



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 INGENIERO MECATRÓNICO**

**TEMA: DISEÑO, ACONDICIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN
DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y TRATAMIENTO DE
IMÁGENES Y REDISEÑO DE SISTEMAS MECÁNICOS PARA UNA
PLATAFORMA CNC DE CORTE POR LÁSER**

**AUTORES: AGUIRRE BALCÁZAR, NICKY BOLÍVAR
BAUTISTA TOAPANTA, CÉSAR MICHAEL**

DIRECTOR: ING. CORTEZ PAZMIÑO, BYRON HERNAN

SANGOLQUÍ

2016



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN.

Certifico que el trabajo de titulación, "*DISEÑO, ACONDICIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y TRATAMIENTO DE IMÁGENES Y REDISEÑO DE SISTEMAS MECÁNICOS PARA UNA PLATAFORMA CNC DE CORTE POR LÁSER*". Realizado por los señores **AGUIRRE BALCÁZAR NICKY BOLÍVAR** y **BAUTISTA TOAPANTA CÉSAR MICHAEL**, ha sido revisado en su totalidad, el mismo que cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto, me permito acreditarlo y autorizar a los señores **AGUIRRE BALCÁZAR NICKY BOLÍVAR** y **BAUTISTA TOAPANTA CÉSAR MICHAEL** para que lo sustenten públicamente.

Atentamente,

ING. CORTEZ PAZMIÑO, BYRON HERNAN



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, AGUIRRE BALCÁZAR NICKY BOLÍVAR y BAUTISTA TOAPANTA CÉSAR MICHAEL, con cédula de identidad N° 070331875-8 y 172153634-8 respectivamente, declaramos que éste trabajo de titulación *“DISEÑO, ACONDICIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y TRATAMIENTO DE IMÁGENES Y REDISEÑO DE SISTEMAS MECÁNICOS PARA UNA PLATAFORMA CNC DE CORTE POR LÁSER.”* Ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

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

Atentamente:

Aguirre Balcázar
Nicky Bolívar
C.C. 070331875-8

Bautista Toapanta
César Michael
C.C. 172153634-8



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, AGUIRRE Balcázar Nicky Bolívar y BAUTISTA TOAPANTA CÉSAR MICHAEL, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación *“DISEÑO, ACONDICIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y TRATAMIENTO DE IMÁGENES Y REDISEÑO DE SISTEMAS MECÁNICOS PARA UNA PLATAFORMA CNC DE CORTE POR LÁSER.”* Cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Atentamente:

Aguirre Balcázar

Nicky Bolívar

C.C. 070331875-8

Bautista Toapanta

César Michael

C.C. 172153634-8

El presente trabajo está dedicado a nuestras familias, que con su apoyo y paciencia nos han guiado para alcanzar este logro.

César y Nicky

Agradecimiento

A nuestros padres les agradecemos de todo corazón, la confianza que han puesto en nosotros y su apoyo incondicional en nuestro sueño de ser ingenieros.

A nuestras familias, por enseñarnos a no darnos por vencidos y siempre luchar por lo que queremos.

A nuestros amigos, con los cuales hemos compartido alegrías y dificultades tanto dentro de las aulas como fuera de ellas.

También, queremos agradecer al grupo de docentes del Laboratorio de Procesos de Manufactura por aportarnos su experiencia y conocimientos, una mención especial merece el encargado del laboratorio Nelson Cárdenas “Don Car”, quien nos ha acompañado en el transcurso de nuestra carrera brindándonos su amistad y experiencia, lo cual nos ha permitido obtener esta gran alegría en nuestras vidas.

Gracias

César y Nicky

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
.....	v
Agradecimiento	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
Resumen	xvii
Abstract	xviii
Capítulo 1	1
1.1. Planteamiento del Problema	1
1.2. Antecedentes	2
1.2.1. Historia.....	3
1.2.2. Plataforma CNC de corte por láser en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.	5
1.3. Objetivos	7
1.3.1. Objetivo general.....	7
1.3.2. Objetivos específicos.....	7
1.4. Alcance	7

1.5. Justificación e importancia.....	8
1.6. Estructura del documento.....	9
Capítulo 2	11
2.1. Descripción de la etapa 1 del proyecto.....	11
2.2. Sistemas CAD /CAM.....	12
2.2.1. Tecnología CAD	13
2.2.2. Tecnología CAM.....	13
2.2.3. Ventajas de los sistemas CAD/CAM.....	14
2.3. Programación CNC.....	15
2.3.1. Movimientos	16
2.3.2. Nomenclatura.....	17
2.3.3. Funciones misceláneas y códigos G.....	18
2.3.4. Dibujo en el Diseño.....	19
2.3.5. Sistemas CAM usados en programación automática.....	19
2.4. Introducción al procesamiento de imágenes	21
2.4.1. Procesamiento óptico	22
2.4.2. Frecuencias espaciales.....	22
2.4.3. Filtrado espacial	24
2.4.4. Procesamiento digital	24
2.4.5. Representación de una imagen digital	26
2.5. Vectorización de imágenes	28
2.5.1. Formas de vectorización	29
2.5.2. Imágenes de mapa de bits.....	30
2.5.3. Imagen vectorial	31
2.5.4. Curvas Bézier.....	33
2.6. Adquisición y Tratamiento de imágenes.....	35
2.6.1. Iluminación.....	35

2.6.2. Captación de imágenes	35
2.7. Resumen.....	39
Capítulo 3	40
3.1. Definición del concepto.....	40
3.1.1. Definición de las necesidades.....	41
3.1.2. Definición de las características técnicas	41
3.1.3. Casa de la Calidad	42
3.2. Factibilidad y planeación	44
3.2.1. Estructura funcional.....	44
3.3. Módulo 1. Adquisición y tratamiento de imágenes.....	45
3.3.1. Subsistema 1. Escáner	45
3.3.2. Subsistema 2. Pantalla Táctil.....	51
3.3.3. Subsistema 3. Software para vectorización de imágenes.....	56
3.3.4. Diseño Final	58
3.4. Módulo 2. Refrigeración	62
3.4.1. Subsistema 1. Contenedor	62
3.4.2. Subsistema 2. Sensor de temperatura.....	68
3.4.3. Subsistema 3. Filtro.....	73
3.4.4. Subsistema 4. Bomba de agua.....	76
3.4.5. Diseño final	79
3.5. Módulo 3. Sistema de aire comprimido.....	98
3.5.1. Subsistema 1. Compresor.....	98
3.5.2. Subsistema 2. Manguera.....	101
3.6. Módulo 4. Sistema de extracción de gases.....	103
3.6.1. Subsistema 1. Extractor.....	103
3.6.2. Subsistema 2. Tubería para gases.....	107
3.6.3. Diseño Final	109

3.7. Definición concepto final.....	117
3.8 Resumen.....	119
Capítulo 4.....	121
4.1. Sistema de Adquisición y tratamiento de imágenes.....	121
4.1.1. Escáner.....	121
4.2. Sistema de Refrigeración.....	124
4.2.1. Contenedor.....	124
4.2.2. Sensor de Temperatura DALLAS DS18B20.....	126
4.2.3. Estructura.....	128
4.3. Sistema de Extracción de gases.....	130
4.3.1. Extractor Axial.....	130
4.3.2. Ducto de extracción.....	135
4.3.3. Estructura.....	136
4.4. Adaptación de la estructura de la plataforma CNC de corte por láser.....	137
4.5. Circuitería.....	146
4.5.1. Tablero de elementos electrónicos.....	146
4.5.2. Cableado.....	148
4.6. Pruebas y resultados.....	150
4.6.1. Primera evaluación.....	150
4.6.2. Segunda evaluación.....	152
4.6.3. Tercera evaluación.....	154
4.6.4. Especificaciones técnicas de la plataforma.....	156
4.7. Resumen.....	157
Capítulo 5.....	159
Análisis Económico Y Financiero.....	159

5.1. Análisis financiero.....	159
5.1.1. Costos Directos	159
5.1.2. Costos Indirectos	163
5.1.3. Costos totales.....	164
5.2. Análisis Económico	164
5.2.1. Costo del uso de la máquina	164
5.2.2. Valor Actual Neto (VAN).....	165
5.2.3. Tasa Interna de Retorno (TIR)	166
5.2.4. Relación Beneficio Costo (B/C)	166
Capítulo 6	167
6.1. Conclusiones.....	167
6.2. Recomendaciones.....	169
Bibliografía.....	171

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Máquina CNC Milwaukee-Matic, la primera con un cambiador automático de herramientas. Fuente: (O'Brien, 1966)	4
Figura 2: Cortadora Láser CO2 de 40W. Fuente: (Trotec, 2015)	5
Figura 3: Plataforma CNC de corte por láser. Fuente: (Cazco & Gordon, 2015).....	6
Figura 4: Sistema de refrigeración de la plataforma CNC de corte por láser. Fuente: (Cazco & Gordon, 2015)	6
Figura 5: Esquema de un sistema CAD/CAM. Fuente: (Schmid, 2002)	12
Figura 6: Interpolación lineal en vacío. Fuente: (Schmid, 2002).....	16
Figura 7: Interpolación circular. Fuente: (Schmid, 2002).....	16
Figura 8: Diseño en un sistema CAD. Fuente: (Díaz, 2008)	21
Figura 9: Objeto espacialmente periódico. Fuente: (UVIGO, 2014).....	23
Figura 10: Imagen de baja resolución en la que se pueden apreciar los píxeles que la conforman.....	25
Figura 11: Etapas del tratamiento de imágenes. Fuente: (Escalante R., 2006).....	26
Figura 12: Ejemplo de vectorización. Arriba se muestra la imagen procesada en su estado original, abajo, la imagen ya vectorizada. Fuente: (Escalante R., 2006)	28
Figura 13: Ejemplo de vectorización de imágenes, a la izquierda una imagen vectorizada con el método de contorno, a la derecha una imagen	

vectorizada con el método de línea central. Fuente: (Cajamarca & Chancusig, 2015).....	30
Figura 14: Ejemplo de vectorización, arriba una imagen en mapa de bits, abajo la misma imagen luego de ser vectorizada. Fuente: (Hernández, 2014).....	33
Figura 15: A la izquierda la fotografía original, a la derecha una imagen vectorial simulando ser la fotografía. Fuente: (Hernández, 2014).....	33
Figura 16: Representación de curvas Bézier. Fuente: (Logo-arte, 2015)	34
Figura 17: Ejemplo de uso de la herramienta de calcado automático (autotracing). Fuente: (Logo-arte, 2015).....	34
Figura 18: La fuente de luz se encuentre tras el objeto de interés. Fuente: (Moeslund, 2012).	35
Figura 19: Matriz de celdas 2D. Fuente: (Moeslund, 2012).	36
Figura 20: Representación de imágenes con diferentes tiempos de exposición, arriba izquierda: Imagen expuesta correctamente. Arriba derecha: Imagen sobreexpuesta. Abajo izquierda: Imagen subexpuesta. Abajo derecha: Mancha por movimiento. Fuente: (Moeslund, 2012).....	36
Figura 21: Representación de una matriz de celdas, a la izquierda una imagen análoga, a la derecha una imagen digital. Fuente: (Moeslund, 2012).....	37
Figura 22: Efecto de la resolución espacial. Fuente: (Moeslund, 2012).....	38
Figura 23: Resolución de escala de grises. Fuente: (Moeslund, 2012).....	39
Figura 24: Casa de la calidad para los sistemas mecánicos y de adquisición de imágenes.....	43
Figura 25: Componentes de la plataforma de corte por láser.....	45
Figura 26: Dimensiones de la pantalla táctil capacitiva de 7" de WAVESHARE. Fuente: (Waveshare, s.f.)	56
Figura 27: Escáner portátil Brother.....	59
Figura 28: Modelo 3D del soporte del escáner	60
Figura 29: Modelo 3D del escáner y su soporte.....	60
Figura 30: Pines GPIO de los distintos modelos de Raspberry. Fuente: (Becerra, 2016).....	61
Figura 31: Conexión entre pantalla WAVESHARE y tarjeta Raspberry Pi 3 model B.	62
Figura 32: Relación entre la temperatura y la salida digital del sensor.	72
Figura 33: Pines del sensor Dallas DS1820 a la izquierda y DS18B20Z en la parte inferior derecha.	72
Figura 34: Curva Típica de rendimiento.	73
Figura 35: Filtro Universal de Gasolina/Alcohol JETRONIC de BOSCH.....	76
Figura 36: Ventilador para sistema de refrigeración.....	80
Figura 37: Diagrama de Moody. Fuente: (Smits, 2007).	92
Figura 38: Placa de control, modelo 3D de la disposición de sus componentes.....	96
Figura 39: Diagrama de flujo para el funcionamiento del sensor DS18B20 y el amperímetro	98
Figura 40: Filtro regulador lubricante 1/4" NPT, PORTEN	100
Figura 41: Manguera espiralada para compresor de aire TRUPER	103
Figura 42: Ducto de aluminio para extracción de gases (ESPIROFLEX).....	109

Figura 43: Cuantificación de miligramos por metro cúbico de materiales contaminantes producido en el maquinado por láser, en un periodo de 8 horas.	110
Figura 44: Porcentaje de gas y partículas contaminantes, producidos en el corte de diferentes materiales.	111
Figura 45: Constante de Sutherland para algunos fluidos.	115
Figura 46: Descripción de componentes de la plataforma CNC de corte por láser.	118
Figura 47: Ubicación de la base del escáner en la plataforma láser.	122
Figura 48: (a) Fabricación del soporte para el escáner. (b) Montaje del escáner en el soporte.	122
Figura 49: (a) Instalación de la base del escáner en la plataforma láser (b) Instalación de la bandeja de devolución de papel.	123
Figura 50: Detalle de la ranura para devolución de la hoja.	123
Figura 51: Puerta de acceso al escáner.	124
Figura 52: (a) Presencia de corrosión en el interior del contenedor (b) Componentes del sistema de refrigeración dañados por el óxido.	124
Figura 53: (a) Extracción del óxido de la superficie del contenedor (b) Lijado de la superficie del contenedor.	125
Figura 54: contenedor de agua destilada con recubrimiento anticorrosivo.	125
Figura 55: (a) Instalación de válvula de desagüe para el contenedor. (b) Tapa para el contenedor.	126
Figura 56: Filtro desmontado y sensor de temperatura.	127
Figura 57: (a) Se inicia con la colocación del sensor dentro del filtro. (b) Luego se procede a sellar el filtro. (c) Se sella con masilla epóxica toda apertura por donde pueda haber fuga.	128
Figura 58: Montaje de los soportes para el sistema de refrigeración.	129
Figura 59: Corte y unión de perfiles para la fabricación de la base del sistema de refrigeración, (b) Soporte soldado en la estructura base.	129
Figura 60: Ubicación del sensor de temperatura en el soporte del tubo láser.	130
Figura 61: Condiciones iniciales para el análisis.	131
Figura 62: Área de la plataforma en la que se encuentran la generación de gases.	132
Figura 63: Ubicación del extractor axial en la plataforma.	132
Figura 64: Análisis de fluidos sin extractor AXIAL.	133
Figura 65: Análisis de fluidos con extractor AXIAL.	134
Figura 66: (a) Montaje del extractor AXIAL en la plataforma (b) sellado del extractor AXIAL dentro de la plataforma.	135
Figura 67: (a) Sellado entre extremo del ducto y salida del extractor axial. (b) sellado entre extremo del ducto y salida del sistema de extracción (c) Posicionamiento del ducto en el interior del láser.	136
Figura 68: Pieza de PVC para adaptar la salida del ventilador axial a uno de los extremos del ducto.	136
Figura 69: (a) Maquinado de orificio de montaje para adaptador de salida de gases. (b) Chimenea para direccionar gases hasta la campana de extracción.	137
Figura 70: Definición de la carga que tiene la estructura por efecto de su peso.	138
Figura 71: Carga efectuada por la mesa de trabajo de la plataforma.	139

Figura 72: Mallado para el análisis estático de la estructura de la plataforma.	140
Figura 73: Tensión máxima soportada por la estructura.	140
Figura 74: Desplazamiento máximo ocurrido en el análisis.	141
Figura 75: Factor de seguridad de la estructura.	142
Figura 76: (a) Maquinado del soporte para la computadora y sus periféricos. (b) Montaje de la computadora y CPU (c) Cableado de periféricos.	143
Figura 77: (a) Proceso de soldado de soportes para el marco de la puerta de acceso a la mesa de trabajo (b) Montaje de cinta de espuma para hermetizar el área de trabajo.	143
Figura 78: Ubicación de la fuente del tubo láser en la plataforma.	144
Figura 79: Empapelado, lijado y masillado previo al proceso de pintado.	145
Figura 80: (a) Pintado de paneles (b) Pintado de la estructura interna de la plataforma (c) Vista final de la plataforma pintada.	146
Figura 81: (a) Maquinado del nuevo tablero de componentes electrónicos (b) Proceso de pintado del tablero.	147
Figura 82: (a) Tablero en su estado inicial. (b) Nuevo diseño del tablero implementado.	148
Figura 83: (a) Cableado del tubo láser, motores y sistemas de refrigeración y extracción. (b) Cableado de la computadora y sus periféricos (c) Cableado de componentes del tablero electrónico.	149

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Especificaciones iniciales de la plataforma CNC de corte por láser.	11
Tabla 2 Significado de las letras (códigos) dentro de un programa CNC.	17
Tabla 3 Requerimientos o necesidades del consumidor.	41
Tabla 4 Características técnicas.	42
Tabla 5 Resultados de la matriz QFD.	43
Tabla 6 Módulos para diseño.	44
Tabla 7 Alternativas para la selección del escáner.	48
Tabla 8 Ponderación de criterios de evaluación para el subsistema 1 del módulo 1.	49
Tabla 9 Ponderación de costo para las alternativas del subsistema 1 del módulo 1.	49
Tabla 10 Ponderación de facilidad de uso para las alternativas del subsistema 1 del módulo 1.	49
Tabla 11 Ponderación de implementación para las alternativas del subsistema 1 del módulo 1.	49
Tabla 12 Ponderación de resolución para las alternativas al subsistema 1 del módulo 1.	50
Tabla 13 Conclusión en la selección de alternativas para el subsistema 1 del módulo 1.	50
Tabla 14 Alternativas para la selección de la pantalla Táctil.	53
Tabla 15 Ponderación de criterios de evaluación para el subsistema 2 del módulo 1.	53

Tabla 16	Ponderación de costos para las alternativas del subsistema 2 del módulo 1.....	54
Tabla 17	Ponderación de Sensibilidad para las alternativas del subsistema 2 del módulo 1.....	54
Tabla 18	Ponderación de implementación para las alternativas del subsistema 2 del módulo 1.....	54
Tabla 19	Ponderación de disponibilidad para las alternativas del subsistema 2 del módulo 1.....	54
Tabla 20	Conclusión en la selección de alternativas del subsistema 2 del módulo 1.....	55
Tabla 21	Ponderación de criterios de evaluación para el subsistema 1 del módulo 2.....	66
Tabla 22	Ponderación de costos para las alternativas de diseño del subsistema 1 del módulo 2.....	66
Tabla 23	Ponderación de vida útil para las alternativas de diseño al subsistema 1 del módulo 2.....	67
Tabla 24	Ponderación de implementación para las alternativas de diseño al subsistema 1 del módulo 2.....	67
Tabla 25	Ponderación de disponibilidad para las alternativas de diseño al subsistema 1 del módulo 2.....	67
Tabla 26	Conclusión en la selección de alternativas de diseño para el subsistema 1 del módulo 2.....	67
Tabla 27	Alternativas para el sensor de temperatura digital.....	69
Tabla 28	Ponderación de criterios de evaluación para el subsistema 2 del módulo 2.....	70
Tabla 29	Ponderación de costos para las alternativas de diseño del subsistema 2 del módulo 2.....	70
Tabla 30	Ponderación de Precisión para las alternativas de diseño al subsistema 2 del módulo 2.....	70
Tabla 31	Ponderación de implementación para las alternativas de diseño al subsistema 2 del módulo 2.....	70
Tabla 32	Ponderación de sumergibilidad para las alternativas de diseño al subsistema 2 del módulo 2.....	71
Tabla 33	Conclusión en la selección de alternativas de diseño para el subsistema 2 del módulo 2.....	71
Tabla 34	Descripción de pines del sensor Dallas DS1820.....	72
Tabla 35	Alternativas para la selección de la bomba de agua sumergible del tipo centrífuga.....	77
Tabla 36	Ponderación de criterios de evaluación para el subsistema 4 del módulo 2.....	78
Tabla 37	Ponderación de costos para las alternativas de diseño del subsistema 4 del módulo 2.....	78
Tabla 38	Ponderación de implementación para las alternativas de diseño al subsistema 4 del módulo 2.....	78
Tabla 39	Ponderación de caudal para las alternativas de diseño al subsistema 4 del módulo 2.....	78
Tabla 40	Ponderación de sumergibilidad para las alternativas de diseño al subsistema 4 del módulo 2.....	79

Tabla 41	Conclusión en la selección de alternativas de diseño para el subsistema 4 del módulo 2	79
Tabla 42:	Viscosidad de los fluidos.	82
Tabla 43	Coefficientes de rugosidad de Manning para las tuberías.	91
Tabla 44	Coefficientes de pérdida por singularidades. Fuente: (Smits, 2007).....	92
Tabla 45	Descripción de los componentes de la placa de control.....	97
Tabla 46	Alternativas para la selección del extractor de tipo axial.....	105
Tabla 47	Ponderación de criterios de evaluación para el subsistema 1 del módulo 4.....	105
Tabla 48	Ponderación de costos para las alternativas de diseño del subsistema 1 del módulo 4.....	105
Tabla 49	Ponderación de implementación para las alternativas de diseño al subsistema 1 del módulo 4	106
Tabla 50	Ponderación de caudal para las alternativas de diseño al subsistema 1 del módulo 4.....	106
Tabla 51	Ponderación de rendimiento para las alternativas de diseño al subsistema 1 del módulo 4	106
Tabla 52	Conclusión en la selección de alternativas de diseño para el subsistema 1 del módulo 4	106
Tabla 53	Descripción de los componentes de la plataforma.	118
Tabla 54	Resultados	120
Tabla 55	Especificaciones técnicas de la plataforma CNC de corte por láser.	156
Tabla 55	Costo de materiales mecánicos	159
Tabla 56	Costo de Materiales Eléctricos y Electrónicos.....	160
Tabla 57	Costo de Materiales para modificación de la Estructura.....	160
Tabla 58	Costos Directos	161
Tabla 59	Número de horas empleadas por los involucrados en el proyecto.	161
Tabla 60	Costo total de mano de obra.....	162
Tabla 61:	Costo del uso de máquinas y herramientas.	162
Tabla 62	Costos Totales Directos	162
Tabla 63	Costo de materiales indirectos.	163
Tabla 64	Costo total de mano de obra indirecta.....	163
Tabla 65	Costo total indirecto.	164
Tabla 66	Costo Total del proyecto.	164
Tabla 67	Costo del consumo energético.	165
Tabla 68	Flujo de Caja con una proyección de 10 años.....	166
Tabla 69	Resultados VAN, TIR, B/C	166

Resumen

Actualmente las plataformas CNC usadas en el maquinado, han tomado importancia por su facilidad de operación, y la disminución de tiempos en el proceso de fabricación. Además de que otorga un mayor nivel de seguridad a los operarios, ya usualmente no interactúan con el área de maquinado. La meta del presente proyecto es de otorgar de una máquina de corte por láser funcional y robusta al Laboratorio de Procesos de Manufactura de la Universidad de las Fuerzas Armadas. Con el fin de que sea de apoyo en la generación de nuevas líneas de investigación respecto al tema. Para llevar a cabo el proyecto, se realizó el diseño de un sistema de adquisición y tratamiento de imágenes, ya que la plataforma no cuenta con un sistema con tal funcionalidad y el diseño de un sistema de extracción de gases para evitar su acumulación. También se rediseña el sistema de refrigeración para el tubo láser y el sistema de aire comprimido para el cabezal. En la primera parte del documento se describe el proceso de adquisición, de imágenes y explica la necesidad de implementar dichos sistemas como medidas de seguridad. La segunda parte se fundamenta en la selección de los componentes necesarios, además de realizar el diseño de los módulos presentes en la plataforma. Posteriormente, se procede con la construcción de los diferentes sistemas y su montaje en la plataforma y se realiza la evaluación de los mismos. Finalmente se exponen las conclusiones y recomendaciones que sirven como referencia para futuros proyectos.

PALABRAS CLAVE:

- **CORTE POR LASER**
- **PLATAFORMA CNC**
- **VECTORIZACIÓN DE IMÁGENES**
- **CONTROL DE TEMPERATURA**
- **EXTRACCIÓN DE GASES**

Abstract

In the actuality, there is an increase in the use of CNC platforms for machining. Those platforms have gained importance, because of their efficiency in the machining process, minimizing the complexity of operating the machine, and reduces the production time. The fundamental goal of this project is to have a machine with high functionality and strength. The project aims to support the creation of knowledge and new investigation lines related with the actual theme. For the Project development was necessary the design of an Image Acquisition and Processing System, because the platform doesn't have a system with those functions, besides is required the design of a Gas Extraction System for the gases generated in the machining process. Also we have to redesign the Water Refrigeration System that is use for the laser tube, and the Compress Air System located in the Laser. In the first part of this document is described image acquisition, treatment and machining process, also it's explained the necessity of use Refrigeration and Gas Extraction Systems inside the platform for security. The second part of the document is based in the selection of the components that would be use in the platform, besides is described the design process of the Systems. Then the document proceed with the fundamental aspects of the evaluation and construction process of the different systems and their mount inside the platform. Finally, there are exposed the conclusions and recommendations that will help like reference for future projects.

KEYWORDS:

- **LASER CUT**
- **CNC PLATFORM**
- **IMAGE VECTORIZER**
- **TEMPERATURE CONTROL**
- **GAS EXTRACTION**

Capítulo 1

Introducción

En el capítulo, se presenta y analiza la necesidad que impulsa la implementación de un sistema de adquisición y tratamiento de imágenes, para el cortador láser CNC del Laboratorio de Procesos de Manufactura, así como el rediseño de sistemas mecánicos que ayudan a un mejor funcionamiento de la máquina.

Se justifica el desarrollo e importancia del proyecto. Para lo cual se definen los objetivos a seguir, de acuerdo a la investigación del estado inicial de la plataforma, determinando así el alcance del proyecto.

1.1. Planteamiento del Problema

En el Laboratorio de Procesos de Manufactura de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, se encuentra presente una plataforma CNC de corte por láser cuyo objetivo es realizar cortes y grabados en materiales como el acrílico y la madera MDF con espesores de hasta 6 mm.

Dicha plataforma se realizó en un proyecto anterior con nombre de “Diseño y Construcción de una Plataforma CNC de corte por Láser en Láminas de Acrílico y Madera MDF de hasta 6mm de espesor para el Laboratorio de Procesos de Manufactura de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE” (Cazco & Gordon, 2015). Que inicialmente fue utilizada para realizar maquinados dentro del laboratorio.

Se trata de una plataforma robusta y precisa cuando se realizan diseños ya sea de grabado o corte. Utiliza tecnología CNC (Control numérico por computadora), con lo que se permite la automatización de máquinas. Permitiendo que el proceso de maquinado sea sencillo, eficaz y rápido.

La plataforma no cuenta con un software que permita la obtención del código G de diseños sin tener que usar varios programas, además no admite imágenes que tengan formatos

como: jpg, bmp, png, etc, siendo un limitante para el operador para poder realizar el corte o grabado.

El sistema de enfriamiento de la plataforma presenta varios inconvenientes como: Se encuentra ubicado fuera de la máquina, el depósito de agua destilada se oxida con mucha frecuencia, lo cual conlleva a una reducción considerable de la vida útil del líquido y en consecuencia del tubo laser.

Dentro de la plataforma se acumulan gases tóxicos producto de la incineración de las planchas tanto de madera como plástico, los cuales traen problemas a la salud de los operarios.

Además se presentan algunos problemas que minimizan el rendimiento de la plataforma como se enlistan a continuación:

- La mesa de la plataforma, no cuenta con un sistema de fijación del material a ser maquinado, por lo que las planchas de madera o acrílico pueden moverse durante el maquinado generando defectos en el producto final.
- El sistema de aire comprimido que se conecta al cabezal para disipar los gases durante el maquinado o reducir el riesgo de incendio en las planchas de MDF, no cuenta con las especificaciones necesarias para lograr su objetivo.
- La puerta de acceso al área de maquinado se encuentra descuadrada dentro de su estructura en la plataforma, por lo que se produce una fuga de los gases generados en el maquinado.
- El cableado de elementos electrónicos debe modificarse para la incorporación de los nuevos sistemas y se necesita un rediseño del tablero en el que se encuentran los elementos, para facilitar su accesibilidad y mantenimiento.

1.2. Antecedentes

La historia de la manufactura, viene desde el inicio de la humanidad. Con la aparición y uso de las primeras herramientas y posteriormente las primeras máquinas. Ha evolucionado a la par de la humanidad, siendo de gran importancia para el desarrollo de las civilizaciones.

Actualmente se tiene un amplio número de procesos y tecnologías, usadas para llevar a cabo la manufactura de distintas piezas o elementos. Entre los cuales se encuentra el empleo de tecnología láser para llevar a cabo el maquinado. Siendo una alternativa que produce piezas de

alta calidad, pudiendo maquinar casi cualquier material, de forma precisa y rápida. El proceso no produce desperdicio, ni desgaste en la herramienta, su desventaja está en el precio.

La tecnología CNC, permite la automatización de máquinas-herramientas. Así se permite la optimización de procesos y recursos, dentro del proceso de mecanizado. Además mediante su empleo, se reducen costos y tiempos de producción.

1.2.1. Historia

La historia del CNC se remonta al año 1770, durante la revolución industrial. En aquella época, las máquinas tienden a ser automatizadas, restringiéndose por las limitaciones tecnológicas de la época.

La automatización se va desarrollando al mismo tiempo que surgen nuevos avances en materia de electricidad y máquinas de vapor, y se descubren nuevos materiales avanzados. Lo cual hace que las limitaciones tecnológicas para la automatización se vayan reduciendo.

Al final de la segunda guerra mundial, se había desarrollado la primera computadora electrónica. Por lo que en la década de los 50s se pudo usar una computadora en una máquina herramienta. Luego se dio una incorporación masiva de la computación en la producción.

A medida que las computadoras van evolucionando, aparecen nuevos dispositivos que permiten reducir el costo de la automatización.

Los primeros equipos de control numérico, se accionaban por medio de válvulas y relés. Su programación era manual y podía llegar a ser muy compleja de llevar a cabo, además del tiempo necesario para hacerlo. Muchas veces, los equipos de control, tenían un mayor tamaño que las máquinas herramientas.

Se puede hablar de cuatro generaciones de máquinas de control numérico a lo largo de la historia. Nombradas en orden cronológico son:

1. Válvulas electrónicas y relés (1950), un ejemplo se muestra en la Figura 1.
2. Transistores (1960)
3. Circuitos integrados (1965).
4. Microprocesadores (1975)

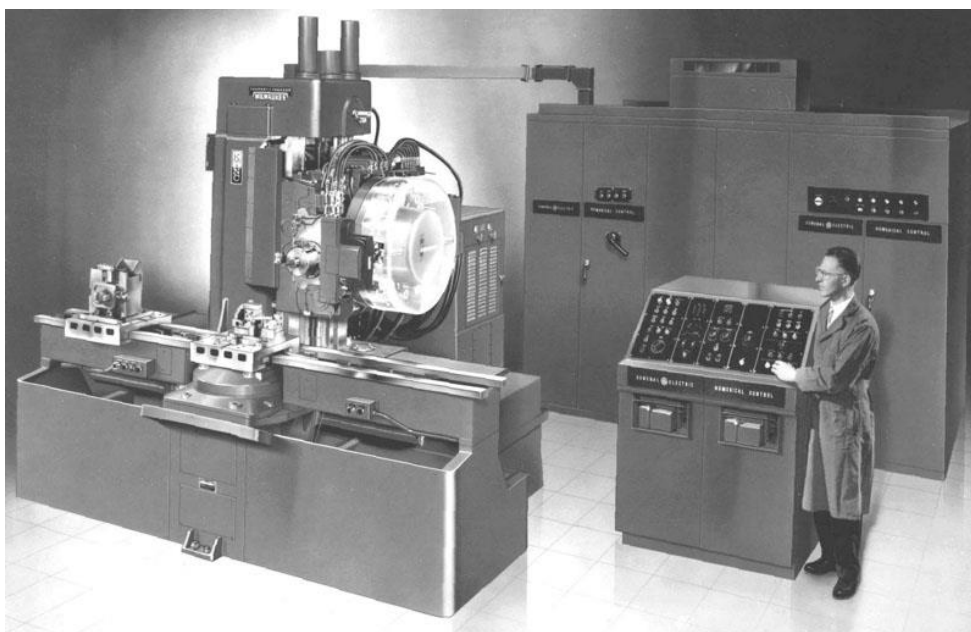


Figura 1: Máquina CNC Milwaukee-Matic, la primera con un cambiador automático de herramientas.
Fuente: (O'Brien, 1966)

Con la evolución de las computadoras, en la década de los 70s aparece el control numérico computarizado. Permitiendo que se pueda aplicar a varios tipos de máquinas, con solo programar las funciones de control de cada máquina.

Entre las ventajas del CNC se puede nombrar la flexibilidad que ofrece para incrementar la producción de bajo nivel, optimizando recursos y tiempos. Además minimiza la interacción del operario con la máquina herramienta, disminuyendo los riesgos de accidentes asociados.

Albert Einstein, estableció en 1916, los fundamentos para el desarrollo de máseres y láser, al utilizar la ley de radiación de Max Planck. Sin embargo no fue hasta 1953 que se construyó el primer máser, que funciona con los mismos principios físicos del láser, pero emite microondas. Para el año 1957 Charles Townes, esbozó un proyecto para la construcción de un “máser óptico” el cual emitiría luz visible. Desarrollando así un plan para construir un láser.

Theodore Maiman, fue un físico investigador, que trabajaba en la compañía aérea Hughes en Malibú, California. Lugar en el que sin ayuda y trabajando solo, logró hacer funcionar el primer láser de rubí, sucediendo esto un 7 de julio de 1960 (Maiman, 2010).

Las aplicaciones del láser, son variadas, pasando desde su uso para medir distancias o en trabajos de construcción hasta su uso en el campo de la medicina. También es posible su uso

en trabajos industriales, un ejemplo de esto es el mecanizado láser. Se puede observar una plataforma láser para mecanizado en la Figura 2.



Figura 2: Cortadora Láser CO2 de 40W, marca TROTEC.
Fuente: (Trotec, 2015)

1.2.2. Plataforma CNC de corte por láser en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

El laboratorio de máquinas y herramientas de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, se encuentra provisto de una plataforma CNC de corte por láser, cuyo objetivo es realizar cortes y grabados en materiales como el acrílico y la madera MDF con espesores de hasta 6 mm (Cazco & Gordon, 2015).

La plataforma consta de varios sistemas, como el de codificación de imágenes para la obtención del código G respectivo, que nos permita realizar los cortes; un sistema eléctrico y de control formado por relés y sistemas embebidos; un sistema de refrigeración, un sistema mecánico de movimiento en 2 ejes y el sistema del láser, como se indica en la Figura 3.



Figura 3: Plataforma CNC de corte por láser.
Fuente: (Cazco & Gordon, 2015)

En su estado actual, el equipo presenta ciertas carencias en sus funciones, como la ausencia de un software que nos permita la obtención del código G de todo tipo de imágenes de manera automática y sin necesidad de pasar por varios programas. Por lo que hay una pérdida de tiempo y mayor dificultad en el proceso.

Además, el sistema de refrigeración del cual dispone no es adecuado para su funcionamiento, el sistema se encuentra fuera de la máquina sobre una tabla, lo cual es inseguro para el operario como se puede observar en la Figura 4, el contenedor del líquido tiende a oxidarse por el material del cual está hecho. Por lo que se debe cambiar el líquido con mayor frecuencia, para que no haya daños en el tubo del láser. La tubería usada se encuentra instalada con cinta aislante, con lo que se producen fugas y daños en la plataforma. También se presenta la carencia de un sistema de extracción de los gases que se generan al maquinar, ni de un sistema de aire comprimido para el cabezal del láser.



Figura 4: Sistema de refrigeración de la plataforma CNC de corte por láser.
Fuente: (Cazco & Gordon, 2015)

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Desarrollar un sistema de adquisición y tratamiento de imágenes y rediseñar los sistemas de refrigeración, extracción de gases y aire comprimido en la plataforma CNC de corte por láser del Laboratorio de Manufactura.

1.3.2. Objetivos específicos

- Crear un software que permita integrar el proceso de conversión de una imagen hasta el archivo deseado en código G.
- Implementar nuevos sistemas para el ingreso de imágenes que serán maquinados en la plataforma de corte láser.
- Resolver problemas de diseño del sistema de refrigeración existente en la plataforma de corte láser.
- Diseñar e instalar un sistema de extracción de gases.
- Rediseñar el sistema de aire comprimido que se encuentra en el cabezal de la plataforma de corte láser.

1.4. Alcance

Este proyecto se basa en la plataforma CNC de corte por láser (Cazco & Gordon, 2015) existente en el laboratorio de manufactura, cuyas características a mejorar se detallaron anteriormente, el alcance del proyecto se describe en los siguientes puntos:

Se implementará un software mediante lenguaje de programación libre que permita integrar todo el proceso de tratamiento de imágenes, desde el punto donde se adquirió la imagen hasta la realización del proceso. Obteniendo así, un formato de imagen utilizable por el software de corte de la plataforma, sin tener que recurrir a procesos externos para obtener el código G, que se utiliza para realizar el maquinado.

Se dotará de un escáner y una pantalla táctil, para la adquisición de imágenes impresas y dibujos propios del operario respectivamente, que posteriormente serán maquinados en la plataforma.

La plataforma podrá realizar el maquinado, de imágenes de todo tipo de formato que sea ingresada en el sistema. Siempre que su tamaño esté dentro del rango de trabajo de la máquina.

Se creará una red de tuberías de desagüe, para facilitar la labor de mantenimiento del tanque que contiene el agua destilada, en el sistema de refrigeración.

Se realizará mejoras sobre la estructura existente e implementando nuevos sistemas necesarios para cumplir con la funcionalidad óptima del equipo. Para lo cual se toma en cuenta los puntos críticos en el diseño existente, ya detallados anteriormente, como lo son, el sistema de refrigeración, de extracción de gases y de aire comprimido.

La plataforma podrá trabajar con mayor eficiencia y su vida útil se extenderá, con el uso de los nuevos sistemas mecánicos.

Las pruebas de funcionamiento de cada uno de los sistemas a diseñar se realizan sin contar con el tubo láser, por la falta de dicho elemento en la plataforma. Es así como se opta por realizar pruebas independientes para cada sistema.

Para el sistema de extracción se requiere de la generación de humo o gases para observar si el extractor funciona de acuerdo a lo esperado.

Para realizar las pruebas del sistema de refrigeración, se requiere de aumentar la temperatura del agua circulante y tomar los datos de dicha temperatura. Así se comprueba que el sistema cumpla con el objetivo de disminuir la temperatura del agua y seguir con el proceso.

En cuanto al sistema de adquisición y tratamiento de imágenes, se utiliza un marcador en lugar del cabezal láser para reproducir los diseños creados o ingresados al software de corte.

1.5. Justificación e importancia

El Laboratorio de Manufactura debe contar con plataformas funcionales, que puedan ser operadas de forma fácil y que produzcan piezas de calidad. Debido a ello existe la motivación para ampliar las funciones y mejoras los sistemas de la plataforma existente. Puesto que así se asegura una continua innovación en el diseño y funcionamiento del proyecto a mejorar.

El diseño e implementación de nuevos sistemas de adquisición y tratamiento de imágenes en la plataforma CNC de corte por láser, proporciona a la máquina un aumento en su rendimiento, minimizando el tiempo necesario para realizar el proceso de maquinado y

haciendo que todo el proceso extracción del código G de las imágenes sea simplificado con el uso de software libre.

Permitiendo de tal forma que se le otorgue de robustez a la plataforma, además de implementar sistemas que proporcionen la seguridad necesaria al operario que se encuentre en el área de trabajo.

La plataforma CNC de corte por láser una vez acondicionada con todos los sistemas, será de ayuda para el fortalecimiento y generación de conocimientos y nuevas líneas de investigación con respecto al tema dentro de la Universidad. Además de que permite la práctica en el diseño de prototipos, piezas, partes, etc. Mediante el uso de sistemas CAD y programación en código G.

Además, el rediseño de los sistemas de refrigeración, extracción de gases y aire comprimido, mejoraran el funcionamiento y vida útil del láser, así como el acabado de las piezas cortadas.

1.6. Estructura del documento

El documento actual, presenta una estructura con 5 capítulos, en los que se procede a describir toda la información útil, para la creación del sistema de adquisición y tratamiento de imágenes. Además del rediseño de los sistemas mecánicos de la plataforma CNC de corte por láser del Laboratorio de Manufactura.

Se presentará los conceptos necesarios para la comprensión del presente proyecto en el capítulo 2 (Estado del arte), Se describe una reseña sobre las plataformas CNC y sistemas CAD/CAM/CAE. Además del lenguaje de programación utilizado, para llevar a cabo el maquinado. De igual manera el proceso de adquisición de una imagen, y los diferentes dispositivos que se usan para tal fin. Por último los pasos y software necesario, para llevar a cabo la vectorización de una imagen.

Se realizará un análisis de la plataforma existente en el capítulo 3 (Diseño), en el cual se describirá la adaptación de los nuevos sistemas mecánicos de enfriamiento, extracción de gases y aire comprimido. También se presentará el diseño electrónico, del sistema embebido de la pantalla táctil, y sistemas que requieran energización y control. Finalmente se presenta el diseño del sistema de adquisición y tratamiento de imágenes.

Se detallará el procedimiento a realizarse para la obtención, manufactura y ensamblaje de elementos necesarios para el presente proyecto en el capítulo 4 (Construcción y Pruebas). Se registrará los resultados obtenidos tras las pruebas realizadas por los diversos sistemas.

Se analizarán los resultados obtenidos en las pruebas los cuales serán comparados con los resultados de la tesis anterior a la presente en el capítulo 5 (Conclusiones y Recomendaciones). Luego se procede a formular recomendaciones en base a lo que se ha concluido del proyecto.

Capítulo 2

Estado del arte

En el presente capítulo se detallan definiciones generales sobre control numérico, sistemas CAD/CAM y el proceso de adquisición y tratamiento de imágenes. Además se presenta las funciones misceláneas y código G, necesarios para la programación del mecanizado. Se describe la forma en que es llevada la vectorización de una imagen. También se analiza la forma en el que se desarrolla el proceso de adquirir imágenes. Por último se detalla el proceso de vectorización de una imagen, para su uso en mecanizado.

2.1. Descripción de la etapa 1 del proyecto.

Como ya se mencionó anteriormente, el presente proyecto cuenta con una primera etapa en la que se diseñó y construyó la plataforma de corte por láser, dicho proyecto lleva por título “Diseño y Construcción de una Plataforma CNC de corte por Láser en Láminas de Acrílico y Madera MDF de hasta 6mm de espesor para el Laboratorio de Procesos de Manufactura de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE” (Cazco & Gordon, 2015). A continuación en la Tabla 1 se muestran las especificaciones de la plataforma obtenidas en ese proyecto.

Tabla 1
Especificaciones iniciales de la plataforma CNC de corte por láser.

#	Característica	Descripción
1	Número de Ejes	3 ejes, dos controlables automáticamente (X, Y) y uno manual (Z).
2	Área de Trabajo	850 x 1000 mm
3	Precisión de Corte	Láser de CO ₂ con un haz de luz de 3.5 mm de diámetro
4	Precisión de Posición	La ubicación de la herramienta difiere de ± 0.1 mm
5	Temperatura del Tubo	Menor a 30°C
6	Velocidad de avance	Velocidad máxima sugerida 1 m/min
7	Profundidad de corte	La profundidad de corte debe ser de 6 mm

2.2. Sistemas CAD /CAM

Históricamente, los sistemas CAD fueron los primeros en aparecer, luego de esto aparecieron los CAM. Solo después se llegó al concepto CIM, o manufactura integrada por computadora, por sus siglas en inglés. Esto se debe a que cada nuevo sistema se basó en el anterior o al menos lo usó como base.

Para llevar a cabo la implementación de sistemas CAD/CAM se debe realizar una decisión fundamental que depende de la tecnología, que se requerirá en una empresa o trabajo en particular. Si el trabajo a llevar a cabo es de una sola pieza, que luego de un periodo de tiempo solo sufrirá pequeñas modificaciones, se necesitará de un sistema CAD básico. Por otro lado, si se habla de productos que tienen múltiples piezas y cuentan con la necesidad de ser intercambiables, se habla del uso de una computadora con mayores prestaciones y un software más potente. (Schmid, 2002).

Dentro del mundo de los sistemas CAD/CAM, el primer foco apunta a la geometría del diseño. Que es al mismo tiempo la herramienta con la que el sistema se construye y se trata de la primera constante en cualquiera de sus aplicaciones. Muchos de los sistemas CAD/CAM disponibles se encuentran encasillados en la creación de diseños y dibujos a través de una interfaz gráfica. Mientras que otros proveen un juego más avanzado e intuitivo de herramientas y geometría, tanto como lo permita la tecnología actual. Un esquema de cómo funciona un sistema CAD/CAM es presentado en la Figura 5.

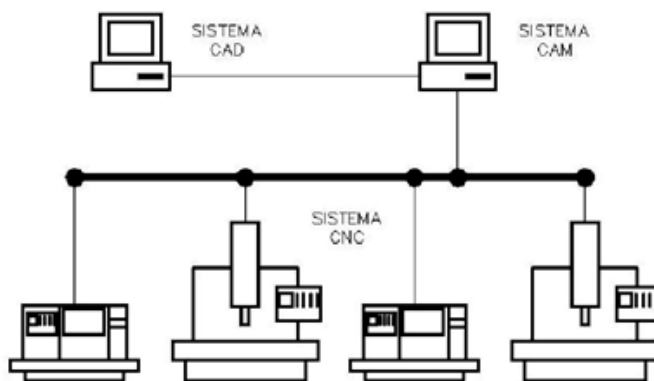


Figura 5: Esquema de un sistema CAD/CAM.
Fuente: (Schmid, 2002)

La puerta de entrada a cualquier ambiente de CAD/CAM es el modelado en 3D, a pesar de que los sistemas 3D no se usan en todos los ambientes de diseño, manufactura o ingeniería. Muchos de estos sistemas tridimensionales de CAD/CAM pueden realizar las funciones de sistemas en 2 y 3 dimensiones, si es que aquello es lo que se necesita. Cuando se habla del método más actual para el diseño de formas geométricas para un ambiente CAD/CAM, se habla del método de modelado por sólidos.

2.2.1. Tecnología CAD

Se trata de un sistema que comprende una o más computadoras, que realizan algunas de las operaciones y cálculos necesarios dentro del proceso de diseño.

La característica fundamental de los sistemas CAD, es que permiten que el diseño se desarrolle interactivamente. Al mismo tiempo ofrece la definición y creación de una base de datos que sirve para alimentar a todo el sistema interno de información, en una empresa. Otra característica fundamental es que los diseños se pueden almacenar en medios ópticos o magnéticos. Haciendo innecesario el uso de papel para realizar los diseños.

El sistema utiliza varias tecnologías como son sistemas gráficos para computadora, CAE (Computer Aided Engineering) que se utiliza para evaluar y efectuar el análisis de ingeniería de una pieza. (Díaz, 2008)

2.2.2. Tecnología CAM

Cuando se habla de tecnología CAM, se habla de un sistema en el cual intervienen una o más computadoras. Las cuales llevan a cabo funciones de organización, programación y control de operaciones. Que son necesarias para llevar a cabo la fabricación o manufactura de un producto. El sistema también se encarga de incluir el uso de procesos informáticos en la automatización y control de procesos de producción. Llevado a cabo desde el control de las máquinas-herramientas, hasta que se produzca la gestión de producción, almacenamiento y transporte.

Dentro de este sistema están inmersas tecnologías que usan máquinas controladas numéricamente (CNC), inspección asistida por computador, y el uso de sistemas flexibles de manufactura. (Schmid, 2002)

Un sistema flexible de manufactura es un sistema integrado en el cual intervienen múltiples tecnologías de automatización. Todo esto para que las operaciones llevadas a cabo dentro de una estación de trabajo sean más flexibles. Por lo cual se llega a disminuir el costo de producción.

La inspección asistida por computadora recopila automáticamente la información del control de calidad y la analiza estableciendo informes estadísticos. Aislado problemas del proceso de producción. La tecnología CAM está relacionada con la robótica.

La tecnología CAM tiene ventajas en cuanto a la productividad de la fuerza de trabajo, mejor calidad del producto y menor tiempo de preparación. Además permite la extracción automática de información de los dibujos CAD, para poder realizar la conversión a programas de control numérico y robots. También permite la planeación automática de procesos y el diseño y operación de pruebas y medidas automatizadas a las piezas y ensambles para garantizar de esta manera la calidad de los productos. (Díaz, 2008)

Cuando se implementa un sistema CAD/CAM se obtienen una serie de beneficios, como los que se presentan a continuación:

- Un menor ciclo de producción.
- Se produce la integración de la ingeniería en funciones como diseño, análisis y fabricación de productos. Incrementa la productividad
- En cuanto a dirección de procesos, se disminuye el tiempo de éstos.
- Ayuda a llevar a cabo una planeación correcta y un buen control de la calidad.
- Se obtiene una mejora en el control de los procesos llevados a cabo para la producción.
- Hay una reducción de los costos de la producción.
- El producto final tendrá un precio de venta al público que puede competir con productos ofrecidos similares.
- La creación de diseños se produce con mayor rapidez y precisión.

2.2.3. Ventajas de los sistemas CAD/CAM

Los presentes sistemas nacen como una herramienta que ayuda a facilitar el manejo de grandes cargas de información de carácter gráfico, obtenida del diseño de objetos. Lo cual

ocurrió debido a la gran complejidad que significa la manipulación de tal cantidad de información.

Las principales ventajas de los sistemas CAD son la rapidez de cálculo y determinación de información convencional como: ángulos, coeficientes de diversa índole, y en general valores matemáticos de cálculo fácil pero laborioso. (Schmid, 2002).

También otorga facilidades en el momento de cambiar la perspectiva del diseño de objetos sin tener que hacer cálculos manualmente. Que es una diferencia importante, si se lo compara con el dibujo tradicional, pudiendo probar diferentes configuraciones de cualquier diseño o modelo en poco tiempo. Lo que produce un ahorro de tiempo y dinero, cuando se trata de encontrar la mejor opción de diseño.

En cuanto al sistema CAM, se producen ventajas cuando se automatiza la producción. Pueden ser visibles en el cambio del costo de manufactura de un producto, aunque la inversión en un inicio haya sido alta. Otra ventaja es la disminución del tiempo de producción por cada artículo, además de que disminuye la complejidad que se requiere para cambiar una línea de producción. Así mismo minimiza las situaciones que representan un riesgo para operarios humanos, que se encuentren en ambientes o situaciones peligrosas.

2.3. Programación CNC

El control numérico nació a inicios de la década de los 50s, en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT). Es aquí donde por primera vez se logró automatizar una fresadora de grandes dimensiones. Dentro de aquella época, recién se estaban introduciendo las computadoras, las cuales tenían proporciones muy grandes. Tanto así que la computadora usada para la automatización de aquella fresadora, tenía un tamaño mayor a ella. (Díaz, 2008)

Si nos adentramos en tiempos contemporáneos, podemos contemplar que las computadoras tienen dimensiones cada vez menores y su costo se disminuye cada vez más. Por lo que se ha extendido el uso del CNC, imponiéndolo a todo tipo de maquinaria, como pueden ser, tornos, fresadoras, cortadoras láser, plotters, etc.

El CNC funciona dando órdenes a la máquina automatizada mediante códigos numéricos, de allí sale el término “Control Numérico”.

2.3.1. Movimientos

Un movimiento libre de la herramienta, es un movimiento en vacío, siempre y cuando la herramienta no tenga contacto de ningún tipo con la pieza. Lo cual permite que ésta acción se desarrolle a la mayor velocidad que la máquina puede permitir. Tal movimiento se codifica con la instrucción G00, la cual es conocida también como “interpolación lineal en vacío”. Ya que los movimientos realizados con ésta instrucción se realizan siempre en línea recta. (Díaz, 2008)

Por otro lado, siempre que la herramienta entre en contacto con la pieza a maquinar, se debe usar un movimiento con una velocidad de avance específica para el maquinado. Siempre que el movimiento se realice en línea recta, se codifica con la instrucción G01, la cual se conoce como interpolación lineal con corte. Tal como se muestra en la Figura 6

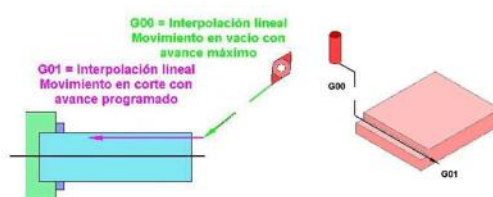


Figura 6: Interpolación lineal en vacío.
Fuente: (Schmid, 2002)

Pero si se trata de un movimiento circular, ésta instrucción se codifica con G02 (cuando el movimiento de corte se da a favor de las manecillas del reloj) o con G03 (cuando se da en contra de las manecillas del reloj). A tal acción se le conoce como interpolación circular, tal como se muestra en la Figura 7

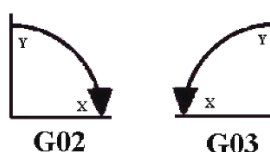


Figura 7: Interpolación circular.
Fuente: (Schmid, 2002)

Los ejes donde se desarrollan los movimientos principales, comúnmente se designan con las letras X, Y e Z.

Los códigos G00 y G01 son asociados a uno o varios valores de coordenadas X, Y o Z según sea el caso.

2.3.2. Nomenclatura

Los movimientos de los diferentes componentes en las máquinas herramientas siguen un conjunto de normas, en cuanto a su nomenclatura y sentido de movimiento.

De acuerdo al estándar RS-274-D de la EIA, el significado de las letras de un programa es como se muestra en la Tabla 2. (Díaz, 2008)

Tabla 2
Significado de las letras (códigos) dentro de un programa CNC.

LETRA	DESCRIPCIÓN O SIGNIFICADO
A	Dimensión angular alrededor del eje X, medida en grados
B	Dimensión angular alrededor del eje Y, medida en grados decimales
C	Dimensión angular alrededor del eje Z, medida en grados decimales.
D	Dimensión angular alrededor de un eje especial, o avance terciario, o función de selección de compensación para
E	Dimensión angular alrededor de un eje especial, o avance secundario
F	Avance
G	Función preparatoria
H	Libre o compensación de la herramienta
I	Parámetro de interpolación o paso paralelo al eje X
J	Parámetro de interpolación o paso paralelo al eje Y
K	Parámetro de interpolación o paso paralelo al eje Z
L	Libre
M	Función miscelánea o auxiliar
N	Número de secuencia
O	Número de secuencia para segundo encabezado solamente
P	Tercer movimiento paralelo al eje X o tercer movimiento
Q	Tercer movimiento paralelo al eje Y o segundo movimiento
R	Segundo movimiento paralelo al eje Y o primer movimiento rápido o radio
S	Velocidad del husillo
T	Selección de la herramienta

U	Segundo movimiento paralelo al eje X
V	Segundo movimiento paralelo al eje Y
W	Segundo movimiento paralelo al eje Z
X	Primer movimiento
Y	Segundo movimiento
Z	Tercer Movimiento

2.3.3. Funciones misceláneas y códigos G

Algunas de las alternativas presentadas a continuación, son usadas para generar el programa de control numérico:

- El panel de control de la máquina es usada como entrada por el operador, por aquel medio se puede ingresar los códigos manualmente.
- Siempre existen controladores que tienen incluida la alternativa de diálogo interactivo. La cual es de mucha ayuda, facilitando el proceso de codificación, aunque también se pueda ingresar el código mediante el teclado.
- El código de programación siempre puede ser ingresado manualmente en una computadora, y ser almacenado en ésta en formato de texto ASCII. Acción que sirve para que el código pueda ser transmitido luego hacia la máquina herramienta mediante el puerto serial de la computadora.
- El código es generado mediante el procesamiento del dibujo de la pieza dentro de un paquete de CAM, permitiendo que el código pueda ser transmitido posteriormente a la máquina. El programa en sí, tiene instrucciones que están estandarizadas por la EIA e ISO, sin importar el método que se use para el ingreso del código, estas instrucciones son agrupadas en códigos “G” o “M”.
- El programa que se genera, es procesado por el controlador de la máquina-herramienta y traducido a los movimientos y acciones de la que dispone la máquina. La función preparatoria consiste de una letra y un par de dígitos asociados a ésta y se encuentra generalmente al inicio del renglón (bloque) de código y prepara al controlador para aceptar o interpretar de una cierta manera las instrucciones que le siguen. Las funciones preparatorias se relacionan con acciones que están es coordinación directa con el corte en la máquina-herramienta

y la mayoría de ellas están definidas en el estándar RS-274-D de la EIA. (Schmid, 2002)

El código “M” o también llamado funciones misceláneas, se desempeña como si fuera un interruptor de ON/OFF para las actividades periféricas, que están relacionadas con el corte. Normalmente tales funciones difieren entre máquinas y cada fabricante puede usarlas como le convenga mejor.

Los códigos “G” se encuentran clasificados en dos tipos fundamentales, ésta clasificación viene dada de acuerdo a la ejecución del programa, y se muestran a continuación.

- **Código G no modal.** El código solo puede actuar dentro del bloque en el que aparece.
- **Código G modal.** El código sigue actuando hasta que otro código dentro del mismo grupo lo modifique.

2.3.4. Dibujo en el Diseño

El diseño y el dibujo que son asistidos por computadora, en la actualidad constituyen una herramienta importante e imprescindible, cuando se quiere obtener un diseño con propiedades competitivas. Puesto que hasta hace poco tiempo, estos métodos estaban reservados para las grandes empresas.

Los sistemas CAD/CAM han tenido una gran evolución a lo largo de los últimos años. Que han alcanzado un nivel de madurez suficiente como para usarse con eficiencia y de forma rentable en casi todo el proceso para la obtención del diseño y manufactura de un producto. (Díaz, 2008)

2.3.5. Sistemas CAM usados en programación automática

El objetivo principal de los sistemas de manufactura asistida, consiste en otorgar las herramientas necesarias para la fabricación de una pieza diseñada.

En la actualidad, el CAM es conocido de forma fundamental como un sistema que permite la programación de maquinaria CNC, pero solo se trata de un concepto básico, ya que en realidad los sistemas CAM comprenden un concepto mucho más amplio. En el cual se

incluye, el desarrollo de programación de robots, la simulación de procesos de producción y manufactura, etc.

La programación de maquinaria CNC se trata de la más importante aplicación de los sistemas CAM, porque significa la creación de programas fuera de las máquinas. Lo que nos permite desarrollar programas sin tener que interrumpir el proceso. Otra función importante es la de poder simular la ejecución de éstos programas en una computadora, minimizando el riesgo de posibles errores y colisiones en la máquina. Aumentando el rendimiento de la plataforma y maximizando la calidad de las piezas mecanizadas. (Schmid, 2002)

Los sistemas de manufactura asistida por computador, pueden ser utilizados para diferentes tecnologías, que normalmente se presentan por módulos. Algunos ejemplos son: fresado, torneado, electroerosión, corte por plasma, corte por láser, oxicorte, etc.

La programación automática de las operaciones que constituyen el fresado, es definitivamente una de las aplicaciones más extendidas de un sistema CAM. Que toma un aspecto especial cuando la pieza a mecanizar tiene un diseño complejo, por lo que sería muy difícil ser programada de forma manual.

La fabricación de prototipos o maquetas para la aprobación de un diseño es muy frecuente mientras dura el proceso de desarrollo de productos. Aquellas maquetas o prototipos actualmente se diseñan usando sistemas CAD/CAM/CAE, por lo que la pieza final ya mecanizada, será idéntica al prototipo aprobado. Para este caso el modelo CAD genera las trayectorias a seguir por la herramienta. Lo cual constituye el programa CNC, esto otorga una pieza idéntica al modelo que ha sido diseñado en un sistema CAD.

El programa de maquinado se encuentra constituido por una serie de instrucciones dentro de una secuencia lógica. Tales órdenes o instrucciones son otorgadas a la máquina, ya sean tan simples como el maquinado de una ranura, o tan complejo como realizar un diseño artístico en relieve. (Schmid, 2002). Las aplicaciones son infinitas, siempre y cuando las características de la máquina lo permitan.

Hasta hace algunos años, realizar un programa para el maquinado, resultaba en un proceso muy tedioso y difícil. Ya que se debía analizar todos los movimientos a realizar por la herramienta durante el maquinado, para luego ser introducido manualmente en la máquina que realiza el maquinado. Aquel proceso de larga duración podía durar desde horas hasta

semanas. Sin embargo, aún de ésta forma se obtenía una disminución de tiempo de producción y un ahorro de dinero comparado con los métodos tradicionales.

Hoy en día se emplean sistemas CAD/CAM que generan el programa de maquinado de forma automática. En el sistema CAD (diseño asistido por computadora), la pieza que se desea maquinar se diseña en la computadora con herramientas de dibujo y modelado en sólido, véase Figura 8.

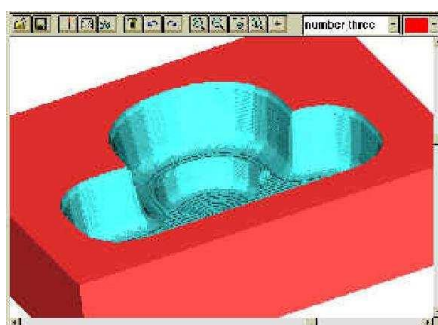


Figura 8: Diseño en un sistema CAD.
Fuente: (Díaz, 2008)

Luego, el sistema CAM obtiene la información del diseño a maquinar, y de tal forma genera la trayectoria para el corte, que debe ser seguido por la herramienta. Con lo que se logra maquinar la pieza deseada. Es así como a partir de la generación de aquellas trayectorias, se crea de forma automática el programa para el maquinado. El cual puede ser introducido en la máquina por medio de un disco, USB, teclado, etc. (Díaz, 2008)

Así es como en la actualidad los equipos CNC a los cuales se les ingresan programación realizada en sistemas CAD/CAM, permiten que las empresas puedan tener una mayor tasa de producción. Sin perder la calidad en sus productos y haciendo que la especialización en éste campo ya no sea requerido dentro del personal.

2.4. Introducción al procesamiento de imágenes

El procesamiento de imágenes en sí es una clase de procesamiento de señales. Con el cual se puede extraer fotogramas de un video o simplemente imágenes y someterlos a un procesado de perfil bajo. Con el fin de aislar ciertas características de estas imágenes.

También se usa para crear nuevas imágenes ya procesadas a partir de imágenes base. Tomando ese concepto podemos llegar a la conclusión de que la visión artificial puede ser considerada como un procesamiento de imágenes genérico. (Moeslund, 2012) Dentro del que

se trata más el tema de interpretación de imágenes. Cuyo fin es el de procesar, descifrar y llegar a comprender las características de la imagen o bien rastrear objetos dentro de ellas, ya sea en una imagen o una secuencia de video.

El procesamiento de imágenes abarca muchos campos, y es de gran utilidad. Por ejemplo cuando se obtienen imágenes usadas en el diagnóstico médico, ya que se realiza el procesamiento de imágenes para poder obtenerlas. Otro caso es el de la cartografía digital, usando imágenes aéreas procesadas. Con aquel método es posible realizar un análisis de los recursos naturales presentes en un terreno, o buscar fallas geológicas en él, etc.

2.4.1. Procesamiento óptico

El procesamiento óptico de imágenes se viene usando desde el siglo pasado, en aquella época se desarrolló la teoría de la difracción de la luz. Aunque su aplicación práctica, realmente solo se presenta desde inicios de los años 60. Ya que en ese momento se comenzó a usar el rayo láser.

Tal tipo de procesamiento de señales, tiene su fundamento en el hecho de que la imagen de difracción de Fraunhofer, de una transparencia colocada en el plano focal frontal de una lente, es una distribución luminosa. Que representa la distribución de las frecuencias de Fourier que componen la imagen, a la que se le llama técnicamente transformada de Fourier. (UVIGO, 2014).

Cada una de las porciones de la transformada de Fourier, corresponde a una frecuencia espacial que difiere de una porción a otra. Es así que mediante el uso de diafragmas adecuados se puede eliminar las frecuencias de Fourier (espaciales), que no se deseen o necesiten.

2.4.2. Frecuencias espaciales

En óptica la variación en el espacio puede estudiarse en función de las frecuencias espaciales (f_x, f_y), expresadas usualmente en mm^{-1} . Unidades que indican la rapidez con la que un objeto o imagen varía espacialmente. Como ocurre en el caso de muchas señales periódicas temporales véase Figura 9, muchas figuras formadas por elementos que se repiten espacialmente están formadas por un armónico fundamental, y armónicos de orden superior (UVIGO, 2014).

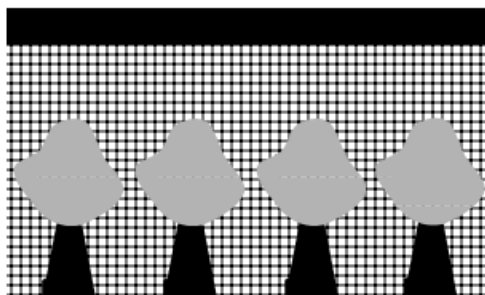


Figura 9: Objeto espacialmente periódico.
Fuente: (UVIGO, 2014)

Una red de difracción, puede ser usado como un claro ejemplo de un objeto que tiene un bajo contenido espectral, si se lo compara con una red cuya señal es puramente sinusoidal. Se puede observar que en ésta última solo se tiene la presencia del armónico fundamental. Si se habla de una red binaria, el espacio de separación de la red sinusoidal, produce la aparición de armónicos de orden superior dentro de su espectro.

Para formalizar de forma rigurosa tal descripción de los objetos dentro del dominio frecuencial, se toma como base el enunciado del Teorema de Fourier. El cual nos dice: “Cualquier función periódica puede ser expresada como una serie de funciones armónicas de frecuencias de múltiplos enteros de la frecuencia fundamental.”

Cuando se descompone una figura periódica en sus armónicos se está llevando a cabo un análisis de Fourier. Dentro de lo que es éste análisis se realiza la determinación de la amplitud y fase con las que cada armónico contribuyen a la formación de la figura periódica. El proceso se puede invertir, esto es explicado de forma básica, que si existe una figura sinusoidal que contiene cierta frecuencia fundamental. La que se combina con los armónicos de frecuencias de múltiplos enteros de ésta, con la amplitud y fase apropiadas para cada armónico. De tal forma se puede obtener una figura periódica determinada.

Si una figura sinusoidal de una cierta frecuencia fundamental se combina con los armónicos de frecuencias de múltiplos enteros de ella, con amplitud y fases apropiadas, se puede obtener una figura periódica determinada. Este proceso se denomina síntesis de Fourier. (UVIGO, 2014)

2.4.3. Filtrado espacial

Se denomina filtrado espacial al proceso llevado a cabo para realizar modificaciones en una imagen o secuencia de video. Cambiando de así sus frecuencias espaciales, por lo que éste proceso constituye una de las herramientas fundamentales dentro del procesamiento óptico de la señal. Para realizar tal proceso, se debe situar una transparencia con una función de transmisión específica dentro del plano de Fourier.

Usualmente, esa transparencia tiene una transmisividad variable. Lo que quiere decir que en cada punto de la misma se presenta una diferente tasa de absorción de luz incidente sobre la misma. Aunque por otro lado, esa transparencia también puede tener un espesor óptico que varíe. O sea que puede modificar la fase de cada punto del frente de onda que le llega, sea cualquiera el caso del contenido espectral de la imagen $I(f_x, f_y)$, será igual al producto del espectro del objeto $O(f_x, f_y)$, y la función de la transmisión del filtro $T(f_x, f_y)$, como se muestra en la ecuación (2-1).

$$I(f_x, f_y) = T(f_x, f_y)O(f_x, f_y) \quad (2-1)$$

También se puede describir como el hecho de que la amplitud compleja de la imagen $i(x, y)$ sea el resultado de realizar una convolución en dos dimensiones, de la transformada inversa de Fourier de la función de transmisión $t(x, y)$ y la amplitud del objeto propiamente $o(x, y)$:

$$i(x, y) = t(x, y) ** o(x, y) \quad (2-2)$$

De donde obtenemos que la intensidad en la pantalla de observación, el cuadrado del módulo de la ecuación (2-2).

2.4.4. Procesamiento digital

Similar al caso del procesamiento óptico, los principios básicos del procesamiento digital de imágenes han sido establecidos desde hace muchos años, pero no fueron llevados a cabo debido a la falta de poder computacional. Luego de la aparición de computadoras con altas prestaciones de almacenamiento y memoria, lo natural fue que se comenzara con el desarrollo éste campo.

El Jet Propulsion Laboratory fue uno de los primeros sitios donde se empezó a utilizar este tipo de procesamiento de señales. Con el propósito de mejorar las imágenes que eran enviadas por los cohetes en sus exploraciones.

El resultado fue un gran desarrollo de esa tecnología en un tiempo corto. Por lo que en un tiempo igual de corto, la tecnología se extendió hacia otras aplicaciones y campos. (Schawlow, 1969)

El campo de investigación en el cual se encuentra inmerso el procesamiento digital, es un campo abierto. Por lo que el progreso de tal área no solo es por sus características tecnológicas, si no que ha progresado en conjunto con otras áreas con las que guarda relaciones. Como lo son las matemáticas, la computación y el conocimiento en aumento de ciertos órganos del cuerpo humano. Que actúan al momento de percibir y manipular imágenes. También está presente la aspiración del hombre, por imitar y usar ciertas características presentes en el ser humano, fundamentados como apoyo en la solución de problemas.

El gran avance de la tecnología que conlleva el procesamiento digital de imágenes, puede verse reflejado en diferentes campos como la medicina, astronomía, geología, microscopía, etc. Al igual que el procesamiento óptico de imágenes, existen muchas tecnologías que deben su sustento al procesamiento digital de imágenes, por nombrar algunas, tenemos a la transmisión y despliegue agilizado de imágenes por internet, información geográfica y meteorológica, entre otros. El procesamiento digital de imágenes, inicia cuando el software encargado divide la imagen en un arreglo con todos los píxeles que la componen como se muestra en la Figura 10.



Figura 10: Imagen de baja resolución en la que se pueden apreciar los píxeles que la conforman.

Cada uno de los elementos incluidos en la imagen dividida, se conoce con el nombre de pixel. El paso llevado a cabo luego es el de asignar un valor numérico a la luminosidad incidente promedio dentro de cada pixel. Así los valores de la luminosidad dentro de cada pixel, junto con sus coordenadas, nos indican su posición y definen completamente la imagen o fotograma.

El siguiente paso es el de alterar los valores numéricos de la luminosidad dentro de los píxeles. Lo que se lleva cabo mediante las operaciones y transformaciones matemáticas que sean necesarias. Con el fin de hacer que los detalles convenientes dentro de la imagen sean resaltados. El último paso es el de mostrar la imagen, para lo cual se usan dispositivos que puedan mostrar la imagen ya procesada en alta definición, como pueden ser los monitores.

2.4.5. Representación de una imagen digital

Cuando se habla de imágenes monocromáticas, se refiere a una función de intensidad de luz bidimensional $f(x,y)$. En donde los valores de x e y , nos detallan las coordenadas espaciales y el valor de la función f en cualquier punto (x,y) . Siendo así proporcional a la luminosidad incidente, en escala de grises, de la imagen en dicho punto.

Básicamente una imagen digital es una función $f(x, y)$, discretizada tanto en luminosidad como en coordenadas espaciales. Se trata de una matriz, en la cual los índices de filas y columnas, sirven para identificar un punto en el plano 2D dentro de la imagen. Además de que su valor de elemento de matriz identifica la escala de gris en ese punto, aquellos elementos o arreglos digitales son llamados píxeles. (Lira, 1987)

El procesamiento o tratamiento de imágenes puede dividirse en 3 etapas fundamentales, véase Figura 11:

- Adquisición de la señal (imagen)
- Procesamiento óptico o digital de la imagen.
- Presentación al observador.

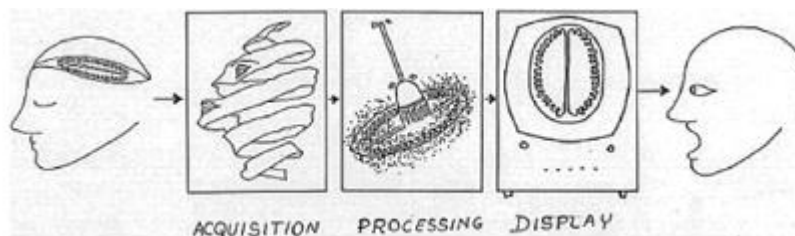


Figura 11: Etapas del tratamiento de imágenes.

Fuente: (Escalante R., 2006)

La adquisición de imágenes se realiza a través de algún dispositivo transductor o el conjunto de dispositivos transductores. Los cuales mediante el manejo de la luz, u otra fuente de radiación emitida o reflejada por los cuerpos, se puede llegar a una representación óptica o

digital de un objeto. Proceso que nos produce una imagen, los ojos del ser humano son un ejemplo claro sobre aquellos transductores.

Los transductores cuando sucede la etapa de adquisición, agregan cierto ruido a la imagen. Además de que poseen una resolución limitada, lo cual de cierta forma disminuye la calidad de presentación de la imagen. (Escalante R., 2006). Es aquí donde ingresa el procesamiento digital, ayudando a eliminar la mayor cantidad de ruido que es agregado durante la etapa de adquisición y mejorando las características de las imágenes. Ya sea definiendo mejor la forma o contorno, reparando la cantidad de brillo, ajustando el color, etc. Para realizar eso se debe utilizar ciertos procedimientos y herramientas matemáticas. Además dentro de la misma etapa de procesamiento digital se encuentran técnicas de codificación que servirán para poder almacenar o transmitir la imagen.

Por último, se da la presentación al observador, tal paso consiste en el método empleado para realizar la exposición de la imagen, ya sea de forma impresa, o por medios electrónicos (monitores, TV, etc.). Para este paso se deben tener en cuenta aspectos fundamentales como la percepción humana y la velocidad con la que el dispositivo utilizado despliega las imágenes.

A continuación se presentan algunos de los problemas que se dan al momento de diseñar éstos subsistemas utilizados para la representación de señales:

- Los dispositivos sensoriales, realizan un cierto número de mediciones en las señales de entrada, siempre que se tenga las mediciones adecuadas se puede obtener aproximaciones útiles. Por lo tanto decidir que mediciones realizar, y saber cómo se usarán estas de tal forma que puedan aproximarse lo mayor posible a las señales de entrada, son los principales problemas a ser resueltos.
- En el siguiente punto se llega al procesamiento o tratamiento que se le realizará a la señal en cuestión. Para lo que es necesaria la interpretación de todos los componentes de la señal. Se usa como modelo, el sistema de visión humano, que es implementado en algunas etapas del procesamiento (Schawlow, 1969). Obteniendo así la interpretación de dichos componentes.
- Los dispositivos de despliegue sintetizan una imagen usando un número finito de respuestas básicas de despliegue, como los puntos de fósforo utilizados en un tubo de rayos catódicos. Seleccionar el tamaño y la forma de éstas respuestas de

despliegue, la configuración (número y posición relativa) y como pueden ser controlados de la mejor manera óptima para obtener imágenes con la calidad/fidelidad requerida son aspectos que deben ser cubiertos. (Escalante R., 2006).

En la actualidad se usa la transmisión multimedia por medio de Internet, para que las imágenes sean transmitidas de esa forma, se necesita que se les aplique cierto tratamiento antes de la transmisión. Considerando de tal forma el ancho de banda del canal que será usado para transmitir y la velocidad de transmisión.

2.5. Vectorización de imágenes

La principal función de la vectorización es la de convertir imágenes digitales ya procesadas, las cuales están conformadas por píxeles, en imágenes digitales formadas por vectores.

Lo que se hace dibujando los contornos y rellenos de las imágenes, haciendo uso de las curvas Bézier. Las imágenes obtenidas por medio de la vectorización cuentan con contornos definidos a la perfección, pudiendo ampliarse o reducirse sin que haya pérdida de la alta calidad que contienen véase Figura 12. Estos archivos pueden ser usados, almacenados y transmitidos en cualquier sistema operativo que cuente con un entorno gráfico.



Figura 12: Ejemplo de vectorización. Arriba se muestra la imagen procesada en su estado original, abajo, la imagen ya vectorizada.

Fuente: (Escalante R., 2006)

Las imágenes vectorizadas tienen un amplio campo de aplicación, siendo así usadas en todos los sistemas de impresión. Especialmente cuando se trata de serigrafía, rotulación, grabados, rotulados e impresiones de gran formato. Ya que es aquí donde se necesitan

imágenes que tengan sus contornos definidos de tal forma que no se deformen cuando sean ampliados. Otro de los campos de aplicación de esas imágenes es el campo industrial, siendo usadas para realizar mecanizado de piezas ya sea en torno, fresadoras, cortadoras láser, etc.

2.5.1. Formas de vectorización

Un dibujo vectorizado para usar en corte a un color tiene sus contornos seguidos, sin trozos superpuestos ni saltos en los trazados y sus ángulos están redondeados para facilitar el corte y posterior pelado. Puede usarse también en serigrafía y en offset. (Logo-arte, 2015)

De tal forma, una imagen que va a usarse para serigrafía debe estar realizada en colores planos que se encuentran separados. Teniendo un ligero montante entre los colores, lo que sirve para facilitar el registro de colores. En cambio para usar en impresiones en offset, los colores deben estar divididos en planos sin degradaciones ni tonalidades, siempre que no se modifique los parámetros de vectorizado.

Siendo así que una imagen que ha sido vectorizada para usar en impresiones en offset puede tener múltiples tonalidades y degradaciones, sin ser necesario que la imagen tenga contornos seguidos. Además puede tener muchos trozos superpuestos de sombras y luces, aquellas imágenes solo sirven para cuatricromía.

Existen dos formas de llevar a cabo la vectorización, siendo el método de línea central y el método de contorno o también conocido como filete (outline). Entre ambos casos las diferencias son evidentes. Ya que para el método de contorno lo que se hace es ajustar las líneas a los contornos del dibujo, creando una serie de formas que serán negras, blancas o tendrán un color, pero sin que se observen las líneas de contorno. Siendo aquel procedimiento principalmente útil para la vectorización de imágenes a color, que cuentan con áreas cubiertas por negro u otro color. También para la vectorización de caracteres. Aquel es el método con el que se vectorizan la mayor parte de las imágenes.

Mientras que el método de línea central, procede de una forma totalmente opuesta al método de contorno. Ya que solo genera los contornos de la imagen, creando así formas definidas sin relleno compuestas de líneas rectas o curvas. Aquel método es exclusivo para realizar trazados lineales, sean éstos mapas lineales, diseños de una pieza a mecanizar, dibujos técnicos, etc. (Cajamarca & Chancusig, 2015) También son usadas en aplicaciones que utilizan

la opción de aplicar algún tipo de trazo de pincel a la imagen. Un ejemplo es mostrado en la Figura 13.

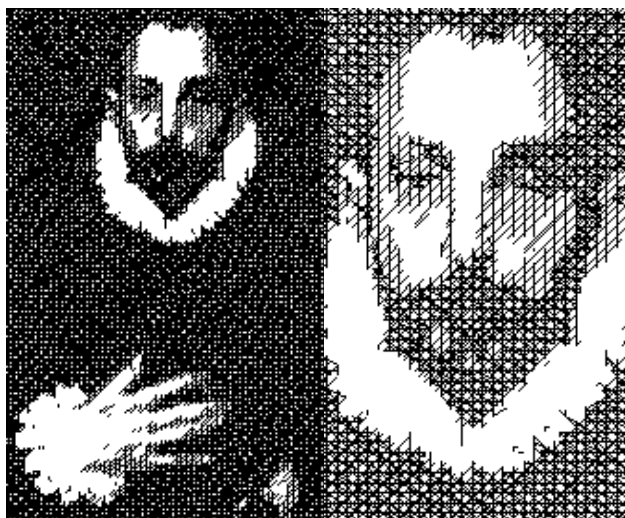


Figura 13: Ejemplo de vectorización de imágenes, a la izquierda una imagen vectorizada con el método de contorno, a la derecha una imagen vectorizada con el método de línea central.
Fuente: (Cajamarca & Chancusig, 2015)

También existe la posibilidad de combinar ambos métodos para realizar el vectorizado. Siendo así que se puede crear formas sin contorno, rellenas de color, y luego superponer líneas y curvas vectoriales que definirán el contorno. Obteniendo una imagen definida en su totalidad. Hay diversos programas que presentan tales opciones alternativas al momento de implementar la vectorización a una imagen. Como ejemplo del uso de la combinación de estos métodos se tiene a los dibujos que alternan áreas grandes de color con trazados lineales finos.

2.5.2. Imágenes de mapa de bits

Los mapas de bits, llamados también imágenes raster, se componen como ya se ha dicho de una matriz de píxeles dispuestos en filas y columnas, y el número total de los píxeles define la resolución de la imagen. Siendo así que a mayor número de puntos o píxeles dentro de la matriz, es mayor la resolución. Con lo que la percepción de nitidez aumenta, aunque se encuentren expuestas en un monitor, o estén impresas.

Aquellas imágenes a diferencia de las imágenes vectoriales, pueden reducirse o ampliarse de tamaño. Pero sea cual sea el caso siempre existirá una pérdida de calidad en la imagen. Lo que quiere decir que aunque se aumente el número de píxeles dentro de la imagen, seguirán siendo calculados a partir de los píxeles existentes previamente (Cajamarca & Chancusig,

2015). Por lo que no se logrará apreciar mayor detalle del que ya se tenía, al contrario habrá pérdida de nitidez debido a los cálculos de conversión.

2.5.2.1. Formatos de mapa de bits más importantes

- **GIF:** Se trata de un formato antiguo, por lo que tiene una limitación en su número de colores, llegando a ser solo 256 colores diferentes. La razón por la cual se lo sigue usando es que otorga ciertas ventajas. Como que al momento de almacenarse, o comprimirse no pierde calidad, y se puede realizar sencillas animaciones con ellos, usando una secuencia de fotogramas. Además admiten la definición de un color como transparente lo que resulta útil en la creación de pequeños íconos que contengan colores planos.
- **JPG o JPEG:** Es un formato ampliamente utilizado en el campo de la fotografía, ya que permite que se les aplique una gran compresión a las imágenes. Pero al tratarse de un mapa de bits, significará que a mayor compresión existe mayor pérdida de la calidad. Cuando estas imágenes son almacenadas ocupan poco espacio, por lo que resultan ideales para usarlos en Internet. Es fundamental conocer que cada vez que una imagen en aquel formato, se abre, se modifica y se guarda, se añade más pérdida de calidad y nitidez a la imagen.
- **PNG:** Resulta ser el formato que presenta la mayor calidad, sin tener una pérdida importante de nitidez, lo que se traduce en un mayor requerimiento de espacio de almacenamiento. También posee la particularidad de poder soportar el denominado “canal alpha”, que no es más que un byte de información adicional dispuesto para cada pixel. Además de los ya correspondientes canales de los 3 colores primarios (RGB), permitiendo así poder asignar un nivel de transparencia diferente a cada pixel en la imagen.

2.5.3. Imagen vectorial

Las imágenes vectoriales son representadas a partir de ciertas fórmulas matemáticas que definen cada una de las formas geométricas independientes que constituyen la imagen. Que quiere decir que una imagen se compone de círculos, polígonos, arcos, curvas Bézier, entre otros. La vectorización de imágenes no resulta adecuada para fotografías, ya que se necesita un alto nivel de detalle. Lo que se traduce en un alto costo computacional, sin embargo son usadas

en diseños industriales, mecanizado de piezas, cortes, fuentes de texto, logotipos, etc. Llegando incluso a haber imágenes vectoriales que resultan ser auténticas obras de arte. (Cajamarca & Chancusig, 2015)

La mayor ventaja de las imágenes vectoriales, es que se pueden redimensionar a cualquier tamaño. Sea mayor o menor al original, manteniendo su calidad y nitidez, incluso si la imagen es ampliada en proporciones descomunales. Lo cual se debe a que cada punto de color o pixel de la imagen son calculados de acuerdo a fórmulas matemáticas que definen las figuras geométricas que componen la imagen.

2.5.3.1. Mapa de bits vs. Imagen vectorial

Existen una serie de razones que pueden llevarnos a necesitar esta conversión. Habiendo casos en los que es necesario recurrir a esta técnica en numerosas ocasiones cuando las imágenes u otra información gráfica que se pretende usar, no tienen la resolución adecuada, haciendo que se manifieste una pérdida de calidad en la imagen cuando se muestra en diferentes tamaños.

Por lo que creando una versión vectorial de una imagen que se encuentre en algún formato de mapa de bits, siempre que se pueda, ya que no siempre es posible vectorizar la imagen. Se obtendrá una imagen con altas prestaciones y calidad en los detalles, que se podrá agrandar y almacenar así nuevamente en un formato de mapa de bits, si resulta necesario.

Aunque la gran ventaja de una imagen vectorial sobre una imagen de mapa de bits es que puede ampliarse a cualquier tamaño sin perder calidad, color o nitidez véase Figura 14, no debe perderse de vista el hecho de que todas las fotografías digitales y formatos de video digital están constituidos por mapas de bits. (Hernández, 2014)

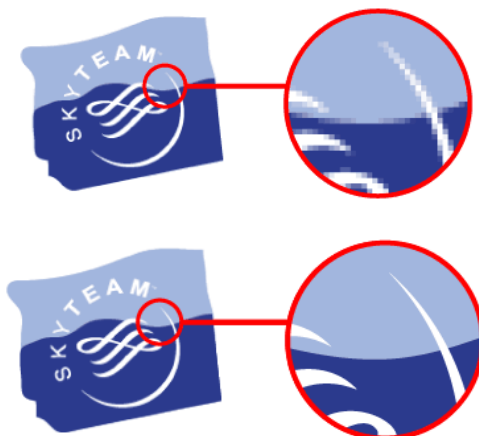


Figura 14: Ejemplo de vectorización, arriba una imagen en mapa de bits, abajo la misma imagen luego de ser vectorizada.
Fuente: (Hernández, 2014)

No existen las fotografías vectoriales como tal, lo más aproximado a la obtención de una fotografía vectorial, es la realización de un dibujo simulando ser la fotografía. Tal como se muestra en la Figura 15.



Figura 15: A la izquierda la fotografía original, a la derecha una imagen vectorial simulando ser la fotografía.
Fuente: (Hernández, 2014)

Sin embargo la mayor ventaja que tiene una imagen en mapa de bits sobre una imagen vectorial, es que la primera luce más real. Para llegar a tal punto no se requiere de ningún trabajo o tratamiento más allá que tomar una buena fotografía.

2.5.4. Curvas Bézier

Las curvas Bézier, fueron creadas en los años 60 por el ingeniero francés Pierre Bézier de quien toman el nombre. Él fue quien ideó un método de descripción matemática de curvas suaves y de tal forma lograr trazar los dibujos técnicos que provenían de sus diseños automovilísticos y aeronáuticos.

El concepto básico de las curvas de Bézier consiste en unir 2 puntos definidos en un plano mediante coordenadas. A través de curvas que definen su trayectoria mediante puntos de anclaje "nodos" y manejadores se puede ir definiendo el contorno de la imagen a la que se quiere vectorizar. Una representación de la forma y composición de dichas curvas se ve en la Figura 16. (Logo-arte, 2015)

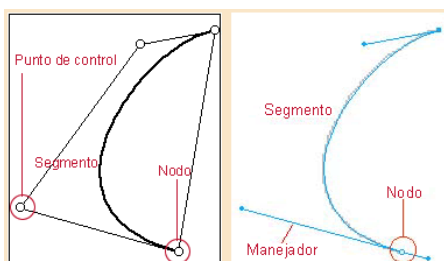


Figura 16: Representación de curvas Bézier.
Fuente: (Logo-arte, 2015)

El sistema de curvas Bézier, fue implementado con éxito en los sistemas CAD y posteriormente introducido en lenguaje POSTSCRIPT. Lo que permite que haya impresiones de alta calidad en la actualidad.

Todos los programas de diseño gráfico vectorial sean, Illustrator, CorelDraw, FlexiSign, Inkscape, entre otros. Funcionan con éste método de curvas Bézier o tienen entre sus características, algunas herramientas para dibujar tales curvas mediante ellas.

Es un proceso que también puede llevarse a cabo de forma manual, haciendo uso de las herramientas de los programas de ilustración, lo que resulta ser una tarea muy tediosa. Aunque como compensación, el dibujante puede decidir la colocación exacta de cada nodo de anclaje, aumentando así la precisión del dibujo final. Es muy común el uso de las herramientas de calcado automático o autotracing cuando se trata con imágenes que contemplan cierta complejidad véase Figura 17.

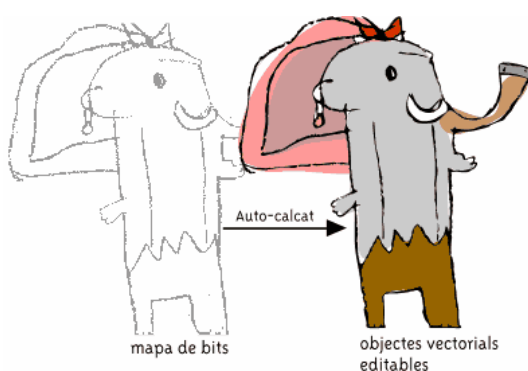


Figura 17: Ejemplo de uso de la herramienta de calcado automático (autotracing).
Fuente: (Logo-arte, 2015)

2.6. Adquisición y Tratamiento de imágenes

2.6.1. Iluminación

Para adquirir una imagen se necesita algún tipo de fuente de energía que sirva para iluminar el ambiente o escena. El sol actúa como esa fuente de energía, la mayor parte del tiempo se usa luz visible, pero otro tipo de frecuencias pueden ser usadas también.

Si se están procesando imágenes capturadas por otros, no hay mucho que hacer con el tema de la iluminación, pero cuando es el operario el que está a cargo del proceso de adquisición de imágenes, es de mucha importancia pensar en cómo se iluminará la escena. (Conrad G. & Mae, 1970)

Otro asunto a tomar en cuenta cuando se trata de iluminación, es que se debe tener cuidado de no apuntar la fuente de iluminación directamente al dispositivo de captura, véase Figura 18. La razón por la que no se debe hacer tal cosa, es que puede resultar en una imagen demasiado brillante, o con una iluminación no uniforme.



Figura 18: La fuente de luz se encuentre tras el objeto de interés.
Fuente: (Moenslund, 2012).

2.6.2. Captación de imágenes

La luz se refleja en el objeto de interés y es enfocada usando sistemas ópticos, y ahora esa imagen necesita ser guardada por el dispositivo, para lo que se usa un sensor. Aquel captador de imágenes o sensor de imágenes consiste en una matriz de celdas 2D, cada una de las celdas representa un píxel y es capaz de medir la cantidad de luz incidente y la convierte en voltaje, que luego es convertido en un número digital, véase Figura 19.

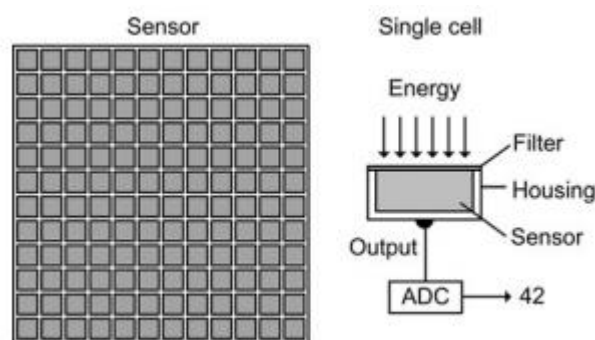


Figura 19: Matriz de celdas 2D.
Fuente: (Moeslund, 2012).

Mientras más luz incidente haya, mayor es el voltaje y el número digital al que es convertido, antes de que un dispositivo pueda capturar una imagen, las células de la matriz se encuentran vacías, esto significa que no están cargadas. Cuando el dispositivo captura una imagen, se permite la entrada de la luz, con lo que empiezan a cargarse cada célula. Después de un cierto periodo de tiempo, conocido como tiempo de exposición, véase Figura 20, se excluye nuevamente la luz incidente, si el tiempo de exposición es poco o mucho, resulta en una sub-exposición o sobre-exposición de la imagen, respectivamente. (Moeslund, 2012)

Muchos dispositivos tienen un sistema inteligente que trata de asegurar que la imagen tenga la exposición correcta, esto se hace midiendo la cantidad de luz entrante, y si ésta es muy baja o alta, se corrige la imagen acorde a esto.



Figura 20: Representación de imágenes con diferentes tiempos de exposición, arriba izquierda: Imagen expuesta correctamente. Arriba derecha: Imagen sobreexpuesta. Abajo izquierda: Imagen subexpuesta. Abajo derecha: Mancha por movimiento.

Fuente: (Moeslund, 2012).

Puede ser cambiando el tiempo de exposición o con un control de ganancia automático, que es la más usada. Mientras que el primer método corrige la imagen cambiando los ajustes del dispositivo, el segundo método se trata de un paso que se lleva a cabo luego del procesado de la imagen en el dispositivo.

Las dos opciones proveen de mejores imágenes, pero para llevar a cabo un análisis automático de la imagen, en muchas ocasiones es mejor desactivar estas opciones. La manipulación de la luz entrante en el dispositivo se toma en cuenta para el procesamiento automático de imágenes o videos. Se necesita entender y ser capaces de prever la luz entrante en diferentes situaciones (Moeslund, 2012). Lo que puede ser complicado si el dispositivo interfiere más allá de nuestro control o entendimiento.

La carga acumulada en la matriz de celdas, es convertida a forma digital usando un conversor analógico-digital. Tal proceso toma una señal continua y la convierte en una representación digital, la cual es requerida para poder ser almacenada, o en otras palabras, es aquí cuando la imagen se convierte en digital. Para poder comprender la diferencia, véase Figura 21.

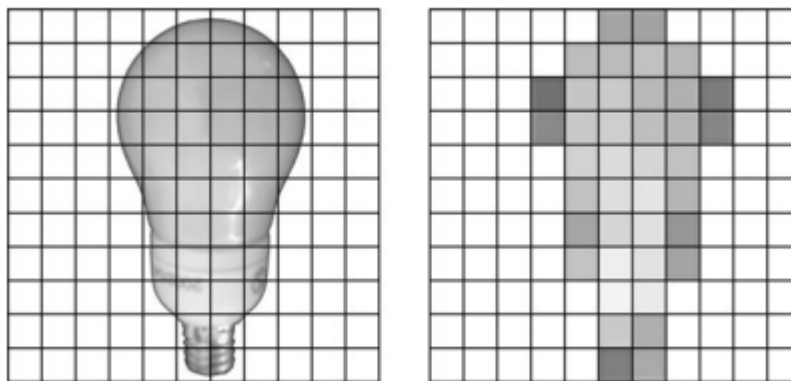


Figura 21: Representación de una matriz de celdas, a la izquierda una imagen analógica, a la derecha una imagen digital.
Fuente: (Moeslund, 2012).

Una celda es sensible a la luz entrante que llega a la celda, pero no puede otorgar información sobre donde exactamente la luz entró en la celda. Teniendo esto en cuenta, para poder preservar las características de la imagen, el tamaño de las celdas debe ser infinitamente pequeño. Por lo que la imagen será infinitamente grande, en ambas direcciones, x e y, algo que no se puede lograr.

Por lo cual una celda tiene un tamaño finito. Lo que lleva a la pérdida de datos o precisión. Tal proceso es denominado cuantificación espacial. El efecto producido se puede observar en la Figura 22.

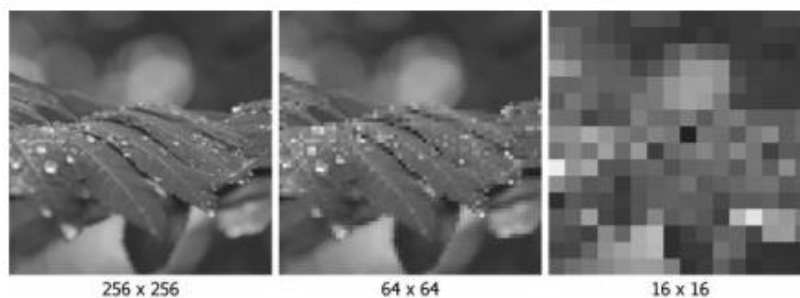


Figura 22: Efecto de la resolución espacial.
Fuente: (Moeslund, 2012).

Donde la imagen de la derecha tiene una baja calidad. El número de píxeles usados para representar una imagen es también llamado resolución espacial de la imagen o simplemente resolución de la imagen.

Una mayor resolución significa que una mayor cantidad de píxeles es usada, resultando en una imagen con buenos detalles. Mientras que una menor resolución significa el uso de pocos píxeles. Es posible realizar el cambio de resolución de una imagen mediante un proceso denominado re-muestreo de imagen, el cual puede ser usado para crear una imagen de baja resolución a partir de una imagen de alta resolución. Sin embargo es normalmente no es posible crear una imagen de alta resolución a partir de una imagen de baja resolución.

Una situación similar se trata cuando la representación de la cantidad de luz incidente contenida en una celda. El número de fotones llegando a las celdas puede ser alto, requiriendo de un número digital igual de alto para representar ésta información. Sin embargo dado que el ojo humano no es capaz de distinguir el número exacto de fotones, no puede cuantificar el número de fotones que llegan a una celda. (Lira, 1987)

A veces esta cuantificación, da por resultado una representación de un byte (8 bits), y un byte corresponde a la forma en que la memoria es organizada dentro de la computadora. En el caso de una cuantificación de 8 bits, una carga de 0 voltios va a ser cuantificada como 0 y una carga alta será cuantificada como 255, existen otras escalas de grises que suelen ser usadas para realizar el proceso, difiriendo en los bits que se necesitan para la cuantificación. El efecto de cambiar la cuantificación por escala de grises (también llamado resolución de escala de grises)

puede verse en la Figura 23. Por debajo de las 16 escalas de grises la imagen frecuentemente sigue viéndose realista, se observa el efecto de cuantificación.

La resolución de escala de grises es usualmente especificado en número de bits, las resoluciones más usadas son de 8, 10 y 12 bits, correspondientes a la escala de grises de 256, 1024 y 4096. La resolución más usada en las imágenes es de 8 bits. (Moeslund, 2012)

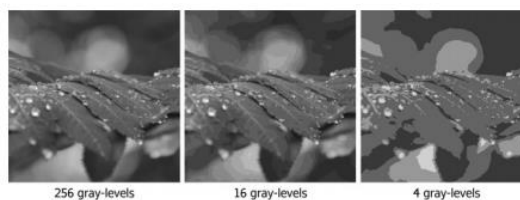


Figura 23: Resolución de escala de grises.
Fuente: (Moeslund, 2012).

En el caso de una sobreexposición de la imagen, un número de celdas pueden tener cargas sobre el valor máximo de carga medible. Tales células están todas cuantificadas a 255, no hay forma de simplemente saber cuánta luz incidente entra en cada célula y poder decir que la célula está saturada. Que es una situación a la que no se debe llegar ya que cuando una célula está saturada puede afectar a los pixeles colindantes incrementando sus cargas.

2.7. Resumen

- Varios de los sistemas CAD/CAM en uso actualmente, están diseñados y pensados para la automatización de funciones manuales. Independiente de si la operación o función en particular que cumplirán será la de un análisis ingenieril, diseño de conceptos, dibujo, o la programación de maquinarias de manufactura o inspección.
- Los sistemas CAD permiten que el diseño se desarrolle de forma interactiva, mientras ofrece la posibilidad de definir y crear una base de datos. Tal base sirve para alimentar todo el sistema interno de información dentro de una empresa.
- La tecnología CAM tiene ventajas en cuanto a la productividad de la fuerza de trabajo, mejor calidad del producto y menor tiempo de preparación. También permite extraer información automáticamente, desde los dibujos CAD. Con lo que se logra la conversión de tales dibujos a programas de control numérico.
- El procesamiento de imágenes es una clase de procesamiento de señales. Que permite extraer fotogramas de un video o tomar imágenes y someterlos a un procesado de bajo

perfil. Con la finalidad de aislar algunas características de la imagen y crear nuevas imágenes ya procesadas a partir de imágenes base.

- La principal función de la vectorización es la de convertir imágenes digitales ya procesadas, las cuales están conformadas por píxeles, en imágenes digitales formadas por vectores. Tales imágenes cuentan con contornos perfectamente definidos. Permite que la imagen pueda ampliarse o reducirse sin perder la alta calidad que contienen.
- Para la formación de imágenes se lleva a cabo un proceso mediante el cual, la información luminosa de una escena en 3D, es proyectada en un plano 2D. Tal proyección se convierte en una imagen. Algunos dispositivos de adquisición de imágenes como las cámaras imitan el proceso que tiene lugar en el ojo humano.

Capítulo 3

Metodología y diseño

El capítulo se centra en el diseño de los sistemas mecánicos y de adquisición de imágenes. Se aclara el problema y se identifican necesidades. Se definen las especificaciones que satisfacen tales necesidades. Se procede a analizar los módulos que constituyen el concepto, de tal forma que se pueda plantear alternativas o combinación de conceptos. Se realiza el diseño a nivel sistema que nos permitirá obtener las especificaciones para el diseño de detalle.

3.1. Definición del concepto

Para la definición de concepto se toma como referencia la metodología para diseño y desarrollo de productos según (Ulrich & Eppinger, 2012). El cual comienza desarrollando un concepto del producto de forma general. Se captan las oportunidades y se analizan las necesidades de acuerdo al cliente. Con lo que es posible establecer las especificaciones objetivo o meta del producto. Ordenándolas de acuerdo a su importancia dentro del proyecto.

3.1.1. Definición de las necesidades

Las necesidades son parte integral dentro de la fase de generación de conceptos. Puesto que gracias a estas se pueden establecer las primeras métricas y especificaciones técnicas que requiere el concepto para su diseño final. Dentro del presente proyecto se identifican necesidades que serán consideradas y analizadas. En la Tabla 3 se muestran las necesidades o requerimientos del presente proyecto.

Tabla 3
Requerimientos o necesidades del consumidor

N°	REQUERIMIENTOS
1	Debe tener nuevos sistemas de adquisición de imágenes
2	Mantener la temperatura del líquido circulante entre 22 y 28°C
3	Flujo de líquido de 5 L/min
4	No debe contener impurezas el líquido circulante
5	No debe oxidarse el contenedor de líquido
6	Debe haber un flujo de aire constante en el cabezal del láser
7	No debe interferir con el maquinado la tubería de aire comprimido
8	No debe acumularse gases tóxicos dentro de la plataforma Continúa ➡
9	No debe interferir eléctricamente con el tubo laser la tubería de extracción
10	Software de tratamiento de imágenes de acceso libre
11	Debe ser de fácil mantenimiento

Se buscará soluciones a tales necesidades que permitan la elaboración del proyecto y su correcto funcionamiento. Se detallan los puntos en los cuáles se centrará el desarrollo del diseño de los sistemas mecánicos y de adquisición de imágenes, con la finalidad de repotenciar dicha plataforma y agregarle mayor funcionalidad y facilidad de uso.

3.1.2. Definición de las características técnicas

Una vez obtenidos los requerimientos de la plataforma CNC de corte láser, se procede a definir las especificaciones o características técnicas. Para ello se debe traducir las necesidades dadas por el usuario, en un lenguaje técnico. Lo que permite obtener las especificaciones de forma detallada y concisa, con lo que se puede llevar a cabo el proceso de desarrollo del concepto con mayor sencillez.

En la Tabla 4 se exponen las características técnicas que satisfacen las necesidades del usuario.

Tabla 4
Características técnicas

N°	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
1	Periféricos capaces de realizar la adquisición de imágenes
2	Sistema de refrigeración controlado
3	Tratamiento anticorrosivo al contenedor del líquido
4	Sistema de compresión y distribución de aire
5	Sistema de extracción y distribución de gases tóxicos
6	Software libre de vectorización de imágenes
7	Correcta distribución de sistemas

3.1.3. Casa de la Calidad

La casa de la calidad es una herramienta que nos permite hacer una relación entre las necesidades del usuario y las características técnicas que satisfacen tales necesidades. Los requerimientos son la forma en la que los usuarios describen la funcionalidad y características deseables dentro de un producto. Principalmente son de ayuda al definir la calidad del producto que esperan los usuarios. Además de permitir el desarrollo de cada solución a cada problema de forma ordenada y sistemática. Haciendo de ésta forma que la satisfacción del cliente respecto al producto crezca. La matriz de la casa de la calidad que se desarrolló para el proyecto, es mostrada en la Figura 24.

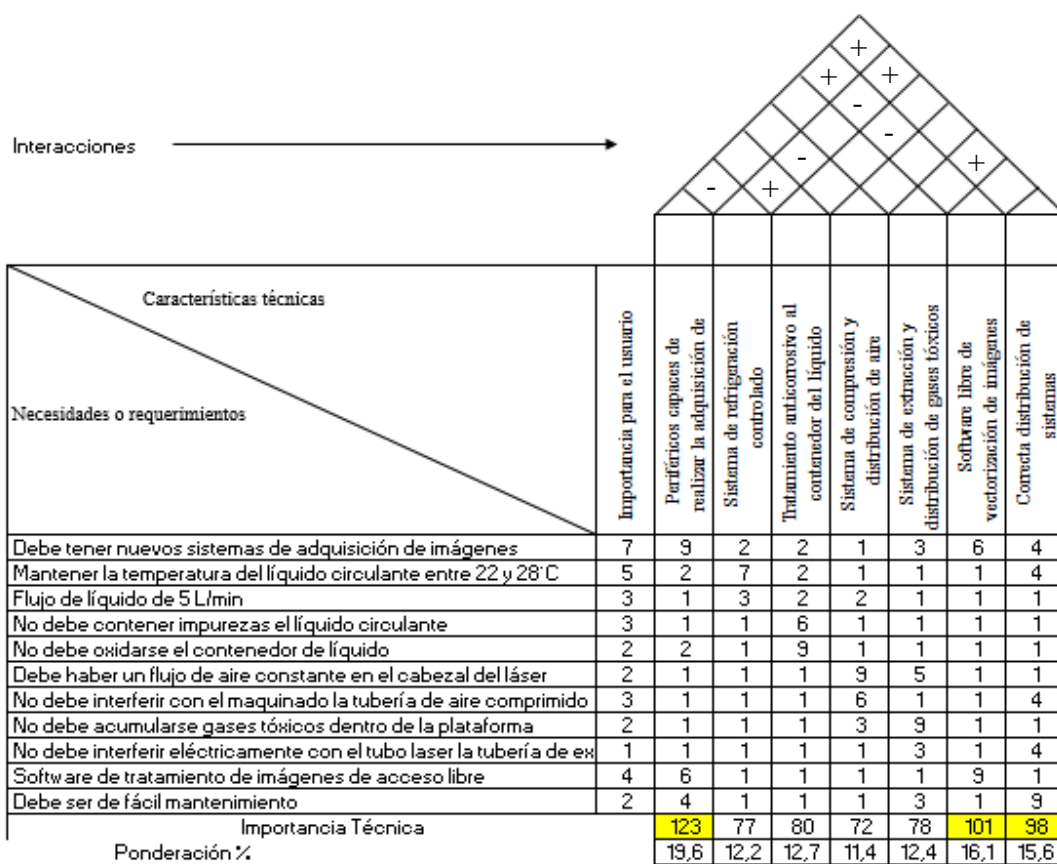


Figura 24: Casa de la calidad para los sistemas mecánicos y de adquisición de imágenes.

Los resultados obtenidos en la Tabla 5, muestra las características técnicas ordenadas de mayor a menor, de acuerdo a su porcentaje de ponderación.

Tabla 5
Resultados de la matriz QFD

HITOS	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	PORCENTAJE DE PONDERACIÓN
1	Periféricos capaces de realizar la adquisición de imágenes	19,6
2	Software libre de vectorización de imágenes	16,1
3	Correcta distribución de sistemas	15,6
4	Tratamiento anticorrosivo al contenedor del líquido	12,7
5	Sistema de extracción y distribución de gases tóxicos	12,4
6	Sistema de refrigeración controlado	12,2
7	Sistema de compresión y distribución de aire	11,4

3.2. Factibilidad y planeación

3.2.1. Estructura funcional

Se trata de definir el funcionamiento del concepto y su forma de trabajo. Para lo cual se efectúa la medición de las características técnicas del concepto, con la inclusión de métricas y valores. Con la ayuda de los resultados obtenidos en la matriz de la casa de la calidad, se puede detallar cada módulo del concepto. Los módulos permiten una mejor resolución de problemas, ya que se analiza la funcionalidad de cada módulo por separado. Así las necesidades pueden ser cubiertas de forma eficaz y organizada. La estructura modular utilizada en el desarrollo de la plataforma CNC de corte laser, se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6
Módulos para diseño

#	MÓDULO	SUBSISTEMAS	FUNCIONES	HITOS A CUMPLIR
1	Adquisición y Tratamiento de Imágenes	Escáner	Adquisición de imágenes	1,2
		Pantalla Touch	Adquisición de imágenes	
		Software Libre	Vectorización de imágenes	
2	Sistema de Refrigeración	Contenedor	Almacenar el líquido	3,4,6
		Bomba	Circulación de líquido	
		Sensor	Medir temperatura del líquido	
		Filtro	Retener impurezas	
3	Sistema de Aire Comprimido	Compresor	Generar flujo de aire	3,7
		Manguera de aire	Direccionar flujo de aire	
4	Sistema de extracción de gases	Extractor	Extraer aire	3,5
		Tubería de gases	Direccionar flujo de gases	

Para el presente proyecto, el diseño se divide en tres partes, las cuales se muestran a continuación:

- Diseño mecánico
- Diseño electrónico
- Sistema de control

En la Figura 25, se pueden observar los componentes de la plataforma de corte por láser.

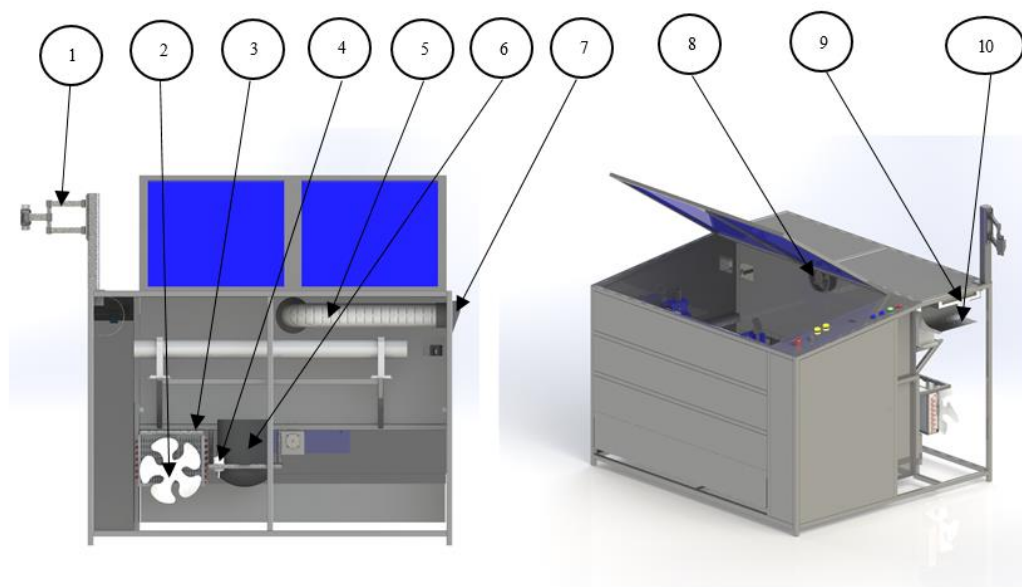


Figura 25: Componentes de la plataforma de corte por láser

- | | |
|---|--|
| 1. Soporte extensible y rotatorio para la instalación de la PC. | 6. Contenedor para agua destilada. |
| 2. Ventilador para el sistema de refrigeración. | 7. Salida de extracción de gases hacia la campana. |
| 3. Radiador de cobre. | 8. Extractor de gases AXIAL. |
| 4. Filtro para el sistema de refrigeración. | 9. Escáner. |
| 5. Ducto de extracción de gases. | 10. Bandeja de devolución de hojas. |

3.3. Módulo 1. Adquisición y tratamiento de imágenes

3.3.1. Subsistema 1. Escáner

Se necesita de un dispositivo para realizar la captura o adquisición de la imagen que posteriormente se maquinará. Tal dispositivo tiene que poder almacenar la imagen directamente en el disco duro del ordenador con la ayuda de un software que por lo general ya incluye el dispositivo. Para cumplir con esas necesidades se opta por usar un escáner, ya que las imágenes almacenadas con ese dispositivo, resultan ser mejores para su uso en

vectorización de imágenes con propósitos de maquinado, con diferencia a otros tipos de dispositivos usados para la adquisición de imágenes.

Los escáneres basan su funcionamiento, en el principio básico de la transferencia de la luz. La imagen a digitalizar se coloca frente al bloque lector y al cabezal lector compuesto por el CCD, un sistema de iluminación y un conjunto de lentes que se desplazan realizando un barrido sobre la imagen. La luz reflejada, se convierte en energía eléctrica por los sensores, y la velocidad del movimiento del cabezal lector es la que proporciona una mayor resolución. A menor velocidad del lector, mayor resolución de la imagen

3.3.1.1. Selección de dispositivos

Se presenta a continuación, las diferentes alternativas de diseño que se tomaron en cuenta para la selección de una solución.

Escáner plano o de sobremesa

Se trata de uno de los escáneres más utilizados y vendidos. Tiene una superficie plana de vidrio, sobre la cual se coloca el documento que se desea escanear, realizando un barrido lineal de la imagen. Se usan para digitalizar objetos opacos planos.

Ventajas

- Son lo más usados en el ámbito doméstico.
- Tiene una buena relación calidad/precio
- Calidad aceptable de imágenes
- Fáciles de manejar

Desventajas

- Tiene un tamaño considerable.
- El tamaño de los documentos que se pueden escanear es limitado.
- Generalmente se encuentran incluidos en una impresora.

Escáner portátil.

Es un dispositivo digital que permite escanear documentos en cualquier lugar sin la necesidad de carga con cables. Es un escáner muy compacto que se puede portar con facilidad. Permitiendo escanear una amplia variedad de documentos.

Ventajas

- Es portátil y compacto
- Se pueden escanear múltiples documentos.
- Tienen un costo bajo
- Calidad aceptable de imagen

Desventajas

- Muchos escáneres portátiles no cuentan con sistema de alimentación, haciendo que la tarea de escanear a mano sea complicada.
- Los escáneres portátiles que cuentan con alimentador, no pueden escanear documentos con cierto grosor como el empaste de un libro, por la restricción del sistema de alimentación

Escáner de tambor

Éste escáner ha sido tradicionalmente el dispositivo que realiza la reproducción electrónica de imágenes y su posterior digitalización.

En la actualidad sigue siendo el sistema que más calidad y resolución de imagen aporta, sobre todo para la realización de ampliaciones. Su uso en el campo de la publicidad es extenso por tales razones.

Ventajas

- Alta calidad de imágenes

Desventajas

- Dispositivo de gran tamaño
- Alto costo
- Difícil implementación
- No se puede portar con facilidad



3.3.1.2. Evaluación y selección de alternativas

El escáner portátil resulta ser el dispositivo que mejor cumple las necesidades del sistema. Los siguientes son factores críticos tomados en cuenta para la elección:

- Los escáneres portátiles son compactos por lo que otorgan una facilidad de montaje en la plataforma CNC de corte por láser.
- Las imágenes obtenidas con un escáner portátil, tienen una calidad de imagen buena. Lo que resulta aceptable para su aplicación en el área de maquinado.
- Tiene un costo bajo y una alta disponibilidad en el mercado. Mientras que el escáner plano se encuentra normalmente incluido dentro de las impresoras actuales; el escáner portátil se encuentra disponible de forma independiente.

Las alternativas más destacadas para la pintura anticorrosiva disponibles en el mercado, se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7
Alternativas para la selección del escáner.

SOLUCIÓN	IMAGEN	CARACTERÍSTICAS
A	Escáner portátil PC-171669 (Perfect Choice)	COSTO: \$105,50
		Resolución: Hasta 600x600 dpi
		Largo máximo de Documento: 300DPI 127 cm, 600 DPI 63.5 cm
		Conector mini USB
		Alimentación con 4 baterías AA
B	Escáner portátil DS-620 (BROTHER)	COSTO: \$95,00
		Alta disponibilidad en el mercado local
		USB 2.0 de alta velocidad
		Velocidad de escaneo: 8ppm
		Resolución: Hasta 600x600 dpi
		Ciclo de trabajo diario: Hasta 100 escaneos por día
	Skypix 900	COSTO:\$54.00

Continúa →

C	dpi (TOOGOO)		No tiene alimentador
			Resolución: Hasta 900x900 dpi
			Memoria externa: Micro SD tarjeta
			RAM: 256 MB

A continuación se realiza una tabla de ponderación con los criterios de evaluación del subsistema. En la Tabla 8 se observa los valores de la ponderación. El criterio con mayor valor, es el más importante en el momento de la selección. Finalmente se realiza una evaluación de cada criterio, para así obtener la solución viable.

Tabla 8
Ponderación de criterios de evaluación para el subsistema 1 del módulo 1

Criterio	Costos	Facilidad de uso	Implementación	Resolución	$\Sigma+1$	Pondera.
Costos	-	1	2,5	2,5	7	0,21
Facilidad de uso	2,5	-	1	5	9,5	0,29
Implementación	2,5	2,5	-	5	11	0,33
Resolución	2,5	1	1	-	5,5	0,17
				Σ	33	1,00

Tabla 9
Ponderación de costo para las alternativas del subsistema 1 del módulo 1

Costos	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Pondera.
Solución A	-	2,5	1	4,5	0,23
Solución B	5	-	1	7	0,35
Solución C	5	2,5	-	8,5	0,43
			Σ	20	

Tabla 10
Ponderación de facilidad de uso para las alternativas del subsistema 1 del módulo 1

Facilidad de uso	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Pondera.
Solución A	-	2,5	5	8,5	0,43
Solución B	2,5	-	5	8,5	0,43
Solución C	1	1	-	3	0,15
			Σ	20	

Tabla 11
Ponderación de implementación para las alternativas del subsistema 1 del módulo 1

Implementación	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Pondera.
Solución A	-	2,5	5	8,5	0,35

Solución B	5	-	5	11	0,46
Solución C	2,5	1	-	4,5	0,19
			Σ	24	

Tabla 12
Ponderación de resolución para las alternativas al subsistema 1 del módulo 1

Resolución	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Pondera.
Solución A	-	2,5	1	4,5	0,23
Solución B	2,5	-	1	4,5	0,23
Solución C	5	5	-	11	0,55
			Σ	20	

La Tabla 13 muestra la prioridad de las soluciones.

Tabla 13
Conclusión en la selección de alternativas para el subsistema 1 del módulo 1

	Costos	Vida útil	Implementación	Disponibilidad	Σ	Prioridad
Solución A	0,05	0,12	0,12	0,04	0,33	33%
Solución B	0,07	0,12	0,15	0,04	0,39	39%
Solución C	0,09	0,04	0,06	0,09	0,29	29%
				Σ	1,00	

La solución B es la más viable para su uso en la plataforma láser con un precio intermedio entre el valor de las otras dos soluciones restantes. Además cuenta con una amplia disponibilidad en el mercado local, lo que facilita su adquisición. A continuación se detallan las especificaciones del escáner seleccionado:

- Modos de Escaneo: Color de 24 bits, 8 bits (256 niveles) en escala de grises, 1 bit monocromático.
- Resolución Óptica: Hasta 600 x 600 dpi.
- Velocidad del Escáner: Hasta 8 páginas/minuto (monocromático y color).
- Sensor de Imagen: Sensor de imagen de contacto (CIS) individual.
- Escaneo ambos lados (duplex): No.
- Capacidad Máxima del Papel: 1 hoja.
- Interfaz estándar de red: USB 2.0 de alta velocidad.
- LCD Display: No.
- Tamaño del Escáner: 11,4" x 2,1" x 1,4".
- Longitud del Cable: Micro cable USB de 4 pies desmontable.

- Peso del Escáner: 0,88 lb.
- Consumo Eléctrico: 1,0 W listo, 2,5 W escaneo.
- Contenido del Empaque: Escáner 620 DSmobile®, cable micro USB, hoja portadora, hoja de calibración, paño de limpieza, estuche de transporte no rígido, DVD de instalación con el software y controladores, manual de usuario (imprimible desde el DVD), guía de instalación rápida, hoja de garantía y hoja de registro del producto.
- Compatibilidad: Windows® XP, Windows® Vista®, Windows® 7, Windows® 8, Mac® OS X v10.6.x - v10.8.x, Linux®

3.3.2. Subsistema 2. Pantalla Táctil.

Como dispositivo alternativo de adquisición de imágenes, se usa una pantalla táctil. Dicho dispositivo permite que se realicen diseños directamente en su superficie. Permitiendo además que esos diseños sean almacenados como imágenes para su uso posterior en el maquinado. Lo cual facilita el proceso de adquisición de imágenes para vectorización.

3.3.2.1. Selección de dispositivos

Entre los tipos de Pantalla táctil disponibles, se ha elegido 2 por su disponibilidad:

Pantallas táctiles resistivas

Funcionan mediante resistencia eléctrica. Se compone de dos capas que conducen electricidad continuamente. Cuando estas dos capas entran en contacto, se crea una resistencia eléctrica. Dicho punto de resistencia, establece el eje de posición.

Ventajas

- Buena resistencia a colisiones.
- Bajo precio.
- Permite determinar niveles de presión
- Resistentes a polvo y agua

Desventajas

- Baja sensibilidad

- Pierden hasta un 25% del brillo.
- Dificultad de interacción con el usuario.

Pantalla capacitiva

Funcionan gracias a una superficie, que suele ser de cristal. Sobre tal superficie actúa un campo magnético. Cuando algún objeto con capacidad de conducir electricidad entra en contacto con dicha superficie, se presenta una distorsión en el campo magnético. Tal punto de distorsión en el campo magnético, determina la posición en la pantalla

Ventajas

- Alta calidad de imagen
- Bajo tiempo de respuesta
- Algunas presentan la característica de ser multitáctiles.
- Alta sensibilidad

Desventajas

- Alto costo
- Vulnerable a las colisiones
- No se puede utilizar con lápiz óptico o guantes.

3.3.2.2. Evaluación y selección de alternativas

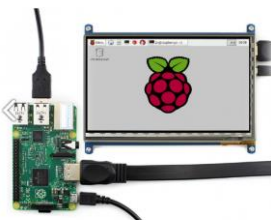


La pantalla a utilizar es la capacitiva. Algunas de las razones para efectuar la decisión, se detallan a continuación

- Aunque el costo de la pantalla táctil capacitiva, sobrepasa el de la pantalla táctil resistiva, no es un margen grande que influya en la elección
- Su alta sensibilidad, permite fluidez en su uso. Una característica importante a tomar en cuenta, ya que el dispositivo se usará para la obtención de imágenes de diseño. A diferencia de la pantalla resistiva que no permite un uso fluido, puesto que se necesita presionar la pantalla para que se reconozca el punto.
- La pantalla capacitiva cuenta con una capacidad de respuesta más rápida que la de la pantalla resistiva.

- Un factor importante a considerar para la elección entre pantallas, es el uso de un sistema operativo y software en específico que requieran de ciertas prestaciones del dispositivo. Siendo el caso, la pantalla capacitiva cumple con facilidad los requerimientos del sistema.

Las alternativas para la selección de la pantalla táctil capacitiva, se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14
Alternativas para la selección de la pantalla Táctil.

SOLUCIÓN	IMAGEN	CARACTERÍSTICAS
A Pantalla táctil capacitiva de 7" con Raspberry pi 3 incluido (WAVESHARE)		COSTO: \$120,00 Alta resolución: 1024x600 Soporta Raspberry Pi Interfaz HDMI para presentación de imágenes Interfaz USB para control táctil
B HDMI LCD capacitiva de 10.1" (COOLWIND)		COSTO: \$110,99 Alta resolución: 1024x600 Interfaces de entrada de Video: HDMI, VGA y AV Soporta multiples sistemas operativos Menú OSD Buena resistencia a colisiones
C Official Raspberry PI Foundation 7" Touchscreen (Raspberry pi)		COSTO:\$79,99 Soporta Raspberry Pi Interfaz USB para control táctil Capaz de detectar hasta 10 dedos. Alta resolución: 800x400

A continuación se realiza una tabla de ponderación con los criterios de evaluación del subsistema. En la Tabla 15 se observa los valores de la ponderación.

Tabla 15
Ponderación de criterios de evaluación para el subsistema 2 del módulo 1

Criterio	Costos	Sensibilidad	Implementación	Disponibilidad	$\sum+1$	Ponderación
Costos	-	1	1	2,5	5,5	0,17
Sensibilidad	2,5	-	2,5	1	7	0,21
Implementación	2,5	5	-	2,5	11	0,33

Disponibilidad	5	2,5	1	-	9,5	0,29
				Σ	33	1,00

Tabla 16
Ponderación de costos para las alternativas del subsistema 2 del módulo 1

Costos	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Pondera.
Solución A	-	2,5	1	4,5	0,23
Solución B	2,5	-	1	4,5	0,23
Solución C	5	5	-	11	0,55
			Σ	20	

Tabla 17
Ponderación de Sensibilidad para las alternativas del subsistema 2 del módulo 1

Sensibilidad	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Pondera.
Solución A	-	5	2,5	8,5	0,49
Solución B	1	-	2,5	4,5	0,26
Solución C	2,5	1	-	4,5	0,26
			Σ	17,5	

Tabla 18
Ponderación de implementación para las alternativas del subsistema 2 del módulo 1

Implementación	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Pondera.
Solución A	-	5	2,5	8,5	0,45
Solución B	1	-	2,5	4,5	0,24
Solución C	2,5	2,5	-	6	0,32
			Σ	19	

Tabla 19
Ponderación de disponibilidad para las alternativas del subsistema 2 del módulo 1

Disponibilidad	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Pondera.
Solución A	-	5	2,5	8,5	0,45
Solución B	2,5	-	2,5	6	0,32
Solución C	1	2,5	-	4,5	0,24
			Σ	19	

De acuerdo a los resultados que se muestran en la Tabla 20 la solución que cumple con los requerimientos establecidos es la A.

Tabla 20
Conclusión en la selección de alternativas del subsistema 2 del módulo 1

	Costos	Vida útil	Implementación	Disponibilidad	Σ	Prioridad
Solución A	0,04	0,10	0,15	0,13	0,42	42%
Solución B	0,04	0,05	0,08	0,09	0,26	26%
Solución C	0,09	0,05	0,11	0,07	0,32	32%
				Σ	1,00	

Dicha solución plantea el uso de una pantalla capacitiva de 7", de alta resolución y que viene con una tarjeta Raspberry Pi 3 incluida, fabricada por la compañía Waveshare. Por lo que respecto a costos, implementación y disponibilidad es una elección lógica a tomar en cuenta. Algunas características de la pantalla seleccionada se presentan a continuación:

Características de la pantalla capacitiva táctil.

- Resolución de 1024x600.
- Control capacitivo de tacto.
- Soporta Raspberry Pi 3
- Soporta Banana Pi/ Banana Pro, viene con Lubuntu
- Soporta BB Black
- Para el uso en otras mini-PCs se requiere de controladores (drivers).
- Control de luz de fondo, para minimizar el consumo de energía.
- Conexión HDMI para la visualización de imágenes
- Conexión USB para control táctil
- Conexión mini USB para alimentación.

Dimensiones de la pantalla táctil

En la Figura 26: Dimensiones de la pantalla táctil capacitiva de 7" de WAVESHARE, se muestra información detallada de las dimensiones de la pantalla táctil.

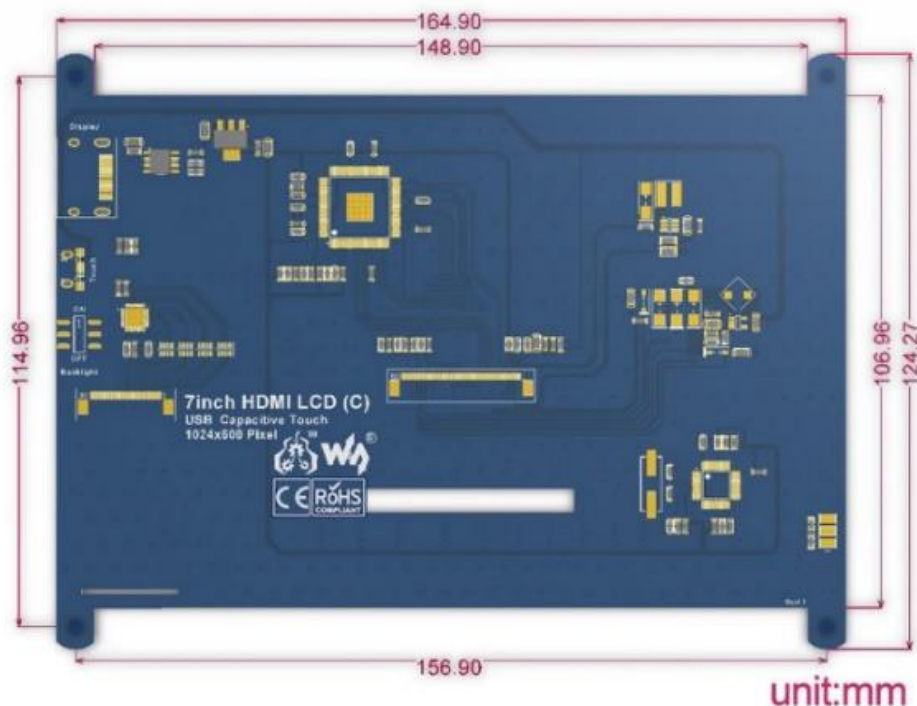


Figura 26: Dimensiones de la pantalla táctil capacitiva de 7" de WAVESHARE.
Fuente: (Waveshare, s.f.)

3.3.3. Subsistema 3. Software para vectorización de imágenes.

3.3.3.1. Alternativas de Software.

El software a utilizar para la vectorización de las imágenes adquiridas, es un punto importante dentro del sistema de adquisición y tratamiento de imágenes. Algunos de los criterios fundamentales a tener en cuenta para la selección del software, se presentan a continuación:

- Software libre.
- Compatible con el software de maquinado láser MACH3.
- Permite vectorizar imágenes para su uso en el maquinado.
- Entorno sencillo y amigable con el usuario.
- Software Multiplataforma.
- Compatible con los formatos de imagen más utilizados.
- Permite modificar parámetros de la imagen vectorizada.

- Permite crear diseños propios de los usuarios directamente en la interfaz del programa.

Se enlista una serie de ejemplos de software de vectorización, establecidos respecto a los criterios anteriormente descritos:

- Inkscape
- Corel Draw
- ArtCam
- AutoCAD
- Illustrator
- VisiCut

3.3.3.2. Evaluación y selección de alternativas

Para realizar una selección entre los software anteriormente descritos, es necesario tomar en cuenta ciertos factores que supondrían una ventaja en alguno de ellos. Por ejemplo el hecho de que el software de vectorización debe ser escalable. Para que se puedan realizar modificaciones a ciertos parámetros del software y así integrar nuevas funciones. Algunos de los mencionados anteriormente permiten la adición de funciones, mediante *scripts* o *plug-ins* que pueden ser creados por un usuario en particular en cierto lenguaje de programación. Por lo descrito con anterioridad se puede obtener funciones esenciales para el sistema. Como el hecho de poder obtener directamente el código G de una imagen vectorizada, mediante el uso de un *plug-in* o *script* en específico. Por tal razón se selecciona el siguiente software:

INKSCAPE: Es una herramienta sencilla y con una interfaz amigable con el usuario, que se emplea en el desarrollo de ilustraciones o para vectorización de imágenes. Se trata de un editor de gráficos vectoriales de código abierto, teniendo capacidades similares a softwares como Illustrator, Freehand o CorelDraw. Entre sus principales características soportadas encontramos (INKSCAPE, 2016):

- Formas, trazos y texto.
- Marcadores
- Clones
- Mezcla de canales alfa

- Herramientas de dibujo: lápiz (dibujo libre con un trazo simple), pluma (crea líneas Bezier, Spiro o rectas), caligráfica (dibujo a mano alzada a través de caminos con relleno para representar trazos caligráficos)
- Operaciones booleanas
- Simplificación de trazados con magnitud variable
- Transformación de gradientes, patrones y agrupamientos.
- Soporta meta-datos Creative Commons.
- Puede importar formatos como Postscript, EPS, JPEG, PNG y TIFF
- Puede exportar formatos como PNG y muchos más basados en vectores.
- Software libre, multiplataforma y escalable.
- Se pueden crear *plug-ins* o *scripts* para integrar nuevas funciones al software mediante el uso de lenguaje PYTHON.

Inkscape nació del mismo código del software libre para edición de gráficos vectoriales, Sodipodi, que actualmente se encuentra discontinuado siendo la última versión la 0.34 publicada en febrero del 2004. El éxito de Inkscape se da, ya que está enfocado en ser un Editor de gráficos vectoriales con múltiples funcionalidades y capacidad de crecer, mientras que Sodipodi se podría denominar más como una herramienta para la vectorización de imágenes.

3.3.4. Diseño Final

3.3.4.1. Diseño mecánico

Se utilizará un escáner portátil el cual se seleccionó anteriormente, para realizar la adquisición de imágenes. El escáner se monta dentro de la plataforma, instalado en su propia base soldada en la puerta principal de acceso de la plataforma láser. De tal forma que se pueda tener acceso al dispositivo para realizar mantenimiento cuando se requiera, además de que se encontrará fijado en su posición y no tendrá mayor interacción con el operario, más que para ingresar la hoja a ser escaneada.

Al reducir las interacciones con el operario, se garantiza un incremento en su tiempo de vida útil, además se minimiza la presencia de fallos en el sistema, protegiendo al dispositivo de golpes y suciedad.

Un modelo 3D del escáner se muestra en la Figura 27

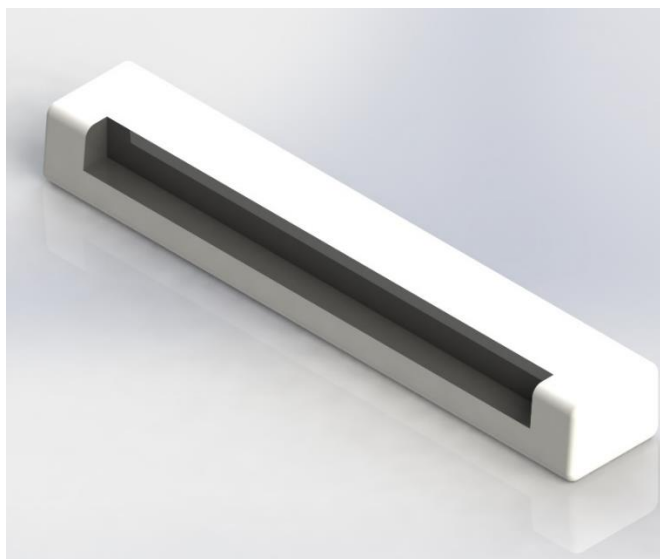


Figura 27: Escáner portátil Brother.

El escáner como se puede observar se encuentra montado en una base de metal, soldada a la estructura en la parte superior de la puerta de la plataforma láser, a 20 cm del margen derecho de la puerta.

Además también se dispone de un sistema que permite la devolución de la hoja a la que se le realiza el escaneo. Se trata de una plancha de 0.8 mm de espesor, doblada de tal forma que permita el deslizamiento de la hoja hasta dar la vuelta y poder salir de la plataforma, hacia las manos del operador.

La base del escáner se puede observar en la Figura 28.

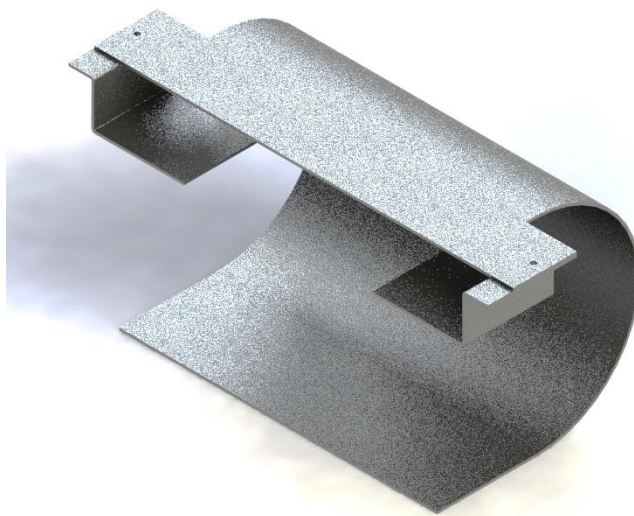


Figura 28: Modelo 3D del soporte del escáner

A continuación se presenta la Figura 29 que muestra la disposición del escáner dentro de su soporte.

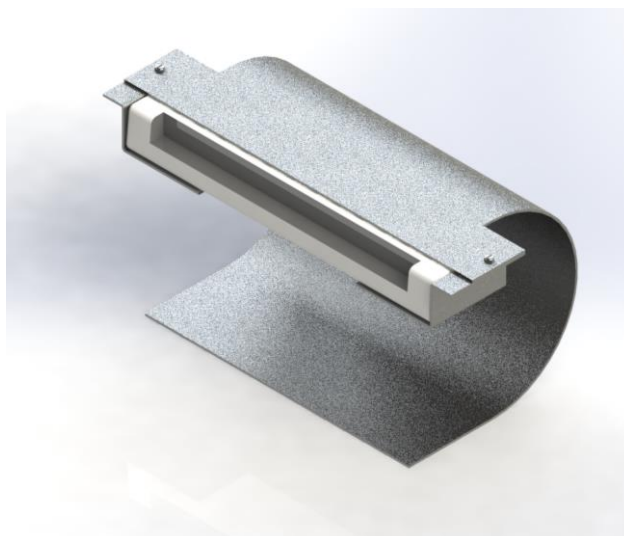


Figura 29: Modelo 3D del escáner y su soporte.

Se trata de piezas de metal dobladas y empernadas de tal forma, que mantengan al escáner fijo y seguro en su posición, impidiendo que sea extraído o se caiga de su sitio mientras está trabajando en la adquisición de imágenes.

3.3.4.2. Diseño electrónico

Para que la pantalla táctil pueda funcionar se debe usar una tarjeta embebida compatible con la pantalla. Es así que se ha optado por la utilización de una tarjeta Raspberry Pi 3 model B, algunas de sus características se detallan a continuación.

- Procesador ARM Cortex A53 de 4 núcleos a 1.2 GHz de 64 bits.
- Rendimiento 10 veces superior al primer Raspberry
- Bluetooth 4.1
- Wi-Fi 802.11n
- Conexión USB
- Puerto Ethernet
- MicroSD
- Salida HDMI
- Dimensiones: 8.5 cm x 5.3 cm
- Procesador gráfico VideoCore IV
- 512MB de memoria RAM

A continuación en la Figura 30 se presenta un esquema con los pines GPIO de la tarjeta Raspberry Pi 3 en comparación con versiones anteriores.

GPIO Numbers

Raspberry Pi Model B Rev 1 P1 GPIO Header			Raspberry Pi Model A/B Rev 2 P1 GPIO Header			Raspberry Pi Model A+/B+/Pi 2 B+ J8 GPIO Header		
Pin No.			Pin No.			Pin No.		
3.3V	1	2	3.3V	1	2	3.3V	1	2
5V	3	4	5V	3	4	5V	3	4
GPIO0	5	6	GND	5	6	GND	5	6
GPIO1	7	8	GPIO14	7	8	GPIO14	7	8
GPIO4	9	10	GPIO15	9	10	GPIO15	9	10
GND	11	12	GPIO18	11	12	GPIO18	11	12
GPIO17	13	14	GND	13	14	GND	13	14
GPIO21	15	16	GPIO23	15	16	GPIO23	15	16
GPIO22	17	18	GPIO24	17	18	GPIO24	17	18
3.3V	19	20	GND	19	20	GND	19	20
GPIO10	21	22	GPIO25	21	22	GPIO25	21	22
GPIO9	23	24	GPIO8	23	24	GPIO8	23	24
GPIO11	25	26	GPIO7	25	26	GPIO7	25	26
GND						DNC	27	28
						DNC	29	30
						GPIO5	31	32
						GPIO6	33	34
						GPIO13	35	36
						GND	37	38
						GPIO19	39	40
						GPIO26		
						GND		
						GPIO21		

Key	
Power +	UART
GND	SPI
IC	GPIO

Figura 30: Pines GPIO de los distintos modelos de Raspberry.
Fuente: (Becerra, 2016)

La Figura 31 muestra un esquema de conexión entre la pantalla y la tarjeta Raspberry, y nombra los elementos que intervienen en el circuito.

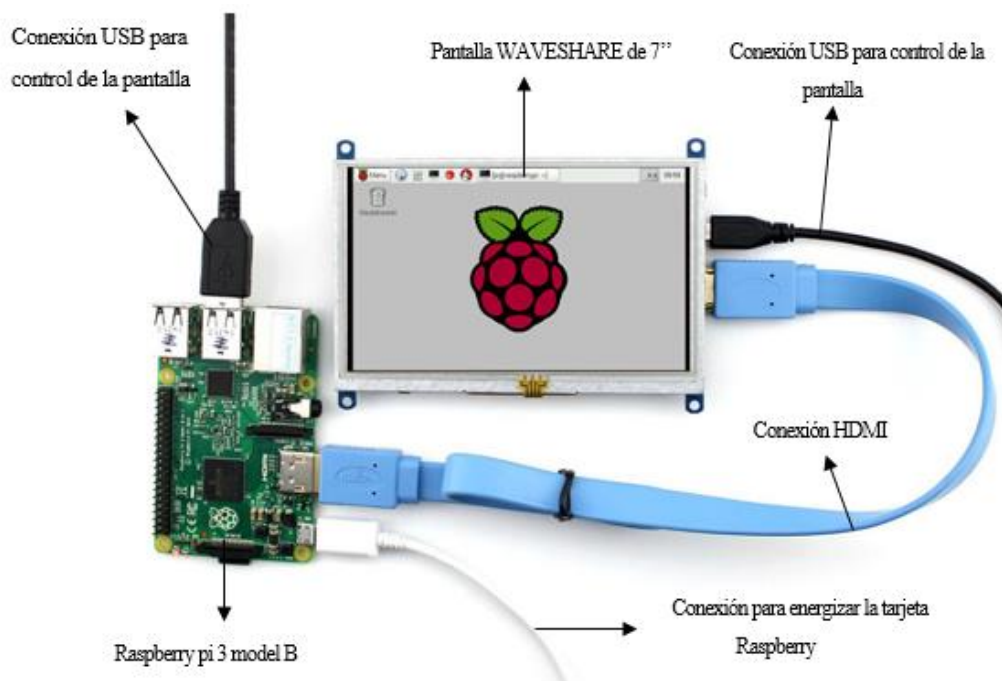


Figura 31: Conexión entre pantalla WAVESHARE y tarjeta Raspberry Pi 3 model B.

Para poder usar la pantalla con la tarjeta Raspberry, primero se debe configurar el sistema original, lo cual se realiza descargando mediante búsqueda en internet una imagen de sistema lista para instalar en la tarjeta embebida. Se necesita una tarjeta microSD para almacenar dicha imagen.

Posteriormente se debe conectar la pantalla LCD a la Raspberry mediante un cable HDMI, además de conectar un cable USB que permitirá realizar el control de la interfaz táctil de la pantalla. Se debe tener en cuenta de que para trabajar con la Raspberry se debe ingresar el valor de la resolución de la pantalla, de forma manual, de otra forma no funcionará.

3.4. Módulo 2. Refrigeración

3.4.1. Subsistema 1. Contenedor

El recipiente contenedor de agua destilada, es el encargado de almacenar el líquido necesario para que se produzca la refrigeración del tubo láser.

3.4.1.1. Selección de alternativas

Para que el contenedor sea anticorrosivo existen varias soluciones, entre ellas se encuentran: a) Revestimiento interno de pintura anticorrosiva, b) Contenedor galvanizado y c) Contenedor de plástico.

Recubrimiento con pintura anticorrosiva.

Se puede realizar un tratamiento en un contenedor de metal, revistiendo sus paredes internas con pintura anticorrosiva. Así se evita que siga habiendo oxidación del material metálico del contenedor, lo que produce una reducción importante en la vida útil del tubo láser.

Ventajas

- Permite utilizar el contenedor existente.
- No se produce corrosión que afecta al funcionamiento del láser.
- Es un proceso fácil de realizar.
- Se trata de un proceso económico.

Desventajas

- Se requiere mantenimiento cada 2 años.
- Se puede producir defectos en el área pintada.
- En el momento de realizar el proceso, los gases desprendidos por la pintura pueden ocasionar problemas de salud.

Galvanizado

Es un proceso electroquímico en el cual se cubre un metal con otro para darle protección a su superficie. El galvanizado más común es el de depositar una capa de zinc (Zn) sobre una superficie de hierro (Fe). Siendo que el zinc es más oxidable que el hierro, se expone al oxígeno del aire, protegiendo la superficie del hierro.

Al realizar el proceso de galvanizado, en el contenedor que existe en el sistema de refrigeración inicial. Se obtiene un recipiente con propiedades anticorrosivas, lo que se requiere para el sistema de refrigeración de la plataforma.

Ventajas

- Dependiendo del grado de inmersión, se tiene una vida útil de 20 a 30 años
- No se produce costo de mantenimiento.
- Ofrece gran resistencia mecánica

Desventajas

- Difícil implementación.
- La protección que ofrece el galvanizado no es perfecta, ya que se corroe cuando es expuesto de forma frecuente a factores externos.
- Desencadena una acción electrolítica al ser combinado con metales no ferrosos

Contenedor plástico.

Ya sean depósitos de polietileno o polipropileno, serán utilizables dentro del sistema de refrigeración. Al ser plásticos, no habrá corrosión alguna del material, previniendo de tal forma la aparición de fallas en el tubo láser. Tanto el polietileno como el polipropileno de alta densidad, tienen características de baja permeabilidad al agua. Lo que permite optimizar la aislación del agua dentro del reservorio.

Ventajas

- Alta impermeabilidad.
- Alta resistencia dieléctrica.
- Fácilmente maquinable.
- Buena resistencia mecánica

Desventajas

- Poca disponibilidad
- Se produce deterioro del aislamiento, por descargas parciales que son producidas por la ionización
- Punto de fusión bajo.
- Limitada resistencia a los hidrocarburos y agua clorada.

3.4.1.2. Evaluación y selección de alternativas

Al finalizar el análisis de las posibles soluciones. Se llega a la conclusión de que el sistema que satisface de mejor forma el problema del contenedor, es el uso de pintura anticorrosiva. Como resultado de los siguientes factores importantes:

- Ya se tiene un contenedor de metal que tiene una buena resistencia mecánica. Por lo que lo más fácil en tal caso es el de usar pintura anticorrosiva o galvanizado del contenedor.
- Es más fácil usar un contenedor de plástico, ya que se puede maquinar de forma sencilla y ofrece una gran resistencia a la corrosión. El problema es la disponibilidad de contenedores personalizados para su uso dentro del proyecto.
- Realizar el galvanizado es un proceso más complicado y costoso, que el de hacer un revestimiento de pintura anticorrosiva en la superficie del metal en contacto con el agua destilada. Aunque también ofrece una mayor protección a la corrosión que la pintura.
- Para el uso dentro del sistema de refrigeración de la plataforma CNC de corte por láser. Es necesario el uso de materiales con alta resistencia al deterioro por ionización y de bajo costo. Por lo que el uso de pintura anticorrosiva, cubre eficientemente la solución a tal problema. Uno de los puntos importantes de la pintura anticorrosiva es que su mantenimiento se lo tiene que realizar cada 2 o 3 años para que siga operando eficientemente.

Las alternativas más destacadas para la pintura anticorrosiva disponibles en el mercado, se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21:
Alternativas para la selección de la pintura anticorrosiva (Contenedor)

	SOLUCIÓN	IMAGEN	CARACTERÍSTICAS
A	ANTIOX (Pinturas CONDOR)		COSTO: \$20,32/galón Alta resistencia a la corrosión en objetos en contacto permanente con líquidos Rendimiento de 13m ² /litro a un espesor de 1mm Convierte la capa de óxido en una barrera anticorrosiva. Secado al tacto de 30 a 60 minutos

B Anticorrosivo STOP (WESCO)		COSTO: \$15,52/galón Alta resistencia a la corrosión Rendimiento de hasta 10m ² /litro a un espesor de 1mm Aplicación por medio de brocha, soplete o rodillo Protección anticorrosiva en mantenimiento industrial Secado al tacto de 1 a 2 horas
C Pintura Anticorrosiva (PINTUCO)		COSTO:\$14,54/galón Secamiento a 25°C y humedad relativa del 60% Rendimiento de 10 a 12 m ² /litro a un espesor de 1mm Para objetos metálicos sin contacto permanente con líquidos Secado al tacto de 3 a 4 horas

A continuación se realiza una tabla de ponderación con los criterios de evaluación del subsistema. En la Tabla 21 se observa los valores de la ponderación. El criterio con mayor valor, es el más importante en el momento de la selección. Finalmente se realiza una evaluación de cada criterio, para así obtener la solución viable.

Tabla 21
Ponderación de criterios de evaluación para el subsistema 1 del módulo 2

Criterio	Costos	Vida útil	Implementación	Disponibilidad	$\Sigma+1$	Pondera.
Costos	-	0	5	0	6	0,21
Vida útil	5	-	5	2,5	13,5	0,47
Implementación	0	0	-	5	6	0,21
Disponibilidad	2,5	0	0	-	3,5	0,12
				Σ	31,5	1,00

Tabla 22
Ponderación de costos para las alternativas de diseño del subsistema 1 del módulo 2

Costos	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Pondera.
Solución A	-	0	0	1	0,06
Solución B	5	-	0	6	0,39
Solución C	5	2,5	-	8,5	0,55
			Σ	15,5	

Tabla 23
Ponderación de vida útil para las alternativas de diseño al subsistema 1 del módulo 2

Vida útil	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Pondera.
Solución A	-	2.5	5	8.5	0,65
Solución B	0	-	2.5	3.5	0,27
Solución C	0	0	-	1	0,08
			Σ	13	

Tabla 24
Ponderación de implementación para las alternativas de diseño al subsistema 1 del módulo 2

Implementación	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Pondera.
Solución A	-	2,5	2,5	6	0,33
Solución B	2,5	-	0	3,5	0,19
Solución C	5	2,5	-	8,5	0,48
			Σ	18	

Tabla 25
Ponderación de disponibilidad para las alternativas de diseño al subsistema 1 del módulo 2

Disponibilidad	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Pondera.
Solución A	-	2,5	2,5	6	0,39
Solución B	2,5	-	0	3,5	0,22
Solución C	2,5	2,5	-	6	0,39
			Σ	15,5	

Tabla 26
Conclusión en la selección de alternativas de diseño para el subsistema 1 del módulo 2

	Costos	Vida útil	Implementación	Disponibilidad	Σ	Prioridad
Solución A	0,012	0,303	0,068	0,047	0,43	43%
Solución B	0,081	0,126	0,039	0,027	0,27	27%
Solución C	0,114	0,03	0,09	0,047	0,28	28%
				Σ	1,00	

La solución seleccionada es la de utilizar pintura anticorrosiva y convertidor ANTIOX de pinturas CONDOR. A pesar de que resulta ligeramente más cara que las otras opciones, su rendimiento y durabilidad hacen que resalte como posible solución. Las otras opciones no tenían un buen rendimiento en superficies en contacto con líquidos. ANTIOX por sus propiedades, convierte la capa oxidada en una barrera anticorrosiva. Teniendo una vida útil prolongada incluso en superficies en contacto con líquido permanentemente.

3.4.2. Subsistema 2. Sensor de temperatura.

Para el correcto funcionamiento del láser, es necesario que la temperatura del agua se encuentre por debajo de 28° C. Por lo que es imperativo controlar dicha temperatura, para lograr tal objetivo se necesita de un sensor de temperatura. El sensor realizará la adquisición de los valores de la temperatura del agua en determinado tiempo facilitando la tarea de realizar el control de temperatura del líquido.

3.4.2.1. Selección de alternativas

Existen 2 opciones a ser tomadas en cuenta, que se presentan a continuación:

Sensor Digital

Un sensor digital es aquel que frente a un estímulo, cambia de un estado a otro (de 0 a 1) sin pasar por estados intermedios. Para realizar la adquisición de señales, un sensor digital convierte una señal continua analógica en una señal discreta. Solo se pueden obtener dos valores de voltaje, 0 o 5V, o valores que se aproximen en gran medida.

Ventajas

- Mayormente utilizados en la industria.
- Soportan condiciones de trabajo adversas.
- Alta precisión y sensibilidad.

Desventajas

- Alto costo
- Baja resistividad en modelos más básicos

Sensor Analógico

Tales sensores otorgan como salida una señal analógica continua que en valor, es proporcional a la señal medida. La señal de salida del sensor puede tomar cualquier valor dentro un rango.

Ventajas

- Bajo Costo

- Interface sencilla

Desventajas

- Limitado rango de temperatura
- Experimentan auto-calentamiento.
- Dificultad para implementar.
- Precisión limitada

3.4.2.2. Evaluación y selección de alternativas


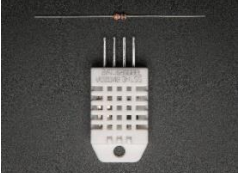
El sensor de temperatura digital resulta ser una solución. Puesto que cumple con los requerimientos del sistema de refrigeración. Algunos aspectos relevantes a tomar en cuenta para su elección, son:

- El sensor digital otorga mayor precisión y sensibilidad, frente al uso de un sensor analógico.
- La implementación de un sensor de temperatura digital resulta ser un proceso más sencillo que la implementación de un sensor analógico.
- La conexión de un sensor de temperatura digital a la placa de control se da de forma directa, mientras que para un sensor analógico se debe hacer uso de conversores A/D, para poder enviar la señal de salida a la placa de control
- El encapsulado que algunos sensores de temperatura digital poseen, permiten que puedan trabajar bajo condiciones adversas, como sumergidos en agua destilada. Algo que un sensor analógico no podría cumplir, ya que algunos de sus componentes corren el riesgo de oxidarse.

Las alternativas más destacadas para la selección del sensor de temperatura digital, se muestran en la Tabla 27

Tabla 27
Alternativas para el sensor de temperatura digital.

	SOLUCIÓN	IMAGEN	CARACTERÍSTICAS
A	MCP9808 Sensor de temperatura de alta precisión		COSTO: \$4,95 Alta precisión: 0.0625°C Conexión mediante BUS I2C Corriente típica de operación: 200 μ A Rango de temperatura: -40 a 125°C

B	DS18B20 Sensor de temperatura digital		COSTO: \$9,95 Resistencia a la sumersión en agua. Recubierto en PVC Rango de temperatura: -55 a 125°C Resolución de 9 a 12 bits Precisión: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ de -10°C a $+85^{\circ}\text{C}$
C	DHT22 Sensor de temperatura y humedad		COSTO:\$9,95 Máxima corriente: 2.5mA Rango de temperatura: -40° a 80°C Precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ Voltaje de alimentación de 3 a 5 V

A continuación se realiza una tabla de ponderación con los criterios de evaluación del subsistema. En la Tabla 28 se observa los valores de la ponderación.

Tabla 28
Ponderación de criterios de evaluación para el subsistema 2 del módulo 2

Criterio	Costos	Precisión	Implementación	Sumergibilidad	$\Sigma+1$	Pondera.
Costos	-	0	5	0	6	0,23
Precisión	2,5	-	5	0	8,5	0,32
Implementación	2,5	0	-	0	3,5	0,13
Sumergibilidad	2,5	2,5	2,5	-	8,5	0,32
				Σ	26,5	1,00

Tabla 29
Ponderación de costos para las alternativas de diseño del subsistema 2 del módulo 2

Costos	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Pondera.
Solución A	-	5	2,5	8,5	0,47
Solución B	2,5	-	2,5	6	0,33
Solución C	0	2,5	-	3,5	0,19
			Σ	18	

Tabla 30
Ponderación de Precisión para las alternativas de diseño al subsistema 2 del módulo 2

Precisión	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Pondera.
Solución A	-	2,5	2,5	6	0,48
Solución B	1	-	2,5	4,5	0,36
Solución C	0	1	-	2	0,16
			Σ	12,5	

Tabla 31
Ponderación de implementación para las alternativas de diseño al subsistema 2 del módulo 2

Implementación	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Pondera.
----------------	------------	------------	------------	------------	----------

Solución A	-	0	2,5	3,5	0,21
Solución B	5	-	2,5	8,5	0,52
Solución C	2,5	1	-	4,5	0,27
			Σ	16,5	

Tabla 32
Ponderación de sumergibilidad para las alternativas de diseño al subsistema 2 del módulo 2

Sumergibilidad	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Pondera.
Solución A	-	0	2,5	3,5	0,19
Solución B	5	-	5	11	0,61
Solución C	2,5	0	-	3,5	0,19
			Σ	18	

La solución se muestra en la Tabla 33

Tabla 33
Conclusión en la selección de alternativas de diseño para el subsistema 2 del módulo 2

	Costos	Vida útil	Implementación	Disponibilidad	$\Sigma+1$	Prioridad
Solución A	0,11	0,15	0,03	0,06	0,35	35%
Solución B	0,08	0,12	0,07	0,20	0,45	45%
Solución C	0,04	0,05	0,04	0,06	0,19	19%
				Σ	1,00	

La solución se muestra en la Tabla 33

Tabla 33 El sensor a usar para la adquisición de los valores de la temperatura del agua destilada en el sistema de refrigeración, es un termómetro digital DALLAS DS18B20 con resistencia al agua. Por otro lado es el sensor con menor precisión entre los listados, sin embargo para su aplicación en el proyecto la precisión es uno de los aspectos menos importantes, y con la precisión con la que cuenta el sensor Dallas es suficiente para cubrir las necesidades del sistema. El tipo de control que se usa con dicho sensor en el sistema es de lazo cerrado, puesto que se retroalimenta de las mediciones que va adquiriendo de la temperatura del agua para realizar las acciones predeterminadas cuando se alcanza el límite máximo de temperatura. Algunas de las características del sensor se detallan a continuación.

Relación entre temperatura y la salida digital del sensor.

En la Figura 32 se describe la relación exacta existente entre la señal de salida entregada por el sensor y la temperatura medida, asumiendo que el sensor está trabajando con 12 bits de resolución, datos obtenidos de su hoja técnica, véase Anexo B.

2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰	2 ⁻¹	2 ⁻²	2 ⁻³	2 ⁻⁴	LSB
MSb				(unit = °C)				LSb
S	S	S	S	S	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	MSB

TEMPERATURE	DIGITAL OUTPUT (Binary)	DIGITAL OUTPUT (Hex)
+125°C	0000 0111 1101 0000	07D0h
+85°C	0000 0101 0101 0000	0550h*
+25.0625°C	0000 0001 1001 0001	0191h
+10.125°C	0000 0000 1010 0010	00A2h
+0.5°C	0000 0000 0000 1000	0008h
0°C	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5°C	1111 1111 1111 1000	FFF8h
-10.125°C	1111 1111 0101 1110	FF5Eh
-25.0625°C	1111 1110 0110 1111	FF6Fh
-55°C	1111 1100 1001 0000	FC90h

*The power on reset register value is +85°C.

Figura 32: Relación entre la temperatura y la salida digital del sensor.

Descripción de pines.

En la Figura 33 se observa la asignación de los pines del sensor.

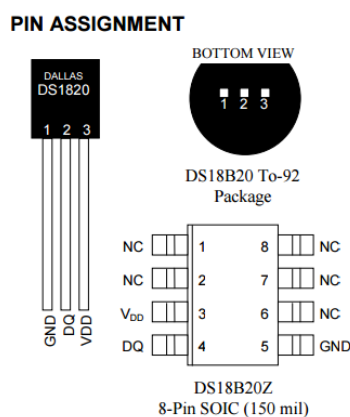


Figura 33: Pines del sensor Dallas DS1820 a la izquierda y DS18B20Z en la parte inferior derecha.

Tabla 34
Descripción de pines del sensor Dallas DS1820.

PIN	Denominación	Tipo	Descripción
(DS1820)			
1	GND	Alimentación	Tierra
2	DQ	Entrada/Salida	Pin de entrada y salida de datos.
3	VDD	Entrada	Pin V _{DD} opcional.

Curva Típica de Rendimiento:

En la Figura 34 se muestra la curva de error típico del sensor de temperatura Dallas DS18B20, donde se puede observar valores de error de acuerdo a la temperatura y la desviación estándar que existe de aquel error.

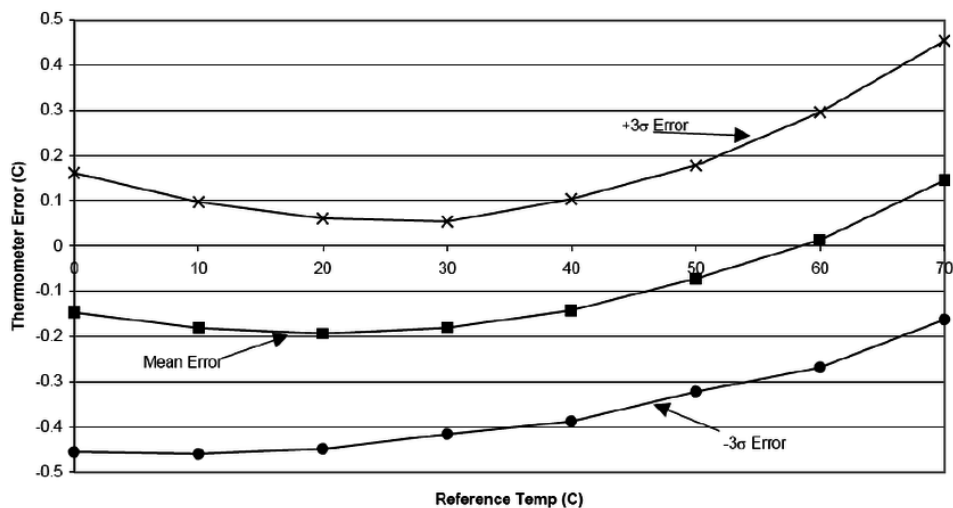


Figura 34: Curva Típica de rendimiento.

Características específicas.

- Longitud del cable: 1 m.
- Punta de prueba de acero inoxidable de 6 mm x 30 mm
- Voltaje de alimentación: 3.0 V a 5.5 V.
- Rango de temperatura: -55 °C a +125 °C
- Temperatura de almacenamiento: -55 °C a +125 °C
- Precisión: de -10 °C a +85 °C ± 0.5 °C
- Cables de salida: Rojo (VCC), Azul (DATA), Negro (GND)
- Sumergible
- Resolución ajustable de 9 a 12 bits
- Cada dispositivo cuenta con un código serial único de 64-bit almacenado en su memoria ROM.

3.4.3. Subsistema 3. Filtro.

El flujo de agua que pasa por el tubo láser durante el maquinado, debe de estar libre de impurezas para evitar la aparición de fallas en el sistema. Por lo que es recomendable acondicionar una etapa de filtrado en la entrada de agua del tubo láser.

3.4.3.1. Selección de dispositivos.

Existen múltiples opciones, en lo que se refiere a sistemas de filtrado de agua que pueden ser tomadas en cuenta y se presentan a continuación:

Filtro de osmosis inversa

Es uno de los sistemas para filtrado de agua más usados. El proceso de purificación o filtrado de agua se realiza en tres etapas diferentes. En primer lugar se elimina cualquier sedimento de gran tamaño mediante un colador. Luego se elimina el sedimento restante mediante una membrana. Finalmente el agua pasa por un filtro de carbono para eliminar la mayor cantidad de contaminantes presentes.

Ventajas

- Fácil instalación
- Bajo Costo.
- Alto rendimiento

Desventajas

- Tarda mucho tiempo en el proceso de filtrado
- Devuelve entre el 5 y el 15% de agua
- Requiere una fuerza para empujar el agua a través del filtro

Filtro de Luz Ultravioleta

En este tipo de filtros de agua, el agua va pasando poco a poco a través de una lámpara que emite rayos ultravioleta, los cuales se deshacen del mayor número de bacterias (sin deshacerse de las partículas sólidas) de esta forma no pasarán al agua que posteriormente debe ser utilizada por los humanos.

Ventajas

- Disponibilidad

Desventajas

- No elimina partículas sólidas

- Dificultad de implementación
- Complemento de otros sistemas de filtrado

Filtro de combustible

El filtro colador es un filtro mayormente usado en combustibles, consisten en mallas que permiten el paso del líquido y no de las impurezas presentes.

Ventajas

- Bajo Costo
- Alta disponibilidad
- Facilidad de implementación

Desventajas

- Se requiere realizar mantenimiento con frecuencia
- Está diseñado para el uso en combustibles

3.4.3.2. Evaluación y selección de alternativas

Debido al hecho de que el agua destilada dentro del sistema de refrigeración, no se encuentra en contacto con agentes contaminantes ni grandes cantidades de partículas sólidas, se opta por elegir un filtro de combustible. Los siguientes son los aspectos relevantes para la decisión.

- El proceso de filtrado por luz ultravioleta es usado en agua para consumo humano para eliminar microbios y bacterias, sin eliminar partículas sólidas. Por lo que su uso no es el adecuado dentro del proyecto, ya que se requiere eliminar partículas sólidas y no microbios ni bacterias.
- El proceso de filtrado por osmosis inversa, devuelve un pequeño porcentaje del agua que entra al filtro, además de que el tiempo de filtrado es alto. Por tal razón no es recomendable usarlo para el sistema de refrigeración, ya que se necesita un caudal constante de agua para el funcionamiento del tubo láser.
- El filtro de gasolina, aunque no es específicamente para su uso en agua, ofrece la solución al problema. Puesto que filtra el agua destilada con un alto rendimiento,

y en mucho menor tiempo que el filtro por osmosis inversa. Además solo busca filtrar las partículas sólidas, a diferencia del filtrado por luz ultravioleta.

- El Filtro de gasolina cuenta con una mayor disponibilidad, además de que su costo es menor al de los otros sistemas de filtrado.

El filtro seleccionado, es un filtro de gasolina/alcohol universal de Jetronic de la marca BOSCH, que cuenta con las siguientes características:

- Impermeabilidad absoluta del filtro, lo que elimina la presencia de fugas de agua.
- Cuenta con un cuerpo de plástico, lo que anula el efecto de oxidación.
- Puede usarse con mangueras de $\frac{1}{2}$ " y $\frac{1}{4}$ ".
- Uso de papel filtrante
- Carcasa semitransparente en poliamida.
- Alto grado de separación de impurezas
- Alta capacidad de absorción de partículas
- Protección de los componentes evitando desgaste prematuro.



Figura 35: Filtro Universal de Gasolina/Alcohol JETRONIC de BOSCH

3.4.4. Subsistema 4. Bomba de agua.

Es necesario que exista una circulación del agua destilada a través del tubo láser. Para que lo anterior se cumpla se requiere del uso de una bomba de agua que cubra los requisitos esenciales, para su funcionamiento dentro del sistema de refrigeración.

3.4.4.1. Selección de dispositivos

Puesto que existen limitaciones dentro del contenedor, en cuanto se refiere a espacio, lo más loable es usar una bomba de pequeñas dimensiones que pueda permanecer sumergida en el agua destilada. Así que se opta por el uso de una bomba sumergible del tipo centrífuga.

Tales bombas mueven cierto volumen de líquido, entre dos niveles. Son máquinas que transforman un trabajo mecánico en uno hidráulico.

Ventajas

- No tiene elementos articulados.
- No se requiere dispositivo regulador
- Bajo costo
- Requiere poco mantenimiento

Desventajas

- No ceban automáticamente
- Tienen menor presión final en relación con las bombas de pistón
- Rendimiento bajo.

3.4.4.2. Evaluación y selección de alternativas

Las alternativas más destacadas para la selección de la bomba de agua sumergible, se muestran en la Tabla 35.

Tabla 35
Alternativas para la selección de la bomba de agua sumergible del tipo centrífuga.

SOLUCIÓN	IMAGEN	CARACTERÍSTICAS
A Submersible Aquarium Water Pump HJ-1542		COSTO: \$24,99 Caudal: 1400L/h Voltaje de Alimentación AC: 110V Peso: 0.75Kg Control ajustable de flujo.
B Submersible Aquarium Water Pump (Aquaneat)		COSTO: \$9,95 Caudal: 800L/h Se puede usar en agua salada, mineralizada, destilada, etc. Potencia: 15W

C	Submersible Aquarium Water Pump (SUNSUN)		Control ajustable de flujo
			Voltaje de alimentación AC: 110V
			COSTO:\$9,95
			Caudal: 500L/h
			Se puede usar en agua salada, mineralizada, destilada, etc.
			Potencia: 9W
			No tiene control de flujo.

A continuación se realiza una tabla de ponderación con los criterios de evaluación del subsistema. En la Tabla 36 se observa los valores de la ponderación.

Tabla 36
Ponderación de criterios de evaluación para el subsistema 4 del módulo 2

Criterio	Costos	Implementación	Caudal	Sumergibilidad	$\Sigma+1$	Pondera.
Costos	-	5	2,5	0	8,5	0,28
Implementación	2,5	-	1	0	4,5	0,15
Caudal	2,5	2,5	-	0	6	0,20
Sumergibilidad	5	2,5	2,5	-	11	0,37
				Σ	30	1,00

Tabla 37
Ponderación de costos para las alternativas de diseño del subsistema 4 del módulo 2

Costos	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Pondera.
Solución A	-	2,5	0	3,5	0,19
Solución B	2,5	-	2,5	6	0,33
Solución C	5	2,5	-	8,5	0,47
			Σ	18	

Tabla 38
Ponderación de implementación para las alternativas de diseño al subsistema 4 del módulo 2

Implementación	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Pondera.
Solución A	-	1	1	3	0,15
Solución B	5	-	2,5	8,5	0,43
Solución C	5	2,5	-	8,5	0,43
			Σ	20	

Tabla 39
Ponderación de caudal para las alternativas de diseño al subsistema 4 del módulo 2

Caudal	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Pondera.
Solución A	-	1	2,5	4,5	0,30
Solución B	2,5	-	2,5	6	0,40
Solución C	2,5	1	-	4,5	0,30
			Σ	15	

Tabla 40
Ponderación de sumergibilidad para las alternativas de diseño al subsistema 4 del módulo 2

Sumergibilidad	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Pondera.
Solución A	-	1	2,5	4,5	0,30
Solución B	2,5	-	2,5	6	0,40
Solución C	2,5	1	-	4,5	0,30
			Σ	15	

Tabla 41
Conclusión en la selección de alternativas de diseño para el subsistema 4 del módulo 2

	Costos	Vida útil	Implementación	Disponibilidad	Σ	Prioridad
Solución A	0,06	0,02	0,06	0,11	0,25	25%
Solución B	0,09	0,06	0,08	0,15	0,38	38%
Solución C	0,13	0,06	0,06	0,11	0,37	37%
				Σ	1,00	

De acuerdo a los resultados que se muestran en la Tabla 41. Existe un pequeño margen de ventaja de la solución B respecto a la C. Lo que se da debido a la similitud entre sus características, escogiendo la opción B, que es una bomba de agua sumergible modelo HJ-1542, de fabricación china. Ya que cuenta con un control variable de flujo, algo con lo que la opción C no cuenta.

Algunas características de la bomba se detallan a continuación.

- Altura máxima de elevación del fluido de 160 m.
- Voltaje: 110-120 V a 60 Hz
- Se adapta a tubos de ½" de diámetro interior.
- Dimensiones: 76 mm x 50 mm x 64 mm
- Trabaja perfectamente en agua destilada
- Potencia: 15 W.

3.4.5. Diseño final

3.4.5.1. Diseño mecánico

Se debe diseñar un sistema de refrigeración de bajo costo, con funciones similares a un chiller industrial. Además debe permanecer dentro de la plataforma con facilidad para realizar el mantenimiento necesario. La bomba que se usa en el sistema para la circulación del agua

destilada es uno de los elementos más importantes, junto con el sistema de enfriamiento que se usa dentro de la plataforma.

El sistema de enfriamiento que usa un chiller industrial basa su funcionamiento en la transferencia de calor por convección forzada. Para realizar lo antes mencionado se necesita de un ventilador comercial que pueda cumplir ciertos requerimientos para su uso dentro del sistema de enfriamiento.

Un ventilador para sistemas de refrigeración usados en frigoríficos, es suficiente para solucionar dicho problema, ya que además de ser usado normalmente para sistemas de refrigeración, tiene un tamaño compacto que permite poder instalarlo dentro de la plataforma. Véase Figura 36.

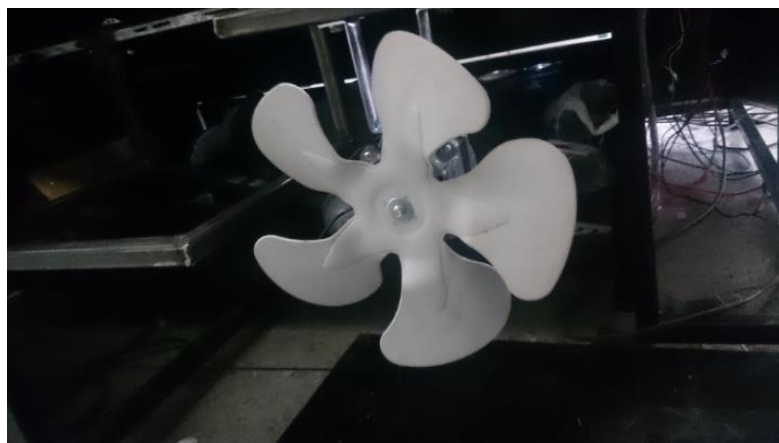


Figura 36: Ventilador para sistema de refrigeración.

Los siguientes datos, se refieren a especificaciones del ventilador seleccionado para el sistema de refrigeración:

- Voltaje AC: 110 V
- Revoluciones por minuto: 1300 RPM
- Diámetro exterior: 250 mm

Para encontrar la velocidad específica del aire expulsado por un ventilador se usa la ecuación 3.1.

$$V_{aire} = \frac{\Phi_{aspa} \times RPM \times \pi}{720} \quad (3.1)$$

Ecuación tomada del libro “*Transferencia de Calor*” (Saiz J., 2012)

En donde:

V_{aire} : Velocidad específica del aire.

ϕ_{aspa} : Diámetro entre aspas.

RPM: Revoluciones por minuto del motor del ventilador.

Como ya se tiene los valores de tales variables, se procede a reemplazar en la ecuación.

$$V_{aire} = \frac{\left(\frac{250}{25.4}\right) * 1300 * \pi}{720}$$

$$V_{aire} = 17.075 \left[\frac{m}{s}\right]$$

En la plataforma se tiene un intercambiador de calor en el que se realiza el enfriamiento de agua destilada para su posterior circulación en el láser. Dentro del intercambiador se tiene un ducto de cobre de una longitud de 14 metros y un diámetro interior de 9 mm.

Se realizan los cálculos necesarios para concluir si el intercambiador existente es suficiente para realizar el enfriamiento del agua destilada.

Para lo cual se toma en cuenta los datos que se muestran a continuación para su aplicación en las ecuaciones:

- El agua destilada debe tener un flujo de 5 l/min para que el tubo del láser funcione eficientemente.
- La temperatura del agua destilada dentro del tubo láser debe ser menor a 28 °C para que no haya daños en el tubo láser.
- Según los requerimientos de funcionamiento del tubo láser la velocidad de desplazamiento del agua destilada debe ser de alrededor 1.3 m/s.
- Dentro del sistema de refrigeración existe la presencia de aire, que debe estar a 15°C
- La velocidad de desplazamiento del aire en el ventilador es de 17.075 m/s
- La viscosidad cinemática de: a) Agua destilada, $1.003 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ y b) Aire, $1.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

- La viscosidad dinámica de: a) Agua destilada, 1.003×10^{-3} kg/m.s y b) Aire, 1.5×10^{-5} kg/m.s. [Tabla 42]
- La conductividad térmica de: a) Agua destilada, 0.58 W/m.K, b) Aire, , 0.026 W/m.K y c) Cobre, 385 W/m.K. (Mataix, 1986)
- El calor específico de: a) Agua destilada, 4186.8 J/Kg.°K, b) Aire, , 1012 J/Kg.°K y c) Cobre, 390 J/Kg.°K. (Mataix, 1986)

Tabla 42:
Viscosidad de los fluidos.

TEMPERATURA (°C)	Viscosidad dinámica (poises)	Viscosidad cinemática (Stokes)	Viscosidad Dinámica (N·s/m ²)	Viscosidad Cinemática (m ² /s)	Viscosidad Dinámica (kg·s/m ²)
15	$1.139 \cdot 10^{-2}$	$1.140 \cdot 10^{-2}$	$1.139 \cdot 10^{-3}$	$1.140 \cdot 10^{-6}$	$1.161 \cdot 10^{-4}$
16	$1.109 \cdot 10^{-2}$	$1.110 \cdot 10^{-2}$	$1.109 \cdot 10^{-3}$	$1.110 \cdot 10^{-6}$	$1.130 \cdot 10^{-4}$
17	$1.081 \cdot 10^{-2}$	$1.082 \cdot 10^{-2}$	$1.081 \cdot 10^{-3}$	$1.082 \cdot 10^{-6}$	$1.102 \cdot 10^{-4}$
18	$1.053 \cdot 10^{-2}$	$1.054 \cdot 10^{-2}$	$1.053 \cdot 10^{-3}$	$1.054 \cdot 10^{-6}$	$1.073 \cdot 10^{-4}$
19	$1.027 \cdot 10^{-2}$	$1.029 \cdot 10^{-2}$	$1.027 \cdot 10^{-3}$	$1.029 \cdot 10^{-6}$	$1.047 \cdot 10^{-4}$
20	$1.002 \cdot 10^{-2}$	$1.004 \cdot 10^{-2}$	$1.002 \cdot 10^{-3}$	$1.004 \cdot 10^{-6}$	$1.021 \cdot 10^{-4}$
21	$0.9779 \cdot 10^{-2}$	$0.9799 \cdot 10^{-2}$	$0.978 \cdot 10^{-3}$	$0.980 \cdot 10^{-6}$	$0.997 \cdot 10^{-4}$
22	$0.9548 \cdot 10^{-2}$	$0.9569 \cdot 10^{-2}$	$0.954 \cdot 10^{-3}$	$0.957 \cdot 10^{-6}$	$0.973 \cdot 10^{-4}$
23	$0.9325 \cdot 10^{-2}$	$0.9348 \cdot 10^{-2}$	$0.932 \cdot 10^{-3}$	$0.935 \cdot 10^{-6}$	$0.951 \cdot 10^{-4}$
24	$0.9111 \cdot 10^{-2}$	$0.9136 \cdot 10^{-2}$	$0.911 \cdot 10^{-3}$	$0.914 \cdot 10^{-6}$	$0.929 \cdot 10^{-4}$

Fuente: (Mataix, 1986)

Las siguientes ecuaciones fueron tomadas del libro “*Transferencia de calor*” (Saiz J., 2012)

Con la ecuación 3.2 es posible obtener el número de Reynolds.

$$Re = \frac{V \times d}{\nu} \quad (3.2)$$

De donde:

- V: Velocidad de desplazamiento del agua destilada.
- d: Diámetro interior del ducto de cobre.
- ν : Viscosidad Cinemática del agua destilada.

Con la ecuación 3.3 en cambio se obtiene el número de Prandlt

$$Pr = \frac{\mu \times c}{K} \quad (3.3)$$

De donde:

- μ : Viscosidad Dinámica del agua destilada.
- c : Calor Específico del agua destilada.
- K : Conductividad Térmica del agua destilada.

Con los valores ya mencionados se reemplaza en cada ecuación respectivamente para encontrar los números de Reynolds y Prandlt. Comenzando con el número de Reynolds, se tiene que:

$$Re = \frac{1.30 \times 0.009}{1.003 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 11665.01$$

Y para el número de Prandlt se tiene:

$$Pr = \frac{1.003 \times 10^{-3} \times 4186.8}{0.58}$$

$$Pr = 7.24$$

Ambos números son adimensionales, al igual que el número de Nusselt para el agua que se calcula a continuación, usando la ecuación 3.4.

$$Nusselt_{agua} = 0.023(Re)^{0.8} \times (Pr)^{0.3} \quad (3.4)$$

De donde:

Re: Número de Reynolds

Pr: Número de Prandlt.

Reemplazando los valores de ambos números en la ecuación, se tiene.

$$Nusselt_{agua} = 0.023(11665.01)^{0.8} \times (7.24)^{0.3}$$

$$Nusselt_{agua} = 4.498$$

h_i , se refiere al coeficiente de transferencia de calor por convección del agua destilada, tal valor se calcula con la ecuación 3.5.

$$h_i = \frac{Nusselt \times K}{d} \quad (3.5)$$

De donde:

- Nusselt: Número de Nusselt del agua destilada.
- K: Conductividad térmica del agua destilada.
- d: Diámetro interno del ducto de cobre.

Al reemplazar los valores mencionados en la ecuación, se obtiene:

$$h_i = \frac{4.498 \times 0.58}{0.009}$$

$$h_i = 289.88 \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right]$$

Se realiza el mismo procedimiento para encontrar el coeficiente de transferencia de calor por convección del aire, con una variación en la ecuación para el número de Reynolds como se muestra en la ecuación 3.6

$$Re = \rho \times V_{aire} \times \frac{d}{\mu} \quad (3.6)$$

Donde:

- Re: Numero de Reynolds del aire.
- ρ : Densidad del aire = 1.2 Kg/m³.
- d: Diámetro exterior del ducto de cobre.
- μ : Viscosidad Dinámica del aire.

Al reemplazar tales valores, se obtiene.

$$Re = 1.2 \times 17.075 \times \frac{0.01}{1.8 \times 10^{-5}}$$

$$Re = 11345.53$$

En cuanto a la ecuación para el número de Prandtl del aire es el mismo que el del agua destilada, como se mostró en la ecuación 3.3. Por lo que se reemplazan valores y se obtiene:

$$Pr = \frac{1.5 \times 10^{-5} \times 1012}{0.026}$$

$$Pr = 0.584$$

Para el aire, la ecuación para el número de Nusselt es diferente a la del agua destilada, aunque sigue estando en función de los números de Reynolds y Prandtl, su estructura varía como se muestra en la ecuación 3.7

$$Nusselt = 0.3 + \frac{0.62(Re)^{0.5}(Pr)^{1/3}}{\left[1 + \left(\frac{0.4}{0.5}\right)^{2/3}\right]^{1/4}} \times \left[1 + \left(\frac{Re}{282000}\right)^{5/8}\right]^{4/5} \quad (3.7)$$

Al reemplazar los valores, se obtiene:

$$Nusselt = 0.3 + \frac{0.62(11345.53)^{0.5}(0.584)^{1/3}}{\left[1 + \left(\frac{0.4}{0.5}\right)^{2/3}\right]^{1/4}} \times \left[1 + \left(\frac{11345.53}{282000}\right)^{5/8}\right]^{4/5}$$

$$Nusselt = 53.213$$

La ecuación 3.8 se usa para obtener el valor del coeficiente de transferencia por convección del aire.

$$h_e = \frac{Nusselt \times K}{d} \quad (3.8)$$

De donde:

- h_e : Coeficiente de transferencia de calor por convección del aire.
- K : Conductividad térmica del aire.
- d : Diámetro exterior del ducto de cobre.

Al reemplazar valores, se obtiene:

$$h_e = \frac{53.213 \times 0.026}{0.01}$$

$$h_e = 138.38 \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right]$$

Según las especificaciones de un chiller industrial, el calor cedido por el agua al aire debe ser de 50W por cada grado centígrado. Tomando tal valor se puede llegar a verificar si la longitud del ducto de cobre presente en el intercambiador del sistema de refrigeración es el adecuado.

La ecuación 3.9 se usa para obtener el valor del coeficiente global de transferencia de calor entre el agua y el aire.

$$Q_{TOTAL} = U \times A_i \times (T_{agua} - T_{aire}) \quad (3.9)$$

Ecuación tomada del libro “*Mecánica de Fluidos y máquinas hidráulicas*” (Mataix, 1986)

De donde:

- Q_{total} : Calor cedido por el agua destilada al aire (50W)
- A_i : Sección interior del ducto de cobre.
- U : Coeficiente global de transferencia de calor.
- T_{agua} : Temperatura del agua en grados Kelvin.
- T_{aire} : Temperatura del aire en grados Kelvin.

Así se despeja la variable del coeficiente global de transferencia de calor, de la ecuación y se reemplaza los valores requeridos.

$$U = \frac{Q_{TOTAL}}{A_i \times (T_{agua} - T_{aire})}$$

$$U = \frac{50}{6.4 \times 10^{-5} \times (301.2 - 288.2)}$$

$$U = 60474.15 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]$$

Una vez obtenido el coeficiente global de transferencia de calor entre el agua y el aire. Se procede a verificar la longitud de la tubería de cobre con la ayuda de la ecuación 3.10. En la cual se expresa otra forma de obtener el coeficiente global de transferencia de calor, en base a la longitud del ducto.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)}{2\pi \times K_{cobre} \times L} + \frac{1}{h_e A_e}} \quad (3.10)$$

De donde:

- h_i : Coeficiente de transferencia de calor por convección del agua destilada.
- A_i : Área interior de la pared del ducto de cobre.
- K_{cobre} : Conductividad térmica del ducto de cobre.
- L : Longitud del ducto de cobre.
- h_e : Coeficiente de transferencia de calor por convección del aire.
- A_e : Área exterior de la pared del ducto de cobre.
- r_e : radio exterior del ducto de cobre.
- r_i : radio interior del ducto de cobre.
- U : Coeficiente global de transferencia de calor entre el agua y el aire.

Se observa que tanto A_i como A_e , dependen de L , despejando, se tiene:

$$L = U \times \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{h_i r_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)}{K_{cobre}} + \frac{1}{h_e r_e} \right)$$

Reemplazando los valores correspondientes:

$$L = 60474.15 \times \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{289.87 \times 9} + \frac{\ln\left(\frac{5}{4.5}\right)}{385} + \frac{1}{138.26 \times 10} \right)$$

$$L = 13.3 [m]$$

El valor teórico de la longitud que debe tener el ducto de cobre para que el sistema de refrigeración trabaje de forma eficiente debe ser de 13.3 metros. La longitud del ducto presente en la plataforma es de 14 metros con lo que se cubre el requerimiento obtenido teóricamente. Siendo su uso adecuado para el sistema de refrigeración a diseñar.

Al igual que con el ducto de cobre del intercambiador de calor, se debe verificar si la bomba de agua seleccionada puede desempeñarse de forma eficiente dentro del sistema de refrigeración de la plataforma de corte láser.

Los siguientes datos son requeridos para los cálculos de verificación de la bomba de agua.

- Diámetro interior de la tubería para el agua destilada de 5 mm
- Velocidad de desplazamiento del agua destilada por la tubería de 4.24 m/s.
- Longitud de la tubería de 2 m.
- Coeficiente de fricción de Hazen-Williams de la tubería de plástico. $C=150$ (Levenspiel, 1993)
- Caudal de agua destilada de 5 l/min.
- Diámetro interior del ducto de cobre de 9 mm.
- Velocidad de desplazamiento del agua por el ducto de cobre de 1.3 m/s
- Coeficiente de fricción de Hazen Williams para el ducto de cobre. $C=130$ (Levenspiel, 1993)
- Longitud del ducto de cobre de 14 m.
- Tubería de cristal dentro del tubo láser de diámetro interior de 10 mm y exterior de 20 mm.
- Velocidad de desplazamiento del agua destilada dentro de la tubería de cristal de 0.35 m/s.
- Coeficiente de fricción de Hazen-Williams de la tubería de cristal. $C = 140$. (Levenspiel, 1993).
- Longitud de la tubería de cristal de 1 m.

Se debe encontrar las pérdidas dentro del circuito, haciendo uso del método de Hazen-Williams. En la ecuación 3.11 tomada del libro *“Flujo de fluidos e intercambio de calor”* (Levenspiel, 1993), se presenta la forma de obtener las pérdidas por flujo turbulento.

$$J = 10.679 \times (C)^{-1.85} \times (\phi)^{-4.87} \times (Q)^{1.85} \quad (3.11)$$

De donde:

- J: Pérdidas por flujo turbulento.
- C: Coeficiente de fricción de Hazen-Williams.
- ϕ : Diámetro de tubería [m].
- Q: Caudal [m^3/s]

Se reemplazan los valores correspondientes para la obtención de las pérdidas por flujo turbulento de las tuberías de cobre, plástico y cristal, respectivamente.

$$J_{Cu} = 10.679 \times (130)^{-1.85} \times (0.009)^{-4.87} \times (8.33 \times 10^{-5})^{1.85}$$

$$J_{Cu} = 0.342$$

$$J_{plástico} = 10.679 \times (150)^{-1.85} \times (0.005)^{-4.87} \times (8.33 \times 10^{-5})^{1.85}$$

$$J_{plástico} = 4.56$$

$$J_{cristal} = 10.679 \times (140)^{-1.85} \times (0.01)^{-4.87} \times (8.33 \times 10^{-5})^{1.85}$$

$$J_{cristal} = 0.178$$

Los valores de pérdidas por flujo turbulento son de utilidad, para encontrar las pérdidas por fricción de cada tubería. Haciendo uso de la ecuación 3.12 “*Turbulence in Pipes*”. (Smits, 2007)

$$H_f = J \times L \quad (3.12)$$

De donde:

- H_f : Pérdidas por fricción.
- L : Longitud de la tubería.

Reemplazando para cada tubería se tiene:

$$H_{f_{Cu}} = J_{Cu} \times L_{Cu}$$

$$H_{f_{Cu}} = 0.342 \times 14$$

$$H_{f_{Cu}} = 4.788 [m]$$

$$H_{f_{plástico}} = J_{plástico} \times L_{plástico}$$

$$H_{f_{plástico}} = 4.56 \times 2$$

$$H_{f_{plástico}} = 9.12 [m]$$

$$H_{f_{cristal}} = J_{cristal} \times L_{cristal}$$

$$H_{f_{cristal}} = 0.178 \times 1$$

$$Hf_{cristal} = 0.178 [m]$$

Sumando todos los valores de pérdida por fricción, se obtiene el valor de la pérdida por fricción total del sistema.

$$Hf_{total} = Hf_{Cu} + Hf_{plástico} + Hf_{cristal}$$

$$Hf_{total} = 4.788 + 9.12 + 0.178$$

$$Hf_{total} = 14.086 [m]$$

Para poder encontrar el valor de la pérdida por singularidades se debe obtener primeramente el valor del número de Reynolds y la rugosidad relativa. Tales ecuaciones se muestran a continuación siendo la ecuación 3.13 para el número de Reynolds y la 3.14 para la rugosidad relativa. “*Flujo de fluidos e intercambio de calor*” (Levenspiel, 1993)

$$Re = \frac{V \times \phi}{\mu} \quad (3.13)$$

De donde:

- V: Velocidad del agua destilada [m/s]
- ϕ : Diámetro de tubería [m].
- μ : Viscosidad cinemática del agua destilada. ($1.003 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) [Tabla 42]

Se obtiene para cada tubería:

$$Re_{Cu} = \frac{1.3 \times 0.009}{1.003 \times 10^{-6}}$$

$$Re_{Cu} = 1.12 \times 10^4$$

$$Re_{plástico} = \frac{4.24 \times 0.005}{1.003 \times 10^{-6}}$$

$$Re_{plástico} = 2.1 \times 10^4$$

$$Re_{cristal} = \frac{0.35 \times 0.01}{1.003 \times 10^{-6}}$$

$$Re_{cristal} = 3.47 \times 10^3$$

La rugosidad relativa:

$$R_{rel} = \frac{\varepsilon}{\varnothing \times 1000} \quad (3.14)$$

De donde:

- R_{rel} : Rugosidad relativa.
- ε : Coeficiente de rugosidad de Manning del material.
- \varnothing : Diámetro de tubería.

En la Tabla 43 se presentan los valores de los coeficientes de rugosidad de Manning según el material de la tubería. (Mataix, 1986)

Tabla 43
Coeficientes de rugosidad de Manning para las tuberías.

Material	Coeficiente de rugosidad
Cobre	0.011
Plástico	0.008
Cristal	0.01

Reemplazando valores para cada tubería se tiene

$$R_{rel_{Cu}} = \frac{0.011}{0.009 \times 1000}$$

$$R_{rel_{Cu}} = 0.00122$$

$$R_{rel_{plástico}} = \frac{0.008}{0.005 \times 1000}$$

$$R_{rel_{plástico}} = 0.0016$$

$$R_{rel_{cristal}} = \frac{0.01}{0.01 \times 1000}$$

$$R_{rel_{cristal}} = 0.001$$

El diagrama de Moody mostrado en la Figura 37 permite determinar el valor de la fricción a partir de los valores ya calculados del número de Reynolds y la rugosidad relativa de cada material del que se constituyen las tuberías.

Para la correcta interpretación del diagrama se debe aproximar los valores de la rugosidad relativa a la curva que se encuentre más cerca.

Luego se intercepta la curva obtenida con la rugosidad relativa a la recta que se forma con el valor del número de Reynolds, obteniendo así los valores de fricción para cada tubería.

Los valores de fricción aproximados son los siguientes:

- Fricción en la tubería de cobre: $f_{Cu} = 0.032$
- Fricción en la tubería de plástico: $f_{plastico} = 0.028$
- Fricción en la tubería de cristal: $f_{cristal} = 0.042$

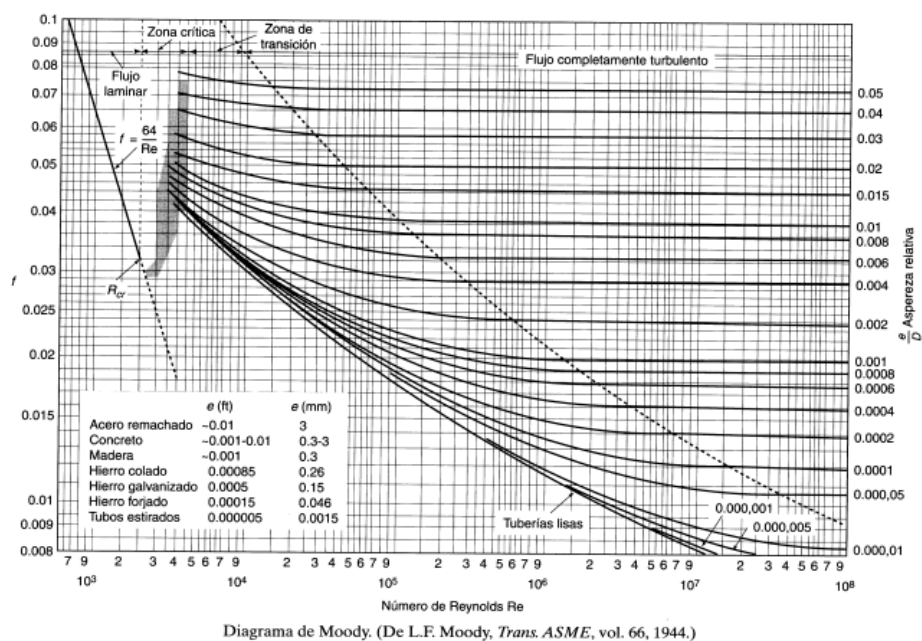


Figura 37: Diagrama de Moody.

Fuente: (Smits, 2007).

En la Tabla 44 se observan los valores necesarios de los coeficientes de pérdida por singularidades requeridos para calcular las pérdidas por singularidades de cada material.

Tabla 44
Coeficientes de pérdida por singularidades. Fuente: (Smits, 2007)

Singularidad	Cantidad	Coefficiente	Valor total
--------------	----------	--------------	-------------

Entrada	1	0.5	0.5
Salida	1	1	1
T (cristal)	2	1.2	2.4
Codo (Cu)	2	1.3	2.6

Con la ecuación 3.15 obtenida del libro “*transferencia de calor*” (Saiz J., 2012) es posible obtener el valor de las pérdidas por singularidades de las tuberías.

$$H_s = \frac{\sum K \times V^2}{2g} \times \frac{L}{\emptyset} \times f \quad (3.15)$$

De donde:

- Hs: Pérdidas por singularidades.
- K: Coeficiente de pérdida de cada singularidad.
- \emptyset : Diámetro de tubería.
- g: Gravedad.
- V: Velocidad del agua destilada.
- L: Longitud de tubería.
- f: Factor de fricción del diagrama de Moody.

Para cada tubería se tiene:

$$H_{S_{Cu}} = \frac{4.1 \times 1.3^2}{2 \times 9.8} \times \frac{14}{0.009} \times 0.032$$

$$H_{S_{Cu}} = 17.597 [m]$$

$$H_{S_{plástico}} = \frac{1.5 \times 4.24^2}{2 \times 9.8} \times \frac{4}{0.005} \times 0.028$$

$$H_{S_{plástico}} = 30.82 [m]$$

$$H_{S_{cristal}} = \frac{3.9 \times 0.35^2}{2 \times 9.8} \times \frac{1}{0.01} \times 0.042$$

$$H_{S_{cristal}} = 0.102 [m]$$

La pérdida de singularidades total del sistema, se obtiene sumando el valor de la pérdida de singularidades de cada tubería

$$H_{S_{total}} = H_{S_{Cu}} + H_{S_{plástico}} + H_{S_{cristal}}$$

$$H_{S_{total}} = 17.597 + 30.82 + 0.102$$

$$H_{S_{total}} = 48.52 [m]$$

Las pérdidas totales son la sumatoria de las pérdidas específicas, mostrada en la ecuación 3.16.

$$H_{Total} = H_f + H_s \quad (3.16)$$

$$H_{Total} = 14.086 + 48.52$$

$$H_{Total} = 62.6 [m]$$

Para poder verificar si la bomba seleccionada es la adecuada, se debe obtener una potencia teórica que ésta debe cubrir. Para realizar el cálculo de tal potencia, se debe usar la ecuación de Bernoulli para el cálculo de las pérdidas totales de la bomba como se muestra en la ecuación 3.17

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_B = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + H_{total} \quad (3.17)$$

Donde:

- P: Presión del sistema en el punto seleccionado.
- ρ : Densidad del agua destilada.
- g: Gravedad.
- V: Velocidad del fluido en el punto seleccionado.
- Z: Altura del punto de estudio respecto a un nivel de referencia.
- H_B : Pérdidas de la bomba.

La velocidad en los puntos seleccionados en el sistema se considera como estacionaria, y el nivel de referencia de la bomba es a 0.5 metros ya que se encuentra al mismo nivel de la base del contenedor. Hay que considerar que ambos puntos no se encuentran cerrados a presión. Tomando en cuenta tales puntos se modifica la ecuación 3.17 para que quede de la siguiente forma:

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

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$H_B = 0.5 + 62.6$$

$$H_B = 63.1 [m]$$

El valor de las pérdidas totales se encuentra en metros, haciendo referencia a metros de agua, una unidad de presión usada dentro de los sistemas de recirculación de agua. Por lo que se cambian sus unidades a una unidad de presión conocida como el Pascal:

$$H_B = 633.49 [kPa]$$

El valor teórico de la potencia nominal que debe tener la bomba se representa con la ecuación 3.18

Por lo tanto, con la ecuación 3.18 obtenemos la potencia nominal de la bomba.

$$P = Q \times H_B \quad (3.18)$$

De donde:

- P: Potencia de la bomba
- Q: Caudal necesario
- H_B: Presión a la que trabaja.

Reemplazando estos datos, se tiene:

$$P = 8.33 \times 10^{-5} \times 633.49 \times 10^3$$

$$P = 50.56 [W]$$

Se aplica al resultado un factor de seguridad de 2, con lo que la potencia de la bomba requerida es:

$$P = 101.12 [W]$$

Según las especificaciones de la bomba seleccionada en la evaluación de alternativas. La potencia de dicha bomba es de 150 W con lo que se cubre con un amplio margen la potencia teórica necesaria para su funcionamiento adecuado en el sistema de refrigeración.

3.4.5.2. Diseño electrónico

Para realizar el control y monitoreo de la temperatura del agua destilada se debe diseñar una placa, que para éste caso será controlada por medio de un Arduino AVR ATmega 328 que cuenta con las características necesarias para poder realizar un control eficiente.

De tal forma que la conexión entre componentes se facilite, se diseña una placa en la que se encontrará el controlador Arduino. Lo que permite que todos los componentes puedan conectarse con mayor sencillez.

Permitiendo que sensores y actuadores se conecten a la misma placa, pasando por etapas de amplificación y relés, que accionan al ventilador. El sensor se conecta directamente a la tarjeta Arduino, tomando en cuenta la relación entre voltaje y temperatura del sensor, ya presentada con anterioridad.

La placa permite que se produzca un desmontaje del Arduino, en caso de necesitar una reprogramación, mantenimiento o cambio. Además se requiere de la instalación de un amperímetro, para poder dar alarma cuando se excede el límite de corriente máxima.

A continuación en la Figura 38 se presenta el modelo en 3D de la placa, en el que se indica una visión con mayor claridad sobre la ubicación de cada componente.

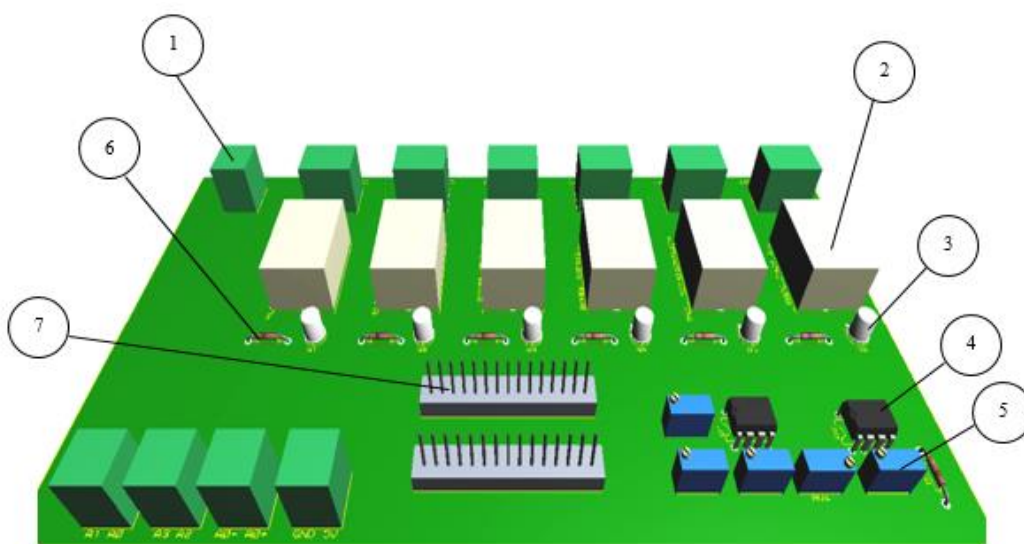


Figura 38: Placa de control, modelo 3D de la disposición de sus componentes.

Tabla 45
Descripción de los componentes de la placa de control

Denominación	Descripción
1	Borneras para cables.
2	Relay 5 V
3	Transistor 2n2222a
4	Regulador de voltaje LM123 a 5 V
5	Potenciómetros
6	Resistencias
7	Pines de entrada para tarjeta embebida.

3.4.5.3. Sistema de control

El programa para controlar el sistema de control se lo realizará con Arduino. Para lo cual se necesita tener claro cuáles son las funciones a realizar del sistema de control y qué acciones se necesita que realice para su funcionamiento, tales datos se presentan a continuación.

- Cuando la temperatura sobrepasa los 22°C, se enciende el ventilador y el indicador respectivo, para dar un aviso del funcionamiento del sistema. De otra forma si la temperatura es menor a 22°C el ventilador debe permanecer apagado.
- La temperatura máxima a la que el tubo láser puede trabajar de forma segura sin sufrir daños, es de 28°C. Una vez se sobrepase ese límite, se enciende la alarma correspondiente a un exceso de temperatura. Lo que indica que se debe apagar la fuente del láser y parar el proceso de maquinado.
- Al igual que cuando se excede la temperatura máxima de 28°C, cuando se sobrepasa el límite de corriente máximo de 25 mA, se enciende la alarma correspondiente. Las acciones posteriores que se deben realizar son las mismas que al sobrepasar el límite de temperatura.
- Una vez que los valores de corriente y temperatura vuelven a estar dentro del límite correspondiente, se procede a prender la fuente del láser y se reanuda el proceso de maquinado desde el punto donde fue interrumpido.

En la Figura 39 se muestra el diagrama de flujo, para el control del sistema de refrigeración.

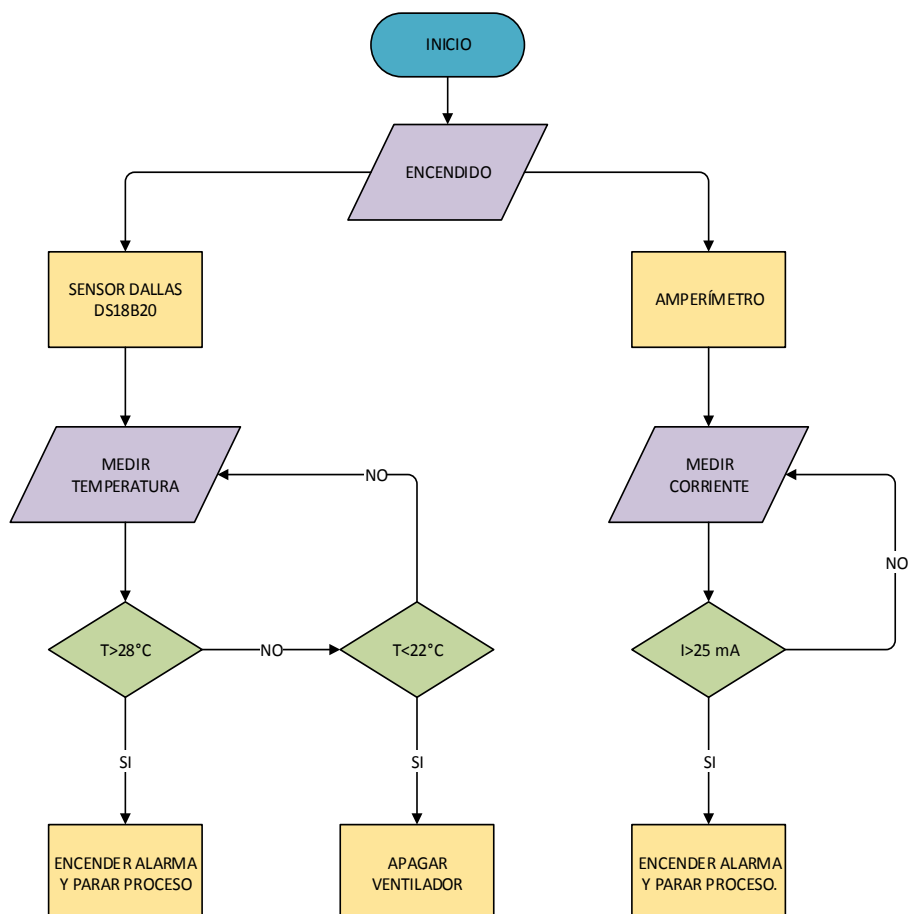


Figura 39: Diagrama de flujo para el funcionamiento del sensor DS18B20 y el amperímetro

3.5. Módulo 3. Sistema de aire comprimido

3.5.1. Subsistema 1. Compresor.

Para tener un flujo de aire a cierta presión dirigido hacia el cabezal del láser, se debe hacer uso de un compresor. Que no es más que una máquina de fluido, cuyo objetivo es desplazar cierto tipo de fluidos aumentando su presión.

3.5.1.1. Selección de dispositivos.

De acuerdo a las necesidades del sistema, se seleccionan ciertas opciones que se detallan a continuación:

Filtro de aire comprimido con regulador de presión

Tiene por misión, la extracción de impurezas que puedan existir en el aire comprimido, además de minimizar la cantidad de humedad en el aire.

Ventajas

- Se puede regular la presión, al valor necesario
- Purga automática de agua
- Extracción de impurezas
- Libre de aceite.
- Mejor calidad de aire.
- Bajo costo

Desventajas

- Rendimiento menor al de otras unidades de mantenimiento.

Filtro finísimo de aire comprimido

Se emplea en situaciones donde se necesita que el aire sea filtrado exhaustivamente. Hasta poder extraer la mayor cantidad de impurezas, agua y aceite del aire

Ventajas

- Filtra hasta un 99,999%
- Alto rendimiento
- Ocupan poco espacio.
- Purga automática de agua, impurezas y aceite

Desventajas

- No existe regulador de presión
- Alto costo
- Se necesita de un pre-filtrado para aumentar la duración del cartucho filtrante

3.5.1.2. Evaluación y selección de alternativas

La utilidad del aire comprimido en la plataforma de corte por láser, es la de dispersar gases acumulados durante el maquinado. Además de extinguir cualquier tipo de llama que se pueda producir por el corte láser, lo que se da mayormente cuando se maquina madera.

Por tal razón se debe elegir una unidad de mantenimiento neumático que cubra satisfactoriamente los requerimientos de la plataforma, sin que tal acción signifique un aumento en el costo final del sistema.

Es así que se opta por el uso de un filtro de aire comprimido con regulador de presión, ya que la otra opción significa un gasto mayor e innecesario, puesto que con el filtro seleccionado se puede cubrir efectivamente las necesidades impuestas a un costo menor, y con prácticamente las mismas prestaciones para el caso.

Entonces la unidad de mantenimiento neumático seleccionada para su instalación en la plataforma es el Filtro Regulador Lubricante de 1/4" NPT, cuya marca es PORTEN. En la Figura 40 se observa la representación del producto.



Figura 40: Filtro regulador lubricante 1/4" NPT, PORTEN

Algunas especificaciones del producto se muestran a continuación:

- Precio: \$ 35.00
- Material: Zinc
- Temperatura mínima de trabajo: 0°C
- Temperatura máxima de trabajo: 80°C
- Tipo de conector NPT
- Capacidad de aceite: 1.25 Kg

- Tamaño de retención de partículas: 5 micrones
- Caudal: 46 CFM
- Rango de presión: 2-125 PSI

3.5.2. Subsistema 2. Manguera

El sistema de aire comprimido es de esencial importancia para la plataforma, ya que permite obtener acabados de mejor calidad en el acabado. Para lo cual se usa una manguera conectada al sistema de aire y direccionada al cabezal del láser. En ese punto es donde se produce una llama por la temperatura a la que se realiza el maquinado, por lo que el aire comprimido actúa disminuyendo e incluso apagando esa llama para que no se produzcan fallas en el maquinado.

3.5.2.1. Alternativas para diseño

Acorde a lo dispuesto anteriormente, se tiene 2 opciones que son tomadas en cuenta, las cuales se describen así:

Manguera flexible para compresor de aire

Sirven para transportar un flujo de aire a cierta presión, normalmente vienen con un recubrimiento textil para hacerlas más resistentes.

Ventajas

- Bajo costo
- Resistencia a presiones altas
- Resistente a químicos
- Ligera

Desventajas

- Temperaturas hasta 60°C
- Manguera de PVC
- Puede enredarse con otros mecanismos cuando se usa en sistemas móviles

Manguera para compresor de aire tipo resorte.

Igual que la manguera flexible, además del hecho de tener un diseño en espiral que la vuelva más compacta.

Ventajas

- Fácil instalación en sistemas móviles, ya que no se enreda con otros mecanismos
- Bajo Costo
- Compacto

Desventajas

- Menor tolerancia a la presión
- Mayor peso
- Manguera de PVC

3.5.2.2. Evaluación y selección de alternativas

Como la manguera debe estar direccionada hacia el cabezal del láser, significa que deberá moverse, cuando se produzca el maquinado en conjunto con el cabezal. Para que lo anterior se cumpla se debe emplear una manguera que sea resistente y no interfiera en el paso de otros elementos de la plataforma. Por lo que se opta por utilizar una manguera espiralada, que puede estirarse y comprimirse de acuerdo al movimiento que realice el cabezal sin enredarse con ningún otro elemento.

La manguera seleccionada es de marca Truper, dada su disponibilidad y bajo costo. Algunas de sus características son:

- Soporta hasta 200 PSI
- Cuenta con conectores macho de latón de 1/4"
- La longitud total, de la manguera estirada es de 15.2 m
- Reforzada con poliamida.
- Resistente a la abrasión
- Soporta temperaturas hasta 60°C
- No se enreda y ocupa poco espacio

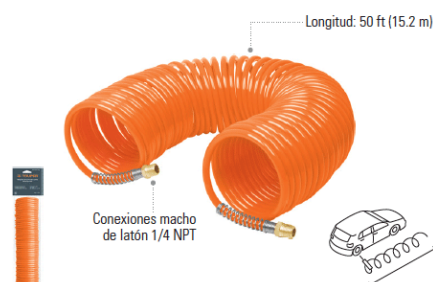


Figura 41: Manguera espiralada para compresor de aire TRUPER

3.6. Módulo 4. Sistema de extracción de gases

3.6.1. Subsistema 1. Extractor.

Los extractores se utilizan con el fin de mantener un espacio cerrado con ventilación adecuada, eliminando además el exceso de humedad. Se trata de un aparato destinado a aspirar y renovar el aire de una estancia. Su uso en la plataforma es de gran importancia, para poder eliminar los gases tóxicos que se acumulan en la zona de trabajo, durante el maquinado.

3.6.1.1. Alternativas para diseño

Tomando en consideración el espacio en el que va a trabajar el extractor y el volumen de gases que tendrá que extraer durante el maquinado, se consideran 3 opciones para la selección de una solución. Tales opciones son:

Extractor axial

Se diferencian por su tipo de hélice, teniendo 5 aspas. Dichos extractores se utilizan generalmente en los casos en que se necesita ventilar mediante conductos.

Se denominan axiales por el hecho de que hacen pasar el aire a través de su eje en una dirección lineal. Las aspas de tales extractores hacen que el aire fluya paralelo al eje sobre el que las aspas giran.

Ventajas

- Permite mover grandes volúmenes de aire
- Bajo Costo
- Compacto

- Larga vida útil
- Alta disponibilidad y facilidad de implementación

Desventajas

- Ineficiente respecto de la presión del aire, reduciendo el rendimiento de la extracción
- No se recomienda el uso de filtros.

Extractor centrífugo

A diferencia de los extractores axiales donde el aire fluía en dirección paralela al eje de las aspas. En los extractores centrífugos, el flujo de aire cambia de dirección en un ángulo de 90° entre la entrada y la salida.

Se encuentra formado por un impulsor que cuando gira, permiten a las hélices despedir aire por centrifugación en la dirección de rotación. El aire despedido entra en la voluta y es forzado hacia la salida tan pronto como abandona la hélice.

Ventajas

- Silencioso
- Alto rendimiento
- Soporta presiones altas
- Resistente a la corrosión




Desventajas

- Alto costo
- Dificultad de implementación
- Gran tamaño.

3.6.1.2. Evaluación y selección de alternativas

Las alternativas más destacadas para la selección del extractor, se muestran en la Tabla 46.

Tabla 46
Alternativas para la selección del extractor de tipo axial.

SOLUCIÓN	IMAGEN	CARACTERÍSTICAS
A	4WT49 Axial Fan (Dayton) 	COSTO: \$25,84 Corriente máxima: 0.12 A Voltaje de Alimentación AC: 110V a 120V Potencia: 11 W Caudal volumétrico: 95 m ³ /h
B	4.5'' Axial Fan (Hurricane) 	COSTO: \$27,83 Caudal volumétrico: 190 m ³ /h De Fácil montaje Potencia: 25W Flexibilidad de uso Voltaje de alimentación AC: 110V a 120 V
C	Axial Fan 33552 (EBCHQ) 	COSTO:\$23,50 Caudal volumétrico: 299 a 336 m ³ /h Nivel de Ruido: 54-59 dBA Voltaje de alimentación AC: 200 a 240 V Material impulsor: Termoplástico PBT Negro

A continuación se realiza una tabla de ponderación con los criterios de evaluación del subsistema. En la Tabla 47 se observa los valores de la ponderación.

Tabla 47
Ponderación de criterios de evaluación para el subsistema 1 del módulo 4

Criterio	Costos	Implementación	Caudal	Rendimiento	$\sum+1$	Pondera.
Costos	-	2,5	1	2,5	7	0,23
Implementación	2,5	-	1	1	5,5	0,18
Caudal	5	2,5	-	2,5	11	0,36
Rendimiento	2,5	1	2,5	-	7	0,23
				\sum	30,5	1,00

Tabla 48
Ponderación de costos para las alternativas de diseño del subsistema 1 del módulo 4

Costos	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Pondera.
Solución A	-	2,5	1	4,5	0,28
Solución B	1	-	1	3	0,19
Solución C	2,5	5	-	8,5	0,53
			\sum	16	

Tabla 49
Ponderación de implementación para las alternativas de diseño al subsistema 1 del módulo 4

Implementación	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Pondera.
Solución A	-	2,5	1	4,5	0,24
Solución B	2,5	-	2,5	6	0,32
Solución C	5	2,5	-	8,5	0,45
			Σ	19	

Tabla 50
Ponderación de caudal para las alternativas de diseño al subsistema 1 del módulo 4.

Caudal	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Pondera.
Solución A	-	0	2,5	3,5	0,17
Solución B	5	-	0	6	0,29
Solución C	5	5	-	11	0,54
			Σ	20,5	

Tabla 51
Ponderación de rendimiento para las alternativas de diseño al subsistema 1 del módulo 4

Rendimiento	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Pondera.
Solución A	-	5	2,5	8,5	0,41
Solución B	2,5	-	2,5	6	0,29
Solución C	2,5	2,5	-	6	0,29
			Σ	20,5	

Tabla 52
Conclusión en la selección de alternativas de diseño para el subsistema 1 del módulo 4

	Costos	Vida útil	Implementación	Disponibilidad	Σ	Prioridad
Solución A	0,06	0,04	0,06	0,10	0,26	26%
Solución B	0,04	0,06	0,11	0,07	0,27	27%
Solución C	0,12	0,08	0,19	0,07	0,46	46%
				Σ	1,00	

De acuerdo a los resultados que se muestran en la Tabla 52. La solución seleccionada es la C, el extractor axial 33552 (EBCHQ). Se trata del extractor con mayor rendimiento y caudal volumétrico respecto a las otras opciones. Además de que cuenta con un menor costo y se encuentra con mayor disponibilidad en el mercado local.

Las características del extractor axial se detallan a continuación.

- Voltaje: 200-240VAC 60Hz
- Corriente: 0.22 A
- Impulsor: 5 Aspas
- Sistema de Rodamiento: Balinera
- Material Impulsor: Termoplástico PBT Negro
- Material Cuerpo: Aleación de Aluminio
- Velocidad: 2800 RPM
- Potencia: 38 W
- Flujo de Aire: 299-336 m³/hr
- Nivel de Ruido: 54-59 dBA
- Cable de Conexiones: AWG #22
- Peso: 860 gr. Aprox.
- Dimensiones: 170 x 150 x 51mm
- Origen: China

3.6.2. Subsistema 2. Tubería para gases.

Otro elemento importante dentro del sistema de extracción de gases, es la tubería mediante la cual se despedirá el aire extraído hacia la campana de extracción. El diámetro de la tubería a usarse debe establecerse basándose en las dimensiones del extractor que se usa en la plataforma.

Se conecta la tubería de evacuación desde el extractor de aire, siguiendo todo el camino hasta llegar al punto donde se encuentra la campana de extracción. Asegurando así, que haya un flujo constante de gases siendo evacuados mediante el sistema de extracción de gases.

3.6.2.1. Selección de dispositivos

De acuerdo a lo descrito anteriormente, se tiene 2 opciones que son tomadas en cuenta, las cuales se describen así:

Tubería PVC

Sirven para transportar un flujo de aire a cierta presión, normalmente vienen con un recubrimiento textil para hacerlas más resistentes.

Ventajas

- Rendimiento de extracción del 92%
- No oxidable
- Fácil y rápido montaje
- Ensamblaje modular

Desventajas

- Poca flexibilidad
- Son más propensos a la aparición de grietas por la degradación del material
- Restricción de uso en lugares estrechos

Tubería de Aluminio

Igual que la manguera flexible, además del hecho de tener un diseño en espiral que la vuelve más compacta.

Ventajas

- Temperatura máximo de trabaja, de hasta 250°C
- Su estructura le permite estirarse hasta 5 veces su longitud
- Compacto
- Montaje rápido y sencillo, pudiéndose cortar para adaptarlo según la necesidad

Desventajas

- Baja resistencia a la tracción
- Aunque tiene una alta resistencia a la oxidación, necesita un acabado anodizado para hacerlo inoxidable.

3.6.2.2. Evaluación y selección de alternativas

Dadas las condiciones de trabajo y ubicación del sistema de extracción de gases dentro de la plataforma de corte láser. Se opta por usar tubería de aluminio para extracción de gases, ya que resulta ser más flexible que su contraparte de PVC. Lo que le permite ser montada con facilidad dentro de lugares estrechos, además de que se puede modificar su longitud, ya sea estirando o contrayendo el tubo. Otro factor importante es que resiste mejor a las altas

temperaturas y no interacciona con las posibles descargas eléctricas que puedan producirse en el tubo láser.

El ducto seleccionado es de marca ESPIROFLEX y presenta las siguientes especificaciones.

- Soporta hasta 250 °C
- Diámetro de 100 mm
- Aleación de aluminio y zinc
- Recubierto por una manga de poliéster y aluminio reforzado
- Cinta autoadhesiva a base de resinas acrílicas para el sellado y fijación del aislamiento
- Aislado con un fieltro de lana de vidrio de 20 mm de espesor.
- Longitud total de 15 m



Figura 42: Ducto de aluminio para extracción de gases (ESPIROFLEX)

3.6.3. Diseño Final

3.6.3.1. Diseño mecánico

Una vez seleccionados los diferentes elementos que componen el diseño del sistema de extracción de gases. Se procede a verificar analíticamente si dichos componentes cubren las necesidades del sistema para el correcto funcionamiento de la plataforma.

Para lograr dicho objetivo se necesita calcular el volumen de gases y aire que deberá extraerse y transportarse por los ductos hacia la campana de extracción.

Los gases producidos en el maquinado por láser, también llamados humos, son nocivos para la salud. También pueden contener partículas de menos de 10 micras desprendidas durante el maquinado. Dicho polvo se encuentra mezclado con el aire y gas que se debe extraer.

Para procesos de maquinado como el corte por láser, es normal que se produzca de 1 a 10 miligramos de humos nocivos por segundo.

Algunos de los materiales que componen éstos humos nocivos son:

- Hidrocarburos aromáticos policíclicos, por el maquinado de algunos polímeros
- HCN y benceno, cuando se corta fibras de poliamida aromática.
- Sílice, cuando se corta cuarzo
- Metales pesados, al realizar grabados
- Cianuro, formaldehídos y fibras sintéticas y naturales.

La relación entre gases y partículas, es de aproximadamente 90% gases volátiles y 10% de partículas de menos de 1 micras.

En la Figura 43 podemos observar, cuanto material contaminante se produce durante el maquinado por láser, en un periodo de 8 horas. Se cuantifica la masa del contaminante por cada metro cúbico.

Exposure limits	
	OEL (8hr) mg/m³
Benzene	9
1,3 Butadienne	22
Formaldehyde	2.5
Methylmethacrylate	208
Phenol	20
Creois	22
Toluene	191
Hydrogen chloride	2
Phosgene	0.08
Methylamine	13
THF(Tetrahydrofuran)	300

Figura 43: Cuantificación de miligramos por metro cúbico de materiales contaminantes producido en el maquinado por láser, en un periodo de 8 horas.

La Figura 44 muestra el porcentaje en el que se divide las partículas sólidas y los gases dentro del humo contaminante, de diferentes materiales a maquinar.

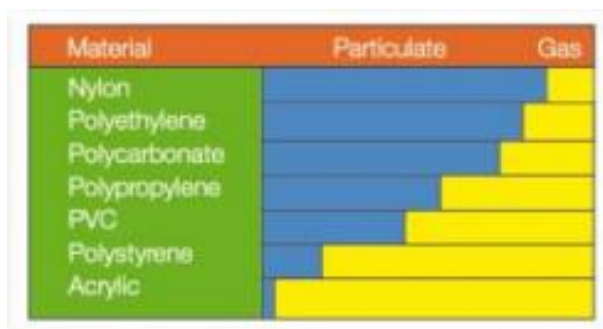


Figura 44: Porcentaje de gas y partículas contaminantes, producidos en el corte de diferentes materiales.

Como se observa, existen diferentes proporciones entre partículas sólidas y Gases, difiriendo para cada material que se vaya a maquinar. Por tal razón se toma un valor de proporción intermedio, con el cual se pueda abarcar la mayor cantidad de materiales. Al final se debe sobredimensionar el sistema para que puede ser eficiente con la mayoría de materiales a usar.

Considerando tales valores se procede a calcular el flujo de masa de aire a ser capturado con una proporción entre gases y partículas R de 0.1 %. Como se muestra en la ecuación 3.19 (Levenspiel, 1993)

$$R = \frac{\dot{m}_p}{\dot{m}_f} \quad (3.19)$$

De donde:

- \dot{m}_p = Flujo másico de partículas
- \dot{m}_f = Flujo másico de aire y gas a extraer.

Primero, se obtiene el flujo másico de partículas que se deben extraer. Tomando en cuenta que teóricamente se produce entre 1 y 10 miligramos de humo nocivo por segundo durante el corte por láser.

El flujo másico teórico de partículas por cada hora es de:

$$\dot{m}_p = 5 \frac{mg}{s} \times \frac{3600}{1000000} = 0.018 \frac{kg}{h}$$

Reemplazando valores y despejando en la ecuación 3.20, se tiene que:

$$R = \frac{\dot{m}_p}{\dot{m}_f} \quad (3.20)$$

$$\frac{0.1}{100} = \frac{0.018 \frac{kg}{h}}{\dot{m}_f}$$

$$Q_f = \frac{0.018 \frac{kg}{h}}{1.6 \frac{kg}{h} \times 0.001}$$

$$Q_f = 11.25 \frac{m^3}{h}$$

El valor resultante, es el caudal total mínimo, que se necesita para poder realizar la extracción con eficiencia. Por seguridad se le adiciona un factor de diseño del 20%, siendo el valor del caudal el siguiente.

$$Q_f = 13.5 \frac{m^3}{h}$$

Para realizar el transporte y extracción de aire y gases, se recomienda realizarlo a una velocidad elevada, similar a la del sonido. Puesto que es algo difícil de alcanzar, se selecciona un porcentaje de la velocidad del sonido considerado estable para tales casos de 4,8 %:

Sabiendo que la velocidad del sonido a nivel del mar es de 343 m/s, se debe obtener un valor con mayor aproximación para el cantón Rumiñahui que se encuentra a 2800 msnm.

Para ello es necesario saber los valores de Presión atmosférica y densidad del aire en la ciudad. A continuación se muestran dichos valores.

- Presión atmosférica en Rumiñahui: $P_{atm} = 101325 \text{ Pa}$.
- Se determina el valor de la densidad del aire a una temperatura atmosférica de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ o $293.15 \text{ }^\circ\text{K}$, considerando también la altura a la que se encuentra el cantón Rumiñahui. Se usa la ecuación 3.21 para tal fin.

$$\rho = \frac{P_{atm}}{R(T_0 + \beta \cdot \gamma)} \quad (3.21)$$

De donde:

- ρ = Densidad del aire.
- R = Constante de gas
- T_0 = Temperatura
- P_{atm} = Presión atmosférica

- β = Constante de corrección, estrechamente relacionada con la altura sobre el nivel del mar, en la que se encuentra el fluido a calcular.
- γ = Altura del fluido a calcular sobre el nivel del mar.

Al reemplazar tales valores en la ecuación 3.21, se obtiene que:

$$\rho = \frac{101.325}{0.287(293.15^\circ K + (-0.00625 \cdot 2510))}$$

Siendo el valor resultante:

$$\rho = 1.272 \frac{kg}{m^3}$$

Con los valores de la Presión atmosférica y la densidad del aire, ya establecidos para el cantón Rumiñahui, se procede a determinar el valor de la velocidad del sonido con la ecuación 3.22.

$$c = \sqrt{\frac{P_{Tot}}{\rho}} \quad (3.22)$$

$$c = \sqrt{\frac{137895,14}{1.272}} = 321.31 \frac{m}{s}$$

Tomando el 4.8% de ese resultado, se obtiene la velocidad de captación de los contaminantes

$$V = M \times c$$

$$V = 15.9 \text{ m/s}$$

Con los resultados obtenidos, se procede a realizar el dimensionamiento del área del ducto de extracción. Tal cálculo se realiza con la ecuación 3.23.

$$A_i = \frac{Q_i}{v_i} \quad (3.23)$$

De donde:

- A_i = Área transversal del ducto de extracción.
- Q_i = Caudal
- v_i = Velocidad de extracción del fluido.

Resolviendo se obtiene:

$$A_i = \frac{\left(\frac{11.25}{60}\right)}{15.9} = 0.01179m^2$$

Posteriormente se obtiene el diámetro teórico del ducto de extracción, a través de la ecuación 3.24.

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \times A_i}{\pi}} \quad (3.24)$$

Reemplazando se tiene que

$$D_i = 0.1225 \text{ m} = 122.53 \text{ mm}$$

Aproximando a un diámetro comercial de ductos de extracción, se tiene que un ducto de extracción de 4'' de diámetro puede cumplir con el objetivo. Con lo que se verifica que el ducto seleccionado, que es un tubo flexible de aluminio de 4'' de diámetro es una solución que encaja bien en los requerimientos.

Lo siguiente que se tiene que realizar es el cálculo del Número de Reynolds del ducto de extracción. Para lo cual es necesario detallar las condiciones iniciales del sistema como se muestra a continuación:

- Temperatura de trabajo $T_a = 20^\circ C$ o $T_a = 293.15^\circ K$
- Temperatura constante del aire $T_s = 25^\circ C$ o $T_s = 298.15^\circ K$
- Constante ideal del aire $R = 287 \frac{J}{Kg \cdot K}$
- Rugosidad en tuberías flexibles de aluminio = 0.06 mm
- Presión Interna de la tubería = 20 psi = 137895,14 Pa

Una vez determinadas las condiciones iniciales, se calcula la viscosidad estática del aire a 20°C. Con la ecuación 3.25.

$$\mu = \mu_o \left(\frac{a}{b}\right) \left(\frac{T}{T_o}\right)^{3/2} \quad (3.25)$$

De donde:

- $a = 0.555 T_0 + C$
- $b = 0.555 T + C$
- T_0 = Temperatura de referencia
- T = Temperatura del aire

De la Figura 45 se obtienen algunos datos importantes para la obtención de la viscosidad estática del aire.

Gas	C [K]	T_0 [K]	μ_0 [$\mu\text{Pa s}$]
air	120	291.15	18.27
nitrogen	111	300.55	17.81
oxygen	127	292.25	20.18
carbon dioxide	240	293.15	14.8
carbon monoxide	118	288.15	17.2
hydrogen	72	293.85	8.76
ammonia	370	293.15	9.82
sulfur dioxide	416	293.65	12.54
helium	79.4 [16]	273	19 [17]

Figura 45: Constante de Sutherland para algunos fluidos.

Reemplazando valores se tiene que:

$$\mu = 18.27 \left(\frac{0.555 \times 291.15 + 120}{0.555 \times 293.15 + 120} \right) \left(\frac{293.15}{291.15} \right)^{3/2}$$

$$\mu = 18.38 \mu\text{Pa s}$$

El siguiente paso es el de obtener la viscosidad cinemática del aire con la ecuación 3.26.

$$v = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\mu}{1E6 \rho} \quad (3.26)$$

Reemplazando dichos valores se tiene que:

$$v = \frac{\left(\frac{18.38}{1E6}\right)}{1.272} = 1.45E - 5 \frac{m^2}{s}$$

Se procede a obtener el número de Reynolds con la ecuación 3.27.

$$Re = n \times \frac{Di}{v} \quad (3.27)$$

Reemplazando valores se tiene:

$$Re = 0.1838 \times \frac{0.110}{1.45E - 5} = 1394,3$$

De tal forma se tienen datos cruciales para obtener las pérdidas acumuladas en el sistema, comenzando con la pérdida de carga debido a la fricción del fluido.

Para obtener el valor de dicha pérdida, se debe hacer uso de la ecuación 3.28. (Levenspiel, 1993)

$$hf = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad (3.28)$$

De donde:

- hf = pérdida de carga debido a la fricción.
- f = Factor de fricción de Darcy
- L = Longitud de la tubería.
- D = Diametro de la tubería
- v = Velocidad média del fluido
- g = Aceleración de la gravedad, 9.81 m/s^2 .

Para obtener el valor del factor de fricción se toma en cuenta que el número de Reynolds es menor a 2000, por lo que se emplea la ecuación 3.29.

$$f = \frac{64}{Re} \quad (3.29)$$

$$f = \frac{64}{1394,3} = 0.0459$$

Con el valor obtenido del factor de fricción, se prosigue con la obtención de las pérdidas.

$$hf = 0.0459 \times \frac{2}{0.114} \times \frac{15.9^2}{2 \times 9.81} = 10.38 \text{ m}$$

Teniendo en cuenta que 1 m de aire = 1.2 mm H₂O, se realiza la conversión de unidades:

$$hf = 12.46 \text{ mm H}_2\text{O} \approx 122.3 \text{ Pa}$$

El cálculo de las pérdidas que se producen en el sistema, nos ayudan a determinar si el extractor seleccionado es el adecuado para realizar su función de forma eficiente.

La potencia de consumo adecuada que requiere el extractor, se encuentra en función, de la pérdida de presión, el caudal y la eficiencia del componente. Como se trata de un extractor axial de alta eficiencia se le otorga un valor de $\eta=0.75$. A continuación se presenta la ecuación 3.30, que permite realizar el cálculo de la potencia de consumo.

$$POT = Q \times \frac{hf}{\eta} \quad (3.30)$$

Reemplazando los valores requeridos, se tiene que:

$$POT = \frac{\left(\frac{11.25}{60} \times 122.3\right)}{0.75} = 32.75 \text{ W.}$$

Según las especificaciones del extractor axial, su potencia nominal de consumo es de 35 W, mientras que la potencia de consumo calculada es de 32.75 W. Por lo que el extractor usado cumple con su función de deshacerse de los gases nocivos presentes durante el maquinado.

3.7. Definición concepto final

La plataforma CNC de corte por láser tiene potencial para la generación de nuevos proyectos y líneas de investigación con respecto al tema. Es por tal razón que su diseño se ha hecho pensando en su capacidad de adaptación a nuevas aplicaciones, de tal forma que cuenta con un diseño modular que permite el fácil montaje, mantenimiento y cambio de piezas y componentes sin interferir en las funciones independientes de cada sistema dentro de la plataforma.

Además por su modularidad se pueden desarrollar nuevos sistemas para su implementación en la plataforma, que mejoren el desempeño de la misma. Dichos sistemas

deben poder ser instalados sin ningún problema y deben poseer la capacidad de integrarse correctamente al proceso realizado por la plataforma.

Se observó durante el proyecto, que el sistema de refrigeración fue rediseñado para que pudiera ser montado dentro de la plataforma. Se realiza de tal forma, puesto que se necesita que la plataforma sea funcional y estética. Ya que al implementar el sistema dentro de la plataforma se consigue que la máquina sea más compacta, tenga un mejor aspecto y que el sistema de refrigeración trabaje de forma eficiente sin ocasionar daños en el sistema del tubo láser.

En la Figura 46 se muestra el modelo CAD de la plataforma CNC de corte por láser, junto a sus diferentes componentes enumerados en la Tabla 53.

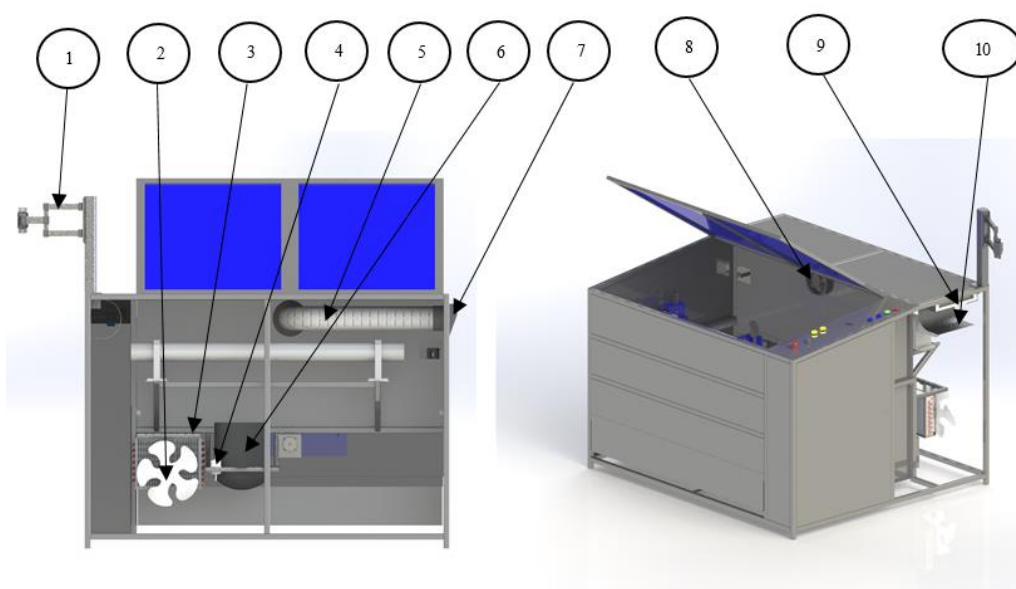


Figura 46: Descripción de componentes de la plataforma CNC de corte por láser

Tabla 53
Descripción de los componentes de la plataforma.

Denominación	Descripción
1	Soporte extensible y rotatorio para la instalación de la PC
2	Ventilador para el sistema de refrigeración
3	Radiador de cobre
4	Filtro para el sistema de refrigeración
5	Ducto de extracción de gases

6	Contenedor para agua destilada
7	Salida de extracción de gases hacia la campana.
8	Extractor de gases AXIAL
9	Escáner
10	Bandeja de devolución de hojas.

3.8 Resumen

- Las necesidades más importantes para facilitar el uso de la plataforma de corte láser, son analizadas y tomadas en cuenta por su nivel de prioridad. De tal manera que, sea de ayuda en el momento de definir los conceptos de diseño de cada sistema que se implementa en la plataforma. Tales aspectos se pueden enumerar de la siguiente forma: Sistema de adquisición y tratamiento de imágenes; sistema de extracción de gases; sistema de refrigeración y el sistema de aire comprimido. Se usa software libre y componentes de bajo costo y alto rendimiento, para el diseño de los sistemas.
- Las necesidades obtenidas, deben pasarse a un lenguaje técnico, con el cual se pueden desarrollar conceptos de acuerdo a las especificaciones iniciales, derivadas de las necesidades ya detalladas en orden de importancia.
- Para el análisis de tales especificaciones técnicas se procede a realizar una matriz de la casa de la calidad, que es de ayuda en el momento de definir los módulos, distribuyendo de forma eficiente, operaciones funcionales y componentes entre los sistemas. Los sistemas que se implementan en la plataforma, ya tienen una arquitectura modular, por lo que se facilita definición de los módulos. Tales módulos obtenidos luego del análisis son: 1) Sistema de adquisición y tratamiento de imágenes, 2) Sistema de refrigeración, 3) Sistema de aire comprimido y 4) Sistema de extracción de gases. Cada uno de los módulos se dividen en subsistemas para facilitar el diseño y selección de componentes.
 - El diseño de cada módulo se divide en 3 partes siempre que el módulo así lo requiera, tales partes son: Diseño mecánico, diseño electrónico y sistema de control. El proceso de diseño final llevado a cabo para cada módulo se divide en tres partes: diseño mecánico, diseño electrónico y sistema de control. Todo el

proceso de diseño se verá afectado y limitado por los componentes seleccionados y la geometría establecida en la plataforma.

En la Tabla 54 se detallan las soluciones encontradas para cada módulo y subsistema.

Tabla 54
Resultados

#	MÓDULO	SUBSISTEMAS	SOLUCIÓN
1	Adquisición y Tratamiento de Imágenes	Escáner	Escáner portátil DS-620 (BROTHER)
		Pantalla Táctil	Pantalla táctil capacitiva de 7" (WAVESHARE)
		Software para vectorización	Software INKSCAPE
2	Sistema de Refrigeración	Contenedor	Recubrir con ANTIOX de pinturas CONDOR
		Sensor de temperatura	DS18B20 Sensor de temperatura digital (DALLAS)
		Bomba	Bomba de agua sumergible HJ-1542
		Filtro	Filtro universal de combustible Jetronic(BOSCH)
3	Sistema de Aire Comprimido	Compresor	
4	Sistema de extracción de gases	Manguera de aire	Manguera espiralada TRUPER
		Extractor	Extractor axial 33552 (EBCHQ)
		Tubería de gases	Ducto flexible de aluminio (ESPIROFLEX)

Capítulo 4

Construcción y pruebas

En el presente capítulo se describe el proceso de construcción de los diversos sistemas de la plataforma CNC de corte por láser. Además de detallar información sobre la instalación de tales sistemas. Finalmente se procede a estudiar los resultados obtenidos de las pruebas realizadas.

4.1. Sistema de Adquisición y tratamiento de imágenes.

Dicho sistema representa un requerimiento importante de la plataforma, ya que es por medio de tal sistema que se pueden obtener las imágenes o diseños que posteriormente se procederán a maquinar. Por lo tanto debe ser un sistema amigable con el usuario, de bajo costo y eficaz.

4.1.1. Escáner

Se diseñó mediante el software CAD, la estructura en la que irá montado el escáner dentro de la plataforma. Dicha base se encuentra soldada en la estructura base de la plataforma láser, como se muestra en la Figura 47:



Figura 47: Ubicación de la base del escáner en la plataforma láser.

Se instaló la base a 20 cm del margen derecho de la puerta principal de la plataforma, sobre tal base se observa cómo va situado el escáner. Para la fabricación de todos los componentes de la base del escáner, se usó una plancha de Tol de 2 mm, a excepción de la bandeja para la hoja, que se hizo con una plancha de tol de 0.8mm

La base se ha compuesto de varias piezas pequeñas desmontables que permiten que el escáner permanezca en su posición de forma segura cuando se lo necesite y además sea fácil de desmontar para realizar cualquier tipo de mantenimiento. Se puede observar parte del proceso en la Figura 48.



(a)

(b)

Figura 48: (a) Fabricación del soporte para el escáner. (b) Montaje del escáner en el soporte.

En la Figura 49 se aprecia de mejor forma la instalación de todos los componentes de la base del escáner. Se hizo uso de pernos de cabeza hexagonal de $\frac{1}{4}''$ x $\frac{1}{2}''$, junto con sus respectivas tuercas.



(a)

(b)

Figura 49: (a) Instalación de la base del escáner en la plataforma láser (b) Instalación de la bandeja de devolución de papel.

Se puede observar la bandeja que nos permite realizar la devolución de la hoja ingresada en el escáner. Dicha bandeja debe permanecer fija en su posición. Para que pueda tener una salida, se maquinó directamente en la puerta, una ranura que permite la salida y recepción de la hoja que ha sido ingresada.

Durante su ensamblaje se presentó el problema con la bandeja de devolución del papel, ya que muchas veces no encajaba con la ranura que se hizo en la puerta. Por lo que se procedió a reforzar la puerta principal del láser, usando perfiles de 1 pulgada, cortados en forma de marco y soldados a la puerta para darle mayor robustez. De tal forma se corrigió ese error de encuadramiento. Véase Figura 50.



Figura 50: Detalle de la ranura para devolución de la hoja.

En la Figura 51 se presenta el diseño final de la puerta junto con su reforzamiento con perfiles cuadrados de 1”.



Figura 51: Puerta de acceso al escáner.

4.2. Sistema de Refrigeración.

Dado que inicialmente el sistema de refrigeración no contaba con las especificaciones necesarias para cumplir su objetivo, se procedió a realizar un rediseño del sistema, incluyendo la posibilidad de instalar el sistema de refrigeración dentro de la plataforma.

4.2.1. Contenedor

El contenedor en su estado inicial no cuenta con protección anticorrosiva como se puede observar en la Figura 52, por lo que se debe realizar un tratamiento sobre su superficie para dotarlo de dichas propiedades. El proceso inicia con la corrección de algunos agujeros presentes en el contenedor, que ahora ya no serán de utilidad. Para lo cual se suelda trozos de planchas de tol en esos agujeros con la intención de sellarlos para que no existan fugas de agua.



(a)

(b)

Figura 52: (a) Presencia de corrosión en el interior del contenedor (b) Componentes del sistema de refrigeración dañados por el óxido.

Luego se inicia la extracción de pintura y óxido de la superficie del tanque por medio de lijado y pulido, eliminando la mayor cantidad de residuos de pintura, polvo y grasa que pueda estar presente en la superficie del contenedor. Figura 53.



Figura 53: (a) Extracción del óxido de la superficie del contenedor (b) Lijado de la superficie del contenedor.

Posteriormente se utiliza pintura anticorrosiva ANTIOX de pinturas CONDOR, mezclada con thinner en una porción de 1/8 de partes de thinner por cada parte de pintura antioxidante. Dicha pintura no requiere de pintar una base previamente, por lo que se pinta directamente sobre la superficie, pulida y limpia.

De tal forma, el contenedor queda con protección anticorrosiva como se muestra en la Figura 54, lo que impedirá que se forme óxido que puede ser transportado hasta el tubo láser, lo que causaría un daño permanente en el tubo.



Figura 54: contenedor de agua destilada con recubrimiento anticorrosivo.

En el fondo del contenedor se ha maquinado un agujero de $\frac{1}{2}$ pulgada, con el fin de soldar un adaptador roscado y galvanizado para tubería. Así se permite que haya una evacuación de agua destilada por la parte inferior del contenedor, lo que es útil cuando se realiza el mantenimiento del sistema de refrigeración. Para mantener cerrada esa vía de evacuación, se instala una válvula esférica de paso, con lo que se asegura que no haya una evacuación continua de agua, ni fugas de la misma.

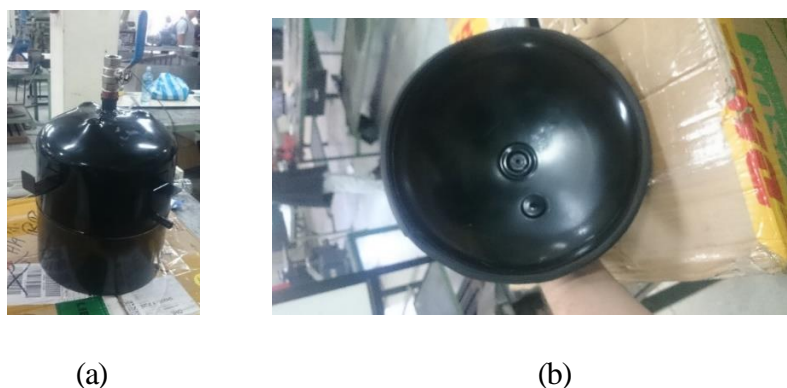


Figura 55: (a) Instalación de válvula de desagüe para el contenedor. (b) Tapa para el contenedor.

Además se han soldado pedazos de perfiles en la parte exterior del contenedor, con la finalidad de poder otorgar un soporte para su ubicación dentro de la plataforma. Dichos soportes se maquinaron a partir de pedazos de tol de 2mm de espesor y permiten que el contenedor se mantenga estable incluso si la plataforma se encuentra en funcionamiento.

4.2.2. Sensor de Temperatura DALLAS DS18B20

Para la ubicación del sensor de temperatura se toma en cuenta que la temperatura que conviene medir, es cuando el agua se encuentra saliendo del tubo láser, ya que es en éste punto donde la temperatura se vuelve un factor importante, para el correcto funcionamiento de la plataforma.

Por lo que se debe ubicar en algún punto posterior a la salida del agua al tubo láser. Se podría instalar dentro del contenedor, pero para que haya una mejor lectura de las mediciones, sin que haya tanta interferencia como podría haber dentro del contenedor se opta por buscar otra ubicación dentro de la plataforma.

La mejor alternativa es la de usar un filtro de gasolina universal como el que se muestra en la Figura 56, al cual se le ha retirado el mecanismo de filtrado y se ha dejado la carcasa plástica vacía.

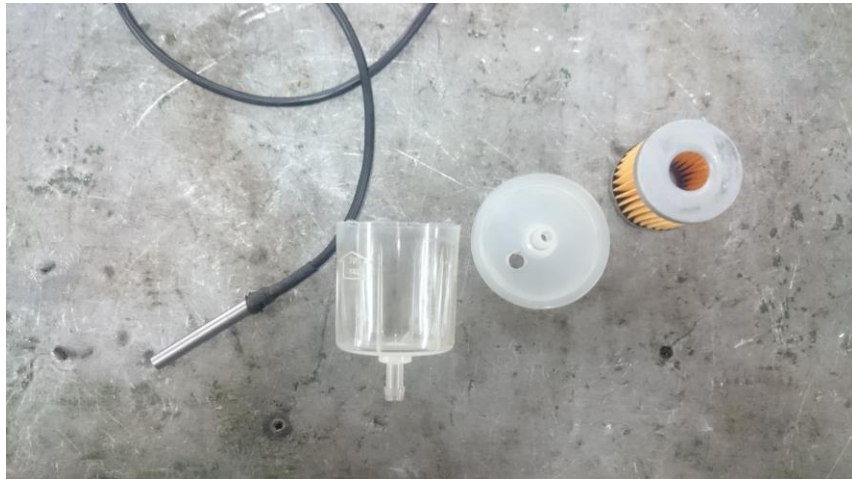


Figura 56: Filtro desmontado y sensor de temperatura.

En el interior de ésta carcasa, se debe ubicar el sensor de temperatura, de tal forma que quede sellado completamente, y no hayan fugas de agua. Para el proceso de sellado se utiliza masilla epóxica.



(a)



(b)

(c)

Figura 57: (a) Se inicia con la colocación del sensor dentro del filtro. (b) Luego se procede a sellar el filtro. (c) Se sella con masilla epóxica toda apertura por donde pueda haber fuga.

4.2.3. Estructura

La ubicación de todos los componentes del sistema de refrigeración dentro de la plataforma, se debe hacer de forma que no interfiera con otros sistemas y permita un fácil acceso de la persona que vaya a realizar el mantenimiento. Además se desmonta de forma sencilla para dejar espacio para alcanzar otros sistemas dentro de la plataforma y así facilitar la inspección de los sistemas.

La mejor ubicación que se pudo encontrar para el sistema de refrigeración según el análisis realizado, es tras el panel derecho posterior. Ya que existe el espacio suficiente bajo el tubo láser para poder ubicar todos los componentes del sistema de refrigeración. En la Figura 58 se puede apreciar los soportes para el tubo láser y el sistema de refrigeración ubicados en la parte posterior de la plataforma.



Figura 58: Montaje de los soportes para el sistema de refrigeración

Para poder instalar éstos componentes, se debe construir unos soportes dentro de la plataforma para que se mantengan en su posición. Tales soportes se fabricaron a partir de un tubo cuadrado de 1 pulgada, el cual se cortó en pedazos de 20 y 25 cm y se procedió a soldar de manera que se forma un marco cuadrado que será soldado a la estructura de la plataforma de forma que todos los componentes queden a 15 cm de la base de la plataforma, además con ésta ubicación, es necesario instalar el condensador y el ventilador de refrigeración de forma invertida hacia abajo, para que no haya interferencia con el tubo láser. La instalación de los componentes se muestra en la Figura 59.



(a)

(b)

Figura 59: Corte y unión de perfiles para la fabricación de la base del sistema de refrigeración, (b) Soporte soldado en la estructura base

Para el sensor de temperatura se buscó una ubicación cercana a la entrada del tubo láser y haciendo uso de masilla epóxica se instaló el sensor de temperatura junto a su contenedor, en el soporte del tubo láser como se muestra en la Figura 60.



Figura 60: Ubicación del sensor de temperatura en el soporte del tubo láser.

La bomba de agua se ubicará dentro del contenedor, por lo que se necesita un adaptador plástico o galvanizado para la salida del agua destilada desde la bomba, ya que al estar en contacto permanente con la humedad, se produce óxido si se usa abrazaderas metálicas para la fijación de la manguera.

4.3. Sistema de Extracción de gases.

Dado que inicialmente el sistema de refrigeración no contaba con las especificaciones necesarias para cumplir su objetivo, se procedió a realizar un rediseño del sistema, incluyendo la posibilidad de instalar el sistema de refrigeración dentro de la plataforma.

4.3.1. Extractor Axial.

El extractor se ubica dentro de la plataforma de forma que pueda extraer la mayor cantidad de gases nocivos posibles. Por lo que se debe realizar un análisis previo sobre el comportamiento de éstos gases dentro de la plataforma. Para dicha tarea se usa el software CAD.

Así se procede con la creación de un modelo 3D de la plataforma con los componentes involucrados en la extracción de gases. Luego se imponen los criterios de diseño y se realiza el análisis. Los resultados obtenidos son de utilidad para definir la mejor ubicación para el extractor.

En la Figura 64 se muestra las condiciones iniciales impuestas en el análisis, en donde podemos notar valores como la presión a la que se encuentran los gases en la plataforma, la temperatura dentro del área de maquinado, además de imponer que tipo de gas y la concentración del mismo que habrá en el aire.

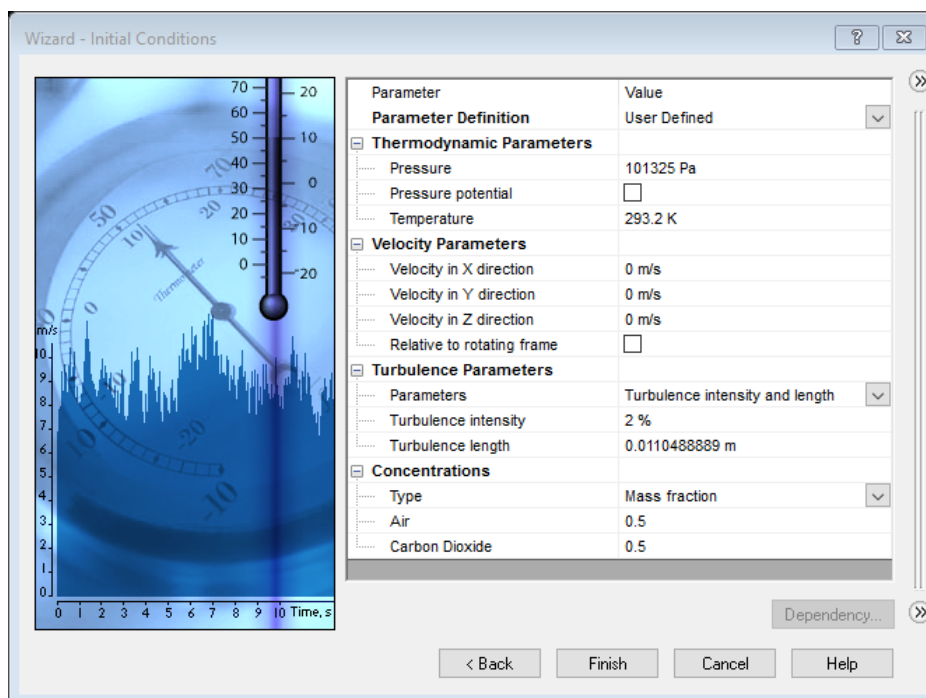


Figura 61: Condiciones iniciales para el análisis.

Se observa que se impone un valor de concentración del 50% de Dióxido de carbono, se hace uso de dicho gas, ya que es el generado en el maquinado de madera MDF, que es cuando se produce la mayor cantidad de gases nocivos.

Posteriormente se designa el área de la plataforma en la que se va a realizar el estudio. Como se observa en la Figura 64.

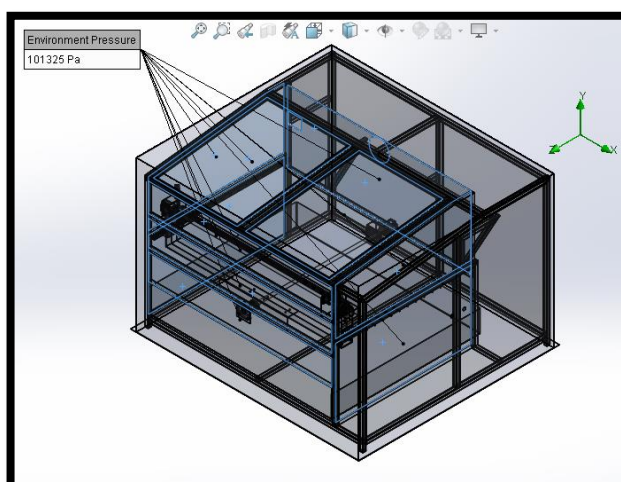


Figura 62: Área de la plataforma en la que se encuentran la generación de gases.

Luego se procede a realizar el análisis cuando la plataforma no usa el extractor de gases, mientras que para el análisis de cuando la plataforma usa el extractor de gases, se debe imponer dicho elemento en el estudio, como se muestra en la Figura 64.

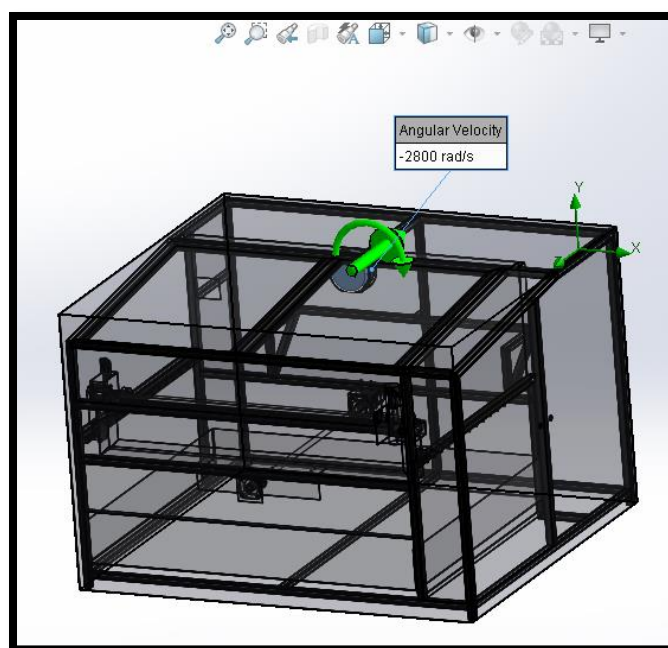


Figura 63: Ubicación del extractor axial en la plataforma.

Una vez realizado el anterior ajuste, se puede realizar el análisis para cuando la plataforma usa el sistema de extracción de gases.

A continuación se presentan los resultados de ambos estudios.

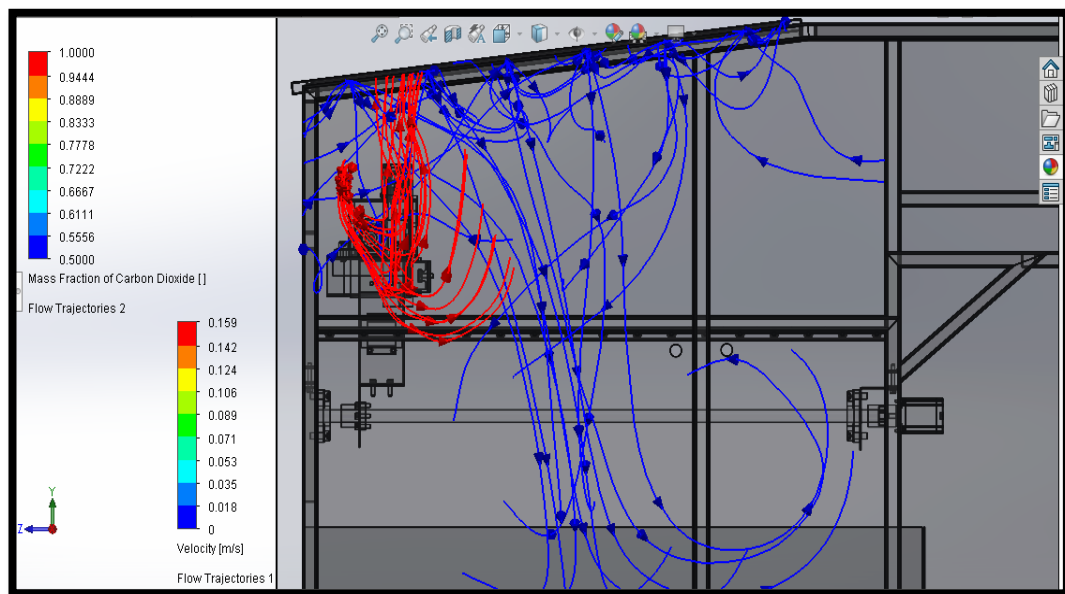


Figura 64: Análisis de fluidos sin extractor AXIAL.

En la Figura 65 se presenta parte del análisis de fluidos cuando no se está usando el ventilador axial. Como se puede observar en un sistema ideal, los gases se quedan dentro de la plataforma teniendo un pico de velocidad máxima, en el lugar donde se generan, que es el punto donde se encuentran el haz de luz del láser y el material maquinado.

Contemplando que físicamente, en la plataforma si existen brechas por las cuales pueden fugarse los gases, entonces realmente el gas escaparía incluso por esas brechas afectando a las personas presentes.

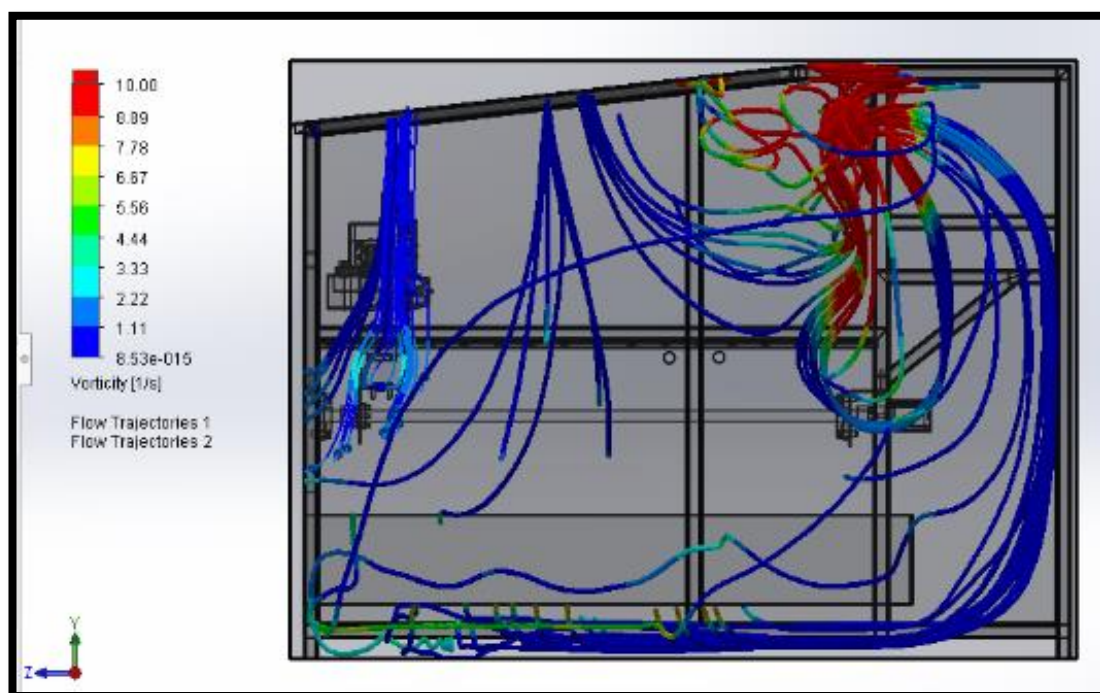


Figura 65: Análisis de fluidos con extractor AXIAL.

Por otro lado como se observa en la Figura 65 cuando se hace uso de un extractor, la concentración y velocidad máxima de los gases se encuentra en el punto donde se encuentra dicho extractor.

Como en el análisis se hizo uso de una representación del extractor y no de todo el sistema de extracción comprendido por ducto y salida de los gases, entonces se observa en la imagen que los gases se depositan dentro de la plataforma igualmente. Pero físicamente el proceso es diferente, ya que el gas es direccionado a los ductos de extracción que los llevan hasta su salida hacia la campana de extracción.

Una vez definida la ubicación del extractor de acuerdo a los resultados arrojados por el análisis, se procede a maquinarse un agujero de 6'' de diámetro en esa ubicación, con el fin de que haya una salida de aire para el extractor, además de maquinarse los agujeros necesarios para poder empinar el extractor a la plataforma.

Posteriormente se procede a sellar los bordes entre la estructura de la plataforma y el extractor con el fin de que no haya una fuga de dichos gases que pueden afectar en el rendimiento del sistema de extracción. Véase Figura 66.



(a)

(b)

Figura 66: (a) Montaje del extractor AXIAL en la plataforma (b) sellado del extractor AXIAL dentro de la plataforma.

4.3.2. Ducto de extracción

El ducto de extracción se ubica sobre el tubo láser, sin interferir con el accionar de este. Para su ubicación se toma en cuenta la posición de la campana de extracción y del extractor axial dentro de la plataforma. Además de que se debe cuidar de que no haya interferencia con otros componentes o sistemas dentro de la plataforma.

Se ancla el ducto flexible al techo de la plataforma por medio de abrazaderas plásticas. Es importante que no existan fugas ni en los extremos del ducto en los que se conecta a otros componentes, ni dentro del ducto ya sea por la existencia de agujeros por los que se evacúan los gases. Por lo que antes de realizar la instalación se debe verificar que el ducto esté en perfecta condiciones. Una representación del proceso se observa en la Figura 67.



(a)

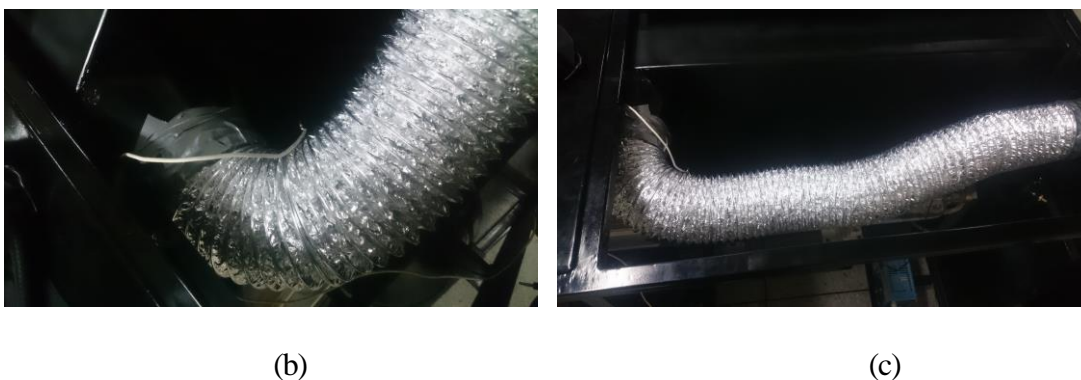


Figura 67: (a) Sellado entre extremo del ducto y salida del extractor axial. (b) sellado entre extremo del ducto y salida del sistema de extracción (c) Posicionamiento del ducto en el interior del láser.

4.3.3. Estructura.

Para la correcta instalación del extractor y el ducto en la plataforma, es necesario el uso de adaptadores que permitan la conexión de éstos componentes.

Para la conexión entre el extractor y el ducto se maquina un adaptador a partir de una reducción PVC de 6 pulgadas a 4 pulgadas, a la cual se le cortó 20 cm de cada extremo para que ser ubicado tras el extractor, de igual manera se debe sellar los bordes entre el adaptador y la estructura de la plataforma para evitar fugas como se muestra en la Figura 68.



Figura 68: Pieza de PVC para adaptar la salida del ventilador axial a uno de los extremos del ducto.

En cuanto a la salida del flujo de gases desde la plataforma hacia la campana de extracción, es necesario el uso de otro adaptador, que se ubicará en el panel lateral izquierdo de

la plataforma a la altura del ducto, sobre el espacio de trabajo del tubo láser como se observa en la Figura 69.



(a)



(b)

Figura 69: (a) Maquinado de orificio de montaje para adaptador de salida de gases. (b) Chimenea para direccionar gases hasta la campana de extracción

Es necesario realizar un corte circular con las dimensiones del adaptador, para que pueda ser instalado, en éste caso es un corte de 4 pulgadas de diámetro, además de 4 agujeros de $\frac{1}{4}$ pulgadas para realizar el anclaje del adaptador por medio de pernos.

4.4. Adaptación de la estructura de la plataforma CNC de corte por láser.

Lo primero que se realizó fue un análisis estático de las fuerzas presentes en la estructura de la plataforma. Entre esas fuerzas se encuentran las producidas por los nuevos sistemas. Por

lo que el análisis de éstas fuerzas resulta importante para concluir si la plataforma puede soportar la inclusión de esos nuevos sistemas sin comprometer su rendimiento, ni producir fallos en la estructura.

El análisis se lo lleva a cabo dentro del software CAD, usando solo el modelo 3D de la estructura de la plataforma, sin sus paneles, ni demás componentes. Lo primero que se realiza es definir todas las cargas que se encuentran en la estructura, comenzando con imponer una carga por el propio peso de la estructura como se muestra en la Figura 73.

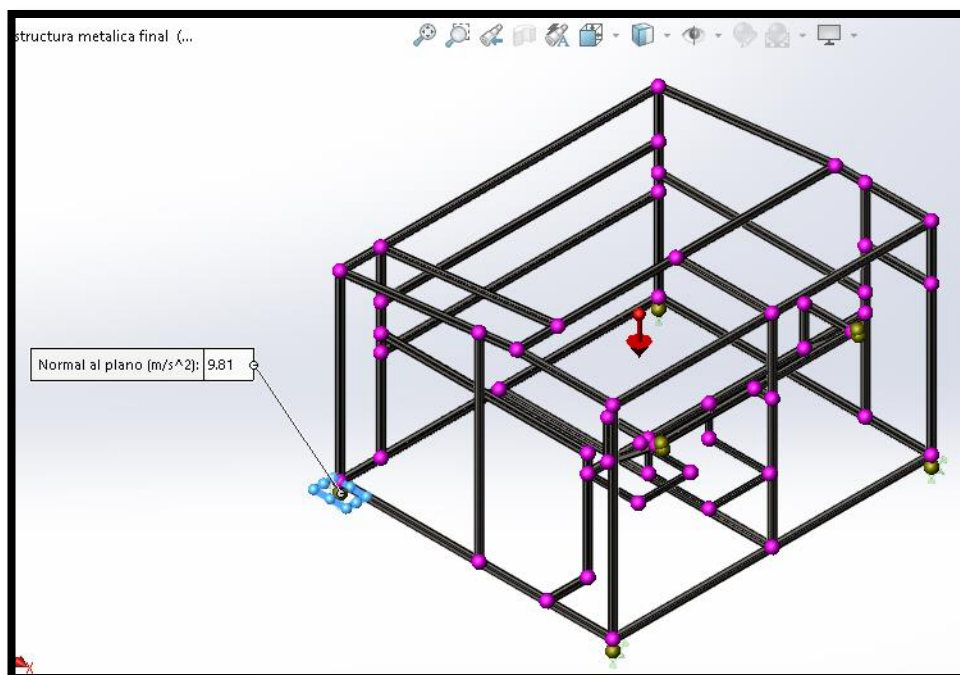


Figura 70: Definición de la carga que tiene la estructura por efecto de su peso.

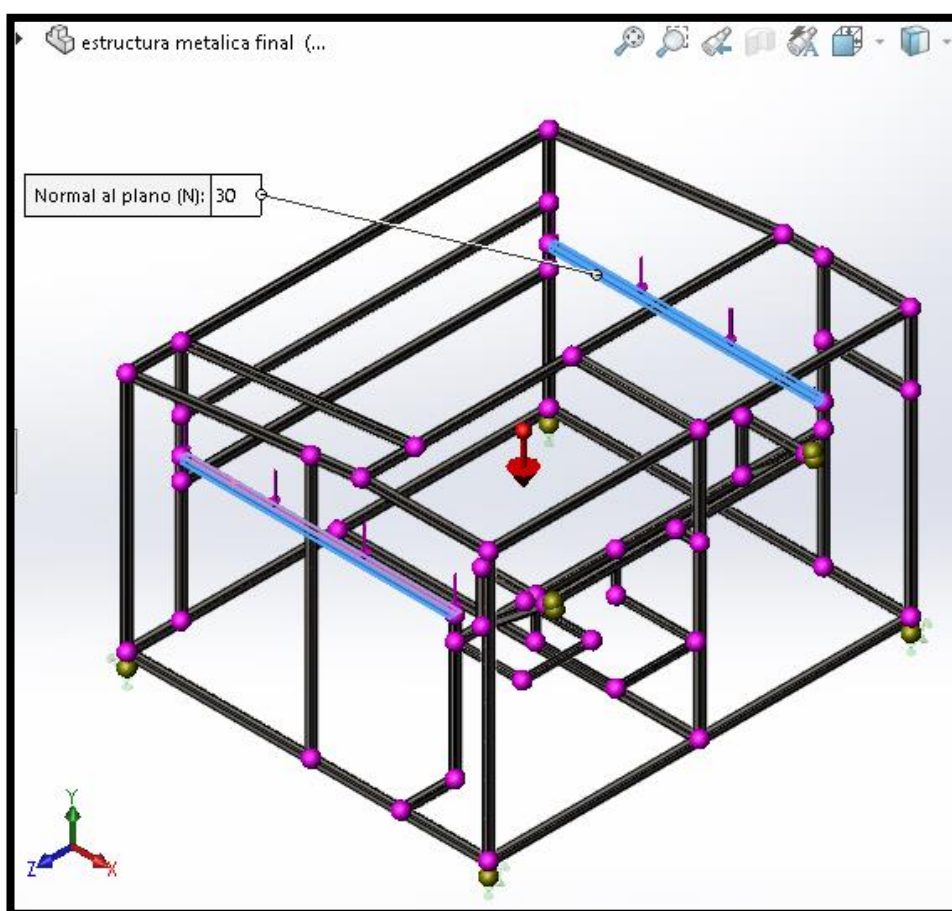


Figura 71: Carga efectuada por la mesa de trabajo de la plataforma.

En la Figura 71 se representa la carga que efectúa la mesa de trabajo sobre la estructura de la plataforma. Posteriormente se debe representar en el estudio las cargas efectuadas por cada elemento y sistema implementado en la plataforma.

Luego de haber definido todas las fuerzas que actúan sobre la plataforma como se muestra en la Figura 73, se prosigue con el análisis de la estructura.

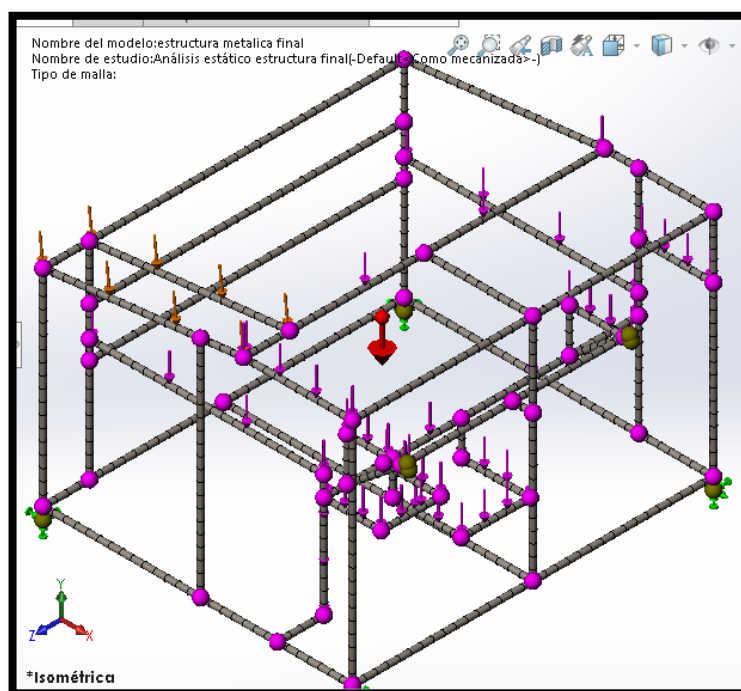


Figura 72: Mallado para el análisis estático de la estructura de la plataforma.

En la Figura 73 se definen los valores de Tensión máxima que puede soportar la estructura luego de implementar todos los sistemas en la plataforma. Como se observa, el valor de la tensión máxima que debe soportar la estructura se encuentra en un punto de su base, pero se encuentra por debajo del valor del límite elástico de la estructura, por lo que no existe riesgo de fallo en la estructura.

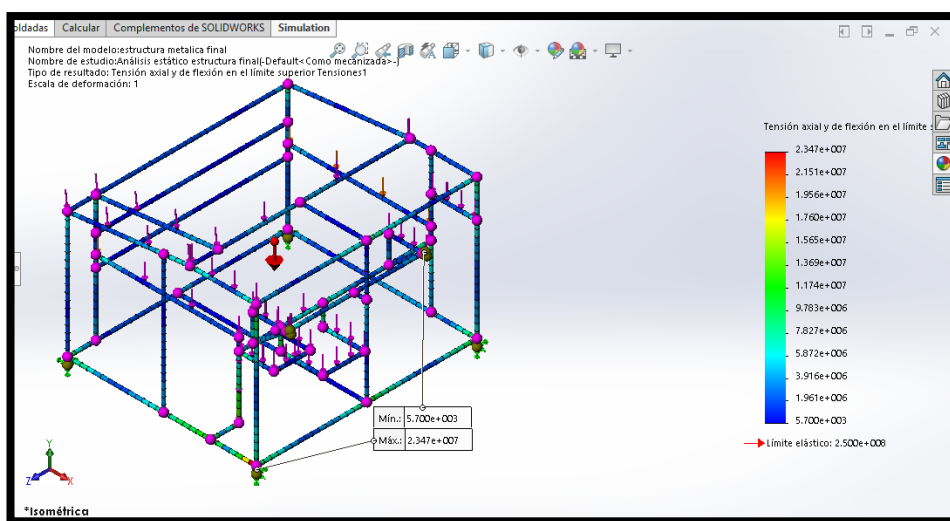


Figura 73: Tensión máxima soportada por la estructura.

En la Figura 74 se muestra el desplazamiento máximo que sufre la estructura de la plataforma con todos los sistemas integrados.

Al igual que con la tensión máxima el punto en el que se encuentra el valor de desplazamiento máximo es un punto en su base, aunque no es el mismo donde se concentra la tensión máxima.

El valor de desplazamiento máximo que se da en ese punto de la estructura es de 1.234mm. Por lo que no existe riesgo de que la estructura presente deficiencia en algún momento.

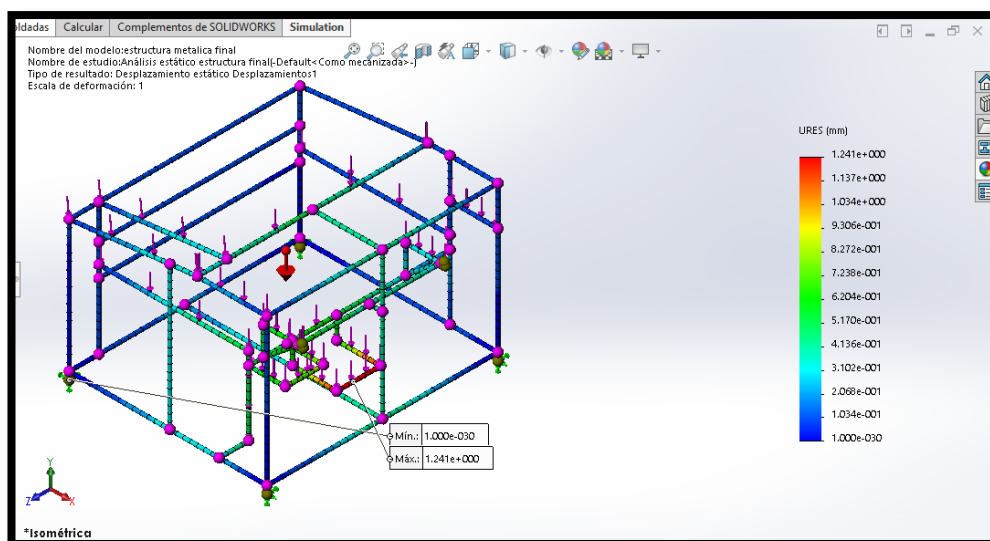


Figura 74: Desplazamiento máximo ocurrido en el análisis.

En la Figura 75 se muestra el factor de seguridad de la estructura de la plataforma con todos sus sistemas integrados. El valor de importancia aquí es el factor mínimo de seguridad que tiene un valor de 11 lo que nos dice que se le puede seguir incrementando la carga a la estructura de la plataforma con la implementación de los nuevos sistemas sin que existan daños en la plataforma.

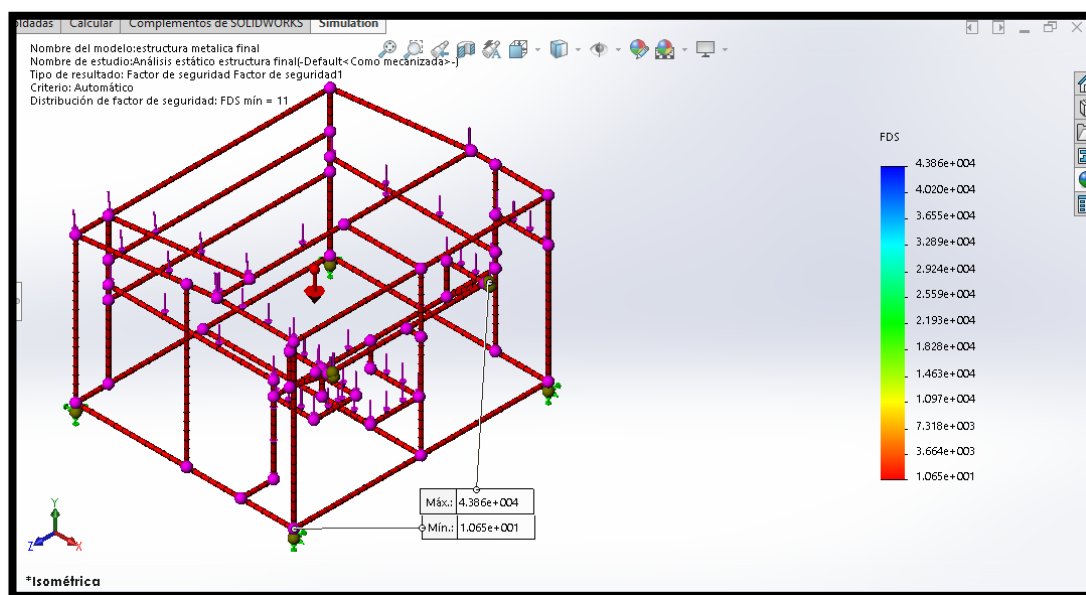


Figura 75: Factor de seguridad de la estructura.

La estructura de la plataforma sufrió diversos cambios para poder obtener un mejor rendimiento y poder soportar la instalación de los nuevos sistemas.

A continuación se detallan los cambios realizados dentro de la plataforma.

Se soldó un tubo cuadrado de 2 pulgadas y 30 cm de largo en la esquina posterior derecha de la plataforma. Sobre dicho tubo se maquinan agujeros de $\frac{1}{4}$ pulgada para poder instalar el soporte de la computadora con lo que se asegura una mayor movilidad y facilidad de uso, con una mejor maniobrabilidad del monitor. Parte del proceso se muestra en la Figura 76.



(a)



(b)



(c)

Figura 76: (a) Maquinado del soporte para la computadora y sus periféricos. (b) Montaje de la computadora y CPU (c) Cableado de periféricos.

El panel de acrílico sobre el que reposa la puerta de acrílico en el área de maquinado, ha sido retirado y en su lugar se ha soldado un panel de metal fijo, que se maquinó a partir de una plancha de tol de 0.8 mm de espesor. Con ese panel fijo se otorga mayor estabilidad a la puerta evitando que pueda haber daños en la estructura.

Como se observa en la Figura 77, se soldaron pedazos de ángulos de $\frac{3}{4}$ de pulgada y 1.5 m de longitud en la parte interior del marco donde encaja la puerta acrílica. Con el fin de poder nivelar la puerta en cada punto de la estructura y posteriormente proporcionar un sellado al área de maquinado, impidiendo que se escape gran parte de los gases producidos. Por lo que se aumenta el rendimiento del sistema de extracción.



(a)



(b)

Figura 77: (a) Proceso de soldado de soportes para el marco de la puerta de acceso a la mesa de trabajo (b) Montaje de cinta de espuma para hermetizar el área de trabajo.

Para que exista mayor grado de hermetismo dentro de la plataforma, específicamente en el área de maquinado, se debe sellar la mayor parte de espacio existente entre la puerta cerrada y el marco de la misma en la plataforma. Para llegar a lograr dicho punto, se ha pegado cinta de espuma de polietileno de 5 mm de espesor, sobre todo el marco en el que encaja la puerta acrílica. Así al momento de cerrar la puerta, la espuma de la cinta se comprime permitiendo que se produzca un sellado del espacio dentro de la plataforma.

Debido a la inclusión de nuevos componentes dentro de la plataforma, se tuvo que buscar una nueva ubicación para la fuente del tubo láser, de forma que no se encuentre cerca de ningún otro componente. La fuente del tubo láser trabaja con alto voltaje, por lo que se debe ubicar a 20 cm de las paredes de la plataforma, como medida de seguridad para evitar cualquier descarga de electricidad o cortocircuito que pueda ocurrir por el contacto de los cables de alta tensión con la estructura de la plataforma, Figura 78.



Figura 78: Ubicación de la fuente del tubo láser en la plataforma.

También se pintó la estructura completamente, para que haya una mejor protección de todos sus componentes a los efectos ambientales. Se usó pintura de polietileno y una base gris para estructuras metálicas. Para éste proceso se cubrieron con periódico y cinta todos los componentes que no se requerían pintar como se observa en la Figura 79 y posteriormente se usó masilla epóxica para corregir ciertos defectos en la estructura producto del efecto de la soldadura.



Figura 79: Empapelado, lijado y masillado previo al proceso de pintado.

Luego se lija la estructura para quitar residuos de suciedad y pintura, finalmente se procede a pintar la estructura mediante uso de soplete, e implementando en primer lugar la pintura base y luego la pintura de polietileno. Una vez se secó la pintura, el acabado superficial tiene un aspecto brillante y duradero. Ilustraciones del proceso se muestran en la Figura 80.



(a)



(b)



(c)

Figura 80: (a) Pintado de paneles (b) Pintado de la estructura interna de la plataforma (c) Vista final de la plataforma pintada.

4.5. Circuitería

La circuitería se refiere a la disposición que van a tener los diferentes componentes electrónicos presentes en la plataforma.

4.5.1. Tablero de elementos electrónicos.

Para el diseño del tablero se toma como base el diseño inicial del tablero donde se ubican los elementos electrónicos. Partiendo de ahí, se obtiene una mejor disposición de dichos componentes dentro de la plataforma. Para su fabricación se hizo uso de una plancha de Tol, en la que se procede a ubicar los componentes y canaletas necesarias para la distribución de sus cables.

Una vez se tiene el diseño del nuevo tablero y la distribución de los componentes, se procede a maquinar los agujeros necesarios para el anclaje de las canaletas, componentes eléctricos y del tablero a la estructura de la plataforma por medio de remaches y pernos.

Posteriormente se procede a pintar los paneles del tablero con pintura sintética azul como se observa en la Figura 81, con lo que se le otorga un acabado estético.

En éste tablero se realiza la distribución de la energía, y de los elementos de control de la plataforma como la tarjeta de control MACH3, que se usa para controlar el láser.

Se ubicó el tablero de manera que ahora ocupe menor espacio y se pueda tener acceso a él de forma más rápida.



(a)

(b)

Figura 81: (a) Maquinado del nuevo tablero de componentes electrónicos (b) Proceso de pintado del tablero

Se usó canaletas industriales, ya que permitían mayor facilidad de instalación y manipulación que las canaletas presentes en el tablero anteriormente.

Además, por la inclusión de los nuevos sistemas, fue necesario el uso de más borneras para riel de 6mm, ya que se crearon nuevas conexiones para dichos sistemas, y se modificaron algunas conexiones ya existentes en la plataforma.

En la Figura 82 se puede observar la diferencia entre el diseño inicial y final del tablero de elementos electrónicos.



(a)



(b)

Figura 82: (a) Tablero en su estado inicial. (b) Nuevo diseño del tablero implementado

4.5.2. Cableado

Al igual que en el tablero, para realizar el cableado dentro de toda la estructura, se instalaron canaletas industriales donde eran necesarias. Además del uso de espirales de polietileno para contener cables ahí donde no se podían instalar dichas canaletas.

Para el cableado de todos los sistemas se debe tener en cuenta la disposición de los componentes eléctricos y su interacción con otros componentes.

Anteriormente se usaban dos conexiones distintas para obtener líneas de 220 V y 110 V para el funcionamiento de todos los componentes de la plataforma. Ahora se ha realizado las conexiones de forma que ya no sea necesario tener dos conexiones independientes para obtener la energía de alimentación de los diversos sistemas.

Otro punto a tener en cuenta es que la fuente del láser debe estar lo más alejada posible de los demás sistemas, ya que trabaja con altos voltajes, así mismo su conexión al tablero de

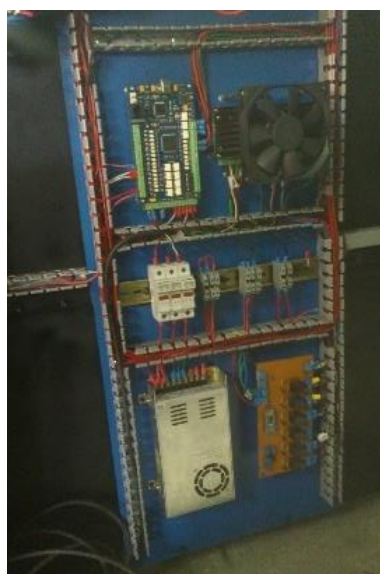
elementos eléctricos debe ser independiente y aislado para evitar accidentes. Algunos componentes como la computadora, el extractor de gases y la bomba de agua, éstos deben estar conectados directamente a una línea de 110V ya que trabajan todo el tiempo independientemente de si la fuente o el tubo láser se encuentran en funcionamiento.

Es importante que exista una buena distribución de los cables ya que el libre acceso a éstos y la falta de organización, pueden llevar a que exista el riesgo de que se dañe algún componente o que se produzcan incendios por corto circuitos debido a la manipulación indebida de dichos cables. A continuación se detalla el proceso de cableado en la Figura 83.



(a)

(b)



(c)

Figura 83: (a) Cableado del tubo láser, motores y sistemas de refrigeración y extracción. (b) Cableado de la computadora y sus periféricos (c) Cableado de componentes del tablero electrónico

4.6. Pruebas y resultados

Durante el proceso de construcción de los diferentes sistemas de la plataforma CNC de corte por láser, se realizan evaluaciones para determinar el rendimiento de dichos sistemas. Es así que se determinan las etapas en las que se realizan las pruebas para asegurar el correcto funcionamiento del sistema.

En primer lugar se evalúa el rendimiento del sistema de adquisición y tratamiento de imágenes, luego se procede con la verificación de que el sistema de extracción de gases cumpla con su objetivo. Posteriormente se debe revisar que el contenedor de agua destilada no presente signos de oxidación y el control de temperatura del agua funcione correctamente. Finalmente se evalúa el rendimiento en conjunto de la plataforma.

Para realizar cada evaluación se procede haciendo una comparación entre el rendimiento actual de cada sistema, contra el rendimiento que tenía dicho sistema antes de la realización del presente proyecto.

4.6.1. Primera evaluación

El objetivo de la evaluación es verificar que los dispositivos de adquisición de imágenes como el escáner y la pantalla táctil, puedan captar imágenes y enviarlas al computador para su posterior vectorización. Además de evaluar el rendimiento del software en el momento de extraer el código G de la imagen vectorizada.

La prueba inicia con el ingreso de una imagen ya sea en el escáner o en la pantalla, y luego se procede con el tratamiento de la imagen y extracción de su código G. Posteriormente con el software MACH3 se realiza el maquinado o trazado del diseño ingresado.

4.6.1.1. Resultados

Ambos dispositivos de captación de imágenes, son capaces de obtener imágenes de alta calidad, suficiente para realizar una vectorización exitosa de tal diseño.

Escáner

En cuanto al escáner puede tener un rendimiento de hasta 600 x 600 dpi, resolución suficiente para obtener una imagen bien definida a la que se puede vectorizar fácilmente por

medio del software INKSCAPE y así mismo extraer su código G mediante el script programado en PYTHON.

Además su ubicación dentro de la plataforma le permite estar protegido de cualquier manipulación indebida del dispositivo reduciendo su interacción con el exterior. La bandeja de devolución al final fue recubierta con una lámina de acetato, cubriendo toda la superficie que entra en contacto con el papel ingresado al escáner. Así se evita el problema de que la hoja de papel se quede atascada en el proceso de su devolución.

Pantalla táctil

En cuanto al dispositivo de adquisición conformado por la pantalla táctil y la tarjeta Raspberry, presenta inconvenientes en cuanto a la longitud del cable de alimentación. Puesto que a mayor longitud existe una mayor resistencia eléctrica, ocasionando una pérdida de corriente. Por lo tanto el dispositivo tenía la tendencia de apagarse o en muchos casos no se prendía.

El problema se solucionó cambiando la longitud del cable y la ubicación final del dispositivo para evitar que se vea afectado el espacio en el que se puede usarlo.

El proceso llevado a cabo en el dispositivo de pantalla táctil difiere del proceso del escáner, en que mediante la pantalla se puede crear imágenes o diseños directamente en su interfaz y se guardan como imágenes en mapa de bits o ya vectorizadas, simplificando el proceso de tratamiento de imágenes.

Así mismo se ha obtenido exitosamente una imagen vectorizada con el uso del software INKSCAPE, a la que luego se le ha podido extraer el código G necesario para realizar el proceso de maquinado.

Software

En su estado inicial la plataforma trabajaba con el software de LAZY CAM para realizar la extracción del código G a partir archivo CAD en formato DXF, que posteriormente será utilizado por el software MACH3 para llevar a cabo el proceso de maquinado.

Lo que quiere decir que era imposible poder ingresar cualquier imagen a LAZY CAM. Para poder realizar el proceso, primero se requería crear un archivo en formato DXF por medio

de un software CAD con diseño similar a la imagen, proceso que considerando la dificultad del diseño de la imagen usada para maquinar y la habilidad del operador de la plataforma puede durar horas. En muchos casos no se hacía uso de la plataforma por dicho inconveniente, ya que la dificultad o desconocimiento del proceso desalentaba a las personas a usar la máquina.

Mientras que actualmente con la implementación del sistema de adquisición de imágenes, también se implementó el software libre de diseño INKSCAPE, el cual tiene la particularidad de admitir la creación e instalación de scripts que permitan aumentar el rendimiento y funcionalidad del software.

Es así como se creó un script mediante PYTHON que permite la extracción del código G de la imagen específicamente para su maquinado láser en la plataforma.

Por lo que a diferencia del método utilizado anteriormente, se puede ingresar cualquier imagen en cualquier formato. Incluso así no se encuentre como archivo digital, ya que también se puede realizar el ingreso de imágenes en papel y de la creación de imágenes directamente en la pantalla táctil.

Lo que constituye la implementación de nuevas funciones en la plataforma, eliminando el tedioso proceso de la creación de un archivo en formato DXF y reduciendo el tiempo que lleva el proceso de obtener el código G de una imagen.

4.6.2. Segunda evaluación

Aquí se lleva a cabo una comparación entre el rendimiento del sistema de refrigeración cuando se encontraba fuera de la plataforma, y ahora que se encuentra reubicado en el interior por medio de soportes.

Contenedor

Inicialmente, el contenedor de agua destilada presentaba corrosión en su interior debido a que no se usó un acero resistente al óxido para su fabricación. Además la bomba de agua que se posiciona en su interior estaba conectada a las mangueras de distribución de agua por medio de abrazaderas que también se oxidaban.

La corrosión de tales elementos, deposita partículas de óxido en el agua destilada que posteriormente van a ser distribuidas en el tubo láser lo que ocasiona daños irreversibles en el sistema.

Otro punto es la dificultad que se presentaba al momento de realizar el cambio de agua destilada, en el que se debía desmontar componentes como mangueras, y el sensor de temperatura que estaba instalado en el contenedor por medio de un orificio y masilla epóxica. Todo lo mencionado se hacía con el fin de dar espacio para poder voltear el contenedor y deshacerse de toda el agua que contenía oxido.

Los problemas que se presentaron por el uso de la plataforma con un sistema de refrigeración en dicho estado fueron determinantes en el momento de analizar su rediseño. Ya que la vida útil del tubo láser se vio reducida al punto de haber durado menos de la mitad de lo sugerido por el fabricante que son 10000 horas.

Actualmente el contenedor del sistema de refrigeración ha sido modificado de tal forma que se realizó un tratamiento a la superficie del contenedor, de tal forma que se le otorgó resistencia a la corrosión usando pintura ANTIOX de CONDOR.

Así mismo se cubrieron algunos agujeros que ya no eran de utilidad, haciendo al contenedor menos propenso a fugas. Además ahora se ubica en un soporte en el interior de la plataforma a 15 cm del suelo de la plataforma, con el objetivo de facilitar la extracción de toda el agua destilada por medio de la válvula ubicada en el inferior del contenedor.

Por las nuevas características proporcionadas al contenedor, ahora ya no se visualiza la presencia de partículas de óxido en el agua destilada, por lo que se espera que la vida útil del tubo láser ahora se acerque al valor especificado por el fabricante.

Por otro lado, ya no se necesita desmontar los componentes del sistema de refrigeración para poder realizar el mantenimiento y limpieza del contenedor, puesto que cuenta con un sistema de desagüe que simplifica el proceso.

Ubicación de componentes

Como ya se explicó anteriormente se realizó una relocalización de todos los componentes del sistema de refrigeración para que puedan estar dentro de la plataforma y no fuera como en su estado inicial.

Un componente en el cual cobra importancia la ubicación en la que se encuentre, es el sensor de temperatura. Ya que dependiendo de su ubicación puede generar error en la lectura de la temperatura real del agua dentro del tubo láser.

La ubicación inicial del sensor de temperatura era dentro del contenedor interactuando con la bomba de agua, en ese punto medía la temperatura del agua cuando ya había pasado por el radiador.

Por otro lado actualmente se ubica apartado de los demás componentes del sistema de refrigeración y lo más cercano posible a la salida de agua del tubo láser, dentro de su propio contenedor para minimizar la posible inclusión de ruido ambiental a la señal medida.

Los beneficios de la reubicación y aislamiento del sensor de temperatura se traducen en una mejor lectura de los valores de la temperatura del agua. De tal forma que se minimiza el error producido en la medición por la inclusión de cualquier ruido al que estuviese expuesto dentro del contenedor de agua e interactuando con la bomba de agua.

Además de que al estar lo más cerca de la salida del láser, se tiene una lectura de la temperatura máxima que alcanza el agua durante su recorrido por todo el sistema. Así se establece un mejor control de la temperatura, asegurándonos de que el ventilador de aire se prenda en el momento exacto que se sobrepasa el límite de los 28°C.

Otros componentes que se reubicaron fueron el ventilador de refrigeración y el condensador, que forman un solo bloque en el mismo soporte dentro de la plataforma. Por lo que fue necesario el maquinado de una salida de aire en el panel trasero de la máquina para que el ambos componentes puedan realizar su objetivo.

Puesto que antes dicho bloque de componentes se encontraba al aire libre, la reducción de la temperatura del agua se realizaba de forma más eficiente y rápida que en el momento de ubicar dicho bloque dentro de la plataforma.

4.6.3. Tercera evaluación

Se detalla los resultados de la comparación entre el rendimiento de la plataforma en su estado actual con la implementación del sistema de extracción de gases y de su estado inicial cuando no había ningún sistema para realizar dicho proceso.

Sistema de extracción de gases

Inicialmente la plataforma no contaba con un sistema que permita deshacerse de los gases y partículas que se producen durante el maquinado, principalmente cuando se usa madera MDF. Por lo que dichos gases se concentraban en el área de maquinado y posteriormente eran respirados por las personas cercanas a la plataforma, ocasionando un riesgo a su salud.

Por otro lado también se daban fallos pequeños en el acabado de las piezas maquinadas, puesto que los gases y partículas presentes interferían con el proceso de maquinado al interactuar con el direccionamiento del haz de luz láser, además de la acumulación de partículas dentro de la máquina que pueden disminuir la vida útil de la plataforma en general.

Luego del diseño e implementación del sistema de extracción se redujo considerablemente la presencia de gases y partículas dentro del área de maquinado, aumentando el rendimiento y vida útil de la plataforma, y minimizando el riesgo que dichos gases pueden producir a la salud, ya que mantiene limpio el aire presente en el entorno de la plataforma.

La ubicación del ducto fue de considerable importancia, ya que obligatoriamente se debía ubicar en un espacio en el que podía interferir con el tubo láser. La localización de la campana de extracción fue en parte responsable de la ubicación del ducto, así que se tomaron las medidas necesarias para garantizar que el ducto y el tubo láser no interfieran. Lo que podría ocasionar incendios o daños de la plataforma.

Por último se verificó que no existiesen brechas o fugas de gases durante todo el trayecto que comprende desde el extractor axial hasta su salida a la campana de extracción. Se necesitó del uso de masilla epóxica en todos los posibles lugares identificados, donde se podría producir una fuga para asegurar la robustez del sistema.

Adaptación de la estructura.

A pesar de implementar el sistema de extracción, su rendimiento se vio afectado por la existencia de brechas ocasionadas por el mal encuadre entre la plataforma y la puerta de acceso al área de maquinado.

En el lado izquierdo de la plataforma, dicha puerta quedaba levantada 1.5 cm sobre el nivel del que debería estar, provocando la fuga de gases por ese punto. Se realizó una modificación del panel movable delantero sobre el que reposa la puerta.

Así se arregló el encuadre de la puerta, pero aun así seguía existiendo una fuga importante de gas por el sitio en el que hace contacto el marco de la puerta y la estructura del láser

Por lo tanto se tuvo que soldar soportes adicionales para la puerta en los laterales de la zona donde descansa la puerta. Sobre dichos soportes se implementó cinta de espuma con lo que se reduce la presencia de fugas y se asegura que el sistema de extracción de gases trabaje con su máximo rendimiento.

4.6.4. Especificaciones técnicas de la plataforma

En Tabla 55 se observan las especificaciones técnicas de la plataforma de corte por láser.

Tabla 55
Especificaciones técnicas de la plataforma CNC de corte por láser.

Datos mecánicos	
Zona de trabajo	850 x 1000 mm
Altura máxima de la pieza de trabajo	6 mm
Velocidad de grabado máximo	1 m/min
Velocidad de corte	Depende del material, espesor y potencia del láser
Motor	A pasos NEMA 23
Mesa de la pieza de trabajo	Metal sólido (ferromagnético)
Lentes disponibles	25 mm de molibdeno de alta reflectividad
Sistema de control	
Software	MACH 3
Potencia del láser	Ajustable 0-100%
Interfaz de hardware	USB: Velocidad de transmisión 460.800 baudios
Equipo del láser	
Tubo láser	Láser de CO ₂ , potencia 80W
Longitud de onda	3.5 mm de diámetro
Temperatura de funcionamiento.	< 30°C
Dimensiones	
Anchura/altura/profundidad	1500 x 1050 x 1350 mm

Peso	100 kg
Adquisición y Tratamiento de imágenes.	
Escáner	BROTHER, hasta 600 x 600 dpi a 8 ppm
Controladora	Raspberry pi 3 Model B
Pantalla táctil	Wondershare 7'', resolución 1024 x 600.
Refrigeración	
Ventilador para refrigeración	Voltaje AC: 110V, Potencia 1300 RPM
Bomba de Agua sumergible.	HJ-1542, Caudal: 23 l/min.
Sensor de Temperatura	DS18B20, Precisión de -10°C a +85°C ±0.5°C
Salida de gases	
Extractor AXIAL	EBCHQ, Voltaje AC: 220V, Caudal 229 m ³ /h
Ducto Flexible	Diámetro 4'', Longitud: 1m
Equipo eléctrico	
Consumo eléctrico	0.6 KW

4.7. Resumen

- Debido a la modularidad con la que cuenta la plataforma CNC de corte por láser, el diseño de los sistemas se realiza de forma independiente, considerando su posterior ubicación en la plataforma para cuidar que no interfiera con otros sistemas. En el documento en primer lugar se encuentra descrito el diseño del sistema de adquisición y tratamiento de imágenes. Para lo que es necesario identificar la ubicación óptima del escáner, de manera que su uso sea simple y no se vea expuesto a efectos ambientales o manipulaciones indebidas.
- Luego se describe el diseño de los sistemas de refrigeración y extracción de gases de vital importancia para aumentar el rendimiento y vida útil del tubo láser. Para la implementación de dichos sistemas es necesaria la modificación de la estructura de la plataforma. Así mismo se realiza el rediseño del tablero de control y su posterior ubicación y cableado de todos sus componentes eléctricos en la plataforma. Finalmente se realiza el cableado de todos los sistemas y dispositivos respetando las normas de seguridad industrial para evitar posibles accidentes.

- Las pruebas de funcionamiento del robot se realiza en base a la comparación del rendimiento de los sistemas implementados entre la plataforma antes y después de su modificación. Para cada sistema se realiza una evaluación y se presentan los resultados y conclusiones obtenidas de la prueba. Al final se presentan las especificaciones técnicas actuales de la plataforma CNC de corte por láser.

Capítulo 5

Análisis Económico Y Financiero

El presente capítulo tiene como propósito, realizar un análisis de los diferentes costos directos, indirectos y de fabricación. De tal forma se puede obtener los valores de la Tasa Interna de Retorno (TIR), el valor actual neto (VAN), y establecer la relación Beneficio/Costo. El resultado del análisis sirve para concluir si el proyecto resulta rentable para la Universidad.

5.1. Análisis financiero

En el análisis financiero debemos considerar 3 aspectos:

- Costos Directos
- Costos Indirectos
- Costos de Fabricación

5.1.1. Costos Directos

Los costos directos para el proyecto se detallan a continuación.

- Materiales mecánicos
- Materiales eléctricos y electrónicos
- Materiales para la modificación de la estructura

5.1.1.1. Costos de materiales directos

Tabla 56
Costo de Materiales Mecánicos

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Costo total
Disco de Corte	4	3,25	13
Brocas	4	4,1	16,4
Cinta para ducto	2	5	10
Pernos	20	0,3	6
Tacos para perno	20	0,5	10

Cinta aislante	2	3,25	6,5
Cinta de espuma	1	9,2	9,2
Reducción PVC 6"/4"	1	7,35	7,35
Cinta Masking	3	2,2	6,6
Espirales para cable (rollo)	1	7	7
Pintura Anticorrosiva	1	15,5	15,5
Pintura Base	1	9	9
Lijas	10	0,35	3,5
Thinner	3	2	6
Masilla Epóxica	4	8	32
Cinta doble Faz	2	2,5	5
Chimenea para extracción de gases	1	13,2	13,2
Abrazaderas	9	3	27
Llave de tuerca	2	2,1	4,2
Total			207,45

Tabla 57
Costo Materiales Eléctricos y Electrónicos.

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Costo total
Terminales macho/hembra	4	3,4	13,6
Pantalla Touch	1	69,5	69,5
Raspberry Pi 3	1	55	55
Extractor Axial	2	30	60
Fuente DC 5V/2,5A	1	15	15
Fusible 4A	2	1,2	2,4
Borneras	10	3	30
Escáner	1	102	102
Teclado	2	15	30
Cable por metros	15	0,9	13,5
Extensión USB	2	13,2	26,4
Canaletas	9	3,5	31,5
Total			435,3

Tabla 58
Costo de Materiales para modificación de la Estructura.

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Costo total
Tubo cuadrado 1" x 1,5	2	8,25	16,5
Tool 2mm	1	19,6	19,6
Tool 0,8mm	1	15,4	15,4
Ángulo 1" x 2	1	9,2	9,2
Soporte para PC	1	15	15
Platina 2,5" x 1,5	1	4,2	4,2
Tubo cuadrado 3" x 2,5	0,4	16,4	6,56

Total	86,46
-------	-------

Tabla 59
Costos Directos

Descripción	Costos
Elementos Mecánicos	207,45
Elementos Eléctricos y Electrónicos	435,3
Material para modificar estructura	86,46
Total	729,21

Una vez tabulado, los costos directos totales del sistema son los representados en la Tabla 59

5.1.1.2. Costos de mano de obra directa

Para los costos de mano de obra directa se toman en cuenta a las personas que forman parte de la construcción y diseño del proyecto, aquí se incluirá la mano de obra para la fabricación de las piezas de la estructura del sistema de limpieza y desinfección como se observa en la Tabla 60.

Tabla 60
Número de horas empleadas por los involucrados en el proyecto.

Persona a cargo	Actividad	Días	N. de horas
Tesistas	Diseño de Sistemas	25	70
	Generación de Planos	10	15
	Compra de materiales	8	8
	Fabricación de piezas	37	79
	Modificación de estructura	14	21
	Pintado de la plataforma	3	5
Director de Tesis	Revisión de avances	6	6
	Revisión y aprobación de planos	4	4
TOTAL		107	208

En aproximadamente en 16 semanas de trabajo se emplearon 200 horas para el diseño y construcción del sistema.

Posteriormente se procede a realizar el análisis del costo de la hora de trabajo de los involucrados en el proyecto, como se presenta en la Tabla 61. Tomando en cuenta el valor del salario básico, y el salario del director del proyecto.

Tabla 61
Costo total de mano de obra

Descripción	N de horas	Costo por hora	Costo total
Tesistas	198	1,5	297
Director de proyecto	10	10	100
Total			397

5.1.1.3. Costos de máquinas herramientas

Se debe tomar en cuenta, que el uso de máquinas y herramientas para la fabricación de los sistemas, genera un costo. Tal costo se analiza en la Tabla 62.

Tabla 62:
Costo del uso de máquinas y herramientas.

Descripción	N de horas	Costo por hora	Costo total
Sierra	8	6	48
Torno	4	10	40
Taladro	6	8	48
Cortadora	2	4	8
Soldadora	5	15	75
Total			219

5.1.1.4. Costos totales directos

Los costos totales directos empleados en el presente proyecto de los detalla en la Tabla 63.

Tabla 63
Costos Totales Directos

Descripción	Costo
Materiales Directos	729,21
Mano de obra directa	397
Máquinas herramientas	219
Total	1345,21

5.1.2. Costos Indirectos

Son llamados costos indirectos todos aquellos que no intervienen directamente en la implementación del sistema, pero son necesarios para la elaboración del proyecto.

5.1.2.1. Costos de materiales indirectos

Se debe tomar en cuenta el costo del uso del laboratorio, de los servicios básicos y demás servicios que contemplan un costo adicional. En la Tabla 64 se analizan dichos costos.

Tabla 64
Costo de materiales indirectos.

Descripción	días	horas	Costo por hora	Costo total
Laboratorio	107	856	0,2	171,20
Herramientas	107	856	0,4	342,40
Electricidad	107	856	0,082	70,53
Internet	107	856	0,051	43,66
Agua Potable	107	856	0,1	85,60
Total				713,39

5.1.2.2. Costos de mano de obra indirecta

Aquí se involucran a las personas que no intervienen de forma directa en el proyecto, pero que su aporte fue de suma importancia para alcanzar los resultados esperados. Tabla 65.

Tabla 65
Costo total de mano de obra indirecta

Descripción	N. de horas	Costo por hora	Costo
Directo de tesis	20	10	200
Asesoramiento de Ingenieros y técnicos del laboratorio de Procesos de Manufactura	30	10	300
Total			500

5.1.2.3. Costos totales indirectos

En la Tabla 66. Se presenta el valor total de los costos indirectos del proyecto.

Tabla 66
Costo total indirecto.

Descripción	Costo
Costo de instalación del laboratorio	713,39
Mano de obra indirecta	500
	1213,39

5.1.3. Costos totales

Para la obtención de los costos totales se suma los costos directos e indirectos.

Tabla 67
Costo Total del proyecto.

Descripción	Costo
Costos Directos	1345,21
Costos Indirectos	1213,39
Total	2558,6

5.2. Análisis Económico

En la presente sección se analiza la rentabilidad del proyecto, para lo cual se utilizaran los siguientes indicadores de rentabilidad.

- Valor actual neto (VAN)
- Tasa Interna de Retorno (TIR)
- Relación beneficio costo (B/C)

5.2.1. Costo del uso de la máquina

En el costo del uso del proyecto se considera varios factores, como el consumo energético, la mano de obra de operación, la depreciación de la misma.

Se asume que la máquina tendrá un uso de 15 horas semanales.

5.2.1.1. Costo del consumo energético

Aquí se considerará el consumo energético de la máquina de acuerdo al consumo de cada sistema.

Tabla 68
Costo del consumo energético.

Parámetro	Valor
Potencia de la máquina [Kwh]	0,6
Potencia de sistema de extracción [Kwh]	0,35
Potencia de sistema de refrigeración [Kwh]	0,15
Costo del Kwh	0,091
Costo total [Kwh]	0,1001

5.2.1.2. Costo de depreciación

En el costo de depreciación se toma en cuenta la vida útil de la máquina el cual es de 10000 horas para el tubo láser antes de ser remplazado, utilizándolo un promedio de 9 horas diarias y considerando que aún sin el uso, su vida útil disminuye.

Tomando en cuenta el costo total del consumo energético se puede obtener el costo de la máquina por año con un valor de Con estos valores podemos saber el costo de la máquina por año que es de \$365.36.

5.2.2. Valor Actual Neto (VAN)

Se realiza la suma de todos los flujos efectivos de inversión, restando las salidas del mismo. El valor actual neto permite aproximar los valores monetarios que recibirá la máquina a futuro con el interés de un período determinado.

Si el valor del VAN es positivo el proyecto es rentable, si es negativo deberá rechazarse.

5.2.3. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR es la actualización máxima que disminuye a cero el valor actual neto (VAN). Mientras más alta sea el valor de la TIR mayor éxito presenta el proyecto.

5.2.4. Relación Beneficio Costo (B/C)

La relación Beneficio/Costo es el resultado de dividir el valor de los ingresos y los egresos a una tasa de actualización igual a la tasa de rendimiento mínima aceptable.

El flujo de caja para el presente proyecto se realizará con una proyección de 10 años como se muestra en la Tabla 69

Tabla 69
Flujo de Caja con una proyección de 10 años

Año	Ingresos	Egresos	Flujo de efectivo	Tasa $(1+r)^n$	Ingresos Actuales	Egresos Actuales	Flujo Actuales
0	0,00	2558,6	-2558,600	1,000	0,00	2558,60	-2558,60
1	365,37	0	365,365	0,909	332,15	0,00	332,15
2	730,73	0	730,730	0,751	549,01	0,00	549,01
3	1096,10	0	1096,095	0,564	618,72	0,00	618,72
4	1461,46	0	1461,460	0,386	563,46	0,00	563,46
5	1826,83	0	1826,825	0,239	437,33	0,00	437,33
6	2192,19	0	2192,190	0,135	296,23	0,00	296,23
7	2557,56	0	2557,555	0,069	177,35	0,00	177,35
8	2922,92	1800	1122,920	0,032	94,55	58,23	36,33
9	3288,29	0	3288,285	0,014	45,11	0,00	45,11
10	3653,65	0	3653,650	0,005	19,33	0,00	19,33
Total					3133,23	-2616,83	516,40

Realizado el flujo de caja podemos observar los resultados del VAN, TIR y la relación Beneficio/Costo, cuyo resultado determinará la rentabilidad del proyecto.

Tabla 70
Resultados VAN, TIR, B/C

Análisis	Valor
VAN	516,40
TIR	41%
B/C	1,20

Capítulo 6

Conclusiones y Recomendaciones

En el presente capítulo se enlistan conclusiones y recomendaciones que se generaron durante el desarrollo del proyecto.

6.1. Conclusiones

- Se desarrolló un sistema de adquisición y tratamiento de imágenes para su implementación en la plataforma CNC de corte por láser presente en el Laboratorio de Procesos de Manufactura de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Dicho sistema cuenta entre sus componentes con un escáner BROTHER DS620 que se ha montado directamente a la plataforma para el ingreso de imágenes que se requieran maquinar. Además se ha instalado una pantalla táctil de 7” controlada mediante una Raspberry pi 3 model B, mediante el cual se procede a ingresar diseños de imágenes directamente en la pantalla táctil para su posterior maquinado. Adicionalmente se desarrolló una librería mediante lenguaje PYTHON, para el software INKSCAPE con la finalidad de otorgarle funcionalidades como la generación del código G de una imagen vectorizada.
- Se logró rediseñar el sistema de refrigeración de la plataforma. Para lo cual en primer lugar se realizó una investigación y análisis del comportamiento de tal sistema dentro de la plataforma. Además se fabricaron los soportes para cada elemento del sistema, asegurando de tal forma el correcto funcionamiento del sistema. Uno de los puntos más importantes del sistema, es el contenedor de agua destilada. Al cual se le realizó un tratamiento, recubriendo con pintura antioxidante su superficie interna que se encuentra en contacto con el agua. Así se asegura que el efecto de oxidación dentro del contenedor se anule, con lo que no se permite la contaminación del agua y los posteriores daños que ocasiona en el funcionamiento del tubo láser. El sensor de temperatura fue ubicado cerca de la

salida del tubo láser para poder tomar mediciones más precisas en la lectura de la temperatura del agua. Finalmente se ha logrado que el sistema de refrigeración que antes se encontraba fuera de la plataforma y sin las condiciones de funcionamiento correctas, pueda operar con eficiencia dentro de la plataforma, haciendo que se vuelva un sistema robusto y compacto.

- Mediante el análisis del comportamiento de los gases producidos durante el maquinado, se parte al diseño de un sistema de extracción de gases que pueda ser implementado para reducir los daños ocasionados por dichos gases tanto en la salud del operador como en el proceso de maquinado. La ubicación del ventilador axial le permite extraer los gases producidos durante el maquinado, procediendo a direccionarlos a un ducto de extracción que se ha montado sobre el tubo láser para evitar interferencias entre componentes. Finalmente el gas es depositado en la campana de extracción. Además se ha sellado aperturas presentes en la unión entre la puerta del área de maquinado de la plataforma y la estructura de la misma, para evitar el escape de gases por esas brechas. Con lo que se asegura que se extraiga la mayor cantidad de gas presente en el área.
- Se acondicionó la estructura existente para poder implementar los nuevos sistemas. La puerta principal del láser fue reforzada con tubos cuadrados de 20mm para evitar que no encaje con el soporte del escáner. Se fabricó un soporte para la computadora y sus periféricos, con lo que se ofrece un uso más cómodo del dispositivo. El tablero de componentes electrónicos cambió en su diseño y elementos, ya que con la incorporación de nuevos sistemas se tuvo que realizar un nuevo cableado que cumpla con las normas de seguridad de la plataforma. La fuente de alimentación para el tubo láser se cambió de posición para no interferir con los otros sistemas puesto que trabaja con alto voltaje, así que se fabricó un soporte para la fuente ubicándolo a 20 cm de las paredes de la plataforma para asegurar que no interfiera de ninguna forma en el proceso de maquinado.
- El control de temperatura y alarma de corriente del sistema de refrigeración se realiza mediante Arduino, tomando en cuenta los límites superiores de temperatura y corriente a los que podría seguir funcionando correctamente el tubo láser. Una vez que se ha excedido ese límite, el control se encarga de parar el

proceso hasta que los valores se encuentren dentro de los límites normales y se pueda seguir con el maquinado de la pieza.

- La plataforma CNC de corte por láser, es capaz ahora de tomar cualquier imagen impresa en un papel o directamente ingresada en el dispositivo de pantalla táctil y transformarla eficazmente a líneas de código G necesarias para realizar su maquinado. Todo el proceso se da en un ambiente de seguridad gracias a los demás sistemas implementados, reduciendo el riesgo de daños en el tubo láser y minimizando el riesgo que pueda traer a la salud de los operarios. Siempre se utilizó software libre para la realización del proyecto, puesto que así se asegura que sea una plataforma abierta para proseguir con futuras investigaciones en dicho campo.
- Para finalizar se resalta la importancia del proyecto en la generación de líneas de investigación futuras en el campo del maquinado por láser y del proceso de tratamiento de imágenes con la finalidad de usar en mecanizado. Por tal razón es imperativo proseguir con nuevas investigaciones y proyectos con respecto al tema dentro de la Universidad de las Fuerzas Armadas, y así poder generar más investigaciones y proyectos que permitan avanzar en el desarrollo tecnológico no solo a nivel institucional si no a nivel nacional.

6.2. Recomendaciones

- El proceso mediante el cual se adquieren y procesan las imágenes se ha simplificado y optimizado con respecto al anterior método con el que trabajaba la plataforma en el cual no se podían ingresar imágenes y solo se hacía uso del software Lazy Cam, para extraer el código G de una imagen ya vectorizada. Tal proceso requiere del uso de al menos 2 softwares que son el software del dispositivo usado para la adquisición de imágenes y el software INKSCAPE, para las etapas del tratamiento y maquinado de dichas imágenes. Por lo que se puede simplificar aún más dicho proceso con la creación de un solo software que permita controlar todo el proceso.
- La pantalla táctil de 7", es controlada mediante una tarjeta Raspberry Pi 3 model B, que trae problemas con la alimentación de corriente. Siendo que todo el sistema compuesto por la pantalla táctil y la tarjeta de control, funciona con una

corriente de 2.5 A, con lo que se ve limitada la longitud del cable de alimentación del dispositivo para evitar que el sistema se apague repentinamente y así mismo el área en la que se puede usar el dispositivo se ve reducida. El uso de otros dispositivos, ya sean fuentes que otorguen mayor amperaje, o el uso de tablets, etc., que cuentan con mejores características y prestaciones reducirían el efecto de dicho problema y aumentaría el rendimiento de la plataforma.

- Para el sistema de refrigeración se realizó una reubicación de todos sus componentes dentro de la plataforma, ayudando a mejorar su rendimiento. Se puede realizar el cambio de algunos de los componentes de dicho sistema para mejorar aún más su rendimiento. Un ejemplo sería el cambio del contenedor por un reservorio de agua totalmente inoxidable, para minimizar el tiempo que se debe pasar realizando mantenimiento al contenedor y así mismo asegurar que la vida útil del láser no se vea reducida.
- En cuanto al sistema de extracción de gases, el sellado de la puerta del área de maquinado para evitar fugas de gases, se puede mejorar mediante el cambio de la estructura de la plataforma en la que encuadra la puerta. Para lograr maximizar el hermetismo dentro del espacio en el que se realiza el maquinado, evitando el escape de los gases producidos durante el proceso, ya que a pesar de haber sellado el marco de la puerta, no encuadra de forma correcta en la plataforma haciendo que se generen brechas por donde se pueden escapar dichos gases.
- Para la inclusión de nuevos sistemas dentro de la plataforma se deben realizar los respectivos análisis del efecto de dichos sistemas en el proceso de maquinado. Con lo que se verifica que el funcionamiento del tubo láser y todo el proceso de maquinado no se vean afectados por las interferencias de los demás sistemas, ya sea por problemas de alimentación o por interferencias físicas entre componentes.
- Es necesario leer el manual de usuario de la plataforma CNC de corte por láser, antes de manipular la máquina. En el manual se detallan todos los aspectos importantes para la puesta en marcha y mantenimiento de la plataforma, además se debe tomar en cuenta las advertencias descritas en dicho documento para la seguridad del operario.

Bibliografía

- Becerra, J. (Febrero de 2016). *Introducción a Wiring PI en Raspbery PI*. Obtenido de <http://blog.hunabsys.com/introduccion-a-la-raspberry-pi-puertos-y-wiring-pi/>
- Cajamarca, M., & Chancusig, L. (2015). *Diseño de un catálogo con ilustraciones digitales para el mejoramiento del diseño artesanal en el área de la cerámica, vidriería y marmolería en la provincia de Cotopaxi*. Latacunga.: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Cazco, R., & Gordon, D. (2015). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLATAFORMA CNC DE CORTE POR LÁSER EN LÁMINAS DE ACRÍLICO Y MADERA MDF DE HASTA 6mm DE ESPESOR*. Sangolqui: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.
- Conrad G., M., & Mae, R. (1970). *Luz y visión*. Holanda: Time-Life International.
- Díaz, F. (Agosto de 2008). *Programación automática de máquinas CNC*. Obtenido de http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m4/master_cam.pdf
- Escalante R., B. (Agosto de 2006). *Procesamiento Digital de Imágenes*. Obtenido de verona.fi-p.unam.mx: <http://verona.fi-p.unam.mx/boris/teachingnotes/Introduccion.pdf>
- Hernández, L. (2014). *Vectorización de imágenes*. Obtenido de <http://sinlios.com/blog/2013/07/20/como-vectorizar-una-imagen-de-manera-sencilla/>
- INKSCAPE. (2016). *Inkscape.org*. Obtenido de <https://inkscape.org/en/>
- Levenspiel, O. (1993). *Flujo de Fluidos e Intercambio de Calor*. Reverte.
- Lira, J. (1987). *La percepción remota: nuestros ojos desde el espacio*. México D.F.: La Ciencia para todos.
- Logo-arte. (2015). *Vectorización de imágenes*. Obtenido de <http://www.logo-arte.com/vect4.htm>
- Maiman, K. (2010). *Laser Inventor*. Obtenido de <http://www.laserinventor.com/contact.html>

- Mataix, C. (1986). *Mecánica de Fluidos y máquinas hidráulicas*. EL Castillo.
- Moeslund, T. B. (2012). *Introduction to Video and Image Processing*. Springer-Verlag London Limited.
- O'Brien, R. (1966). *Máquinas*. México: Offset Multicolor.
- Saiz J., J. (2012). *Transferencia de calor*. Coruña: Universidade da Coruña.
- Schawlow, A. L. (1969). *Lasers and Light*. San Francisco: W. H. Freeman and Company.
- Schmid, S. R. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. Pearson Educación.
- Smits, A. (2007). *Turbulence in pipes: The Moody diagram, and Moore's Law*. San Diego: Princeton University.
- Trotec. (2015). *Cortadora Láser*. Obtenido de <http://www.troteclaser.com/es-ES-ES/maquinas-laser/Pages/cortadora-laser-sp.aspx>
- Ulrich, K., & Eppinger, S. (2012). *Diseño y desarrollo de productos*. México: Mc Graw Hill.
- UVIGO. (2014). *Óptica de Fourier. Procesamiento óptico de imágenes*. Obtenido de http://www.laser.uvigo.es/Docencia/Teleco/Fav.05/pdf/Practica5_05.pdf
- Waveshare. (s.f.). *7inch HDMI LCD*. Obtenido de [http://www.waveshare.com/wiki/7inch_HDMI_LCD_\(B\)](http://www.waveshare.com/wiki/7inch_HDMI_LCD_(B))

