monitorear continuamente la temperatura al interior del tanque, las alternativas de estos sensores se muestran en la Tabla 16.

Tabla 14
Alternativas de Termómetro



Nombre	Imagen	Propiedades
WH6009i, sensor NTC (10K / 3435)	 <p><i>Figura 26. Sensor NTC</i> Fuente: (PCEinstruments,2019)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Rango de medición de temperatura: -50 ~ 110 ° C • Error de medición de temperatura: 0,5 ° C • Voltaje de operación: 110V / 220V • Corriente de trabajo: 20MA MAX • Temperatura de trabajo: 0 ~ 50 ° C • Sonda de metal a prueba de agua estándar de 1 metro
Display, sensor RTD (PT100) 2 Hilos		<ul style="list-style-type: none"> • Rango de medición de temperatura: -25 ~ 250 ° C • Error de medición de temperatura: 1,5 ° C • Voltaje de operación: 12V • Sonda de metal a prueba de agua estándar de 0.5 metro



Figura 27. Sensor RTD con display

Fuente:(Omega,2019)

Para la correcta selección del componente se realiza la evaluación de importancia de sus parámetros en base a los valores de la Tabla 12, esta evaluación se ve en la Figura 28. A continuación se usan las ponderaciones de la Tabla 14 para evaluar la satisfacción que cada alternativa de a los parámetros necesarios, esto se ve en la Figura 29.

Parametros	Precision/Exactitud	Costo	Alimentacion	Porcentaje de Error	$\Sigma + 1$	Porcentaje
Precision/Exactitud		5	5	2.5	13.5	42.86%
Costo	0		2.5	2.5	6	19.05%
Voltaje de Operacion	0	2.5		2.5	6	19.05%
Porcentaje de Error	0	2.5	2.5		6	19.05%
Total					31.5	100.00%

Figura 28. Porcentajes de importancia de parámetros del indicador y sensor.

Parametros	Porcentaje	WH6009i (NTC 10K/3435)		T100R (PT100)	
		Valor	Total	Valor	Total
Precision/Exactitud	42.86%	5	2.14	3	1.29
Costo	19.05%	3	0.57	3	0.57
Voltaje de Operacion	19.05%	5	0.95	3	0.57
Porcentaje de Error	19.05%	5	0.95	3	0.57
		Total	4.62	Total	3.00

Figura 29. Tabla comparativa de alternativas.



En base a los resultados obtenidos en la Figura 29, se escoge el sensor NTC WH6009i, debido a que tiene una alta precisión y exactitud en la medición de la temperatura, el costo es accesible, la

alimentación puede ser de 110V/220V, y el porcentaje de error es menor en comparación a la otra alternativa.

Relé de Potencia

Tabla 15

Alternativas de Relé de Potencia

Nombre	Imagen	Características
Relé JQX-13F	 <p>Figura 30. Relé JQX-13F Fuente: (ElectroRelay, 2019)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Voltaje y Amperaje de operación: 10A, 24DC. • Potencia nominal de la bobina: 1.2Wac, 0.9Wdc. • Vida Mecánica: 1×10^7 operaciones min. • Vida Eléctrica: 1×10^5 operaciones min.
Relé JTX-2C	 <p>Figura 31. Relé JTX-2C Fuente: (ElectroRelay, 2019)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Voltaje y Amperaje de operación: 10A, 110/240AC. • Potencia nominal de la bobina: 2.5Wac, 1.5Wdc. • Vida Mecánica: 1×10^6 operaciones min. • Vida Eléctrica: 1×10^5 operaciones min.

Para la correcta selección del componente se realiza la evaluación de importancia de sus parámetros, esto se observa en la Figura 32. A continuación se usan las ponderaciones de la Tabla 14 para evaluar la satisfacción que cada alternativa de a los parámetros necesarios, esto se ve en la Figura 33.

Parametros	Vida Util	Facil Adquisición	Costo	Voltaje de Operación	$\Sigma + 1$	Porcentaje
Vida Util		2.5	0	2.5	6	16.44%
Facil Adquisición	5		2.5	0	8.5	23.29%
Costo	5	2.5		2.5	11	30.14%
Voltaje de Operación	2.5	5	2.5		11	30.14%
				Total	36.5	100.00%

Figura 32. Porcentajes de importancia de parámetros del Relé.

Parametros	Porcentaje	Relé JQX-13F		Relé JTX-2C	
		Valor	Total	Valor	Total
Vida Util	16.44%	5	0.82	3	0.49
Facil Adquisición	23.29%	3	0.70	3	0.70
Costo	30.14%	5	1.51	3	0.90
Voltaje de Operación	30.14%	5	1.51	3	0.90
		Total	4.53	Total	3.00

Figura 33. Tabla comparativa de alternativas.

En base a los resultados obtenidos en la Figura 33, se puede concluir que el relé escogido es el Relé JQX-13F, este presenta una vida útil mayor por la cantidad de operaciones que tiene, el costo es accesible, nos permite una fácil adquisición del relé y el voltaje de operación está acorde a las características de la máquina.

4.2 Sistema de Refrigeración

Como se menciona en el documento se realizará el diseño de un sistema de refrigeración por convección forzada con un evaporador, por el que circulara un fluido líquido continuamente, en este caso agua, usando un ventilador que permita forzar el paso de aire a través de la tubería realizando el proceso de enfriamiento. Las características del ventilador se ven en la Tabla 22.

Tabla 16
Características del ventilador

Voltaje de operación	110 / 120 V
Velocidad angular	2700/3000 RPM
Diámetro Exterior	146 mm
Flujo de Aire	218.2 cfm

Para encontrar la velocidad del aire se usa la siguiente ecuación:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (28)$$

Q = Caudal del Aire del Ventilador

A = Área por donde fluye el aire en el Ventilador

V = Velocidad del Aire.

$$V = 6.151 \left[\frac{m}{s} \right]$$




A continuación se realizan los cálculos para el diseño de los componentes del sistema de transferencia de calor por convección forzada, para ello se parte de las características del tubo láser dadas en la Tabla 9. Los datos a tomar en cuenta para el diseño son:

- Flujo en el Tubo 2-5 L/min.
- Temperatura del agua en el Tubo: 26 °C.
- Temperatura del aire en el sistema de refrigeración: 15 °C.
- La velocidad del aire en el ventilador: 6.151 m/s.
- La velocidad del agua: 1.104 m/s.

4.2.1 Selección del Tubo

El sistema cuenta con un evaporador de tubo liso, para ello se requiere seleccionar el material de la tubería, las alternativas se presentan en la Tabla 23.

Tabla 17
Alternativas de Tubo

Nombre	Imagen	Características
Tubo de Cobre	 <p><i>Figura 34.</i> Tubo de cobre Fuente: (Shutterstock,2019)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Conductividad Térmica 385 (W/mK) • Buena resistencia a la Corrosión.
Tubo de Acero Inoxidable	 <p><i>Figura 35.</i> Tubo de acero inoxidable Fuente: (SoloStocks,2017)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Conductividad Térmica 45 (W/mK). • Buena resistencia a la corrosión
Tubo de Aluminio	 <p><i>Figura 36.</i> Tubo de Aluminio Fuente: (Shutterstock, 2019)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Conductividad Térmica 237 (W/mK) • Resistencia a la corrosión media.

Para seleccionar el componente adecuado para la aplicación planteada se realiza la evaluación de importancia de sus parámetros como se observa en la Figura 37. A continuación se evalúa la satisfacción que cada alternativa de a los parámetros necesarios, esto se ve en la Figura 38.

Parametros	Conductividad Termica	Resistencia a la Corrosion	Costo	Eficiencia	$\Sigma + 1$	Porcentaje
Conductividad Termica	5	0	5	2.5	13.5	42.86%
Resistencia a la Corrosion	0	5	2.5	2.5	6	19.05%
Costo	0	2.5	5	2.5	6	19.05%
Eficiencia	0	2.5	2.5	5	6	19.05%
Total					31.5	100.00%

Figura 37. Porcentajes de importancia de parámetros del Tubo.

Parametros	Porcentaje	Tubo de Cobre		Tubo de Acero Inoxidable		Tubo de Aluminio	
		Valor	Total	Valor	Total	Valor	Total
Conductividad Termica	42.86%	5	2.14	3	1.29	3	1.29
Resistencia a la Corrosion	19.05%	5	0.95	3	0.57	1	0.19
Costo	19.05%	3	0.57	3	0.57	3	0.57
Eficiencia	19.05%	5	0.95	5	0.95	5	0.95
Total		4.62		3.38		3.00	

Figura 38. Tabla comparativa de alternativas.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la Figura 38, se puede concluir que el material escogido para el tubo es Cobre, el cual presenta una alta conductividad térmica siendo esta casi 30 veces mayor a su competencia, eso nos ofrece una alta eficiencia no solo en la transferencia de calor sino también energética, el costo es accesible.

Para obtener la longitud del ducto de cobre, se necesita algunas propiedades físicas y químicas, tanto del agua, del aire y del cobre, que son las siguientes:

- Agua a 25°C
 - Viscosidad Cinemática (m^2/s) = 0.898×10^{-6}
 - Viscosidad Dinámica ($kg/m*s$) = 0.891×10^{-3}
 - Conductividad Térmica ($W/m*K$) = 0.607
 - Calor Especifico ($J/Kg*K$) = 4180

- Aire
 - Viscosidad Cinemática (m^2/s) = 1.470×10^{-5}
 - Viscosidad Dinámica ($kg/m*s$) = 1.802×10^{-5}
 - Conductividad Térmica ($W/m*K$) = 0.02476
 - Calor Especifico ($J/Kg*K$) = 1007

- Cobre
 - Conductividad Térmica ($W/m*K$) = 385
 - Calor Especifico ($J/Kg*K$) = 390

Fuente: Tablas A-9 y A-15 del libro "Transferencia de Calor" Cengel 4ta Ed.

Para hallar la longitud del ducto o tubería de cobre se realiza el cálculo de los números adimensionales de Reynolds, Prandlt y Nusselt usados para determinar el coeficiente de transferencia de calor de cada fluido, para ello se usan las ecuaciones vistas en el capítulo 2.

Para el cálculo del número de Reynolds tanto del agua como del aire se usa la Ecuación 7, el número de Prandlt se calcula mediante la Ecuación 8. El número de Nusselt del agua es calculado mediante la Ecuación 5 y la Ecuación 6 para el caso del aire.

Usando el resultado del número de Nusselt del agua se calcula su coeficiente de transferencia de calor tanto del agua como del aire.

$$h_i = \frac{Nusselt \times K}{D} \quad (29)$$

Donde:

Nusselt: Número de Nusselt.

K: Conductividad térmica del agua.

d: Diámetro interno del tubo de cobre.

Los resultados de estos cálculos son resumidos en la Tabla 26.

Tabla 18

Resultados de cálculos

Fluido	Número de Reynolds	Número de Prandtl	Número de Nusselt	Coficiente de transferencia de calor $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$
Agua	1.0453×10^4	6.1357	65.085	4.648×10^3
Aire	4.1844×10^3	0.7329	70.301	174.065

Con los resultados dados en la Tabla 26, se procede a encontrar la longitud de ducto de cobre del chiller, la capacidad calorífica por convección es 50 W/°C en chillers industriales usados en máquinas similares, estos datos son reemplazados en la Ecuación 12 para hallar el coeficiente global de transferencia de calor U. Una vez obtenido el coeficiente global de transferencia de calor entre el agua y el aire, se procede a encontrar la longitud del ducto de cobre con la ayuda de la Ecuación 12 despejando el término L, los resultados se resumen en la Tabla 27.

Tabla 19*Resultados de cálculos*

Coefficiente global de transferencia de calor $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	7.145×10^4
Longitud de la tubería de cobre [m]	16.722

4.3 Selección de Bomba

Para el diseño o dimensionamiento de la bomba de agua se debe realizar el cálculo de las pérdidas que tiene el fluido dentro de todo el circuito, para un caudal establecido de 7-10 L/min.

4.3.1. Pérdidas Primarias

Calculando la velocidad en el interior de cada tipo de tubo, usando la Ecuación 28, al tener tres tipos de tuberías se presenta sus datos en la Tabla 28.

Tabla 20*Datos dimensionamiento de bomba*

	Diámetro	Velocidad (m/s)	Coefficiente de Fricción (Adimensional)	Longitud (m)
Cobre	Interior: 8.5 mm	1.468	130	11.464
Vidrio	Interior: 10 mm Exterior: 20 mm	1.061	140	1
Manguera	Interior: 9 mm	1.309	150	2.5

Con los datos mencionados en la Tabla 27 se procede a encontrar las pérdidas primarias a lo largo del circuito, con el uso de la ecuación de Darcy – Weisbach (Ecuación 20a) para condiciones de flujo turbulento y una temperatura entre 18°C y 30°C. (Mataix, 1986). Primero se calcula el coeficiente de pérdida con el uso de la Ecuación 23, reemplazando los resultados mostrados en la Tabla 25. Los resultados de las pérdidas primarias de cada material son resumidos en la Tabla 28, para obtener las pérdidas primarias totales se suma cada una de las pérdidas de cada material.

$$\lambda = 0.02$$

Tabla 21*Resultado de cálculos de pérdidas primarias*

Material	Resultado [m]
Cobre	2.963
Manguera	0.485
Vidrio	0.115

Pérdidas primarias totales

$$Hf_{pt} = Hf_{cu} + Hf_{manguera} + Hf_{vidrio}$$

$$Hf_{pt} = 3.563 [m]$$

4.3.2. Pérdidas Secundarias

Para el cálculo de pérdidas secundarias se utiliza la fórmula de general de Darcy – Weisbach (Mataix, 1986), Ecuación 26.

Pérdidas secundarias en el cobre:

Como se tiene pérdidas debido a singularidades por el codo a 90° se utiliza la siguiente formula (Mataix, Fig. 11-8, 1982).

$$\frac{\text{radio de codo}}{\text{Diametro de tubo}} = \frac{25 \times 10^{-3}[m]}{10 \times 10^{-3}[m]} = 2.5 \quad (30)$$

La relación que tiene como respuesta 2.5 no se encuentra tabulada se procese a encontrar las pérdidas de la siguiente manera.

Se obtiene el número de Reynolds (Ecuación 7) y la Rugosidad relativa (Ecuación 31), para luego con la ayuda de Diagrama de Moody de la Figura 31, encontrar el factor de fricción. Estos resultados son reemplazados en la Ecuación 28ª para obtener el coeficiente de pérdidas secundarias, el cual es usado para calcular las pérdidas secundarias del material mediante la Ecuación 26.

Rugosidad Relativa

$$R_{rel} = \frac{k}{D} \quad (31)$$

Donde:

k : Coeficiente de Rugosidad de Manning del material. (Mataix,1982, tabla 9-2)

D : Diámetro interno del tubo de cobre.

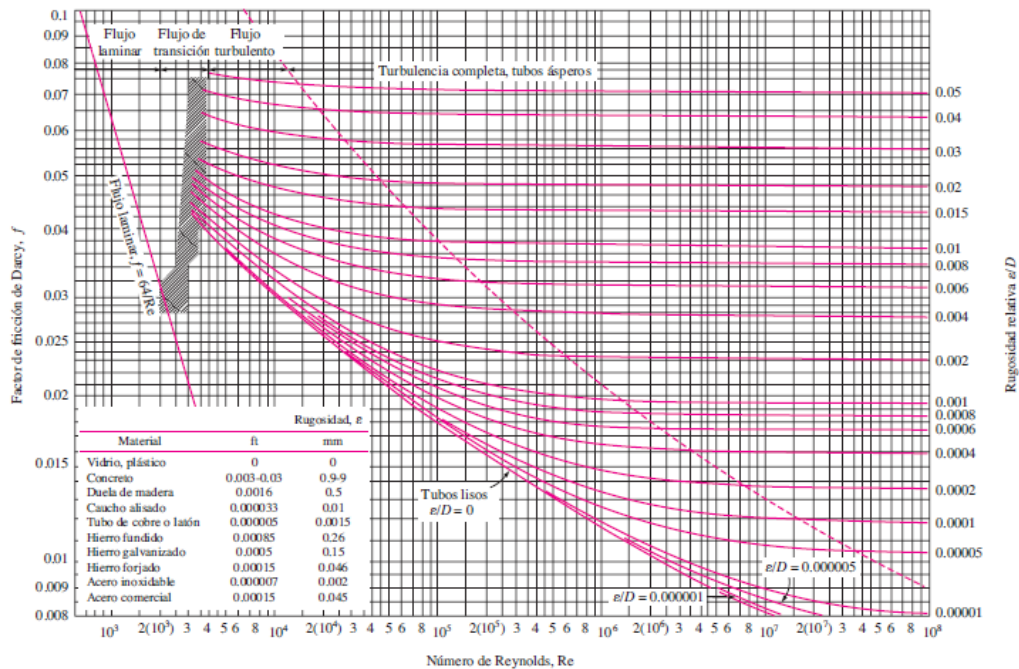


Figura 39. Diagrama de Moody.

Fuente: (Cengel Y., Ghajar A., 2011)

Pérdidas secundarias Vidrio y manguera

Se calcula los números adimensionales de Reynolds de cada material usando la Ecuación 7 y la rugosidad relativa usando la Ecuación 31, con estos datos se obtiene los factores de fricción usando el diagrama de Moody (Figura 31) y usando la Ecuación 28a se calcula el coeficiente de pérdidas el cual es reemplazado en la Ecuación 26.

Los resultados de los cálculos de las pérdidas secundarias se resumen en la Tabla 30.

Tabla 22
Resultados de cálculos de pérdidas secundarias

Material	Número de Reynolds	Rugosidad relativa	Factor de fricción	Coefficiente de pérdidas	Pérdidas secundarias [m]
Cobre	1.39×10^4	1.294×10^{-3}	0.029	16.078	1.766
Vidrio	1.181×10^4	1×10^{-3}	0.03	3	0.172
Manguera	1.312×10^4	8.889×10^{-4}	0.0275	7.639	0.668

Pérdidas secundarias totales

$$Hps_{total} = Hps_{cu} + Hps_{vidrio} + Hps_{manguera}$$

$$Hps_{total} = 2.605 [m]$$

Pérdidas Totales en el Circuito

$$Hf_{total} = Hf_{pt} + Hps_{total}$$

$$Hf_{total} = 6.168 [m]$$

Usando la Ecuación 27b y teniendo en cuenta la bomba al nivel de referencia, y un circuito de recirculación continuo y cerrado con reservorio la ecuación sería:

$$H_B = Z_2 + Hf_{total}$$

$$H_B = 1 + 6.168$$

$$H_B = 7.168 [m]$$

Este valor nos indica la presión que tiene el circuito en metros columna de agua (m.c.a.) con su equivalente en Pascales se tiene que la presión es:

$$Hf = 7.03 \times 10^4 [Pa]$$

Al obtener todos los valores necesarios en el diseño del sistema de transferencia de calor, se procede a la selección de componentes que cumplan con los parámetros calculados. En la Tabla 31 se observa las alternativas disponibles en el mercado de bombas de agua.

Tabla 23*Alternativas de Bomba de Agua*



Nombre	Imagen	Características
Bomba de Agua Empoint		<ul style="list-style-type: none"> • Voltaje de Entrada: DC 12V • Potencia: 3.6W • Flujo: 4 L/min • Hmax: 3 m
Bomba de Agua Owo		<ul style="list-style-type: none"> • Voltaje de Entrada: DC 24V • Potencia: 30W • Flujo: 10 L/min • Hmax: 8m

Figura 40. Bomba de agua Empoint

Fuente: (Heliplast,2019)

Figura 41. Bomba de agua Owo

Fuente: (Solarmat, 2018)

Para seleccionar el componente adecuado para la aplicación planteada se realiza la evaluación de importancia de sus parámetros, esto se observa en la Figura 42. A continuación se usan las ponderaciones de la Tabla 14 para evaluar la satisfacción que cada alternativa de a los parámetros necesarios, esto se ve en la Figura 43.

Parametros	Voltaje de Operacion	Caudal	Facil Adquisicion	Costo	Potencia	$\Sigma + 1$	Porcentaje
Voltaje de Operacion	5	0	2.5	2.5	0	6	12.63%
Caudal	5	5	2.5	2.5	2.5	13.5	28.42%
Facil Adquisicion	2.5	2.5	5	0	0	6	12.63%
Costo	0	2.5	0	5	2.5	6	12.63%
Potencia	5	2.5	5	2.5	5	16	33.68%
Total						47.5	100.00%

Figura 42. Porcentajes de importancia de parámetros de la Bomba de Agua.

Parametros	Porcentaje	Bomba Empoint		Bomba China	
		Valor	Total	Valor	Total
Voltaje de Operacion	12.63%	1	0.13	5	0.63
Caudal	28.42%	3	0.85	5	1.42
Facil Adquisicion	12.63%	5	0.63	5	0.63
Costo	12.63%	5	0.63	3	0.38
Potencia	33.68%	1	0.34	5	1.68
Total		2.58		4.75	

Figura 43. Tabla comparativa de alternativas.

Con los resultados obtenidos en la Figura 43, se puede concluir que la bomba escogida es la Bomba de Agua Owo proveniente de China, la misma tiene el adecuado voltaje de operación al cual se va a trabajar, un caudal acorde al necesitado, la potencia necesaria, la altura de cabeza adecuada, es fácil de adquirir y tiene un costo accesible.

4.4 Interruptor de Flujo de Agua

En la Tabla 34 se muestran las alternativas de selección del interruptor de flujo de agua, el que será usado en el sistema de alarma del chiller.

Tabla 24*Alternativas de Interruptor de Flujo de Agua*

Nombre	Imagen	Características
Interruptor de Flujo Zerone		<ul style="list-style-type: none"> • Caudal Máximo: 5L/min. • Caudal Mínimo: 0.75 L/min. • Adaptación: DC24V, AC110V, AC220V. • Temperatura de Trabajo: 2°C - 100°C.

Figura 44. Interruptor de flujo Zerone

Fuente: (Solarmat, 2018)

Interruptor de Flujo Kolas (China)		<ul style="list-style-type: none"> • Caudal Máximo: 10L/min. • Caudal Mínimo: 0.75 L/min. • Adaptación: DC24V, AC110V, AC220V. • Temperatura de Trabajo: 2°C - 100°C.
---	---	---

Figura 45. Interruptor de flujo Kolas

Fuente: (Heliplast, 2019)

Para seleccionar el componente adecuado para la aplicación planteada se realiza la evaluación de importancia de sus parámetros, esto se observa en la Figura 46. A continuación se usan las ponderaciones de la Tabla 14 para evaluar la satisfacción que cada alternativa de a los parámetros necesarios, esto se ve en la Figura 57.

Parametros	Facil Montaje	Caudal	Facil Adquisicion	Costo	$\Sigma + 1$	Porcentaje
Facil Montaje	5	0	2.5	2.5	6	17.65%
Caudal	5	5	5	2.5	13.5	39.71%
Facil Adquisicion	5	0	5	0	6	17.65%
Costo	0	2.5	5	5	8.5	25.00%
				Total	34	100.00%

Figura 46. Porcentajes de importancia de parámetros del Interruptor de flujo de agua.

Parametros	Porcentaje	Switch de Flujo		Switch de Flujo China	
		Valor	Total	Valor	Total
Facil Montaje	17.65%	3	0.53	3	0.53
Caudal	39.71%	3	1.19	5	1.99
Facil Adquisicion	17.65%	5	0.88	3	0.53
Costo	25.00%	3	0.75	5	1.25
		Total	3.35	Total	4.29

Figura 47. Tabla comparativa de alternativas.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la Tabla 36, se puede concluir que el interruptor flujo escogido es el de la marca Kolas proveniente de China, debido que este presenta un caudal adecuado con respecto a la bomba y tiene un fácil montaje.

4.5 Panel de Control

4.5.1. Selección de Indicadores y Selectores

Se colocarán indicadores y selectores en base a la norma o guía GEDIS, lo que delimitará dos zonas en el panel, un área de control y un área de indicadores, los elementos y su función son descritos en la Tabla 37.

Tabla 25

Selectores e indicadores

Área	Elementos
Área de control	Selector de llave ON/OFF que es el encargado de energizar toda la máquina, además de ser un mecanismo de seguridad.
	Paro de Emergencia (E-STOP), debe estar ubicado en un lugar visible y de fácil acceso, para que en caso de emergencia el accionamiento del mismo sea en el menor tiempo posible.
Área de indicadores	Luz piloto verde, indica que la maquina está encendida.
	Luz piloto roja, indica cuando el paro de emergencia está activado.

4.5.2. Software y Tarjeta de control

La máquina contaba con una tarjeta de control e-cut con el software Mach 3, y como complemento un microcontrolador Arduino que permitía enviar las señales a la fuente de alimentación del láser, el software de cada una de las placas no se encontraba disponible por lo que se procedió a rediseñar la etapa de control. Las alternativas son presentadas en la Tabla 38.

Tabla 26

Alternativas de tarjeta controladora



Nombre	Imagen	Características
<p>Controlador LIHUIYU M2 Nano</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Fuente de Alimentacion: DC 24V • Pantalla HMI: No. • Software: Corel Laser. • Control para 2 ejes.
<p>Controlador RUIDA</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Fuente de Alimentacion: DC 24V • Pantalla HMI: De 3.5" Full color. • Software: Software Libre RDWorks. • Control para 4 ejes.

Figura 48. Controlador M2 Nano
Fuente: (CncZone, 2019)

Figura 49. Controlador Ruida
Fuente: (RuidaACS, 2019)

Para seleccionar el componente adecuado para la aplicación planteada se realiza la evaluación de importancia de sus parámetros, esto se observa en la Figura 50. A continuación se evalúa la satisfacción que cada alternativa de a los parámetros necesarios, esto se ve en la Figura 51.

Parametros	Costo	Pantalla HMI	Facil Adquisicion	Condiciones ambientales de trabajo industrial	Adaptabilidad	$\Sigma + 1$	Porcentaje
Costo		2.5	2.5	0	2.5	8.5	14.78%
Pantalla HMI	5		5	2.5	2.5	16	27.83%
Facil Adquisicion	2.5	0		0	2.5	6	10.43%
Condiciones ambientales de trabajo industrial	5	2.5	5		2.5	16	27.83%
Adaptabilidad	2.5	2.5	2.5	2.5		11	19.13%
Total						57.5	100.00%

Figura 50. Porcentajes de importancia de parámetros de los controladores.

Parametros	Porcentaje	Controlador Ruida		Controlador Lihuiyu	
		Valor	Total	Valor	Total
Costo	14.78%	3	0.44	5	0.74
Pantalla HMI	27.83%	5	1.39	0	0.00
Facil Adquisicion	10.43%	3	0.31	3	0.31
Condiciones ambientales de	27.83%	5	1.39	5	1.39
Adaptabilidad	19.13%	5	0.96	3	0.57
Total		3.54		2.44	

Figura 51. Tabla comparativa de alternativas.

En base a los resultados obtenidos en la Tabla 40, se selecciona el controlador Ruida el cual es ideal para cortadoras láser. La misma permite el control de los ejes X e Y teniendo la posibilidad de controlar otros dos ejes Z y U, además incluye una pantalla HMI, módulo Wifi y software gratuito propio de la tarjeta.

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se muestran las pruebas realizadas al sistema conjunto de la cortadora láser y su sistema de refrigeración. Las pruebas realizadas son usadas en la industria y tienen el fin de comprobar el funcionamiento continuo del sistema y permiten detectar fallas en las configuraciones de motores u otros elementos.

Las pruebas a realizar son una prueba de escala para corregir las dimensiones del área de trabajo o de procesos de corte, pruebas de grabado y corte tanto de figuras básicas como complejas. Dichas pruebas permiten obtener los parámetros adecuados para los distintos procesos a los que se someterá la cortadora láser.

5.1 Prueba de escala

La prueba de escala permite corregir la configuración de los motores a pasos, para lograr que las figuras o imágenes enviadas desde el software no tengan errores en sus medidas finales, lo que ocasionaría fallos en ensambles o prototipos.

El protocolo a seguir es colocar un valor inicial arbitrario del paso de los motores tanto del eje X como del eje Y, realizando una medición del valor real y el valor que arroja la tarjeta controladora, el software permite ingresar estos valores calculando automáticamente un nuevo paso de los motores. Se realiza este procedimiento hasta que el error sea igual o inferior a 25 mm, este error se reducirá en las próximas pruebas. Las configuraciones iniciales del eje X se muestran en la Tabla 41 y para el eje Y en la Tabla 42.

Tabla 27*Pruebas iniciales en el motor del eje X*

Medida X		
Virtual [mm]	Real[mm]	Paso de motor[μm]
1000	500	3.75
1000	620	3
1000	665	2.75
1000	780	2.25
1000	870	2
1000	995	1.75

Tabla 28*Pruebas iniciales en el motor del eje Y*

Medida Y		
Virtual[mm]	Real[mm]	Paso de motor[μm]
850	425	3.75
850	520	3
850	600	2.75
850	680	2.25
850	765	2
850	825	1.75

Configurados los pasos de los motores, se realiza el corte de cuadrados de dimensiones 20x20 milímetros. Midiendo las dimensiones reales de las piezas y las dimensiones que muestra el software, se introduce estos valores calculando un nuevo paso para cada uno de los motores hasta que el error en las medidas sea de 0. Los valores de las medidas del eje X se muestran en la Tabla 43 y del eje Y en la Tabla 44.

Tabla 29*Pruebas con figuras geométricas básicas*

Medida X		
Virtual[mm]	Real[mm]	Paso de motor[μm]
20	15	1.75
20	18	1.60
20	19	1.55
20	20	1.49

Tabla 30*Pruebas con figuras geométricas básicas*

Medida Y		
Virtual[mm]	Real[mm]	Paso de motor[μm]
20	15	1.75
20	18	1.60
20	19	1.55
20	20	1.49

5.2 Prueba de grabado

El protocolo a seguir para la prueba de grabado consiste en dibujar en el software varios cuadrados de las mismas dimensiones 20x20 mm, cada uno asignado a una capa distinta con parámetros de velocidad de motores, potencia de láser y espaciado entre pasadas diferentes. En los grabados realizados se evalúa nitidez y si existen rastros de quemadura, las pruebas se realizaron en madera MDF de 3 mm de espesor y acrílico transparente de 3 mm de espesor.

En la Figura 38 se muestran los grabados realizados en madera MDF la evaluación de cada prueba se muestra en la Tabla 45.

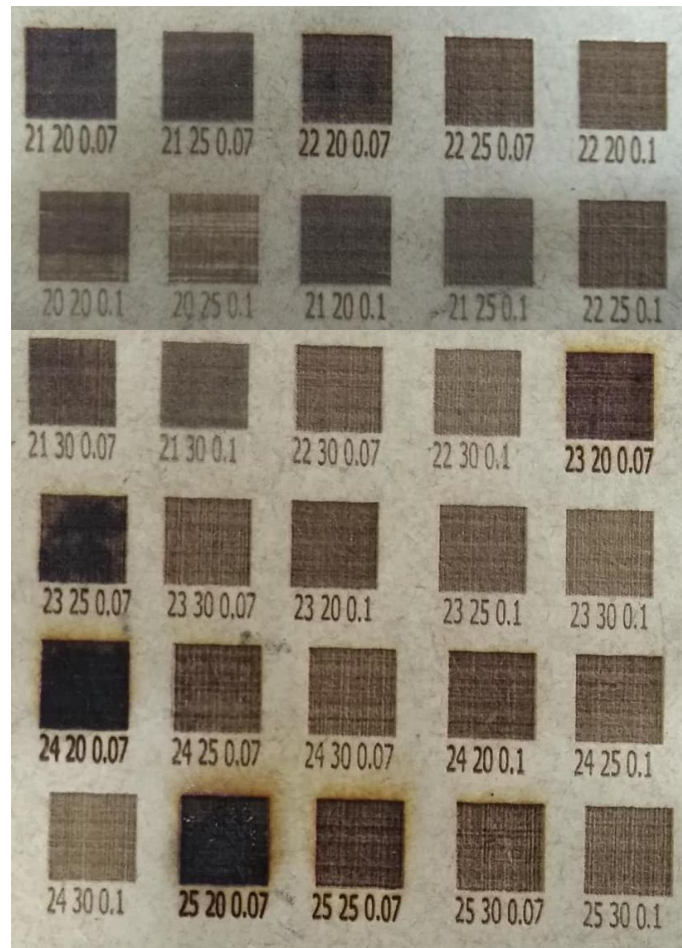


Figura 52. Pruebas de grabado en MDF

Tabla 31
Prueba de grabado en MDF con distintos parámetros

Prueba de grabado en MDF					
Potencia de láser	Velocidad [mm/s]	Espaciado[mm]		Nitidez	Quemadura
20	20	0.07	Media	No	
20	25	0.07	Baja	No	
20	20	0.1	Baja	No	
20	25	0.1	Baja	No	
21	20	0.07	Media	Si	
21	25	0.07	Media	Si	
21	30	0.07	Alta	No	
21	20	0.1	Alta	No	
21	25	0.1	Alta	No	
21	30	0.1	Alta	No	
22	20	0.07	Media	Si	
22	25	0.07	Alta	No	
22	30	0.07	Media	No	
22	20	0.1	Alta	No	
22	25	0.1	Media	No	
22	30	0.1	Media	No	
23	20	0.07	Media	Si	
23	25	0.07	Media	Si	
23	30	0.07	Media	No	
23	20	0.1	Media	No	
23	25	0.1	Alta	No	
23	30	0.1	Alta	No	
24	20	0.07	Baja	Si	
24	25	0.07	Baja	No	
24	30	0.07	Media	No	
24	20	0.1	Media	No	
24	25	0.1	Media	No	
24	30	0.1	Baja	No	
25	20	0.07	Baja	Si	
25	25	0.07	Media	Si	
25	30	0.07	Media	No	
25	30	0.1	Media	No	

Para el acrílico transparente se ocupa el mismo protocolo y parámetros usados en las pruebas en madera MDF. En la Figura 39 se observa las pruebas realizadas y la evaluación de las mismas se muestran en la Tabla 46.

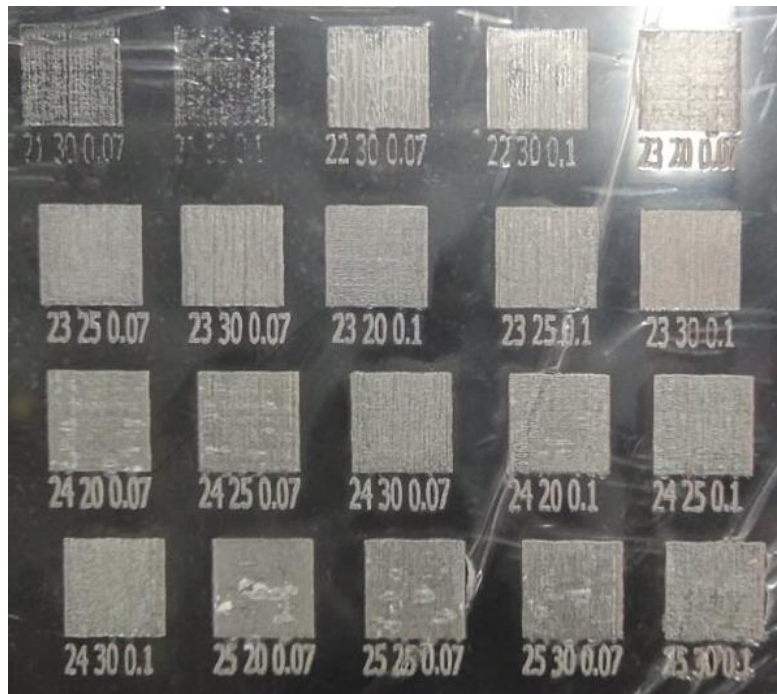


Figura 53. Pruebas de grabado en acrílico transparente

Tabla 32
Prueba de grabado en acrílico transparente

Prueba de grabado en acrílico					
Potencia de láser	Velocidad [mm/s]	Espaciado[mm]	Nitidez	Quemadura	
21	30	0.07	Baja	No	
21	30	0.1	Baja	No	
22	30	0.07	Media	No	
22	30	0.1	Baja	No	
23	20	0.07	Baja	No	
23	25	0.07	Media	No	
23	30	0.07	Media	No	
23	20	0.1	Alta	No	
23	25	0.1	Media	No	
23	30	0.1	Alta	No	
24	20	0.07	Alta	No	
24	25	0.07	Media	No	
24	30	0.07	Media	No	
24	20	0.1	Media	No	
24	25	0.1	Media	No	
24	30	0.1	Alta	No	
25	20	0.07	Alta	No	
25	25	0.07	Media	No	
25	30	0.07	Media	No	
25	30	0.1	Media	No	

5.3 Prueba de corte

El protocolo a seguir es dibujar un cuadrado de dimensiones 20x20 mm y se realiza el proceso de corte variando la velocidad de los motores y la potencia del láser. Los parámetros a evaluar son el corte de la pieza, presencia de rebabas y verificar si existen rastros de quemaduras, esto permite determinar las configuraciones ideales para cada material. En la Figura 40 y Figura 41 se muestra los resultados de dichas pruebas en madera MDF de 3mm de espesor, y su evaluación se muestra en la Tabla 47.



Figura 54. Resultados de corte con parámetros varios.

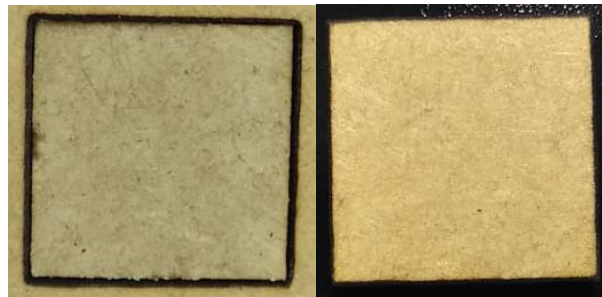


Figura 55. Resultado de prueba de corte con los parámetros ideales

Tabla 33

Parámetros usados en la prueba de corte de MDF de 3 mm

Pruebas de corte en MDF 3 mm				
Velocidad [mm/s]	Potencia	Corte	Rebaba	Quemadura
4.5	30			
4.5	50	X	X	
4.5	60	X	X	
4.5	70	X	X	
4	30			
4	50	X	X	
4	60	X	X	
4	70	X	X	
4	80	X	X	
4	85	X	X	X
4	90	X	X	X
3	60	X	X	
3	70	X	X	
3	75	X	X	
3	80	X	X	
3	85	X		

Este protocolo fue usado para realizar pruebas en madera MDF de 4 mm de espesor, los resultados se pueden observar en la Figura 42, la evaluación de los mismos se muestran en la Tabla 48.

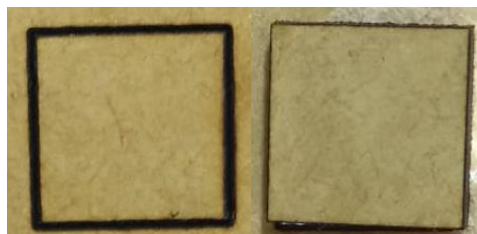


Figura 56. Prueba de corte en madera MDF de 4 mm

Tabla 34

Parámetros usados en la prueba de corte de madera MDF de 4 mm

Pruebas de corte en MDF 4 mm				
Velocidad [mm/s]	Potencia	Corte	Rebaba	Quemadura
4.5	30			
4.5	50			
4.5	60			
4.5	70			
4	30			
4	50			
4	60			
4	70			
4	80			
4	85			
4	90			
3	60			
3	70			
3	75			
3	80			
3	85			
3	95			
2	85	X	X	
2	95	X	X	

Se realizó pruebas usando el mismo protocolo en acrílico, en la Figura 43 se muestra el resultado de estas pruebas en acrílico blanco de 3 mm de espesor y estos son evaluados en la Tabla 49.



Figura 57. Cortes realizados en acrílico blanco de 3 mm

Tabla 35

Parámetros usados en la prueba de corte de acrílico de 3 mm

Pruebas de corte en acrílico 3 mm				
Velocidad [mm/s]	Potencia	Corte	Rebaba	Quemadura
4.5	30			
4.5	50			
4.5	60	X	X	
4.5	70	X	X	
4	30			
4	50	X	X	
4	60	X	X	
4	70	X	X	
4	75	X		
4	85	X		
4	90	X		X
3	60			
3	70	X	X	
3	75	X	X	
3	80	X		
3	85	X		

En la Figura 44 se muestra las pruebas realizadas en acrílico transparente de 4 mm de espesor, dichos resultados son evaluados en la Tabla 50.



Figura 58. Cortes realizados en acrílico transparente de 4 mm

Tabla 36

Parámetros de corte usados en acrílico de 4 mm

Pruebas de corte en acrílico 4 mm				
Velocidad [mm/s]	Potencia	Corte	Rebaba	Quemadura
4.5	30			
4.5	50			
4.5	60			
4.5	70			
4	30			
4	50			
4	60			
4	70			
4	75			
4	85			
4	90			
3	60			
3	70			
3	75			
3	80	X	X	
3	85	X	X	
2	75	X	X	
2	80	X	X	
2	85	X		
2	90	X		

Culminadas las pruebas se puede establecer cuáles son los parámetros ideales tanto de potencia de láser, velocidad y espaciado entre pasadas en el caso de grabado, para realizar trabajos con la mejor calidad posible, estos parámetros son resumidos en la Tabla 51.

Tabla 37

Parámetros ideales para grabado y corte en MDF y acrílico

Parámetros ideales				
Material	Tipo de trabajo	Potencia	Velocidad [mm/s]	Espaciado entre pasadas [mm]
MDF	Grabado suave	21	25	0.1
MDF	Grabado profundo	23	20	0.1
MDF	Corte 3 mm	85	3	-
MDF	Corte 4 mm	95	2	-
Acrílico	Grabado suave	23	25	0.07
Acrílico	Grabado profundo	23	30	0.1
Acrílico	Corte 3 mm	80	3	-
Acrílico	Corte 4 mm	85	2	-

5.4 Pruebas de grabado y corte con figuras complejas

El protocolo a seguir es usar vectores de imágenes, las cuales son configuradas con capas de grabado y corte. Para ello se usan los parámetros ideales obtenidos en pruebas anteriores.

En la Figura 45 se observa los vectores de las imágenes en el software de control, con una capa de grabado en color negro y capa de corte en color azul, la Figura 46 muestra el resultado en madera MDF de 3 mm de espesor y en acrílico transparente de 4 mm de espesor en la Figura 47.

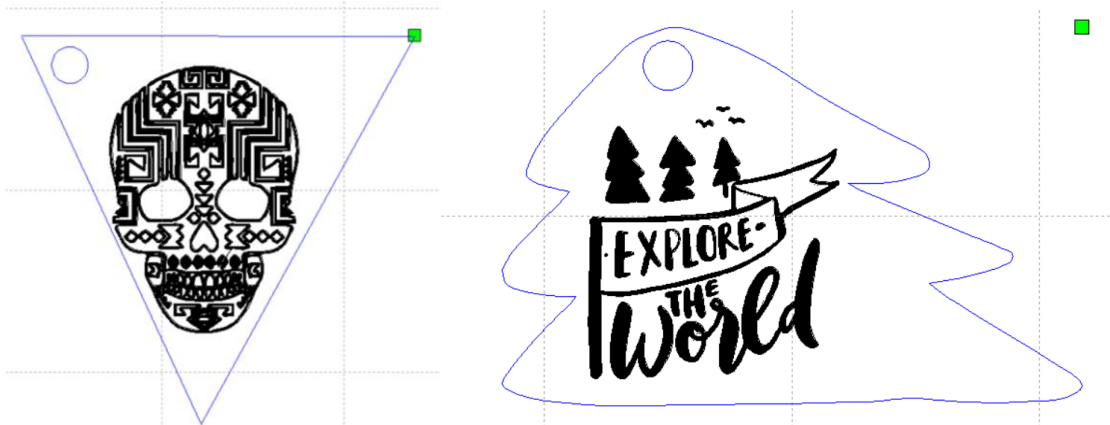


Figura 59. Imágenes complejas vectorizadas con capas de corte y grabado



Figura 60. Corte y grabado complejo en madera MDF de 3 mm



Figura 61. Corte y grabado complejo en acrílico transparente de 4 mm

5.5 Pruebas del sistema de refrigeración Chiller

Para comprobar el correcto funcionamiento del sistema de refrigeración conocido como chiller se realizó pruebas de funcionamiento continuo, manteniendo activo el sistema de láser realizando grabados y cortes verificando que la temperatura del agua usada en el enfriamiento no supere el rango de temperatura establecido en el diseño del sistema.

Para verificar la temperatura se usó la pantalla acoplada al sensor ubicado al interior del tanque de almacenamiento, se realizaron tres pruebas donde el sistema permaneció encendido por seis horas.

Los resultados de estas pruebas son presentados desde la Tabla 52 a Tabla 54.

Tabla 38

Primera prueba de funcionamiento continuo de chiller

Prueba funcionamiento continuo 1	
Tiempo de funcionamiento	Temperatura del agua [°C]
0	19
30	19.1
60	19.5
90	19.9
120	20.3
150	21
180	21.8
210	22.5
240	23.1
270	23.6
300	24

Tabla 39*Segunda prueba de funcionamiento continuo de chiller*

Prueba funcionamiento continuo 2	
Tiempo de funcionamiento	Temperatura del agua [°C]
0	20.3
30	20.5
60	20.9
90	21.3
120	21.8
150	22.2
180	22.7
210	23.1
240	23.6
270	24
300	24.4

Tabla 40*Tercera prueba de funcionamiento continuo de chiller*

Prueba funcionamiento continuo	
Tiempo de funcionamiento	Temperatura del agua [°C]
0	19.3
30	19.6
60	20
90	20.3
120	20.8
150	21.2
180	21.8
210	22.1
240	22.8
270	23.3
300	23.7

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se repotenció una máquina CNC de corte láser con un área de trabajo de 1000 mm en el eje X y 850 mm en el eje Y, que permite realizar procesos de grabado y corte en madera y acrílico de 3 y 4 mm de espesor. Se diseñó un sistema de producción, el cual ofrece una guía completa sobre las normas de seguridad, uso y mantenimiento de la máquina. Además, incluye una guía sobre la vectorización de imágenes y la configuración de archivos, hasta llegar al proceso de corte o grabado.

Se realizó una evaluación técnica del estado de cada subsistema de la máquina CNC, diagnosticando que no podía ser operada, debido a que era necesario reemplazar el cableado eléctrico y realizar mantenimiento y limpieza en la estructura y el sistema de transmisión.

Se rediseñó el subsistema de control, el cual presentaba fallas críticas al no contar con una tarjeta de control adecuada y la falta del software utilizado en trabajos previos. Para ello se seleccionó una tarjeta controladora Ruida, la cual es ideal para cortadoras láser y funciona mediante el software gratuito ThunderLaser.

Se comprobó que los componentes de la etapa de potencia eran funcionales y se encontraban sobredimensionados, ya que el sistema era conectado a una red eléctrica de 220 Voltios. La etapa fue rediseñada para ser funcional con una red eléctrica de 110 Voltios.

Se rediseño e implementó un sistema de refrigeración por convección forzada que permite el uso continuo de la cortadora láser por 6 horas, el mismo mantiene la temperatura del agua en el tanque de almacenamiento en un rango entre 18 °C y 26 °C. Se incluyó un sistema de alarma visual y sonora en caso de tener una manguera obstruida o el nivel bajo de refrigerante.

Se implementó tres interfaces que permiten el monitoreo y manipulación de la cortadora láser, mediante la tarjeta de control Ruida. Una de ellas presente en el software de control ThunderLaser, una pantalla HMI ubicada en la máquina y una aplicación móvil.

6.2 Recomendaciones

Para una mejora de la máquina se debe realizar un análisis de rediseño del sistema de transmisión buscando la optimización de la velocidad de trabajo sin perder precisión. Se sugiere cambiarlo por un sistema de bandas debido a que el sistema de transmisión por tornillo sin fin puede presentar problemas como vibraciones u obstrucciones al ser operado a altas velocidades.

Para el sistema de refrigeración implementado se recomienda mejorar el sistema de convección forzada colocando evaporadores de aletas y un ventilador extra que ofrecerá un mayor flujo de aire, esto permitirá que la cortadora láser funcione continuamente por un lapso superior a 6 horas sin requerir un cambio de refrigerante. Con un tiempo de funcionamiento superior es posible la implementación de celdas de trabajo integrando varias máquinas-herramientas presentes en el laboratorio.

El software de control ThunderLaser y el software de diseño Inkscape, utilizados para el diseño y modificación de piezas o prototipos ofrecen un número limitado de herramientas de diseño gráfico. Por lo que se recomienda el uso y adquisición del software de licencia privada como por ejemplo CorelDraw el cual ofrece herramientas de diseño avanzadas y puede ser enlazado al software de control por medio de complementos incluidos en el paquete de instalación.

REFERENCIAS

- Buenaño, L., & Esparza, M. (25 de Mayo de 2010). Diseño y construcción de un sistema de refrigeración de conservación para laboratorio. Obtenido de Escuela Superior Politécnica de Chimborazo: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/394/1/15T00445.pdf>
- Castilla, A., & Galvis, G. (1993). Bombas y estaciones de bombeo. Cali: Ultragraf Editores.
- Cengel, Y., & Ghajar, A. (2011). Transferencia de calor y masa. México: The McGraw-Hill Companies.
- Corberán, J., & Royo, R. (2017). Convección Forzada. Obtenido de <http://www.upv.es/upl/U0296622.pdf>
- De máquinas y herramientas. (28 de Diciembre de 2015). Introducción a la tecnología CNC. Obtenido de <http://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/introduccion-a-la-tecnologia-cnc>
- Estampaciones JOM. (30 de Mayo de 2017). Corte por láser. Medidas de seguridad. Obtenido de <https://www.estampacionesjom.com/corte-laser-normas-seguridad/>
- Franch, R. (1 de Enero de 2011). Laser cladding. Obtenido de <http://www.interempresas.net/Quimica/Articulos/46758-Nueva-tecnologia-de-proteccion-para-la-industria-petroquimica-espanola-el-laser-cladding.html>
- Holman, J. (1999). Transferencia de calor. México: Compañía Editorial Continental.
- HondaBenk. (18 de Octubre de 2017). Normas de seguridad para la operación de la máquina de corte láser. Obtenido de <http://www.hdcnclaser.com/info/safety-rules-for-laser-cutting-machine-operati-21950175.html>
- I.E.S Virgen del Pilar. (2017). Tipos de Evaporadores. Obtenido de <http://iesvp.educa.aragon.es/>
- isma. (16 de Septiembre de 2016). Como funciona un evaporador. Obtenido de <http://comofunciona.co.com/evaporador/>

- Kosner. (1 de Junio de 2016). Etapas del ciclo de refrigeración. Obtenido de <https://www.kosner.es/ciclo-de-refrigeracion/>
- Marín, D., & Bocanegra, C. (12 de Enero de 2019). Cortadora Láser CNC. Obtenido de Universidad Santiago de Cali: https://cdn.usc.edu.co/files/laboratorios/guias/ingenieria/industrial/practica3_Laser_Version7.pdf
- Mataix, C. (1993). Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. Madrid: Ediciones del Castillo, S.A.
- Messer Ibérica de Gases, S.A. (10 de Enero de 2019). Core láser. Obtenido de <https://www.edu.xunta.gal/centros/iesagraleboris/system/files/soldadura-corte-laser.pdf>
- Mills, A. (1997). Transferencia de calor. Colombia: MacGraw-Hill Companies.
- Nergiza. (27 de 06 de 2013). Radiación, conducción y convección: tres formas de transferencia de calor. Obtenido de <https://nergiza.com/radiacion-conduccion-y-conveccion-tres-formas-de-transferencia-de-calor/>
- Sculpteo. (10 de Enero de 2019). Corte por láser. Obtenido de <https://www.sculpteo.com/es/glosario/corte-por-laser-definicion/>
- SIDECO. (14 de Julio de 2017). Cómo evitar accidentes con la cortadora láser. Obtenido de <https://sideco.com.mx/como-evitar-accidentes-con-la-cortadora-laser/>
- Suárez, I. (3 de Febrero de 2012). Que aprendemos hoy. Obtenido de <http://queaprendemoshoy.com/el-laser-principios-basicos/>
- Taussig, M. (Diciembre de 2018). Qué es un chiller. Obtenido de TodoChiller: https://todochiller.com/que_es_un-chiller.html
- Tecnología de corte e ingeniería, S.L. (12 de Enero de 2019). Máquinas de corte láser de TCI Cutting, precauciones de seguridad y condiciones medioambientales óptimas. Obtenido de <https://www.tci-cutting.com/maquinas-de-corte-laser-de-tci-cutting-precauciones-de-seguridad-y-condiciones-medioambientales-optimas/>

Universal laser systems. (2018). Seguridad Láser. Obtenido de <https://www.ulsinc.com/es/resources/seguridad-l%C3%A1ser>

Universidad del País Vasco. (2018). Máquina de corte y grabado láser. Obtenido de <https://www.ehu.eus/documents/1821432/5086970/M%C3%A1quina+de+corte+y+grabado+l%C3%A1ser/db9034fd-8c67-48e5-b5d6-871943217e19>

Yáñez, G. (29 de Mayo de 2019). Ciclo de refrigeración. Obtenido de <https://www.gildardoyanez.com/tips/ciclo-de-refrigeracion/>

Zelsio. (22 de Febrero de 2016). Evaporadores: qué son y diferentes tipos. Obtenido de <http://www.refrigeracionzelsio.es/blog/evaporadores/>

ANEXOS

Anexo A: Planos

Anexo B: Evidencia Fotográfica