

Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Electrónica
Área Académica de Mecatrónica



Diseño de una mesa cortadora de precisión corte por plasma, para la empresa Fabricación Industrial Comercial MAMS



Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de
Ingeniero en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura

Luis Fernando Valerio Guerrero

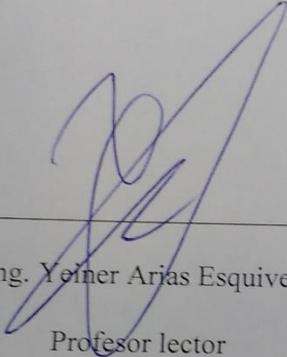
201017242

Noviembre 2015

TECNOLOGICO DE COSTA RICA
ÁREA ACADEMICA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
TRIBUNAL EVALUADOR

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

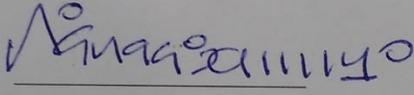
Miembros del Tribunal



Ing. Yeiner Arias Esquivel
Profesor lector



Ing. Carlos Salazar Garcia
Profesor lector



Ing. Ignacio del Valle Granados
Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por el Área Académica de Mecatrónica.

Cartago, Noviembre 2015.

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios. En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas. En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Luis Fernando Valerio Guerrero

Cédula: 1-1507-0726

RESUMEN

El presente documento describe el desarrollo del diseño de una máquina cortadora de precisión corte por plasma en la empresa Ficmams. Este proyecto surge debido a los costos de los procesos utilizados actualmente en la manufactura de equipos, y posee como principal objetivo elaborar planos y listas de componentes necesarios para la construcción de la máquina.

El proyecto se dividió en dos áreas: el diseño mecánico y el diseño eléctrico o de control. Donde el diseño mecánico es la más extensa, se analizó sistemas existentes, se planteó soluciones y se diseñó las piezas mecánicas a manufacturar en el taller de la empresa. Además de la selección de componentes estándar para la posterior requeridos en la implementación de la máquina. En el diseño eléctrico o de control se propusieron dispositivos encargados del control y lógica de la cortadora de plasma. Ambas secciones del proyecto se desarrollaron tomándose en cuenta las limitaciones encontradas en la empresa Ficmams y los requerimientos propuestos.

Palabras clave: Plasma, diseño mecánico, sistemas CNC, CAD, Solidworks, Stepper motor, Driver mecanismos de movimiento, esfuerzo y resistencia de los materiales.

ABSTRACT

The present document describes the design development of a precision plasma cutting machine in the Ficmams workshop. This project arises from the costs of the current process used in the manufacturing of equipment, its main objective is to produce the bill of materials and drawings needed for the construction of the machine.

The project was divided in two main areas: the mechanical design and the electric or control design. In the former, solutions were proposed and the necessary mechanical parts were design, also, standard components for the implementation of the machine were selected. In the latter, the plasma cutting logic and control devices were proposed. Both parts of the project were developed taking into consideration the limitations found at Ficmams and the proposed requirements.

Palabras clave: Plasma, mechanical design, CNC system, CAD, Solidworks, Stepper motor, Driver, movement mechanisms, strain and strength of materials.

Hoja de aprobación empresa Ficmams.

Área de Ingeniería Mecatrónica
Escuela de Ingeniería Electrónica
Escuela de Ingeniería Electromecánica

Cartago, 02 de junio de 2015

Ingeniero
Marco Monge Sanabria
Gerente
Fabricación Industrial Comercial MAMS

Estimado señor:

El joven Luis Fernando Valerio Guerrero cédula de identidad 115070726, carné 201017242 es estudiante del programa de Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica, y actualmente cuenta con los requisitos para matricular el curso Proyecto Final de Graduación en el Segundo Semestre del año 2015 (del 20 de julio al 06 de noviembre del 2015).

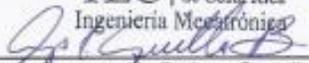
El Sr. Valerio Guerrero se ha interesado en realizar un proyecto en la empresa que usted representa y debe elaborar un anteproyecto sobre el posible trabajo a ejecutar. Esto implica un estudio completo del problema a resolver, sus antecedentes, definición de objetivos y la selección de la solución más adecuada, con la finalidad de recibir un visto bueno por parte del cuerpo de profesores de nuestra Área.

El nivel del proyecto debe ser tal que le permita al estudiante enfrentar una experiencia significativa de diseño en ingeniería, aplicando para ello conocimientos, tecnologías y técnicas adecuadas de ingeniería, matemáticas, ciencias básicas y otras áreas conexas asociadas al tema. Deberá así mismo, enmarcarse dentro de las normas y estándares internacionales vigentes en esa área específica de aplicación.

Le agradecemos de antemano toda la colaboración que pueda brindarle al Sr. Valerio Guerrero y quedamos en la mejor disposición para atender cualquier consulta al respecto.

Atentamente,

TEC | Tecnológico
de Costa Rica
Ingeniería Mecatrónica


Ing. Arys Carrasquilla Batista, Coordinadora
Área Académica de Ingeniería Mecatrónica
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Teléfono: 2550-9184
Correo electrónico acarrasquilla@itcr.ac.cr

Dedicatoria

It's been a long day without you, my friend
And I'll tell you all about when I see you again
We've come a long way from where we began
Oh, I'll tell you all about it when I see you again

Dedicado a Jeison Arguedas Vásquez

Agradecimientos

A mi amor, mi familia y amigos.

A mi tutor Ignacio y personas de la empresa Ficmams por la guía y apoyo durante el desarrollo de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

1	Introducción	1
1.1	Contexto del proyecto	1
1.2	Descripción de la empresa	2
1.3	Trabajos similares	2
1.4	Definición del problema	2
1.4.1	Generalidades	2
1.4.2	Síntesis del problema	3
1.5	Enfoque de la solución	3
2	Objetivos del proyecto	4
2.1	Objetivo general	4
2.2	Objetivos específicos	4
2.3	Alcances y entregables del proyecto	4
2.3.1	Diseño mecánico	4
2.3.2	Diseño eléctrico	4
3	Marco Teórico	5
3.1	Diseño en ingeniería	5
3.2	Diseño Mecánico	5
3.3	Fases e interacciones del proceso de diseño	5
3.3.1	Identificación de una necesidad	5
3.3.2	Definición del problema	5
3.3.3	Síntesis	5
3.3.4	Análisis y optimización	5
3.3.5	Evaluación	5
3.3.6	Presentación	5
3.4	Consideraciones de diseño	5
3.5	Herramienta y recurso de diseño	5
3.5.1	Solidworks	5
3.6	Aspectos económicos	6
3.6.1	Tamaños estándar	6
3.6.2	Tolerancias y fabricación	6

3.7	Esfuerzo y resistencia.....	6
3.8	Incertidumbre	7
3.9	Factor de seguridad.....	7
3.10	Dimensiones y tolerancias	8
3.10.1	Tamaño nominal.....	8
3.10.2	Limites	8
3.10.3	Tolerancia	8
3.11	Materiales	8
3.12	Resistencia y rigidez del material.....	8
3.13	Sistema CNC.....	8
3.14	Stepper motor	8
3.15	Plasma	10
3.15.1	Definición.....	10
3.15.2	Componentes de un sistema de plasma	10
3.16	Corte en láminas de metal.....	12
3.17	Problemática del plasma	13
4	Marco Metodológico.....	15
4.1	Estructura Base.....	17
4.2	Cama metálica	18
4.3	Cama de agua.....	18
4.4	Eje X	19
4.5	Eje Y	20
4.6	Eje Z.....	20
4.7	Sistema de activación	21
4.8	Sistema electrónico general	21
5	Requerimientos del sistema.....	23
5.1	Requerimientos Generales	23
5.2	Requerimientos de la estructura base.....	23
5.3	Requerimientos de cama metálica	23
5.4	Requerimientos de cama de agua	24
5.5	Requerimientos del sistema a de eje X y eje Y	24
5.6	Requerimientos del sistema a de eje Z.....	24
5.7	Requerimiento del sistema de activación	25

5.8	Requerimientos del sistema eléctrico general.....	25
6	Desarrollo de la solución mecánica	26
6.1	Consideraciones generales.....	26
6.2	Estructura base	29
6.2.1	Consideraciones	29
6.2.2	Diseño del conjunto mecánico estructura base	31
6.2.3	Uniones	36
6.3	Cama metálica	37
6.3.1	Consideraciones	37
6.3.2	Diseño del conjunto mecánico cama metálica	38
6.3.3	Uniones	43
6.4	Cama de agua.....	46
6.4.1	Consideraciones	46
6.4.2	Diseño del conjunto mecánico de la cama de agua	46
6.4.3	Uniones	49
6.5	Eje X	50
6.5.1	Consideraciones	50
6.5.2	Diseño del conjunto mecánico del sistema de eje X	50
6.5.3	Uniones	62
6.6	Eje Y	65
6.6.1	Consideraciones	65
6.6.2	Diseño del conjunto mecánico del sistema Eje Y	65
6.7	Sistema de eje Z.....	70
6.7.1	Consideraciones	70
6.7.2	Diseño del conjunto mecánico del sistema de eje X	70
6.7.3	Uniones	72
6.8	Sistema de activación	74
6.8.1	Consideraciones	74
6.8.2	Diseño del conjunto mecánico sistema de activación.....	74
6.8.3	Uniones	76
6.9	Problemas presentados.....	78
7	Desarrollo de la solución eléctrica.....	79
7.1	Esquema de Control.....	79

7.1.1	Generador de plasma	79
7.1.2	Breakout Board.....	81
7.1.3	Mach 3.....	82
7.1.4	Driver.....	83
7.1.5	Sensores	83
7.1.6	Fuente de energía	84
7.2	Consideraciones.....	85
7.3	conexión General.....	87
7.4	Facilidad Eléctrica	89
8	Análisis Económico.....	90
8.1	Costos materiales.....	90
8.2	Costos construcción	90
8.3	Inversión	91
8.4	Plazo de recuperación	92
9	Resultados.....	93
9.1	Estructura base	93
9.1.1	Cálculos y Simulación	93
9.2	Cama metálica.....	98
9.2.1	Cálculos y Simulación	98
9.3	Cama de agua.....	99
9.4	Sistema eje X	101
9.5	Materiales	102
9.6	Planos	105
10	Instructivo de Mantenimiento.....	107
10.1	Procedimiento general de las rutinas de MPP.....	107
10.1.1	Inspección de condiciones.....	107
10.1.2	Limpieza integral externa.....	107
10.1.3	Inspección externa del equipo.....	107
10.1.4	Limpieza integral interna.....	107
10.1.5	Inspección interna.....	107
10.1.6	Lubricación y engrase.....	107
10.1.7	Reemplazo de partes intercambiables.....	107
10.1.8	Ajuste y calibración	107

10.1.9	Revisión de seguridad eléctrica.....	107
10.1.10	Pruebas funcionales completas	107
11	Conclusiones	108
12	Recomendaciones	109
13	Bibliografía	110
14	Anexos	116
Anexo B.1	Resistencias determinísticas mínimas a la tensión y a la fluencia ASTM [1].	116
Anexo B.2	Diámetros y áreas de roscas unificadas de tornillos UNC Y UNF [1].	117
Anexo B.3	Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino [1].	118
Anexo B.4	Especificaciones SAE para pernos de acero [1].	119
Anexo B.5	Propiedades flexionante de las soldaduras de filete [1].	120
Anexo B.6	Propiedades mínimas del material de aporte [1].	121
Anexo B.7	Esfuerzos permisibles del código AISC para metal de aporte.	121
Anexo B.7	Especificaciones del reductor NEMA 23 [27].	122
Anexo B.8	Especificaciones del actuador lineal [27].	123
Anexo B.9	Especificaciones de la conexión del Stepper motor [27].	124
Anexo B.10	cotización de componentes en accesos automáticos.	125
Anexo B.11	cotización de componentes en Aceros ROAG.	126
Anexo B.12	cotización de componentes en Aceros ROAG.	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1	Fases del proceso de diseño	5
Figura 3.2	Representación de un engrane en Solidworks 2014.	6
Figura 3.3	Típica pieza de prueba	8
Figura 3.4	Esfuerzo-deformación en la prueba de tensión en un material dúctil a) y frágil b)	8
Figura 3.5	Stepper motor con eje de 8mm y plano para acople	9
Figura 3.6	Driver o controlador para motor NEMA 23	10
Figura 3.7	Componentes de la boquilla de plasma y consumibles	11
Figura 3.8	Datos operativos y de velocidad de avance en el corte con plasma	12
Figura 3.9	Imagen ilustrativa de los humos y gases tóxicos generados en el corte por plasma ...	13
Figura 4.1	Sistema de coordenadas utilizando en la máquina cortadora de plasma	16
Figura 6.1	Proceso de corte con disco.	26
Figura 6.2	Dobladora de láminas metálicas.	27
Figura 6.3	Proceso de taladrado.....	27
Figura 6.4	Proceso de torneado básico (no automático y sin rosca externa).....	28
Figura 6.5	Cinta métrica utilizada en la medición de tubos y láminas metálicas.	29
Figura 6.6	Pie de rey o vernier.....	29
Figura 6.7	Micrómetro.....	29
Figura 6.8	Máquina soldadura SMAW.....	29
Figura 6.9	Perfil de tubo estructural 50.8x152.4mm espesor 1.5mm	30
Figura 6.10	Perfil de tubo estructural 50.8x50.8in espesor 1.8mm	30
Figura 6.11	Láminas metálicas de diferentes espesores	31
Figura 6.12	Estructura base de la máquina cortadora de precisión corte por plasma.....	34
Figura 6.13	Pie ajustable para patas de la estructura base.....	35
Figura 6.14	Unión de soldadura entre los tubos de 50.8x152.4mm y 50.8x50.8mm.	36
Figura 6.15	Unión de las láminas con tornillos de 6.35mm.	36
Figura 6.16	Láminas de la cama de agua sumergidas casi en tu totalidad	37
Figura 6.17	Primera prueba para la colocación de las láminas metálicas de la cama de agua	38
Figura 6.18	Láminas de la cama metálica ubicadas en la cortadora de plasma	39
Figura 6.19	Orientación de las láminas ubicadas en la cama metálica.....	40
Figura 6.20	Distribución de las láminas a cortar para la construcción de la cama metálica.	41
Figura 6.21	Angular metálico de un 9.35mm de espesor	42
Figura 6.22	Corte de 45° con un ancho de 1.587mm sobre el angular.	42
Figura 6.23	Rectángulo formado de angulares para posicionar placas metálicas.....	43

Figura 6.24	Apoyo de los segmentos de lámina metálica en los angulares y en el tubo de 25.4x25.4mm.....	44
Figura 6.25	Cama metálica colocada en la máquina cortadora de precisión corte por plasma.	45
Figura 6.26	Ejemplo de láminas metálicas sumergidas en agua	46
Figura 6.27	Ubicación de los tubos de 50.8x50.8mm y 25.4x25.4mm en la cama metálica.	47
Figura 6.28	Desnivel d en el tubo de 50.8x50.8mm a) extremo con 1 cm de saliente y b) extremo sin saliente.....	48
Figura 6.29	Imagen de a) válvula de paso de bola y b) manguera PVC	48
Figura 6.30	Acople para vaciado y llenado del agua.....	49
Figura 6.31	Unión soldada entre los tubos y la lámina metálica.	49
Figura 6.32	Stepper motor de 4 cables encontrado en la máquina CNC de producción industrial. 50	
Figura 6.33	Sistema de faja dentada	51
Figura 6.34	Piñón y cremallera	51
Figura 6.35	Cremallera empleada en la máquina CNC de producción.....	52
Figura 6.36	Sistema de cadenas con engrane	52
Figura 6.37	Piñón o engrane metálico	53
Figura 6.38	Cremallera metálica con agujeros para su ensamble	54
Figura 6.39	Medidas a) ancho, b) diámetro exterior del ensamble con el eje, c) diámetro de ensamble con el eje, d) medida de prueba.....	55
Figura 6.40	Fuerzas de fricción representativas en la guía del eje X	56
Figura 6.41	Guía lineal	58
Figura 6.42	Desarme del rodillo encontrado en la empresa Ficmams.....	59
Figura 6.43	Corte lateral del ensamble del rodillo en el eje X.	60
Figura 6.44	Perforaciones en platina calibrada para acople con componentes.....	61
Figura 6.45	Unión de la cremallera utilizando un espacio y un tornillo de 6.35mm al tubo de 152.4x50.8mm.....	62
Figura 6.46	Carro del eje X.....	63
Figura 6.47	Eje reductor y acople piñón	64
Figura 6.48	Acople reductor y piñón.....	64
Figura 6.49	Acople del reductor y el piñón.....	65
Figura 6.50	Tubo de perfil rectangular 152.4x50.8mm para unión entre carros eje X.....	66
Figura 6.51	Rodillos, placa y guías para el carro del eje Y.....	67
Figura 6.52	Corte lateral en el ensamble de eje, rodillo, rodamiento elementos de sujeción.....	68
Figura 6.53	Placa metálica con espacio previsto para sistema de eje Z.....	68

Figura 6.54	Ensamble general carro eje Y con platina calibrada en las caras horizontales de la guía.	69
Figura 6.55	Sistema de eje Z encontrado en máquina Hypertherm a) y en la CNC de producción industrial b).	70
Figura 6.56	Actuador lineal con motor NEMA 17 incorporado	72
Figura 6.57	Sistema de eje Z acoplado en la platina calibrada del carro eje Y.	73
Figura 6.58	Cabeza flotante para sistema de activación	75
Figura 6.59	Sistema de activación para la boquilla del plasma.	77
Figura 7.1	Generador de plasma HUTONG encontrado actualmente en la empresa Ficmams	79
Figura 7.2	Cable especializado para plasma y boquilla	80
Figura 7.3	Tarjeta para el control de la máquina cortadora de plasma marca SainSmart	81
Figura 7.4	Interfaz software MACH 3	82
Figura 7.5	Driver o controlador de los Stepper motor NEMA 23.	83
Figura 7.6	Sensores inductivos	83
Figura 7.7	Sensores de contacto	84
Figura 7.8	Fuente de alimentación eléctrica	84
Figura 7.9	Sistema de cableado a) cable 18 AWG encontrado en la empresa Ficmams y b) soporte de cadena	85
Figura 7.10	Colocación del soporte de cable en la estructura base.	86
Figura 7.11	Conexión general del sistema de control en la máquina cortadora de plasma	87
Figura 7.12	Diagrama de conexión entre el DRIVER DM542A y la tarjeta Breakout Board SainSmart	88
Figura 7.13	Diagrama de conexión entre el DRIVER DM542 y el Stepper motor NEMA 23.	89
Figura 9.1	Propiedades físicas del tubo 50.8x50.8mm utilizado en las patas de la mesa.	94
Figura 9.2	Resultados de simulación en tubos 50.8x152.4mm con agujero Solidworks.	97
Figura 9.3	Lamina cama metálica bajo carga debido a la placa de trabajo.	98
Figura 9.4	Deflexión en la lámina de la cama metálica.	99
Figura 9.5	Perfil de C en la soldadura de los tubos de la cama de agua.	99
Figura 9.6	Simulación realizada en Solidworks para los tubos que sujetan el peso del agua.	99
Figura 9.7	Máxima deflexión en el tubo de 25.4x25.4mm.	100
Figura 9.8	Simulación de la lámina de la cama de agua con soldadura todo alrededor.	100
Figura 9.9	Conjunto Mecánico de la mesa cortador de plasma.	105
Figura 9.10	Muestra de planos, isométrico de rodillo y corte lateral.	106
Figura 9.11	Grupo de piezas de un conjunto mecánico en una misma hoja de plano.	107

1 INTRODUCCIÓN

1.1 CONTEXTO DEL PROYECTO

El diseño de una mesa cortadora de precisión corte por plasma es necesario para su posterior implementación en la empresa Ficmams, donde esta máquina se utilizará para cortar piezas requeridas en la manufactura de equipos que se realizan para terceros. Actualmente no se cuenta con ningún equipo similar, ni planos para la construcción de este mismo, ocasionando que se asigne esta tarea a terceros, la cual incrementa los costos y reduce las ganancias de la empresa.

El proyecto tiene como alcance diseñar una mesa cortadora de precisión corte por plasma y generar los planos de construcción, así como la especificación de componentes necesarios para la máquina. La mesa debe permitir el corte por plasma sobre diferentes tamaños de placas metálicas; este corte puede variar desde figuras simples como círculos y cuadrados a piezas mucho más elaboradas con patrones previamente realizados en un software CAD.

Para ejecutar el movimiento necesario en el corte se deben incorporar actuadores que puedan desplazar la boquilla de la cortadora de plasma hacia la placa y sobre esta. Los motores deben ser capaces de realizar movimientos suaves y precisos para realizar los cortes sobre la placa metálica sin desperfectos.

Se debe tener presente que el diseño de la máquina debe ser eficiente en costos y capaz de brindar seguridad a los empleos que la utilizan. El equipo a diseñar será utilizado con alta frecuencia, por lo que el mantenimiento del mismo se debe contemplar en el diseño.

1.2 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Este trabajo forma parte de un proyecto realizado en la empresa Ficmams, una institución costarricense fundada en el 2013, cuyo objetivo empresarial es brindar soluciones eficientes y efectivas a necesidades técnicas e inventivas.

El diseño y la manufactura de equipos para empresas exteriores es una de las principales fuentes de ingreso, no obstante, también se realizan instalaciones de máquinas y el mantenimiento necesario para estas.

1.3 TRABAJOS SIMILARES

Actualmente en la empresa no se ha realizado ningún trabajo similar, no obstante, si se han realizado máquinas que emplean mecanismos semejantes, y que son necesarios para el diseño de la mesa cortadora como guías de rodillos metálicos, cremalleras y piñones, enrolladoras de cables con reductores, entre otras, las cuales presentan elementos y sistemas de provecho para el desarrollo del proyecto.

1.4 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.4.1 Generalidades

Al diseñar y construir máquinas para su posterior venta a otras empresas, siempre se busca obtener la mayor ganancia y facilidad al manufacturar este tipo de equipos. Una cortadora de plasma CNC facilita enormemente el diseño y la construcción de las piezas necesarias para otras máquinas, esto debido a que puede realizar cortes y formas complejas en diferentes tipos de láminas y espesores.

Para construir una máquina CNC corte por plasma, se debe seguir un proceso ingenieril, con una investigación que respalde el diseño mecánico y eléctrico del sistema. Además la selección de componentes y la generación de los planos necesarios para la manufactura de las piezas que conforman la máquina mencionada son los elementos principales de este documento.

1.4.2 Síntesis del problema

Reducir el costo de la fabricación de piezas utilizadas en los equipos que construye la empresa Ficmams.

1.5 ENFOQUE DE LA SOLUCIÓN

El proyecto consta de 2 etapas primordiales; el diseño de la mesa cortadora y la elaboración de los planos y listado de componentes necesarios para la construcción de la máquina. Esta primera etapa es la de mayor importancia y tamaño, ya que consiste en el diseño de las piezas mecánicas necesarias para la correcta construcción de la mesa cortadora de plasma. Además se tomaron en cuenta las distintas posibilidades de materiales, elementos de sujeción, con el fin de desarrollar una solución óptima y viable económicamente.

Para la mesa cortadora de plasma se pueden identificar diferentes módulos a diseñar, entre estos: la mesa base, la cama metálica y de agua, el sistema de alimentación de agua, el sistema de movimiento lineal en 3 ejes y el sistema de activación de la cortadora de plasma como tal.

En el sistema de alimentación se debe buscar la solución más eficiente energéticamente y espacialmente. El sistema de movimiento lineal en 3 ejes consta de subdivisiones, donde cada eje requiere un sistema aparte y la solución para proporcionarle a la mesa cortadora este movimiento en 3 dimensiones requiere tanto de investigación como de planificación para evitar problemas energéticos y mecánicos, se deben especificar los servomotores a utilizar así como otros componentes necesarios y corroborar el correcto funcionamiento de los mismos.

Por último el sistema de activación de la cortadora de plasma se refiere al dispositivo mecánico necesario que le permite a la mesa cortadora de plasma activarse y por medio de la boquilla cortar la placa metálica. Este sistema debe ser seguro y eficiente, también se requiere precisión y considerar el mantenimiento para así garantizar el mejor funcionamiento y de la manera más segura para los operarios.

El uso del software CAD es vital para el diseño de la mesa cortadora de plasma, ya que permite prevenir errores y garantizar el funcionamiento del equipo. Se debe tener presente en todos los sistemas la presencia de sensores, paros de emergencia entre otros.

2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar una cortadora de precisión corte por plasma.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un sistema de movimiento guiado para los ejes de la máquina.
- Diseñar un sistema de activación para la boquilla de la cortadora de plasma.
- Proponer una lista de materiales para la construcción.
- Seleccionar los componentes electrónicos necesarios para controlar el funcionamiento de la cortadora de plasma.
- Reducir los costos de fabricación de piezas manufacturadas y utilizadas en los equipos que construye la empresa Ficmams.

2.3 ALCANCES Y ENTREGABLES DEL PROYECTO

El alcance general del presente proyecto realizado es diseñar una máquina cortadora de precisión corte por plasma para su posterior construcción a partir del desarrollo y resultados de este documento. Se dividen los entregables del proyecto en 2 secciones:

2.3.1 Diseño mecánico

- Factor de seguridad de elementos críticos
- Diseños CAD de piezas a manufacturar
- Listado de materiales necesarios
- Planos de conjuntos mecánicos
- Planos de ensamble
- Planos de construcción de piezas

2.3.2 Diseño eléctrico

- Listado de componentes necesarios
- Diagrama general de conexión

3 MARCO TEÓRICO

3.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Muchas de las características de una pieza, su forma, los materiales que la componen o simplemente su posición de referencia en un conjunto o sistema se ven afectados por una gran variedad de factores, entre los más importantes tenemos:

Tabla 3.1 Consideraciones de diseño [1].

Consideración	
1. Funcionabilidad	2. Costo
3. Resistencia / esfuerzo	4. Utilidad
5. Distorsión/deflexión/rigidez	6. Peso
7. Desgaste	8. Vida
9. Corrosión	10. Estilo
11. Seguridad	12. Forma
13. Confiabilidad	14. Tamaño
15. Facilidad de manufactura	16. Control
17. Comercialización	18. Volumen
19. Mantenimiento	20. Capacidad de reciclado

3.2 HERRAMIENTA Y RECURSO DE DISEÑO

3.2.1 Solidworks

Es un programa de diseño mecánico en 3D que utiliza un entorno gráfico basado en Microsoft Windows, intuitivo y fácil de manejar. Cuenta con herramienta para el diseño de pieza, realizar ensamblajes y dibujos (planos) [4]. Cuenta con una amplia base de piezas estándar, como tornillos, tuercas, arandelas entre otras denominadas estándar para ser incorporadas en los conjuntos mecánicos y permite cálculos exactos de la masa, centro de gravedad e inercia de los elementos creados.

3.3 ASPECTOS ECONÓMICOS

Considerar el costo es una función de suma importancia en el proceso de la decisión del diseño. Este puede limitar una solución o toda la intención del diseñador. Es importante consultar con el cliente u empresa sobre los materiales que están disponibles, así como proveedores, procesos de manufactura a utilizar, entre otros. Algunos aspectos que se deben tener presentes referentes a los costos en el diseño de una máquina son:

3.3.1 Tamaños estándar

Utilizar tamaño estándar o común es el principio fundamental de la reducción del costo. No obstante, hay que saber seleccionar los materiales con dicha característica para no sobredimensionar un componente o utilizar uno que no cumple la característica y especificaciones mínimas. Entre algunas piezas comerciales tenemos motores, bombas, cojinetes, sujetadores, tornillos, tuercas, prisioneros entre otros.

3.3.2 Tolerancias y fabricación

En la especificación del diseño las tolerancias tienen uno de los mayores efectos sobre el costo. Estas influyen en la factibilidad de fabricación, tolerancias estrictas suelen ser más caras y en algunos casos económicamente imprácticas. En la fabricación de una máquina CNC muchas de las piezas presentan tolerancias amplias debido a las máquinas que se utilizan para la fabricación, estos procesos pueden ser desde torneado, fresado, taladrado, entre otros procesos básicos en la manufactura. Por ejemplo, se presentan tolerancias diferentes para una pieza que va a ser cortada por una simple sierra o soplete, contra aquella que se planea cortar en una máquina CNC.

3.4 ESFUERZO Y RESISTENCIA

La durabilidad de muchos productos depende de la forma en que el diseñador ajusta el esfuerzo inducido por la carga para que sea menor que la resistencia en un punto de interés. La resistencia es una propiedad de un material; depende de la elección, el tratamiento y el procesamiento del material [1].

Varios procesos de trabajo en metales y tratamiento térmico, como el forjado, el laminado y el formado en frío, causan variaciones en la resistencia en cierto punto del material o en todo. Es importante mencionar que para realizar los cálculos el esfuerzo se centra en un punto específico de la pieza, en toda una cara o en una sección de esta. Podemos decir que el esfuerzo es una

función de la carga, la geometría, la temperatura y el proceso de manufactura, los esfuerzos debidos a los tratamientos térmicos, al moldeado, al ensamblaje, también son importantes y en ocasiones no se toman en cuenta.

3.5 INCERTIDUMBRE

Es importante mencionar también los factores que causan incertidumbre en el diseño de una pieza o conjunto, para nuestro propósito las más importante son aquellas que afectan la resistencia y el esfuerzo presente, siendo estas:

- Composición del material.
- Variación de propiedades en diversos puntos dentro de una misma barra de material.
- Efecto del procesamiento.
- Efecto de ensambles, soldaduras, ajustes.
- Intensidad y distribución de las cargas.
- Validez de los modelos matemáticos que se utilizan para representa la realidad.
- Efecto del desgaste.

Los ingenieros deben adecuarse a este tipo de incertidumbres, siendo las más importantes a considerar en el diseño la propiedad del material, variabilidad de la carga, fiabilidad de fabricación y la validez de los modelos matemáticos [1].

3.6 FACTOR DE SEGURIDAD

Se define el factor de seguridad n como una relación numérica unidimensional, con la siguiente fórmula:

$$n = \frac{\text{esfuerzo calculado}}{\text{esfuerzo permisible}} \quad \text{ecuación (3.1)}$$

Donde es el esfuerzo calculado se obtiene con las cargas a las que está sometida la pieza o elemento, mientras se entiende por permisible aquel esfuerzo que soporta la pieza por defecto, es decir está relacionado directamente con el material, forma y fabricación. Es importante aclarar que el esfuerzo calculado y el permisible deben encontrarse en las mismas unidades.

3.7 SISTEMA CNC

El desarrollo de la microelectrónica y el uso de las computadoras ha sido indispensable en el avance de los sistemas de manufactura flexibles (SMF), el éxito logrado se debe a sus características principales: automatización, flexibilidad, productividad y optimización de costos. Cualquier sistema de manufactura flexible requiere del uso de equipo de cómputo, independientemente del SMF que se utilice, siempre debe haber una porque es la que controla al sistema completo incluyendo máquinas de control numérico por computadora (CNC) y el sistema para el manejo y transporte de materiales, un SMF es tan eficiente y versátil como lo sea el software que lo controla, así la flexibilidad total del sistema se basa en la capacidad del software del programa para coordinar efectivamente a todos los elementos que integran el sistema.

La computadora central ejerce el control del sistema completo, coordina totalmente la producción, monitoriza cualquier rotura de herramientas, maquinaria o transportes y alerta a los supervisores de esa contingencia. También determina el trabajo de cada máquina y las rutas de corte, como es el caso de una máquina cortadora de plasma para optimizar la producción y el uso de ellas [43].

3.8 STEPPER MOTOR

Es un dispositivo electromecánico que convierte información digital a mecánica por medio de pasos, cada uno de esos pasos está definido por un ángulo de paso, normalmente 0.9° o 1.8° . Un Stepper motor se califica como un componente digital debido a que se mueve por una secuencia discreta, convirtiéndolo es un dispositivo capaz de utilizar interfaces digitales como por ejemplo un microcontrolador [30].

Algunas características deseables con las que cuenta un Stepper motor son:

1. Bajo costo.
2. La precisión del motor es alrededor del 3% de cada paso de ángulo, pasos pequeños implican mejor desempeño.
3. Ideal para ciclos de control posicionado.
4. Puede ser implementado sin retroalimentación.
5. Requiere mínimo uso de sensores.

6. Mantiene firmemente el torque cuando no se encuentra en movimiento.
7. No requiere de frenos mecánicos.
8. Produce un mejor torque en comparación a los motores DC a baja velocidad.
9. Facilidad de posicionamiento.

Los Stepper motor no son utilizados para tareas de gran torque, se emplean para trabajos de 2000 oz-in (14 Nm). También cuentan con una velocidad limitada por la capacidad del torque y por los pulsos, además cuenta con altos niveles de vibración debido al movimiento mecánico de los pasos [31].

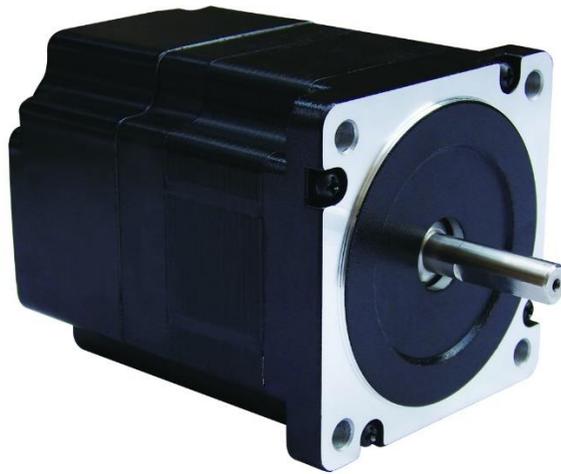


Figura 3.1 Stepper motor con eje de 8mm y plano para acople [31].

Un Stepper motor como el mostrado en la figura 3.1 requiere de un *drive* o controlador, este componente electrónico es el encargado de comunicarse con el motor y transmitir la onda o PWM, es decir los pasos además de ser el responsable de alimentar energéticamente el rotor del motor. El driver que se observa en la figura 3.2, es utilizado usualmente para el control de motores NEMA 23 [33].



Figura 3.2 Driver o controlador para motor NEMA 23 [27].

3.9 PLASMA

3.9.1 Definición

Se considera un estado de la materia como un sólido, líquido o gas. Se añade calor a un material lo cual causa que las moléculas empiecen a vibrar y moverse cada vez más rápido. Si se calienta un sólido este se tornara a un líquido, de igual manera al calentar el líquido este eventualmente se transformara en un gas y por último, éste al calentar el gas se obtiene plasma [7].

Una cortadora de plasma utiliza este gas conductor eléctrico para transferir energía de la fuente de poder a cualquier material conductivo, resultando en un proceso limpio y rápido. La formación del arco de plasma comienza cuando un gas por ejemplo el oxígeno, nitrógeno y argón es forzado y presurizado a través de una pequeña boquilla en el interior de la antorcha. Un arco eléctrico generado por la fuente externa de energía es introducido a este flujo de gas presurizado ubicado en la boquilla, resultando en la conocida flama del plasma, la cual puede alcanzar unos 22 000° [8].

3.9.2 Componentes de un sistema de plasma

Fuente de poder, convierte una o tres fases de una línea de tensión AC a un constante y sin ruidos rango de tensión DC, este último es el responsable de mantener el arco de plasma

Consola iniciadora del arco, este circuito produce un tensión AC aproximado de 5000 VAC a 2MHz el cual produce la chispa dentro de la antorcha para generar el arco de plasma.

Boquilla, la función de la boquilla es proveer un propio alineamiento y enfriamiento de los consumibles, los principales consumibles requeridos para la generación de un arco de plasma son el electrodo, la boquilla y el anillo. La figura 3.3 muestra más detalles de estos componentes.

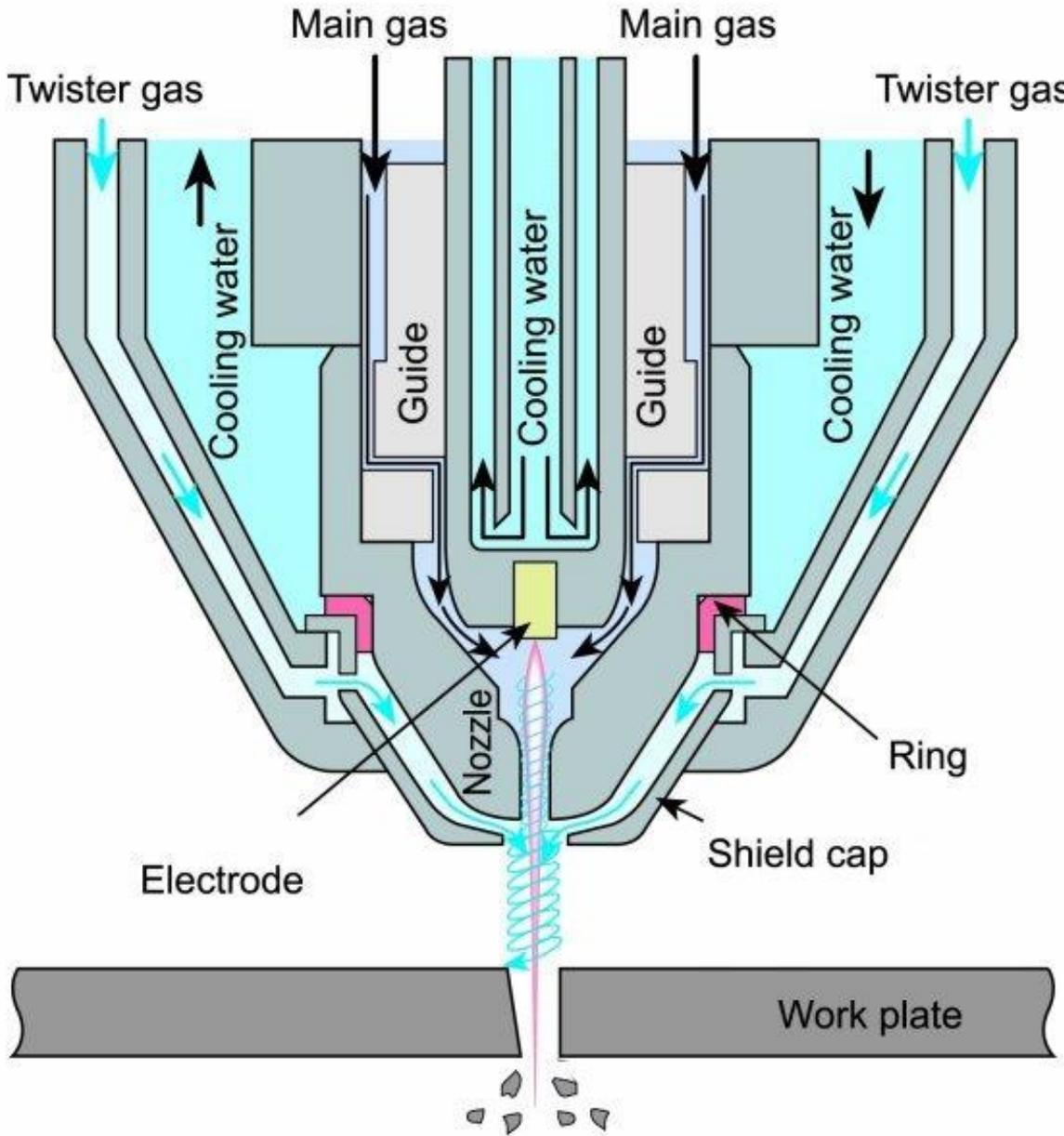


Figura 3.3 Componentes de la boquilla de plasma y consumibles [9].

3.10 CORTE EN LÁMINAS DE METAL

La mesa cortadora de precisión corte por plasma debe estar diseñada para permitir el corte de placas metálicas de diferentes espesores. El espesor afecta la velocidad de avance de la boquilla, para placas de mayor espesor la velocidad es menor y para las placas de menor espesor se ocupan mayores velocidades, esto para evitar daños en la placa y garantizar un corte más preciso, sin emisiones de gas y de calidad. Estos valores suelen variar de una máquina a otra y entre empresas. Para la realización de la máquina cortadora de plasma se utilizan los datos mostrados en la figura 3.4, generados por la empresa *Hypertherm* (la cual es líder en el campo), corriente a la que trabaja la máquina cortadora de plasma afecta de manera directa el proceso.

Material	Corriente (A)	Espesor (mm)	Velocidad de corte aproximada (mm/min)	Espesor (pulg.)	Velocidad de corte aproximada (pulg/min)
Acero al carbono	30	0,5	5355	0,018	215
Plasma O ₂		3	1160	0,135	40
Protección O ₂		6	665	1/4	25
Plasma O₂	50	1	5000	0,036	210
Protección O₂		3	1800	0,135	60
		6	950	1/4	35
Plasma O₂	80 ^t	3	6145	0,135	180
Protección aire		12	1410	1/2	50
		20	545	3/4	25
Plasma O₂	130 ^t	6	4035	1/4	150
Protección aire		10	2680	3/8	110
		25	550	1	20
Acero inoxidable	60	3	2770	0,105	120
Plasma F5		4	2250	0,135	95
Protección N ₂		5	1955	3/16	80
		6	1635	1/4	60
Aluminio	45	3	2850	1/8	110
Plasma aire		4	2660	3/16	90
Protección aire		6	1695	1/4	60
Plasma H35 y N₂*	130	6	2215	1/4	85
Protección aire		12	1455	1/2	55
		20	815	3/4	35

Figura 3.4 Datos operativos y de velocidad de avance en el corte con plasma [10].

3.11 PROBLEMÁTICA DEL PLASMA

En el proceso de corte por plasma existe una emisión de gases y humo que son dañinos de inhalar, estos son considerados cancerígenos. El Departamento de trabajo de Estados Unidos recomienda reducir la exposición del personal a los niveles más bajos debido a la toxicidad de los químicos emitidos [35].

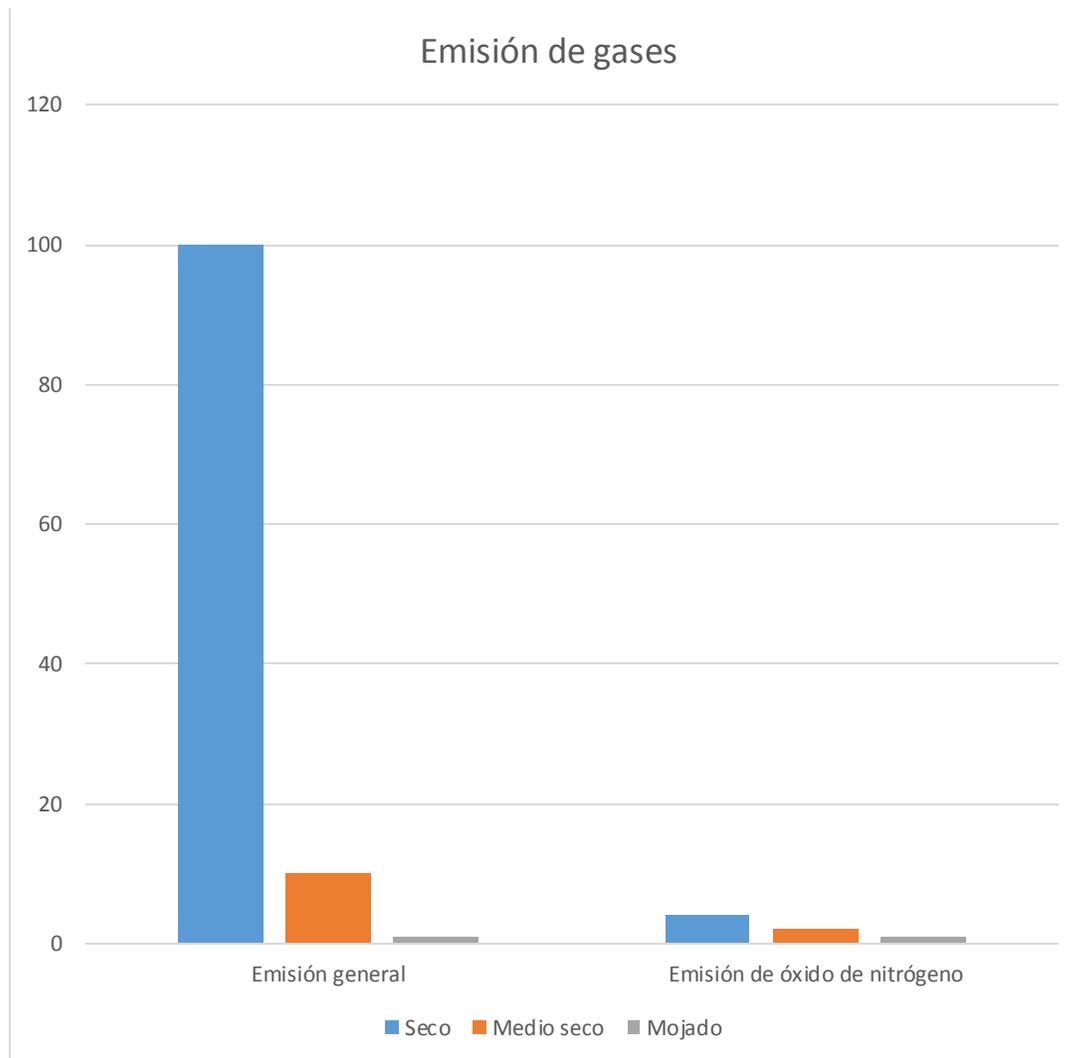
La cantidad de estos gases presentes en los procesos de corte por plasma depende totalmente en la naturaleza del proceso, si este es en seco o mojado, sumergido totalmente o parcialmente, la velocidad de corte, el ancho de la placa, la aleación de los materiales y el diseño de la cortadora como tal [34].



Figura 3.5 Imagen ilustrativa de los humos y gases tóxicos generados en el corte por plasma [34].

Existen tres tipos de procesos para el corte por plasma, en seco, medio seco (placa casi sumergida en agua) y mojado (placa sumergida completamente en agua). Observando el gráfico 3.1, podemos comparar la emisión de estos gases [11].

Gráfico 3.1 Relación de generación de gases en los diferentes procesos de corte [11].



Donde se aprecia que la relación de diferencia (seco: medio seco: mojado) en el proceso general es de 100:1:1 y 4:2:1 en la emisión de óxido de nitrógeno.

4 MARCO METODOLÓGICO

En el desarrollo del proyecto se utilizó un esquema de diseño como el mostrado en la figura 4.1, donde se identificaron necesidades, se propusieron soluciones a lo largo del diseño y se realizaron análisis y optimizaciones.

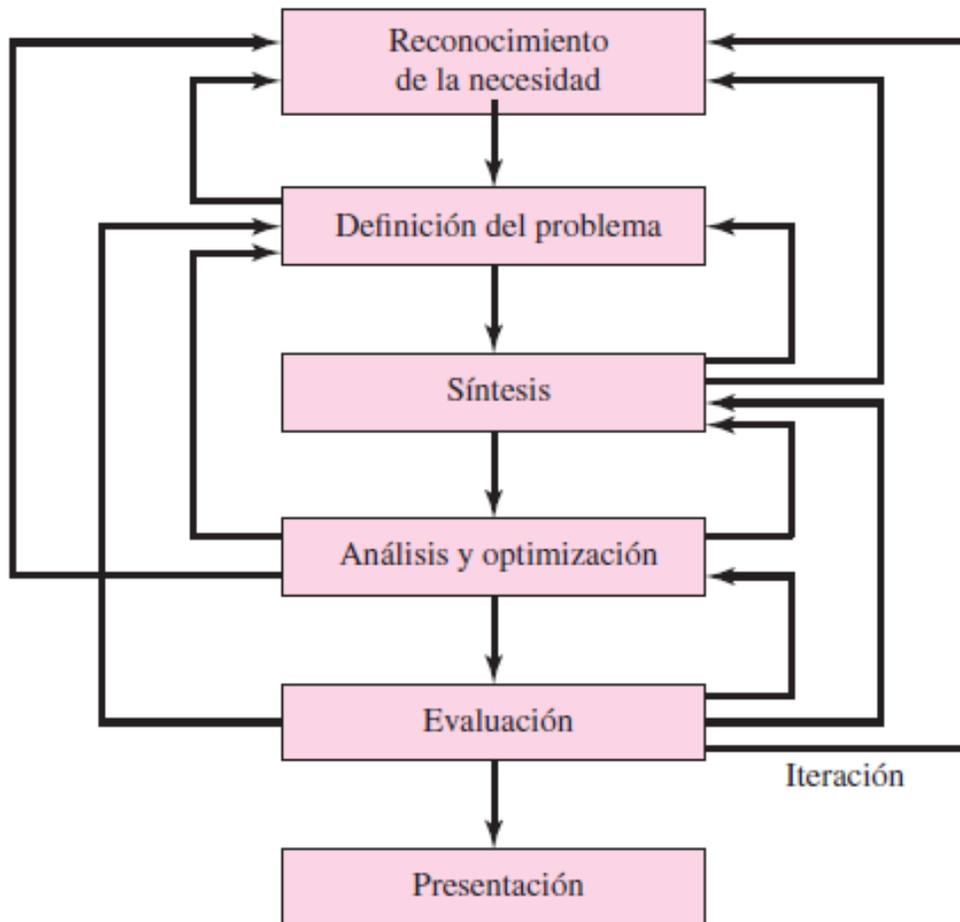


Figura 4.1 Fases del proceso de diseño [1].

Para cumplir con los objetivos planteados en este proyecto se inició con una exploración de mercado general sobre las máquinas cortadoras de plasma por precisión existentes, para esto se utilizaron los requerimientos generales dadas por la empresa Ficmams.

Se realizó una investigación en el laboratorio de producción industrial, donde se encuentra una máquina CNC. Aunque no es una cortadora de plasma, difiere en pocos elementos, como la

potencia del motor, la herramienta de corte, y dimensiones generales. Se hizo un desarme general de la máquina y se observó los componentes que forman los distintos segmentos.

Se llevó a cabo una exploración de mercado a nivel internacional en las páginas de vendedores como Hypertherm [15], Torchmate [16] y Swift-Cut [17], empresas líderes en el área de corte CNC por plasma. Se utilizó la información adquirida en la exploración de mercado y en la investigación de la máquina CNC para dividir el proyecto de diseño de la cortadora de plasma en diferentes módulos o partes básicas:

- **Estructura Base**
- **Cama metálica**
- **Cama de agua**
- **Eje Largo**
- **Eje Ancho**
- **Eje Vertical**
- **Sistema de activación**
- **Sistema electrónico**

Para facilitar la comprensión de los ejes mencionados, y las direcciones de la máquina se trabajó con el sistema de coordenadas mostrado de manera ilustrativa en la de la figura 4.2, donde se denotan el **eje largo (X)**, el **eje ancho(Y)** y el **eje vertical(Z)**.

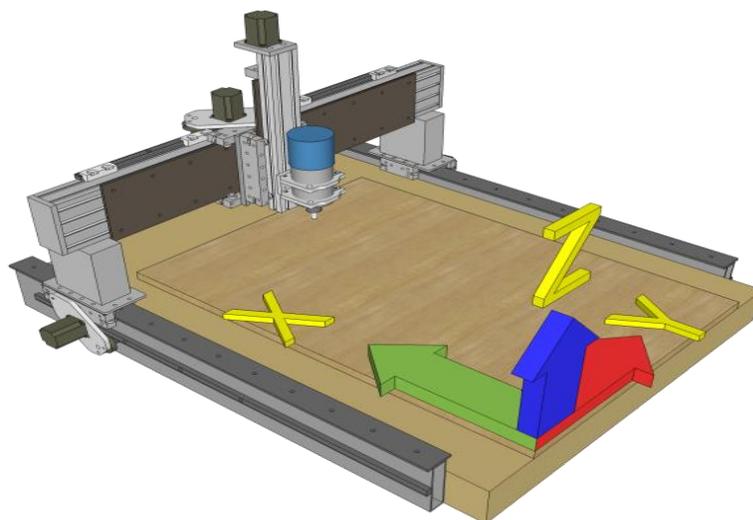


Figura 4.2 Sistema de coordenadas utilizando en la máquina cortadora de plasma [39].

El diseño de cada sistema o módulo se relaciona con la definición de requerimientos y necesidades de la empresa. Se realizan planteamientos y posterior la síntesis de soluciones, es decir las propuestas finales de diseño, estas últimas se evalúan y analizan para determinar su viabilidad. Se escoge la solución que presente las mejor características y se construye el sistema en Solidworks, a partir de este diseño se procede a calcular y simular las cargas y esfuerzos a los que se encuentran sometidos cada sistema con el propósito de aprobar la solución. Finalmente se generan los planos y el listado de componentes necesarios y de ser requerido un diagrama de conexión y/o ensamble.

4.1 ESTRUCTURA BASE

Como su nombre lo menciona es la estructura principal, encargada de albergar todos los demás componentes de la máquina.

Para su diseño se realizó un planteamiento basado en los requerimientos mínimos propuestos por la empresa Ficmams, se definieron los materiales a utilizar y los procesos de manufactura disponibles en el taller de la compañía, se realizó un planteamiento inicial de la estructura a partir de la información recolectada en la investigación de la CNC, el estudio de mercado y los requerimientos y finalmente con estos datos se hizo un diseño en Solidworks. Con el modelo en el software de la estructura base y de cada una de las piezas que lo conforman, se procedió a evaluar la funcionabilidad, resistencia y deflexión mediante cálculos y simulaciones para obtener los factores de seguridad en las piezas y uniones críticas, se fijó un espesor de los materiales, el tipo de unión requerida y de ser necesarios realizar los cambios mediante las herramientas disponibles en Solidworks. Se analizó la seguridad, confiabilidad y los costos de la máquina, luego se aprobó la solución y se determinó el grupo de especificaciones de diseño necesarias para la estructura base, se generó una serie de planos para la construcción de las piezas y el ensamble del sistema.

4.2 CAMA METÁLICA

Es la encargada de soportar el peso de las láminas, también tiene como labor permitir que los sobrantes de las piezas no permanezcan en la zona de trabajo. Es el sistema bajo mayor desgaste debido a la llama del plasma.

Se revisó la variedad de camas metálicas existentes en diferentes mesas cortadoras de plasma ubicadas en el mercado. Se trabajó a partir del espacio disponible en la estructura base, luego se realizó un listado de materiales y procesos disponibles para realizar el diseño, a diferencia de la estructura base los requerimientos de la cama metálica están orientados de mayor forma al mantenimiento y desgaste de las piezas que lo componen, esto debido a que se encuentran en contacto frecuente con la llama del plasma, los requerimientos del sistema son de forma espacial y omiten directamente lo mencionado al mantenimiento, se realizó un análisis, este se enfatizó en el desgaste, corrosión y facilidad de manufactura, se identificaron los posibles problemas y entorno de trabajo de la cama metálica. Se formuló una solución para la cama metálica que satisfaga todos los aspectos mencionados y que mitigue el daño y desgaste de los materiales expuestos a la llama del plasma. Posterior se diseñó dicha cama en Solidworks y se calcularon los esfuerzos presentes y las uniones necesarias, para así calcular los factores de seguridad del modelo, se aprobó el diseño y se definieron un grupo de especificaciones del sistema, se generaron los planos de las piezas a manufacturar y de ensamble, se elaboró un listado de componentes para la construcción. Debido al desgaste de este sistema se planteó un plan de mantenimiento y de reemplazo de piezas periódico.

4.3 CAMA DE AGUA

Hace referencia al sistema que tiene como objetivo mitigar los humos y gases tóxicos provenientes del corte además de evitar la excesiva generación de chispas y permitir un corte más limpio y de calidad sin rebabas.

Para este sistema no existe ningún requerimiento directo por parte de la empresa, no obstante, la exploración de mercado de las mesas cortadoras de plasma sobre las camas de agua utilizadas en las máquinas CNC cortadoras de plasma permitió definir los requerimientos básicos. La cama de agua, al igual que la metálica, está relacionada espacialmente con la estructura base. Se realizó un diseño con las medidas internas del rectángulo de trabajo de la estructura base, posterior se seleccionó los materiales necesarios para elaborar el sistema de

agua. Con el diseño y los componentes se procedió a realizar un análisis y verificar la funcionalidad y resistencia, se calculó los factores de seguridad en los puntos críticos del sistema, especialmente en las uniones con la estructura base. De igual manera que en la cama metálica se realizó un programa de mantenimiento y durante su diseño se consideró de manera especial el efecto de la corrosión y desgaste del sistema para reducir los costos y aumentar la utilidad. Se generó un grupo de planos para la construcción y ensamble de la cama de agua en la estructura base y una lista de materiales necesarios para la construcción.

4.4 EJE X

Sistema que comprende tanto el mecanismo que se desplaza en el eje X de la máquina como la guía misma, por ejemplo una rueda y un riel, en nuestro caso el dispositivo a transportar en los tres ejes es la boquilla que da forma a la llama del plasma. Se desarrolla sobre el lateral de la estructura base y debe contemplar el acople con el sistema eje Y.

A diferencia del sistema de agua y la cama metálica, el eje X se relaciona con la estructura base de manera externa, cuando los sistemas mencionados lo hacen de manera interna. Para poder desarrollar el diseño del eje X primero se realizó una exploración de mercado y se observó la variedad de mecanismos utilizados en las máquinas de diferentes proveedores, también se analizó la información y fotos obtenidas de la investigación realizada en el laboratorio de producción industrial, con estos datos se realizó una síntesis de posibles soluciones, se analizó en cada propuesta la funcionalidad, la distorsión, desgaste, vida, control de los componentes y cuales materiales se encontraban disponibles y que cumplieran con los requerimientos específicos y costo-eficientes propuestos para este sistema. Se seleccionó la propuesta que mejor cumplía con el grupo de requerimientos, luego se procedió a realizar un diseño en Solidworks tanto de la guía como para el mecanismo que se desplaza o carro movable. Cuenta con los primeros componentes eléctricos y electrónicos, se realizó un análisis de requisitos energéticos y de potencia para cada elemento, se seleccionó aquellos componentes que cumplen con las características mencionadas y principalmente con facilidad de adquisición. Se diseñó cada sub sistema presente en el eje X, se ensambló en Solidworks todos los elementos, se ejecutaron pruebas dinámicas para verificar el correcto funcionamiento y poder observar la interacción de los componentes, posibles choques y mejoras. Se realizó un análisis de cargas y se determinó los factores de seguridad en aquellos componentes sometidos

a cargas y esfuerzos, con el sistema aprobado se finalizó el diseño y se determinaron las especificaciones del mismo. Por último se confeccionó una lista de materiales necesarios y su guía de compra, planos de construcción y ensamble.

4.5 EJE Y

Contiene al mecanismo o carro que se desplaza sobre una guía en el eje Y, de igual manera que el eje X debe ser un sistema de precisión, conformado por componentes mecánicos y electrónicos. En el carro de este sistema se sitúa la estructura del eje Z.

Se realizó un análisis del eje X, el cual determinó el espacio disponible para la guía del sistema, cuenta con componentes electrónicos con características similares a los seleccionados en la estructura previa, se determinó un conjunto de requerimientos mínimos para el sistema y se realizó un análisis similar al eje X, de los materiales y procesos de manufactura disponibles. Con la información que arrojó la investigación de la CNC se planteó una solución con un mecanismo semejante pero por motivos económicos se realizó una serie de cambios, posterior se diseñó en Solidworks la guía y el mecanismo guiado o carro, luego se procedió a realizar un ensamble completo del sistema, de las piezas a manufactura, estándar y de los componentes eléctricos y electrónicos, se ensambló el eje Y con el eje X y se evaluó la interacción de los sistemas para detectar colisiones y posibles mejoras, se realizaron los cálculos necesarios y pruebas dinámicas requeridas para aprobar el sistema. Se aprobó el diseño y se realizó una lista de componentes, sus planos de construcción, de conexión eléctrica y ensamble.

4.6 EJE Z

Sistema ensamblado a partir del mecanismo o carro en movimiento del eje Y. Permite a la boquilla cortadora de plasma desplazarse en el único eje vertical de la máquina, contiene al sistema de activación y a la boquilla del plasma.

El eje Z se diseñó directamente del mecanismo guiado del eje Y, este determinó el espacio disponible. A partir de la información de la investigación y observando los mecanismos encontrados similares en las máquinas estudiadas en el estudio de mercado, se propusieron diferentes soluciones al sistema, se analizaron los requerimientos de funcionalidad, resistencia, desgaste y además de los materiales y procesos de manufactura disponibles, se procedió a escoger un sistema que cumpliera con los requisitos planteados. Al igual que en

los demás módulos mencionados se diseñaron en Solidworks las piezas necesarias para construir el mecanismo, las partes comerciales, como por ejemplo un servomotor, y aquellas a manufacturar, se ensambló en Solidworks el sistema completo, de igual manera que en el eje X y eje Y se realizó un estudio dinámico, se calcularon los esfuerzos presentes y cargas en el sistema para determinar los factores de seguridad en los puntos de interés. Con los cálculos realizados y aprobados se procedió a redactar un listado de componentes eléctricos y mecánicos necesarios junto con los planos para la construcción de las piezas a manufacturar y de ensamble mecánico y eléctrico requeridos.

4.7 SISTEMA DE ACTIVACIÓN

Hace referencia a los componentes encargados de detectar la placa metálica a cortar y brindar esta información al sistema total. Contiene componentes mecánicos, sistemas guiados y sensores.

Para diseñar el sistema de detección de la placa metálica o de activación de la boquilla en primera instancia se realizó una exploración de mercado y se analizó la información recopilada en la investigación de la CNC de producción industrial, se planteó un sistema que cumpliera con los requisitos de funcionamiento. Se llevó a cabo un análisis de funcionalidad del sistema, tanto de los componentes mecánicos como de los electrónicos y de la confiabilidad. Se analizó la facilidad de manufactura y adquisición de las piezas requeridas para la construcción y ensamble del sistema, los costos y la vida del mecanismo. Se diseñó en Solidworks las piezas a manufactura y las estándar, junto con los componentes electrónicos necesarios se realizó un ensamble de toda la estructura y se evaluó el correcto funcionamiento y precisión del sistema. Se formuló una lista de materiales necesarios, planos de las piezas a construir en el taller de la empresa, de ensamble mecánico y de conexión entre componentes.

4.8 SISTEMA ELECTRÓNICO GENERAL

Son todos aquellos componentes electrónicos y eléctricos necesarios para la alimentación y correcto funcionamiento del sistema completo. Abarca elementos importantes como el cableado del plasma, las fuentes de poder, el generador de plasma entre otros sistemas de relevancia.

Se analizó los módulos o partes básicas de la máquina, se realizó un listado de aquellos componentes necesarios para completar el funcionamiento de cada sistema, como una fuente de alimentación eléctrica externa por ejemplo, se utilizó para el diseño el sistema de plasma que actualmente posee la empresa Ficmams, es el principal dispositivo electrónico y requiere de un cableado especial en la máquina, el cual transporta un gas hasta la boquilla que genera el plasma. Se realizó un listado de los componentes necesarios provisionales y se propuso una lista de proveedores que cumplen con los requisitos económicos propuestos para el sistema. Posterior se diseñó en Solidworks todos componentes y se posicionó cada uno de estos en la máquina para evaluar el espacio ocupado y optimizar el sistema. Por último se genera el listado de materiales definitivos y un plano eléctrico general de conexiones entre los diferentes componentes.

5 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

5.1 REQUERIMIENTOS GENERALES

La máquina de precisión corte por plasma cuenta con una serie de requerimientos básicos propuestos por la empresa Ficmams, entre los cuales tenemos:

1. Debe cortar láminas metálicas rectangulares de un máximo de 3x1.5m, con un espesor que varía entre los 20mm a los 0.5mm.
2. Las piezas diseñadas que requieren manufactura se deben manufacturar con los procesos de disponibles en el taller de la empresa.
3. Debe ser diseñada reduciendo los costos de construcción y compra de componentes al máximo.
4. Debe contar con un espacio adecuado para la ubicación de los componentes eléctricos y del generador de plasma.
5. Los mecanismos de movimiento deben ser precisos.
6. Las piezas que conforman los conjuntos mecánicos deben ser resistentes y confiables.

5.2 REQUERIMIENTOS DE LA ESTRUCTURA BASE

1. Debe facilitar la implementación posterior de los sistemas del eje X y de la cama metálica.
2. Debe albergar y proteger los componentes eléctricos y energéticos de la máquina.
3. Debe ser construida utilizando materiales locales de bajo costo.
4. La estructura base debe ser capaz de nivelarse.

5.3 REQUERIMIENTOS DE CAMA METÁLICA

1. El sistema debe ser capaz de albergar placas metálicas rectangulares de un máximo de 3x1.5m y 20mm de espesor.
2. El sistema debe mitigar el daño de la llama cortadora de plasma.
3. Debe evitar la obstrucción de las sobras del corte de las placas metálicas.

5.4 REQUERIMIENTOS DE CAMA DE AGUA

1. El sistema debe estar sujetado a la estructura base.
2. La estructura debe ser capaz de soportar el peso del agua que contiene.
3. El sistema debe diseñarse con el espacio previsto de la cama metálica.
4. El sistema debe ser resistente a la corrosión
5. El sistema no debe permitir filtraciones de agua a los demás componentes de la máquina.
6. El sistema debe permitir el llenado y vaciado del agua que contiene.

5.5 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA A DE EJE X Y EJE Y

1. El sistema se debe diseñar a partir del espacio previsto en la estructura base (eje) y del eje X (eje Y).
2. La carrera del mecanismo guiado debe permitir el corte de láminas de 3m (eje X) y de 1.5m (eje Y) de ancho.
3. El sistema debe ser capaz de moverse en el eje de la máquina a una velocidad controlada.
4. Se debe conocer la ubicación en todo momento del mecanismo en movimiento.
5. El sistema debe mitigar el efecto de las vibraciones ocasionadas por el Stepper motor.

5.6 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA A DE EJE Z

1. El sistema se debe diseñar a partir del espacio previsto en el eje Y.
2. Debe contar con un sistema de acople para la boquilla cortadora de plasma.
3. La carrera del mecanismo guiado debe permitir a la boquilla contactar con la placa metálica.
4. Se debe conocer la ubicación en todo momento del mecanismo en movimiento
5. Debe contar con un espacio previsto para la colocación de los componentes del sistema de activación.

5.7 REQUERIMIENTO DEL SISTEMA DE ACTIVACIÓN

1. El sistema debe detectar la placa metálica.
2. El sistema debe ser capaz de posicionar a la boquilla para realizar el corte sobre la placa metálica.
3. Los componentes se deben ubicar en el espacio previsto en el eje Z.
4. El sistema debe ser capaz de enviar información al centro de control de la máquina.

5.8 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO GENERAL

- El sistema debe suministrar a la boquilla el gas y la corriente necesaria para generar el plasma.
- El sistema debe ser capaz de suministrar tensión a todos los componentes electrónicos de control en la máquina.
- El cableado de los dispositivos no debe interrumpir el proceso de corte.
- El sistema debe utilizar el espacio del gabinete para la ubicación del generador de plasma y la alimentación eléctrica.

6 DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

El desarrollo del proyecto se dividió en dos áreas: la solución mecánica y la solución eléctrica o de control, siendo la primera la de mayor énfasis en este proyecto. En el capítulo se dará una descripción detallada del área mecánica, donde se especifican las distintas piezas diseñadas para el conjunto y de aquellas estandarizadas y encontradas en el mercado, además de las distintas opciones manejadas en materiales y uniones.

6.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Se debe tener presente a lo largo del desarrollo del sistema los procesos de manufactura disponibles para la realización y construcción. En la empresa Ficmams se cuenta con los procesos mostrados:



Figura 6.1 Proceso de corte con disco.



Figura 6.2 Dobladora de láminas metálicas.



Figura 6.3 Proceso de taladrado.



Figura 6.4 *Proceso de torneado básico (no automático y sin rosca externa).*

6.2 ESTRUCTURA BASE

6.2.1 Consideraciones

La primera consideración a tomar en cuenta en la fase previa al diseño del conjunto mecánico fue la limitación del espacio existente para la ubicación de la máquina, este ronda los 5x4m y se debe disponer de un espacio para los operarios. Otra consideración hace referencia al peso de la máquina, no se definió como tal una cantidad exacta de la masa, pero si es de relevancia debido a la posibilidad de un futuro desplazamiento de la empresa a un nuevo taller, por lo que se debe evitar el sobredimensionamiento de los elementos.

Se debe considerar que la estructura base puede estar sujeta a problemas de corrosión y verse afectada por golpes provenientes de las placas metálicas cuando son retiradas o colocadas en la cama metálica. La estructura base debe ser resistente para soportar todo el peso que le suman los demás componentes y las mismas láminas que se trabajan y cortan, debido a esto se considera utilizar metales para la construcción de la máquina, analizando los requerimientos y la recomendación de los ingenieros de la empresa se selecciona trabajar con hierro estructural, es decir ASTM A 500 grado B, el cual es un material fácil de adquirir a nivel nacional, de bajo costo, facilidad de soldadura para las uniones y con una gran amplia variedad de perfiles en tubos. El material seleccionado cuenta con propiedades mecánicas deseables para la estructura no obstante, se debe realizar los cálculos para avalar el sistema y para ello son requeridos los datos mostrados en la tabla 6.1.

Tabla 6.1 Propiedades mecánicas del acero ASTM A500 grado B [14].

Propiedades mecánicas	ASTM A500 grado B
Resistencia a la tensión	400 MPa
Resistencia a la fluencia	318.15 MPa

De la gran variedad de perfiles y formas presentes en las ferreterías nacionales, se selecciona en Aceros Roag (empresa local y cercana a Ficmams) un tubo rectangular de 50.8x152.4mm, el cual presenta 3 diferentes espesores usualmente, 1.5mm, 1,8mm 2.38mm, siendo el primero el seleccionado para el diseño de la estructura base, de no cumplir con las características y

objetivos del sistema se puede utilizar un perfil diferente o simplemente aumentar el espesor del tubo y volver a realizar los cálculos. Estos tubos son construidos mediante la técnica de rollado en frío [5].



Figura 6.5 Perfil de tubo estructural 50.8x152.4mm espesor 1.5mm [21].

Además del perfil rectangular se planea utilizar otro cuadrado de 50.8x50.8mm con un espesor de 1.8mm del mismo material, también encontrando en la mayoría de ferreterías del país, este se planea utilizar donde el tubo de 50.8x152.4mm es muy grande y utilizarlo significaría aumento en el costo y limitación de espacio [5].



Figura 6.6 Perfil de tubo estructural 50.8x50.8in espesor 1.8mm [21].

Otro material que se utiliza en el diseño de la estructura base y a lo largo de los demás sistemas son láminas de hierro negro galvanizado (ASTM A36), estas son necesarias para proteger los sistemas electrónicos presentes en la máquina del agua, golpes, suciedad y otros elementos presentes en el taller de la empresa. La lámina estandarizada se obtiene en perfil rectangular

de 1.22x2.44m y el espesor puede ser de 1/16in, 1/8in 1/4in, son fáciles de adquirir en el mercado nacional y de bajo costo [5].



Figura 6.7 Láminas metálicas de diferentes espesores [21].

6.2.2 Diseño del conjunto mecánico estructura base

El diseño se realiza utilizando los tubos y las láminas seleccionados, además de barra roscada de 25.4mm de diámetro y su respectiva tuerca, se dispone en la empresa Ficmams de una cierra para el corte de los tubos y para realizar las uniones de las piezas de la estructura de soldadura tipo SMAW electrodo E60.

La herramienta principal de diseño es Solidworks, utilizando este software, se realizó un diseño guiado a partir de la exploración de mercado y de la investigación realizada en la máquina CNC que se encuentra en el laboratorio de procesos de manufactura. Primero se diseñó una estructura base utilizando solamente los siguientes materiales:

- Tubo de acero estructural perfil 50.8x152.4mm espesor 1.5mm.
- Tubo de acero estructural 50.8x50.8mm espesor 1.8mm.
- Lamina ASTM A 36 espesor 1.587mm.
- Lamina ASTM A 36 espesor 3.175mm.

Es muy importante resaltar que los diferentes tubos se venden en unidades de 6m, las láminas en unidades de 1.22x2.44m y que para cortar las materiales se planea utilizar los procesos de corte con disco y medición con cinta métrica mostrados anteriormente, además las uniones entre las distintas piezas se realizan con la soldadura mencionada, estas consideraciones se

deben contemplar en el diseño de la máquina, de lo contrario puede existir un excesivo desperdicio de materiales y aumentar los costos.

La estructura base mostrada en la figura 6.8 es el esqueleto de la máquina cortadora de precisión corte por plasma, en la parte superior de la base se encuentra un rectángulo de 3.5x1.8m, formado por 3 tubos de 50.8x152.4mm y 1 de 50.8x50.8mm cuyo objetivo dar soporte a los sistemas que se incorporaran en la máquina y permitir el acople de futuros mecanismos en sus laterales, cuenta con 6 patas de tubo 50.8x152.4mm que le proporcionan una gran estabilidad y capacidad de carga, entre estas se colocan tubos horizontales de 50.8x50.8mm que evitan deflexiones y brindan mayor soporte al sistema, se colocan 2 más de estos tubos de manera vertical para soporte y evitar curvaturas en los tubos horizontales de menor longitud que forman el rectángulo superior.

El gabinete está diseñado dentro del rectángulo principal, de manera que ocupa 0.4x1.5m de la estructura principal, reduciendo el espacio disponible interior del rectángulo superior a 3.1x1.5m, la altura total de la estructura formada de tubos es de 0.68m (altura ordinaria de una mesa), esto para facilitar a los operarios la colocación y retiro de las placas metálicas. Para realizar las uniones de la estructura, esta cuenta con cortes de 45° en los tubos que forman el rectángulo para facilitar el acople y fortalecer el proceso de soldadura, es decir hay mayor área de contacto entre las caras de los tubos debido al corte, además agrega estética al diseño y evita que exista una apertura o espacio hueco debido el perfil de los tubos (tubos perfil rectangular hueco). De las patas de la estructura principal, dos de estas están perforadas para facilitar el cableado entre los componentes que se encuentran en el interior del gabinete con aquellos que se ubican en el exterior de la máquina, específicamente en las caras laterales del rectángulo superior. También se ubican 2 tubos de 50.8x50.8mm horizontales junto a los agujeros en las patas de manera que sirven como protección y soporte del cableado requerido. La estructura cuenta con láminas de 1.587mm ubicadas verticalmente en los laterales de la mesa y en las puertas de los gabinetes, esto para proteger el equipo eléctrico del agua, polvo, chispas entre otros tipo de contaminación presente en el taller de un empresa que construye máquinas con procesos de manufactura variados y se colocan láminas horizontales de 3.175mm de espesor cuya función es la de servir como base y como tapa superior del gabinete, el espesor es mayor debido a que sobre ella descansan los equipos eléctricos. Se posiciona un tubo de

50.8x50.8mm en el centro de la estructura base que tiene como objetivo soportar la cama metálica y la cama de agua, no obstante, el sistema de agua también cuenta con sus tubos de soporte y reducen la carga que soporta el mencionado tubo, también tiene como función evitar la posibilidad de un pandeo vertical de los tubos de mayor longitud que conforman el rectángulo superior.

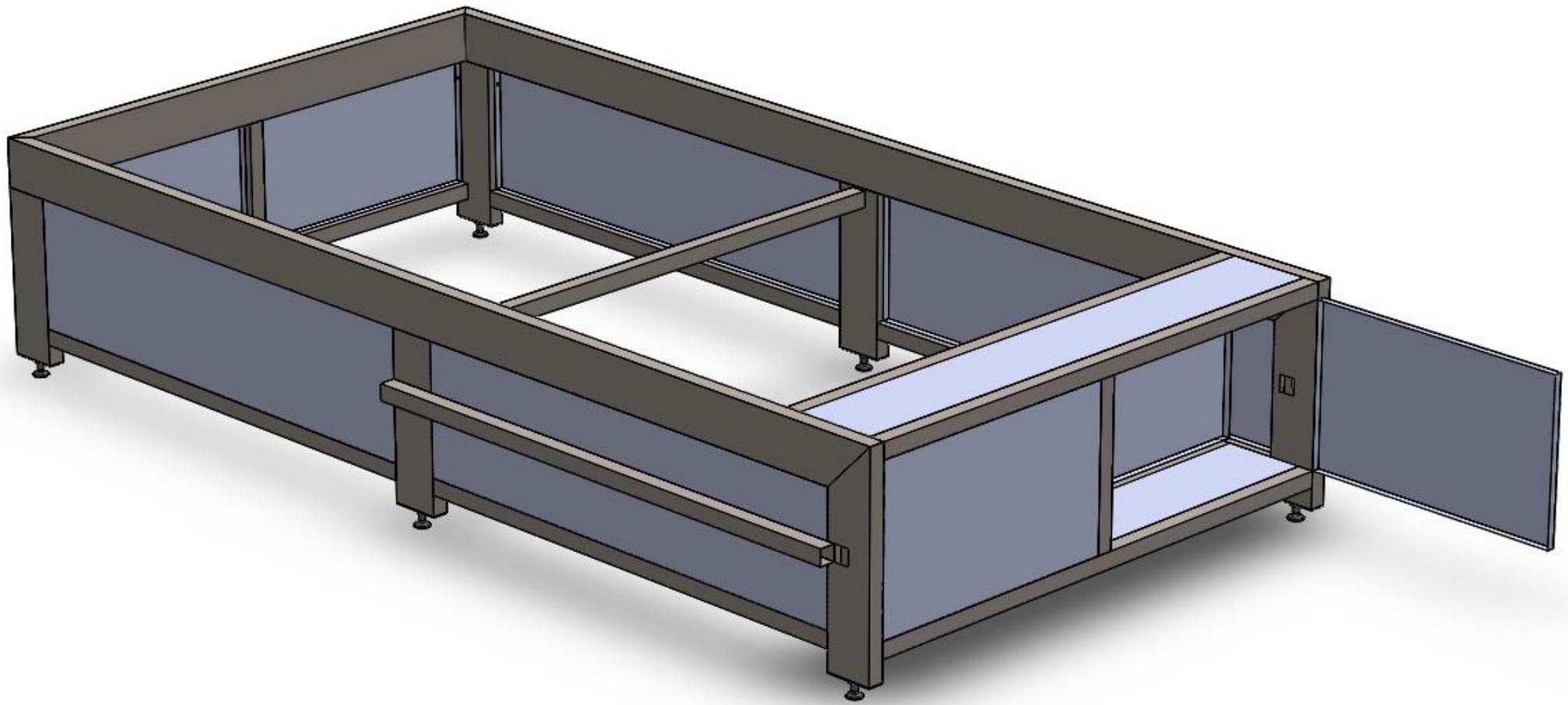


Figura 6.8 Estructura base de la máquina cortadora de precisión corte por plasma.

La estructura principal cuenta con un sistema que le permite nivelarse, esto para garantizar que la llama corte sobre una superficie plana y no inclinada, de lo contrario se podría ver afectado el proceso con regiones donde la llama no logro penetrar completamente el material o el caso contrario que puede resultar dañino para la cama metálica. El sistema debe ser capaz de soportar al igual el peso de todo el conjunto mecánico operando. Para esto se utiliza:

- Barra roscada de 25.4mm AISI 1020.
- Tuerca de 25.4mm de diámetro grado 5.
- Base de hule.
- Lamina 3.75mm de espesor.

La pata como pieza es un tubo con perfil rectangular hueco de 50.152.4mm y un espesor de 1.5mm, para poder garantizar el correcto funcionamiento se agrega un lamina de 6.35mm soldada alrededor de manera que tapa el hueco en el tubo, se suelda la tuerca de 25.4mm de diámetro de rosca a la placa de 6.35mm de espesor que tiene un agujero para permitir el paso de la barra de manera se puede ingresar alrededor de unos 5cm de barra y mediante la rosca que posee y la tuerca permita variar la altura de la pata. La lámina pequeña de hule se puede adherir a la placa con un pequeño tornillo, esta tiene como propósito aumentar la fricción. Este juego de rosca y barra que se observa en la figura 6.9, se utiliza en las seis patas de la estructura base, lo cual permite al sistema completo nivelarse sobre una superficie y mitigar las diferencias milimétricas que existan en las patas debido a los procesos de corte y soldadura.

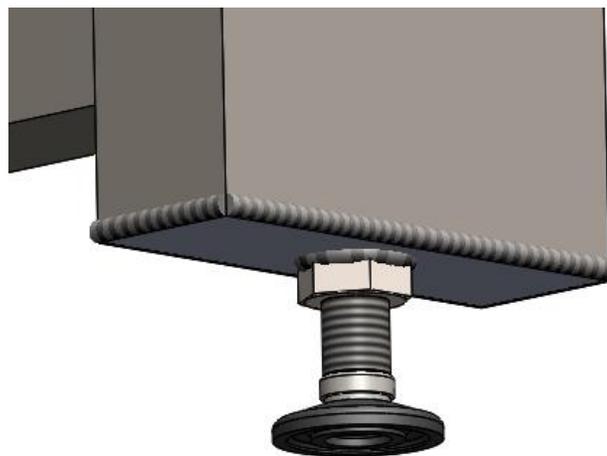


Figura 6.9 Pie ajustable para patas de la estructura base.

6.2.3 Uniones

Las uniones que sujetan a los tubos de la estructura principal están realizadas enteramente por la soldadura SMAW con electrodo E60 tal como se aprecia en la figura 6.10.

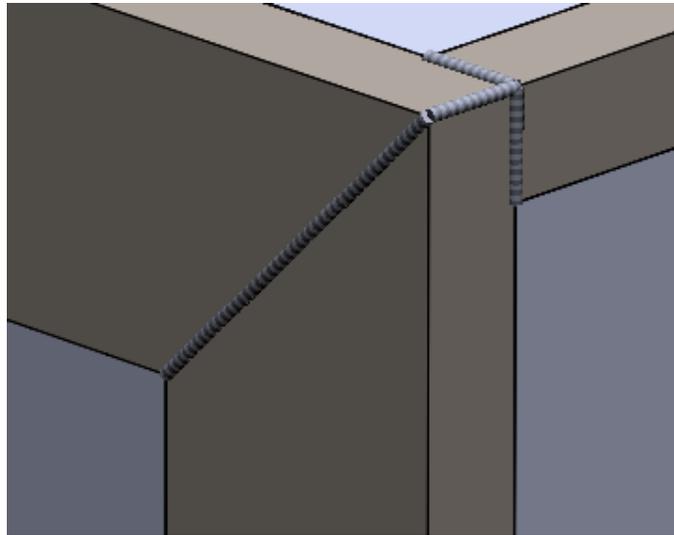


Figura 6.10 Unión de soldadura entre los tubos de 50.8x152.4mm y 50.8x50.8mm.

Por su parte, en la figura 6.11 se observa que cada lámina se sujeta a la estructura de tubos utilizando de tornillos, excepto las horizontales, es decir la base y la tapa del gabinete que son soldadas a la estructura, las demás son removibles como medida de prevención para poder realizar mantenimiento por debajo de la máquina si fuera necesario, estos tornillos simplemente son de sujeción y no se ven sometidos a ninguna esfuerzo directo, se utilizan tornillos de 6.35mm y 25.4mm de longitud para realizar la unión.

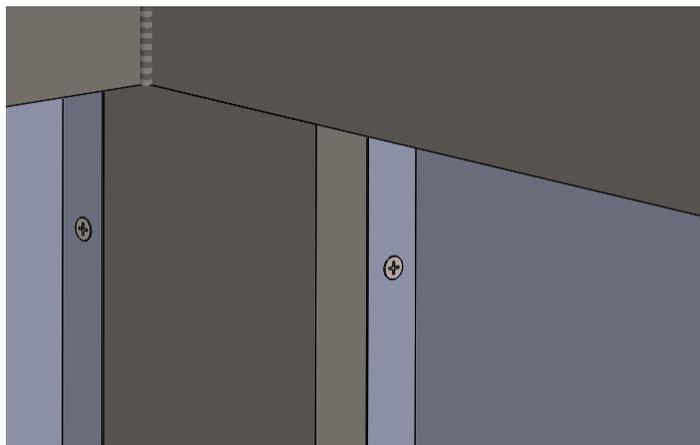


Figura 6.11 Unión de las láminas con tornillos de 6.35mm.

6.3 CAMA METÁLICA

6.3.1 Consideraciones

La cama metálica se diseñó para cumplir con los requisitos propuestos por la empresa, optimizando al máximo el uso de los materiales empleados. Se debe recordar que es la estructura o sistema con mayor desgaste y la que sufre los daños directos del corte de la llama del plasma y que cuenta con piezas removibles, las cuales se deben sustituir en un determinado periodo. De igual manera que todos los sistemas existen imprecisión en el proceso de manufactura de las piezas y esto se debe considerar en el diseño.

Este sistema (configuración de láminas delgadas) está en contacto con el plasma y se encuentra sumergido en casi su totalidad bajo agua como se muestra en la figura 6.12.

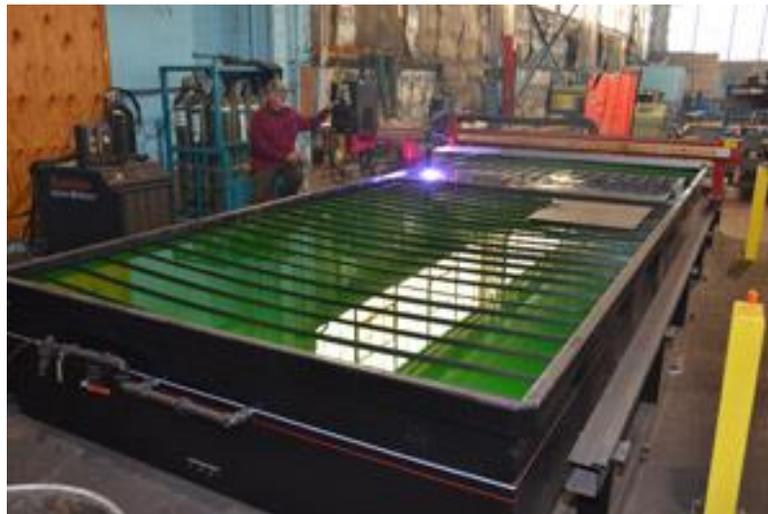


Figura 6.12 Láminas de la cama de agua sumergidas casi en su totalidad [19].

El sistema se encuentra casi en su totalidad sumergido para reducir los gases tóxicos generados, disipar las chipas y agregar calidad al corte, no obstante, esto provoca que las piezas metálicas se vean expuestas a la corrosión, es decir la cama metálica se ve afectada por el efecto de la llama y la corrosión del agua simultáneamente.

Se debe considerar en el diseño que la estructura debe soportar el peso de las láminas empleadas, la más grande a utilizar en la empresa Ficmams es una placa metálica de 1.5x3m

con un espesor de 20 mm, utilizando la herramienta de Solidworks se obtiene que la masa de la placa mencionada es de alrededor de 700kg, es decir un peso de 6870N.

6.3.2 Diseño del conjunto mecánico cama metálica

Para cumplir con los objetivos propuestos para cama metálica se realizó primero un grupo de pruebas que tiene como propósito utilizar aprovechar de la manera más óptima el material utilizado para las láminas o tubos que se encuentran en contacto con la llama.

Se descartó utilizar tubos para formar este sistema debido al mayor costo de los tubos y que el perfil rectangular al tener sus caras planas ocasiona que haya más material en contacto directo con la llama, y como se deben estar remplazando no es óptimo y costoso. Se utilizó la herramienta de Sketch en Solidworks para plantear posibles soluciones.

El primero diseño visto desde la cara superior de mesa es el mostrado en la figura 6.13.

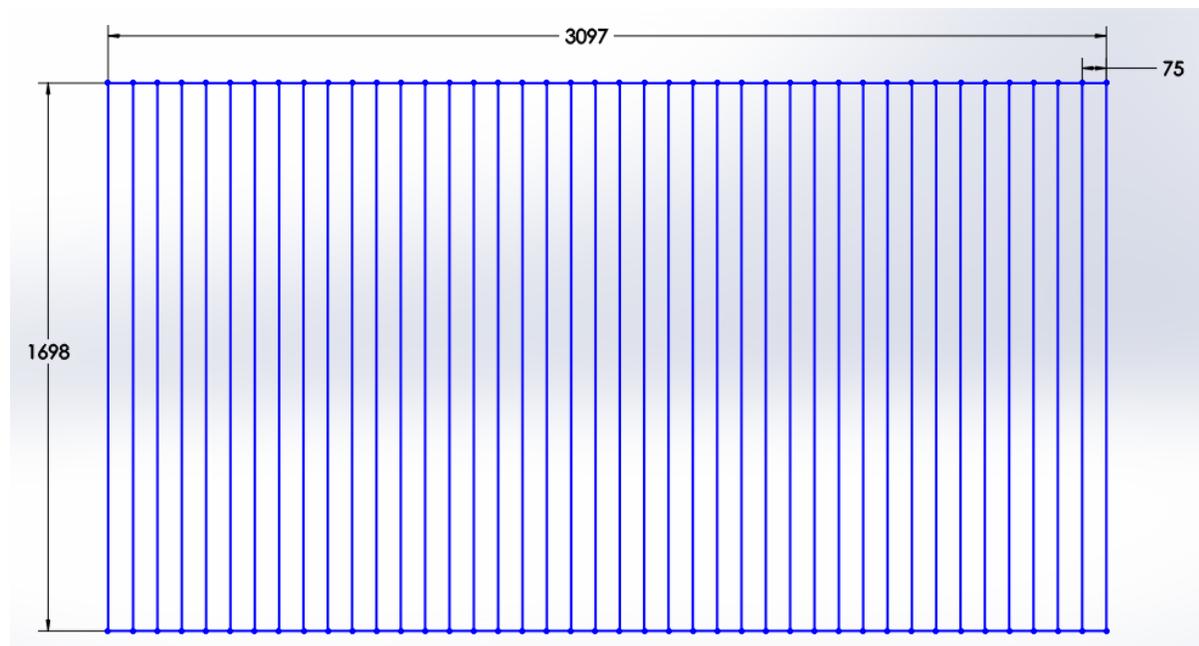


Figura 6.13 Primera prueba para la colocación de las láminas metálicas de la cama de agua

El rectángulo mostrado es el área de trabajo, está se definió desde el diseño de la estructura base, donde se aprecia que si permite colocar fácilmente las láminas de trabajo requeridas de 1.5x3m y cuenta además con un pequeño espacio sobrante para su manejo. Si se entiende que cada línea representa a una lámina que conforma la cama metálica, se tiene que estas se

encuentran separadas por una distancia de 75mm para permitir la caída de los sobrantes y cada una posee de longitud 1698 unidades(¿??) aproximadamente.

La figura 6.14 ejemplifica de manera representativa la ubicación de las láminas en la máquina cortadora de precisión corte por plasma.



Figura 6.14 Láminas de la cama metálica ubicadas en la cortadora de plasma [17].

La longitud de estas placas metálicas representa un problema porque se deben cortar de una lámina de 1.22x2.44m, es decir si la longitud que se requiere es de 1.698m no basta cortar en la dirección de los 1.22m, se requiere cortar entonces utilizando los 2.44m, donde existe un residuo de 742mm, es una gran cantidad de lámina que no se utiliza en ningún otro sistema por las dimensiones del sobrante, de manera que se aumenta el costo debido a que no se aprovecha de la mejor manera el material. También se considera que debido al sentido de orientación de las barras estas se ven más expuestas a la llama, cuando la boquilla se mueve solamente en el eje X por ejemplo puede de cierta forma cortar sobre una lámina solamente, es decir la llama se mueve sobre el borde de la lámina y en la misma dirección debido a la mencionada orientación de las placas metálicas, lo anterior depende esencialmente de los cortes que se realicen, no obstante, los ingenieros de la empresa Ficmams recomiendan mitigar este daño porque muchos de los cortes en láminas metálicas que se suelen hacer en la empresa son rectos, es decir en el eje X y Y de la máquina.

Debido a los problemas que presenta la primera posible solución de la cama metálica se plantea una ubicación diferente de las láminas, la cual se muestra en la figura 6.15.

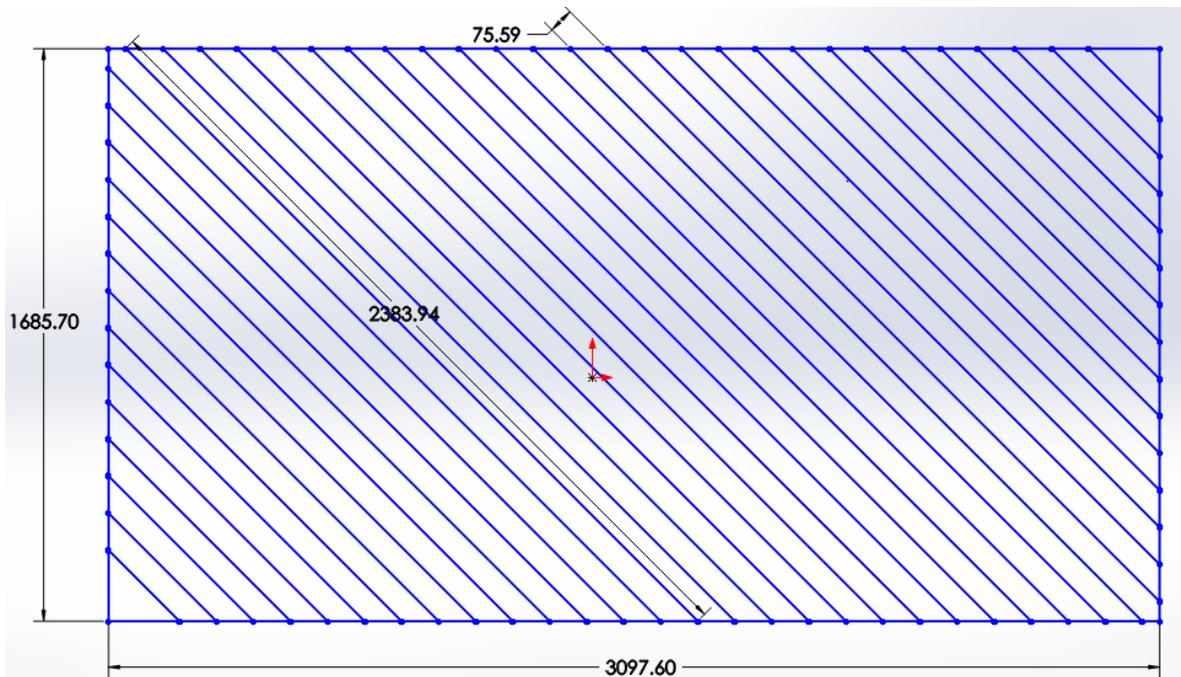


Figura 6.15 Orientación de las láminas ubicadas en la cama metálica.

Las líneas que representan las láminas se colocaron con un ángulo de 45° , esto reduce en gran magnitud el desgaste mencionado por los cortes rectos en las placas metálicas y prolonga la vida del sistema. La lámina de mayor longitud es de 2.384m, si recordamos que el tamaño de las placas metálicas que se venden en el mercado es de 1.22x2.44m, se puede apreciar que si se cortan las piezas en la dirección de la medida de 2.44m, el sobrante o residuo del corte es mínimo. El mayor segmento de placa metálica requerida para la estructura es de 2.384m y la menor es de aproximadamente 300mm, la longitud de cada pieza varía entre estas 2 medidas. Debido a que se seleccionó un ángulo de 45° para la orientación de las láminas se en el diseño se garantiza que, al cortar los segmentos para conformar la cama metálica aquellos de mayor longitud generan un sobrante o residuo que se puede utilizar para cortar las piezas de menor longitud, es decir se aprovecha al máximo el material, para comprender de una mejor manera este proceso de corte se debe analizar la figura 6.16. La lámina metálica en gris cuenta con unas dimensiones de 1.22x2.44m y de espesor (medida saliente de la hoja) de 1.587mm, cada rectángulo dibujado que se aprecia tiene 50.8mm de ancho y un largo de 2.384m el mayor y disminuye gradualmente, cada uno de estos representa una pieza o lámina que conforma la estructura de la cama de metálica, de los segmentos mayores el residuo es mínimo pero se puede apreciar fácilmente que al cortar por ejemplo una lámina de 2.072m, el residuo sobrante

es lo suficientemente largo para permitir cortar otra pieza que sea menor a 356mm, esta sería la de 300mm y de igual forma ocurre con todas las piezas, de manera que solo requieren comprar dos láminas de 1.22x2.44m para obtener todos los segmentos necesarios, la primera opción requería un total de 4 placas metálicas y el residuo de los cortes es obsoleto y por esta razón se utiliza la opción 2 para el acomodo de las láminas en el sistema.

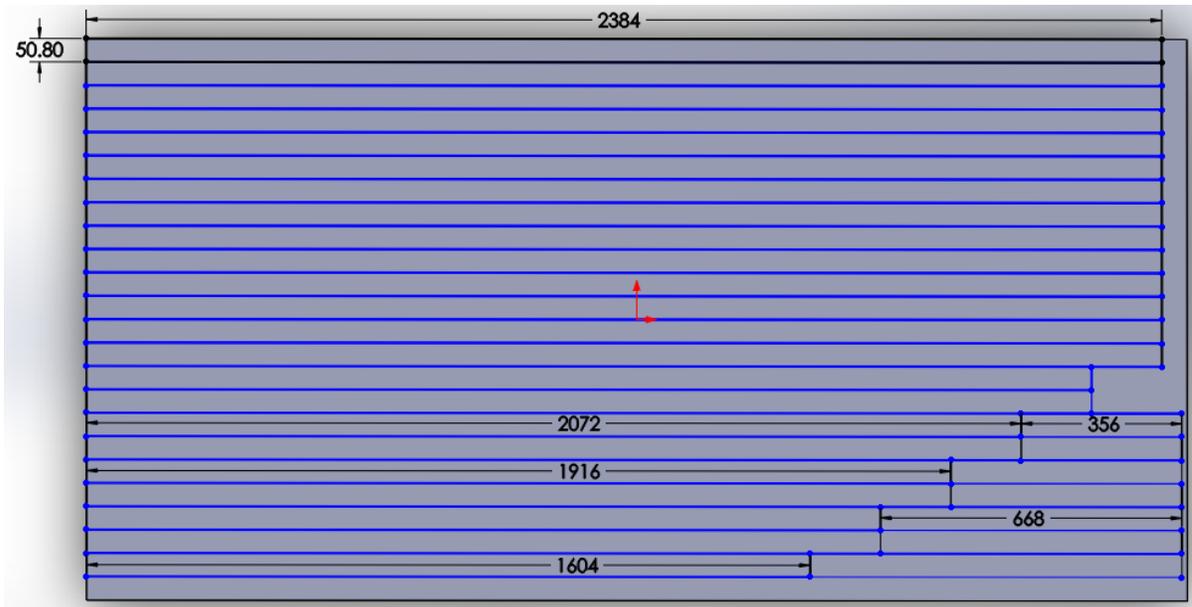


Figura 6.16 Distribución de las láminas a cortar para la construcción de la cama metálica.

Posterior a la selección de la orientación de las láminas se realizó el diseño de los soportes donde se acuestan o sujetan estas placas metálicas. Se utilizó un angular, es decir una placa metálica en forma de L, esto para facilitar la unión con la cama de agua, la pieza angular cuenta con cortes realizados en un ángulo de 45°, mostrado en la figura 6.18, y con un espesor de 1.58mm que tiene como objetivo soportar los segmentos que forman la cama metálica.



Figura 6.17 Angular metálico de un 9.35mm de espesor [5].

Se diseñó una configuración rectangular que utilizo piezas angulares, se empleó la orientación y espacio entre las láminas en la figura 6.17, estas láminas que son representadas por líneas de un espesor equivalente al de la placa metálica utilizada. Cada cuenta con cortes espaciados a 109mm, esto para que la distancia perpendicular entre láminas sea alrededor de 75mm y que permita la caída de los residuos del corte en las placas.

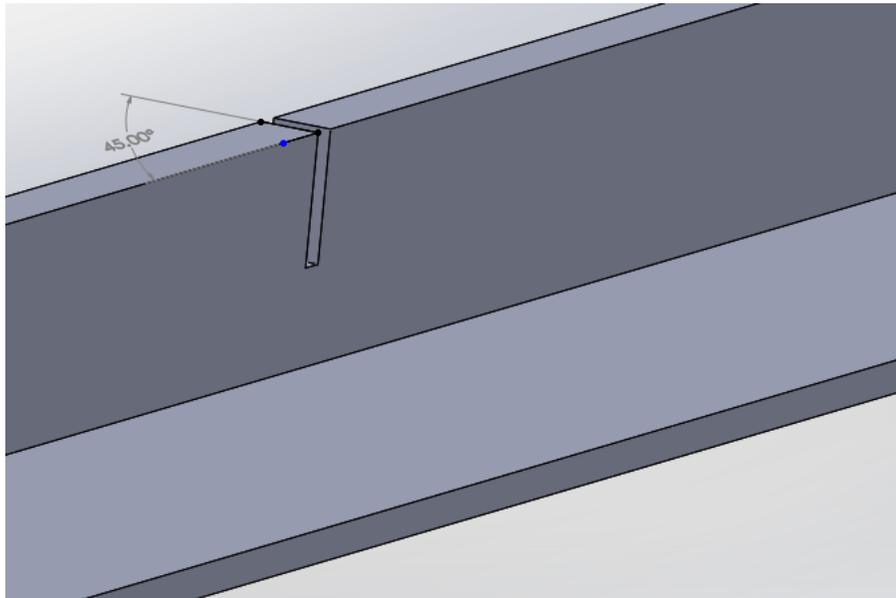


Figura 6.18 Corte de 45° con un ancho de 1.587mm sobre el angular.

Se construyó un rectángulo con cuatro angulares y donde cada pequeña línea es un corte igual al mostrado anteriormente y observado en la figura 6.19.

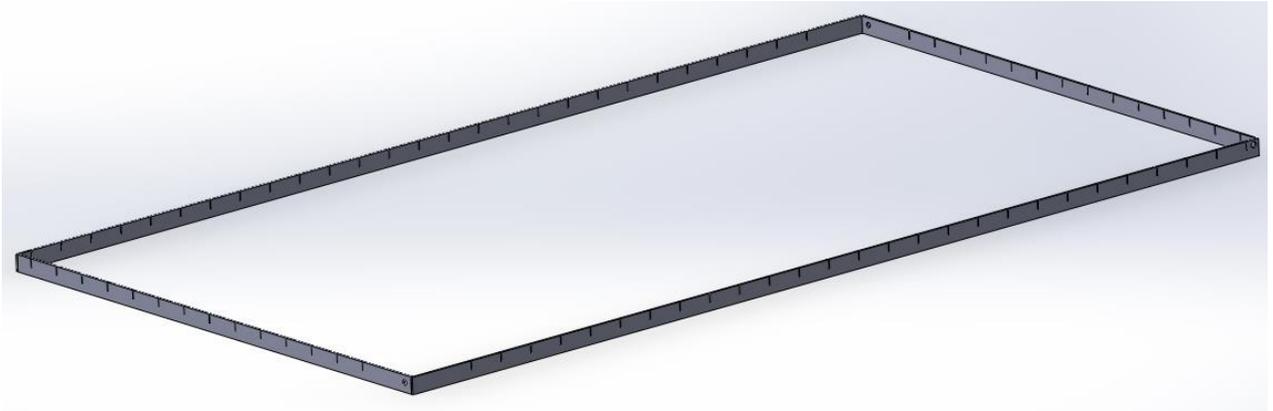


Figura 6.19 Rectángulo formado de angulares para posicionar placas metálicas.

El la figura 6.21 se observa el diseño y la colocación de la cama metálica en la cortadora de plasma, esta se encuentra a 1cm por debajo de la altura máxima del rectángulo de trabajo, lo anterior para evitar que el agua se salga con facilidad del sistema y ocasione corrosión en otros elementos metálicos. Un total de cuarenta y uno láminas brindan el soporte para las placas metálicas a cortar.

6.3.3 Uniones

Se colocó en el sistema tres tubos de 25.4x25.4 mm en dirección opuesta a las placas y que se encuentran soldados en sus extremos al rectángulo por la parte interior, estos funcionan como soporte de las láminas, es decir el angular sostiene las piezas en los extremos y los tubos dan soporte en los puntos intermedios. Los angulares se encuentran soldados a la estructura base, específicamente a los tubos de 50.8x152.4mm por medio de soldadura SMAW electrodo E60.

El diseño de la cama metálica cumple con los requisitos propuestos, ya que cada segmento se puede retirar con facilidad, debido a que se encuentran simplemente apoyadas en los angulares y en los tubos como se aprecia en la figura 6.20, no obstante, su dimensión y el ajuste que se obtiene con el corte de 45° evita el pandeo. La longitud de cada segmento como ya se analizó aprovecha de manera óptima la lámina que se compra al proveedor, no obstante, el sistema debe ser capaz de soportar el peso total de la placa metálica a trabajar y cuando esta se

posiciona sobre la cama puede que no haga contacto con todos los cuarenta y uno segmentos, es decir para el cálculo de los esfuerzos se debe utilizar un valor recomendado por los ingenieros de la empresa de alrededor treinta y cinco láminas de 1.587mm de espesor cada una, si se requiere el diseño cuenta con flexibilidad a los cambios, es decir se puede aumentar fácilmente el espesor de las placas metálicas y así aumentar la resistencia del sistema de ser necesario. Es importante denotar el espacio que todavía existe debajo de la cama metálica, este se planteó utilizar para dar forma al sistema de la cama de agua, que tiene como propósito sumergir casi en su totalidad las láminas.

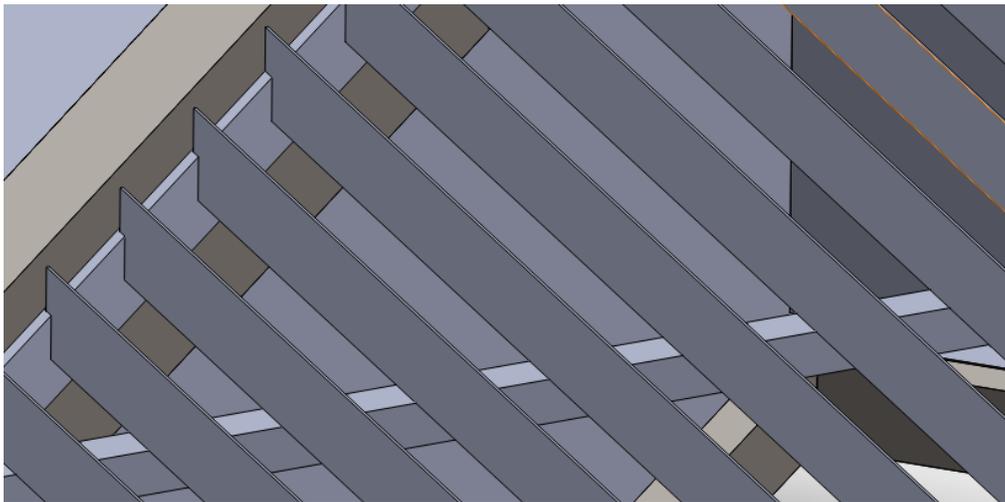


Figura 6.20 Apoyo de los segmentos de lámina metálica en los angulares y en el tubo de 25.4x25.4mm

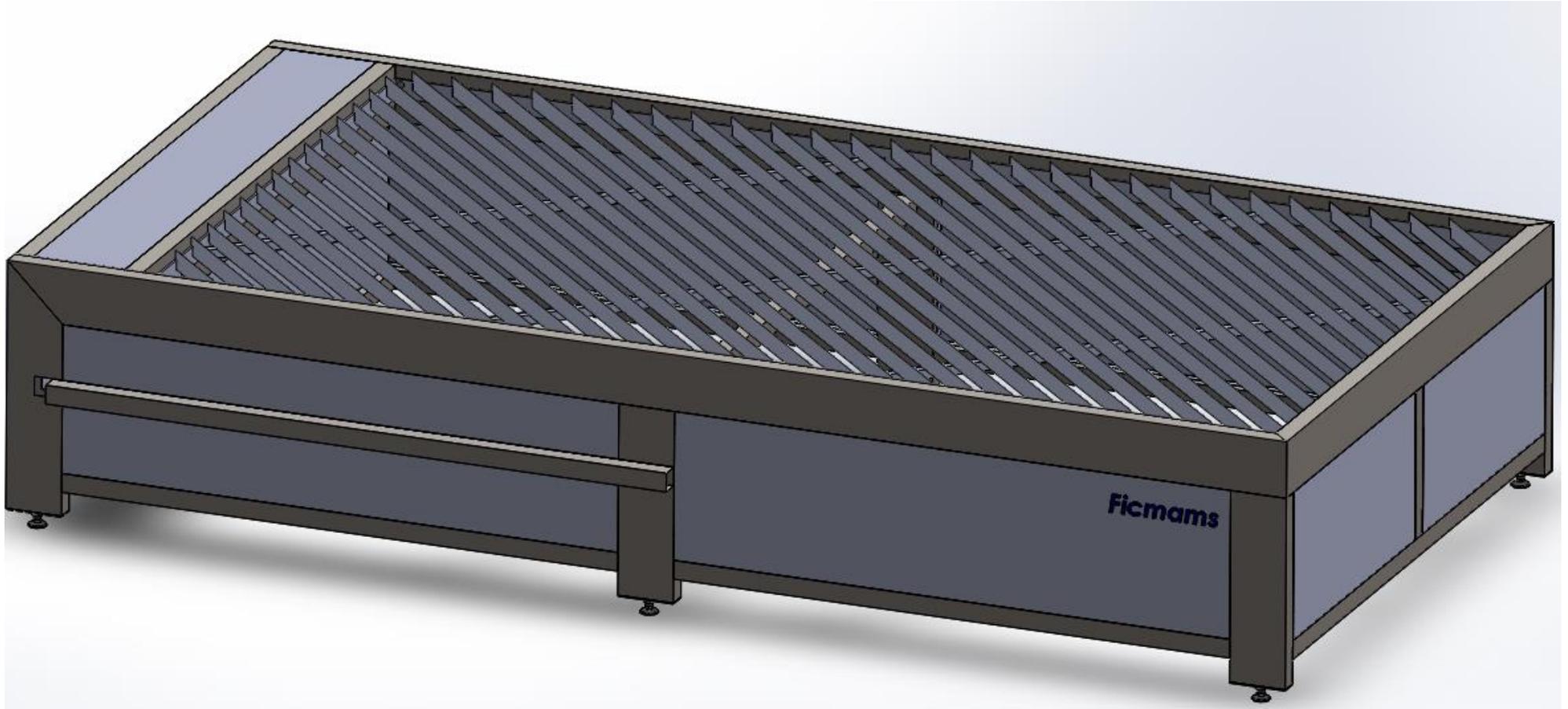


Figura 6.21 Cama metálica colocada en la máquina cortadora de precisión corte por plasma.

6.4 CAMA DE AGUA

6.4.1 Consideraciones

Para el diseño de la estructura metálica que contiene el agua del sistema se consideró el efecto de la corrosión y la carga debido al peso del volumen de agua almacenado. Otra consideración hace referencia a la posibilidad de filtraciones de agua y de daños en componentes cercanos al sistema. También se debe tener presente que la cama metálica está delimitada espacialmente por la estructura base.

6.4.2 Diseño del conjunto mecánico de la cama de agua

La estructura se diseñó por debajo de la cama metálica, pero permite que el agua contenida sumerja en su totalidad a las láminas o segmentos que esta contiene como se ejemplifica en la figura 6.22.



Figura 6.22 Ejemplo de láminas metálicas sumergidas en agua [16].

Se utilizó lámina rectangular de 1.587mm de espesor, tubos de 50.8x50.8mm y de 25.4x25.5mm con 1.8mm de espesor, estos se utilizaron para formar una estructura que permitió colocar la lámina y retener el agua. También uso para las uniones del sistema soldadura SMAW E60.

La figura 6.23 es el primer diseño de la cama de agua se realizó con el espesor de 1.8mm, no obstante, con la herramienta de Solidworks es posible modificar este valor de ser necesario, en el mercado se puede encontrar desde 1.5mm, 1.8mm hasta 2.38mm si se requiere un mayor espesor.

Se colocó un par tubos de 50.8x50.8mm a lo largo de la estructura base, se encuentran en los extremos de la cama metálica, perpendiculares a los tubos de 25.4x25.4mm.

Estos tiene como función soportar y brindar estabilidad a la lámina encargada de formar la base de la cama de agua, pero debido a la gran cantidad de líquido y el peso que representa no son suficientes y se debió colocar también tubos más pequeños de manera perpendicular, en la figura 6.23 se observa la colocación de los componentes mencionados, se utilizó un total de ocho tubos de 25.4x25.4mm y de 1.698m de longitud.

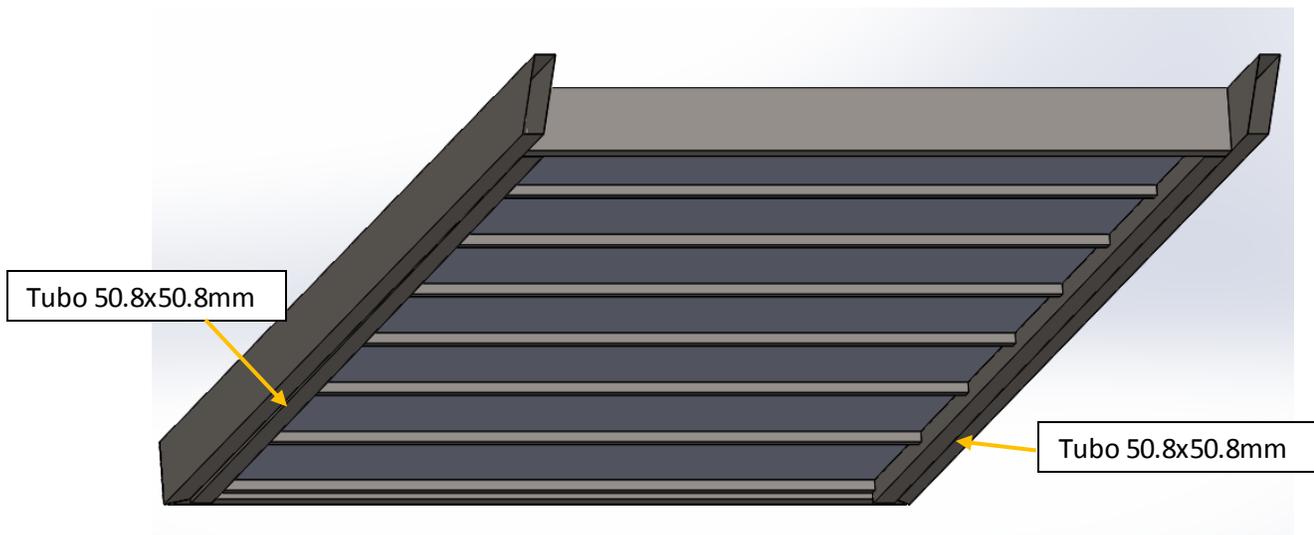


Figura 6.23 Ubicación de los tubos de 50.8x50.8mm y 25.4x25.4mm en la cama metálica.

El diseño de la cama de agua cuenta con una característica importante, los tubos señalados no se encuentran totalmente horizontales, es decir cuenta con un pequeño desnivel mostrado en la figura 6.24, donde se aprecian los extremos del tubo mencionado y el pequeño saliente de tubo, la diferencia de inclinación es de 1cm, este tiene como propósito permitir el movimiento del agua, para facilitar el vaciado y llenado del sistema.



Figura 6.24 Desnivel d en el tubo de 50.8x50.8mm a) extremo con 1cm de saliente y b) extremo sin saliente.

Para el vaciado y llenado del agua la cama de agua se utilizó un sistema de manguera con doble propósito, la entrada es a su vez la salida, se utilizó una válvula de paso como la mostrada en la figura 6.25 para permitir controlar el flujo

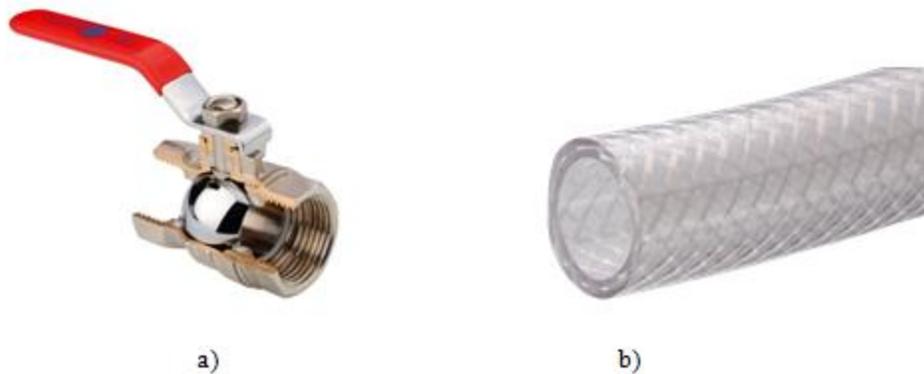


Figura 6.25 Imagen de a) válvula de paso de bola y b) manguera PVC [36,37]

Se le añadió en los extremos de la manguera de PVC dos acoples metálicos, uno de estos se encuentra cerca a las patas de la estructura base para facilitar la conexión con una manguera o alguna dispositivo similar que permita el vaciado y llenado del agua. Este sistema llave y manguera está colocado de manera que el desnivel facilite el vaciado del agua como se aprecia en la figura 6.26.

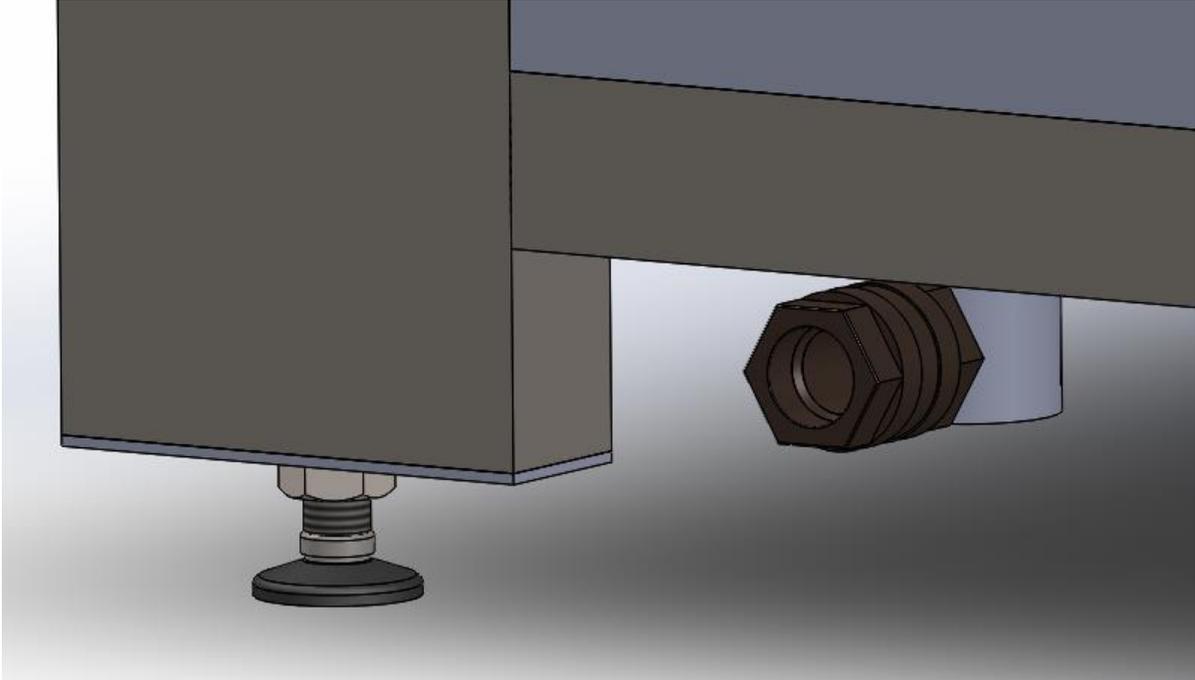


Figura 6.26 Acople para vaciado y llenado del agua.

6.4.3 Uniones

Los tubos de 50.8x50.8mm que presentan la inclinación en su ensamble se encuentran totalmente soldados a los de 152.4x50.8mm, posterior se realizó la unión también utilizando soldadura de los tubos pequeños con los inclinados como se muestran en la figura 6.27.

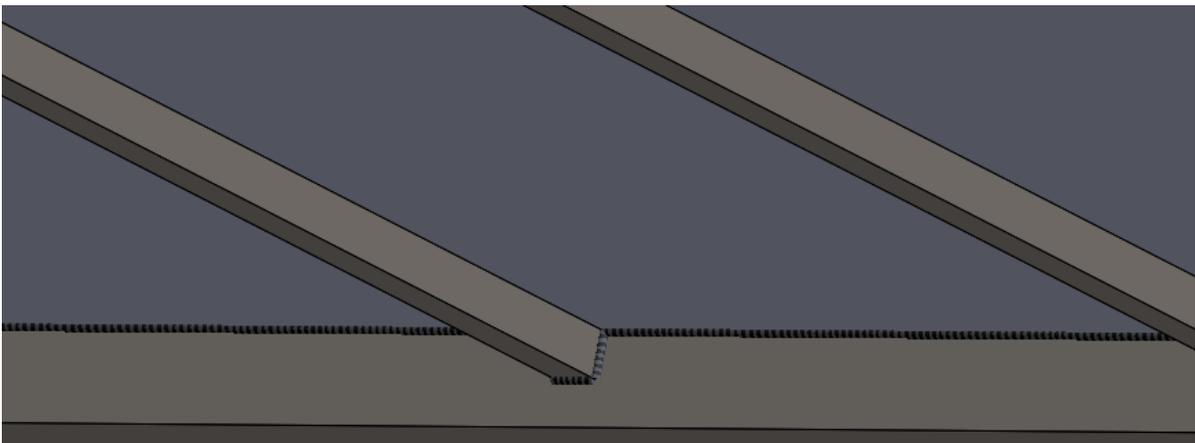


Figura 6.27 Unión soldada entre los tubos y la lámina metálica.

La lámina metálica de espesor 1.587mm se soldó en todo su perfil rectangular, esto debido a que no deben existir filtraciones y a la masa de agua, estimada en 550 kg con el cálculo del volumen diseñado en la cama metálica, este es un cubo de 1.698mx3.097mx0.097m. La

soldadura de la lámina se hizo por debajo, no obstante, en la cara superior se debe agregar pintura anticorrosiva para mitigar el efecto del agua y cubrir la soldadura y prolongar su vida.

6.5 EJE LARGO

6.5.1 Consideraciones

La primera consideración y más importante señala que el sistema se debe realizar dos veces, esto debido a que se coloca en cada lado largo de la estructura base. Luego debemos considerar la disponibilidad de materiales para la confección del mecanismo, ya sea que se puedan obtener a nivel nacional o comprar por internet. De igual manera que todos los demás sistemas de la máquina cortadora de plasma los procesos de manufactura son los que se encuentran en la empresa Ficmams.

Existe otra consideración relacionada con el aspecto económico y la precisión del sistema, el mecanismo debe ser preciso y permitir a la boquilla cortar y desplazarse a velocidades exactas y variables, es decir requiere de elementos de control y electrónicos.

6.5.2 Diseño del conjunto mecánico del sistema de eje Largo

Se partió del hecho esencial de que se requiere un motor para generar el movimiento, de la exploración de mercado y la investigación se seleccionó un Stepper motor debido a que permite el control que requiere el sistema, no se utiliza un motor DC o AC porque controlar la velocidad del eje resulta muy complicado, el Stepper motor recibe una señal de pulsos la cual controla el giro del motor y otra para la dirección, es decir cuenta con 4 (dos de alimentación y dos de control) cables para operar, semejante al encontrado en la investigación en producción industrial y que se observa en la figura 6.28.



Figura 6.28 Stepper motor de cuatro cables encontrado en la máquina CNC de producción industrial.

Para cumplir con los requerimientos planteados para el sistema se plateó un grupo de propuestas para resolver el mecanismo de movimiento del eje largo. Se realizó un análisis de cada propuesta.

La primera opción que se analizó fue utilizar un juego de fajas que se acoplaran al eje del motor por medio de guías y poleas, y que se encontraran a lo largo del eje largo, en la figura 6.18 de manera ilustrativa se observa un sistema con una única faja dentada que se acopla al eje del motor y permite el movimiento.

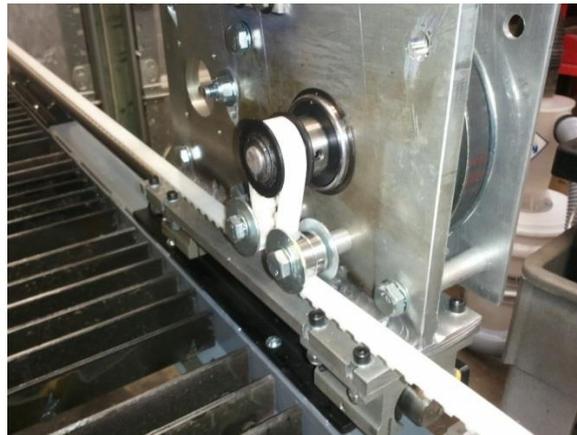


Figura 6.29 Sistema de faja dentada [20].

Se analizó también un sistema de piñón y cremallera, donde el piñón es un engrane que se acopla al eje del motor, similar al acople mostrado en la figura 6.30 y permite que este se mueva sobre la guía donde se encuentra la cremallera o engrane lineal.



Figura 6.30 Piñón y cremallera [21].

En la máquina CNC de producción industrial se cuenta con este sistema de cremallera tal y como se observa en la figura 6.31 y que requiere de constante lubricación.



Figura 6.31 Cremallera empleada en la máquina CNC de producción.

Una tercera opción propuesta por los ingenieros de la empresa Ficmams consiste en utilizar una cadena que cumple una función similar a la faja y que igual manera se acopla al eje del motor, requiere también de lubricación, este sistema se observa en la figura 6.32.



Figura 6.32 Sistema de cadenas con engrane [22].

Se realizó un análisis de las tres propuestas, la primera de faja dentada requiere de piezas de precisión, y de una faja de gran longitud que no se encuentran en el país y se deben comprar en el extranjero, esto agrega costos al sistema, además las fajas requieren de mucho mantenimiento ya que se pueden romper o estirar fácilmente. La tercera opción a diferencia de la faja es más resistente y menos propensa a dañarse, no obstante, el sistema tiene un juego que agrega imprecisión, es decir este mecanismo de cadena y engrane debe encontrarse ensamblado

con muchísima precisión si no debido a la posible falta de tensión en la cadena el avance o movimiento del sistema se puede ver comprometido, y a diferencia de las fajas es posible un descarrilamiento, es decir al igual que una bicicleta la cadena puede salirse de la guía del piñón y provocar daños en el equipo.

Se seleccionó entonces el sistema de piñón y cremallera debido a que se encuentra fácilmente en el país, ya que es utilizado portones eléctricos, no es costoso y a diferencia de la faja y la cadena es mucho más resistente y debido a la naturaleza del mecanismo de piñón y cremallera este no se ve afectado por posibles falsos agarres (patinar) o descarrilamientos, además de que al ser un sistema mucho más rígido y construido en metal es capaz de soportar mayores cargas lo que aumenta de gran manera la vida del sistema.

Se realizó una pequeña exploración de mercado y se encontró que la empresa Accesos Automáticos [23] ubicada cerca de la empresa Ficmams vende mecanismos de piñón y cremallera a un precio muy accesible. Los ingenieros de la empresa recomendaron y aprobaron esta solución en su totalidad, debido a la facilidad de adquisición y que han trabajado previamente con la empresa mencionada.

El piñón que se utilizó para el diseño y que se vende en la empresa Accesos Automático al igual que la cremallera se muestran en la figura 6.33 y 6.34.



Figura 6.32 *Piñón o engrane metálico [23].*



Figura 6.34 Cremallera metálica con agujeros para su ensamble [23].

Estos dos componentes se utilizaron de manera fundamental para diseñar el sistema, se hizo el diseño guiado con las medidas y características de estos. Se realizó una cotización en la empresa Accesos Automáticos para obtener la información requerida y poder realizar el diseño.

La cremallera es acero galvanizada delgada de 8x30mm, y el piñón solo se conoce en la empresa el tipo, es un BK1200 marca CAME [23]. Se hizo entonces una búsqueda en la red con la información obtenida de la cotización de la empresa Accesos Automáticos para determinar el paso y material del piñón y se encontró un documento donde se especifica que el modulo tanto de la cremallera y el del engrane es cuatro, es decir el valor inverso del paso y que el material es de acero AISI 1020 galvanizado [25].

La investigación no arrojó todos los datos requeridos para realizar el diseño del piñón, se realizó una visita a la empresa y se tomó una serie de medidas en el componente necesarias mostradas en la figura 6.35.

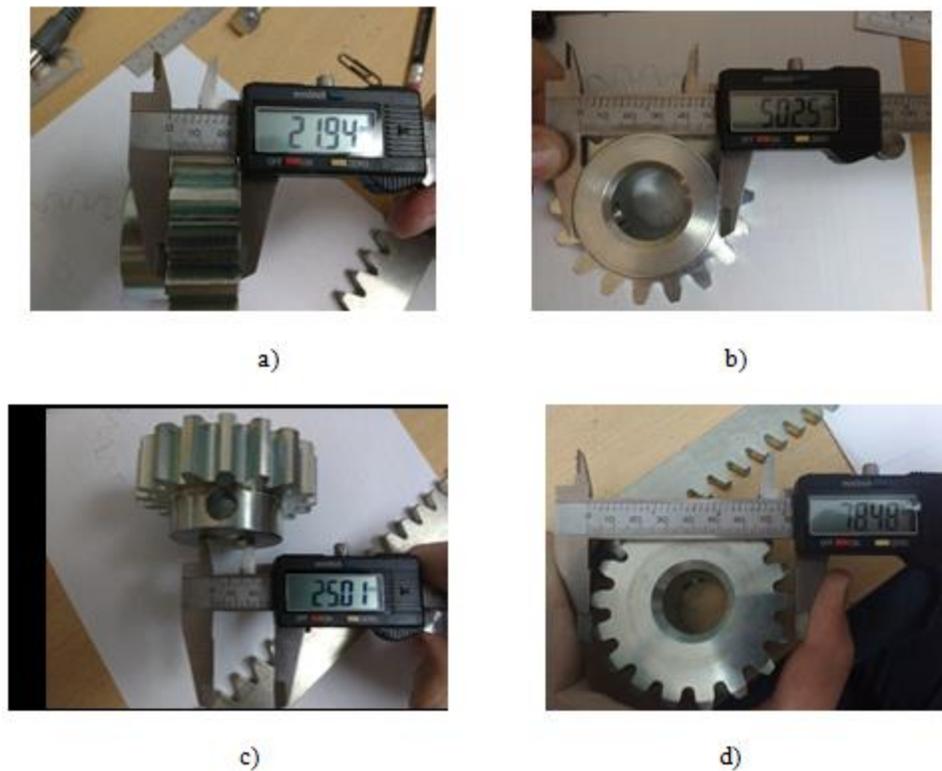


Figura 6.35 Medidas a) ancho, b) diámetro exterior del ensamblaje con el eje, c) diámetro de ensamblaje con el eje, d) medida de prueba.

Para la selección del Stepper motor se requería calcular el torque necesario en Nm y la velocidad de giro en revoluciones por minuto, para obtener estos datos se utilizó el modulo del piñón y la cremallera para determinar el avance lineal en mm por cada rotación, es decir cuánto avanza en el eje largo o cremallera por cada giro de 360° del engrane. Inicialmente se definió el mínimo y máximo espesor de las láminas, de la figura 3.4 se extrajo la información y se adecuan las unidades resultando la tabla 6.2.

Tabla 6.2 Velocidad de avance lineal de la boquilla cortadora.

Espesor de lámina (mm)	Velocidad de avance requerida m/s
0.5	90
20	0.9

Con el avance requerido se calculó la velocidad angular del eje del motor en rpm, es decir a qué revoluciones por minuto debe girar el motor para obtener el movimiento deseado. Con los valores del avance, una estimación de la carga del sistema, el coeficiente de fricción entre la guía línea y el sistema de movimiento, esta fricción es la que representativamente muestran las líneas azules en la figura 6.36, es decir no es el coeficiente entre el piñón y la cremallera, factor de seguridad deseado y precisión del sistema se procedió a calcular el torque de carga y que posterior facilitó el torque requerido.

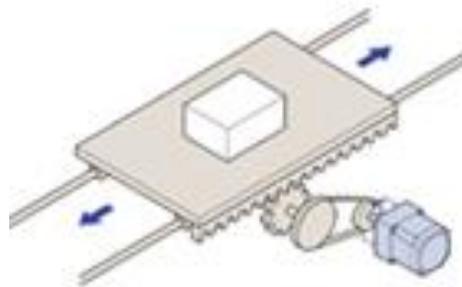


Figura 6.36 Fuerzas de fricción representativas en la guía del eje largo[26].

El torque de carga se calcula con la ecuación [26]

$$T_{load} = \frac{FxDp \times 10^{-3}}{2x\eta \times 0.01} \times FS \quad \text{ecuacion (6.1)}$$

Donde F es la carga del sistema, con un aproximado de 40kg se tiene un valor de 392.4N, Dp es el diámetro de paso del piñón de 72mm, FS es el factor de seguridad y se utiliza en 1,5 y η hace referencia a la eficiencia del sistema que se trabaja por recomendación de los ingenieros en un 80%. Sustituyendo en la ecuación 6.1 se obtuvo que el valor del torque para seleccionar el motor es de 1.960Nm (277ozin), el valor estándar y seleccionado para el motor es de 270ozin pero se debe destacar la existencia de dos sistemas de eje largo, es decir realmente la carga es menor aumentando el factor de seguridad.

Una vez que se calculó el torque requerido, se buscó en el mercado un motor con las características deseadas, cuando se encontró el que mejor calificaba se observó que la

velocidad era de 300rpm, es decir muy alta y no coincidente con la previamente calculada, y los demás motores encontrados contaban con este problema. Los ingenieros de la empresa recomendaron de experiencia en proyectos anteriores que la mejor forma de reducir la velocidad angular es por medio de una caja de reductora de engranes, es decir un reductor.

Para la selección del reductor se utilizó la velocidad angular en rpm del motor seleccionado y dividió entre el valor deseado, es decir que si el motor es de 300rpm y la velocidad requerida máxima es de 20rpm se requiere un reductor de una relación de 15:1, es recomendado contar con un margen más amplio, si se utilizara por ejemplo una relación de 10:1 esta nos permite un rango de hasta 30rpm lo cual contempla los 20rpm requeridos y se cuenta con los 10rpm de sobra como factor de seguridad de 1.5.

De la misma manera que el motor el reductor se buscó en el mercado nacional pero sin éxito, no así en páginas como eBay y Aliexpress que venden en la internet componentes de este tipo a bajos costos [27,28].

El reductor se seleccionó para acoplarse con el motor, ambos con un montaje NEMA 23, este estándar tamaño en el motor determina el ensamble. Debido a que el diámetro interno del piñón es mayor que el eje del reductor se diseñó una pieza de acople.

Posterior a la selección del motor y el reductor, se procedió a definir la guía encargada de permitir el desplazamiento del mecanismo sobre el sistema. Se plantearon dos posibles soluciones para este sistema. La primera opción es la que se observa en la figura 6.37, una guía lineal, se suelen conseguir tanto el riel con su perfil como el carro que se acopla sobre este, la fricción entre los componentes es despreciable debido a que cuenta con pequeños roles internos que disminuyen el rozamiento.



Figura 6.37 Guía lineal [29].

La segunda opción que se analizó fue la de utilizar a la cremallera en la figura 6.38 como la guía y construir un mecanismo que pueda desplazar sobre la cara plana opuesta a los dientes.

La primera propuesta resuelve el problema de una mejor manera que la segunda opción, no obstante, en el país no se encuentran y a diferencia que el motor y reductor, traer el componente del extranjero es sumamente costoso debido al tamaño y material que lo componen. La segunda opción se puede realizar a un muy bajo costo, la única complicación que presenta es la de diseñar un carro que se puede deslizar sobre la cara plana de la cremallera, aun así las ruedas de este carro se pueden manufacturar en torno, específicamente en el de la empresa Ficmams como propone uno de los ingenieros, resultando en una solución no tan precisa como la propuesta originalmente pero si la construcción de las piezas se realizan con precisión y calidad se puede obtener un mecanismo de muy alta calidad y funcionalidad a un muy bajo costo.

En la figura 6.44 se muestra el diseño propuesto del carro del eje largo sobre la guía que es la cremallera y que engrana con el piñón.

Se diseñó un carro utilizando como base una platina calibrada de 152.4x400mm y espesor 9.525mm, la cual es una lámina metálica AISI 1020 con cortes precisos y dimensiones exactas, además de que las caras son totalmente lisas. La platina calibrada cuenta con varias perforaciones para el ensamble de los diferentes componentes, entre ellos el reductor con sus tornillos de 6.35mm de diámetro que lo sujetan a la lámina, de igual manera y con los mismos tornillos se sujeta el Stepper motor al reductor. Aparte de los componentes mencionados se diseñó un rodillo que fuera capaz de girar sobre la cremallera de acero AISI 1020 y que se

podría manufacturarse en torno sin dificultad. El rodillo gira sobre la cremallera pero este debe estar acoplado en un eje, se diseñó dicho elemento con una cavidad para un rodamiento, esto para facilitar el giro. Se pensó el eje utilizando como guía un elemento encontrado en la empresa Ficmams, figura 6.38, que cuenta solamente con un rodillo, un tornillo, un eje, un rodamiento, un seguro, dos tuercas y dos arandelas, todo el conjunto se ensambla de tal manera que ningún elemento se puede desmontar o desajustar pero que permite al rodillo girar con facilidad.

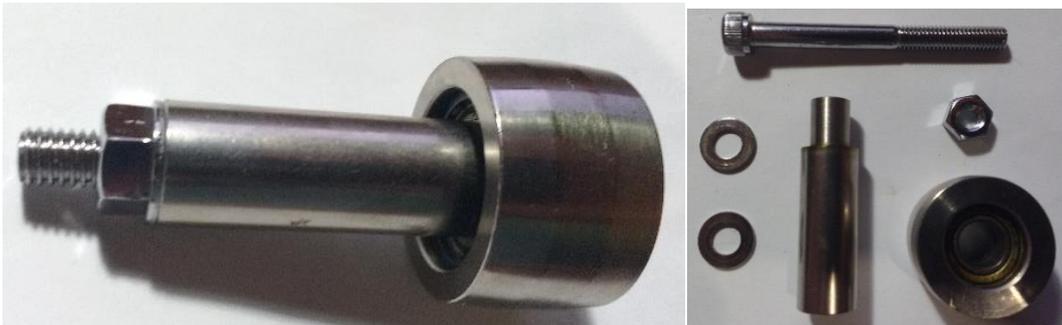


Figura 6.38 Desarme del rodillo encontrado en la empresa Ficmams.

El rodillo que se diseñó y se observa girando sobre la cremallera se ensambló de manera similar a la pieza encontrada en la empresa Ficmams, en la figura 6.39, se realizó un corte lateral en el rodillo para analizar y verificar de mejor manera el ensamble. Se seleccionó un tornillo(4) que junto con dos arandelas(3) y una tuerca(7) son los componentes encargados de evitar el desacople de eje(8) con la placa base(5), este sistema cuenta con una base para sentar el rodamiento(1), que se acopla al rodillo(2) el cual también cuenta con un asiento o pared para el rodamiento, no obstante, el rodamiento limita el movimiento del rodillo hacia la derecha pero no hacia la izquierda, es decir se puede desacoplar por lo que se utilizó un seguro interno (9).

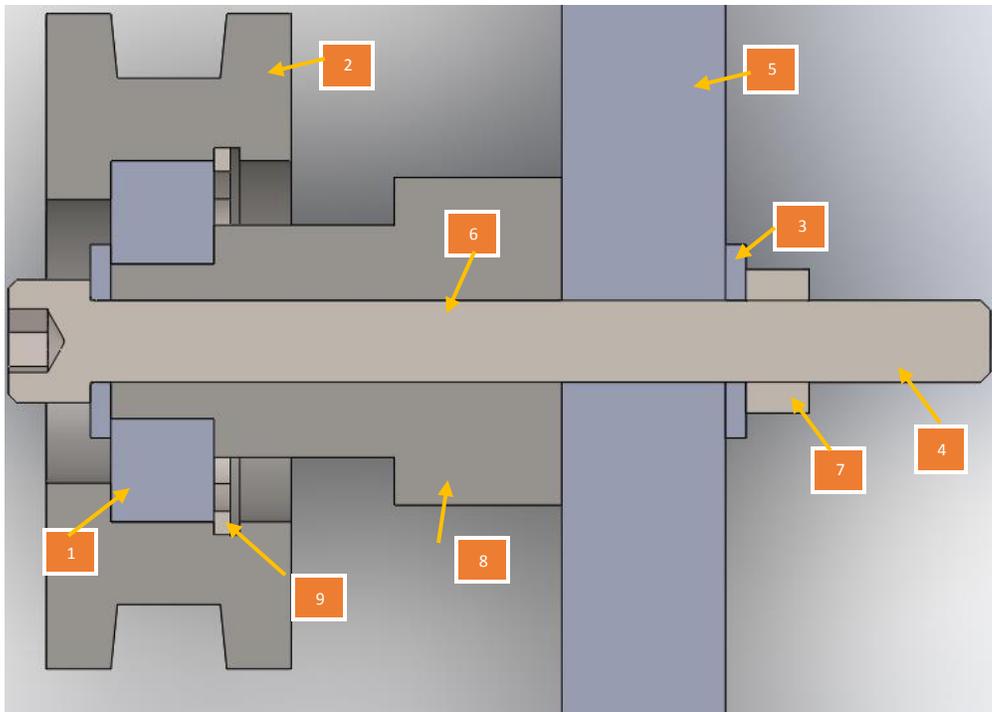


Figura 6.39 Corte lateral del ensamble del rodillo en el eje largo.

Para el diseño de la platina calibrada (5) se realizó una serie de perforaciones, el espesor de la placa metálica es de 9.525mm seleccionada del proveedor Aceros Roag [5].

En la figura 6.40, se observan seis agujeros roscados M10 (1) para el acople con la guía del eje Y, dos agujeros de roscados de 6.35mm para el acople con el eje del rodillo, por ultimo cuatro agujeros pequeños de 6.35mm y uno mayor de 40mm que sirven para sujetar el reductor.

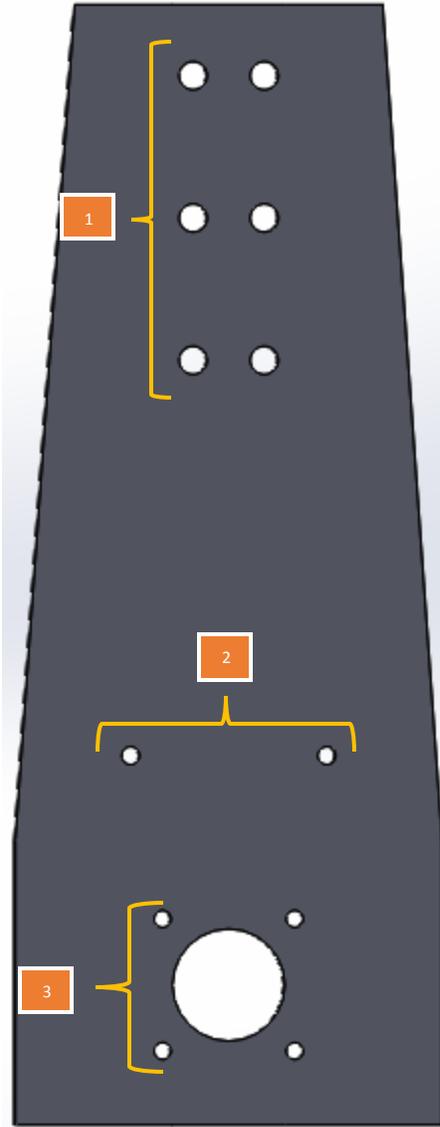


Figura 6.40 Perforaciones en platina calibrada para acople con componentes.

6.5.3 Uniones

Por su parte la guía del sistema del eje largo, que es la cremallera se unió a la estructura base por medio de espaciadores con rosca de 6.35mm y soldadura, para una mayor sujeción y resistencia se perforo en el tubo de 152.4x50.8mm un círculo de 11mm para el acople, este espaciador mostrado en la figura 6.45, tiene como propósito generar un espacio necesario entre el tubo de 152.4x50.8mm y la cremallera, esto para permitir que el rodillo gire, además se encarga de soportar la carga ejercida sobre la guía. Por cada metro de cremallera se colocaron tres espaciadores con tornillos y arandelas. Se utilizó material AISI 1020 y la rosca es el espaciador es pasante.

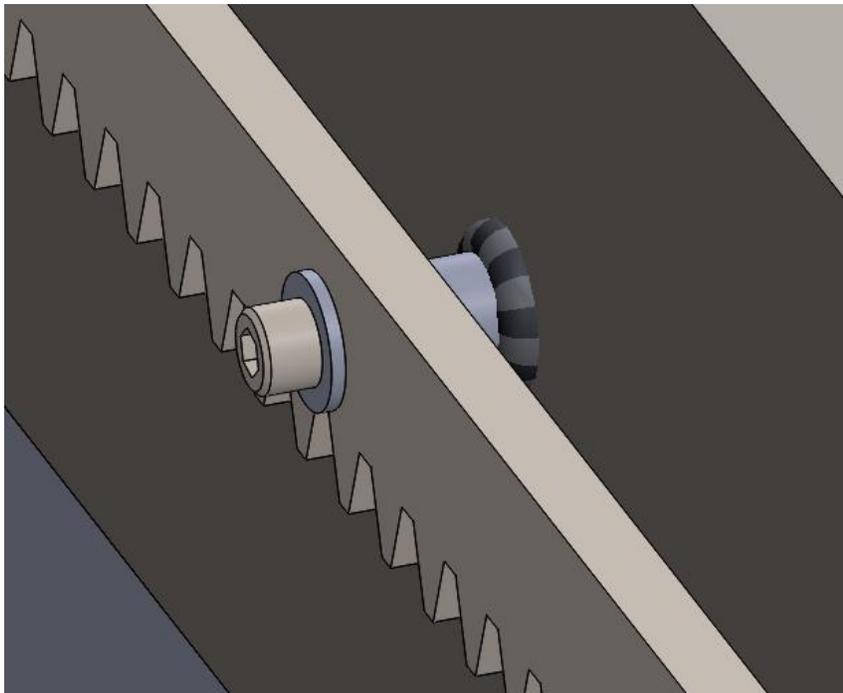


Figura 6.41 Unión de la cremallera utilizando un espacio y un tornillo de 6.35mm al tubo de 152.4x50.8mm.

Las demás uniones en el sistema del eje largo, específicamente en los componentes mostrados en la figura 6.40, se hicieron roscadas, utilizando tornillos variados, tuercas y arandelas. Para unir el motor con el reductor y el reductor con la placa metálica se empleó tornillos de 6.35mm cabeza Allen y grado 8, es decir son muy resistentes y capaces de soportar altas cargas y precisos. El precio de estos componentes es sumamente bajo por unidad, por lo que sobredimensionar en los elementos de uniones no tiene un efecto considerable en el precio, 120 colones cuesta la unidad del tornillo de 6.35 mm, uno mayor no alcanza ni los 200 colones,

estos datos se obtuvieran de una cotización en Torcasa, empresa especialidad en uniones roscadas y cercana a Ficmams [38].

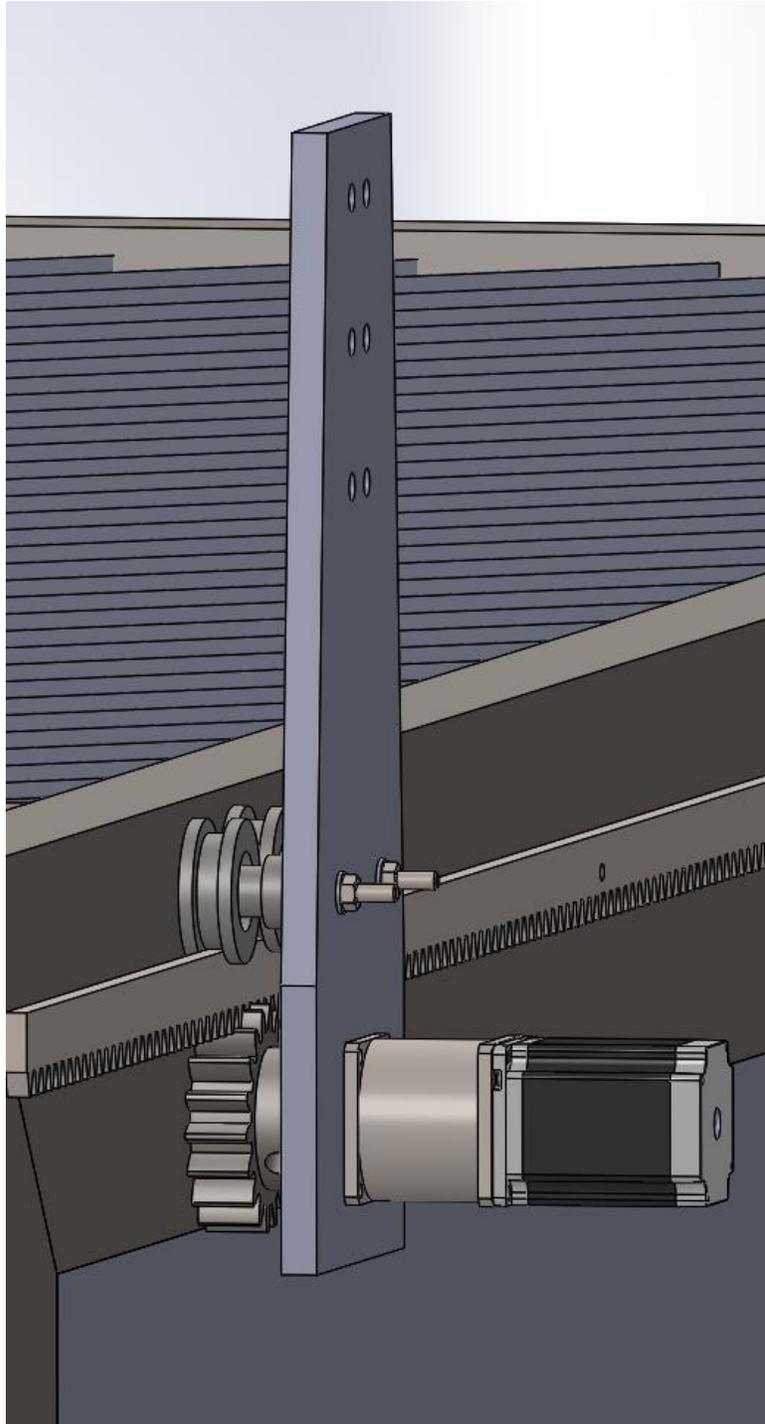


Figura 6.42 Carro del eje largo.

Uno de los elementos más importante diseñados en el acople del piñón y reductor, esta pieza se diseñó enteramente del espacio y características de los componentes, en la figura 6.43, a) se muestra el eje del reductor y el espacio interno del engrane.

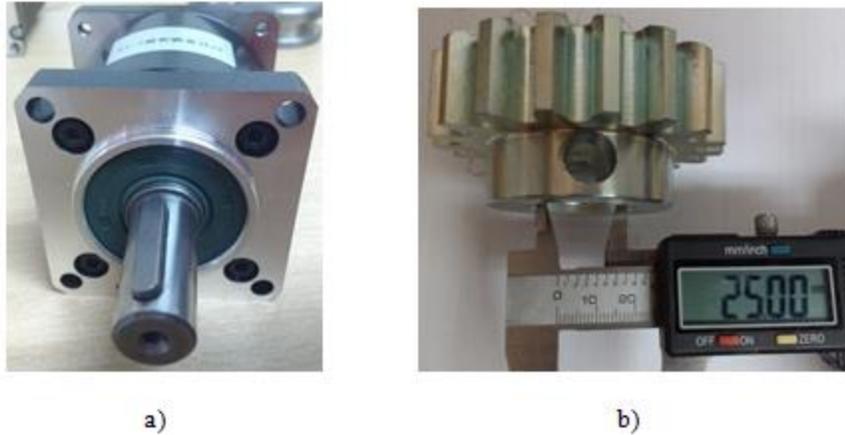


Figura 6.43 Eje reductor y acople piñón [23, 28].

El reductor se seleccionó en Allieexpress, en la misma página del producto se encontraron las medidas específicas del eje mostradas en el anexo B.7, se diseñó entonces una pieza que funcionara como acople y permitiera transmitir el torque proveniente del reductor al engrane, esta se observa en la figura 6.44, el diámetro externo e interno coinciden con el diámetro del eje y el del engrane respectivamente, se realizó para ser manufacturada en torno utilizando material AISI 1020, y cuenta con un agujero de 6.35mm roscado para colocar un prisionero (tipo de tornillo), este último tiene como función impedir el deslizamiento del eje del reductor que aunque cuenta con una cuña para transmitir el momento no es suficiente para sujetar los componentes e impedir movimientos no deseados.

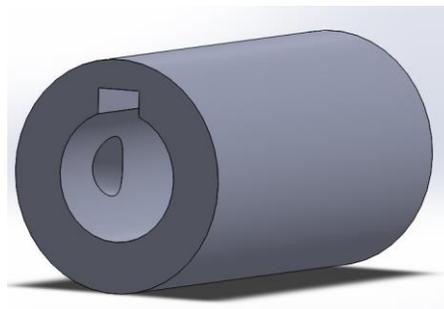


Figura 6.44 Acople reductor y piñón.

Para realizar el acople mostrado en la figura 6.45, se utilizó dos prisioneros, el primero (1) de 6.35mm ya mencionado y encargado de sujetar el acople al eje del reductor y el segundo (2) de 9.525mm y que tiene como tarea sujetar el engrane a la pieza de acople.

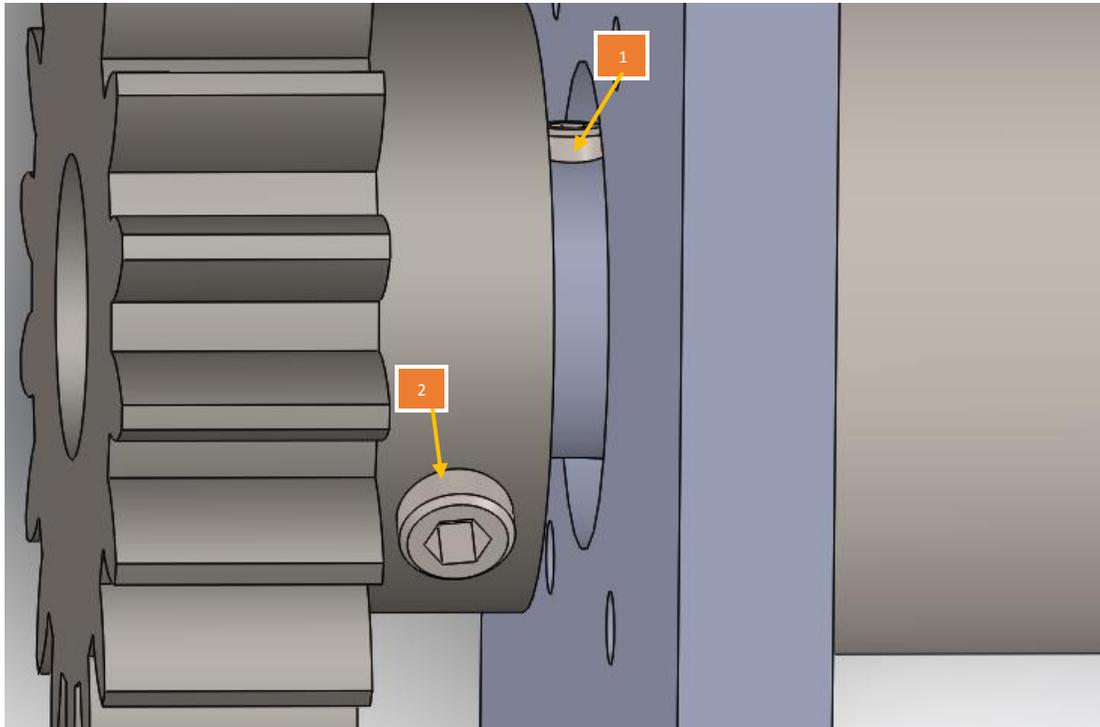


Figura 6.45 Acople del reductor y el piñón.

6.6 EJE ANCHO

6.6.1 Consideraciones

Al diseñar el eje ancho de la máquina se deben tener las mismas consideraciones que en sistema del eje largo, esto debido a la naturaleza de cada mecanismo, se diferencia únicamente en la dirección de movimiento.

6.6.2 Diseño del conjunto mecánico del sistema Eje ancho

Como recomendación de los ingenieros de la empresa Ficmams se utilizó el mismo análisis que en el eje largo y emplear a la cremallera y el piñón como mecanismo de movimiento, es decir aprovechar el diseño planteado en sistema anterior, debido a que cumple con los requerimientos planteados para este sistema y que permite ahorrar tiempo y dinero en los materiales, ya que al realizar compras al por mayor y no enviúdales se reducen los costos.

Se empleó un tubo de 152.4x50.8mm como la base para la guía del eje ancho, con una distancia de 1.894m se obtiene como residuo de los demás cortes utilizados para la estructura base.

A diferencia del sistema del eje largo, donde se utilizó la cara plana y calibrada de esta como riel o guía lineal esto no se aplicó para la estructura del eje ancho, esto se debe a que la cara plana es 8mm de delgada y la estabilidad del mecanismo se dificulta. Lo anterior no ocurre en el sistema del eje largo ya que están unidos por el tubo de 152.4x50.8mm como se muestra en la figura 6.46, y la unión que se realizó con tornillos M10 (diámetro 10mm) brinda gran estabilidad y confiabilidad a la estructura.

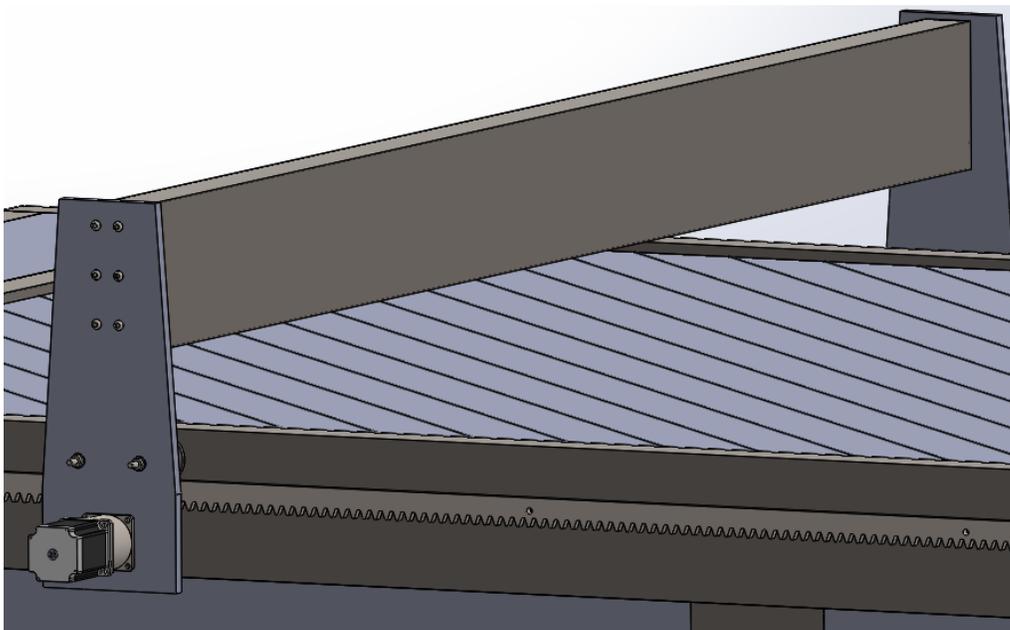


Figura 6.46 Tubo de perfil rectangular 152.4x50.8mm para unión entre carros eje ancho.

Como se mencionó anteriormente se consideró en el diseño del eje ancho el hecho de que el tubo rectangular no es perfecto y las caras del mismo no son completamente planas, se colocó un par de láminas calibradas con un perfil de 63.5mm y un espesor de 6.35 mm, como se muestra en la figura 6.46, estas láminas se colocan en las caras horizontales y garantizar una superficie plana. Lo anterior debido que se utilizó este par de placas metálicas calibradas como el riel o guía del sistema del eje Y, el costo por lámina es alrededor de 7000 colones en Aceros Roag [5].

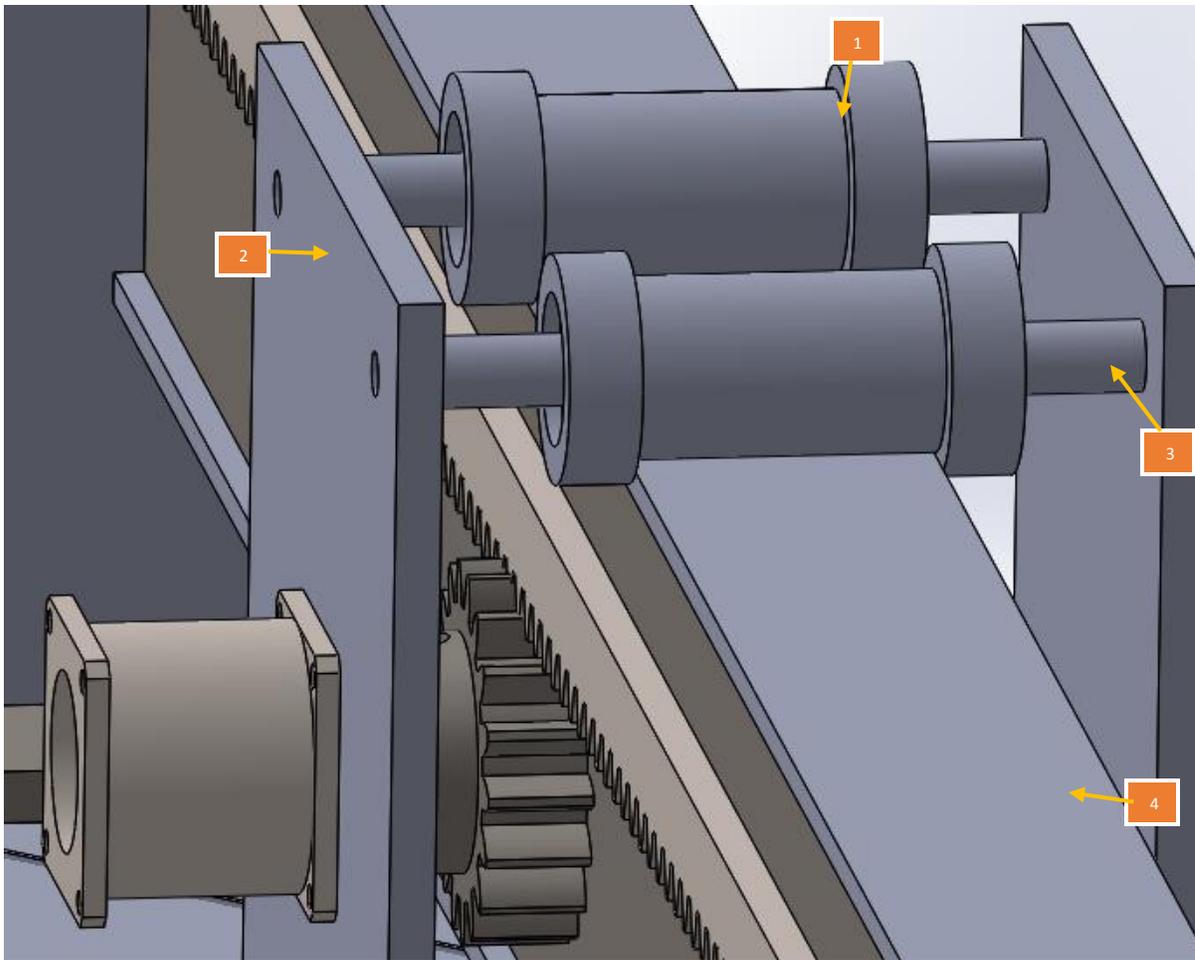


Figura 6.47 Rodillos, placa y guías para el carro del eje ancho.

En la figura 6.47, se observan dos rodillos (1) que giran sobre la guía o platina calibrada (4), cada uno gira gracias al eje (3) que lo a su vez se acopla con la placa metálica (2), de igual manera en el diseño de la platina calibrada del eje largo, las perforaciones se realizaron con medidas precisas y calculadas que facilitan el engranaje del piñón y la cremallera.

Si se realiza un corte lateral en el rodillo para visualizar su ensamble resulta la figura 6.48. Se diseñó el acople siguiendo los principios utilizados en el eje largo. El rodillo (1) y el eje (2) son piezas que se deben manufacturar, el diseño se hizo de tal forma que se puedan elaborar en el torno de la empresa Ficmams, para permitir el giro y reducir la fricción al mínimo se colocaron dos rodamientos (3) en los espacios previstos y diseñados en el rodillo y eje, no obstante, para asegurar el acople y evitar posibles movimientos no deseados de los componentes se instalaron dos seguros internos(4), finalmente para realizar la unión del eje

con la placa metálica base se utilizó un par de tornillos (5) milimétrico de 9.525mm de diámetro y grado 8 para

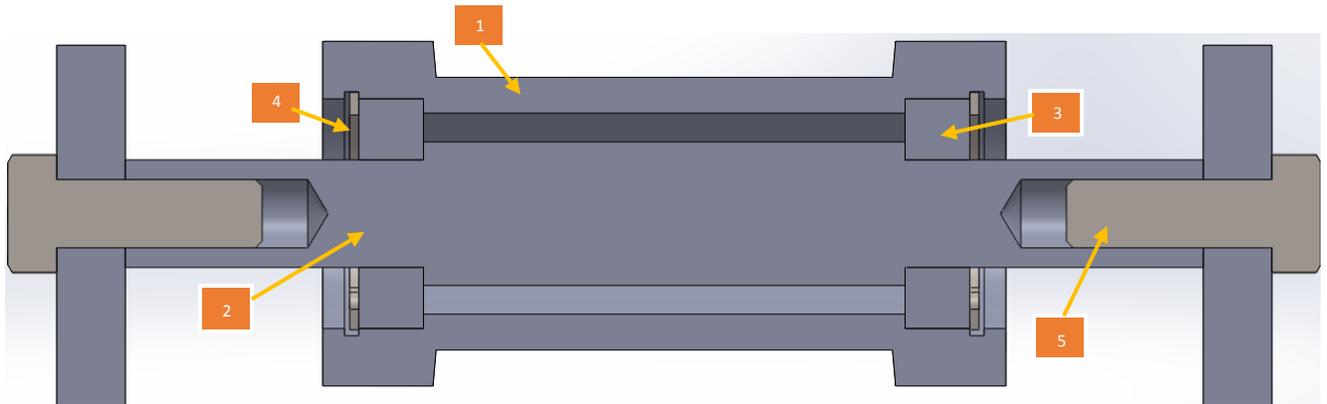


Figura 6.48 Corte lateral en el ensamble de eje, rodillo, rodamiento elementos de sujeción.

En la figura 6.50, se muestra el diseño del carro completo del eje ancho, se utilizaron 4 sistemas de rodillos y ejes como el mostrado en la figura 6.48, para brindar mayor estabilidad y rigidez al sistema se colocaron dos platinas calibradas, donde una cuenta con las perforaciones para el acople del reductor con el piñón, la otra placa metálica se dispone para el futuro acople del sistema del eje vertical, esta platina observada en la figura 6.49 (medidas en milímetros) cuenta con amplio espacio para posicionar componentes.

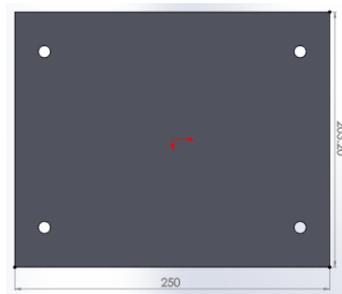


Figura 6.49 Placa metálica con espacio previsto para sistema de eje vertical.

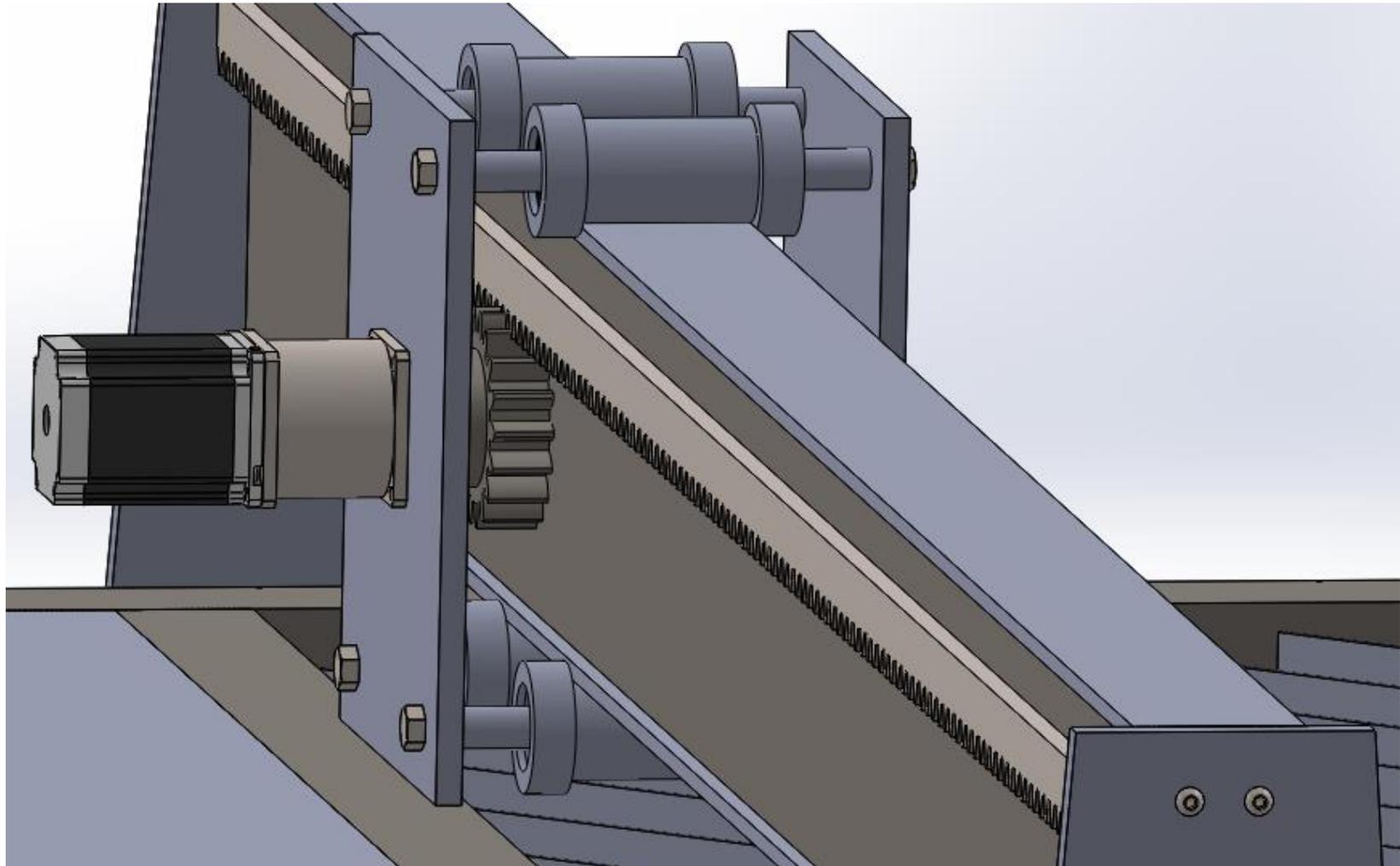


Figura 6.50 Ensamble general carro eje ancho con platina calibrada en las caras horizontales de la guía.

6.7 EJE VERTICAL

6.7.1 Consideraciones

En el diseño del mecanismo encargado de mover la boquilla en el eje vertical de la máquina se deben considerar ciertos aspectos. La primera consideración tiene que ver con la carrera del mecanismo, a diferencia de los sistemas anteriores eje largo y ancho, donde la distancia de movimiento del carro se diseñó de 3.5m y 1.7m respectivamente, para el eje vertical es mucho menor, la distancia del centro de la platina calibrada donde se pretende diseñar el sistema a la cama metálica es de alrededor 165mm, otra consideración hace referencia a la platina calibrada, se debe utilizar el espacio previsto del sistema del eje ancho.

6.7.2 Diseño del conjunto mecánico del sistema de eje vertical

Debido a la pequeña distancia de la carrera es difícil considerar los sistemas de movimiento lineal analizados en el eje largo, los mecanismos que se han utilizado hasta el momento (piñón, Stepper motor NEMA 23) requieren de mucho espacio y peso de los mismos componentes agrega carga al sistema. Se analizó el sistema empleado por las máquinas Hypertherm mostrado en la figura 6.51 y el encontrado en la máquina del laboratorio de Producción Industrial en el TEC.

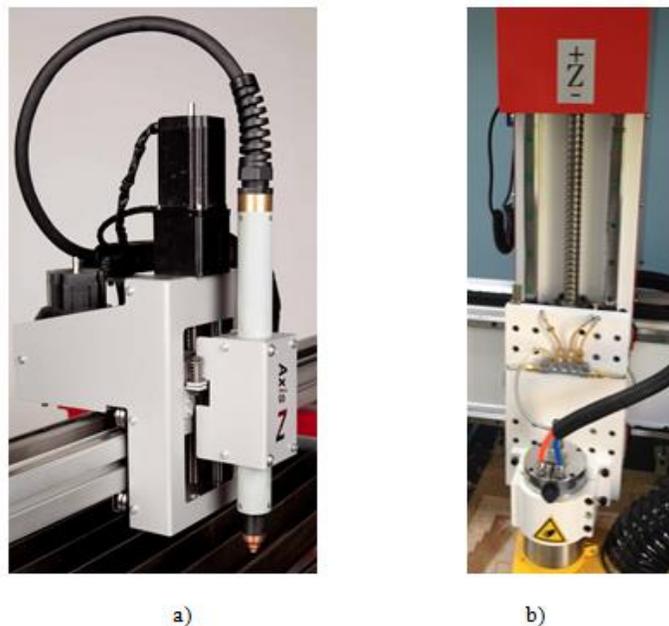


Figura 6.51 Sistema de eje vertical encontrado en máquina Hypertherm a) y en la CNC de producción industrial b).

En ambos sistemas se observó la presencia de un mecanismo de actuación lineal como el que se observa en la figura 6.52, estos funcionan bajo el principio de un tornillo sin fin para subir y bajar el bloque con cuatro agujeros de tornillos, para guiar el movimiento utilizado dos tubos colocados alrededor del tornillo, el bloque en movimiento cuenta con tres agujeros, el primero con rosca para el tornillo que lo hace moverse y otros dos para los tubos calibrados, estos cuentan con rodamientos cilíndricos para reducir al mínimo la fricción entre los componentes metálicos. Se realizó una exploración de actuadores lineales a la venta, en el país no se encontró ninguno disponible y a nivel internacional existe mayor variedad, tanto en eBay, Amazon, Aliexpress. El actuador mostrado en la figura 6.52, cuenta con las siguientes características:

- Material acero inoxidable y aluminio.
- Alta precisión y uniones roscadas
- Cuenta con rodamientos en el extremo inferior del tornillo, en el eje del motor y dos en el bloque para reducir al mínimo la fricción del sistema.
- Motor NEMA 17 1.8°, 1.7, Torque de 0.42Nm, conexión cuatro cables.
- Carrera eje vertical de 135mm.
- Dimensiones principales de 260x100x45mm.
- Velocidad de avance de 10mm/s.
- Costo 230 dólares (con envío) eBay

La carga del sistema del eje vertical es despreciable, esto debido que solo debe soportar la boquilla de plástico y sus acoples, además debido a que el movimiento del eje vertical no supera los 10mm/s esto para evitar choques y daños en los componentes, por recomendación de los ingenieros de la empresa se planea trabajar con la mitad de esta velocidad, no obstante, se puede variar utilizando el control de la máquina, pero para la selección del componente la velocidad es más que suficiente. Posterior con el uso del anexo B.8, se diseñó la pieza en Solidworks

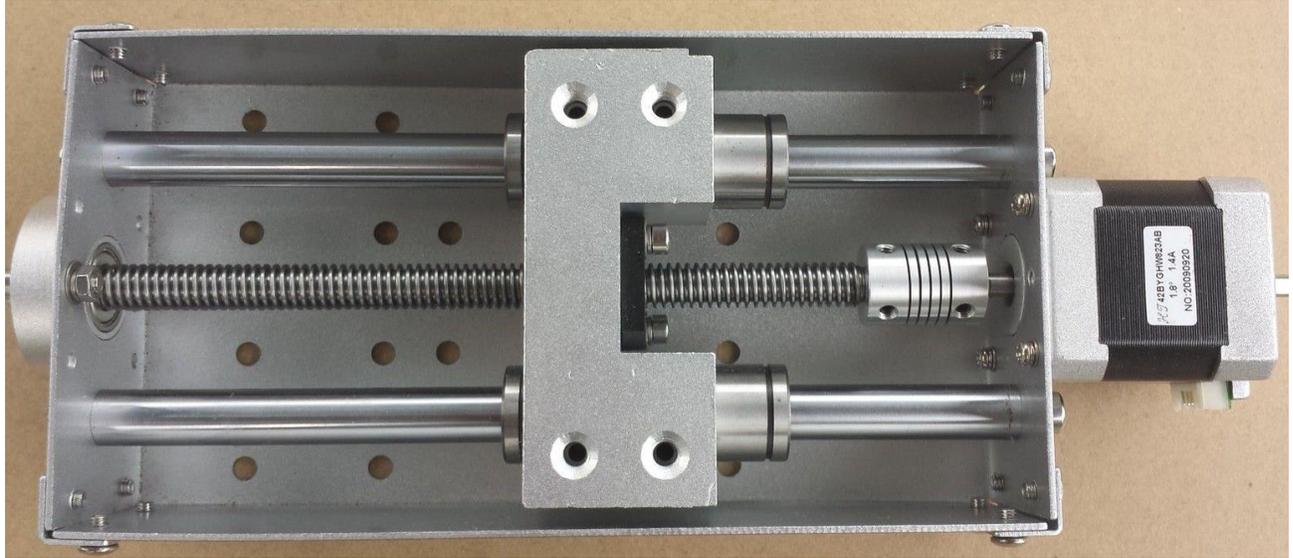


Figura 6.52 Actuator lineal con motor NEMA 17 incorporado [27].

6.7.3 Uniones

Las uniones se realizaron con tornillos de 6.35 mm, el actuator lineal cuenta con una serie de agujeros mostrados en el anexo B.8, con estos se terminó el diseño de la platina calibrada, un total de doce tornillos sujetan al componente con la placa como lo muestra la figura 6.53, esto es necesario para garantizar tanto la resistencia del sistema como la facilidad de mantenimiento y ajuste.

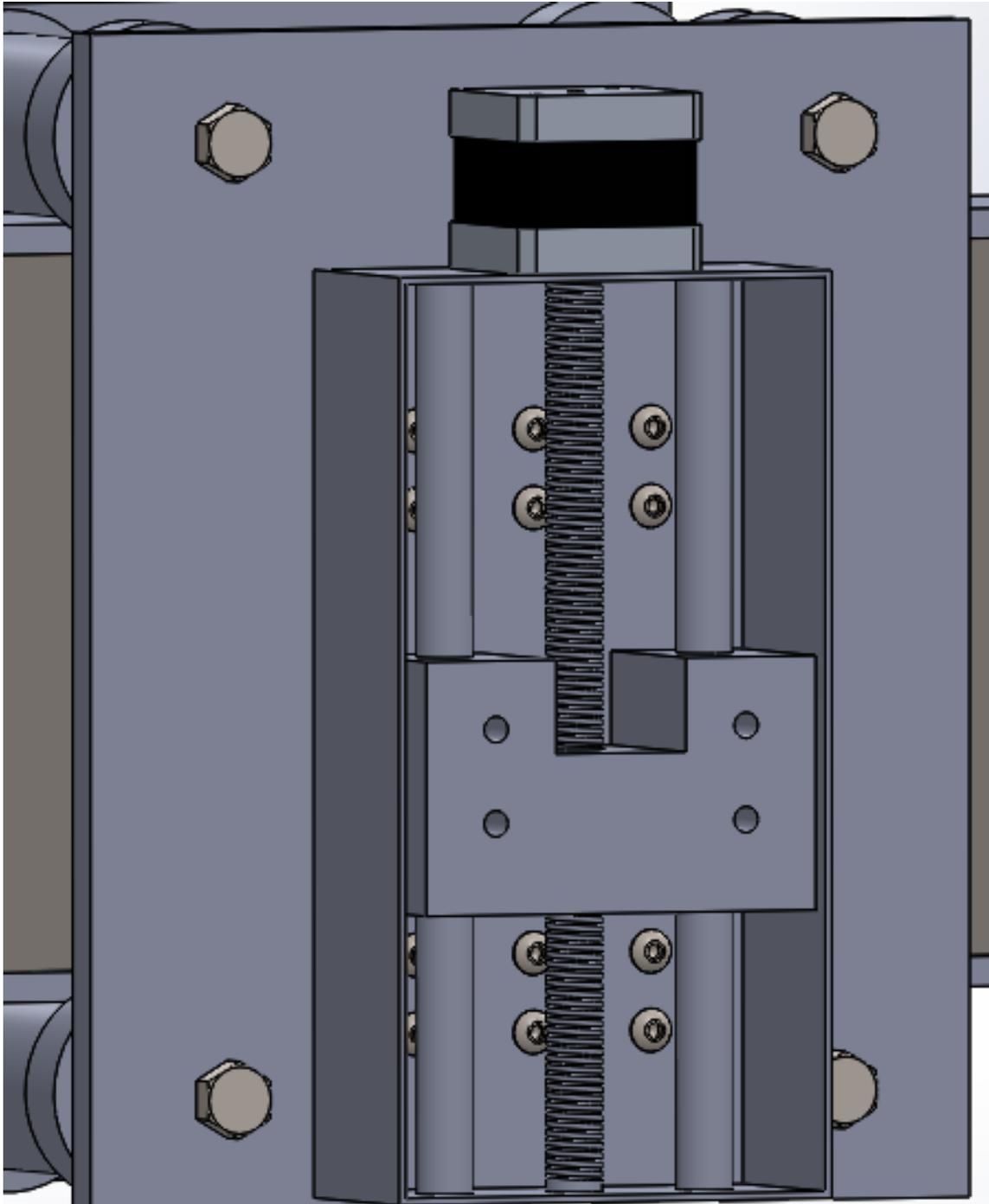


Figura 6.53 Sistema de eje vertical acoplado en la platina calibrada del carro eje ancho.

6.8 SISTEMA DE ACTIVACIÓN

6.8.1 Consideraciones

Como se ha mencionado anteriormente el sistema de activación es el encargado de detectar la placa metálica a cortar e informar al sistema de control cuando esto ocurre, en el mercado existen componentes que realizan esta tarea, no obstante, todos los encontrados son sumamente costosos y el sistema se debe realizar con un bajo presupuesto, los componentes a su vez deben ser reemplazables y los mecanismos ajustables para un continuo mantenimiento.

6.8.2 Diseño del conjunto mecánico sistema de activación

Para el diseño del sistema se trabajó con los requerimientos y se planteó una solución de bajo costo y utilizando sensores. Proma Elektronika es una empresa que se encarga de construir los sistemas que realizan la tarea de manera integral conocidos como THC, estos como ya se mencionó tienen un costo elevado, no obstante, se proporciona en la página de la compañía el funcionamiento y componentes básicos que utilizan los aparatos que ellos fabrican [40]. En la figura 6.54, se observa el mecanismo denominado cabeza flotante, este consiste en un actuador lineal (1) con una pequeña guía (2) instalada en la bloque en movimiento del primero. Los pequeños rectángulos azules claros son sensores de contacto abiertos (3) y el azul claro en estado cerrado (4). El movimiento denotado con la flecha negra ocurre cuando la boquilla o antorcha del plasma hace contacto con la lámina metálica a cortar, el sensor de manera inmediata emite una señal al sistema de control, posterior el actuador lineal mueve el bloque hacia arriba de flecha hasta que el sensor deje de emitir la señal.

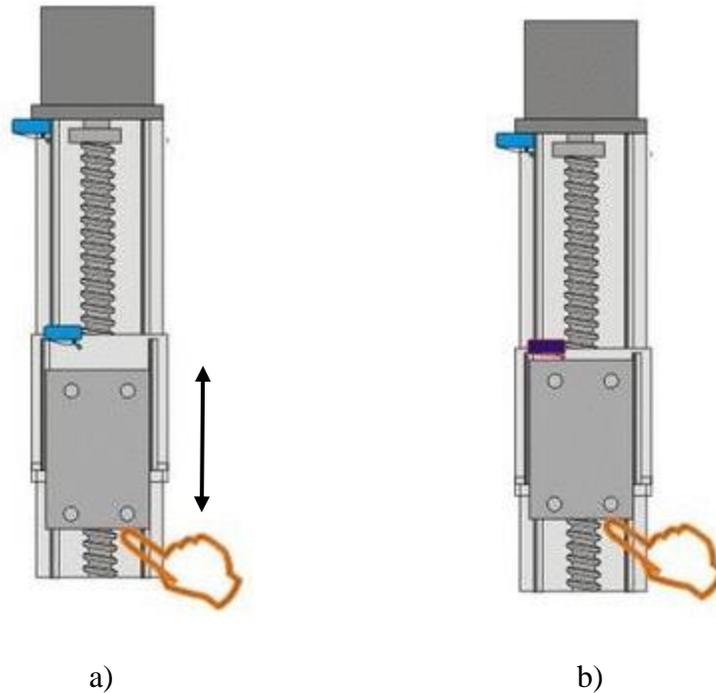


Figura 6.54 Cabeza flotante para sistema de activación

Después de que el sensor deja de emitir la señal se debe mantener al carro de la pequeña guía lineal en su posición. Lo anterior se diseñó debido a que la boquilla debe hacer contacto con la placa metálica, aun así en esta condición no puede cortar, existe una distancia mínima entre la punta que emite el plasma y la placa metálica que se debe respetar, esta distancia se maneja desde el sistema de control, el cual emite una señal al motor para levantar a la boquilla al punto deseado y cortar.

En la figura 6.55, se observa el diseño realizado del sistema de activación, para cumplir con el principio de la cabeza flotante se colocó un par de sensores de contacto (1 y 2) dentro del actuador lineal para controlar la posición inicial y final de bloque, sobre este último se colocó un pequeño riel (3) y su respectivo carro (4), estos dos materiales se encontraban en la empresa Ficmams por lo que se reutilizó para reducir los costos, utilizando un pie de rey se hicieron las medidas que permitieron diseñar la guía y el carro en Solidworks.

Un par de resortes (5) se colocaron para mantener a la boquilla (6) en una posición fija, aun así permite que el carro de la pequeña guía lineal se desplace hasta hacer contacto con el sensor y que este último pueda emitir la señal. Se colocó para cada resorte dos tornillos para mantenerlos en una elongación determinada y ajustada y por último se diseñó con láminas de

6.35 mm un acople para sujetar a la boquilla y evitar que esta se mueva o desajuste cuando se realiza el contacto con la placa metálica a cortar.

6.8.3 Uniones

Para las uniones requeridas en el sistema de activación se utilizó tornillos de 6.35mm grado 8 y tornillos de 9.525mm para sostener el resorte, se diseñó el sistema para facilitar el mantenimiento y sustitución de componentes, especialmente para realizar cambios en los consumibles de la boquilla de plasma. Debido a que el sistema solo debe soportar la boquilla y su cable se desprecian los esfuerzos en los tornillos mencionados.

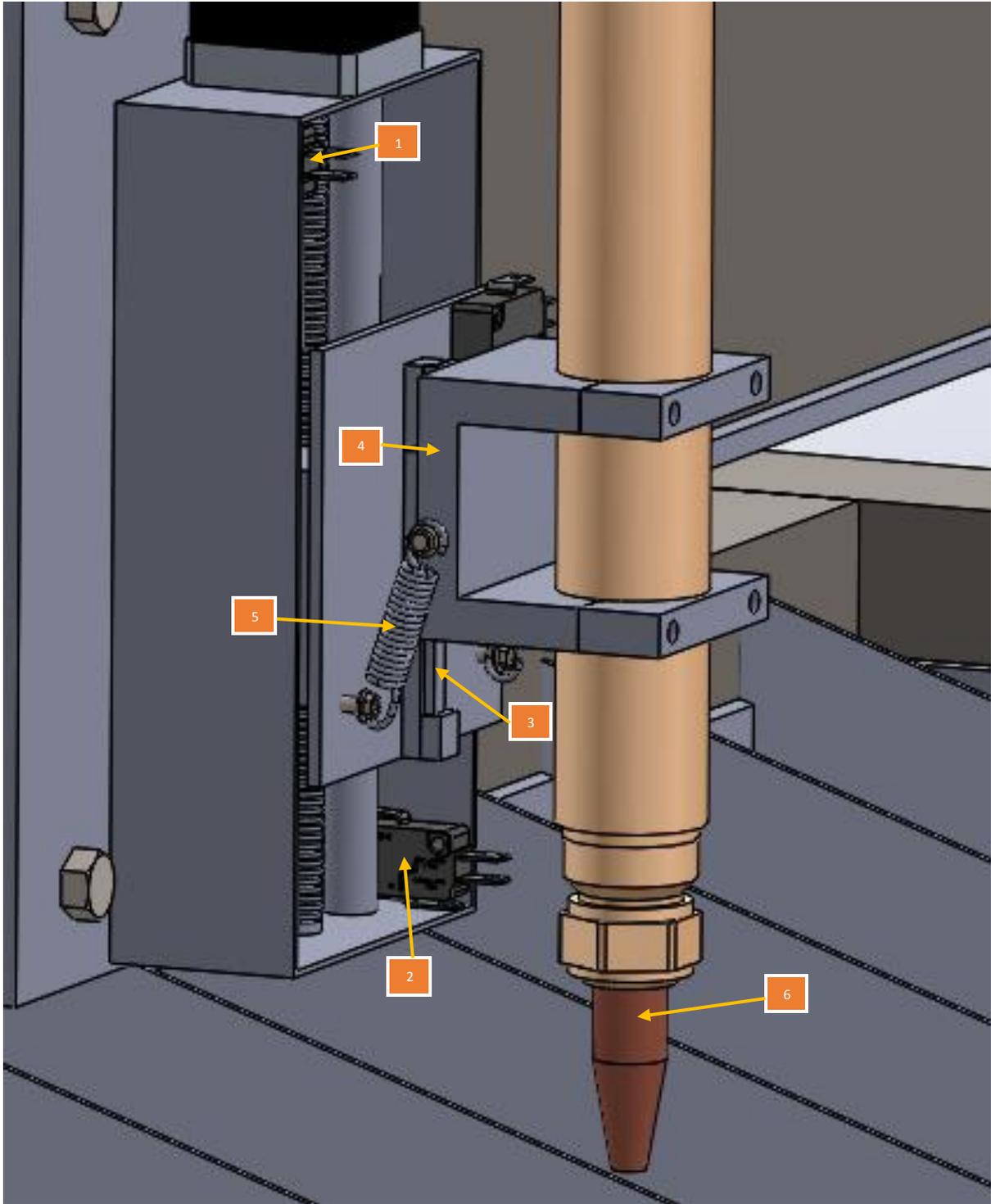


Figura 6.55 Sistema de activación para la boquilla del plasma.

6.9 PROBLEMAS PRESENTADOS

Cuando se realiza un diseño de una máquina para su posterior manufactura se pueden encontrar ciertos problemas, relacionado principalmente con los materiales y los procesos de producción. Observando materiales semejantes existentes en la empresa Ficmams a los empleados en la estructura base, cama metálica y cama de agua se puede apreciar la presencia de varios defectos de fábrica, como golpes, las medidas de los perfiles no son exactas, es decir si se mide con un pie de rey la medida del tubo puede variar por milímetros con la especificada por el proveedor, el perfil rectangular no es enteramente un rectángulo perfecto, cuenta con pequeñas curvas en las esquinas a diferencia del perfil utilizado en el software Solidworks, también al realizar cortes con el equipo de la empresa existe imprecisión y el largo de un tubo puede resultar ser menor o mayor a la medida deseada, por ejemplo si se pretende cortar una longitud de tubo de 1000mm puede este varié a 1005mm o hasta 995mm, debido al método de medición, el estado de los instrumentos utilizados en este caso una cinta métrica, el disco de corte posee un espesor que aunque se trata de mitigar con la técnica de corte terminando alterando el resultado, entre otras razones relaciones meramente al proceso de manufactura.

Para el diseño el presupuesto dispuesto por la empresa Ficmams se convierte también en una limitante, debido a que los equipos de mayor precisión y mejor funcionamiento suelen ser altamente costosos, no obstante, el proyecto se realizó y diseñó para mitigar los efectos de imprecisión brindados por algunos componentes que se diseñaron para manufacturar, a diferencia que si se hubieran comprando enteramente o encargado a un tercero con un mejor equipo de taller se obtendría mucha menor imprecisión en las medidas de la máquina.

7 DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN ELÉCTRICA

En el diseño mecánico de la máquina se contempló en ciertos sistemas la presencia y efecto de los componentes eléctricos requeridos, aun así se debe analizar el demás equipo necesario para el correcto funcionamiento de la máquina cortadora de plasma. En esta sección se realiza una propuesta de componentes, donde la funcionabilidad, disponibilidad y costos son los factores principales a considerar.

7.1 ESQUEMA DE CONTROL

Hace referencia a los componentes electrónicos encargados del control y funcionamiento lógico de la máquina, para cumplir con los objetivos y requerimientos del proyecto se seleccionó un grupo de dispositivo, entre los cuales tenemos:

7.1.1 Generador de plasma

Como se mencionó anteriormente en la teoría del proyecto, la máquina generadora de plasma es la encargada de suministrar el gas y la energía eléctrica a la boquilla para generar la llama del plasma. En la empresa Ficmams actualmente cuentan con una cortadora de plasma manual marca HUTONG CUT 50i mostrada en la figura 7.1. La máquina trabaja con tensión de 220V a 50/60 Hz y con una eficiencia de 80% [41].



Figura 7.1 Generador de plasma HUTONG encontrado actualmente en la empresa Ficmams [41].

La cortadora de plasma cuenta actualmente con una boquilla y un cable especializado, pero estos no pueden ser utilizados para la máquina CNC cortadora de plasma por la longitud del cable, el espacio ocupado por la máquina (3.5x1.8m) y por la forma de la boquilla, es una para agarre manual y curva. Para solucionar este problema se seleccionó un cable más extenso, se calculó un aproximado necesario de 20ft (6.09m) y una boquilla que cumple con las características para el acople del sistema de activación, este se muestra en la figura 7.2 y se encuentra a la venta en eBay, el cable rojo que se aprecia, es requerido debido a que es el encargado de mandarle una señal eléctrica de la boquilla al sistema de control para indicar que la máquina está cortando, esto es muy importante para generar las señales que le indican a la cortadora de plasma cuando activarse y cuando no.



Figura 7.2 Cable especializado para plasma y boquilla [27].

7.1.2 Breakout Board

Para realizar el control y la lógica general de la máquina cortadora de plasma se seleccionó una tarjeta electrónica, en el mercado existen una gran variedad, donde el rango de precios es muy amplio y las características varían de sistema en sistema y se debe escoger aquella que mejor se acopla a las necesidades de la máquina. Se escogió una tarjeta SainSmart, que se observa en la figura 7.3 y cuenta con las siguientes características [42]:

- Soporta 4 ejes, es decir se pueden conectar 4 Stepper motor o 4 drivers
- La frecuencia máxima de trabajo es 100KHz, ideal para el control de un Stepper motor
- Cuenta con 4 entradas de opto acopladores aislados para conectar sensores, botones de emergencia, etc.
- Cuenta con una señal de salida de 0-10V
- Compatible con el software MACH 3.
- Costo total 90\$.
- Garantía de SainSmart (empresa de renombre en componentes electrónicos)
- Conexión USB.

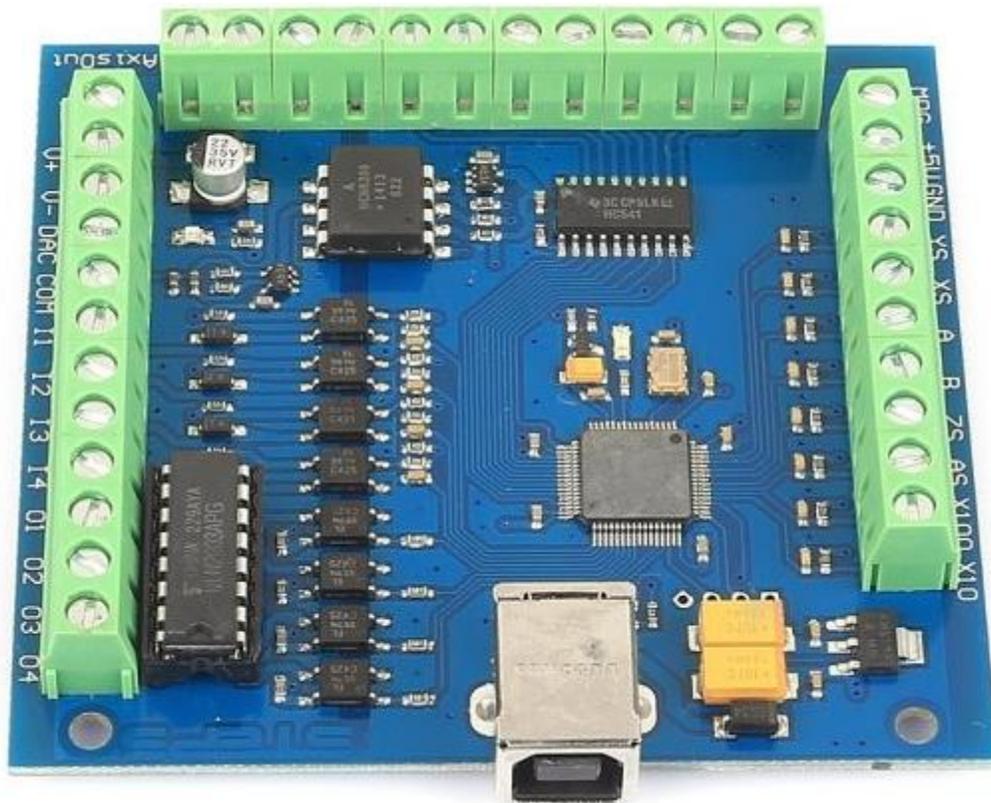


Figura 7.3 Tarjeta para el control de la máquina cortadora de plasma marca SainSmart [42].

7.1.3 Mach 3

Es el Software encargado de convertir a la computadora en el controlador de la máquina cortadora de plasma, cuenta con una interfaz, figura 7.4, que muestra en todo momento la posición de la boquilla en los diferentes ejes de la máquina. Además procesa el código G del corte deseado y envía los pulsos a los driver de los motores [43]. Los requisitos mínimos que debe tener el computador son muy básicos y prácticamente cualquier equipo encontrado actualmente puede soportar el software.

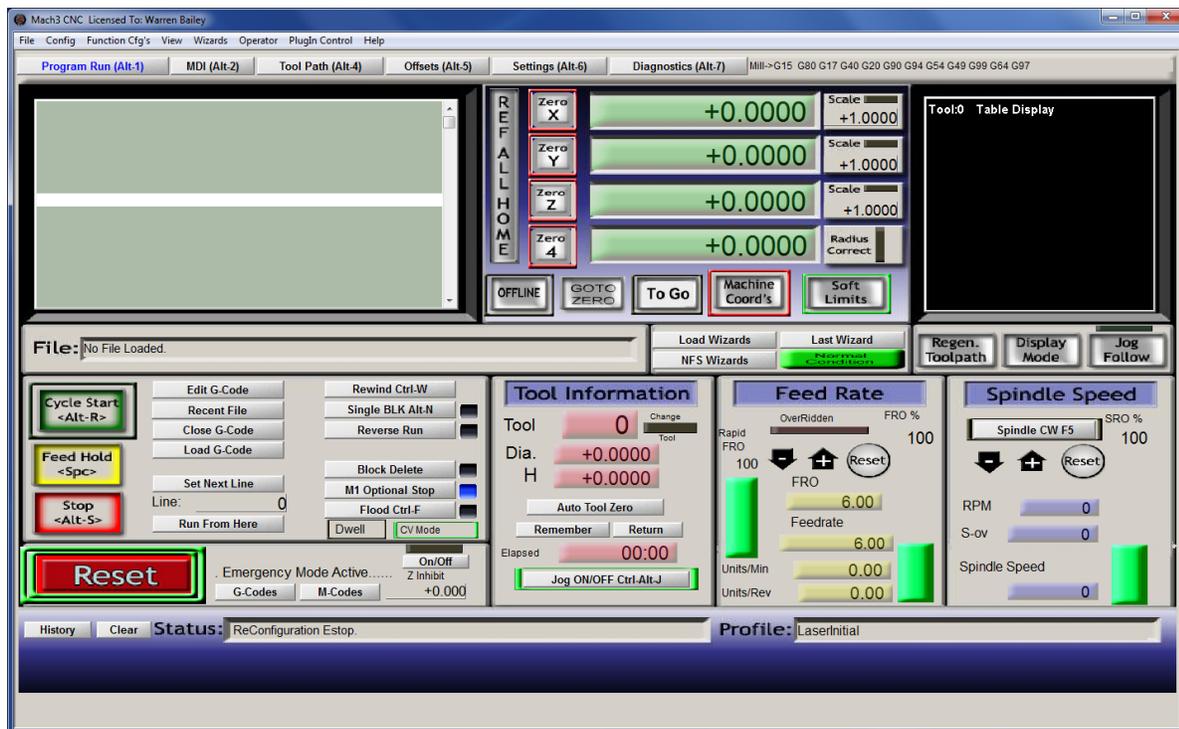


Figura 7.4 Interfaz software MACH 3 [43].



Figura 7.7 Sensores de contacto [27].

7.1.6 Fuente de energía

Como su nombre lo indica es el componente eléctrico que se observa en la figura 7.8, y es el encargado de convertir la tensión de 110V AC y suministrar tensión DC de 36V al sistema de control. Se seleccionó una fuente de poder que sea capaz de suministrar la tensión requerida por los motores y los driver. Cuenta con conexión a tierra para evitar picos de tensión que puedan dañar el equipo de la máquina cortadora de plasma y su respectivo ventilador para evitar sobrecalentamientos.



Figura 7.8 Fuente de alimentación eléctrica [27].

7.2 CONSIDERACIONES

La principal consideración del sistema eléctrico general tiene que ver con el cableado del equipo de control, no se puede utilizar cualquier tipo de cable disponible. La mayor tensión empleada en la máquina cortadora de plasma es de 36V, debido a que la generadora de plasma utiliza 220V pero el equipo cuenta con su cableado especializado.

El cable que se requiere debe ser capaz de permitir el paso de una frecuencia mínima, la tarjeta controladora trabaja a una frecuencia de alrededor 10kHz, y el driver del motor a un valor menor, siendo entonces la tarjeta SainSmart el principal componente que se consideró para la selección del cable, la especificación del cable es de gran importancia ya que si se realiza erróneamente puede ocasionar pérdida de información en el sistema de control

En la compañía Ficmams debido a que se encargan de construir máquinas variadas incluyendo el control y conexiones de las mismas se encuentra en el taller de la empresa un gran carrete de cable que se puede aprovechar para el desarrollar el cableado de la máquina, lo que implica. Se analizó este último para saber si cumplía con los requerimientos. En la figura 7.9, se aprecia el tipo de cable mencionado, la especificación es 18 AWG, capaz de soportar hasta 7A y hasta 20kHz, por lo que funciona correctamente, con da un factor de seguridad y aumenta la vida del equipo [45].



Figura 7.9 Sistema de cableado a) cable 18 AWG encontrado en la empresa Ficmams y b) soporte de cadena [27].

Debido a que los cables se mueven en los sistemas del eje largo, ancho y vertical, se seleccionó un componente llamado soporte de cable en cadena mostrado en la figura 7.9 b). El acople de este componente se da utilizando el tubo previamente colocado en la estructura base, el figura

7.10, se observa que soporte de cable descansa sobre el tubo de 50.8x50.8mm que conecta con el gabinete.

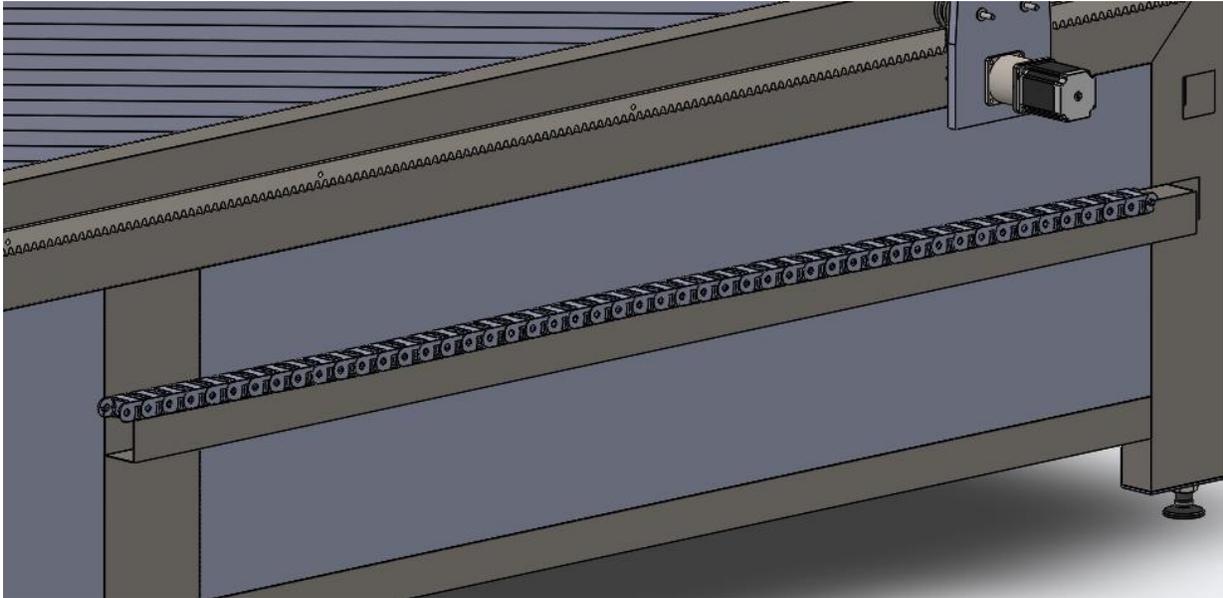


Figura 7.10 Colocación del soporte de cable en la estructura base.

7.3 CONEXIÓN GENERAL

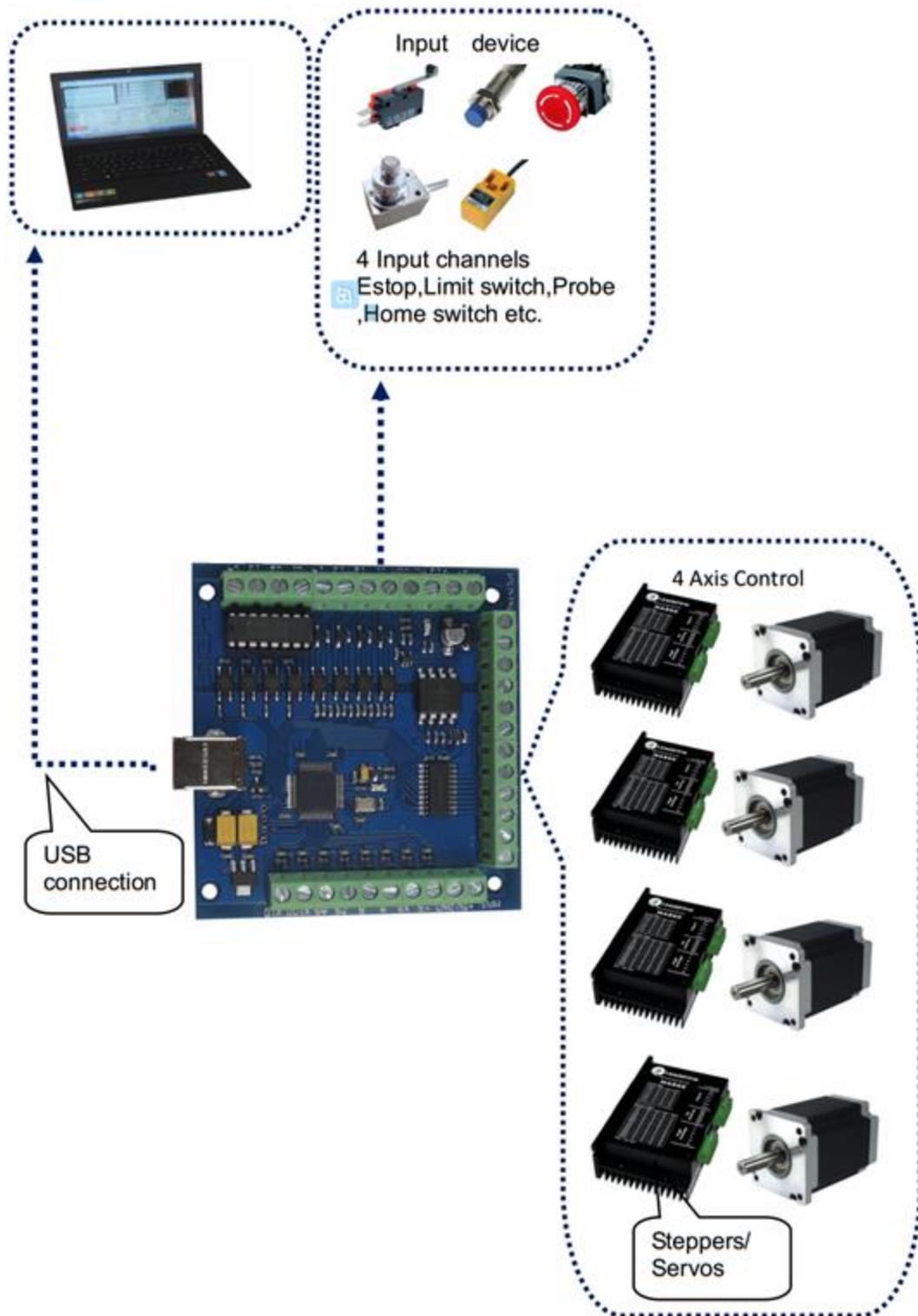


Figura 7.11 Conexión general del sistema de control en la máquina cortadora de plasma [42].

En la figura 7.11, se muestra el diagrama general de conexión para el control alrededor de la tarjeta Breakout Board seleccionada de SainSmart. El funcionamiento del sistema de control es regulado por la tarjeta, este recibe el código G proveniente de la computadora que cuenta con el Software MACH 3, que transforma una pieza de Solidworks o de AutoCAD en un código de ejecución para manufacturarla con el corte de plasma, la tarjeta electrónica recibe estos datos y se los envía a los driver DM524A que controlan a los Stepper motor NEMA 23, tanto en dirección, velocidad y activación. También recibe información de los llamados componentes de entrada, sensores de contacto e inductivos.

Se especificó también el diagrama de conexión en la figura 7.12, necesario entre el Driver DM542A y la Breakout Board. La tarjeta cuenta con un CD que especifica los pines requeridos en la conexión, el de 5V para alimentación, el de STEP, son los pulsos o PWM a un bajo tensión, DIR hace referencia a la dirección de giro del motor y el ENABLE como su nombre lo indica activa o desactiva el sistema.

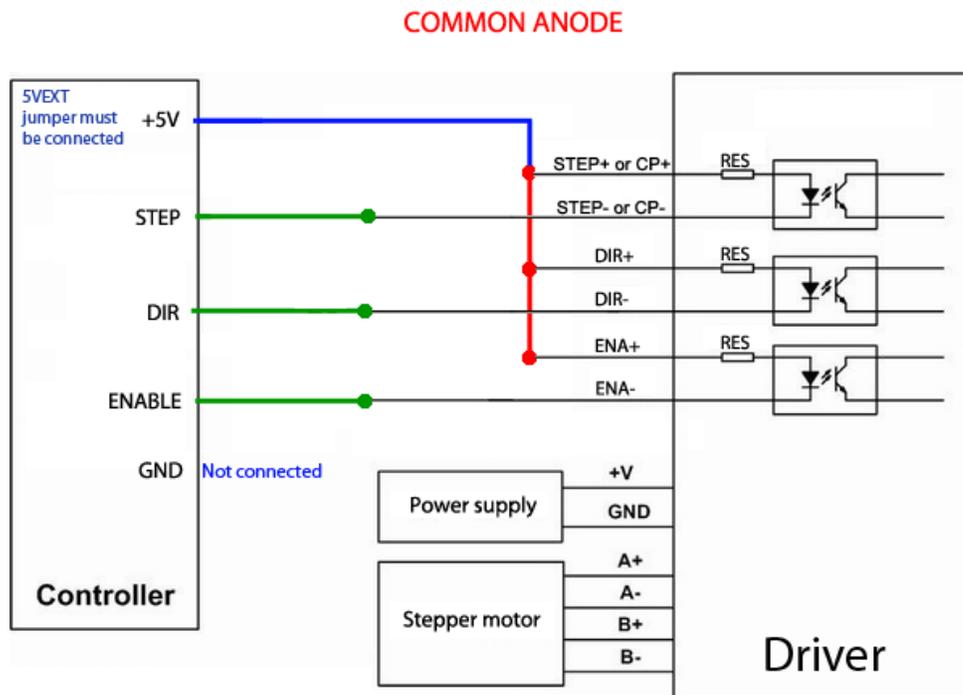


Figura 7.12 Diagrama de conexión entre el DRIVER DM542A y la tarjeta Breakout Board SainSmart [42].

Una vez que se especificó la conexión entre la tarjeta y el driver, se realizó el diagrama entre el driver y el motor observado en la figura 7.13. El Stepper motor que se seleccionó es de cuatro cables, el anexo B.9, se muestra la asignación de los colores de los cables del motor. El driver se encarga por medio de esta conexión de girar al motor en la velocidad, dirección de giro y activación y desactivación deseada para el control de la máquina cortadora de plasma.

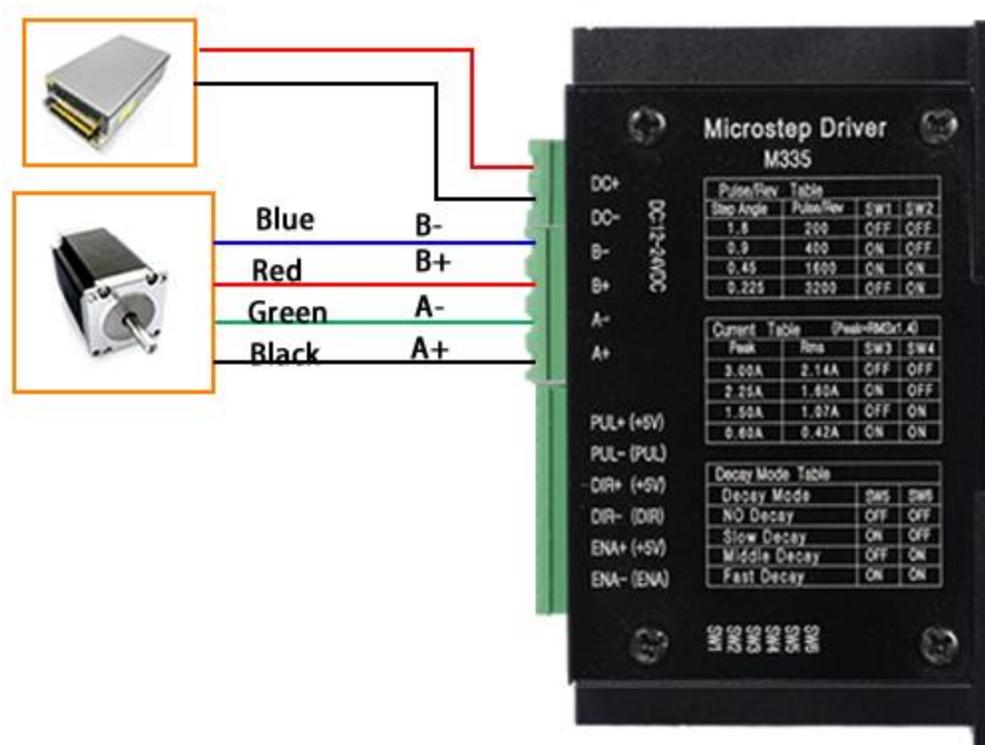


Figura 7.13 Diagrama de conexión entre el DRIVER DM542 y el Stepper motor NEMA 23[27].

7.4 FACILIDAD ELÉCTRICA

Por la naturaleza de la empresa Ficmams y debido a que constantemente conectan y energizan máquinas, en el taller se encuentran una variedad de conectores de 220V para el generador del plasma y de 110V para la fuente de energía de los componentes de control aparte se cuenta también con un sistema de protección para variaciones en la corriente y aislamiento de los equipos para evitar daños debido a un malfuncionamiento en la red eléctrica.

8 ANÁLISIS ECONÓMICO

Se desarrolló un análisis económico con el fin de examinar la viabilidad del proyecto, para esto se determinaron variables como el costo total de los materiales requeridos, diseño de la máquina y horas necesarias por los técnicos para la construcción de la máquina. Cabe resaltar que para el desarrollo del análisis se utilizaron datos brindados directamente por los ingenieros a cargo de la empresa Ficmams y que son aproximaciones realizadas de la experiencia que han tenido con equipos similares.

8.1 COSTOS MATERIALES

Cuando se realiza un diseño que posterior se planea construir, el tiempo es un factor determinante al momento de la construcción y los recursos disponibles. No todas las empresa pueden adquirir en una semana todos los materiales necesarios para confeccionar una máquina, aunque al hacer esto se exponen a pérdidas, si ya se cuentan todos los materiales y por alguna razón de emergencia se debe hacer un pequeño cambio en la máquina puede que alguno o varias materiales ya comprados no hagan falta resultando en un desperdicio de dinero, además de que muchos materiales requieren de un mayor espacio que no siempre está disponible en los talleres de una pequeña y mediana empresa como lo es Ficmams.

Debido a lo anterior se elaboró una lista de los materiales que se requieren, cantidades, costos y ubicación para realizar su compra además se le agrego a cada material una prioridad de compra, relacionada directamente con el orden de la construcción de la máquina.

8.2 COSTOS CONSTRUCCIÓN

Para conocer el verdadero costo de la máquina no basta con conocer el valor de los componentes, se debe analizar las horas requeridas para la construcción como el valor del diseño del equipo. El diseño de la máquina que incluye el modelo CAD, lista de materiales y los planos para la manufactura y ensamble cuesta alrededor de \$1200, este valor fue proporcionado por los ingenieros de la empresa, los cuales cuentan con amplia experiencia en la cotización y valoración de máquinas, ya que es una tarea diaria en la compañía. Referente a la mano de obra requerida para la máquina, se tiene las horas técnico cuestan alrededor de 5\$, este dato se obtuvo de la secretaria y encargada de la planilla en Ficmams. Se calculó

analizando los procesos requeridos y ensambles a realizar que la máquina se puede construir con un aproximado total de 2 técnicos laborando 8 horas por día durante 1 semana y 3 días.

$$2 \times 8 \times 8 \times 5 = \$640$$

8.3 INVERSIÓN

El valor total de la máquina se obtuvo al sumar el costo de los materiales, diseño, mano de obra requerida y un monto destinado a imprevistos sugerido por los ingenieros de la empresa de alrededor \$350.

Tabla 8.1 Costo total de la máquina cortadora precisión corte por plasma.

Descripción	Valor (\$)
Materiales	2006
Diseño	1200
Mano de obra	640
Imprevistos	350
TOTAL	\$4196

8.4 PLAZO DE RECUPERACIÓN

Los ingenieros a cargo de la empresa Ficmams estiman con facturas que el gasto mensual promedio de cortes de piezas metálicas utilizadas en las máquinas que fabrican y que son realizados por terceros es de alrededor \$650, lo anterior no incluye los materiales, no obstante, utilizando solamente el costo del servicio brindado por empresas externas se tiene que el plazo de recuperación es de:

$$\#Meses = \frac{4196}{650} = 6.5$$

Es decir que el costo de la máquina se recupera en alrededor de **6.5 meses** de trabajo, un periodo corto debido a el área de trabajo de la empresa, se debe agregar además las ganancias indirectas referidas al tiempo ahorrado, a la disponibilidad inmediata del equipo y ahorro en combustibles y personal que usualmente se utiliza para recoger las piezas de las empresas contratadas para los cortes. Los factores anteriores aunque inmensurables agregan valor a la máquina debido a los gastos que se disminuyen mensualmente y generan múltiples beneficios a la empresa.

9 RESULTADOS

9.1 ESTRUCTURA BASE

9.1.1 Cálculos y Simulación

Para realizar los cálculos y simular de la manera más realista las cargas y fuerzas utilizadas deben ser representativas y semejantes a las encontradas cuando se emplea de manera plena la máquina, para esto se debe conocer el peso agregado de cada componente a la estructura, aunque se tiene claro que estos pueden estar sujetos a cambios de diseño y de forma, diferir en la realidad su peso, entre otros posibles problemas, estas variaciones en la masa total del sistema se mitigan utilizando un factor de diseño de alrededor 1.2.

Para los sistemas del eje largo y ancho se realiza una aproximación de 30kg, para la cama de agua se realizaron mediciones en la mesa y se calculó el volumen de agua total, alrededor de unos 0.550m^3 que representa 550 kg de agua, para la cama metálica de igual manera se estimó el valor en unos 50 kg, estos valores supuestos de determinaron con la ayuda de los ingenieros de la empresa Ficmams, se realizó un lista con cada pieza empleada a lo largo del diseño y su masa y con los sistemas mencionados y sus pesos supuestos, en esta información se obtuvo en Solidworks con la herramienta *Mass Properties*, donde a cada elemento de la estructura base por separado se le asignó el material respectivo para conocer su masa.

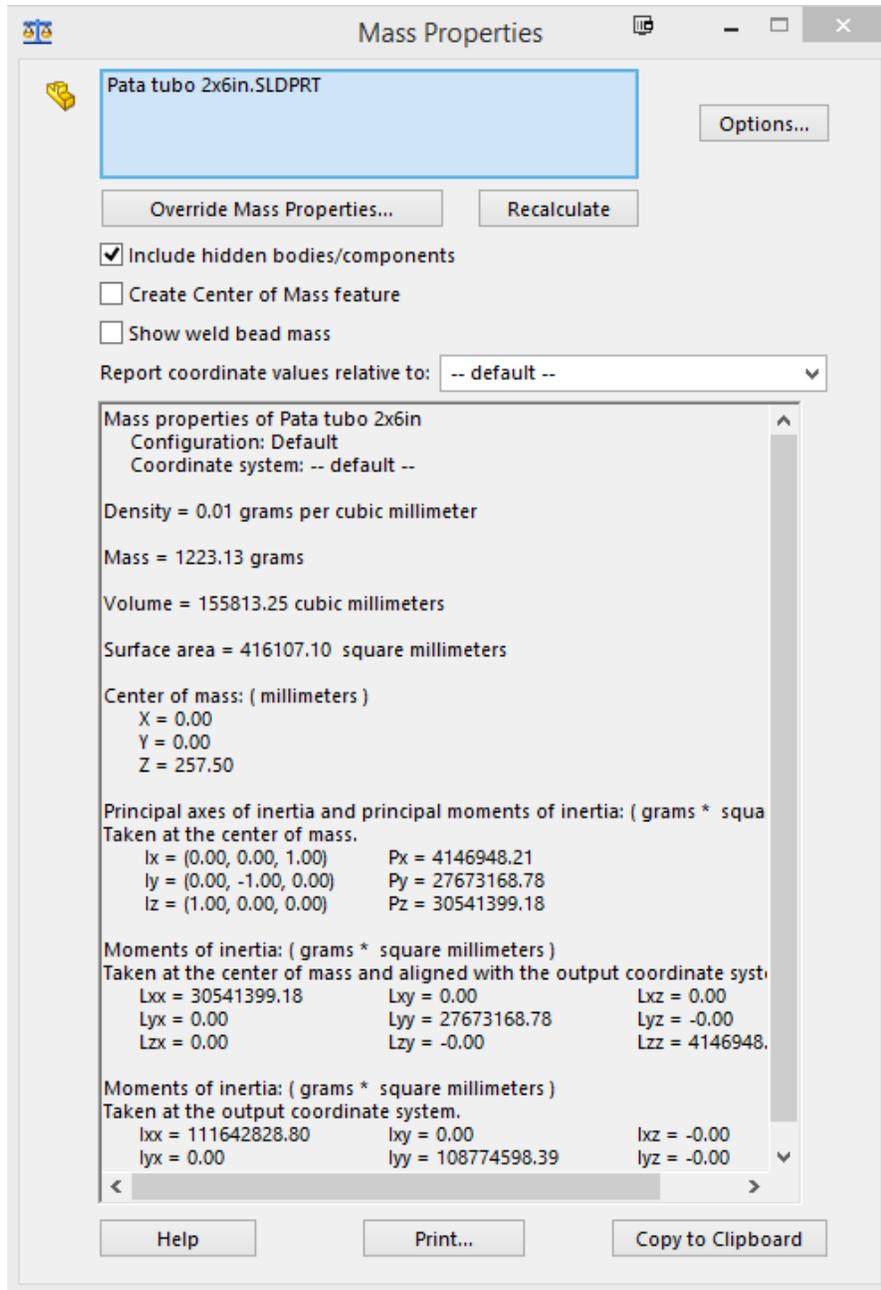


Figura 9.1 Propiedades físicas del tubo 50.8x50.8mm utilizado en las patas de la mesa.

Se ejecutó la misma herramienta para todas las piezas y se extrajo la información de la masa, resultando la tabla de pesos que debe soportar la estructura base.

Tabla 9.1 Peso y masa de las piezas.

Pieza	Material	Cant.	kg C/U	Masa Total
Tubo 2x6in esp 2.38 long 3500	ASTM A500	2	8.072	16.144
Tubo 2x6in esp 2.38 long 1800	ASTM A500	1	4.155	4.155
Tubo 2x6in esp 2.38 long 750	ASTM A500	4	1.223	4.892
Tubo 2x6in 750 (con agujero)	ASTM A500	2	1.374	2.748
Tubo 2x6in esp 2.38 long 1698	ASTM A500	1	4.033	4.033
Tubo 4x4in esp 1.8 long 1860	ASTM A500	1	5.322	5.322
Tubo 2x2in esp 1.8 long 1521	ASTM A500	4	2.145	8.58
Tubo 2x2in esp 1.8 long 1698	ASTM A500	7	2.395	16.765
Tubo 2x2in esp 1.8 long 50	ASTM A500	1	0.707	0.707
Tubo 2x2in esp 1.8 long 400	ASTM A500	1	0.742	0.742
Tubo 2x2in esp 1.8 long 3097.6	ASTM A500	2	4.368	8.736
Tubo 2x2in esp 1.8 long 200	ASTM A500	1	0.247	0.247
Tubo 2x2in esp 1.8 long 350	ASTM A500	1	0.458	0.458
Angular lamina 1/4in	Acero galvanizado	3	10.973	32.919
Tubo 1x1in esp 1.8 long 1698	ASTM A500	16	1.105	17.68
Lamina 1/16in 1521x400	Acero galvanizado	4	8.175	32.7
Lamina 1/16in 823x400	Acero galvanizado	2	4.484	8.968
Lamina 1/16in 823x501	Acero galvanizado	2	5.556	11.112
Lamina 1/16in 1698.4x3097.6	Acero galvanizado	1	65.73	65.73
Tapa gabinete lamina 1/8 in 1698x250	Acero galvanizado	2	10.609	21.218
Lamina 1/16 1749x400	Acero galvanizado	1	9.38	9.38
Lamina 1/16 soporte cama	Acero galvanizado	52	1.078	56.056
Lamina 1/8 in 150x332	Acero galvanizado	2	0.381	0.762
Lamina 1/8 in 150x101	AISI 1020	2	6.25	12.5
Lamina 1/8in 205x105	Acero galvanizado	2	1.31	2.62
Lamina 1/8in 205x326	Acero galvanizado	2	1.343	2.686
Lamina 1/8in 205x326	Acero galvanizado	2	0.3	0.6

Lamina 1/8 in 150x80.68	Acero galvanizado	2	1.008	2.016
Lamina 1/8 in 150x269	Acero galvanizado	2	1.243	2.486
Cama de agua APROX	Agua	1	550	550
Cama de metálica APROX	Acero galvanizado	1	50	50
Sistema Eje largo APROX	Variado	1	30	30
Sistema Eje ancho APROX	Variado	1	30	30

Realizando la sumatoria de todas las masas y multiplicando este valor por 9.81m/s^2 para determinar el peso total se obtiene el siguiente cuadro.

Tabla 9.2 Datos de masa y peso de la estructura.

Componente	Valor
Masa total	996.818 kg
Peso total	9778.78458 N
Factor diseño	1.2
Peso Total Final	11734.5415 N

Se utiliza un factor de diseño de 1.2, esto para contemplar los posibles cambios en algunas piezas de ser necesarios y agregar el peso de aquellos componentes como tornillos, tuercas, arandelas, sujetadores entre otros de tamaño similares.

Debido al gran peso de la máquina las patas de la estructura se encuentran bajo un gran esfuerzo, cada pata soporta un sexto del peso total final, es decir 1956N. Se utiliza la herramienta de Solidworks SimulationXpress. Se coloca la carga mencionada y se sujeta la pieza en el extremo soldado (flechas), como era de esperar los mayores esfuerzos se encuentran en los alrededores del agujero. El mínimo factor de seguridad encontrado es de alrededor 14, es decir no habrá fluencia en ningún punto de la estructura a menos que la carga aumente aproximadamente quince veces y no hace falta modificar este elemento.

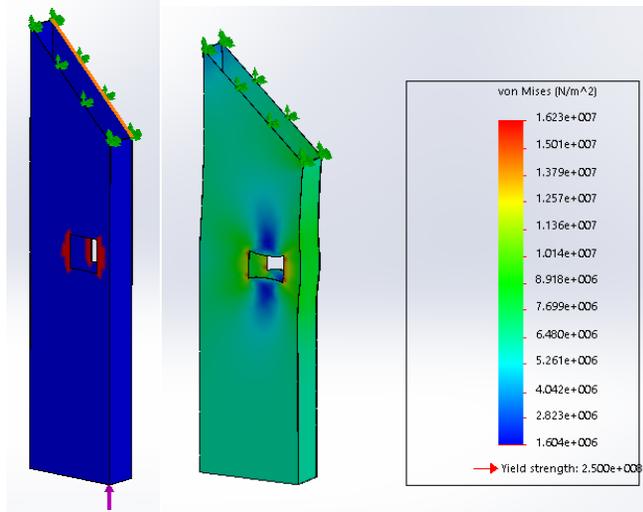


Figura 9.2 Resultados de simulación en tubos 50.8x152.4mm con agujero Solidworks.

Se calculó el factor de seguridad de las barras roscadas. Las cuales se encuentran bajo un esfuerzo de compresión, utilizando la ecuación 3.1, la carga de 1880 N, la barra está hecha con AISI 1020 por lo que su esfuerzo permisible se lee del anexo B.1, al desconocer si el proceso es HR o CD se utiliza menor, y el valor del área de raíz del anexo B.2 en m².

$$Esf \text{ comp} = \frac{1956 \text{ N}}{0.0003555 \text{ m}^2} = 5.5 \text{ MPa}$$

$$FS = \frac{380 \text{ MPa}}{5.5 \text{ MPa}} = 69$$

El factor de seguridad es sumamente alto, no obstante, se utiliza la barra de 1 in no solo por la resistencia que brindar al tener mayor área de apoyo, también para ganar estabilidad en la estructura y rigidez, y la principal razón es que la diferencia de precios con una barra de mayor diámetro (hasta el doble) es mínima, una barra de 25.4mm de diámetro y 152.4mm de longitud cuesta alrededor de 5000 colones [18] y la diferencia entre la menor siguiente es mínima, esto debido a que el precio lo define la manufactura de la rosca y no tanto la cantidad de material presente, además al ser un elemento crítico y fundamental de la estructura se avala el valor y se obtiene un sistema con una larga vida y que requiere poco mantenimiento.

9.2 CAMA METÁLICA

9.2.1 Cálculos y Simulación

Las láminas metálicas cortadas y colocadas con una orientación de 45° deben ser capaz de soportar la carga proveniente del peso en las placas a cortar, donde la mayor posible mide 3x1.5m y de espesor 20mm, para una masa de 55 kg, es decir un peso de 540N. Para simular el efecto de la carga mencionada se supone que la soportan solo treinta y cinco láminas de las cuarenta y uno encontradas, esto para trabajar con un factor de diseño de 1.17 ya que no todas harán contacto inmediato y con la lámina. El mayor segmento apoyado solo 2 extremos encontrado en la cama metálica es de 900mm, se simula entonces una lámina de 1.58mm colocada verticalmente y con una carga de 15.5 N como se observa en la figura 9.3.

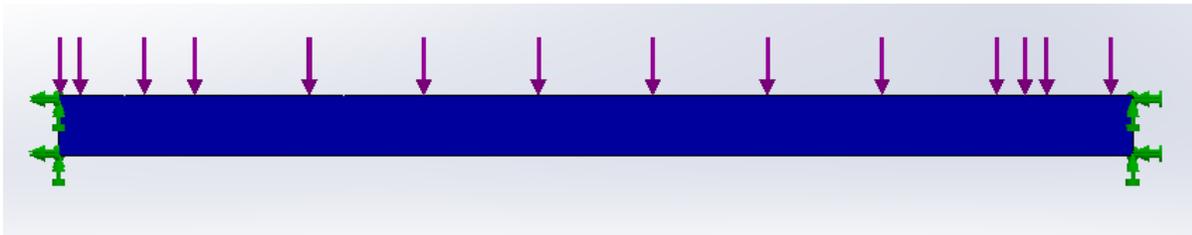


Figura 9.3 Lámina cama metálica bajo carga debido a la placa de trabajo.

El factor de seguridad como era de esperarse es muy alto, 141, esto se debe la orientación vertical de la placa metálica y que al ser un total de cuarenta y uno la carga donde la carga distribuye, aun si se justica porque si el espacio entre las láminas se aumentara y el número de segmentos se disminuye a considerablemente, complicaría la colocación de las placas metálicas y ocasionaría que no solo los residuos caigan a la cama de agua sino también las piezas cortadas. Se analizó también la deflexión de la lámina utilizando la herramienta se Solidworks se observa en la figura 9.4 que el mayor desplazamiento es de 8×10^{-3} mm.

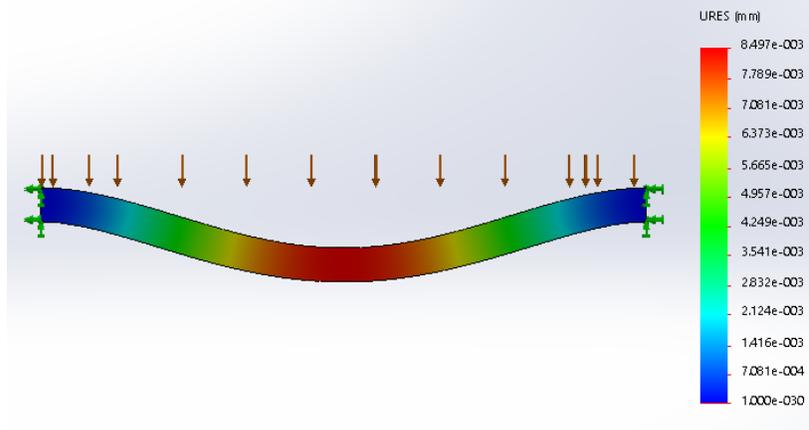


Figura 9.4 Deflexión en la lámina de la cama metálica.

9.3 CAMA DE AGUA

El sistema donde las soldaduras realizadas con SMAW E60 se encuentran bajo un mayor esfuerzo debido al peso del agua, de manera similar que en la cama metálica esta carga se distribuye en ocho tubos de rectangulares de 25.4x25.4mm y largo de 1.698m, con dos soldaduras en cada extremo con un perfil de C como el mostrado en la figura 9.5.

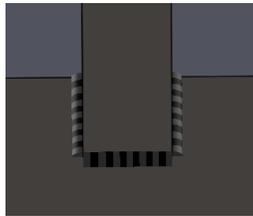


Figura 9.5 Perfil de C en la soldadura de los tubos de la cama de agua.

Se utilizó el peso del agua de 550 kg, el mismo utilizado en la estructura base, se calculó la carga total de 5395 N, a cada tubo soporta una carga superficial de 675N. Se realizó la simulación con los datos anterior y arrojó la figura 9.6, donde el mínimo factor de seguridad encontrado es de 1.81.

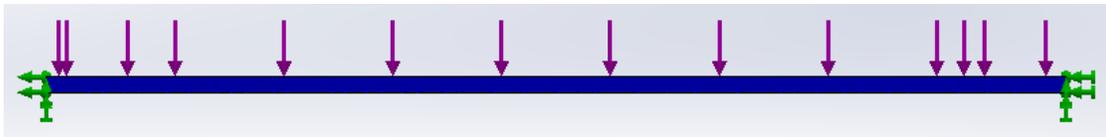


Figura 9.6 Simulación realizada en Solidworks para los tubos que sujetan el peso del agua.

La deflexión máxima obtenida en la simulación se aprecia en la figura 9.7.

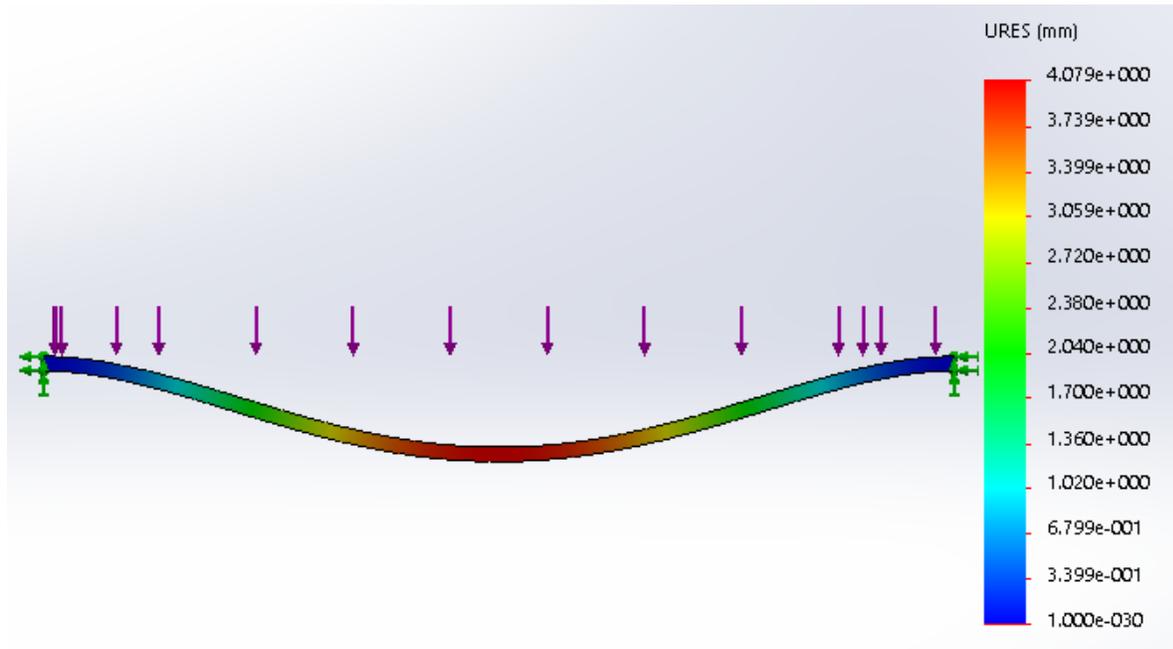


Figura 9.7 Máxima deflexión en el tubo de 25.4x25.4mm.

La deflexión máxima que se tiene es de 4.079mm, un valor considerable y que puede afectar el funcionamiento de la máquina, no obstante, este valor en el diseño es menor, debido a que la lámina metálica soldada en todo alrededor (flechas verdes) también soporta la carga proveniente del agua (flechas moradas). En la figura 9.6, se observa la simulación para esta lámina. Donde el menor factor de seguridad encontrado es de 17.

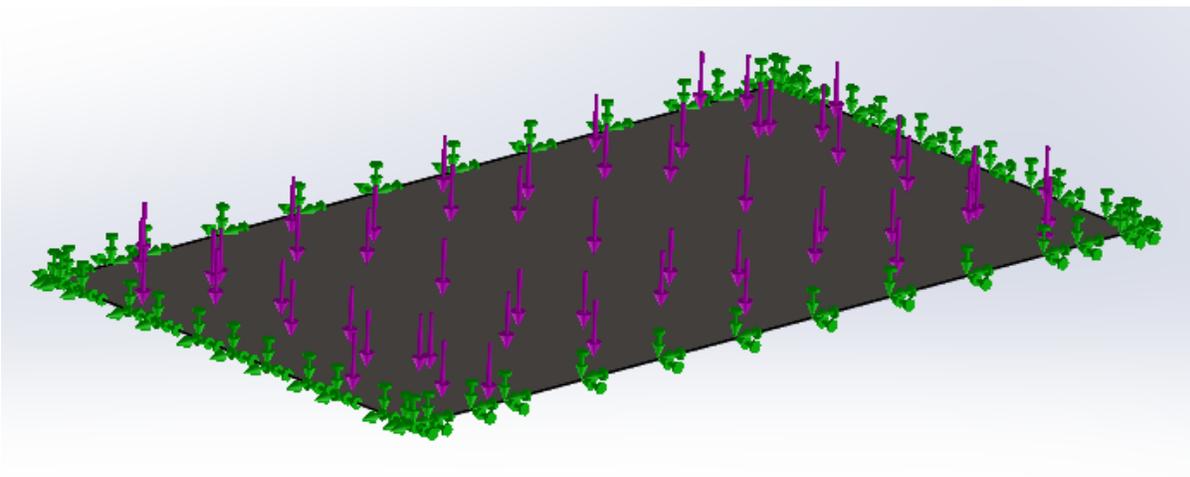


Figura 9.8 Simulación de la lámina de la cama de agua con soldadura todo alrededor.

Al combinar los dos análisis anteriores, se tiene un factor de seguridad alrededor de 19 en el sistema y la deflexión de 4mm se reduce a un valor menor que 1mm.

La soldadura E60 es capaz de soportar un total de 345 MPa, la mostrada en la figura 9.3, de tipo C se encuentra bajo un esfuerzo de flexión, es decir el esfuerzo permisible es de un 66% del total, un valor de 207MPa. La carga que soporta cada soldadura es un dieciseisavo del peso del agua, un total de 338N ya que la soldadura se colocó en ambos extremos del tubo de 25.4x25.4mm. Utilizando el anexo B.5, se calculó el esfuerzo en la soldadura de tipo C con una altura h de 3mm.

$$Iu = \frac{0.0254^2}{12} (6 \times 0.0254 + 0.0254) = 9.56 \times 10^{-6} m^3$$

$$Esfuerzo\ calculado = \frac{338 \times 0.8492 \times 0.0127}{9.56 \times 10^{-6} \times 0.003 \times 0.707} = 0.382 MPa$$

$$Factor\ de\ seguridad = \frac{227.7 MPa}{178 MPa} = 1.28$$

9.4 SISTEMA EJE LARGO

En el sistema del eje largo solo se encuentran tres componentes de interés, el rodamiento 6001 y el eje del rodillo y motor. El primero cuenta con dimensiones de 28x12x8mm y es capaz de soportar hasta 1200lb (5300N) [46]. Si la masa estimada del sistema del eje ancho más el sistema del eje vertical y el de activación encontrada en la tabla de pesos 9.1, es de un aproximado de 40 kg, es decir 392.4 N entonces el factor de seguridad utilizando solo las cargas o fuerzas es de:

$$Factor\ de\ seguridad = \frac{5300N}{392.4N} = 13.5$$

El eje se encuentra bajo un esfuerzo de cortante, se realizó el análisis en la sección de menor área y se utilizó un valor de concentrador de esfuerzo recomendado por los ingenieros de la empresa de 2, si la carga es la misma que para el rodamiento tenemos que:

$$Esfuerzo\ calculado = \frac{F}{A}$$

$$\frac{F}{A} = \frac{392.4N}{\pi x ((0.006)^2 - (0.003175)^2)} = 4.82 MPa$$

Si el esfuerzo permisible del material del eje AISI 1020 es de 380 MPa el factor de seguridad es:

$$Factor\ de\ seguridad = \frac{Esfuerzo\ permisible}{Esfuerzo\ calculado} = \frac{380}{4.82x2} = 38$$

Es importante denotar que es los sistemas de eje ancho, eje vertical, de activación y eléctrico no se realizó ningún cálculo de factor de seguridad debido a que las cargas existentes en los sistemas mencionados son despreciables.

9.5 MATERIALES

Se generó entonces la tabla 9.3, donde se especifica cada componente requerido y utilizado en el diseño de la máquina cortadora de plasma, su descripción, cantidad, material, precio y fuente para la posterior compra. Además se le agregó una prioridad de compra a cada componente suponiendo una división de tres semanas, se mencionó previamente en el estimado de horas que son necesarias una semana y media de dos técnicos laborando en la máquina para terminar su construcción, no obstante, este tipo no es necesariamente continuo, ya sea por disponibilidad o trabajos de mayor prioridad en la empresa.

Tabla 9.3 Lista de materiales requeridos para la construcción de la máquina cortadora de precisión corte por plasma.

Componente	Descripción	Cant.	Material	Precio \$	Fuente	Prior. 1	Prior. 2	Prior. 3
Tubo 1X1 esp 1.8	6m c/d	4	ASTM A500	46	El Lagar			
Tubo 2x6 esp 1.5	6m c/d	3	ASTM A 500	150	El Lagar			
Tubo 2x2 esp 1.8	6m c/d	4	ASTM A 500	91	El Lagar			
Reductor 10:1	rel 10:1	3	Metal variado	280	Aliexpress			
Stepper Motory Driver NEMA 23	NA	3	Metal variado	185	Ebay			
Plasma Cable	26ft	1	Cobre y plástico	125	Ebay			
Stepper Motory Driver NEMA 17	NA	1	Metal variado	25	Ebay			
Lámina 1/16	1.22x2.44m	3	ASTM A 500	75	El Lagar			
Lámina 1/8	1.22x2.44m	1	ASTM A 500	61	El Lagar			
PLATINA DE ACERO CALIB. 1/4x2.1/2in	long 1.895m	2	AISI 1020	13	Aceros Roag			
PLATINA DE ACERO CALIB. 1/2x6in	long 0.400m	2	AISI 1020	40	Aceros Roag			
PLATINA DE ACERO CALIB. 3/8x8in	long 0.250m	2	AISI 1020	30	Aceros Roag			
BARRA DE ACERO 1020 DE 2"	1m	1	AISI 1020	28	Aceros Roag			
BARRA DE ACERO 1020 DE 1"	1m	1	AISI 1020	6	Aceros Roag			
BARRA DE ACERO 1020 DE 1/2"	1m	2	AISI 1020	3	Aceros Roag			
Cremallera 8 x 30 mm	mod 4	9	Acero galvanizado	125	A. Automáticos			
Piñón	dim 80mm	3	AISI 1020	130	A. Automáticos			
Rodamiento 6002-2RS	15X32X9mm	10	AISI 1020	50	Caferce			
Rodamiento 6001-2RS	12x28x8mm	6	AISI 1020	40	Caferce			
Limit Switch	NA	4	Plástico	8	Ebay			
sensor inductivo	NA	7	Plástico	39	Ebay			
Cnc Z axis 100mm stroke	190x82x59mm	1	Aluminio 1060	200	Ebay			

TUBO DE ACERO SANDVICK DE 56x28	1m	1	AISI 1518	22	Aceros Roag			
BARRA ROSCADA GALV 1X36	NA	1	AISI 1020	10	Torcasa			
TOR ALLEN CAB/CIL 1/4X1	NA	30	Grado 8	7	Torcasa			
TOR ALLEN CAB/CIL 1/4X2	NA	45	Grado 8	25	Torcasa			
ARANDELA PLANA GALV UNID 1/4	NA	50	AISI 1020	1	Torcasa			
TUERCA HEX GR2 RO GALV 1/4	NA	40	AISI 1020	2	Torcasa			
TOR ALLEN CAB/CIL 1/4x3	NA	6	Grado 8	15	Torcasa			
TOR HEX MET GALV RO M10X50	NA	20	Grado 8	5	Torcasa			
ARANDELA PLANA GALV UNID 1/2	NA	20	AISI 1020	2	Torcasa			
TUERCA HEX GR2 RO GALV 1"	NA	10	AISI 1020	12	Torcasa			
TOR ALLEN CAB/CIL 3/8X2	NA	10	Grado 8	25	Torcasa			
ARANDELA PLANA GALV UNID 3/8	NA	16	AISI 1020	1	Torcasa			
Prisionero 3/8x1/2"	NA	4	Grado 8	5	Torcasa			
Prisionero 1/4x1/4"	NA	4	Grado 8	7	Torcasa			
Seguro interno Dim 30mm	NA	6	Grado 8	8	Torcasa			
Seguro interno Dim 32mm	NA	10	Grado 8	9	Torcasa			
Breakout Board	NA	1	NA	100	Amazon			
			TOTAL \$	2006				

9.6 PLANOS

Se elaboró una serie de planos separados de este documento, debido son los planos de una máquina que se pretende comercializar por la empresa Ficmams.

La elaboración de los planos se realizó bajo una secuencia lógica y orden construcción de la máquina, iniciando con la cortadora de plasma completa, se realizó una división de los módulos principales y luego cada uno de estos por aparta cuenta con sus planos de piezas y de ensamble. Los planos se realizaron con la herramienta especializada de Solidworks, donde los conjuntos mecánicos cuentan con una lista para la especificación de las piezas que lo componen, donde por ejemplo la estructura base se denota con (1), el sistema del eje largo con un (2) y así sucesivamente.

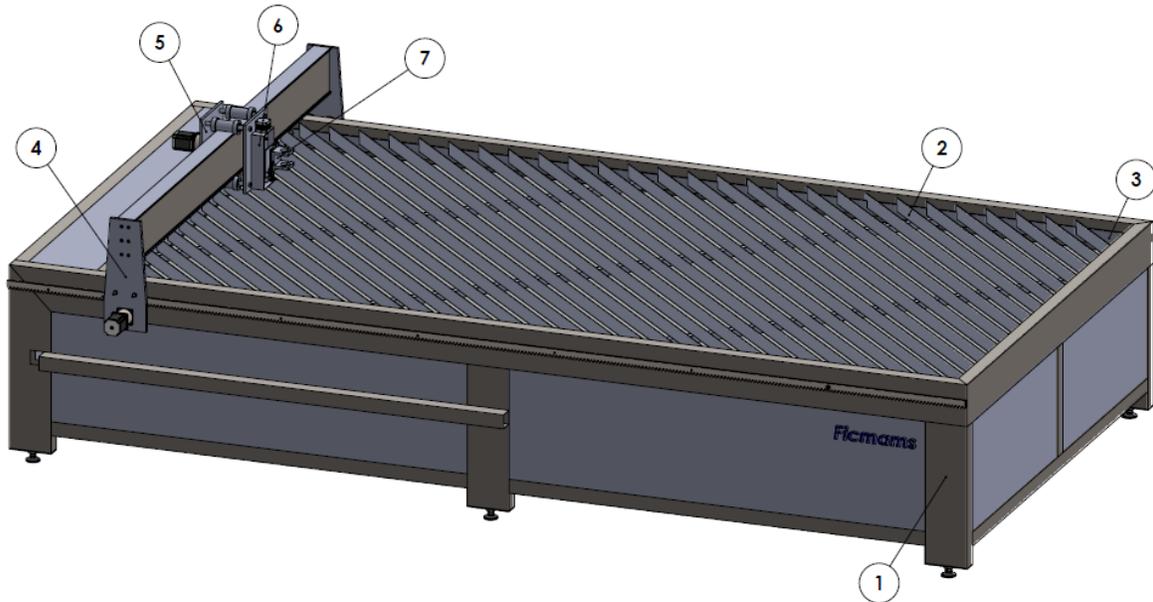


Figura 9.9 Conjunto Mecánico de la mesa cortador de plasma.

Se utilizó al máximo el espacio y se optimizó el uso de las vistas por medio de cortes. En la figura 9.10, se observa el plano de una pieza con un corte, donde se especificó el nombre de la pieza, cantidad y material.

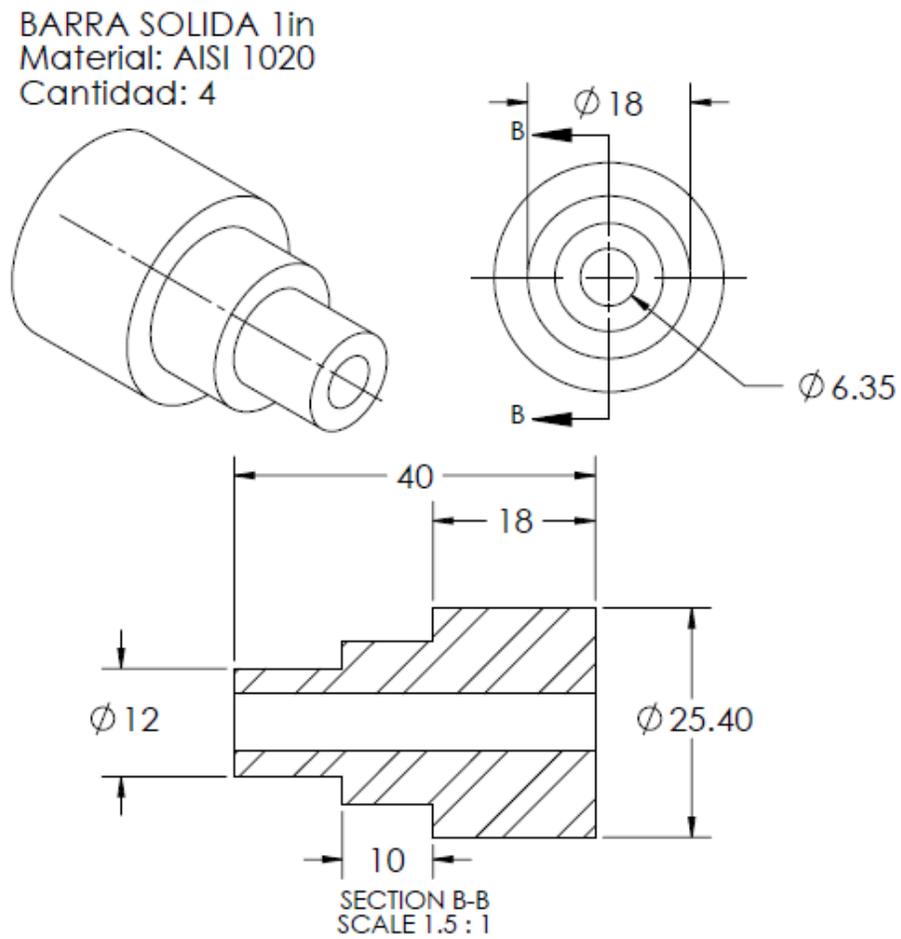


Figura 9.10 Muestra de planos, isométrico de rodillo y corte lateral.

La figura 9.10 hace referencia al plano realizado de una sola pieza, en los planos de construcción de la máquina se aprovechó el espacio al máximo y se colocaron diferentes elementos en una sola hoja A3 como lo muestra la figura 9.11.

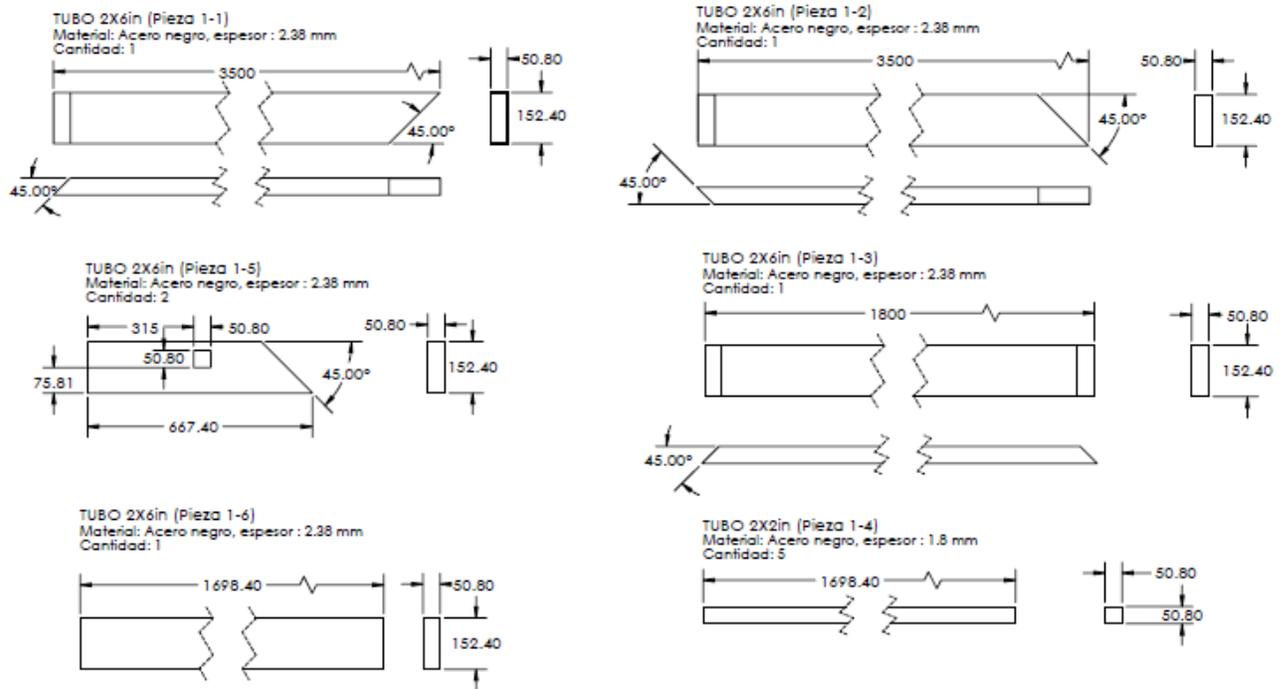


Figura 9.11 Grupo de piezas de un conjunto mecánico en una misma hoja de plano.

10 CONCLUSIONES

Se diseñó una máquina cortadora de precisión corte por plasma capaz de trabajar con láminas metálicas rectangulares de hasta 3x1.5m y 20mm de espesor.

Se diseñó un sistema de cama metálica y cama de agua capaz de soportar y albergar hasta 550kg de líquido.

Se logró reducir la emisión de gases tóxicos generales en una relación de 100:1 y de óxido de nitrógeno de 4:1.

Se diseñó un mecanismo para los ejes de la máquina capaz de trasladar a la boquilla del plasma a una velocidad de avance de 90mm/s a 0.9mm/s

Se seleccionó un grupo de componentes electrónicos, de fácil uso y conexión encargados del control de la máquina y correcto funcionamiento.

Se diseñó una máquina funcional a un bajo costo, que requiere solo de procesos de manufactura básicos para su construcción. Con un costo de 4196 dólares se calculó la recuperación la inversión en 6.5 meses.

La disponibilidad inmediata, mantenimiento y facilidad de uso de la máquina reducen los costos de fabricación de piezas metálicas, aparte de abrir la oportunidad en la empresa de brindar el servicio de corte en láminas.

11 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda poseer en bodega los consumibles de la boquilla del plasma y lamina de 1.587mm para la cama metálica.
2. Los sensores se deben calibrar y limpiar constantemente para una mejor medición.
3. Se debe estar revisando la horizontalidad de la mesa y de ser necesario ajustar utilizando las patas de la estructura base.
4. Se recomienda lubricar con frecuencia el reductor acoplado a los Stepper motor, debido a que es una caja de engranes.
5. Se pueden aplicar en la misma pieza varias velocidades de corte con el fin de mejorar la calidad del mismo.
6. Se recomienda cambiar el controlador CNC (Breakout Board) por un sistema completo integrado CNC.
7. Implementar un sistema de anti choque para la boquilla del plasma
8. Brindar el servicio de corte de placas metálicas CNC
9. Se recomienda limpiar, vaciar y llenar el sistema de agua por lo menos 3 veces al mes.
10. Se recomienda utilizar una hoja para el control del mantenimiento preventivo, para permitir un mayor control del funcionamiento de la máquina, analizar y prevenir fallas en el equipo con el propósito de reducir los gastos en componentes y aumentar el tiempo de producción
11. Se recomienda utilizar un computador con las siguientes características:
 - Teclado inalámbrico
 - Procesador de 2 núcleos y de 2GHz
 - Disco duro de 250GB
 - 2 GB RAM
 - DVD ROM
 - Consola de acero industrial
 - Fácil acceso para el mantenimiento
 - Parada electrónica con una llave de seguridad
 - Puerto USB externo y puerto de red para la transferencia de archivos

12 BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. E. Shigley and C. R. Mischke, Mechanical engineering design, 5th ed. New York: McGraw-Hill, 1989.
- [2] G. GARCIA P, Un proceso general de diseño en Ingeniería Mecánica, 1st ed. Instituto Tecnológico de Illnols, 1999.
- [3] R. L. Mott, Machine elements in mechanical design, 4th ed. Upper Saddle River, N.J.: Pearson/Prentice Hall, 2004.
- [4] Student's Guide to Learning SolidWorks® Software, 1st ed. Concord, Massachusetts: Dassault Systèmes, 2010.
- [5] Acerosroag.com, 'Aceros ROAG', 2013. [Online]. Available: <http://acerosroag.com/>.
- [6] Solidworks.com, 'Home', 2015. [Online]. Available: <http://www.solidworks.com/>.
- [7] G. Cavalcanti, CNC Plasma Cutter Tool Training Gui Cavalcanti 4/29/2013, 1st ed. Artisan Asylum, 2013.
- [8] Lincoln Electric Company, 'How a Plasma Cutter Works | Lincoln Electric', 2015. [Online]. Available: <http://www.lincolnelectric.com/en-gb/support/process-and-theory/Pages/how-a-plasma-cutter-works.aspx>.
- [9] Fineplasma.com, 'Komatsu CTD : TFPL Series, Twister Fine Plasma Cutting Machines', 2011. [Online]. Available: <http://fineplasma.com/kai/ctd/en/tfpl/>.
- [10] HyPerformance® Plasma HPR130XD, 2st ed. Hypertherm In, 2015.
- [11] B. B, Emission of fume and nitrogen oxides, 1st ed. Sweden: Institute of Production Engineering Research, 1995.
- [12] Hypertherm.com, 'Sistemas de corte por plasma HyPerformance | Hypertherm', 2015. [Online]. Available: https://www.hypertherm.com/es/Products/Automated_cutting/Mechanized_plasma/Systems/HyPerformance_plasma/.
- [13] APPLIED ROBOTICS INC 02-0003-022-P TORCHMATE 3 CORTADORA AL PLASMA CNC,5' X10' LCD17" E1709 CPU DELL OPTIFLEX 780, 1st ed. San Jose: Capris Almacén Técnico, 2015.

- [14]ASTM A500, 1st ed. Chicago, IL 60638: IndependenceTube Corporation, 2015.
- [15]Hypertherm.com, 'Automated cutting | Hypertherm', 2015. [Online]. Available: http://www.hypertherm.com/en/Products/Automated_cutting/.
- [16] Torchmate.com, 'Plasma Cutters - Choosing the Right Plasma Cutter | Options and Specs | Torchmate', 2015. [Online]. Available: <http://torchmate.com/plasma-cutters>.
- [17] Swift Cut Automation, 'Swift-Cut Plasma Cutting Tables', 2015. [Online]. Available: <http://swift-cut.co.uk/>.
- [18]J. Solano, Proforma #00443926, 1st ed. San Jose: Torcasa, 2015.
- [19]Minedoor.com, 'Custom fabrication and specialty services from engineering to delivery of finished products at American Mine Door', 2015. [Online]. Available: <http://www.minedoor.com/services.html>.
- [20]The Hobby-Machinist, 'Xalky's cnc plasma table build log.', 2015. [Online]. Available: <http://www.hobby-machinist.com/threads/xalkys-cnc-plasma-table-build-log.7436/>.
- [21]Technocnc.com, 'CNC Router Components Techno CNC Routers and CNC Router Systems', 2015. [Online]. Available: http://www.technocnc.com/technical-section/CNC_Router_Components.htm.
- [22]Forum.longevity-inc.com, 'Starting another CNC table', 2012. [Online]. Available: <http://forum.longevity-inc.com/showthread.php?4104-Starting-another-CNC-table>.
- [23]Accesosautomaticos.com, 'accesosautomaticos.com', 2015. [Online]. Available: <http://www.accesosautomaticos.com/>.
- [24]B. Arias, Cotización 1632. San Jose: Accesos Automáticos, 2015.
- [25] AUTOMATION FOR SLIDING GATES, 1st ed. OTTINGHAM: CAME UNITED KINGDOM LTD, 2015.
- [26]Orientalmotor.com, 'Motor Sizing Tools', 2015. [Online]. Available: <http://www.orientalmotor.com/support/motor-sizing.html>.
- [27]Ebay.com, 'Electronics, Cars, Fashion, Collectibles, Coupons and More | eBay', 2015. [Online]. Available: <http://www.ebay.com/>.
- [28] Aliexpress, 'Find Quality Wholesalers, Suppliers, Manufacturers, Buyers and Products from Our Award-Winning International Trade Site. Wholesale Products from China Wholesalers at Aliexpress.com.', 2015. [Online]. Available: <http://www.aliexpress.com/>.

- [29]Skf.com, 'Linear guides and tables', 2015. [Online]. Available: <http://www.skf.com/caribbean/products/linear-motion/linear-guides-and-tables/index.html>.
- [30] M. McComb, Introduction to Stepper Motors, 1st ed. Microchip Technology, 2015.
- [31]K. Craig, http://multimechatronics.com/images/uploads/mech_n/Step_Motors.pdf, 1st ed. Rensselaer Polytechnic Institute, 2007.
- [32]Anaheimautomation.com, 'Anaheim Automation - Your source for Stepper Motor, Brushless DC Motor, DC Motor, and Planetary Gearbox Products', 2015. [Online]. Available: <https://anaheimautomation.com/>.
- [33] NEMA size 23 1.8° 2-phase stepper motor, 1st ed. Schneider Electric Motion USA, 2015.
- [34] Diversitech.ca, 'Laser & Plasma Cutting - Fume Extraction Equipment | Diversitech - Air Pollution Solutions', 2015. [Online]. Available: <http://diversitech.ca/en/applications/laser-and-plasma-cutting>.
- [35] Osha.gov, 'Occupational Safety and Health Administration - Home', 2015. [Online]. Available: <https://www.osha.gov/>.
- [36] P. Rica, 'Productos Plásticos Sirena S.A - Productos Detalle', Plasticossirena.com, 2015. [Online]. Available: <http://plasticossirena.com/internas.php?idProducto=6&tituloProducto=Industrial%20Reforzada>.
- [37] SodimacCL, 'Construccion - Llaves y valvulas - Llaves de paso - Sodimac.com', 2015. [Online]. Available: <http://www.sodimac.cl/sodimac-cl/category/cat660006/Llaves-de-paso>.
- [38] Torcasa.cr, 'Torcasa Costa Rica', 2015. [Online]. Available: <http://www.torcasa.cr/>.
- [39] C. Build, 'Adam Horton: CNC Plasma Build', Adam-horton.blogspot.com, 2015. [Online]. Available: http://adam-horton.blogspot.com/p/cnc-plasma-build_16.html.
- [40] S. Admin, 'Plasma - detection of material', Proma-elektronika.com, 2015. [Online]. Available: <http://proma-elektronika.com/index.php/en/tips/plasma-detekcja-materialu>.
- [41] Hutongcn.com, 'Shanghai Hutong Enterprise Group Co.,Ltd', 2015. [Online]. Available: <http://www.hutongcn.com/PdShow.asp?ID=164>.

[42] Sainsmart.com, 'SainSmart 4 Axis Mach3 USB CNC Motion Controller Card Interface Breakout Board 3D Printing, Arduino, Robotics | Sainsmart', 2015. [Online]. Available: <http://www.sainsmart.com/sainsmart-4-axis-mach3-usb-cnc-motion-controller-card-interface-breakout-board.html>.

[43] Y. Here, 'Mach3 - Newfangled Solutions', Machsupport.com, 2015. [Online]. Available: <http://www.machsupport.com/software/mach3/>.

[44] F. Rodríguez, MÁQUINAS CNC, ROBOTS Y LA MANUFACTURA FLEXIBLE, 1st ed. FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN, 2010.

[45] Wecoconnectors.com, 'Weco - Welcome ', 2015. [Online]. Available: <http://wecoconnectors.com/>.

[46] Intech Bearing Inc., '6001-2RS SKF Sealed Radial Ball Bearing', 2015. [Online]. Available: <http://intechbearing.com/products/6001-2rs-skf-sealed-radial-ball-bearing..>

[47] Amazon.com, 'Amazon.com: Online Shopping for Electronics, Apparel, Computers, Books, DVDs & more', 2015. [Online]. Available: <http://www.amazon.com/>.

[48] Manual de mantenimiento preventivo de los equipos instalados, 1st ed. Instituto Tecnológico Superior de Xalapa, 2011.

13 APÉNDICES

APÉNDICE A.1 INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO.

La máquina cortadora de plasma está diseñada para proporcionar muchos años de servicio, sin embargo, para una rentabilidad a largo plazo, es aconsejable un mantenimiento adecuado.

Para evitar paros imprevistos, se recomienda un programa de mantenimiento preventivo, por medio del cual se consigue el mejor funcionamiento de la máquina, consiguiendo una producción continua y mejores resultados en [42]:

- Tiempos de servicio controlables y disminución de tiempos muertos.
- Ajustes óptimos para obtener la mejor calidad de producción posible.
- Mayor duración y vida útil de su equipo.
- Menor coste de reparaciones a largo plazo.

El servicio de mantenimiento preventivo, está basado en revisiones periódicas el cual garantiza alargar la vida útil de la máquina y sus componentes [42]. En este capítulo se detallan las labores de mantenimiento, así como algunas medidas de seguridad y procedimientos preliminares.

13.1 PROCEDIMIENTO GENERAL DE LAS RUTINAS DE MPP

Debido a la importancia del MPP (Mantenimiento preventivo planeado) en la prolongación de la vida útil de los equipos, y en el mantenimiento de su funcionamiento adecuado, se han determinado una serie de pasos generales que debe poseer una rutina de mantenimiento que se ejecuta sobre la máquina cortadora de plasma. Estos pasos son:

13.1.1 Inspección de condiciones

Observar las condiciones del ambiente en las que se encuentra el equipo, ya sea en funcionamiento o apagado. Los aspectos que se recomienda evaluar son: humedad, exposición a vibraciones mecánicas, presencia de polvo, seguridad de instalación y temperatura.

13.1.2 Limpieza integral externa

Eliminar cualquier presencia de suciedad, desechos, polvo, moho, hongos en las partes externas que componen al equipo.

13.1.3 Inspección externa del equipo

Examinar o reconocer atentamente el equipo, partes o accesorios que se encuentran a la vista, sin necesidad de quitar partes.

13.1.4 Limpieza integral interna

Eliminar cualquier vestigio de suciedad, desechos, polvo, moho, hongos en las partes internas que componen al equipo

13.1.5 Inspección interna

Examinar o reconocer atentamente las partes internas del equipo y sus componentes, para detectar signos de corrosión, impactos físicos, desgastes, vibración, sobrecalentamiento, sobrecalentamiento, roturas, fugas, partes faltantes, o cualquier signo que obligue a sustituir las partes afectadas o a tomar alguna acción pertinente al mantenimiento preventivo

13.1.6 Lubricación y engrase

Lubricar y/o engrasar y en forma los motores, engranes y demás mecanismos que lo requieran.

13.1.7 Reemplazo de partes intercambiables

Debido al efecto de la llama del plasma, y al daño de la alta temperatura en los componentes aledaños se recomienda reemplazar los consumibles de la boquilla y segmentos de lámina mensualmente. De igual manera el agua que se utiliza en la máquina se debe vaciar y llenar en un periodo de 10 días.

13.1.8 Ajuste y calibración

De ser necesario se debe ajustar y calibrar los equipos presentes en el eje X, eje Y, eje Z y sistema de activación, ya sea ésta una calibración o ajuste mecánico, eléctrico, o electrónico

13.1.9 Revisión de seguridad eléctrica

Se debe realizar mediciones con equipos especializados para garantizar que la máquina trabaje bajo condiciones eléctricas deseadas, y evitar exposiciones a corrientes elevadas que puedan dañar el equipo de control.

13.1.10 Pruebas funcionales completas

Además de en otras partes de la rutina, es importante poner en funcionamiento el equipo en conjunto con el operador, en todos los modos de funcionamiento que éste posea.

14 ANEXOS

ANEXO B.1 RESISTENCIAS DETERMINÍSTICAS MÍNIMAS A LA TENSIÓN Y A LA FLUENCIA ASTM [1].

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Procesa- miento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

ANEXO B.2 DIÁMETROS Y ÁREAS DE ROSCAS UNIFICADAS DE TORNILLOS UNC Y UNF [1].

Designación de tamaño	Diámetro nominal pulg	Serie gruesa-UNC			Serie fina-UNF		
		Roscas por pulgada, N	Área de esfuerzo de tensión A_t , pulg ²	Área del diámetro menor A_r , pulg ²	Roscas por pulgada, N	Área de esfuerzo de tensión A_t , pulg ²	Área del diámetro menor A_r , pulg ²
0	0.0600				80	0.001 80	0.001 51
1	0.0730	64	0.002 63	0.002 18	72	0.002 78	0.002 37
2	0.0860	56	0.003 70	0.003 10	64	0.003 94	0.003 39
3	0.0990	48	0.004 87	0.004 06	56	0.005 23	0.004 51
4	0.1120	40	0.006 04	0.004 96	48	0.006 61	0.005 66
5	0.1250	40	0.007 96	0.006 72	44	0.008 80	0.007 16
6	0.1380	32	0.009 09	0.007 45	40	0.010 15	0.008 74
8	0.1640	32	0.014 0	0.011 96	36	0.014 74	0.012 85
10	0.1900	24	0.017 5	0.014 50	32	0.020 0	0.017 5
12	0.2160	24	0.024 2	0.020 6	28	0.025 8	0.022 6
$\frac{1}{4}$	0.2500	20	0.031 8	0.026 9	28	0.036 4	0.032 6
$\frac{5}{16}$	0.3125	18	0.052 4	0.045 4	24	0.058 0	0.052 4
$\frac{3}{8}$	0.3750	16	0.077 5	0.067 8	24	0.087 8	0.080 9
$\frac{7}{16}$	0.4375	14	0.106 3	0.093 3	20	0.118 7	0.109 0
$\frac{1}{2}$	0.5000	13	0.141 9	0.125 7	20	0.159 9	0.148 6
$\frac{9}{16}$	0.5625	12	0.182	0.162	18	0.203	0.189
$\frac{5}{8}$	0.6250	11	0.226	0.202	18	0.256	0.240
$\frac{3}{4}$	0.7500	10	0.334	0.302	16	0.373	0.351
$\frac{7}{8}$	0.8750	9	0.462	0.419	14	0.509	0.480
1	1.0000	8	0.606	0.551	12	0.663	0.625
$1\frac{1}{4}$	1.2500	7	0.969	0.890	12	1.073	1.024
$1\frac{1}{2}$	1.5000	6	1.405	1.294	12	1.581	1.521

*Esta tabla se compiló de la norma ANSI B1.1-1974. El diámetro menor se determinó mediante la ecuación $d_r = d - 1.299\ 038p$ y el diámetro de paso a partir de $d_p = d - 0.649\ 519p$. Para calcular el área de esfuerzo de tensión se usaron la media del diámetro de paso y el diámetro menor.

ANEXO B.3 DIÁMETROS Y ÁREAS DE ROSCAS MÉTRICAS DE PASO GRUESO Y FINO [1].

Diámetro mayor nominal d , mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1 120	1 050	2	1 260	1 230
48	5	1 470	1 380	2	1 670	1 630
56	5.5	2 030	1 910	2	2 300	2 250
64	6	2 680	2 520	2	3 030	2 980
72	6	3 460	3 280	2	3 860	3 800
80	6	4 340	4 140	1.5	4 850	4 800
90	6	5 590	5 360	2	6 100	6 020
100	6	6 990	6 740	2	7 560	7 470
110				2	9 180	9 080

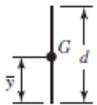
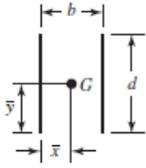
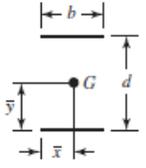
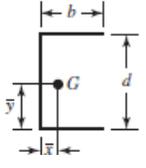
*Las ecuaciones y los datos utilizados para elaborar esta tabla se obtuvieron de la norma ANSI B1.1-1974 y B18.3.1-1978. El diámetro menor se determinó mediante la ecuación $d_f = d - 1.226\ 869p$, y el diámetro de paso a partir de $d_p = d - 0.649\ 519p$. La media del diámetro de paso y el diámetro menor se usaron para calcular el área de esfuerzo de tensión.

ANEXO B.4 ESPECIFICACIONES SAE PARA PERNOS DE ACERO [1].

Grado SAE núm.	Intervalo de tamaños, inclusive, pulg	Resistencia de prueba mínima,* kpsi	Resistencia mínima a la tensión,* kpsi	Resistencia mínima a la fluencia,* kpsi	Material	Marca en la cabeza
1	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Acero de bajo o medio carbono	
2	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{4}$ $\frac{7}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	55	74	57	Acero de bajo o medio carbono	
		33	60	36		
4	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	65	115	100	Acero de medio carbono, estirado en frío	
5	$\frac{1}{4}$ -1 $1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	85	120	92	Acero de medio carbono, T y R	
		74	105	81		
5.2	$\frac{1}{4}$ -1	85	120	92	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
7	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	105	133	115	Acero de aleación de medio carbono, T y R	
8	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	120	150	130	Acero de aleación de medio carbono T y R	
8.2	$\frac{1}{4}$ -1	120	150	130	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	

*Las resistencias mínimas son resistencias que excede 99% de los sujetadores.

ANEXO B.5 PROPIEDADES FLEXIONANTE DE LAS SOLDADURAS DE FILETE [1].

Soldadura	Área de la garganta	Ubicación de G	Segundo momento unitario del área
	$A = 0.707hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{12}$
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{6}$
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{bd^2}{2}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{12}(6b + d)$

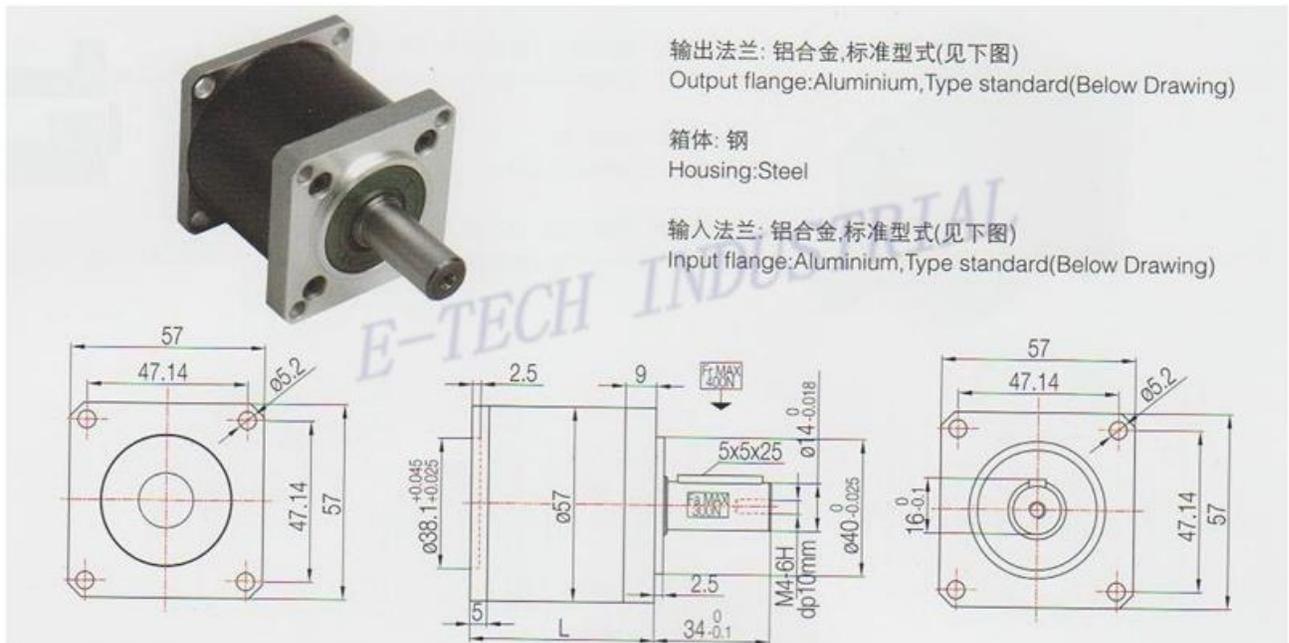
ANEXO B.6 PROPIEDADES MÍNIMAS DEL MATERIAL DE APORTE [1].

Número de electrodo AWS*	Resistencia a la tensión, kpsi (MPa)	Resistencia a la fluencia, kpsi (MPa)	Elongación porcentual
E60xx	62 (427)	50 (345)	17-25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14-17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13-16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

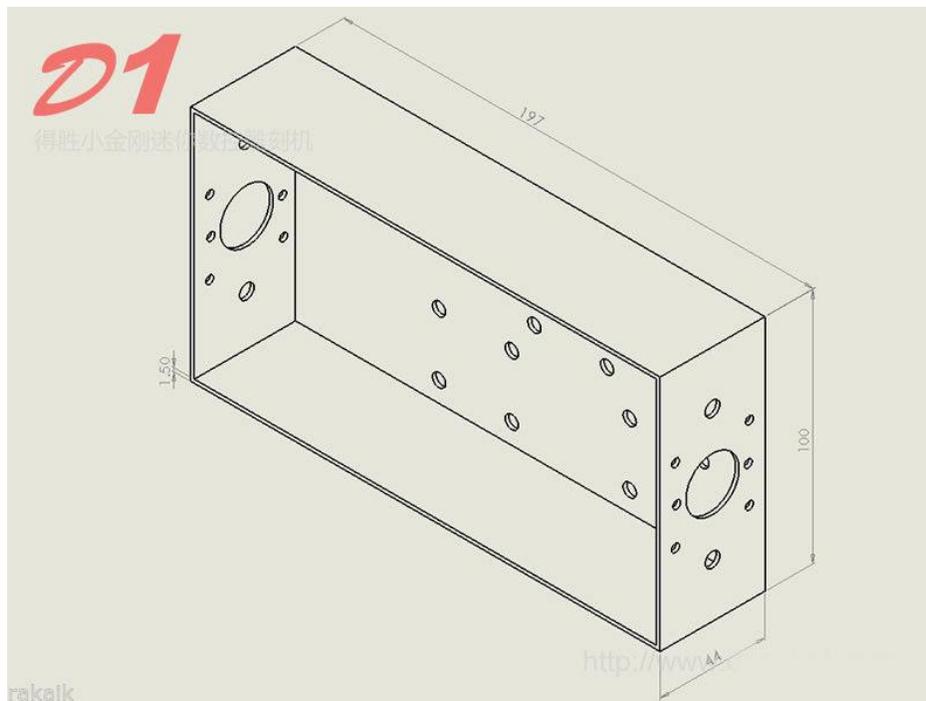
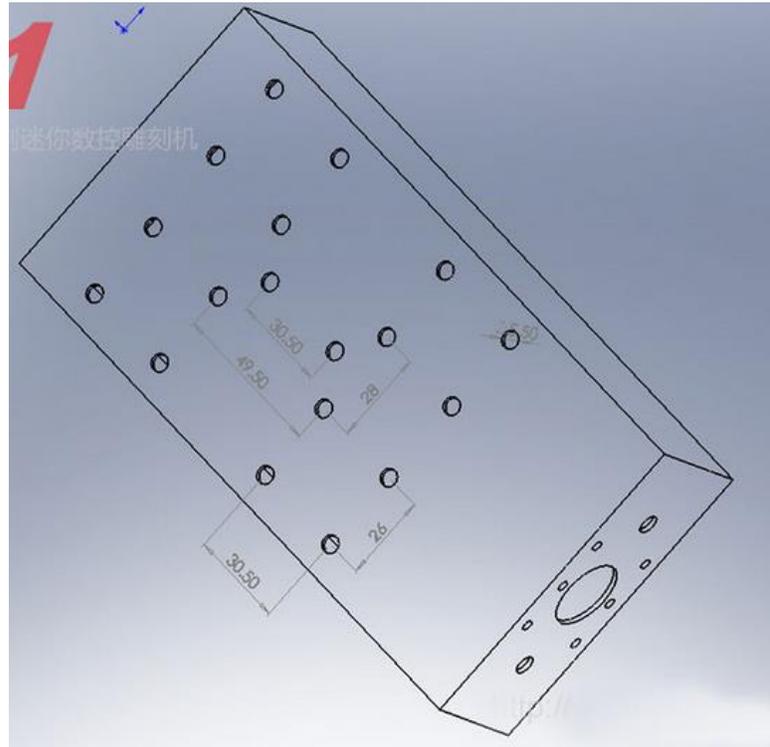
ANEXO B.7 ESFUERZOS PERMISIBLES DEL CÓDIGO AISC PARA METAL DE APORTE.

Tipo de carga	Tipo de soldadura	Esfuerzo permisible	n^*
Tensión	A tope	$0.60S_y$	1.67
Aplastamiento	A tope	$0.90S_y$	1.11
Flexión	A tope	$0.60-0.66S_y$	1.52-1.67
Compresión simple	A tope	$0.60S_y$	1.67
Cortante	A tope o de filete	$0.30S_u$	

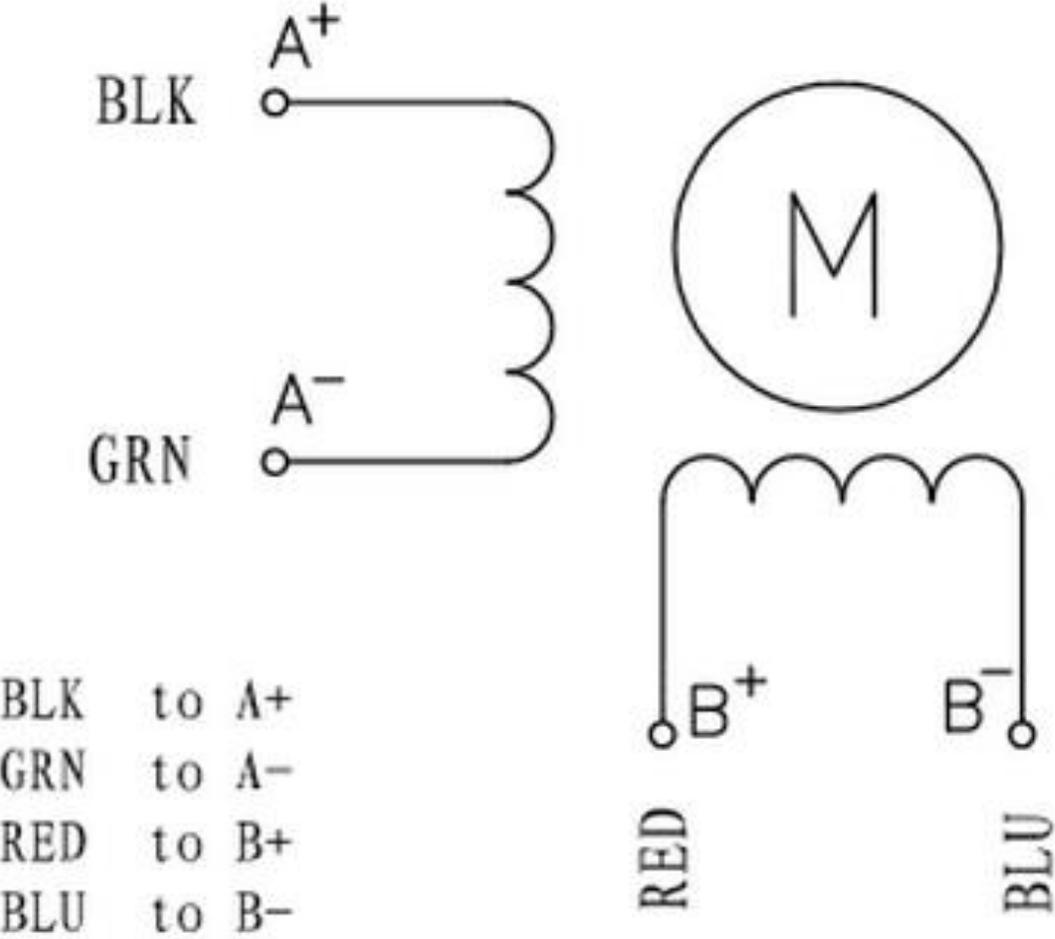
ANEXO B.7 ESPECIFICACIONES DEL REDUCTOR NEMA 23 [27].



ANEXO B.8 ESPECIFICACIONES DEL ACTUADOR LINEAL [27].



ANEXO B.9 ESPECIFICACIONES DE LA CONEXIÓN DEL STEPPER MOTOR [27].



ANEXO B.10 COTIZACIÓN DE COMPONENTES EN ACCESOS AUTOMÁTICOS.



TELÉFONO: 2227 0909, Fax: 2227 4200
E-mail: info@accesos.co.cr
Cédula Jurídica: 3-101-177456
San José, Costa Rica

COTIZACION
1632

Cotizado para: **FICMAMS**

Fecha: 21/09/2015

Atención: Berny Arias

Teléfono:

Fax:

Cel:

SN: 03

Dirección: COSTA RICA

Cant.	Código	Descripción	Precio	Totales
7	CGZLH	Cremallera acero galvanizada delgada 8 x 30 mm de alto con separadores y tornillos. Paso standard modulo 4.	7,126.42	49,884.91
2	119RIBK002	Piñón de salida para motores de cremallera tipos BK 1200 y BK 1800.. Marca CAME.	22,858.52	45,717.04

ANEXO B.11 COTIZACIÓN DE COMPONENTES EN ACEROS ROAG.

Aceros RoaG

Proforma: 45671



Cédula Jurídica 3-101-010243-28, SAN JOSE

Teléfono 2257-2222 Fax 2233-7779. URUCA Teléfono 2231-3555 Fax 2231-3128

Validez de la oferta: 1 día

Condicionada a existencia en inventario

Fecha : 21/09/2015	CONTADO 0	Vendedor : Adolfo Bolanos
Código : 621066	Cliente : FICMAMS S.A.	
Teléfono: 22263937	Dirección : San Francisco Dos Rios 600 mts de la y griega	

Cantidad	Código	Descripción	Medidas	Precio Uni.	Total
1	005-002-14112	PLATINA DE ACERO CALIB. 1/4x1.1/2	2.000mts	6,880.00	6,880.00
1	001-001-2	BARRA DE ACERO 1020 DE 2"	1.000mts	14,670.00	14,670.00
1	001-001-1	BARRA DE ACERO 1020 DE 1"	1.000mts	3,000.00	3,000.00
1	001-001-12	BARRA DE ACERO 1020 DE 1/2"	2.000mts	1,690.00	1,690.00
1	003-001-5628	TUBO DE ACERO SANDVICK DE 56x28	0.750mts	11,940.00	11,940.00
2	005-002-126	PLATINA DE ACERO CALIB. 1/2x6	0.400mts	9,888.00	19,776.00
2	005-002-126	PLATINA DE ACERO CALIB. 1/2x6	0.300mts	7,466.00	14,932.00

21/09/2015 16:18	SUBTOTAL ¢	72,888.00
	DESCUENTO	0.00
	SUBTOTAL	72,888.00
	I. VENTAS	9,475.00
	TOTAL ¢	*****82,363.00

ANEXO B.12 COTIZACIÓN DE COMPONENTES EN ACEROS ROAG.

Proforma #: 00443926



Ced. Juridica: 3-101-477994
 ventas@torcasa.cr Apto. 13955-1000
 San Jose, Costa Rica Ave. 10 calle 14 y 16
 Teléfono: 2539-3993 Fax: 2222-1920

Atención: FERNANDO VALERIO
 Cliente: c1 FICMAMS SA
 Dirección: FERNANDO VALERIO

Condiciones: Contado
 Tiempo de Entrega:
 Cotizado por:
 Vendedor: Joseph Solano
 Fecha: 21/09/2015

Página: 1 de 1

Cantidad	Bo	Código	Descripción del Producto	Precio Unitario	Precio Total
1.00	01	9-201	BARRA ROSCADA GALV 1X36	5,230.00	5,230.00
30.00	01	20-1130	TOR ALLEN CAB/CIL 1/4X1	121.08	3,632.40
45.00	01	20-1133	TOR ALLEN CAB/CIL 1/4X2	178.04	8,011.80
50.00	01	7-154	ARANDELA PLANA GALV UNID 1/4	6.11	305.50
40.00	01	15-334	TUERCA HEX GR2 RO GALV 1/4	18.09	723.60
16.00	01	20-1150	TOR ALLEN CAB/CIL 3/8X1	256.37	4,101.92
20.00	01	25-1625	TOR HEX MET GALV RO M10X50	195.88	3,917.60
20.00	01	7-158	ARANDELA PLANA GALV UNID 1/2	38.15	763.00
10.00	01	15-342	TUERCA HEX GR2 RO GALV 1"	501.37	5,013.70
16.00	01	7-156	ARANDELA PLANA GALV UNID 3/8	15.85	253.60

** Ultima Linea **