

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA**

CARRERA DE MECATRÓNICA

*Trabajo de titulación previo
a la obtención del título de
Ingeniero en Mecatrónica*

**PROYECTO TÉCNICO:
DISEÑO DE UNA MÁQUINA LÁSER PARA CORTE
Y GRABADO DE MATERIALES NO METÁLICOS
EN LA EMPRESA “S.T.S”**

AUTORES:

BYRON ISRAEL CHUCARALAO MINCHALA
EDWIN ISMAEL LLIVISACA SILVA

TUTOR:

ING. LUIS MARCELO LÓPEZ LÓPEZ, Ph.d

CUENCA – ECUADOR

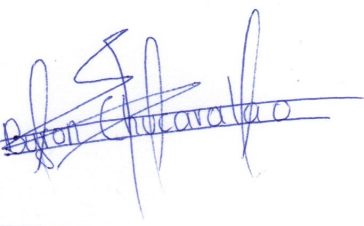
2021

CESION DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Byron Israel Chucaralao Minchala con documento de identificación N° 0302729835 y Edwin Ismael Llivisaca Silva con documento de identificación N° 0107285439 manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **DISEÑO DE UNA MÁQUINA LÁSER PARA CORTE Y GRABADO DE MATERIALES NO METÁLICOS EN LA EMPRESA “S.T.S”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero en Mecatrónica*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, noviembre del 2021.



Byron Israel Chucaralao Minchala
C.I. 0302729835



Edwin Ismael Llivisaca Silva
C.I. 0107285439

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DISEÑO DE UNA MÁQUINA LÁSER PARA CORTE Y GRABADO DE MATERIALES NO METÁLICOS EN LA EMPRESA “S.T.S”**, realizado por Byron Israel Chucaralao Minchala y Edwin Ismael Llivisaca Silva, obteniendo el *Proyecto Técnico*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, noviembre del 2021.

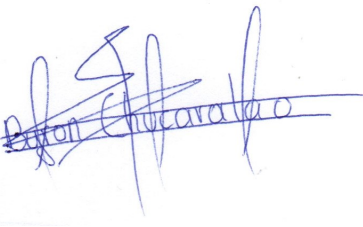
A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Luis Lopez', is centered on the page. The signature is fluid and cursive.

Ing. Luis Marcelo López López, Ph.d.
C.I. **0102906971**

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Byron Israel Chucaralao Minchala con documento de identificación N° 0302729835 y Edwin Ismael Llivisaca Silva con documento de identificación N° 0107285439, autores del trabajo de titulación: **DISEÑO DE UNA MÁQUINA LÁSER PARA CORTE Y GRABADO DE MATERIALES NO METÁLICOS EN LA EMPRESA “S.T.S”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, noviembre del 2021.



Byron Israel Chucaralao Minchala
C.I. 0302729835



Edwin Ismael Llivisaca Silva
C.I. 0107285439

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a mi madre Carmen que a lo largo de toda mi vida me a brindado su apoyo incondicional de todas las formas posibles que existen y que podrían existir, sobre todo el apoyo afectivo y emocional para nunca darme por vencido en cada meta de mi vida.

De igual forma dedico este trabajo a mi hermano Martín que es una de mis principales motivaciones para salir adelante y nunca rendirme.

Byron Israel Chucaralao Minchala

Dedicatoria

El presente trabajo de titulación está dedicado principalmente a Dios, que me permitió alcanzar una meta más para mi formación profesional, así como también, a mi madre Ximena, a mi Padre Tarcicio y a mi hermano Byron quienes con su apoyo incondicional estuvieron en todo este proceso de formación académica y nunca permitieron que me diera por vencido en este trayecto.

Edwin Ismael Llivisaca Silva

Agradecimientos

Primeramente quiero agradecer a mi madre, que siempre me llenó de buenos consejos y un gran ejemplo a seguir como persona, por su apoyo continuo, incondicional e invaluable, por siempre ayudarme a superar los obstáculos y adversidades de la vida.

A mi bisabuela Carmen y a mi Tío Manuel que siempre me apoyaron y más aun en mi vida escolar y universitaria.

A mi hermano Martín por sus ánimos y apoyo emocional durante toda mi carrera universitaria.

A mi compañero y amigo Ismael Llivisaca por su apoyo y trabajo arduo durante toda la carrera universitaria y más aun durante el último peldaño de la misma que fue uno de los mas difíciles.

A todos mis amigos y compañeros que me regaló la universidad, en especial a Andrea Romina, Martín Santiago, Karla Magaly y Joselyn Lissbeth que estuvieron conmigo toda la trayectoria de mi carrera brindándome su apoyo y ayuda incommensurable.

A todos los docentes de la carrera por siempre brindar su apoyo y ayuda, en especial a mi docente tutor Ing. Luis López por ayudarnos con sus conocimientos durante el proyecto final, así como también al Ing. Diego Urgilés por ser una gran persona, y excelente docente durante la trayectoria académica.

Byron Israel Chucaralao Minchala

Agradecimientos

En primera instancia quiero agradecer a Dios por permitirme llegar al final de esta etapa con salud y con fuerza al enfrentar todas las adversidades presentadas en el camino.

A toda mi familia en especial a mis Padres y a mi hermano quienes estuvieron presentes en toda mi carrera universitaria, aconsejándome y brindándome todo su apoyo para no desfallecer en el proceso.

A mi compañera y amiga Andrea Romina, quien ha sido un pilar fundamental en esta etapa universitaria, brindándome su amor, apoyo y su ayuda incondicional en todo el camino.

A mi compañero Byron Chucaralao por su apoyo y su trabajo en conjunto para culminar este proyecto y alcanzar una meta más.

A todos los docentes de la carrera quienes fueron una parte fundamental para alcanzar este logro, brindándonos sus conocimientos y experiencia en el ámbito de la ingeniería, en especial a nuestro docente tutor Ing. Luis Lopez Phd. quien aportó sus conocimientos y consejos durante el desarrollo de este trabajo de titulación.

¡Gracias totales!

Edwin Ismael Llivisaca Silva

Este documento fue realizado enteramente en L^AT_EX

Índice

1. Introducción.	1
2. Problema.	1
2.1. Descripción del problema	1
2.2. Antecedentes	2
2.3. Alcances	2
2.4. Delimitación	2
2.4.1. Delimitación geográfica	2
2.4.2. Delimitación temporal	3
2.5. Problema General.	5
2.6. Problemas Específicos.	5
3. Objetivos.	5
3.1. Objetivo General.	5
3.2. Objetivos Específicos.	5
4. Matriz de consistencia	6
5. Hipótesis	7
5.1. Hipótesis General.	7
5.2. Hipótesis Específicas.	7
6. Marco Teórico.	7
6.1. Sistema de manufactura	7
6.2. Control Numérico.	8
6.3. Tipos de sistema de control numérico	8
6.4. Máquinas CNC	9
6.5. Maquinado por rayo láser (LBM)	9
6.6. Criterios de Diseño de LBM	10
6.7. Tipos de Materiales	11
6.8. Diseño Mecánico	12
6.9. Sistema de control automático	13
6.10. Análisis Financiero	13

7. Marco metodológico.	14
7.1. Establecimiento de parámetros iniciales en el diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa “S.T.S.”	14
7.1.1. Dimensionamiento del espacio físico	14
7.1.2. Dimensionamiento del producto mecatrónico	15
7.1.3. Subsistemas	15
7.2. Propuesta del diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa “S.T.S.”	22
7.2.1. Bocetos de diseño	22
7.2.2. Criterios de selección	25
7.2.3. Diseño del sistema mecánico	25
7.2.4. Selección del sistema de control	59
7.2.5. Diseño del sistema electrónico	66
7.2.6. Selección de software para sistema de corte láser	70
7.3. Simulación del diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa “S.T.S.”	72
7.3.1. Simulación del sistema mecánico	72
7.4. Determinación de la factibilidad económica para el diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa “S.T.S.”	77
7.4.1. Materiales para construcción	77
7.4.2. Equipos	79
7.4.3. Mano de obra	79
7.4.4. Rentabilidad	80
8. Análisis de resultados.	81
8.1. Análisis de resultados de parámetros iniciales considerados para el diseño de una maquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos.	81
8.2. Análisis de resultado de la propuesta del diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos.	82
8.3. Análisis de resultados de la simulación del diseño de una maquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos	82
8.4. Análisis de resultados de la factibilidad económica para la construcción de una maquina láser de corte y grabado de materiales no metálicos	82
9. Conclusiones.	84

9.1. Conclusión 1: Parámetros iniciales considerados para el diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos.	84
9.2. Conclusión 2: Propuesta del diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos.	84
9.3. Conclusión 3: Simulación del diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa “S.T.S.”	84
9.4. Conclusión 4: Determinación de la factibilidad económica para el diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa “S.T.S.”	85
10. Recomendaciones.	85
11. Referencias.	87
ANEXOS	88

Lista de Tablas

1.	Cronograma de actividades.	4
2.	Matriz de consistencia lógica.	6
3.	Aplicaciones generales de los rayos láser.	10
4.	Especificaciones técnicas del fabricante Forza, Modelo Forza 6.	17
5.	Características del fin carrera.	18
6.	Datos técnicos principales de tubo láser.	19
7.	Propiedades del Aluminio 6063.	28
8.	Características de perfil v-slot 4040.	28
9.	Características de perfil v-slot 2040.	36
10.	Características de tubo de acero inoxidable 304.	41
11.	Datos del sistema de traslación del Eje X.	46
12.	Especificaciones del motor seleccionado para el eje X.	49
13.	Especificaciones Eléctricas del motor para el eje X.	50
14.	Datos del sistema de traslación del Eje Y.	51
15.	Especificaciones del motor seleccionado para el eje Y.	54
16.	Especificaciones Eléctricas del motor para el eje Y.	54
17.	Parámetros del rodamiento 6701 seleccionado.	55
18.	Indicadores Leds.	62
19.	Pines de conexión CNO.	62
20.	Pines de conexión CN1.	63
21.	Pines de conexión CN2.	63
22.	Pines de conexión CN3.	63
23.	Pines de conexión CN4.	64
24.	Pines de conexión para los límites en el espacio de trabajo.	65
25.	Pines de conexión drivers de motores.	65
26.	Pines de conexión CN4.	66
27.	Parámetros fuente de alimentación láser.	66
28.	Características de los drivers STR4 Y STR8.	67
29.	Parámetros fuente de alimentación láser.	68
30.	Costos de materiales para la construcción.	78
31.	Costo de equipos a utilizar.	79
32.	Costo de diseño y mano de obra.	80
33.	Utilidad de costos.	80

34.	Análisis de resultados de parámetros iniciales.	81
35.	Análisis de la propuesta de diseño.	82
36.	Características del diseño propuesto.	83

Lista de Figuras

1.	Croquis del establecimiento.	3
2.	Posición de los Sistemas de Manufactura en un sistema de producción. . . .	8
3.	Diagrama simplificado de un sistema de control.	13
4.	Espacio físico de la empresa "S.T.S.".	14
5.	Dimensionamiento de la mesa de corte.	15
6.	Altura de trabajo en posición de pie.	16
7.	Altura del tablero de control.	16
8.	Motor a paso NEMA.	17
9.	Fin Carrera tipo rodillo.	18
10.	Chiller CW-5300.	19
11.	Características técnicas del chiller industrial seleccionado.	20
12.	Perfil Vslot lineal.	21
13.	Perfil Vslot cuadrado.	21
14.	Guía lineal RXS-9WNM.	22
15.	Propuesta del primer boceto.	23
16.	Propuesta del segundo boceto.	24
17.	Propuesta del tercer boceto.	24
18.	Tabla de ponderación de bocetos.	25
19.	Disposición de ejes de traslación.	27
20.	Diagrama de cuerpo libre del eje X.	29
21.	Diagrama de cuerpo libre del eje X.	32
22.	Diagrama de cuerpo libre del eje X.	34
23.	Diagrama de cuerpo libre del eje Y.	36
24.	Diagrama de cuerpo libre del eje X.	38
25.	Diagrama de cuerpo libre del eje X.	40
26.	Diagrama de cuerpo libre del eje de la bancada.	41
27.	Diagrama de cuerpo libre del eje de la bancada.	43
28.	Diagrama de momento flector del eje de la bancada.	44
29.	Diagrama cuerpo libre sistema de traslación del eje X.	46
30.	Diagrama cuerpo libre sistema de traslación del eje X.	50
31.	Especificaciones técnicas del tubo cuadrado.	56
32.	Ensamble de bancada.	56
33.	Ensamble mesa de corte.	57

34.	Ensamble del sistema de traslación.	58
35.	Ensamble de carcasa.	58
36.	Tabla de ponderación de sistema de control.	60
37.	Controlador RuiDa RDC 6585G.	60
38.	Controlador RuiDa RDC 6585G.	61
39.	Fuente de alimentación láser.	67
40.	Diver STR4 y STR8 seleccionados para control de motores.	68
41.	Fuente de conmutada de 24VDC.	68
42.	Diagrama de conexiones de los equipos electrónicos.	69
43.	Interfaz principal del software “RDWorksV8”.	71
44.	Simulación del esfuerzo equivalente del eje X.	73
45.	Simulación del esfuerzo equivalente del eje X.	74
46.	Simulación del esfuerzo equivalente del eje X.	75
47.	Simulación del esfuerzo equivalente del eje X.	76

1. Introducción.

En la actualidad se ha evidenciado el avance tecnológico, conjuntamente con el desarrollo de nueva maquinaria con mejores prestaciones y menos rudimentarias, por lo tanto, toda actividad productiva se ha visto obligada a adquirir dicha tecnología con el fin de ofrecer un mejor producto, con mejores cualidades y un mejor acabado final. Es por esta razón, que se pretende diseñar una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos.

La empresa "S.T.S", enfocada a ofrecer servicios técnicos en seguridad contra incendios y seguridad ocupacional, se ve en la necesidad de adquirir nueva maquinaria para complementar una fase de su proceso de fabricación de señalización y señalética normalizada. Por ello, se pretende realizar un diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos, con el fin de cumplir ciertos requerimientos planteados por la empresa. El diseño beneficiará para tener una idea clara sobre el tipo de maquinaria necesaria y actualizar su proceso productivo, lo que hoy en día se realiza de forma convencional, el cual, consiste en cortar planchas de cintra de forma manual, debido a su poco espesor y baja dureza. En cambio, a lo que respecta las planchas de acrílico, son enviadas a una empresa externa para su debido corte, por esta razón, la empresa "S.T.S." busca un diseño óptimo de maquinaria para llevarlo a la realidad en un futuro.

2. Problema.

2.1. Descripción del problema

La empresa S.T.S., enfocada a ofrecer servicios técnicos en seguridad contra incendios y seguridad ocupacional, además de brindar todo tipo de señalización y señalética normalizada, utilizando como materia prima principal, planchas de cintra y acrílico para la fabricación de los mismos. Al momento de adquirir estas planchas vienen dimensionadas de 1.20m x 2.40m con un espesor variable desde 3mm a 8mm. El proceso de fabricación en primera instancia consta en cortar estas planchas en medidas normalizadas para diferente señalización, este proceso se lleva a cabo de forma manual únicamente en planchas de cintra, debido a su poco espesor y baja dureza, pero conlleva un tiempo excesivo, en lo que respecta a planchas de acrílico, el proceso de corte es enviado a una empresa externa para el debido procedimiento del material, todos estos procesos conllevan un gasto adicional y pérdida de tiempo.

2.2. Antecedentes

La tecnología de corte láser empezó a revolucionar la industria desde la época de los 80's, siendo esta utilizada como una herramienta de corte de materiales metálicos, al ver su gran acogida dentro y fuera del sector industrial se creó adaptaciones que permita acogerse a distintos sectores como los que son: sector de la medicina, de la industria metalmecánica, industria gráfica, industria textil, industria automotriz, entre otros (Ortiz, 2017).

Con el pasar de los años, se ha desarrollado nuevas tecnologías que permiten facilitar el trabajo y de igual manera, obtener un mejor resultado final, es por esto, que en los años de 1940 a 1950 se implementa un sistema de control numérico computarizado denominado por sus siglas CNC. Este sistema permitió automatizar el corte láser, es decir, reemplazó al operario que realizaba el corte de forma manual por una máquina con accionamientos automáticos de motores y mecanismos que podían interpretar patrones previamente diseñados por computador. Estos sistemas automatizados usan un lenguaje de programación basado en normas mundiales, una de estas es la norma ISO, este lenguaje normalizado significa que puede ser adaptado a diferentes controladores o maquinas que estén diseñadas para dichas labores (Pérez, 2017).

2.3. Alcances

Al finalizar este proyecto técnico de titulación, se pretende obtener un diseño óptimo de una máquina cortadora láser para materiales no metálicos, con características como: mesa de corte de dimensiones de 1.20m x 2.40m, velocidad de corte óptima para trabajar con distintos materiales de diferente espesor con un máximo de hasta 8mm, así como también dimensionar de manera adecuada la potencia de rayo láser y obtener un sistema de traslación de doble eje (XY) operado por motores paso a paso, que se ajusten a las especificaciones de la máquina.

La máquina CNC contará con un sistema de control eficaz el cual ayudará a que todo el proceso de manufactura tenga una gran precisión y exactitud.

2.4. Delimitación

2.4.1. Delimitación geográfica

El presente proyecto técnico de titulación se realizó en la empresa "S.T.S.", ubicada en la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, entre las calles Federico Proaño y Av. Diez de agosto, cuya ubicación se muestra en la Figura 1.



Figura 1: Croquis del establecimiento.

Fuente: Autores

2.4.2. Delimitación temporal

El proyecto técnico de titulación se realizó en el año 2021, en un tiempo de seis meses de acuerdo al cronograma que se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 1: Cronograma de actividades.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES	MESES (SEMANAS)						HORAS	
		1er Mes	2do Mes	3er Mes	4to Mes	5to Mes	6to Mes		
1._ Establecer parámetros iniciales en el diseño de un de máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa "S.T.S".	Establecer el estado del arte.	■							36 h.
	Establecer parámetros iniciales insitu.	■							36 h.
	Conocer el proceso.		■						36 h.
	Determinar condiciones de funcionamiento.		■						36 h.
	Escritura del documento.		■						18 h.
2._ Proponer el diseño de un de máquina laser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa "S.T.S".	Establecer los parámetros de diseño mecánico y de control.		■						36 h.
	Realizar planos propuestos del diseño mecánico y de control.		■	■					72 h.
	Realizar planos definitivos en programas CAD.			■	■				72 h.
	Establecer función de transferencia para el control.				■	■			36 h.
	Escritura del documento.					■	■		18 h.
3._ Simular el diseño de un de máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa "S.T.S".	Conocer el programa y su principio matemático.					■	■		54 h.
	Simulaciones de los elementos críticos del diseño mecánico.						■	■	36 h.
	Simulaciones del diseño de control.							■	36 h.
4._ Determinar la factibilidad económica para el diseño de una de máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa "S.T.S".	Análisis de mercado seccionado.							■	18 h.
	Determinación de costos de implementos.							■	18 h.
	Análisis de rentabilidad.							■	18 h.
	Revisión y escritura del documento.							■	18 h.
TOTAL HORAS								594 h.	

Fuente: Autores

2.5. Problema General.

- ¿Es posible diseñar una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa “S.T.S.”?

2.6. Problemas Específicos.

- ¿Se podrá identificar los parámetros iniciales para el diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa “S.T.S.”?
- ¿Es posible proponer el diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa “S.T.S.”?
- ¿Es factible simular el diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa “S.T.S.”?
- ¿Es viable determinar la factibilidad económica en el diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa “S.T.S.”?

3. Objetivos.

3.1. Objetivo General.

- Diseñar una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa “S.T.S.”.

3.2. Objetivos Específicos.

- Establecer parámetros iniciales en el diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa “S.T.S.”.
- Proponer el diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa “S.T.S.”.
- Simular el diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa “S.T.S.”.
- Determinar la factibilidad económica para el diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa “S.T.S.”.

4. Matriz de consistencia

Tabla 2: Matriz de consistencia lógica.

MATRIZ DE CONSISTENCIA LÓGICA				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Es posible diseñar una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa "S.T.S."?	Diseñar una de máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa "S.T.S."	Diseñar una máquina láser garantizará el corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa "S.T.S."	VD: Diseñar. VI:Corte y grabado de materiales no metálicos.	- Diseño mecánico y de control.
ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICAS		
¿Se podrá identificar los parámetros iniciales para el diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa "S.T.S."?	Establecer parámetros iniciales en el diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa "S.T.S."	Se identificará los parámetros iniciales en el diseño de una de máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa "S.T.S."	VD:Diseñar. VI:Corte y grabado de materiales no metálicos.	- Corte y grabado láser.
¿Es posible proponer el diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa "S.T.S."?	Proponer el diseño de una de máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa "S.T.S."	Se propondrá el diseño de una de máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa "S.T.S."	VD:Diseñar VI:Corte y grabado de materiales no metálicos	- Corte y grabado láser.
¿Es factible simular el diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa "S.T.S."?	Simular el diseño de una de máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa "S.T.S."	Se simulará el diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa "S.T.S."	VD:Diseñar VI:Corte y grabado de materiales no metálicos	- Máquina láser.
¿Es viable determinar la factibilidad económica para el diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa "S.T.S."?	Determinar la factibilidad económica para el diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa "S.T.S."	Se determinará la factibilidad económica del diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa "S.T.S."	VD:Diseñar VI:Corte y grabado de materiales no metálicos	- Factibilidad económica.

Fuente: Autores

5. Hipótesis

5.1. Hipótesis General.

- Diseñar una máquina láser garantizará el corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa “S.T.S.”.

5.2. Hipótesis Específicas.

- Se identificará los parámetros iniciales en el diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa “S.T.S.”.
- Se propondrá el diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa “S.T.S.”.
- Se simulará el diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa “S.T.S.”.
- Se determinará la factibilidad económica del diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa “S.T.S.”.

6. Marco Teórico.

6.1. Sistema de manufactura

Un sistema de manufactura comprende una visión muy amplia, debido a que esta integrado por una serie de recursos tecnológicos y recursos humanos que se focalizan en realizar procesos de transformación de materia prima y/o ensambles de piezas, para así obtener un producto final. Estos sistemas de manufactura pueden ser operados de manera automática o de forma manual, aunque en la actualidad se esta tratando de eliminar la intervención del humano en las operaciones y procesos, es cierto que, el recurso humano es quien realiza el trabajo dando un valor agregado sobre el producto ya terminado (Groover, 2007).

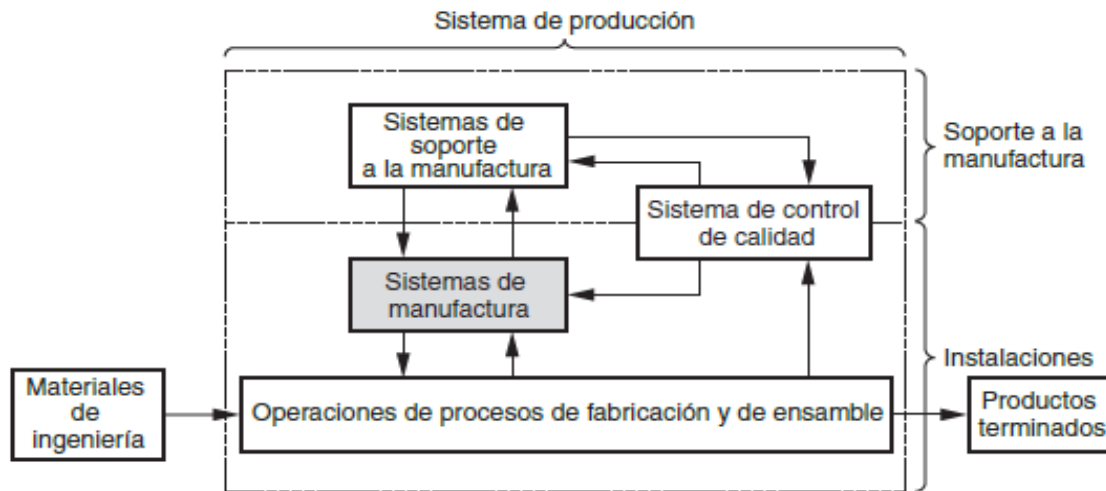


Figura 2: Posición de los Sistemas de Manufactura en un sistema de producción.

Fuente: Groover (2007)

6.2. Control Numérico.

El Control Numérico Computarizado (CNC) es un método de automatización implementado en máquinas herramientas, que permite gestionar el movimiento y control de los componentes de la máquina a través de la programación de comandos en un software especializado. El cabezal de trabajo representa una herramienta u otro elemento de procesamiento y la pieza de trabajo es el objeto que se procesa. Según Groover (2007), el principio operativo de una máquina CNC es controlar el movimiento del cabezal de trabajo en relación con la pieza de trabajo y la secuencia en la cual se realizan los movimientos. La primera aplicación del control numérico fue en el maquinado. El control numérico computarizado ofrece una gran ventaja sobre los métodos tradicionales de manufactura, debido a que permiten una gran exactitud y repetitibilidad de secuencias.

6.3. Tipos de sistema de control numérico

El Control Numérico Computarizado tiene dos tipos de sistemas de control:

- **Sistema de control punto a punto:** cada uno de los ejes de la máquina son accionados indistintamente a través de tornillos de avance a velocidades diferentes, dependiendo de la operación que se ejecute. La máquina en un inicio se desplaza a máxima velocidad para así reducir los tiempos improductivos, pero a medida que la herramienta se acerca

a su posición establecida en la programación, ésta disminuye su velocidad de avance. El sistema punto a punto se utiliza principalmente en las operaciones de taladrado, punzonado, fresado y otras en donde el posicionamiento y ejecución de la operación ocurren en secuencia (Schmid, 2008).

- **Sistema de control de trayectoria continua:** en este tipo de sistemas tanto el posicionamiento como las operaciones se efectúan a lo largo de trayectorias controladas, pero a diferentes velocidades. Debido a que, la herramienta actúa conforme avanza a lo largo de una trayectoria prefijada, es sumamente crucial el control preciso, la sincronización de velocidades y movimientos (Schmid, 2008).

6.4. Máquinas CNC

Las máquinas herramientas convencionales han ayudado de manera inimaginable en el proceso de transformación de materiales para obtener un producto final, sin embargo, la gran demanda y exigencias del mercado han repercutido en el desarrollo de máquinas CNC que mejoran características como: exactitud, precisión, tiempos de producción, repetitibilidad, entre otras. Una aplicación importante del control numérico computarizado es el maquinado, por otra parte, este principio también se aplica en otras actividades. “En muchos procesos industriales, debe controlarse la posición de una cabeza de trabajo de acuerdo con la pieza o producto en los que se trabaja” (Groover, 2007, p. 899). Las aplicaciones de máquinas CNC se dividen en dos categorías: máquinas herramienta y aplicaciones que no son de máquinas herramienta. Cabe recalcar, que no todas las aplicaciones se identifican con el nombre de control numérico en sus respectivas industrias, por ejemplo, el torneado, fresado y taladrado son operaciones de maquinado las cuales pertenecen a la categoría de aplicaciones de máquinas herramienta. En la segunda categoría tenemos aplicaciones como soldadura por fusión, doblado de tubos, ensamble de piezas electrónicas, corte y grabado láser, etc.

6.5. Maquinado por rayo láser (LBM)

La palabra láser es acrónimo de “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation”, amplificación de luz por emisión estimulada de radiación. El láser es una fuente luminosa que produce un haz de luz altamente coherente y aproximadamente monocromática, debido a una emisión de muchos átomos en conjunto (Giancoli y colaboradores, 2010). Los principios del funcionamiento del láser se explican con base en los fotones y los niveles de energía de los átomos. El maquinado por rayo láser de sus siglas en inglés "Laser Beam Machining", (LBM)

utiliza una fuente de energía que es el láser, la cual, condensa energía óptica sobre la superficie del elemento de trabajo para realizar la eliminación de material. La fuente de energía de alta densidad altamente concentrada funde y evapora porciones de la pieza de manera controlada. Este proceso se utiliza para maquinar varios materiales metálicos y no metálicos (Schmid, 2008).

Además existen varios tipos de láser para las diferentes operaciones de manufactura:

Tabla 3: Aplicaciones generales de los rayos láser.

Aplicación	Tipo de láser
CORTE	
Metales	$PCO_2, CWCO_2, Nd : YAG, rubí$
Plásticos	$CWCO_2$
Cerámicos	PCO_2
TALADRADO	
Metales	$PCO_2, Nd : YAG, Nd : vidrio, rubí$
Plásticos	Excimer
GRABADO	
Metales	$PCO_2, Nd : YAG$
Plásticos	Excimer
Cerámicos	Excimer
TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	
Metales	$CWCO_2$
Soldadura	
Metales	$PCO_2, CWCO_2, Nd : YAG, Nd : vidrio, rubí$

Fuente: Autores.

La superficie que genera el maquinado por rayo láser es rugosa y tiene una zona afectada por el calor, que en aplicaciones críticas tal vez sea necesario retirar o darle tratamiento térmico. La anchura del corte es un factor que debe considerarse. “Los rayos láser pueden utilizarse en combinación con una corriente de gas (como oxígeno) a fin de aumentar la absorción de energía (soplete de rayo láser) para cortar hojas metálicas. El corte por rayo láser asistido por alta presión de gas inerte (nitrógeno o argón) se usa en acero inoxidable y aluminio” (Schmid, 2008, p. 852).

6.6. Criterios de Diseño de LBM

Los lineamientos generales de diseño para el maquinado por rayo láser según Schmid (2008) son los siguientes:

- Al momento de diseñar se deben evitar las esquinas agudas, ya que es difícil producirlas.

- Los cortes profundos producen paredes cónicas.
- La reflectividad de la superficie de la pieza de trabajo es un factor que debe considerarse en el maquinado por rayo láser; se prefieren las superficies mate y sin pulir, ya que reflejan menos.
- Debe investigarse cualquier efecto adverso en las propiedades de los materiales maquinados que haya sido provocado por las altas temperaturas locales y la zona afectada por el calor.

6.7. Tipos de Materiales

Es muy importante definir los tipos de materiales con los cuales va a trabajar una máquina herramienta, debido a que cada material a procesar tiene propiedades mecánicas diferentes, esto puede afectar al rendimiento y la eficiencia de la máquina al momento de elaborar un producto.

- **Metales:** este tipo de materiales se caracterizan por tener propiedades mecánicas generales como: rigidez y resistencia elevadas, tenacidad, buena conductividad térmica y eléctrica, además, es importante tener en cuenta que existen ciertos materiales de este tipo, que ofrecen propiedades aún más específicas y muy interesantes para poderlas aplicar en situaciones especiales, de esta manera se subdivide en Metales ferrosos y no ferrosos (Groover, 2007).
- **Cerámicos:** de forma general se considera a los metales como la clase más importante de materiales en la ingeniería, sin embargo, es interesante examinar que en realidad los materiales cerámicos son más abundantes y se utilizan más. La importancia de los materiales cerámicos se deriva de su amplia disponibilidad en la naturaleza, así como también, de sus propiedades mecánicas. De acuerdo con Groover (2007, p.127) “un material cerámico es un compuesto inorgánico que consiste en un metal (o semimetal) y uno o más no metales”, generalmente se los conoce por tener una gran rigidez y fragilidad.
- **Polímeros:** la palabra se deriva de los vocablos griegos poly, que significa muchos, y meros que significa parte; un polímero es un compuesto que consiste en moléculas de cadena larga, cada una de las cuales está hecha de unidades que se repiten y conectan entre sí. En una sola molécula de polímero puede haber miles, incluso millones, de

unidades. La mayoría de los polímeros se basan en el carbono y por ello se les considera productos químicos orgánicos (Groover, 2007).

- **Materiales compuestos:** un material compuesto es un sistema de materiales conformado por dos o más fases distintas físicamente, cuya combinación produce propiedades agregadas diferentes a las de sus materiales base (Groover, 2007).

6.8. Diseño Mecánico

El diseño mecánico es una de las partes más esenciales al momento de construir una máquina, debido a que todas y cada una de las especificaciones de funcionamiento y rendimiento de la máquina van a estar solventadas y respaldadas por el diseño. Diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema particular. Si el plan resulta en la creación de algo físicamente real, entonces el producto debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que pueda fabricarse y comercializarse (Nisbett, 2012).

Para poder alcanzar estas características es importante tener en cuenta las consideraciones de diseño, ya que algunas veces las propiedades mecánicas de ciertos elementos representan un factor crucial para determinar el rendimiento, funcionalidad y dimensiones, entre las consideraciones más importantes se encuentran:

- Funcionalidad
- Resistencia/esfuerzo
- Distorsión/deflexión/rigidez
- Desgaste
- Corrosión
- Seguridad
- Confiabilidad
- Facilidad de manufactura

6.9. Sistema de control automático

Un sistema de control automático se puede definir como el conjunto de elementos interconectados que forman una configuración específica del sistema, con el objetivo de proporcionar una salida deseada que es el equivalente a tener un control continuo de una variable física/analógica, dada una entrada específica.

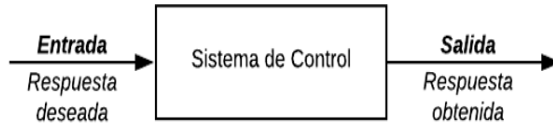


Figura 3: Diagrama simplificado de un sistema de control.

Fuente: Autores

Los sistemas de control automático son muy antiguos, puesto que existen registros de los diferentes sistemas diseñados por el hombre, como por ejemplo, los griegos empezaron a diseñar sistemas de retroalimentación alrededor del año 300 A.C. para el control de nivel de líquido (Nise, 2011).

6.10. Análisis Financiero

Un aspecto muy importante a considerar al momento de realizar cualquier proyecto es tomar en cuenta el factor financiero, debido a que este ayuda a tener una visión de la viabilidad del proyecto. Además, un análisis financiero determina todos los elementos de costos que influyen y pueden afectar a futuro al flujo de efectivo del proyecto. Al realizar un buen análisis financiero se tendrá claro la magnitud de los presupuestos, inversiones, depreciación, vida útil, costos directos e indirectos, para realizar un reporte cuantitativo, el cual, definirá si toda la inversión inicial será beneficiosa o no para el futuro inversor (Park, 2009).

Crear y diseñar proyectos dentro de la ingeniería conlleva de un proceso sistemático, el cual, ayuda a analizar métodos de producción/construcción, seguridad en la ingeniería, efectos ambientales, estimación del mercado, reglamentos legales; para consecuentemente evaluar la rentabilidad esperada, tiempos de los flujos de efectivo y grado de riesgo financiero.

7. Marco metodológico.

7.1. Establecimiento de parámetros iniciales en el diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa “S.T.S.”

7.1.1. Dimensionamiento del espacio físico

Para la selección del espacio físico en donde trabajará comúnmente la máquina, se planteó planos de toda la infraestructura de la empresa S.T.S., donde se evidenció que cuenta con espacios destinados a ciertas funciones como: recepción, oficina, bodega y taller, como se muestra en la Figura 4.

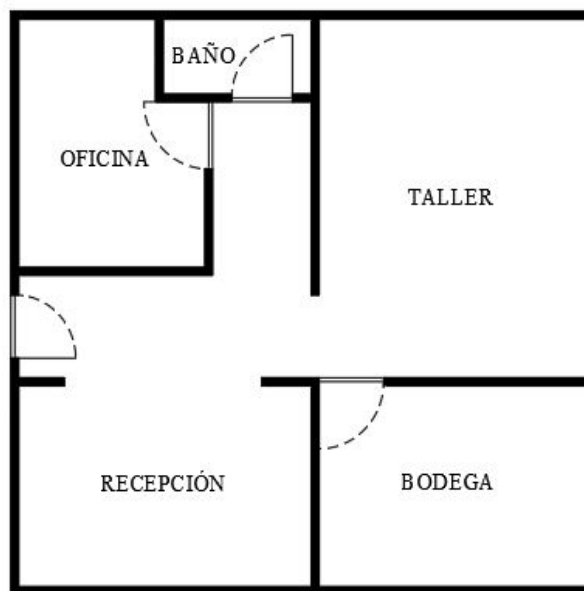


Figura 4: Espacio físico de la empresa "S.T.S.".

Fuente: Autores

En base a este estudio realizado, se pudo determinar que el lugar más óptimo para la instalación de la máquina es el área del taller que cuenta con dimensiones de 3.50 m x 4.50 m, y estaba destinado comúnmente a trabajos de corte manual.

7.1.2. Dimensionamiento del producto mecatrónico

En el diseño de la máquina se consideró al operario que realizará la manipulación del mismo, por lo que fue indispensable estimar parámetros ergonómicos basados en las dimensiones más importantes del cuerpo humano, con el fin de lograr posturas naturales indispensables para un trabajo eficaz (Melo, 2009).

En base a estudios realizados por la revista E-Life conjuntamente con la organización mundial de salud (OMS), se determinó que en Ecuador la estatura promedio en personas de sexo masculino tiende a 167.1 cm y referente al sexo femenino la estatura promedio es de 154.2 cm. (Tarupia y Lepageb, 2020)

Según lo anteriormente mencionado, la bancada tiene una altura referente a 76 cm y una longitud de 260 cm, como se indica en la Figura 5, con la finalidad de que el operario pueda posicionar la materia prima dentro de la meza de corte sin ejercer una fuerza considerable y la manipulación este de acuerdo con la altura inferior a la del tórax.

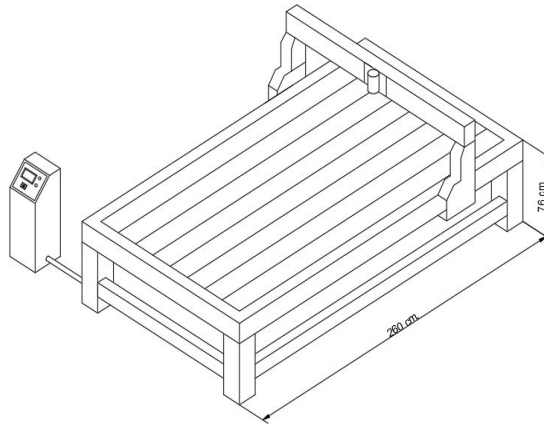


Figura 5: Dimensionamiento de la mesa de corte.

Fuente: Autores

7.1.3. Subsistemas

7.1.3.1 Dimensionamiento del tablero de control

Para el diseño del tablero de control, al ser un modulo independiente, se deberá diseñar de igual manera con criterios basados en la ergonomía, para esto se considero la estatura promedio de las personas de Ecuador. El trabajo que se va a realizar frente al tablero de

control será en posición de pie, lo cual, implica adaptaciones dimensionales del tablero de control, siguiendo las recomendaciones de la Figura 6.

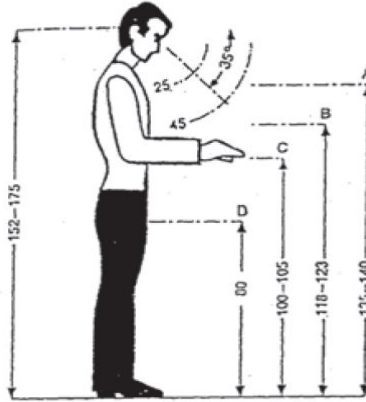


Figura 6: Altura de trabajo en posición de pie.

Fuente: Melo (2009)

En base a la figura presentada anteriormente y considerando el promedio de estatura del obrero, se considera óptima la posición intermedia C, representando un altura mínima de 100cm y una altura máxima de 105cm, como se puede observar en la siguiente figura.

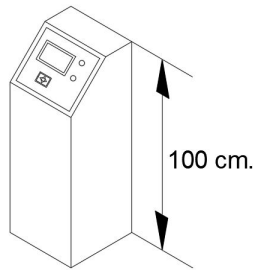


Figura 7: Altura del tablero de control.

Fuente: Autores

7.1.3.2 Dimensionamiento del equipo y utillajes

7.1.3.2.1 Selección de motores

Con respecto a la selección de motores, se consideró la velocidad de corte y velocidad de grabado que representan parámetros estándares en este tipo de máquinas, es por esta razón que se obtuvo las especificaciones técnicas de la marca fabricante "Forza", las mismas que se encuentran en la Tabla 4.

Tabla 4: Especificaciones técnicas del fabricante Forza, Modelo Forza 6.

Especificaciones	Descripción
Potencia de tubo láser	80 W
Tecnología de tubo láser	Gas CO2 hermético
Control de corriente	Manual y automático: 1-100 %
Precisión de posicionamiento	0.01 mm.
Cociente de resolución	4500 DPI
Repetibilidad	<0.01 mm.
Velocidad de grabado	500 mm/s
Velocidad de corte	30 mm/s
Máximo espesor de corte	9 mm
Tipo de motor	Paso a paso Nema 23
Voltaje de funcionamiento	220 V
Garantía	1Año
Color	Banco con negro
Consumibles	Tubo láser; Lente focal; Lente de reflexión.
Consumo de energía	0.7 Kw/hora - max.

Fuente: Forza (2020)

En base a las especificaciones técnicas anteriormente mencionadas, se selecciono motores a paso NEMA de alto torque para lograr los parámetros de velocidades seleccionadas.

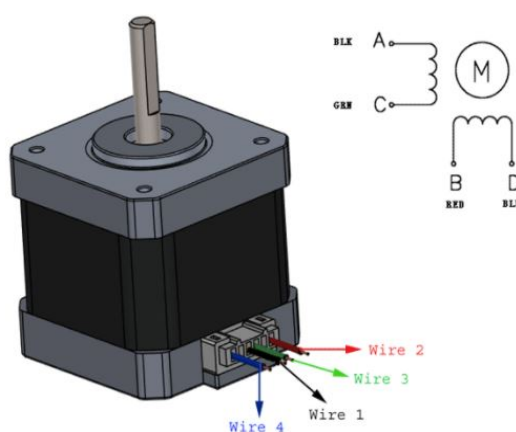


Figura 8: Motor a paso NEMA.

Fuente: Machinery (2013)

7.1.3.2.2 Selección de sensores

En cuanto a la selección de sensores se utilizará un tipo de sensor, el cual, permitirá detectar cuando el dispositivo de traslación ha llegado hacia su punto máximo de desplazamiento, este sensor se describe a continuación.

- **Fin carrera:** Este sensor será utilizado como seguridad dentro del espacio establecido en la mesa de trabajo, para que, al momento de realizar operaciones no se supere este espacio establecido.



Figura 9: Fin Carrera tipo rodillo.

Fuente: Dynamo (2015)

El sensor seleccionado presenta las siguientes características:

Tabla 5: Características del fin carrera.

Característica	Valor de trabajo
Voltaje AC	125 V.AC a 15 A.
Voltaje DC	24 V.DC a 3.2A
Vida eléctrica	>100,000
Vida Mecánica	>1,000,000
Puntos de fijación	2
Tipo de terminación	Rodillo

Fuente: Dynamo (2015)

7.1.3.2.3 Selección de láser CO2

Con respecto al láser CO2 se tomó en cuenta la potencia calculada de acuerdo al balance de energía con respecto al corte generado en el PMMA que es uno de los materiales más

críticos al momento de realizar dicha acción, es por esta razón que se seleccionó un tubo láser STP-V20 con una potencia estable de salida de 180W, a continuación se muestra el resto de detalles técnicos que ofrece este dispositivo.

Tabla 6: Datos técnicos principales de tubo láser.

Datos técnicos principales de tubo láser	
Modelo	SPT-V20
Longitud	1450 mm
Dímetro de la tubería	80 ± 1 milímetros
Longitud de onda	9.6 10.6 um
Potencia estable de salida	180 W.
Potencia de salida máxima	220 W.
Tensión de disparo	50 KV.
Tensión de trabajo	35 KV.
Corriente de trabajo	30 mA.
Corriente máxima de trabajo	35 mA.
Enfriamiento	Enfriamiento por agua 15-25 ° C, 10L / min
Frecuencia de impulso	100 %
Diámetro de punto	7 ± 1 mm

Fuente: SPT (2021)

7.1.3.3 Dimensionamiento del sistema de refrigeración

En cuanto al sistema de refrigeración para el tubo láser de 180 [W] se seleccionó un chiller industrial de la Marca S&A, con una capacidad máxima de enfriamiento de 1.8 [kW].



Figura 10: Chiller CW-5300.

Fuente: SA (2018)

En la siguiente figura se puede observar todas las características técnicas del modelo de chiller seleccionado:

Especificaciones de enfriadores de agua

CW-5300	CW-5300AH	CW-5300BH	CW-5300DH	CW-5300AI	CW-5300BI	CW-5300DI	CW-5300AN	CW-5300BN	CW-5300DN
Voltage	AC 1P 220V	AC 1P 220V	AC 1P 110V	AC 1P 220V	AC 1P 220V	AC 1P 110V	AC 1P 220V	AC 1P 220V	AC 1P 110V
Frequency	50Hz	60Hz	60Hz	50Hz	60Hz	60Hz	50Hz	60Hz	60Hz
Current	0.25~4.93A	0.25~5.03A	0.45~7.61A	0.7~5.38A	0.7~5.48A	0.45~8.16A	2.3~7A	2.3~7.1A	4.2~12A
Compressor power	0.80KW 1.09HP	0.83KW 1.13HP	0.62KW 0.84HP	0.80KW 1.09HP	0.83KW 1.13HP	0.62KW 0.84HP	0.80KW 1.09HP	0.83KW 1.13HP	0.85KW 1.15HP
Nominal cooling capacity	7950Btu/h	8291Btu/h	6039Btu/h	7950Btu/h	8291Btu/h	6039Btu/h	7950Btu/h	8291Btu/h	8359Btu/h
	2.33KW	2.43KW	1.77KW	2.33KW	2.43KW	1.77KW	2.33KW	2.43KW	2.45KW
	2003Kcal/h	2089Kcal/h	1522Kcal/h	2003Kcal/h	2089Kcal/h	1522Kcal/h	2003Kcal/h	2089Kcal/h	2107Kcal/h
Refrigerant charge	650g	750g	680g	650g	750g	680g	650g	750g	680g
Pump power		0.05KW			0.1KW			0.37~0.55KW	
Pump lift		12M			25M			28~45M	
Pump flow		13L/min			16L/min			70L/min	
N.W				44Kgs				50Kgs	
G.W				50Kgs				56Kgs	
Refrigerant				R-22a /R-410a					
Precision				± 0.3°C					
Reducer				Capillary					
Tank capacity				10L					
Inlet and outlet				Rp1/2"					
Dimension				59 X 38 X 74 cm (L X W X H)					
Package dimension				67 X 51 X 93 cm (L X W X H)					

Figura 11: Características técnicas del chiller industrial seleccionado.

Fuente: SA (2018)

7.1.3.4 Dimensionamiento del sistema de traslación

En este apartado del dimensionamiento del sistema de traslación, se definió el sistema más óptimo y adecuado para el diseño de la máquina láser, el sistema de traslación se verá enfocado a recorrer una distancia de 2.4m de largo por 1.20m de ancho, debido a que la materia prima a ser trabajada dentro de la máquina viene dimensionada de dichas longitudes. Para lograr el correcto desplazamiento por la bancada de la máquina se utilizó perfil slot y guías de movimiento lineal, que generalmente es usado para estructuras de routres CNC, impresoras 3D y máquinas industriales.

Selección de perfilería

Para el diseño se ha implementado dos tipos de perfiles, los cuales se describen a continuación:

- **Perfil Vslot lineal**

El perfil lineal Vslot esta fabricado en aluminio 6063-T5, ideal para la fabricación de estructuras, en sus rieles permite el uso de ruedas V-slot para realizar movimientos lineales. Este perfil sera usado como soporte principal para la sujeción de la guía de

movimiento lineal que desplazará el cabezal de corte en el eje Y, su boceto se presenta en la siguiente figura:

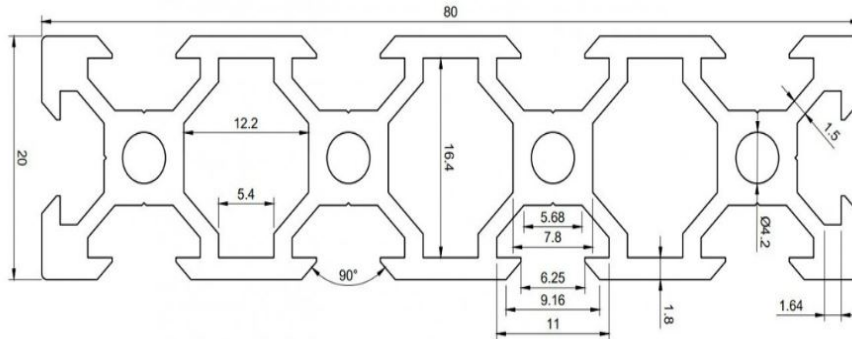


Figura 12: Perfil Vslot lineal.

Fuente: Cimech (2021)

■ Perfil Vslot Cuadrado

De igual manera este perfil es fabricado en aluminio 6063-T5, comúnmente usado para sistemas de traslación, ya que, en su superficie permite el uso de rueda. Este perfil sera usado para el desplazamiento del cabezal de corte en el eje X, su boceto se presenta en la siguiente figura:

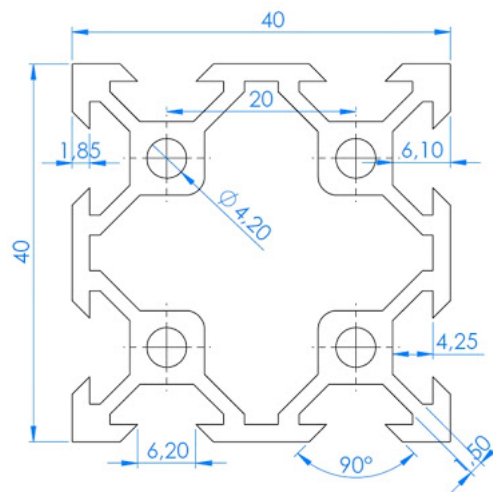


Figura 13: Perfil Vslot cuadrado.

Fuente: Cimech (2021)

■ **Guías de movimiento lineal**

Con el fin de reducir la fricción y brindar una mejor precisión en cuanto a los desplazamientos de los cabezales en los diferentes ejes, se pretende hacer uso de guías lineales. El modelo que se empleará responde al fabricante THK, su producto cuenta con pistas de rodadura a cada lado de la riel, con un diseño compacto con baja altura en su sección transversal, brindado así facilidad de instalación en lugares de espacio limitado. (THK, 2021)

El modelo de guía lineal que se usara es el RXS-9WNM como se muestra en la **Figura 14**:

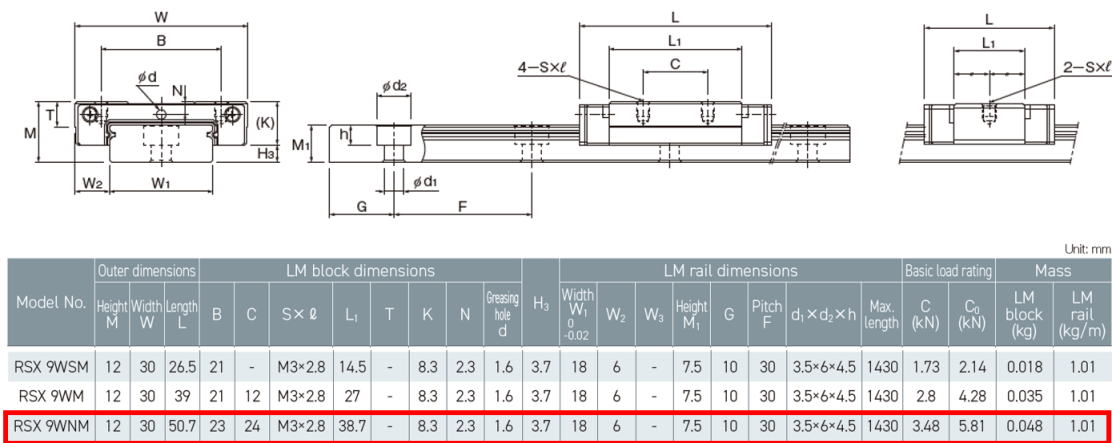


Figura 14: Guía lineal RXS-9WNM.

Fuente: THK (2021)

7.2. Propuesta del diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa “S.T.S.”

7.2.1. Bocetos de diseño

Para el desarrollo del diseño de la máquina, se planteo 3 tres bocetos, los cuales, cumplen con las condiciones iniciales propuestas, con ciertas variaciones que pretenden brindar diferentes características entre si, a continuación se describe cada uno de los bocetos propuestos:

- **Primer boceto:** Este boceto se ve enfocado a cubrir una mesa de trabajo con dimensiones de 120 cm x 240 cm, con un sistema de traslación comandado por bandas y motores a pasos, el sistema de desplazamiento actuará sobre perfiles de aluminio Vslot y la guía lineal seleccionada. Con respecto a la bancada, se pretende utilizar tubo rectangular de

acero estructural, para la absorción de vibraciones, con respecto a la rejilla de corte, se implementara netamente en aluminio, la máquina tendrá descubierto todo sus sistema de traslación y su área de corte, el primer boceto se presenta en la **Figura 15**.

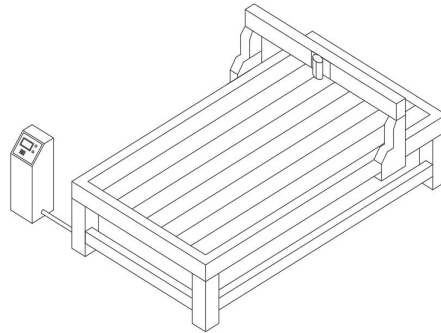


Figura 15: Propuesta del primer boceto.

Fuente: Autores

- **Segundo boceto:** En la propuesta del segundo boceto, nos enfocamos a una área de trabajo mucho más amplia, lo que permitirá el ingreso a la mesa de corte de más materia prima, la mesa de trabajo cubrirá las dimensiones de 240 cm x 240 cm, es decir, tendrá la capacidad de introducir dos planchas de la materia prima que se pretende trabajar, en cuanto al sistema de traslación, de igual manera, será comandado por un sistema de bandas y motores a paso, lo que permitirá el desplazamiento en las coordenadas tanto en el eje X como en el eje Y. Su sistema de desplazamiento estará diseñado con perfiles de aluminio Vslot, al igual que el primer boceto su bancada estará constituida con tubo rectangular de acero estructural para evitar vibraciones, este boceto tampoco contara con un sistema de cubierta. El boceto se presenta en la **Figura 16**.

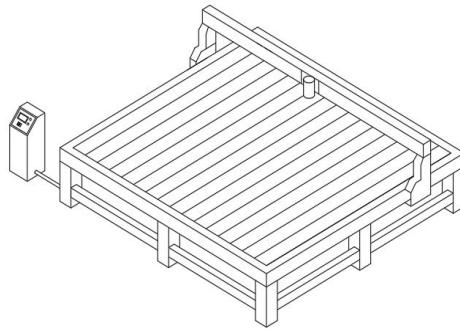


Figura 16: Propuesta del segundo boceto.

Fuente: Autores

- **Tercer boceto:** Este propuesta de boceto, se ve enfocada a una área de trabajo de 120 cm x 240 cm, con la misma composición del sistema de traslación, bancada y rejilla de corte, en este diseño se implemento un sistema de cubierta, la cual, es la encargada de proteger a los sistemas internos de la máquina, de manera que al momento de puesta en marcha no se pueda tener acceso a los sistemas internos, únicamente se podrá observar por medio de una ventana de supervisión colocada en la puerta del sistema, esta propuesta de diseño se ve enfocada a brindar seguridad, el boceto se puede observar en la **Figura 18**.

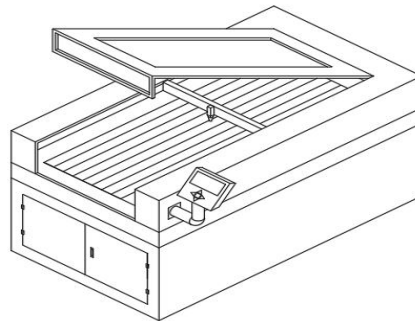


Figura 17: Propuesta del tercer boceto.

Fuente: Autores

7.2.2. Criterios de selección

Una vez planteado los distintos bocetos de la máquina, se pretende seleccionar al que mejor se adapta a las necesidades del usuario, es por esta razón que se plantea una matriz de ponderación, en la cual, se ven expuestos criterios que permiten la evaluación ante distintas alternativas como se puede observar en la siguiente tabla.

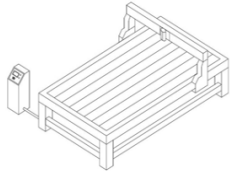
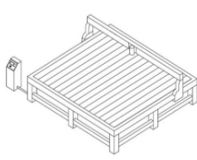
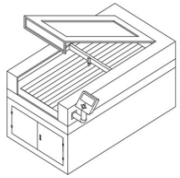
BOCETOS DE UNA MÁQUINA CORTADORA LASER CNC	ALTERNATIVAS DE DISEÑO		
	PRIMER DISEÑO	SEGUNDO DISEÑO	TERCER DISEÑO
Criterios			
Dimensiones útiles de la mesa de corte	120cm x 240cm	240cm x 240cm	120cm x 240cm
Tamaño de la máquina	4	2	4
Facilidad de ensamblaje	2	3	5
Manufactura	3	4	4
Mantenimiento	3	4	5
Alimentación de materia prima	4	5	5
Velocidad de desplazamiento sobre la mesa de corte	4	3	4
Facilidad de operación de la maquinaria	5	5	5
Criterios ergonómicos	5	4	5
Seguridad en operación	5	3	3
Factibilidad sobre el espacio físico	4	2	4
Estética	5	3	3
Costos	2	3	5
TOTAL DE PUNTOS	46	41	52
PORCENTAJE ALCANZADO	76,67%	68,33%	86,67%

Figura 18: Tabla de ponderación de bocetos.

Fuente: Autores

En base a la tabla presentada anteriormente, se realizó una métrica de calificación, valuando con 1 un punto Deficiente y con 5 Muy bueno, obteniendo como resultado mayor un valor de 86.67, representando el tercer boceto, puesto que cuenta con criterios como: costo, ergonomía, facilidad de operación, alimentación de materia prima, mantenimiento y facilidad de ensamblaje, con puntuación de Muy bueno, siendo estos los parámetros más importantes a considerar.

7.2.3. Diseño del sistema mecánico

7.2.3.1 Láser

En esta sección se calculará la potencia requerida para seleccionar el láser CO_2 adecuado para realizar el corte y grabado en los distintos materiales no metálicos mencionados anteriormente. El método seleccionado y más apropiado para el corte con el láser CO_2 es por vaporización.

En el corte basado en la vaporización; el rayo enfocado primero calienta la superficie hasta el punto de ebullición y, por lo tanto, genera un ojo de cerradura. El ojo de la cerradura provoca un aumento repentino de la absorción debido a múltiples reflejos y el agujero se profundiza rápidamente. A medida que se profundiza, se genera vapor que escapa y se expulsa por el orificio o corte y estabiliza las paredes fundidas del orificio. Este es el método habitual de corte para láseres pulsados o en el corte de materiales que no se funden, como madera, carbono y algunos plásticos, (Steen, 2010).

Este proceso de corte se puede modelar asumiendo que toda la energía entra en la masa fundida y se elimina antes de que se produzca una conducción significativa. Para calcular la potencia máxima requerida se tomará como referencia los datos de Polimetilmetacrilato (PMMA), Steen (2010), a continuación, se presenta la ecuación 1 del balance de energía para la transferencia de calor, de la cual al despejar se obtiene la ecuación para potencia requerida para el láser CO_2 .

Balance de energía:

$$\frac{P}{t \cdot V} = \frac{w \cdot \rho}{\eta} \cdot [C_p(T_v - T_o + L_v)] \quad (1)$$

t = espesor [m]

w = ancho de corte [m]

ρ = densidad [kg/m^3]

V = velocidad de corte [m/s]

η = coeficiente de acople

C_p = capacidad calorífica [$J/kg \cdot K$]

T_o = temperatura ambiente [K]

T_v = temperatura de ebullición del material [K]

L_v = calor latente [$j/kg \cdot K$]

P = potencia incidente [j/m^2]

Potencia requerida:

$$P = \frac{w \cdot \rho \cdot t \cdot V}{\eta} \cdot [C_p(T_v - T_o + L_v)] \quad (2)$$

$$P = \frac{(0,001)(0,008)(0,05)(1190)}{0,8} \cdot [1470 \cdot (471,15 - 296,15) + 25100]$$

$$P = 167,99 \text{ W}$$

En base al resultado obtenido por medio del cálculo de balance de energía, se seleccionó un láser de 180W, debido que es la potencia comercial existente en el mercado, no se podrá seleccionar uno de menor potencia puesto que no cumplirá con los parámetros establecidos.

7.2.3.2 Ejes de traslación

A continuación se definen la disposición de los ejes de traslación para la máquina cortadora láser como se observa en la siguiente imagen, este diagrama sirve para poder diferenciar los ejes al momento de realizar el respectivo análisis.

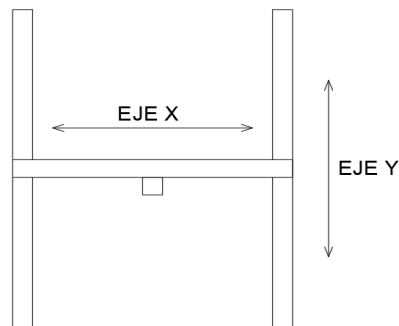


Figura 19: Disposición de ejes de traslación.

Fuente: Autores

El material seleccionado para los perfiles de los ejes de traslación, es aluminio 6063 por lo cual se obtienen las propiedades mecánicas que se pueden observar en la siguiente tabla.

Tabla 7: Propiedades del Aluminio 6063.

Propiedades Mecánicas	Métrico
Dureza	25 [HBN]
Esfuerzo último	89.6 [Mpa]
Esfuerzo de fluencia	48.6 [Mpa]
Módulo de elasticidad	68.9 [Mpa]
Esfuerzo a fatiga	55.2 [Mpa]
Módulo de corte	25.8 [Gpa]
Esfuerzo de corte	68.9 [Mpa]

Fuente: Otto y Gabriel (2009)

Análisis del Eje de traslación en X

En el eje X se utilizó un perfil v-slot de aluminio 4040, el cual, tiene las siguientes características que se observan en la Tabla 8.

Tabla 8: Características de perfil v-slot 4040.

Material	Aluminio 6063
I_x	$81.407 \times 10^{-9} [m^4]$
I_y	$81.407 \times 10^{-9} [m^4]$
Longitud	1650 [mm]
Masa	1.24 [kg/m]

Fuente: Otto y Gabriel (2009)

A continuación se muestra el diagrama de cuerpo libre del eje X para realizar el respectivo análisis estático.

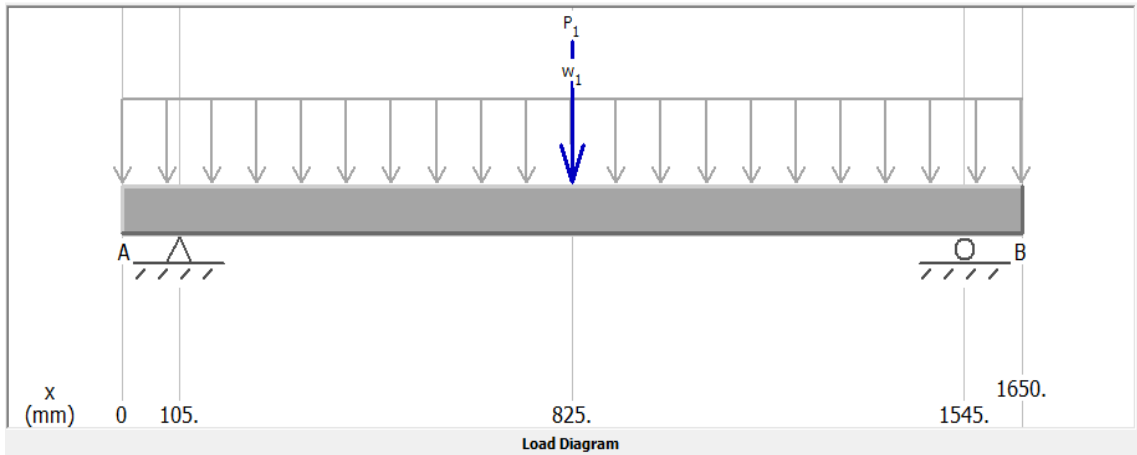


Figura 20: Diagrama de cuerpo libre del eje X.

Fuente: Autores

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0 \\ -F - W + R_B + R_D &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

$$F = F_{Cabezal} + F_{CarroX} + F_{MotorX}$$

$$W = W_{GuiaX} + W_{RielX}$$

$$\begin{aligned} -(F_{Cabezal} + F_{CarroX} + F_{MotorX}) - (W_{GuiaX} + W_{RielX}) + R_B + R_D &= 0 \\ -(0,3kg + 0,048kg + 1,81kg) - (1,24kg/m + 1,01kg/m) + R_B + R_D &= 0 \\ [9,81m/s^2 \cdot (-2,158kg - 2,25kg/m)] + R_B + R_D &= 0 \\ -21,16998N - 22,0725N/m + R_B + R_D &= 0 \end{aligned}$$

$$R_B + R_D = 21,17N + 22,07N/m$$

$$R_B + R_D = 21,17N + 22,07N/m \cdot (1,65m)$$

$$R_B + R_D = 21,17N + 36,42N$$

$$\sum M_B = 0 \quad (4)$$

$$F \cdot (0,720m) + W \cdot (0,720m) + R_D \cdot (1,44m) = 0$$

$$-21,17N \cdot (0,720m) - 36,42N \cdot (0,720m) + R_D \cdot (1,44m) = 0$$

$$-15,2424N \cdot m - 26,2224N \cdot m + R_D \cdot (1,44m) = 0$$

$$-41,4648N \cdot m + R_D \cdot (1,44m) = 0$$

$$R_D \cdot (1,44m) = 41,4648N \cdot m$$

$$R_D = \frac{41,4648N \cdot m}{1,44m}$$

$$R_D = 28,795N$$

$$R_D = R_B$$

Diagrama cortante

Sección A-B

$$V_A = 0$$

$$-V_B = 0 - (22,0725N/m)(0,105m)$$

$$-V_B = -2,317N$$

$$+V_B = -2,317N + 28,795N$$

$$+V_B = +26,478N$$

Sección B-C

$$+V_C = +26,48N - (22,0725N/m)(0,720m)$$

$$+V_B = +10,58N$$

$$-V_B = +10,58N - 21,17N$$

$$-V_B = -10,58N$$

Sección C-D

$$-V_C = -10,58N - (22,0725N/m)(0,720m)$$

$$-V_B = -26,47N$$

$$+V_B = -26,47N + 28,79N$$

$$+V_B = +2,32N$$

Sección D-E

$$V_E = +2,32N - (22,0725N/m)(0,105m)$$

$$V_E = 0N$$

Al obtener cada una de las fuerzas cortantes en las diferentes secciones del diagrama de cuerpo libre, se verificó los cálculos realizados mediante el software "MDSolids", obteniendo así el siguiente diagrama de cuerpo libre que se puede observar a continuación.

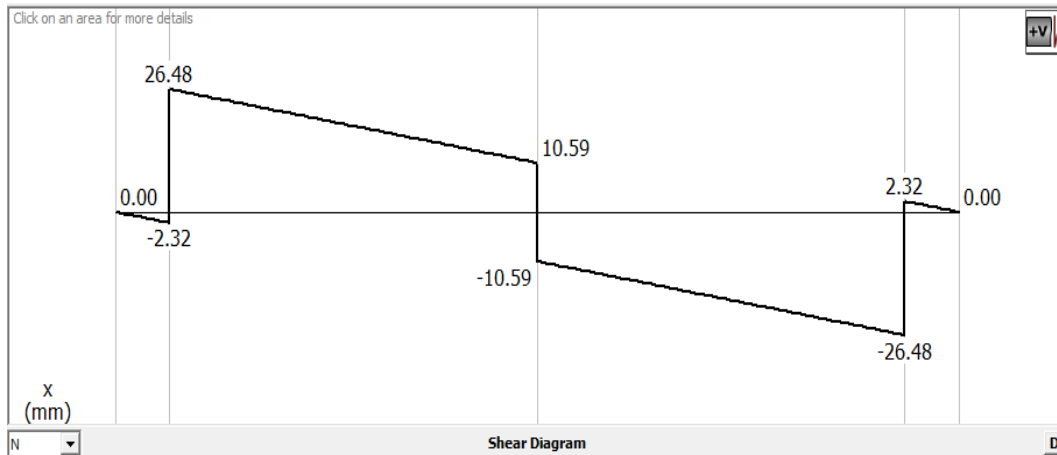


Figura 21: Diagrama de cuerpo libre del eje X.

Fuente: Autores

Diagrama flector

Áreas A-B

$$A_1 = \int V \cdot dx = \frac{1}{2} (-2,32N) (0,105m)$$

$$A_1 = -0,1218N \cdot m$$

Áreas B-C

$$A_2 = \int V \cdot dx = (10,58N) (0,72m)$$

$$A_2 = +7,1676N \cdot m$$

$$A_3 = \int V \cdot dx = \frac{1}{2} (15,9N) (0,72m)$$

$$A_3 = +5,724N \cdot m$$

Áreas C-D

$$A_4 = \int V \cdot dx = (-10,58N) (0,72m)$$

$$A_4 = -7,1676N \cdot m$$

$$A_5 = \int V \cdot dx = \frac{1}{2} (-15,9N) (0,72m)$$

$$A_5 = -5,724N \cdot m$$

Áreas D-E

$$A_5 = \int V \cdot dx = \frac{1}{2} (2,32N) (0,105m)$$

$$A_5 = +0,1218N \cdot m$$

Momentos

$$M_A = 0N \cdot m$$

$$M_B = 0 - 0,1218N \cdot m = -0,1218N \cdot m$$

$$M_C = -0,1218N \cdot m + 7,6176N \cdot m + 5,724N \cdot m = +13,2198N \cdot m$$

$$M_D = +13,22N \cdot m - 7,6176N \cdot m - 5,724N \cdot m = -0,1218N \cdot m$$

$$M_E = -0,1218N \cdot m + 0,1218N \cdot m = 0N \cdot m$$

Luego de obtener el momento flector en cada uno de los puntos que se muestra en el diagrama de cuerpo libre, se procedió a realizar la verificación de los cálculos realizados mediante el software "MDSolids", obteniendo así el siguiente diagrama de momento flector.

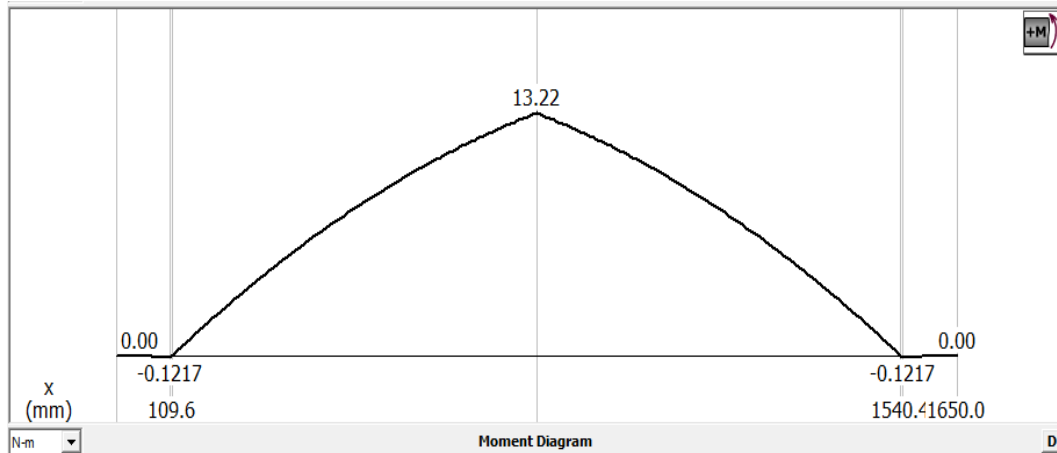


Figura 22: Diagrama de cuerpo libre del eje X.

Fuente: Autores

Obteniendo el momento máximo de flexión se puede calcular el esfuerzo máximo que puede soportar el eje de traslación, así como también el esfuerzo último para el cual se toma un factor de seguridad ($FS = 1,5$) y de la misma manera la deflexión que sufrirá el eje.

Esfuerzo Máximo

$$\begin{aligned}\sigma_m &= \frac{|M| c}{I} \\ \sigma_m &= \frac{|13,22N \cdot m| \cdot 0,04m}{81,407 \times 10^{-9}m^4} \\ \sigma_m &= 6,495Mpa\end{aligned}$$

Esfuerzo Último

$$\begin{aligned}FS &= \frac{\sigma_u}{\sigma_m} \\ \sigma_u &= (1,5) (6,495Mpa) \\ \sigma_u &= 9,7425Mpa\end{aligned}$$

Deflexión

Viga con carga posicionada en la mitad

$$\begin{aligned}
y_{max} &= -\frac{PL^3}{48EI} \\
y_{max} &= \frac{(-21,17N)(1,65m)^3}{48(68,9Gpa)(81,407 \times 10^{-9}m^4)} \\
y_{max} &= 0,354mm
\end{aligned}$$

Viga con carga distribuida

$$\begin{aligned}
y_{max} &= -\frac{5wL^4}{384EI} \\
y_{max} &= \frac{5(-22,0725N/m)(1,65m)^4}{384(68,9Gpa)(81,407 \times 10^{-9}m^4)} \\
y_{max} &= 0,379mm
\end{aligned}$$

Deflexión Total

$$\begin{aligned}
y_{Total} &= \frac{-PL^3}{48EI} + \frac{-5wL^4}{384EI} \\
y_{Total} &= 0,354mm + 0,379mm \\
y_{Total} &= 0,733mm
\end{aligned}$$

Comparando el esfuerzo último ($89,6Mpa$) de las propiedades mecánicas de la tabla 7, con el esfuerzo último calculado ($9,74Mpa$) que soportará el eje, se puede evidenciar que efectivamente el perfil v-slot 4040 va a soportar toda la carga que se ejerce en el mismo. De igual manera se puede afirmar que la deflexión total que sufrirá el perfil es de $0,733mm$, el cual, es un valor muy pequeño que no afectará al desempeño y funcionamiento de la máquina.

Análisis del Eje de traslación en Y

En el eje Y se utilizó un perfil v-slot de aluminio 2040, el cual, tiene las siguientes características que se observan en la tabla 9.

Tabla 9: Características de perfil v-slot 2040.

Material	Aluminio 6063
I_x	$48.163 \times 10^{-9} [m^4]$
I_y	$12.305 \times 10^{-9} [m^4]$
Longitud	2850 [mm]
Masa	0.808 [kg/m]

Fuente: Otto y Gabriel (2009)

A continuación se muestra el diagrama de cuerpo libre del eje X para realizar el respectivo análisis estático.

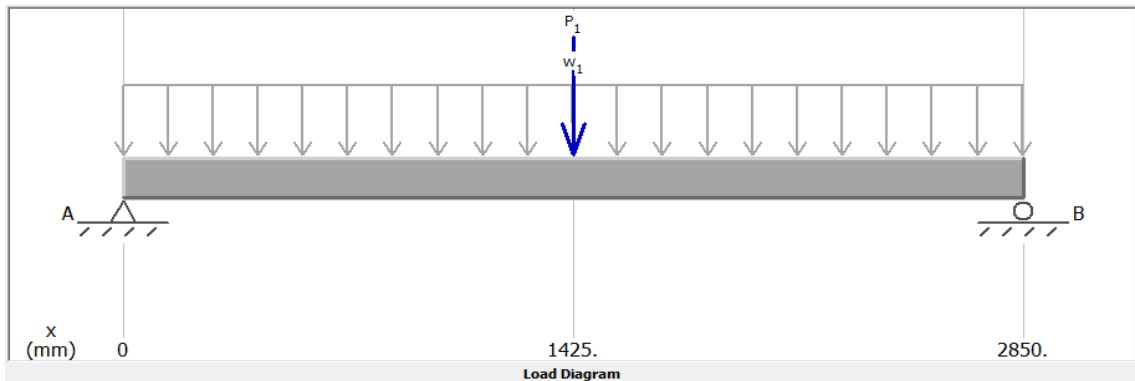


Figura 23: Diagrama de cuerpo libre del eje Y.

Fuente: Autores

$$\begin{aligned} \sum F_A &= 0 \\ -F - W + R_A + R_C &= 0 \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned} F &= F_{CarroY} + F_X + F_{WX} \\ W &= W_{GuiaY} + W_{RielY} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& - (F_{CarroY} + F_X + F_{WX}) - (W_{Guiay} + W_{RielY}) + R_A + R_C = 0 \\
& - (0,048kg + 21,17N + 2,32N) - (0,808kg/m + 1,01kg/m) + R_A + R_C = 0 \\
& - [9,81m/s^2 \cdot (0,048kg) + 23,48N] - [9,81m/s^2 \cdot (1,818kg/m)] + R_A + R_C = 0 \\
& - (0,47N + 23,48N) - 17,834585N/m + R_A + R_C = 0
\end{aligned}$$

$$R_A + R_C = 24N + 17,83458N/m$$

$$R_A + R_C = 24N + 17,83458N/m \cdot (1,65m)$$

$$R_A + R_C = 24N + 50,83N$$

$$\sum M_A = 0 \tag{6}$$

$$F \cdot (1,425m) + W \cdot (1,425m) + R_C \cdot (2,85m) = 0$$

$$-24N \cdot (1,425m) - 50,83N \cdot (1,425m) + R_C \cdot (2,85m) = 0$$

$$-34,2N \cdot m - 72,43N \cdot m + R_C \cdot (2,85m) = 0$$

$$-106,63N \cdot m + R_C \cdot (2,85m) = 0$$

$$R_C \cdot (2,85m) = 106,63N \cdot m$$

$$R_C = \frac{106,63N \cdot m}{2,85m}$$

$$R_C = 37,42N$$

$$R_C = R_A$$

Diagrama cortante

Sección A-B

$$\begin{aligned}V_A &= 37,41N \\+V_B &= 37,41 - (17,83N/m) (1,425m) \\+V_B &= +12N \\-V_B &= +12N - 24N \\-V_B &= -12N\end{aligned}$$

Sección B-C

$$\begin{aligned}-V_C &= -12N - (17,83N/m) (1,425m) \\-V_B &= -37,41N \\+V_B &= -37,41 - 37,41N \\+V_B &= 0N\end{aligned}$$

Al obtener cada una de las fuerzas cortantes en las diferentes secciones del diagrama de cuerpo libre, se verifico los cálculos realizados mediante el software "MDSolids", obteniendo así el siguiente diagrama de cuerpo libre que se puede observar a continuación.

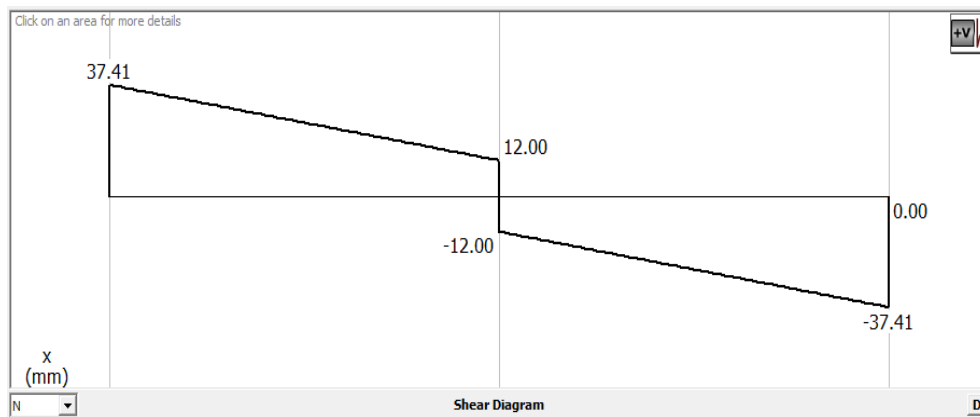


Figura 24: Diagrama de cuerpo libre del eje X.

Fuente: Autores

Diagrama flector

Áreas A-B

$$\begin{aligned}A_1 &= \int V \cdot dx = (12N)(1,425m) \\A_1 &= +17,1N \cdot m \\A_2 &= \int V \cdot dx = \frac{1}{2}(25,41N)(1,425m) \\A_2 &= +18,10N \cdot m\end{aligned}$$

Áreas B-C

$$\begin{aligned}A_3 &= \int V \cdot dx = (-12N)(1,425m) \\A_3 &= -17,1N \cdot m \\A_4 &= \int V \cdot dx = \frac{1}{2}(-25,41N)(1,425m) \\A_4 &= -18,10N \cdot m\end{aligned}$$

Momentos

$$\begin{aligned}M_A &= 0N \cdot m \\M_B &= 0N \cdot m + 0,17,1N \cdot m + 18,1N \cdot m = +35,2N \cdot m \\M_C &= +35,2N \cdot m - 17,1 \cdot m - 18,1N \cdot m = 0N \cdot m\end{aligned}$$

Luego de obtener el momento flector en cada uno de los puntos que se muestra en el diagrama de cuerpo libre, se procedió a realizar la verificación de los cálculos realizados mediante el software "MDSolids", obteniendo así el siguiente diagrama de momento flector.

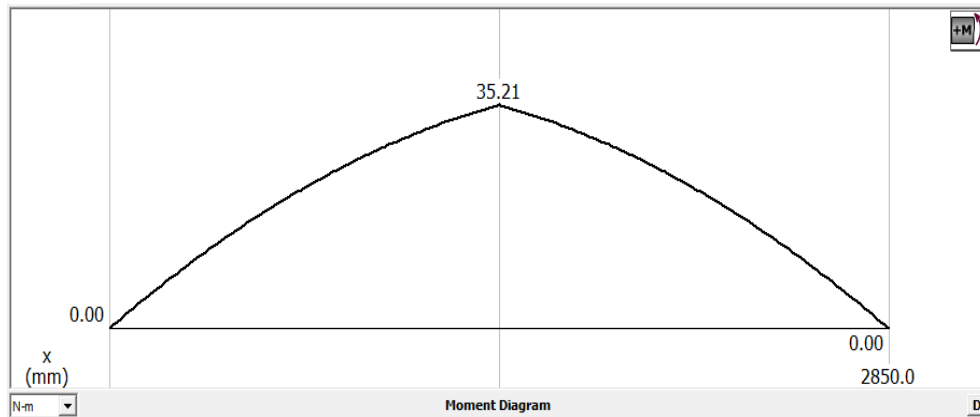


Figura 25: Diagrama de cuerpo libre del eje X.

Fuente: Autores

Obteniendo el momento máximo de flexión se puede calcular el esfuerzo máximo que puede soportar el eje de traslación, así como también el esfuerzo último para el cual se toma un factor de seguridad ($FS = 1,5$) y de la misma manera la deflexión que sufrirá el eje.

Esfuerzo Máximo

$$\begin{aligned}\sigma_m &= \frac{|M|c}{I} \\ \sigma_m &= \frac{|35,2N \cdot m| \cdot 0,02m}{12,305 \times 10^{-9}m^4} \\ \sigma_m &= 57,21Mpa\end{aligned}$$

Esfuerzo Último

$$\begin{aligned}FS &= \frac{\sigma_u}{\sigma_m} \\ \sigma_u &= (1,5) (57,21Mpa) \\ \sigma_u &= 85,82Mpa\end{aligned}$$

Comparando el esfuerzo último ($89,6Mpa$) de las propiedades mecánicas de la tabla 7, con el esfuerzo último calculado ($85,82Mpa$) que soportará el eje Y, se puede evidenciar que efectivamente el perfil v-slot 2040 va a soportar toda la carga que se ejerce en el mismo. Por otra parte, no se calcula la deflexión total que sufrirá el perfil en el eje Y, debido a que este va estar soportado por la mesa de trabajo y a su vez la deflexion es despreciable.

Análisis del Eje de la Bancada

En la bancada se emplearon tubos de acero inoxidable 304, se presenta la estimación de la fuerza ejercida sobre la bancada a partir de la fuerza de los ejes de traslación XY y del peso de la plancha de PMMA considerando un espesor de 8mm, además la fuerza P calculada se la dividió para 3 debido a que son tres ejes de la bancada los que soportan toda esa carga.

Tabla 10: Características de tubo de acero inoxidable 304.

Material	Acero Inoxidable 304
I_x	$3.24 \times 10^{-6} [m^4]$
I_y	$6.75 \times 10^{-8} [m^4]$
Longitud	1.44 [mm]
Módulo de elasticidad	193 [GPa]
Esfuerzo de fluencia	2015 [Mpa]
Esfuerzo máximo	505 [Mpa]

Fuente: Flores (2010)

A continuación se muestra el diagrama de cuerpo libre del eje de la bancada para realizar el respectivo análisis estático.

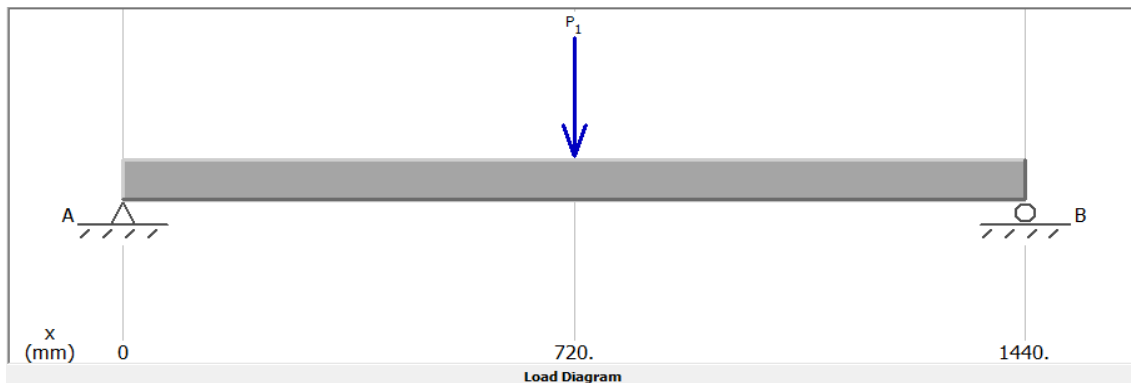


Figura 26: Diagrama de cuerpo libre del eje de la bancada.

Fuente: Autores

Análisis estático

$$\begin{aligned}P &= F_{st} + W_{pmma} \\P &= (F_{EjeX} + F_{EjeY}) + W_{pmma} \\P &= (57,59N + 51,3N) + (27,41kg) \\P &= (108,89N) + [9,81m/s^2 \cdot (27,41kg)] \\P &= (108,89N) + (268,89N) \\P &= 377,78N/3 \\P_1 &= 126N\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\-P_1 + R_A + R_B &= 0 \\R_A + R_B &= 126N\end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned}\sum M_B &= 0 \\-R_A \cdot (1,44m) + 126 \cdot (0,72m) &= 0 \\-R_A \cdot (1,44m) &= -126 \cdot (0,72m) \\R_A &= \frac{-126 \cdot (0,72m)}{1,44m} \\R_A &= 63N \\R_A &= R_B\end{aligned} \tag{8}$$

Diagrama cortante

Sección A-B

$$\begin{aligned}V_A &= 63N \\+V_B &= 63N \\-V_B &= 63N - 126N \\-V_B &= -63N\end{aligned}$$

Sección B-C

$$\begin{aligned}V_C &= -63N + 63N \\V_C &= 0N\end{aligned}$$

Al obtener cada una de las fuerzas cortantes en las diferentes secciones del diagrama de cuerpo libre, se verifico los cálculos realizados mediante el software "MDSolids", obteniendo así el siguiente diagrama de cuerpo libre del eje de la bancada que se puede observar a continuación.

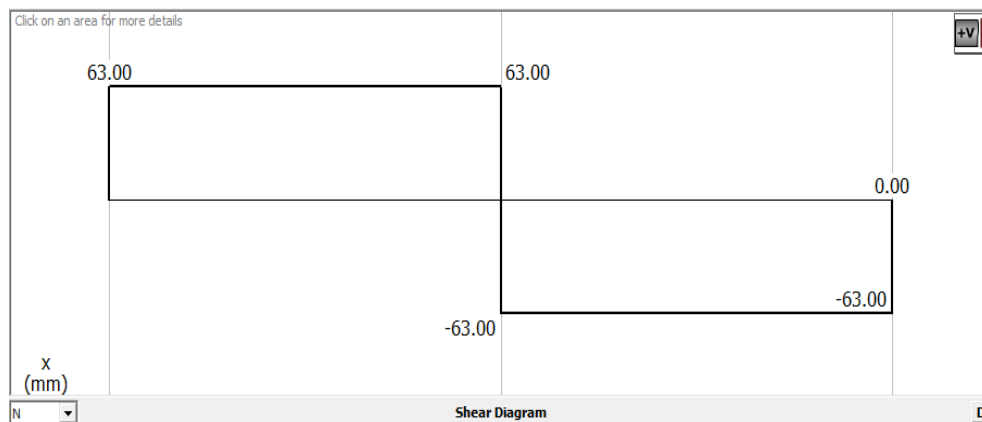


Figura 27: Diagrama de cuerpo libre del eje de la bancada.

Fuente: Autores

Diagrama flector

Áreas A-B

$$A_1 = \int V \cdot dx = (63N)(0,72m)$$
$$A_1 = +45,36N \cdot m$$

Áreas B-C

$$A_2 = \int V \cdot dx = (-63N)(0,72m)$$
$$A_2 = -45,36N \cdot m$$

Momentos

$$M_A = 0N \cdot m$$
$$M_B = 0N \cdot m + 45,36N \cdot m = +45,36N \cdot m$$
$$M_C = +45,36N \cdot m - 45,36N \cdot m = 0N \cdot m$$

Luego de obtener el momento flector en cada uno de las secciones que se muestra en el diagrama de cuerpo libre, se procede a realizar la verificación de los cálculos realizados mediante el software "MDSolids", obteniendo así el siguiente diagrama de momento flector.

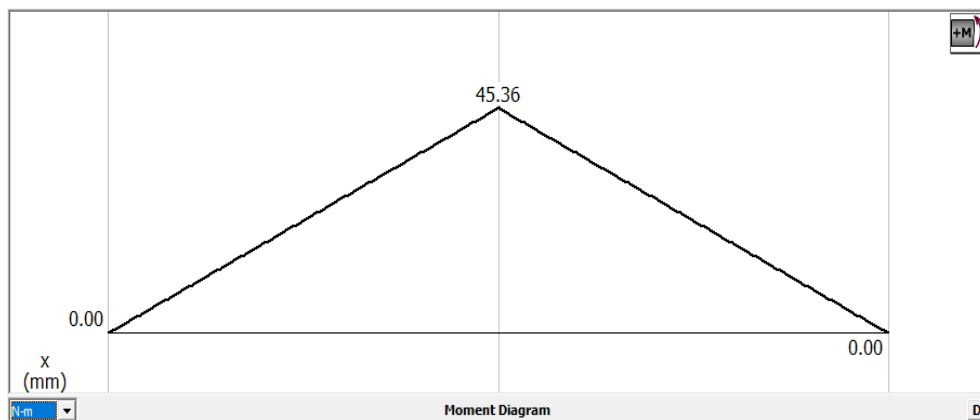


Figura 28: Diagrama de momento flector del eje de la bancada.

Fuente: Autores

Obteniendo el momento máximo de flexión se puede calcular el esfuerzo máximo que puede soportar el eje de la bancada, así como también el esfuerzo último para el cual se toma un factor de seguridad ($FS = 1,5$) y de la misma manera la deflexión que sufrirá el eje.

Esfuerzo Máximo

$$\begin{aligned}\sigma_m &= \frac{|M|c}{I} \\ \sigma_m &= \frac{|45,36N \cdot m| \cdot 0,015m}{6,75 \times 10^{-8}m^4} \\ \sigma_m &= 10,08Mpa\end{aligned}$$

Esfuerzo Último

$$\begin{aligned}FS &= \frac{\sigma_u}{\sigma_m} \\ \sigma_u &= (1,5)(10,08Mpa) \\ \sigma_u &= 15,12Mpa\end{aligned}$$

Deflexión

Viga con carga posicionada en la mitad

$$\begin{aligned}y_{max} &= -\frac{PL^3}{48EI} \\ y_{max} &= -\frac{(-126N)(1,44m)^3}{48(193Gpa)(6,75 \times 10^{-8}m^4)} \\ y_{max} &= 0,601mm\end{aligned}$$

Comparando el esfuerzo último ($505Mpa$) de las propiedades mecánicas de la tabla 10, con el esfuerzo último calculado ($15,12Mpa$) que soportará el eje de la bancada, se puede evidenciar que efectivamente el tubo de acero inoxidable 304 va a soportar toda la carga que se ejerce en el mismo. De igual manera se puede afirmar que la deflexión total que sufrirá el tubo es de $0,601mm$, el cual, es un valor muy pequeño que no presentará daños estructurales de la bancada.

7.2.3.3 Motores

En cuanto a la selección de motores, se optó por un motor a pasos debido a que estos son ideales para trabajos de fuerza y donde se requiere gran precisión. Además, para la selección del motor adecuado se realiza el respectivo cálculo del torque requerido en base al sistema de traslación tanto en el eje X como en el eje Y.

En la siguiente imagen se puede observar el diagrama de cuerpo libre utilizado para el eje de traslación en X, así como también, cada uno de los datos para el respectivo cálculo.

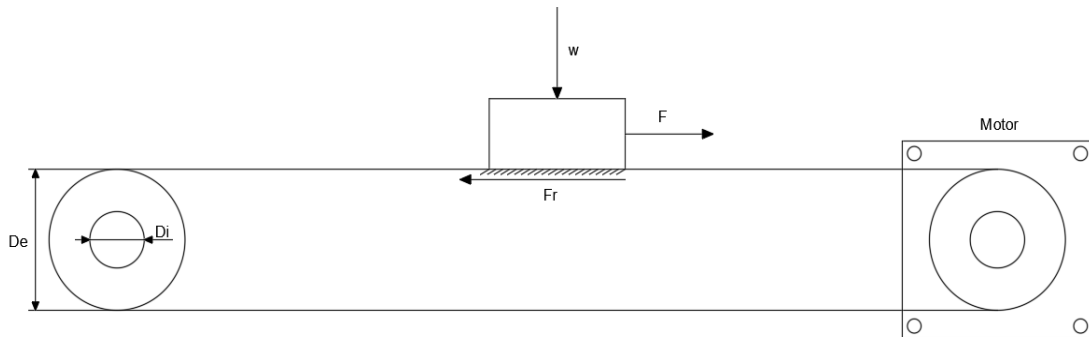


Figura 29: Diagrama cuerpo libre sistema de traslación del eje X.

Fuente: Autores

Tabla 11: Datos del sistema de traslación del Eje X.

Descripción	Símbolo	Valor
Masa del carro	m_c	3 [kg]
Masa de la correa	m_p	0.3 [kg]
Diámetro interior polea	D_i	0.008 [m]
Diámetro exterior polea	D_e	0.056 [m]
Ancho polea	L	0.028 [m]
Coefficiente de fricción	μ_r	0.1
Densidad del acero	ρ	7850[kg/m ³]
Distancia de movimiento	D_t	1.2 [m]
Tiempo de movimiento	t_m	24 [s]
Tiempo de aceleración	t_a	6 [s]
Resolución deseada	L_θ	0.01 [mm/pulso]

Fuente: Autores

Resolución del paso del accionamiento

$$\begin{aligned}
 \theta_{paso} &= \frac{d_c}{i \cdot L_\theta} & (9) \\
 \theta_{paso} &= \frac{\pi \cdot D_e}{i \cdot L_\theta} \\
 \theta_{paso} &= \frac{\pi \cdot 56mm}{1 \cdot 0,01mm/pulso} \\
 \theta_{paso} &= 17593 \text{ pasos/rev}
 \end{aligned}$$

Definición del perfil del movimiento

$$\begin{aligned}
 P_{total} &= \frac{D_t \cdot \theta_{paso}}{d_c/i} & (10) \\
 P_{total} &= \frac{1200mm \cdot 17593 \text{ pasos/rev}}{(\pi \cdot 56mm) / 1} \\
 P_{total} &= 120000 \text{ pasos}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{trapezoidal} &= \frac{P_{total} - (f_0 \cdot t_a)}{t_m - t_a} \div 1000 \text{pasos} & (11) \\
 f_{trapezoidal} &= \frac{120000 \text{pasos} - (40Hz \cdot 6s)}{24s - 6s} \div 1000 \text{pasos} \\
 f_{trapezoidal} &= 6,653Hz
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{motor} &= f_{trapezoidal} \cdot \frac{60s}{min} & (12) \\
 V_{motor} &= 6,65Hz \cdot \frac{60s}{min} \\
 V_{motor} &= 400RPM
 \end{aligned}$$

Inercias del sistema

$$\begin{aligned}
 J_{carro} &= \frac{1}{4} \cdot m_c \cdot D_e^2 & (13) \\
 J_{carro} &= \frac{1}{4} \cdot (3kg) \cdot (0,056m)^2 \\
 J_{carro} &= 2,352 \times 10^{-3} kg \cdot m^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
J_{correa} &= \frac{1}{4} \cdot m_p \cdot D_e^2 & (14) \\
J_{correa} &= \frac{1}{4} \cdot (0,3kg) \cdot (0,056m)^2 \\
J_{correa} &= 2,352 \times 10^{-4} kg \cdot m^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
J_{poleas} &= \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot L \cdot \rho \cdot (r_e^4 - r_i^4) \cdot 2 \text{ poleas} & (15) \\
J_{poleas} &= \frac{1}{2} \cdot (\pi) \cdot (0,038m) \cdot (7850kg/m^3) \cdot ((0,023m)^4 - (0,004m)^4) \cdot 2 \text{ poleas} \\
J_{poleas} &= 2,62 \times 10^{-4} kg \cdot m^2
\end{aligned}$$

$$J_{rotor} = 1,74 \times 10^{-3} kg \cdot m^2$$

$$\begin{aligned}
J_{total} &= J_{carro} + J_{correa} + J_{poleas} + J_{rotor} & (16) \\
J_{total} &= 2,352 \times 10^{-3} + 2,352 \times 10^{-4} + 2,62 \times 10^{-4} + 1,74 \times 10^{-3} \\
J_{total} &= 4,589 \times 10^{-3} kg \cdot m^2
\end{aligned}$$

Torque del sistema

$$\begin{aligned}
T_{acelerar} &= J_{total} \cdot V_{motor} \cdot \frac{2\pi}{60} & (17) \\
T_{acelerar} &= 4,52 \times 10^{-3} kg \cdot m^2 \cdot 400RPM \cdot \frac{2\pi}{60} \\
T_{acelerar} &= 0,1922N \cdot m
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
T_{friccion} &= \frac{F_{fr} \cdot r}{i} & (18) \\
T_{friccion} &= \frac{(\mu_r \cdot m_c \cdot g) \cdot r}{i} \\
T_{friccion} &= \frac{(0,1 \cdot 3kg \cdot 9,81m/s^2) \cdot 0,023}{1} \\
T_{friccion} &= 0,0677N \cdot m
\end{aligned}$$

$$T_{motor} = F.S \cdot (T_{acelerar} + T_{friccion}) \quad (19)$$

$$T_{motor} = 2 \cdot (0,1922N \cdot m + 0,0677N \cdot m) \quad (20)$$

$$T_{motor} = 0,5198N \cdot m$$

De acuerdo con el Torque calculado de $(0,5198Nm)$ y la inercia del rotor preestablecida de un motor NEMA 17, se buscó y se seleccionó un motor con la especificación del torque lo mas próxima al calculado, es por esto que en a continuación se pueden observar todas las especificaciones técnicas del motor HT17-278 del fabricante Applied Motion.

Tabla 12: Especificaciones del motor seleccionado para el eje X.

Descripción	Valor
Número de pieza	HT17-278D
Tamaño del marco	NEMA 17
Longitud del motor	63.738 [mm]
Número de cables conductores	8
Configuración del cable	Blindado
Longitud del cable	3.048 [m]
Calibre del cable	26 AWG
Torque de sujeción Unipolar	0.557863 [Nm]
Torque de sujeción Bipolar	0.797955 [Nm]
Ángulo de paso	1.8°

Fuente: Autores

Tabla 13: Especificaciones Eléctricas del motor para el eje X.

Descripción	Valor
Voltaje de Operación	2.12 [V]
Corriente en serie Bipolar	1 [A]
Resistencia en serie Bipolar	6.4 [ohms]
Inductancia en serie Bipolar	12 [mH]
Corriente en paralelo Bipolar	2 [A]
Resistencia en paralelo Bipolar	1.6 [ohms]
Inductancia en paralelo Bipolar	3 [mH]
Corriente Unipolar	1.4 [A]
Resistencia Unipolar	3.2 [ohms]
Inductancia Unipolar	3 [mH]
Temperatura de operación	-20 +50°

Fuente: Autores

En la siguiente imagen se puede observar el diagrama de cuerpo libre utilizado para el eje de traslación en Y, así como también cada uno de los datos para el respectivo cálculo en la Tabla 14.

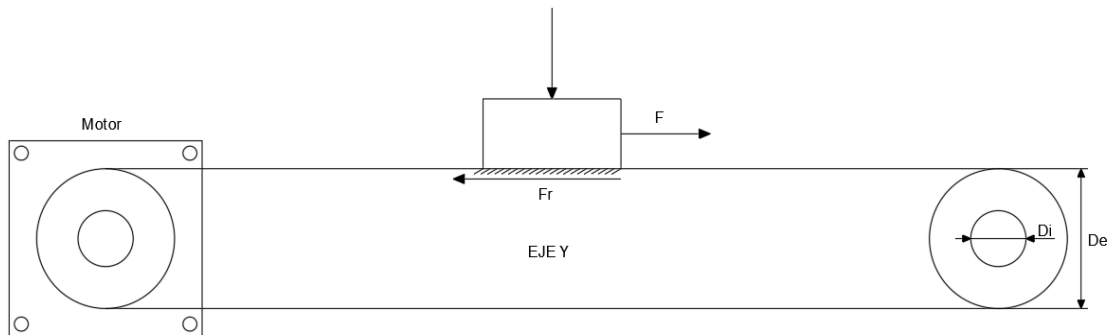


Figura 30: Diagrama cuerpo libre sistema de traslación del eje X.

Fuente: Autores

Tabla 14: Datos del sistema de traslación del Eje Y.

Descripción	Símbolo	Valor
Masa del carro	m_c	5 [kg]
Masa de la correa	m_p	0.6 [kg]
Diámetro interior polea	D_i	0.012 [m]
Diámetro exterior polea	D_e	0.055 [m]
Ancho polea	L	0.038 [m]
Coefficiente de fricción	μ_r	0.1
Densidad del acero	ρ	7850 [kg/m ³]
Distancia de movimiento	D_t	2.4 [m]
Tiempo de movimiento	t_m	24 [s]
Tiempo de aceleración	t_a	6 [s]
Resolución deseada	L_θ	0.01 [mm/pulso]

Fuente: Autores

Resolución del paso del accionamiento

$$\begin{aligned}\theta_{paso} &= \frac{d_c}{i \cdot L_\theta} \\ \theta_{paso} &= \frac{\pi \cdot D_e}{i \cdot L_\theta} \\ \theta_{paso} &= \frac{\pi \cdot 55mm}{1 \cdot 0,01mm/pulso} \\ \theta_{paso} &= 17279 \text{ pasos/rev}\end{aligned}\tag{21}$$

Definición del perfil del movimiento

$$\begin{aligned}P_{total} &= \frac{D_t \cdot \theta_{paso}}{d_c/i} \\ P_{total} &= \frac{2400mm \cdot 6912 \text{ pasos/rev}}{(\pi \cdot 55mm) / 1} \\ P_{total} &= 240003 \text{ pasos}\end{aligned}\tag{22}$$

$$\begin{aligned}
f_{trapezoidal} &= \frac{P_{total} - (f_0 \cdot t_a)}{t_m - t_a} \div 1000pasos & (23) \\
f_{trapezoidal} &= \frac{240017pasos - (40Hz \cdot 6s)}{24s - 6s} \div 1000pasos \\
f_{trapezoidal} &= 13,32Hz
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_{motor} &= f_{trapezoidal} \cdot \frac{60s}{min} & (24) \\
V_{motor} &= 13,32Hz \cdot \frac{60s}{min} \\
V_{motor} &= 800RPM
\end{aligned}$$

Inercias del sistema

$$\begin{aligned}
J_{carro} &= \frac{1}{4} \cdot m_c \cdot D_e^2 & (25) \\
J_{carro} &= \frac{1}{4} \cdot (5kg) \cdot (0,055m)^2 \\
J_{carro} &= 3,781 \times 10^{-3}kg \cdot m^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
J_{correa} &= \frac{1}{4} \cdot m_p \cdot D_e^2 & (26) \\
J_{correa} &= \frac{1}{4} \cdot (0,6kg) \cdot (0,055m)^2 \\
J_{correa} &= 4,54 \times 10^{-4}kg \cdot m^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
J_{poleas} &= \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot L \cdot \rho \cdot (r_e^4 - r_i^4) \cdot 4 poleas & (27) \\
J_{poleas} &= \frac{1}{2} \cdot (\pi) \cdot (0,038m) \cdot (7850kg/m^3) \cdot ((0,0275m)^4 - (0,006m)^4) \cdot 4 poleas \\
J_{poleas} &= 1,069 \times 10^{-3}kg \cdot m^2
\end{aligned}$$

$$J_{rotor} = 3,68 \times 10^{-3}kg \cdot m^2$$

$$\begin{aligned}
J_{total} &= J_{carro} + J_{correa} + J_{poleas} + J_{rotor} & (28) \\
J_{total} &= 3,781 \times 10^{-3} + 4,54 \times 10^{-4} + 1,069 \times 10^{-3} + 3,68 \times 10^{-3} \\
J_{total} &= 8,984 \times 10^{-3}kg \cdot m^2
\end{aligned}$$

Torque del sistema

$$T_{acelerar} = J_{total} \cdot V_{motor} \cdot \frac{2\pi}{60} \quad (29)$$

$$T_{acelerar} = 8,984 \times 10^{-3} kg \cdot m^2 \cdot 800RPM \cdot \frac{2\pi}{60}$$

$$T_{acelerar} = 0,752N \cdot m$$

$$T_{friccion} = \frac{F_{fr} \cdot r}{i} \quad (30)$$

$$T_{friccion} = \frac{(\mu_r \cdot m_c \cdot g) \cdot r}{i}$$

$$T_{friccion} = \frac{(0,1 \cdot 5kg \cdot 9,81m/s^2) \cdot 0,0275}{1}$$

$$T_{friccion} = 0,1349N \cdot m$$

$$T_{motor} = F.S \cdot (T_{acelerar} + T_{friccion}) \quad (31)$$

$$T_{motor} = 2 \cdot (0,752N \cdot m + 0,1349N \cdot m)$$

$$T_{motor} = 1,7738N \cdot m$$

De acuerdo con el torque calculado ($1,7738N \cdot m$) para el eje de traslacion en Y se realizó la selección de un motor nema 23, debido a que se requiere mucho mas torque que en el eje X, en la tabla 15 se encuentran las especificaciones del motor de doble eje HT23-601DC-CAA del fabricante “Applied Motion”.

Tabla 15: Especificaciones del motor seleccionado para el eje Y.

Descripción	Valor
Número de pieza	HT23-601DC-CAA
Tamaño del marco	NEMA 23
Longitud del motor	81.25 [mm]
Número de cables conductores	8
Configuración del cable	Blindado
Longitud del cable	3.048 [m]
Calibre del cable	22 AWG
Torque de sujeción Unipolar	1.34876 [Nm]
Torque de sujeción Bipolar	1.89956 [Nm]
Ángulo de paso	1.8°

Fuente: Autores**Tabla 16:** Especificaciones Eléctricas del motor para el eje Y.

Descripción	Valor
Voltaje de Operación	2.12 [V]
Corriente en serie Bipolar	24 [A]
Resistencia en serie Bipolar	2.2 [ohms]
Inductancia en serie Bipolar	6.8 [mH]
Corriente en paralelo Bipolar	4.24 [A]
Resistencia en paralelo Bipolar	0.7 [ohms]
Inductancia en paralelo Bipolar	1.7 [mH]
Corriente Unipolar	3 [A]
Resistencia Unipolar	1.1 [ohms]
Inductancia Unipolar	1.7 [mH]
Temperatura de operación	-20 +50°

Fuente: Autores

7.2.3.4 Rodamientos

En esta sección se presenta la selección de los rodamientos utilizados en los retenedores para el movimiento de los ejes de traslación, en la tabla 17 se muestran los parámetros utilizados para el calculo de la vida nominal del rodamiento rígido de bolas con código 6701 tomado del

catálogo NTN.

Tabla 17: Parámetros del rodamiento 6701 seleccionado.

Descripción	Símbolo	Valor
Carga radial	F_r	0.22 [N]
Velocidad de rotación	n	800 [rpm]
Capacidad básica de carga dinámica	C_r	0.930 [kN]

Fuente: Autores

Factor de velocidad

$$f_n = \left(\frac{33,3}{n} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (32)$$

$$f_n = \left(\frac{33,3}{800} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$f_n = 0,346$$

Factor de vida

$$f_h = f_n \cdot \frac{C_r}{F_r} \quad (33)$$

$$f_h = 0,346 \cdot \frac{930}{0,22}$$

$$f_h = 1462,63 \quad (34)$$

Vida nominal

$$L_{10h} = 500 \cdot f_h^3 \quad (35)$$

$$L_{10h} = 500 \cdot (1462,63)^3$$

$$L_{10h} = 1565 \times 10^9 \text{ horas}$$

7.2.3.4 Estructura de bancada

La bancada al representar la base y el soporte de todos los elementos de la máquina, en su diseño es importante considerar parámetros para evitar que agentes externos afecten en el correcto funcionamiento de la misma, estos agentes se pueden considerar como vibraciones o golpes hacia la estructura de la máquina, es por esta razón que utilizó tubo cuadrado de

acero inoxidable 304.

La ficha técnica del elemento se presenta en la siguiente figura:

DIMENSIONES			PROPIEDADES	
PLG.	mm	ESPESOR	PESO	PESO
		mm	Kg/mt	Kg/6mt
1 1/4	30	1,2	1,10	6,58
1 1/4	30	1,5	1,36	8,14
1 1/4	30	2	1,78	10,66

Figura 31: Especificaciones técnicas del tubo cuadrado.

Fuente: Aceros (2021)

7.2.3.5 Ensamblado de los elementos mecánicos

■ Ensamble de bancada

La bancada representa la estructura principal de la máquina cortadora láser, para su construcción se empleó tubos cuadrados de acero inoxidable 304, con un espesor de 2mm. A continuación se presenta la estructura final ensamblada:

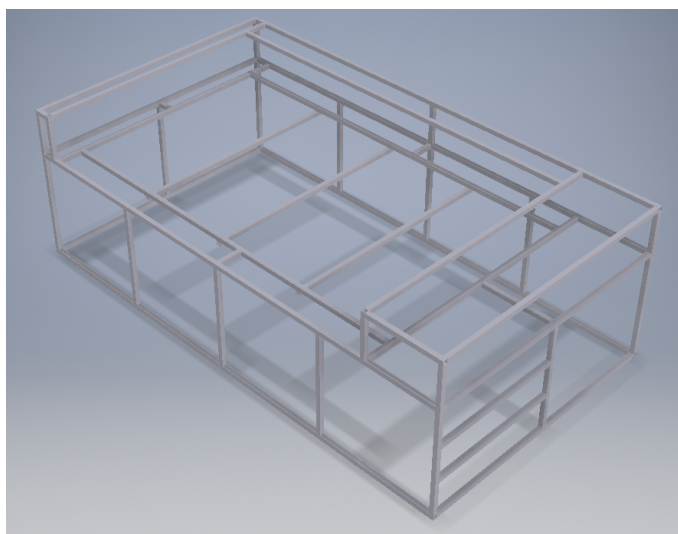


Figura 32: Ensamble de bancada.

Fuente: Autores

- **Ensamble de mesa de corte**

En lo que respecta a la mesa de corte, está construida en su totalidad de aluminio, en este caso se empleo tubo cuadrado de 30 mm X 30 mm x 2 mm, además se empleo tiras de aluminio de con un espesor de 4 mm. La estructura final se muestra en la siguiente figura:

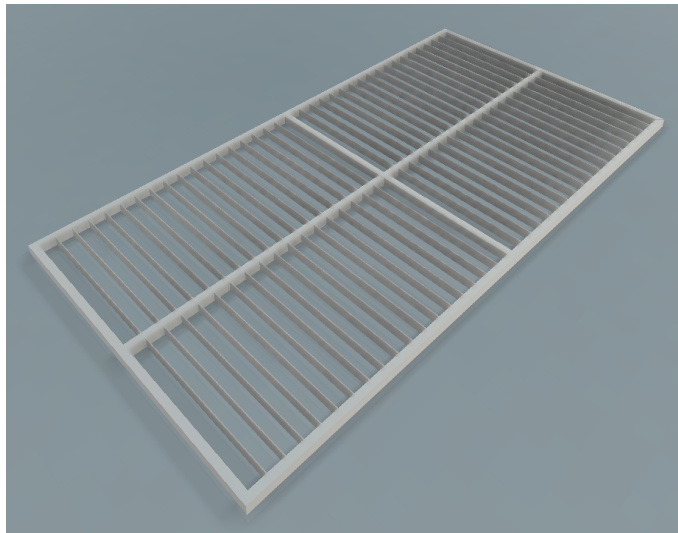


Figura 33: Ensamble mesa de corte.

Fuente: Autores

- **Ensamble de sistema de traslación**

El sistema de traslación, representa la parte más importante del máquina, pues, es por este sistema por el cual, el cabezal láser se desplazara sobre cada uno de los ejes, es decir, eje X y eje Y, esto para realizar la trayectoria de corte. Para el ensamble del sistema mencionado, se empleo perfil Vslot de aluminio, así como también, tuercas tipo T para el perfil empleado, además, se empleo guías de movimiento lineales, las cuales, brindaran una menor fricción en la traslación del cabezal, con mas precisión y exactitud, el ensamble del sistema de traslación se presenta en la **Figura 34**.

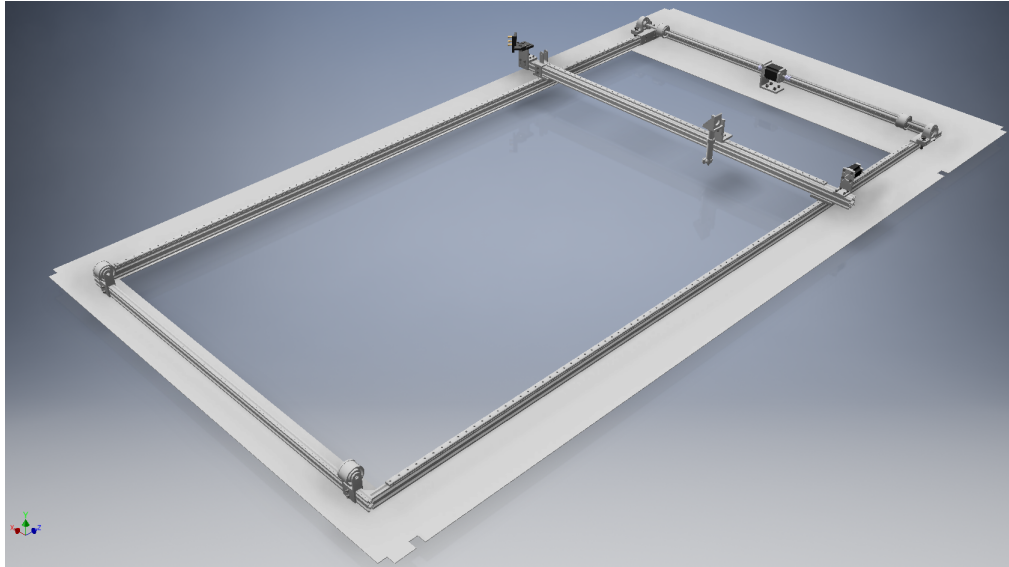


Figura 34: Ensamble del sistema de traslación.

Fuente: Autores

■ Ensamble de carcasa

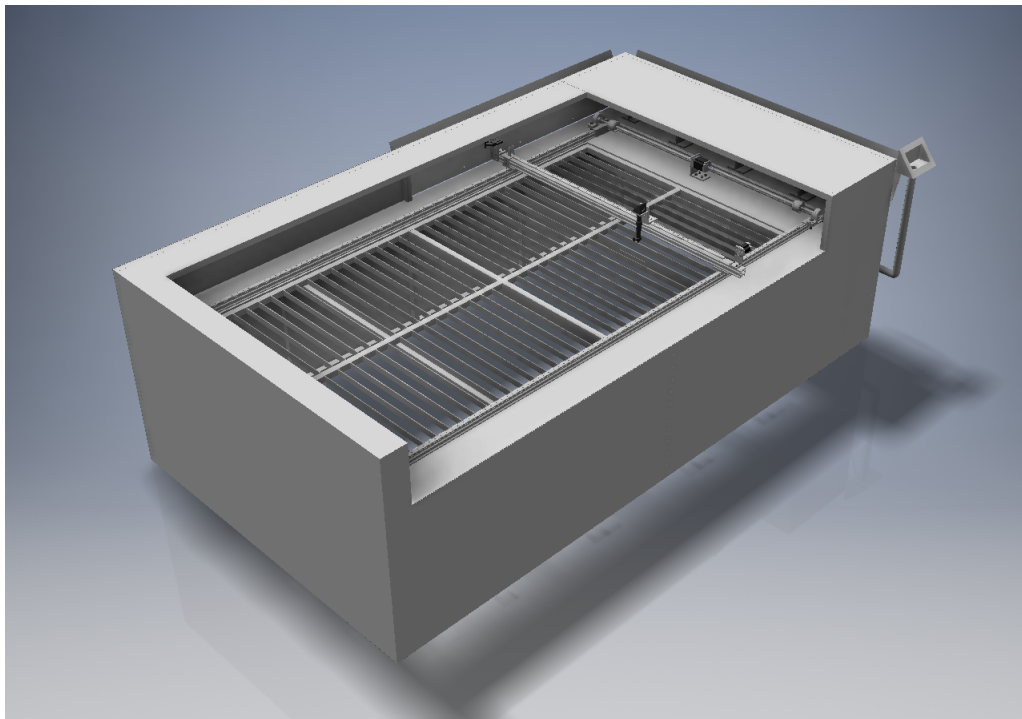


Figura 35: Ensamble de carcasa.

Fuente: Autores

7.2.4. Selección del sistema de control

En cuanto al sistema de control para la máquina de corte y grabado se procedió a seleccionar un controlador adecuado que brinde las mejores prestaciones para los requerimientos establecidos de la máquina, debido a que ya existen tarjetas en el mercado que ofrecen muchas características ya optimizadas para ser utilizadas en aplicaciones de control numérico, como es el corte y grabado láser. Es por esto que se comparo entre 3 opciones de controlador de la marca “RuiDa Technology”.

- **Controlador RuiDa RDC6545GZ**

Este sistema de control opera a 24V, sin embargo soporta hasta 36V pero no es recomendado por el fabricante, es por esto que cuenta con una alta estabilidad de hardware, rechazo de electricidad estática, protección ante corriente inversa. Dispone de una pantalla HMI de 5 in. Este sistema cuenta con una función de control de movimiento de 4 ejes, almacenamiento de archivos de gran capacidad (256MB), interfaz de control de potencia láser de dígitos ajustables de dos canales, controlador USB de mayor compatibilidad, control de E/S multicanal general/especial, este sistema puede comunicarse con la PC por USB2.0 o Ethernet, además el sistema verifica automáticamente el modo de comunicación y soporta aplicativo móvil.

- **Controlador RuiDa RDC644XG**

Sistema de control que opera a 24V con rechazo de electricidad estática, protección de corriente inversa y pantalla HMI de 3.5 in. Este sistema cuenta con una función de control de movimiento de 4 ejes perfecta, y un control de simultaneidad de hasta 2 ejes, almacenamiento de archivos de mediana capacidad (128MB), interfaz de control de potencia láser de dígitos ajustables de dos canales, controlador USB, control de E/S multicanal general/especial, este sistema puede comunicarse con la PC por USB2.0 o Ethernet, y además el sistema verifica automáticamente el modo de comunicación.

- **Controlador RuiDa RDC6585G**

Es un sistema de control que cuenta con una alta estabilidad de hardware, opera a 24V, rechazo de electricidad estática y una pantalla HMI de 5 in. Este sistema cuenta con una función de software más sólida que incluye una función de control de movimiento de 8 ejes perfecta, con una configuración de control de simultaneidad de 2/4/6 ejes. Almacenamiento de archivos de gran capacidad (256MB), interfaz de control de potencia láser de dígitos ajustables de seis canales, controlador USB de mayor compatibilidad, control de E/S multicanal general/especial y, este sistema puede comunicarse con la

PC por USB2.0 o Ethernet, además el sistema verifica automáticamente el modo de comunicación. Cuenta con dos puertos RS232, que pueden comunicarse convenientemente con otros equipos extendidos. Con soporte para aplicación móvil.

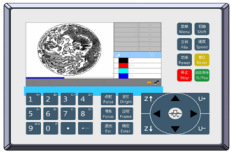
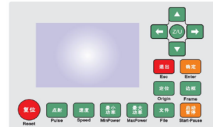

BOCETOS DE UNA MÁQUINA CORTADORA LASER CNC	ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE CONTROL		
	RuiDA RDC6445GZ	RuiDA RDC6442G	RuiDA RDC6585G
Criterios			
Dimensiones HMI	182.2x170 mm	180.2x117 mm	180x140 mm
Capacidad de memoria	4	4	5
Tiempo de trabajo	3	3	4
Tolerancia a fallos	2	4	5
Actualizaciones de software	3	3	4
Prestaciones en la interfaz gráfica	2	2	3
Mantenimiento	3	3	4
Facilidad de configuración	4	4	5
Prestaciones en la comunicación con dispositivos	3	2	4
Velocidad de transmisión de datos	4	3	4
Costo	4	3	5
TOTAL DE PUNTOS	32	31	43
PORCENTAJE ALCANZADO	53.33%	51.67%	71.67%

Figura 36: Tabla de ponderación de sistema de control.

Fuente: Autores

Al igual que en la tabla 18 se realizó una métrica calificando los criterios con una puntuación de 1 a 5. De esta manera con el resultado presentado en tabla 37 se optó por el sistema de control “RuiDA RDC 6585G”, que es el cual ofrece las mejores prestaciones en cuanto al sistema de control para el diseño de máquina propuesto. En la siguiente imagen se puede observar la tarjeta del controlador seleccionado con los diferentes puertos de entrada y salida.



Figura 37: Controlador RuiDa RDC 6585G.

Fuente: Autores

En la figura 38 se muestra la tarjeta madre del controlador seleccionado, la cual esta dispuesta por varios bloques de E/S los cuales tienen una funcionalidad específica, que se describe más adelante. Es importante mencionar que este sistema de control cuenta con 8 ejes de operación, admite hasta 6 láser para trabajo y 6 fuentes de protección de agua. Es importante destacar que una de sus principales características es la seguridad que brinda en uno de sus puertos como es la protección de puerta abierta, así como también los indicadores de límites en el área de trabajo para cada eje.

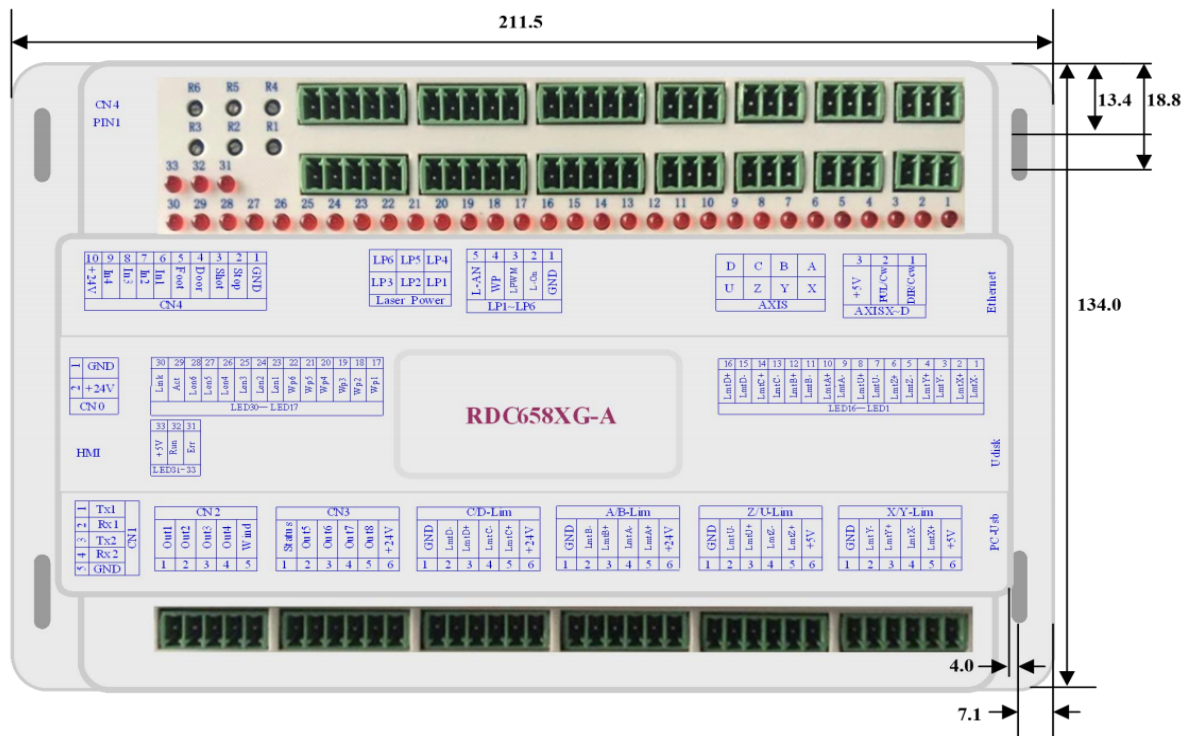


Figura 38: Controlador RuiDa RDC 6585G.

Fuente: Autores

■ Indicadores LED

El sistema de control RDC6585 seleccionado a diferencia de los otros dos modelos comparados, cuenta con 33 luces LED, que sirven de indicadores para los diferentes ejes, sistemas de refrigeración, activación láser, comunicación y el estado de la tarjeta madre. En la tabla 18 que se muestra a continuación se detalla el número led con su respectiva indicación, cabe recalcar que se omiten los leds que tienen el mismo propósito.

Tabla 18: Indicadores Leds.

Número LED	Símbolo	Descripción
LED 1	LmtX-	Indicador de límite negativo X
LED 2	LmtX+	Indicador de límite positivo X
LED 17	Wp1	Primera protección de agua
LED 23	Lon1	Activación láser 1
LED 29	Act	Comunicación Ethernet
LED 30	Link	Conexión Ethernet
LED 31	Err	Indicador de error en el Hardware
LED 32	Run	Indicador de estado de ejecución normal
LED 33	+5V	Fuente de alimentación de 5V

Fuente: Autores

■ Interfaz de alimentación CNO

Este sistema de control necesita una fuente de alimentación única de 24V a 2A. Además, también soporta una fuente de 36V, es decir, que puede ser la misma para el Driver de movimiento de los motores la cual se puede conectar directamente a este puerto de alimentación principal del sistema, pero generalmente el fabricante no sugiere realizar esto a menos que sea la única opción.

Tabla 19: Pines de conexión CNO.

PIN	Símbolo	Descripción
1	GND	Tierra de alimentación de 24V
2	+24V	Cable positivo de 24V
	HMI	Conexión con pantalla HMI
	Udisk	Comunicación USB-AM
	PC-USB	Comunicación USB-BM
	Ethernet	Comunicación Ethernet 10/100 MHZ.

Fuente: Autores

■ Puertos RS232 CN1

En la siguiente tabla se muestra la disposición de los pines en la tarjeta madre para los 2 puertos RS232.

Tabla 20: Pines de conexión CN1.

PIN	Simbolo	Descripción
1	TX1	TX para el primer puerto RS232
2	RX1	RX para el primer puerto RS232
3	TX2	TX para el segundo puerto RS232
4	RX2	RX para el segundo puerto RS232
5	GND	Salida a Tierra

Fuente: Autores

■ Puertos de salida CN2/CN3

Todas las salidas de estos puertos están aisladas a través de un optoacoplador, además cuentan con una intensidad de 500 mA para cada salida de puerta OC, cada una puede conducir directamente al relé de 6V/24V.

Tabla 21: Pines de conexión CN2.

PIN	Simbolo	Descripción
1	Out1	Salida de capa de gráfico
2	Out2	Salida de capa de gráfico
3	Out3	Salida dedicada
4	Out4	Salida dedicada
5	Wind	Salida para control de ventilador

Fuente: Autores**Tabla 22:** Pines de conexión CN3.

PIN	Simbolo	Descripción
1	Status	Estado de funcionamiento
2	Out5	Salida buzzer
3	Out6	Salida luz verde
4	Out7	Salida luz amarilla
5	Out8	Salida luz roja
6	+24V	Salida positiva de 24V

Fuente: Autores

■ Puerto de entrada CN4

Este puerto de la tarjeta madre esta especializado para dar seguridad y protecciones extras al momento de operación de la máquina, como es la protección de puerta abierta, que es muy útil debido a que el diseño de la máquina láser cuenta con una carcasa y puerta principal. Además también se le puede acoplar un pedal que servirá como un botón de Inicio/Pausa de la operación.

Tabla 23: Pines de conexión CN4.

PIN	Simbolo	Descripción
1	GND	Salida a Tierra
2	Stop	Detener el trabajo en ejecución
3	Shot	On/Off Manual del láser
4	Door	Protección de puerta abierta
5	Foot	Interruptor de pedal Inicio/Pausa
6	In1	Entrada reservada
7	In2	Entrada reservada
8	In3	Entrada reservada
9	In4	Entrada reservada
10	+24V	Salida positiva de 24V

Fuente: Autores

■ Puerto para el espaciado de los ejes

La polaridad de espaciado de los ejes es opcional, y sirve para disparar señales que indicarán cuando el eje de movimiento alcanza la posición de espaciado limite negativo o positivo. La configuración errónea de la polaridad del espaciado resultará en que el espaciado no se puede detectar, provocando así la colisión de los ejes. Las definiciones de clavijas de todas las demás entradas de espaciado de ejes, como Z/U-Lim, A/B-Lim y C/D-Lim, son las mismas que X/Y-Lim que se presentan en la tabla 24.

Tabla 24: Pines de conexión para los límites en el espacio de trabajo.

PIN	Símbolo	Descripción
1	GND	Salida a Tierra
2	LmtY-	La distancia entre el eje Y- y Y+ a la coordenada 0
3	LmtY+	La distancia entre el eje Y- y Y+ a la máxima coordenada
4	LmtX-	La distancia entre el eje X- y X+ a la coordenada 0
5	LmtX+	La distancia entre el eje X- y X+ a la máxima coordenada
6	+5V	Salida positiva de 5V

Fuente: Autores

■ Puerto para drivers de los motores

En este puerto se puede configurar la polaridad de la señal direccional para la señal de pulso del driver de los motores.

Tabla 25: Pines de conexión drivers de motores.

PIN	Símbolo	Descripción
1	Dir	Señal de dirección
2	Pul	Señal de pulso
3	+5V	Salida positiva de 5V

Fuente: Autores

■ Puerto para control de potencia láser LP1-LP6

Este sistema de control tiene seis interfaces de control de potencia láser digitales independientes y ajustables. Las señales de las seis interfaces son similares y se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 26: Pines de conexión CN4.

PIN	Símbolo	Descripción
1	GND	Señal de dirección
2	L-On1	Control para habilitar láser
3	LPWM1	Control de potencia láser
4	WP1	Entrada para protección por agua
3	L-An1	Control de potencia láser

Fuente: Autores

7.2.5. Diseño del sistema electrónico

Para seleccionar una fuente de alimentación para el tubo láser CO_2 adecuada, se debe tener en cuenta que la potencia nominal del tubo láser es de 180W y la potencia máxima que puede suministrar es de 200W, por lo que se requiere de una fuente láser óptima. Por lo que se seleccionó una fuente del fabricante “MCWlaser” que es compatible con tubos láser que van desde los 160W - 200W de potencia, y cuenta con las siguientes características.

Tabla 27: Parámetros fuente de alimentación láser.

Input	Voltaje de entrada	90 - 250V AC
	Frecuencia AC	47 - 440 Hz
Output	Voltaje de salida Max	40kV
	Corriente de salida Max	32mA
Tamaño	$L \cdot W \cdot H$	395 · 189 · 111mm
Peso		4.6 kg
Eficiencia		90 %
Velocidad de respuesta		$\leq 1ms$
Rango de voltaje	Nivel alto	$\geq 3V$
	Nivel bajo	$\leq 0,3V$
Temperatura de operación		-10° hasta + 40°C
Garantía		12 meses

Fuente: MCWlaser (2015)



Figura 39: Fuente de alimentación láser.

Fuente: MCWlaser (2015)

Por otra parte los drivers utilizados para controlar a los motores son del mismo fabricante “Applied Motion”, para el motor a pasos NEMA 17 HT17-278 se utilizo el driver de micro pasos STR4, y para el motor a pasos NEMA 23 HT23-601DC-CAA el driver de micro pasos STR8 los cuales cuenta con las siguientes características.

Tabla 28: Características de los drivers STR4 Y STR8.

Parámetro	STR4	STR8
Tipo de amplificador	Puentes H doble de 4 cuadrantes	
Corriente de control	PWM de 4 estados a 20 kHz	
Protección	Sobretensión, subtensión, cortocircuitos	
Modo de operación	Paso y Dirección o CW/CCW	
Resolución de paso	Seleccionable: 200, 400, 2000, 5000, 12800 o 20000	
Corriente de salida	1,12 - 4,5 A/fase	2.35 - 8 A/fase
Alimentación	24-48 VDC / 2A-6A	24-75 VDC 4A-8A
Dimensiones	118.11x75.44x33 mm	
Peso	0.31 kg	

Fuente: MCWlaser (2015)



Figura 40: Diver STR4 y STR8 seleccionados para control de motores.

Fuente: Autores

Por último la fuente de alimentación seleccionada para los drivers de los motores a pasos es de la misma marca “Applied Motion”, la fuente es una fuente conmutada de 24V con código PS150D24, y dispone de las siguientes características.

Tabla 29: Parámetros fuente de alimentación láser.

Parámetro	Valor
Voltaje de entrada	90-268 VAC
Frecuencia	43-63 Hz
Voltaje de salida	24-28 VDC
Corriente nominal	6.5 A/230 VAC - 5.2 A/110 VAC
Potencia nominal	156 W/230 VAC - 125 W/110 VAC
Temperatura de trabajo	-20° a + 60°C
Peso	2.87 kg

Fuente: MCWlaser (2015)



Figura 41: Fuente de conmutada de 24VDC.

Fuente: Autores

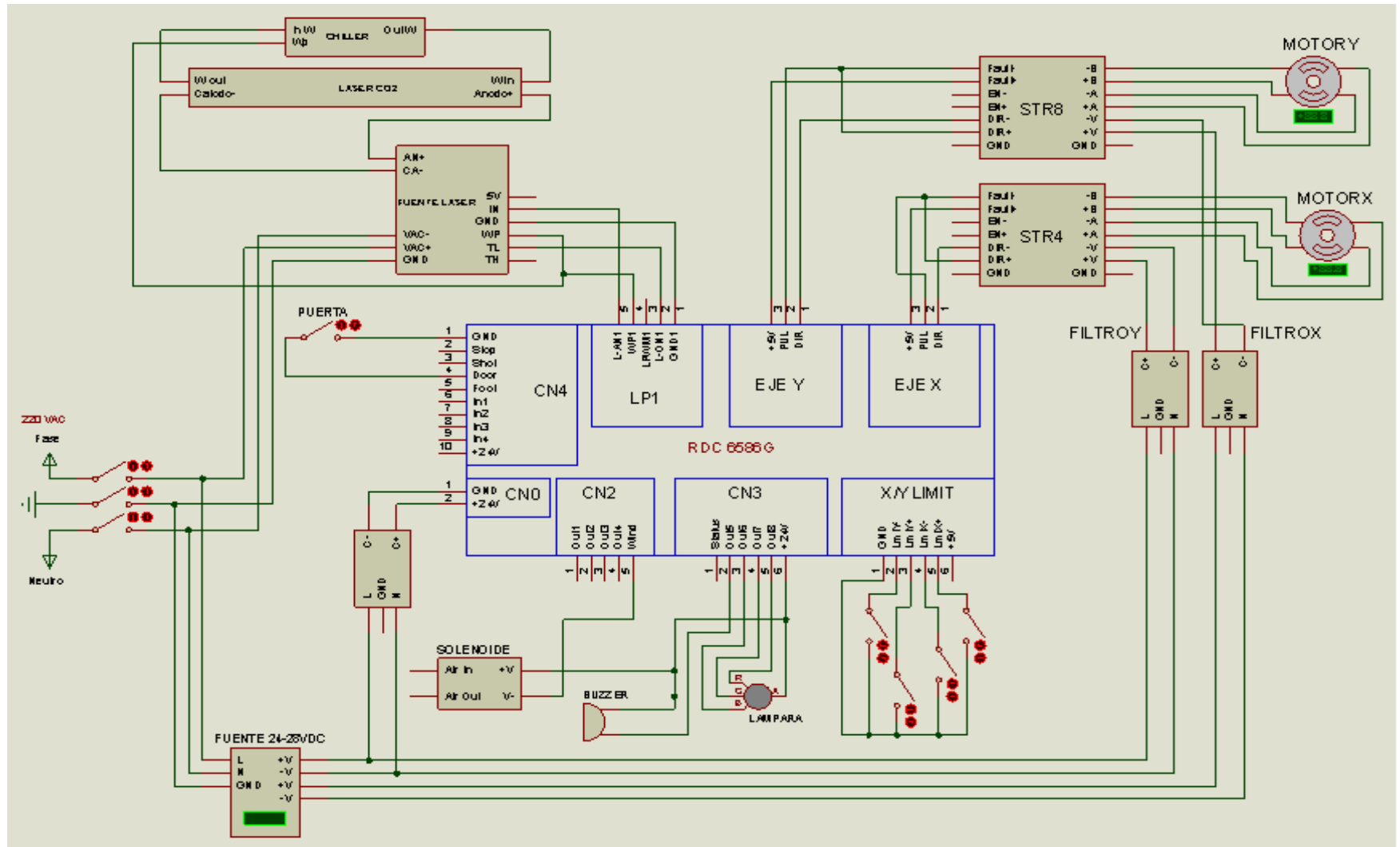


Figura 42: Diagrama de conexiones de los equipos electrónicos.

Fuente: Autores

Como se puede observar en la imagen 42, se tiene el diagrama de conexiones eléctricas, representado únicamente con los puertos que se utilizaran del controlador “RDC 6586G”, En el puerto “LP1” se encuentra la conexión de la fuente de alimentación con el tubo láser CO_2 y el sistema de refrigeración por agua (Chiller).

De los puertos “AXIS X-D” se utiliza los dos primeros pertenecientes al eje X y al eje Y, como se observa en la figura, se representan las conexiones desde la fuente conmutada de 24 VDC, con los respectivos filtros hacia los drivers STR4 y STR8 para el control de los motores.

El puerto “X/Y-lim” se utilizo respectivamente para conectar los fin carrera, y así estos ayuden a establecer el área de trabajo tanto del eje X como del eje Y dentro de la máquina.

Las conexiones realizadas en el puerto “CN3” son utilizadas específicamente para activar la lampara indicadora de 3 colores, así como también el buzzer que sirven para dar señales de operación y estado de la máquina al momento de operar. En el puerto “CN2” se conecta el solenoide utilizado para el suministro de aire que va conectado directamente al cabezal láser de la máquina.

En el puerto “CN4” únicamente se utilizo la salida del pin 1 y 4 que sirven para la protección de puerta abierta, que brinda este controlador, debido a que el diseño de la carcasa cuenta con una puerta para evitar cualquier accidente con operador al momento de operación de la máquina. Y por último se encuentra el puerto “CNO” que es respectivamente dedicado a la alimentación de la tarjeta madre, de igual forma cuenta con su filtro de voltaje conectado a la fuente conmutada de 24VDC. Es importante recalcar que no se muestra la conexión del HMI, ni del PC debido a que no requieren de elementos y/o dispositivos electrónicos externos, únicamente de los cables de comunicación respectivos.

7.2.6. Selección de software para sistema de corte láser

Las máquinas láser requieren archivos de datos para obtener o generar el patrón de trayectorias que seguirá el cabezal para para cortar o grabar. Además se debe tener en cuenta que se necesita un tipo de archivo diferente para la acción de grabado o corte. Para realizar el corte láser se necesita archivos vectoriales que son los encargados de definir la líneas, puntos, curvas y formas para que el cabezal láser las recorra. Por otra parte para realizar un grabado se necesitan archivos de imagen, que por lo general deben ser a blanco y negro o en su defecto

a una escala de grises, ya que los resultados serán mejores.

Existen varios software de acceso gratuito orientados hacia el procesamiento y generación de código para la trayectoria que debe recorrer el cabezal láser. Debido a que se optó por un controlador del fabricante “RuiDa Technology”, este cuenta con un software gratuito compatible con el controlador, diseñado específicamente para corte y grabado láser. Por lo tanto el software seleccionado es “RDWorksV8”, el mismo que se puede ejecutar en Windows XP, Windows 7, Windows 8 / 8.1 y Windows 10. En la siguiente imagen se observa la interfaz del software mencionado.

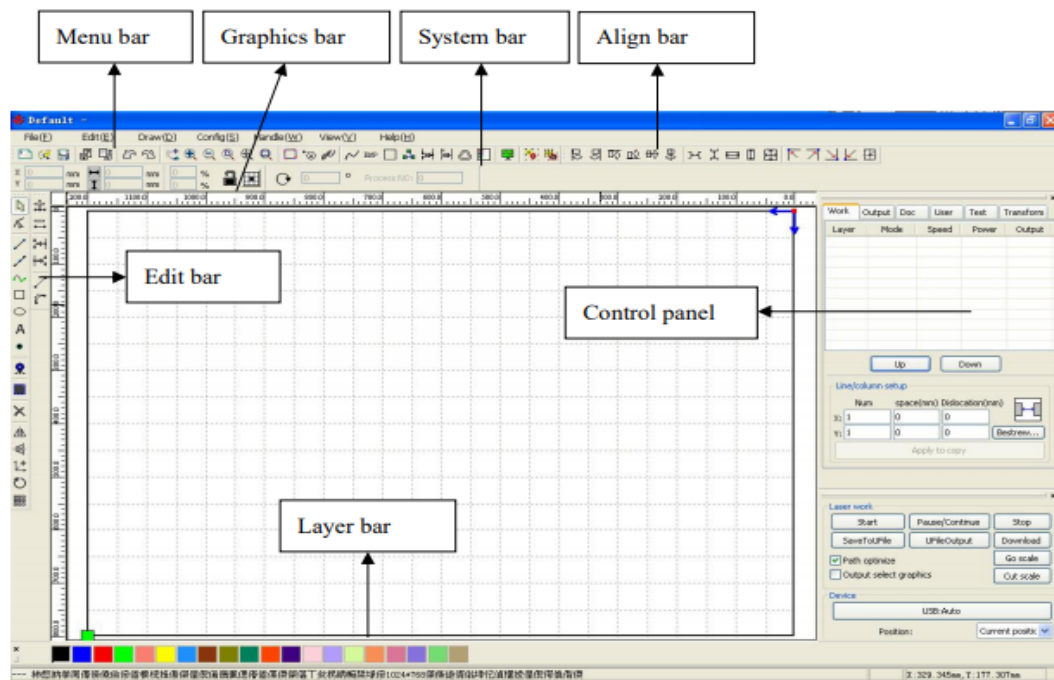


Figura 43: Interfaz principal del software “RDWorksV8”.

Fuente: Autores

El software cuenta con los siguientes formatos de archivos compatibles para el corte y grabado láser:

- Formato vectorial: dxf, ai, plt, dst, dsb, etc.
- Formato de imagen: bmp, jpg, gif, png, mng, etc.

En cuanto a la interfaz principal como se puede observar en la imagen 43 se cuenta con 7 espacios de trabajo que son:

- Barra de menú: las funciones principales del software se implementan a través de la barra de menú. Los comandos ejecutados a través de la barra de menú incluyen algunas de las funciones más básicas, incluyendo Documento, Editar, Dibujar, Configuración, Procesamiento, Ver y Ayuda.
- Barra del sistema: algunos de los botones de comando más utilizados elegidos del menú se colocan en la barra del sistema. Barra de gráficos: se accede a los atributos gráficos básicos como ubicación gráfica, tamaño, escala y procesamiento de números a través de la barra de gráficos.
- Barra de edición: la ubicación predeterminada de la barra de edición está a la izquierda del área de trabajo. Las herramientas que el usuario usa con frecuencia se pueden colocar en la barra de edición para aumentar la facilidad y flexibilidad de operación.
- Barra de alineación: se utiliza para alinear los objetos seleccionados.
- Barra de capa: se usa para cambiar las capas de los objetos seleccionados.
- Panel de control: se utiliza para completar el procesamiento láser de múltiples tareas, incluida la configuración de parámetros de capa, control de ejes, procesamiento, etc.

7.3. Simulación del diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa “S.T.S”

En este apartado, se determinará por medio de software de análisis de elementos finitos, el comportamiento de los elementos críticos que conforman la máquina cortadora láser, para contrastar los cálculos realizados y los esfuerzos a los que serán sometidos. El software utilizado para realizar la simulación es “ANSYS”, que es un software de simulación desarrollado para comprobar y predecir el comportamiento de un sistema o elemento bajo condiciones reales, basado en un análisis computacional y de elementos finitos.

7.3.1. Simulación del sistema mecánico

- **Simulación de la bancada**

Se realizó el respectivo análisis de la parte crítica de la bancada que es donde se soporta la rejilla y la plancha del material a ser cortado.

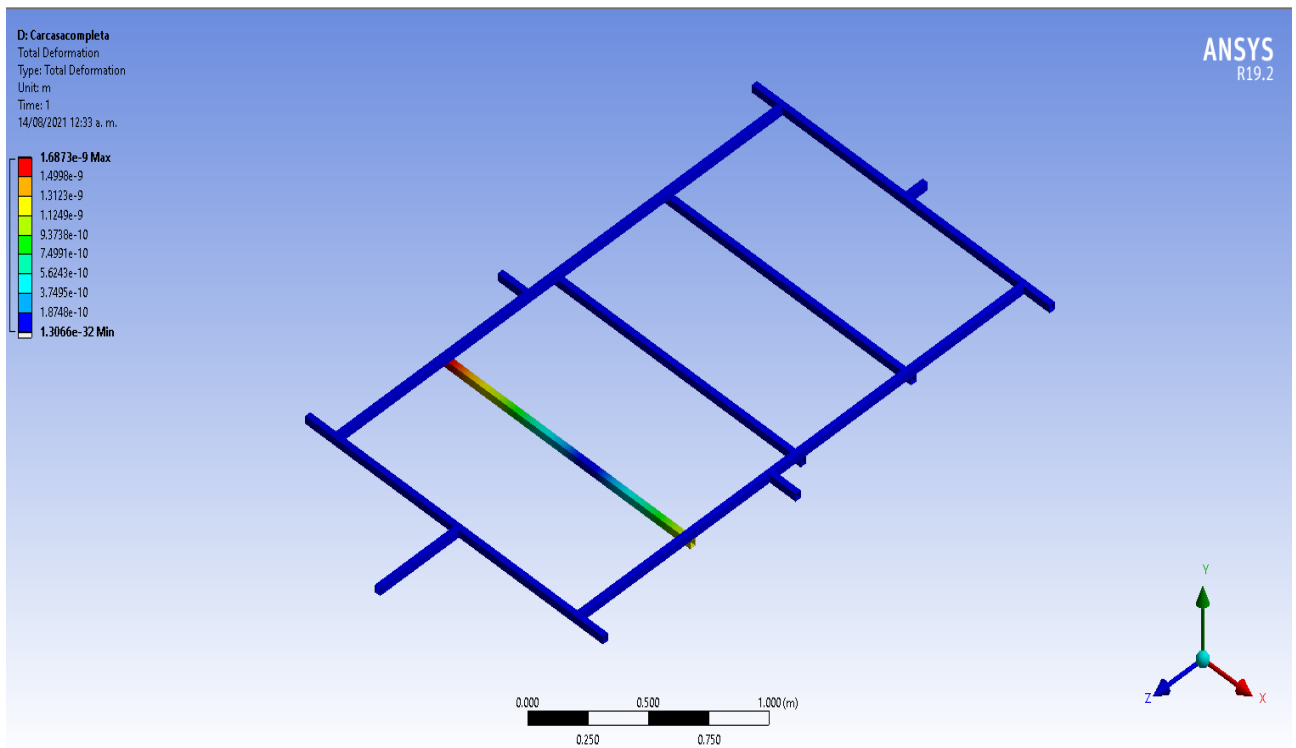


Figura 44: Simulación del esfuerzo equivalente del eje X.

Fuente: Autores

- **Simulación de eje X**

Con respecto al eje de traslación en X, se realizó las respectivas configuraciones del material que se utilizará para el análisis computacional en el software de simulación, que en este caso es Aluminio 6063, posterior a eso se exportó el respectivo diseño del eje de traslación previamente realizado, para configurarlo con sus respectivas cargas y soportes fijos, como se observa en el diagrama de cuerpo libre de la figura 20.

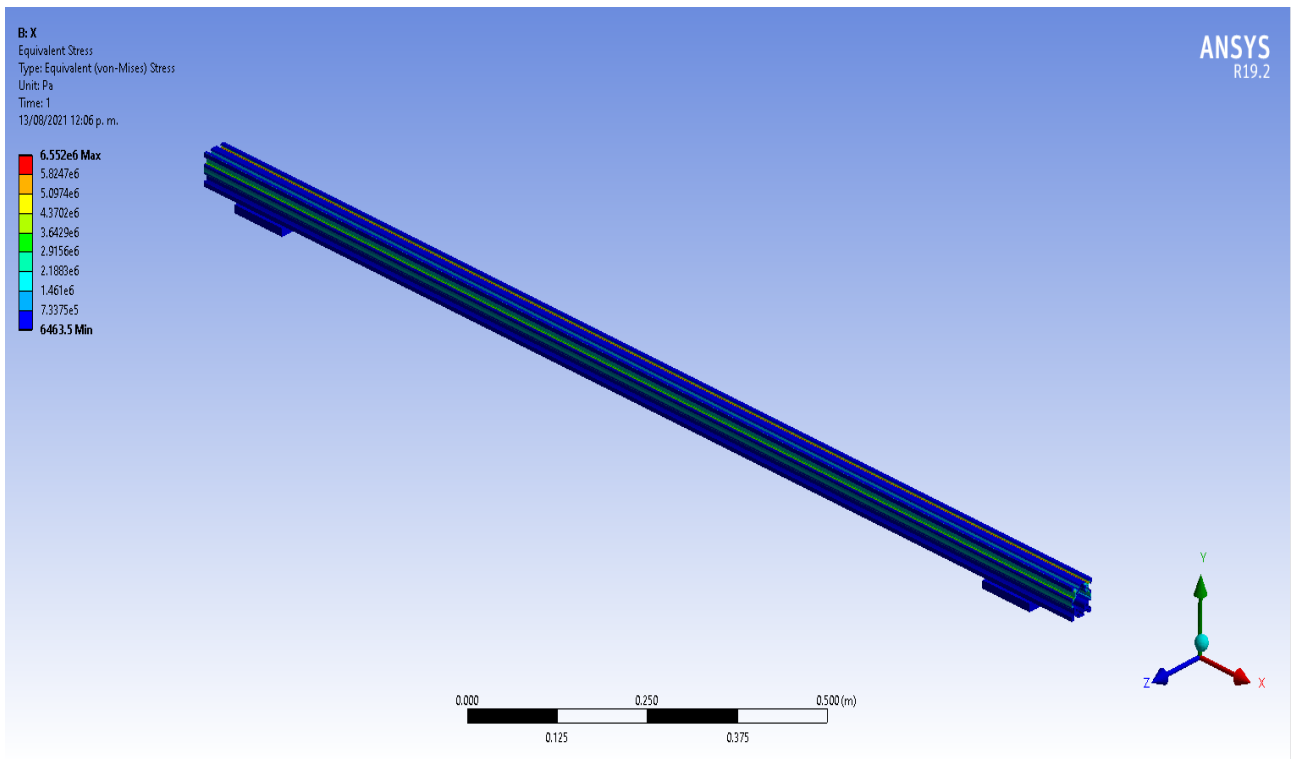


Figura 45: Simulación del esfuerzo equivalente del eje X.

Fuente: Autores

Realizando la respectiva simulación del sistema de traslación correctamente configurado, se logro obtener mediante el software ANSYS un esfuerzo máximo equivalente de 5.98 Mpa, que se puede apreciar en la figura 45. Comparando con el valor calculado del esfuerzo máximo de 6.49 MPa, se afirma que el valor calculado soporta un mayor esfuerzo que el valor de la simulación, esto se puede estar relacionado con la geometría del elemento, debido a que en el análisis estático se considero al eje de traslación como una viga cuadrada, mientras que al momento de realizar la simulación se cargó el diseño con el respectivo perfil de aluminio V slot 4040. Que si lo observamos difiere mucho del diagrama de cuerpo libre.

En la imagen 46 se puede observar la deformación total que va a sufrir el eje de traslación con un valor de 0.0058 mm, que si se lo compara con el valor calculado que es 0.733 mm, existe una mayor deformación en cuento al valor calculado. De igual forma esto se puede deber a la geometría del elemento, y además esa deformación que presenta el eje en la simulación como en el cálculo es demasiado pequeña, por lo cual no afectará en el

rendimiento de la máquina.

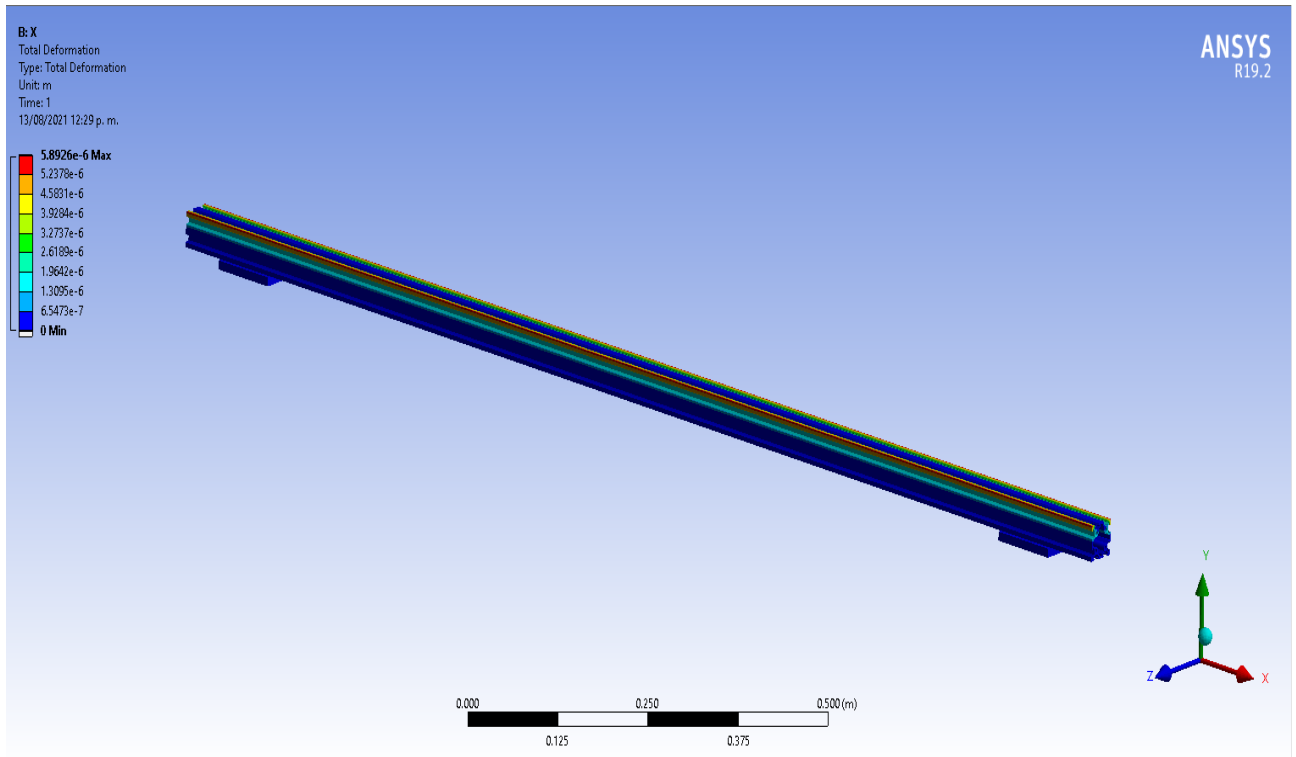


Figura 46: Simulación del esfuerzo equivalente del eje X.

Fuente: Autores

■ Simulación de eje Y

Con respecto al eje de traslación en Y, se realizó de igual manera las respectivas configuraciones del material que se utilizará para el análisis que es Aluminio 6063, posterior a eso se exportó el respectivo diseño del eje de traslación previamente realizado, para configurarlo con sus respectivas cargas y soportes fijos, como se observa en el diagrama de cuerpo libre de la figura 26.

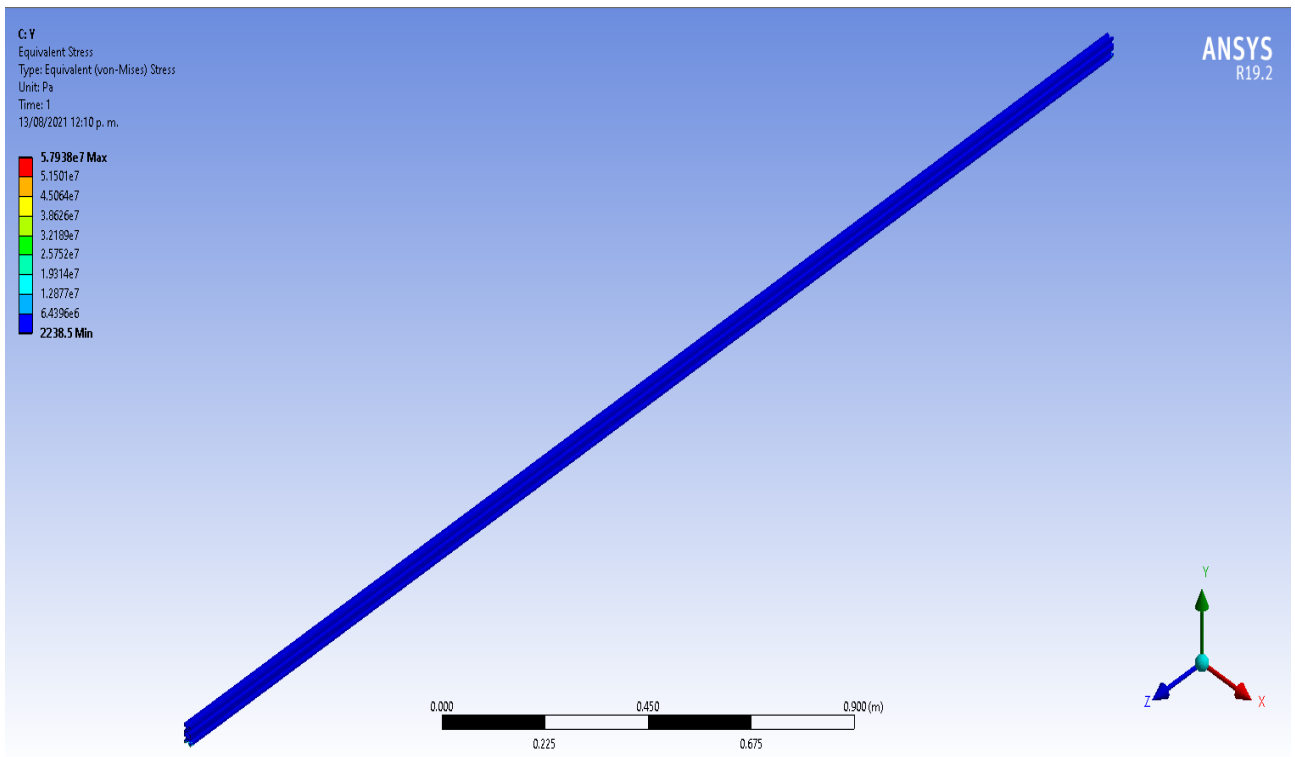


Figura 47: Simulación del esfuerzo equivalente del eje X.

Fuente: Autores

Realizado el análisis en el software de simulación, como se observa en la imagen 47 se obtuvo un esfuerzo máximo equivalente de 5.79 MPa, que comparado con el valor máximo calculado 6.45 MPa, es menor. Esto se puede ocasionar por la geometría de la viga, ya que en la simulación esta cargada la del perfil v slot 2040, que no es la misma que se toma para los cálculos del análisis estático, ya que en este se lo toma como un perfil cuadrado.

Por otra parte en el eje de traslación en Y, la deformación total puede ser despreciable debido a que los ejes van a estar soportados en la bancada.

7.4. Determinación de la factibilidad económica para el diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa “S.T.S”

Para determinar la factibilidad económica del diseño de la máquina láser, es necesario plantear todos los materiales, equipos, diseño y mano de obra, detallando la cantidad, elemento, costo unitario y costo total de los implementaos a ser utilizados en el proyecto. A continuación se planeta las diferentes tablas de costos.

7.4.1. Materiales para construcción

En esta sección se detallará los costos de materiales ha ser utilizados en la construcción de la maquina, los mismos que conforman la estructura de la bancada, sistema de traslación, soporte de espejos reflectores y carcasa como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 30: Costos de materiales para la construcción.

Materiales para la construcción			
Cantidad	Elemento	Costo Unitario	Costo Total
Perfiles			
30	Tubo de acero inoxidable 30x30x2 (6m)	6,30	189,00
3	Perfil Vslot 20x40 (3m)	48,00	144,00
1	Perfil Vslot 40*40 (2m)	64,00	64,00
3	Perfil de aluminio cuadrado 30 x30x2	4,35	13,05
5	Juego de rieles RX9WMM	78,00	390,00
Elementos de sujecion			
75	Perno allen M3 x 8	0,07	5,25
4	Perno allen M3 x 10	0,13	0,52
8	Perno allen cabeza plana M3x12	0,16	1,28
4	Perno allen M3 x 14	0,16	0,64
21	Pernos Allen M5x8	0,13	2,73
23	Pernos Allen M5x10	0,14	3,22
4	Pernos Allen M5x12	0,15	0,60
4	Pernos Allen M5x14	0,15	0,60
10	Pernos Allen M5x16	0,15	1,50
25	Pernos Allen M5x20	0,16	4,00
12	Pernos Allen M5x25	0,17	2,04
8	Pernos Allen M5x30	0,18	1,44
4	Perno allen M8x50	0,65	2,60
4	Pernos allen M12x45	0,75	3,00
126	Arandela lisa M5	0,02	2,52
4	Arandelas lisa M8	0,04	0,16
8	Arandelas lisa M12	0,12	0,96
32	Tuerca M5	0,06	1,92
4	Tuerca M8	0,24	0,96
4	Tuercas M12	0,60	2,40
75	Tuerca en T Vslot M3	0,11	8,25
35	Tuerca en T Vslot M5	0,13	4,55
20	Soporte angular para esquina 20x20	1,19	23,80
6	Bisagras	1,00	6,00
Planchas			
4	Plancha de tol Galvanizado 2mm (120cm x 240cm)	22,00	88,00
1	Plancha de aluminio liso 4mm (120cm x 240cm)	120,00	120,00
1	Plancha de acero de 3 mm(120cm x 240cm)	70,00	70,00
1	Plancha de platina 10 mm (50cmx50cm)	55,00	55,00
Varilla redonda lisa			
1	Barra redonda de acero 12 mm (200mm)	12,00	12,00
Suelda			
3,4	Kilo de suelda 7018	6,27	21,32
		TOTAL	1247,31

Fuente: Autores

En base a los resultados obtenidos en la suma total de los materiales para la construcción de la maquina, se puede evidenciar que tendrá un costo aproximado a \$ 1247.31 dólares.

7.4.2. Equipos

En esta sección se detalla todos los equipos a ser implementados en la máquina diseñada, conjuntamente con su costo como se observa en la **Tabla 31**

Tabla 31: Costo de equipos a utilizar.

Equipo			
Cantidad	Elemento	Costo Unitario	Costo Total
1	Controlador Ruida	360,00	360,00
1	Tubo láser 180 W	199,00	199,00
1	Fuente de poder para láser de 180 W	311,20	311,20
1	Cabezal Láser	29,05	29,05
2	Porta espejo reflector (25mm)	22,00	44,00
3	Espejos reflectantes láser	27,00	81,00
1	Motor Nema 23 HT23-601DC-CAA	154,00	154,00
1	Motor Nema 17 HT17-27	44,00	44,00
1	Driver Nema 23 (STR8 6A)	115,23	115,23
1	Driver nema 17 (STR4 4A)	108,00	108,00
2	Cadena de transmisión de cables (m)	9,68	19,36
1	Chiller CW-5300 HB	290,00	290,00
4	Sensores Fin carrera (CMV103D)	2,60	10,40
1	Fuente de alimentación 220V-36V	55,00	55,00
1	Fuente de alimentación 220V-24V	39,00	39,00
35	Cable AWG 18 (m)	0,35	12,25
35	Cable AWG 24 (m)	0,20	7,00
10	Cable concéntrico para 220V (m)	3,89	38,90
4	Interruptores 2 posiciones	1,00	4,00
1	Disyuntor 220V 32A	58,00	58,00
1	Contactador Siemens	28,00	28,00
2	Filtros para fuente de alimentación monofásica FT127-10	18,00	36,00
15	Manguera de silicona 8x11 (m)	0.70	10.50
		TOTAL	2053,89

Fuente: Autores

7.4.3. Mano de obra

En esta sección se detalla los costos de diseño y mano de obra de la máquina diseñada, conjuntamente con su costo como se observa en la **Tabla 32**.

Tabla 32: Costo de diseño y mano de obra.

Costo de diseño y mano de obra			
Cantidad	Elemento	Costo unitario	Costo Total
400	Trabajo de diseño (Ingenieros)	9,37	3748,00
80	Mano de obra (Mecánico)	3,00	240,00
200	Construcción del sistema eléctrico y electrónico	9,37	1874,00
TOTAL			5862,00

Fuente: Autores

7.4.4. Rentabilidad

En este apartado, para determinar el costo de rentabilidad, se analizó la oferta existente por medio de fabricantes en la ciudad de Cuenca, dándonos como resultado que no existe una empresa en si, enfocada a la construcción de este tipo de máquinas, es por esta razón que se determino un factor de utilidad de 50 %, obteniendo un valor final por la construcción de la máquina de \$10933.8, como se muestra en la **Tabla 33**.

Tabla 33: Utilidad de costos.

Costo final de la máquina cortadora láser.	
Elemento	Costo
Materiales	1247,31
Equipos ha utilizar	2053,89
Diseño y mano de obra	5862,00
Subtotal	9163,2
Factor de utilidad (%50)	4581.6
TOTAL	13744,8

Fuente: Autores

8. Análisis de resultados.

8.1. Análisis de resultados de parámetros iniciales considerados para el diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos.

Respecto a los datos analizados como parámetros iniciales, se puede determinar que se seleccionó los elementos más adecuados para la construcción de la máquina cortadora láser, en este caso para el controlador, se determino el dispositivo RuiDA 6568G, el cual, por su capacidad operativa es el indicado para una máquina de estas dimensiones, además, se planteo una bancada con una estructura fuerte, con el fin de proporcionar estabilidad ante cualquier factor externo, utilizando como material principal acero inoxidable 304, además, se pretende reducir el peso total del equipo, es por esta razón, que para los diferentes sistemas como: Sistema de traslación, sistema de espejos reflejantes y carcasa, se utiliza materiales ligeros como el aluminio y tol galvanizado, las parámetros principales considerados para el diseño se puede observar en la **Tabla 34**.

Tabla 34: Análisis de resultados de parámetros iniciales.

PARÁMETROS INICIALES	
Elemento	Material de construcción
Controlador	
RuiDA RDC 6585G	_____
Bancada	
Tubo rectangular 30x30x2 mm	Acero inoxidable 304
Electrodo 308	C, Mn, Si, P, S, Cr, Ni, Mo
Sistema de traslación	
Perfil V-slot 20x40 mm	Aluminio 6063-T5
Perfil V-slot 40x40 mm	Aluminio 6063-T5
Riel RX9WNM	Acero inoxidable
Motor Nema 17	_____
Motor Nema 23	_____
Sistema de espejos reflectantes y láser CO2	
Porta espejos	Aluminio
Espejos reflectantes	Cristal con cubierta infrarroja
Tubo láser CO2 (180W)	Cubierta de cristal
Carcasa y sistemas adicionales	
Plancha de Tol 1200x2400x2 mm	Acero inoxidable
Chiller S&A (1,8 KW)	_____

Fuente: Autores

8.2. Análisis de resultado de la propuesta del diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos.

Con respecto al análisis de resultado de la propuesta de diseño, se determino mediante la matriz de ponderación las diferentes alternativas de diseño para la máquina cortadora láser, en este caso, el tercer diseño resulto ser el más conveniente por presentar cualidades como: factor ergonómico, facilidad de ensamblaje, mantenimiento, alimentación de materia prima, facilidad de operación y seguridad su operación, como parámetros mejores puntuados.

Una vez determinado el diseño preliminar, en base a parámetros ergonómicos se procedió a determinar las dimensiones estructurales de la máquina, las cuales, favorecen en manipulación hombre-máquina, las dimensiones finales se encuentran representada en la **Tabla 35**.

Tabla 35: Análisis de la propuesta de diseño.

ANÁLISIS DE LA PROPUESTA DE DISEÑO			
Elemento	Largo	Ancho	Alto
Bancada			
Dimensiones totales	3260	1800	1060
Mesa de corte	3260	1800	760
Sistema de traslación			
Dimensiones totales	2829	1440	170
Soporte de panel de control			
Dimensiones totales	395	183	879

Fuente: Autores

8.3. Análisis de resultados de la simulación del diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos

8.4. Análisis de resultados de la factibilidad económica para la construcción de una maquina láser de corte y grabado de materiales no metálicos

De acuerdo con la determinación de factibilidad económica para el diseño propuesto de la máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos, está tiene un precio final de \$10934, el cual se lo comparó con otros modelos de máquinas cortadoras láser disponibles en el

mercado; como es CAMFive que oscila entre los \$3500 a \$7000 con espacios de trabajo que no cubren las necesidades de la empresa S.T.S; además se debe tomar en cuenta que la máquina láser con el diseño propuesto tiene un amplio espacio de trabajo (1440x2829mm) y todos sus materiales para la construcción van a ser exportados por lo cual el precio final aumenta, por otra parte se debe tomar en cuenta que la máquina al ser diseñada y construida dentro del país el servicio técnico, mantenimiento y garantía del equipo van a estar respaldados de manera oportuna y con un equipo de trabajo especializado.

Tabla 36: Características del diseño propuesto.

Especificaciones	Descripción
Área de trabajo	1440x2829 [mm]
Potencia tubo láser	180 [W]
Refrigeración	Chiller por agua
Protección punta láser	Protección por aire
Control	Ruida
Velocidad de corte	0.05 [m/s]
Máximo espesor de corte	8 [mm]
Voltaje de funcionamiento	220 [VAC]
Precio final	10934 [\$]

Fuente: Autores

9. Conclusiones.

9.1. Conclusión 1: Parámetros iniciales considerados para el diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos.

Como consecuencia de lo expuesto en el proyecto del diseño de una máquina cortadora láser, se consideró necesario establecer los parámetros iniciales, los cuales, representan una parte fundamental para el desarrollo inicial de la máquina, es por esta razón, que se determinaron equipos necesarios y acordes al trabajo que desempeñará la máquina, considerando el escenario más crítico al que estará sometida, es decir, el corte de acrílico, en base a este escenario, se realizó el cálculo respectivo, determinando la potencia necesaria del láser para llevar a cabo esta actividad, además, las dimensiones de la mesa de corte, fueron un papel importante para el diseño de la bancada, sistema de traslación y controlador, pues, se seleccionaron materiales y el control adecuado para cubrir con el objetivo de recorrer la dimensión propuesta para el diseño.

9.2. Conclusión 2: Propuesta del diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos.

Posterior a la determinación de los parámetros iniciales, se plantearon tres bocetos con diferentes características, en los cuales, se incluyeron criterios de selección que determinaron la factibilidad de implementación del diseño, con lo que se puede concluir que el diseño seleccionado cumplirá con los requerimientos propuestos, además de presentar criterios que abordarán la facilidad de: ensamblaje, mantenimiento, alimentación de materia prima y operatividad, basándose en criterios ergonómicos con la finalidad de brindar confort y seguridad al operario.

9.3. Conclusión 3: Simulación del diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa “S.T.S.”

Tras haber realizado el análisis en el software de simulación “ANSYS”, se logró contrastar los cálculos realizados del análisis de los ejes de traslación con los resultados de la simulación bajo condiciones reales y con los perfiles del material correspondientes. Es necesario resaltar

que existe una pequeña variación en los resultados finales entre lo calculado y lo simulado, y esto se puede haber ocasionado debido a la geometría que tienen los perfiles de los ejes de traslación, ya que los perfiles diseñados se los exporto al software de simulación y se los configuro con el respectivo material que en este caso es aluminio 6063.

9.4. Conclusión 4: Determinación de la factibilidad económica para el diseño de una máquina láser para corte y grabado de materiales no metálicos en la empresa “S.T.S”

Luego de realizar el respectivo análisis de la factibilidad económica representada para la máquina cortadora láser, se puede concluir que el precio final de \$10934.00, es acorde a las prestaciones de la máquina, además, en comparación con el precio de las diferentes máquinas ofertadas en el mercado, la máquina diseñada se encuentra en un precio inferior, lo cual, representa un ahorro significativo para la empresa y siendo factible su construcción.

10. Recomendaciones.

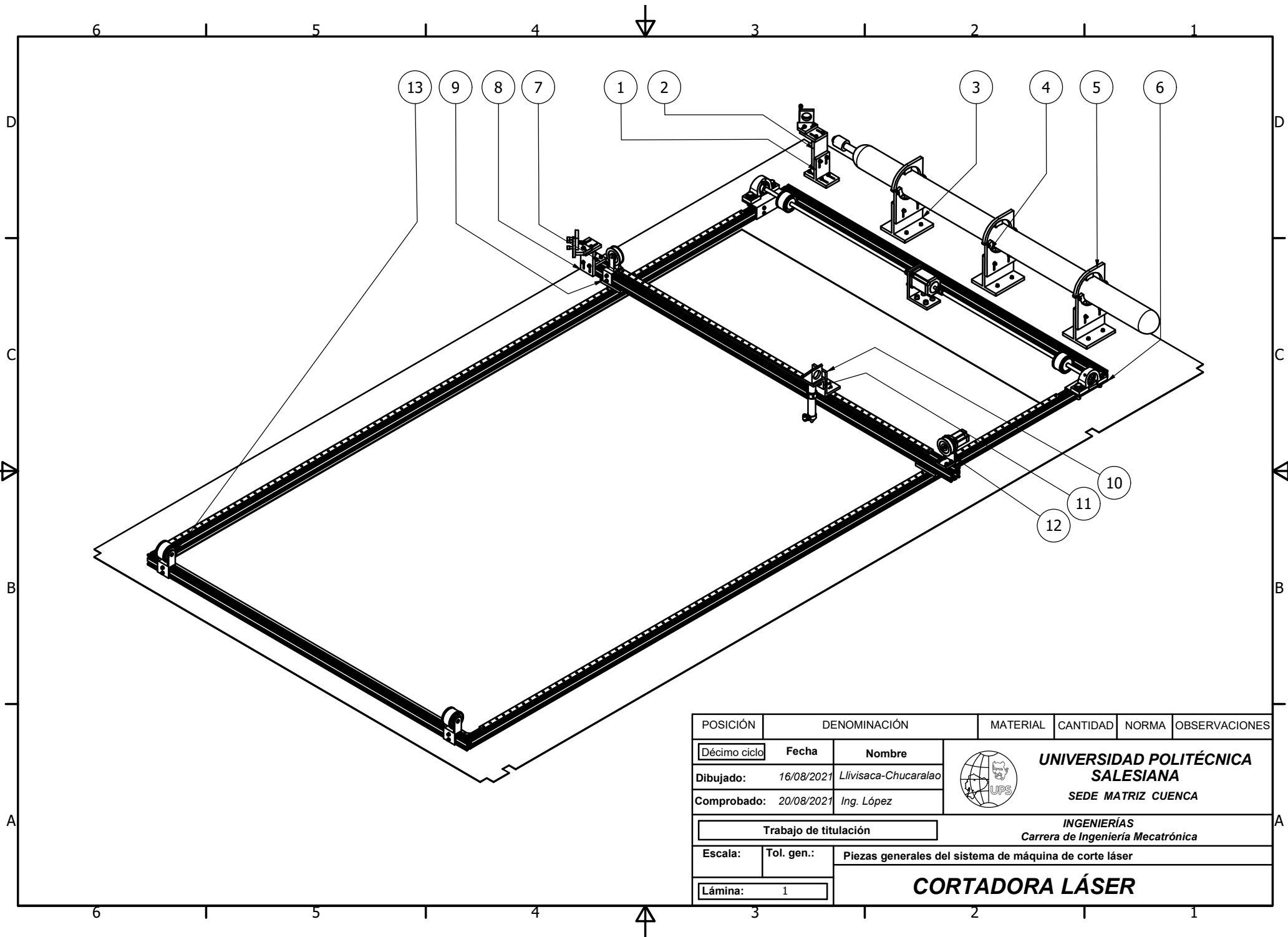
De acuerdo con los parámetros iniciales sería muy oportuno tomar en cuenta medidas estándar de máquinas cortadoras láser con respecto al área de trabajo, para poder realizar una mejor comparación de acuerdo a los precios finales de las máquinas y así poder establecer mejoramientos o un plus técnico en el diseño actual de este proyecto técnico. Debido a que no se cuenta en el mercado con máquinas de este calibre que solo se basen en corte láser CO_2 , por otra parte sería interesante mejorar el diseño propuesto para que pueda cortar y grabar en otros materiales como por ejemplo metal. Y de esta manera se puede realizar una comparación de precios mucho mas efectiva, debido a que en máquinas por corte de fibra se dispone con areas de trabajo similares al diseño propuesto.

Referencias

- Aceros, I. (2021). *Tubo rectangular estructural*. Import Aceros.
- Cimech (2021). *Perfil aluminio Vslot*. Cimech.
- Dynamo (2015). *Sensores Industriales*. Dynamo Electronics.
- Flores, W. A. V. (2010). Fabricación de accesorios de acero inoxidable austenítico para unión fuerte en tubería 1/2".
- Forza (2020). *Ficha técnica máquina láser FORZA 6*. Maquinas EC.
- Giancoli, D. C., Sears, F. W., Zemansky, M. W., y Hugh D. Young, R. A. F. (2010). *Física II*. Pearson Educación, México, primera edición.
- Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de Manufactura Moderna*. McGraw Hill (pp.887-905), tercera edición.
- Machinery, C. S. (2013). *Motor NEMA23*. Electronics New Technic Institute.
- MCWlaser (2015). W series co2 power supply.
- Melo, J. L. (2009). *Ergonomía Práctica*. Fundación MAPFRE, Argentina, primera edición.
- Nisbett, R. G. B. . J. K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. McGraw Hill, novena edición.
- Nise, N. S. (2011). *Control Systems Engineering*. John Wiley Sons, Inc., sixth edición.
- Ortiz, R. N. P. (2017). Diseño y construcción de una cortadora láser para papel con interfaz gráfica.
- Otto, D. y Gabriel, S. (2009). Evaluación del comportamiento a torsión de la aleación aa6063 tratada térmicamente.
- Park, C. (2009). *Fundamentos de Ingeniería Económica*. Pearson Educación, México, segunda edición.
- Pérez, C. R. R. (2017). Trabajo técnico diseño y fabricación de máquina de grabado y corte láser cnc.

- SA (2018). *Enfriadores De Co2 Laser*. Guangzhou Teyu Electromechanical Co.
- Schmid, S. K. . S. R. (2008). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. Pearson Educación, México, quinta edición.
- SPT (2021). *200W CO2 LÁSER TUBO*. SPT LASER TECHNOLOGY CO.,LTD.
- Steen, W. M. (2010). *Laser Material Processing*. Springer-Verlag London, fourth edición.
- Tarupia, M. W. y Lepageb, D. Y. (2020). Referencias de peso, estatura e índice de masa en ciudadanos ecuatorianos. *Arch Argent Pediatr*.
- THK, C. (2021). *RSX miniature LM guide*. THK, Ltd.

ANEXOS



POSICIÓN	DENOMINACIÓN		MATERIAL	CANTIDAD	NORMA	OBSERVACIONES
Décimo ciclo	Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica		
Dibujado:	16/08/2021	Llvisaca-Chucaralao				
Comprobado:	20/08/2021	Ing. López				
Trabajo de titulación						
Escala:	Tol. gen.:	Piezas generales del sistema de máquina de corte láser				
Lámina:	1	CORTADORA LÁSER				

13	Tensor polea eje Y	PLA	2		
12	Soporte motor eje X	Aluminio	1		
11	Soporte cabezal láser #2	Aluminio	1		
10	Soporte cabezal láser #1	Aluminio	1		
9	Soporte polea eje X	PLA	1		
8	Sopote espejo reflectante lateral #2	Aluminio	1		
7	Sopote espejo reflectante lateral #1	Aluminio	1		
6	Soporte chumacera	Aluminio	2		
5	Sujetador tubo láser	Aluminio	3		
4	Soporte intermedio tubo láser	Aluminio	3		
3	Soporte inferior tubo láser	Aluminio	3		
2	Soporte de espejo reflectante #2	Aluminio	1		
1	Soporte de espejo reflectante #1	Aluminio	1		
POSICIÓN	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	NORMA	OBSERVACIONES

Décimo ciclo	Fecha	Nombre
Dibujado:	16/08/2021	Llivosaca-Chucaralao
Comprobado:	20/08/2021	Ing. López



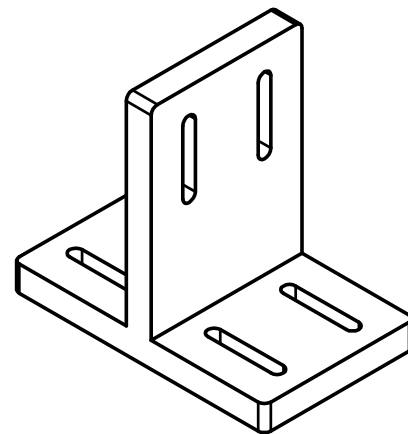
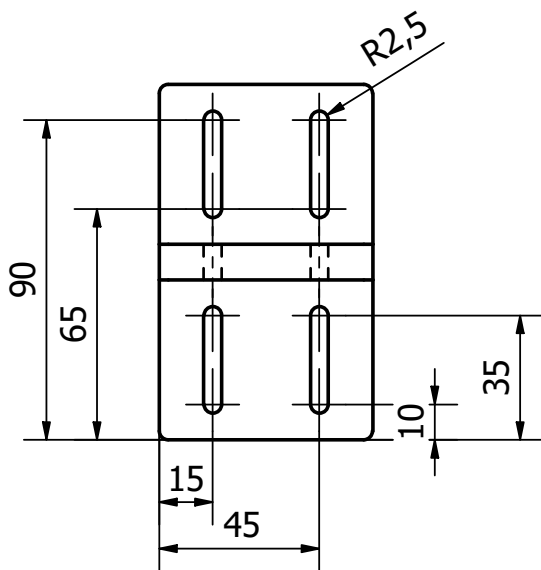
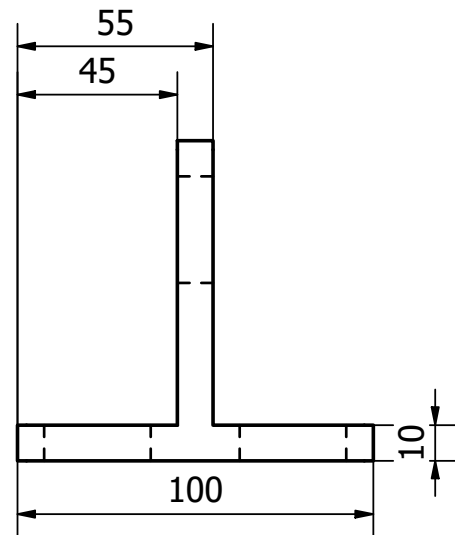
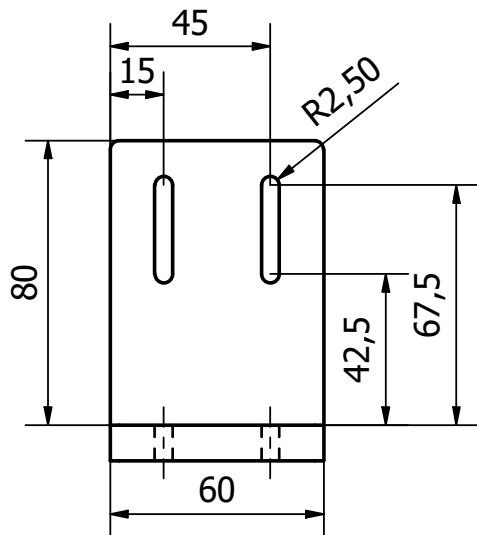
**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA**
SEDE MATRIZ CUENCA

Trabajo de titulación

INGENIERÍAS
Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Escala:	Tol. gen.:	Listado general de piezas del sistema de máquina de corte láser
Lámina:	1	

CORTADORA LÁSER



1	Soporte de espejo reflectante #1	Aluminio	1		
POSICIÓN	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	NORMA	OBSERVACIONES

Décimo ciclo	Fecha	Nombre
Dibujado:	16/08/2021	Livisaca-Chucaralao
Comprobado:	20/08/2021	Ing. López



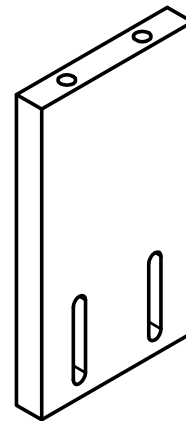
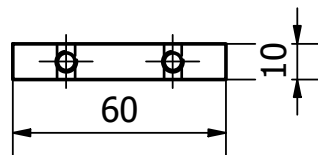
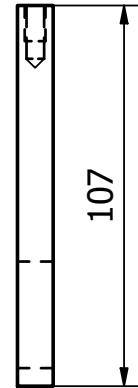
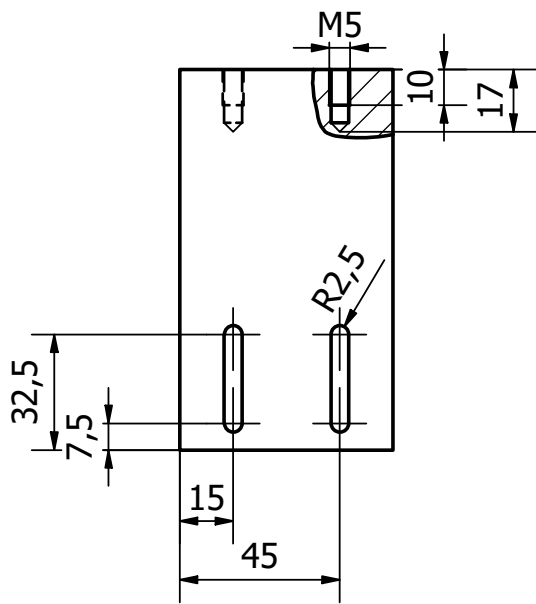
**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA**

SEDE MATRIZ CUENCA

Trabajo de titulación

INGENIERÍAS
Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Escala: 1:2	Tol. gen.: ISO	Soporte de espejo reflectante #1
Lámina: 2	CORTADORA LÁSER	



2	Soporte de espejo reflectante #2	Aluminio	1		
POSICIÓN	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	NORMA	OBSERVACIONES

Décimo ciclo	Fecha	Nombre
Dibujado:	16/08/2021	Llvisaca-Chucaralao
Comprobado:	20/08/2021	Ing. López



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA**

SEDE MATRIZ CUENCA

INGENIERÍAS
Carrera de Ingeniería Mecatrónica

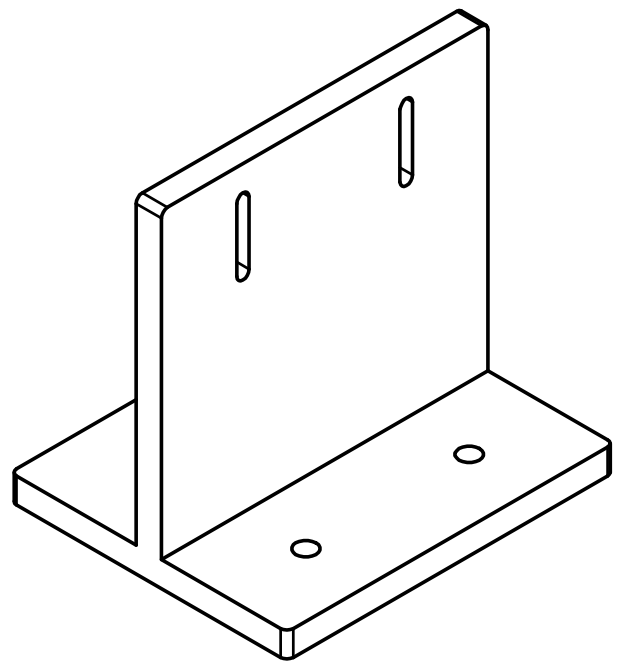
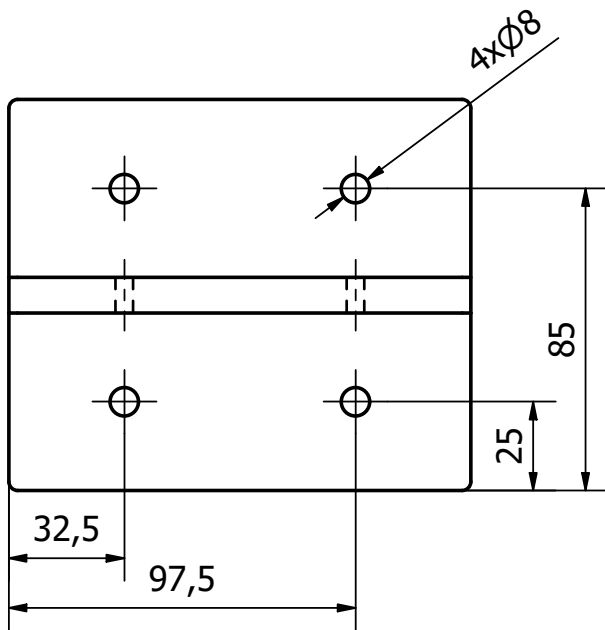
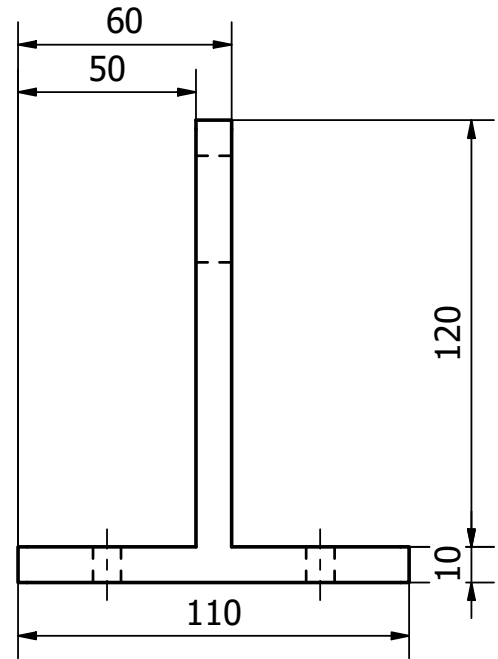
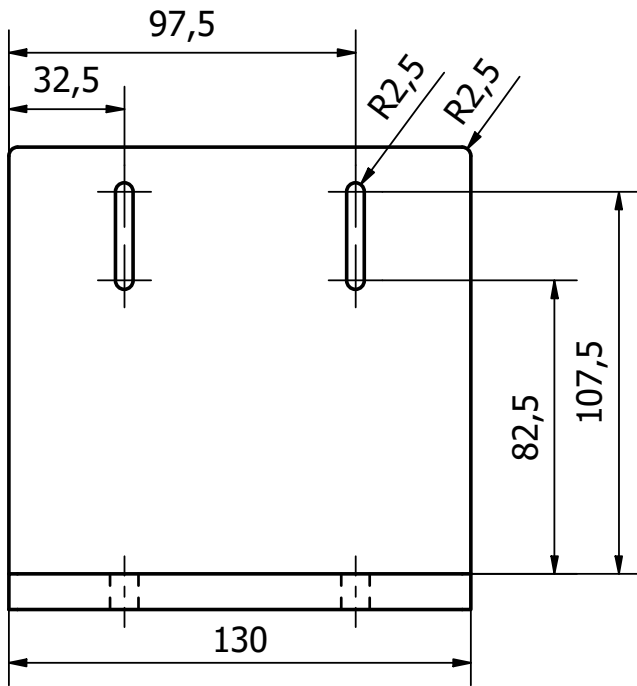
Trabajo de titulación

Escala: 1:2	Tol. gen.: ISO
----------------	-------------------

Soporte de espejo reflectante #2

Lámina:	3
---------	---

CORTADORA LÁSER



3	Soporte inferior de tubo láser	Aluminio	3		
POSICIÓN	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	NORMA	OBSERVACIONES

Décimo ciclo	Fecha	Nombre
Dibujado:	16/08/2021	Llivosaca-Chucaralao
Comprobado:	20/08/2021	Ing. López



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA**

SEDE MATRIZ CUENCA

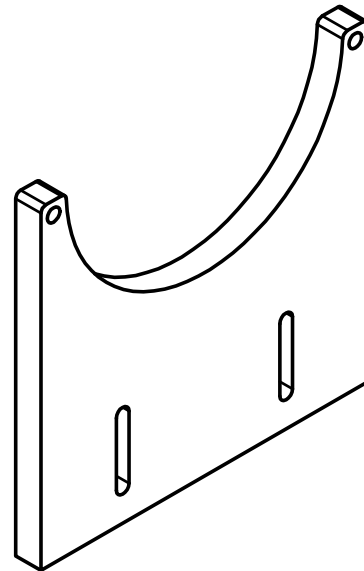
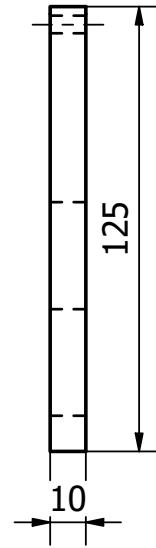
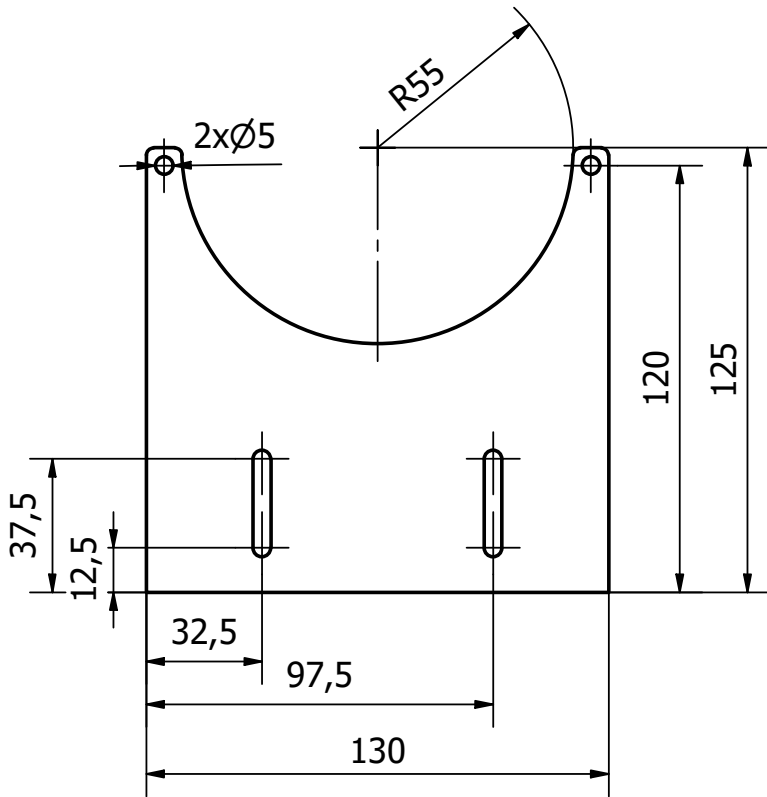
Trabajo de titulación

INGENIERÍAS
Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Escala: 1:2	Tol. gen.: ISO	Soporte inferior de tubo láser
----------------	-------------------	--------------------------------

Lámina:	4
---------	---

CORTADORA LÁSER



4	Soporte intermedio de tubo láser	Aluminio	3		
POSICIÓN	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	NORMA	OBSERVACIONES

Décimo ciclo	Fecha	Nombre
Dibujado:	16/08/2021	Llvisaca-Chucaralao
Comprobado:	20/08/2021	Ing. López



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA**

SEDE MATRIZ CUENCA

Trabajo de titulación

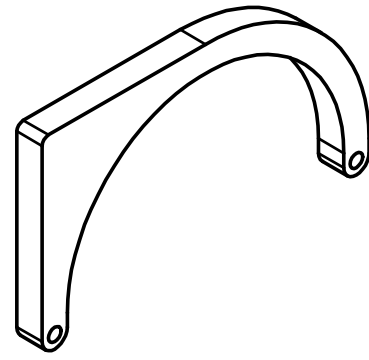
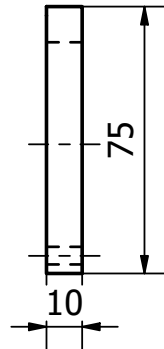
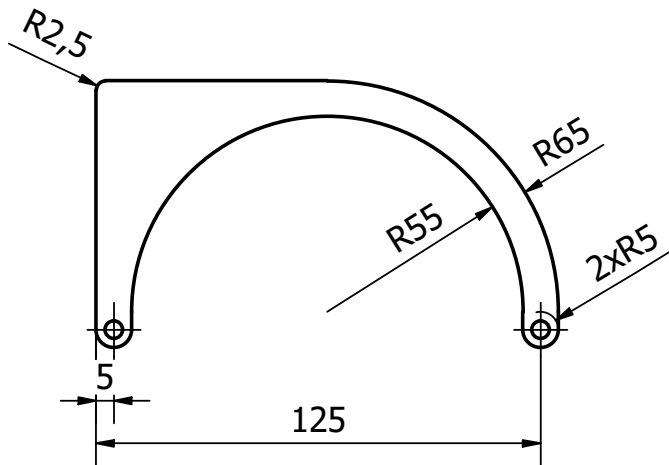
INGENIERÍAS
Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Escala: 1:2
Tol. gen.: ISO

Soporte intermedio de tubo láser

Lámina: 5

CORTADORA LÁSER



5	Sujetador de tubo láser	Aluminio	3		
POSICIÓN	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	NORMA	OBSERVACIONES

Décimo ciclo	Fecha	Nombre
Dibujado:	16/08/2021	Llvisaca-Chucaralao
Comprobado:	20/08/2021	Ing. López

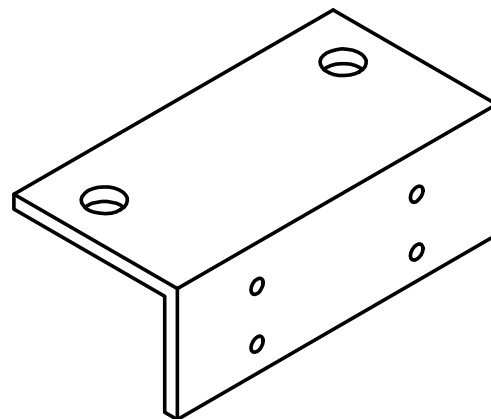
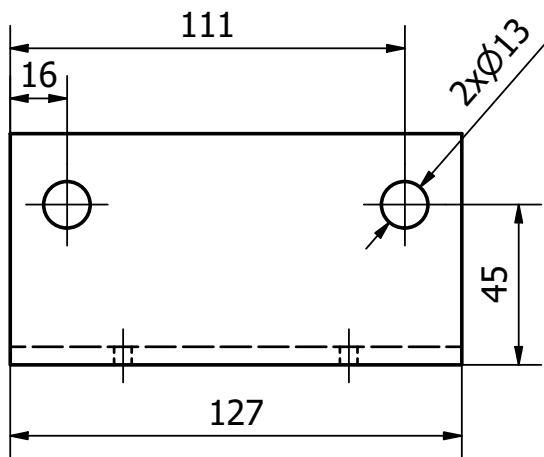
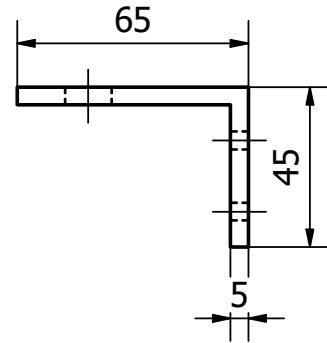
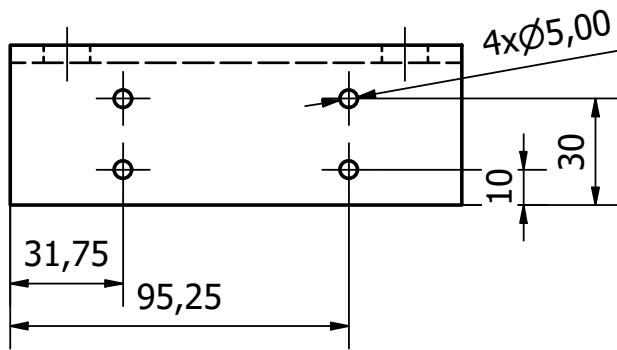


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE MATRIZ CUENCA

Trabajo de titulación INGENIERÍAS
Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Escala: 1:2 Tol. gen.: ISO Sujetador de tubo láser

Lámina: 6 **CORTADORA LÁSER**



6	Soporte chumacera	Aluminio	2		
POSICIÓN	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	NORMA	OBSERVACIONES

Décimo ciclo	Fecha	Nombre
Dibujado:	16/08/2021	Llvisaca-Chucaralao
Comprobado:	20/08/2021	Ing. López



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE MATRIZ CUENCA

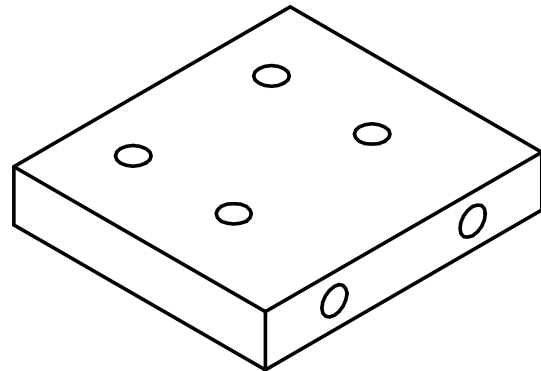
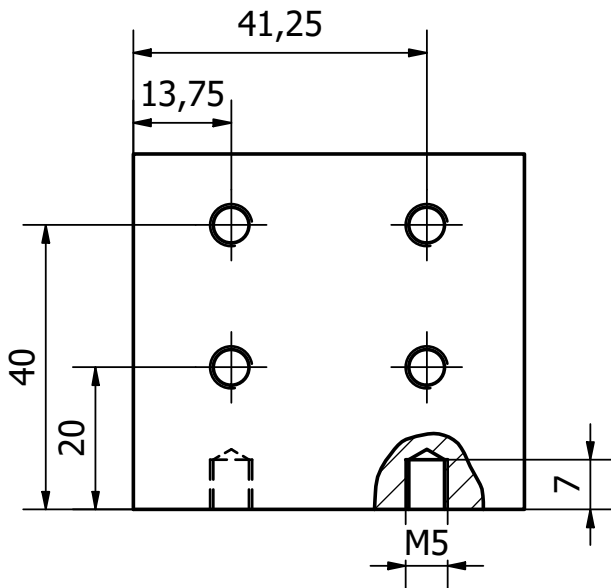
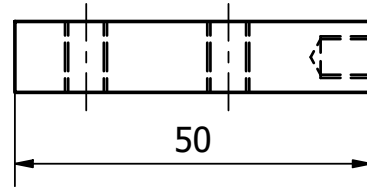
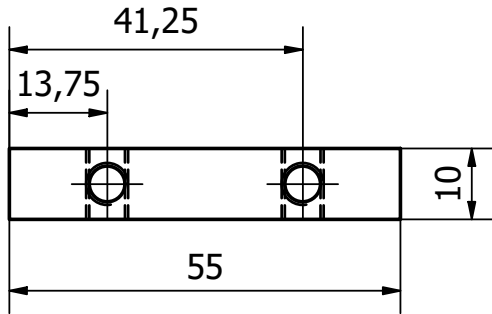
Trabajo de titulación

INGENIERÍAS
Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Escala:	Tol. gen.:	Soporte chumacera
1:2	ISO	

Lámina:	7
---------	---

CORTADORA LÁSER



7	Soporte espejo reflectate lateral #1	Aluminio	1		
POSICIÓN	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	NORMA	OBSERVACIONES

Décimo ciclo	Fecha	Nombre
Dibujado:	16/08/2021	Llvisaca-Chucaralao
Comprobado:	20/08/2021	Ing. López



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA**

SEDE MATRIZ CUENCA

Trabajo de titulación

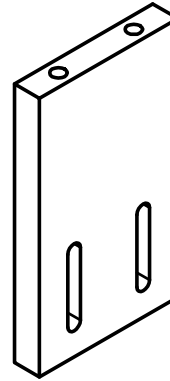
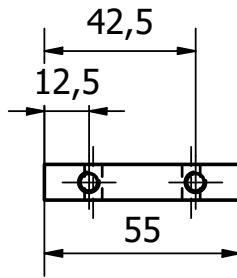
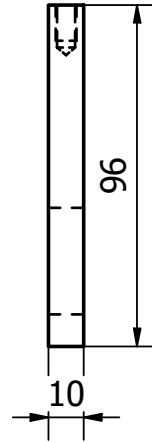
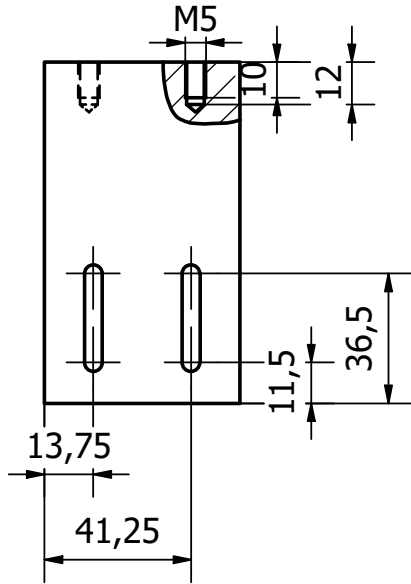
INGENIERÍAS
Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Escala: 1:2
Tol. gen.: ISO

Soporte espejo reflectate lateral #1

Lámina: 8

CORTADORA LÁSER



8	Soporte espejo reflectate lateral #2	Aluminio	1		
POSICIÓN	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	NORMA	OBSERVACIONES

Décimo ciclo	Fecha	Nombre
Dibujado:	16/08/2021	Llvisaca-Chucaralao
Comprobado:	20/08/2021	Ing. López



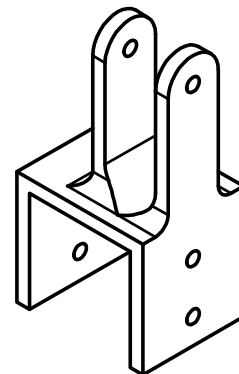
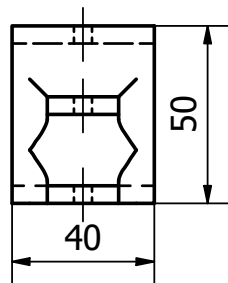
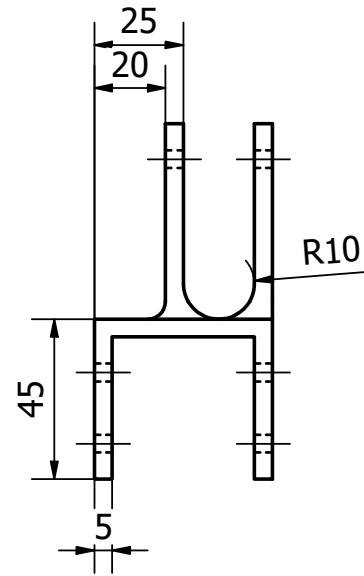
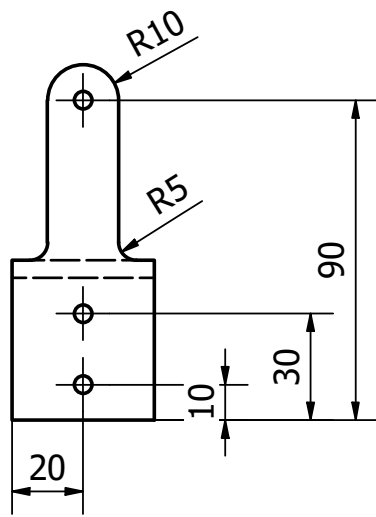
**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA**

SEDE MATRIZ CUENCA

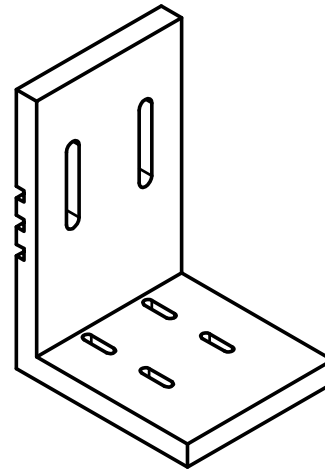
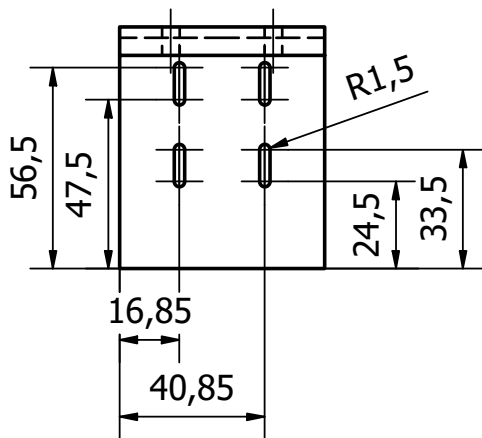
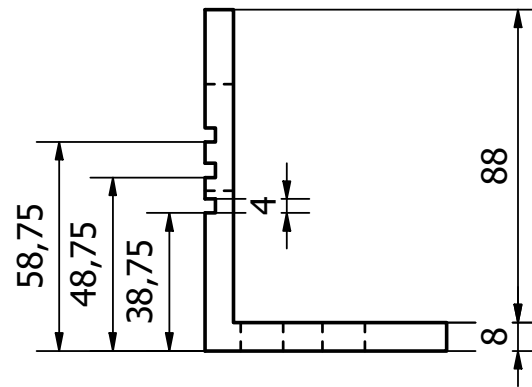
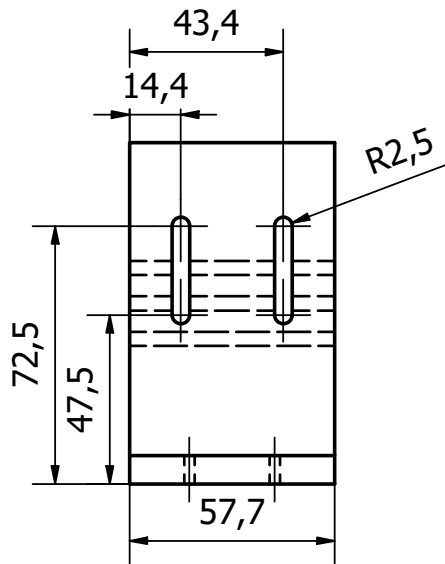
Trabajo de titulación

INGENIERÍAS
Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Escala: 1:2	Tol. gen.: ISO	Soporte espejo reflectate lateral #2
Lámina: 9	CORTADORA LÁSER	



9	Soporte polea eje X	PLA	1		
POSICIÓN	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	NORMA	OBSERVACIONES
Décimo ciclo	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica		
Dibujado:	16/08/2021	Llvisaca-Chucaralao			
Comprobado:	20/08/2021	Ing. López			
Trabajo de titulación					
Escala:	Tol. gen.:	Soporte polea eje X			
1:2	ISO	CORTADORA LÁSER			
Lámina:	10				



10	Soporte del cabezal láser #1	Aluminio	1		
POSICIÓN	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	NORMA	OBSERVACIONES

Décimo ciclo	Fecha	Nombre
Dibujado:	16/08/2021	Llvisaca-Chucaralao
Comprobado:	20/08/2021	Ing. López



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA**

SEDE MATRIZ CUENCA

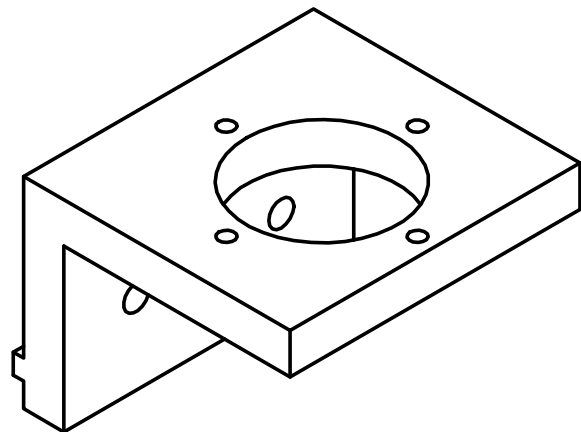
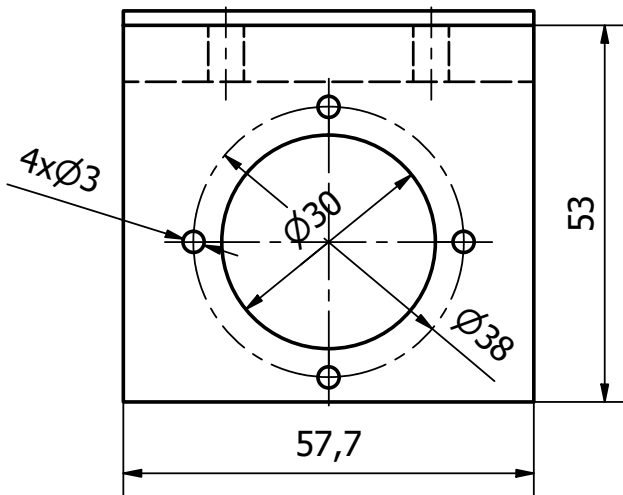
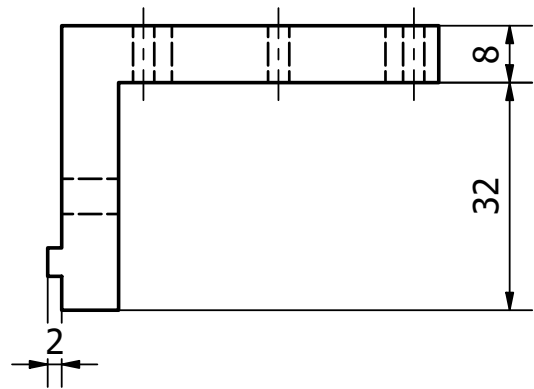
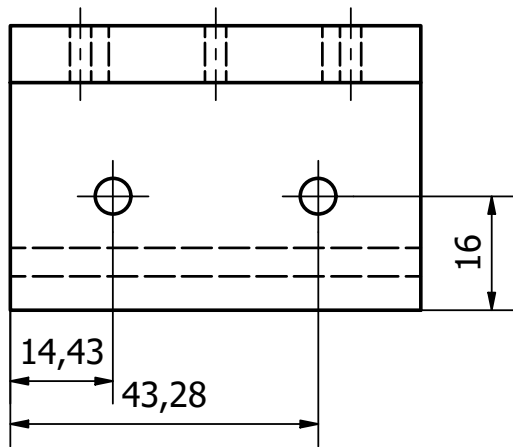
Trabajo de titulación

INGENIERÍAS
Carrera de Ingeniería Mecatrónica

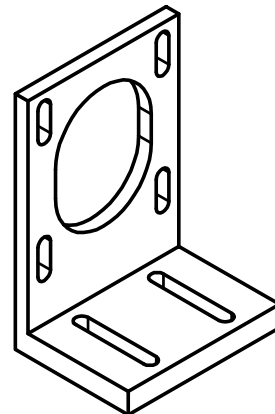
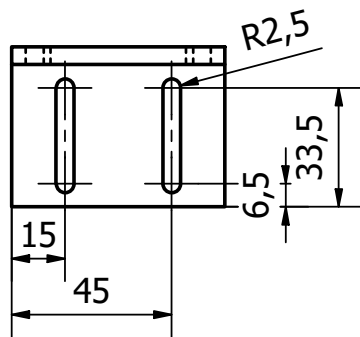
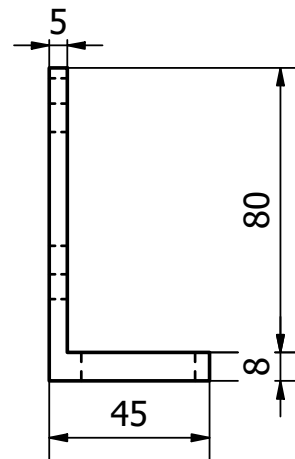
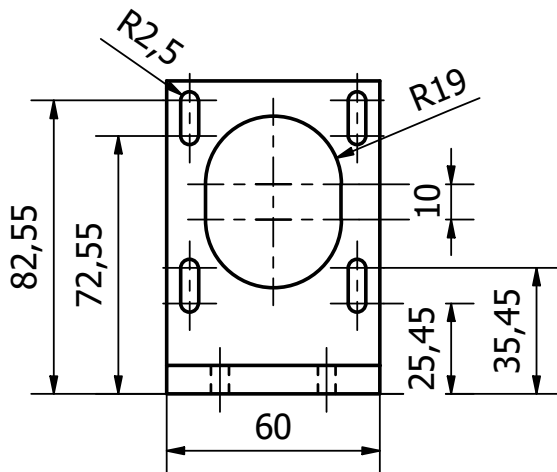
Escala: 1:2	Tol. gen.: ISO	Soporte del cabezal láser #1
----------------	-------------------	------------------------------

Lámina:	11
---------	----

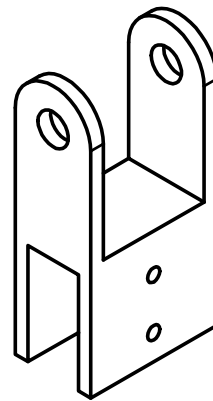
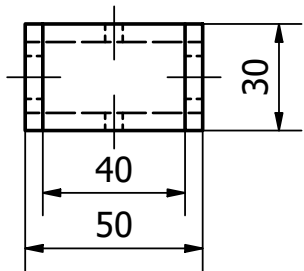
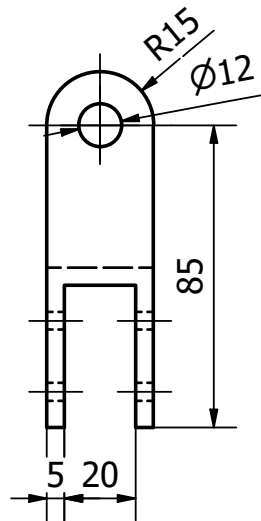
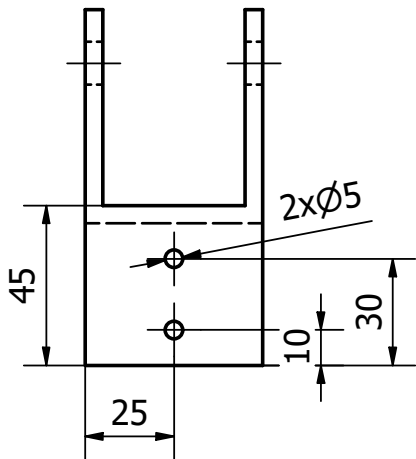
CORTADORA LÁSER




11	Soporte del cabezal láser #2	Aluminio	1		
POSICIÓN	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	NORMA	OBSERVACIONES
Décimo ciclo	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica		
Dibujado:	16/08/2021	Llvisaca-Chucaralao			
Comprobado:	20/08/2021	Ing. López			
Trabajo de titulación					
Escala:	Tol. gen.:	Soporte del cabezal láser #2			
1:2	ISO	CORTADORA LÁSER			
Lámina:	12				



12	Soporte motor eje X	Aluminio	1		
POSICIÓN	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	NORMA	OBSERVACIONES
Décimo ciclo	Fecha	Nombre	<p>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA</p> <p>INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica</p>		
Dibujado:	16/08/2021	Llvisaca-Chucaralao			
Comprobado:	20/08/2021	Ing. López			
Trabajo de titulación					
Escala:	Tol. gen.:	Soporte motor eje X			
1:2	ISO				
Lámina:	13	CORTADORA LÁSER			



13	Tensor polea eje Y	PLA	2		
POSICIÓN	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	NORMA	OBSERVACIONES
Décimo ciclo	Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica		
Dibujado:	16/08/2021	Llivosaca-Chucaralao			
Comprobado:	20/08/2021	Ing. López			
Trabajo de titulación					
Escala:	Tol. gen.:	Tensor polea eje Y			
1:2	ISO	CORTADORA LÁSER			
Lámina:	14				