

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTA DE INGENIRÍA CIVÍL Y MECÁNICA
INGENIRÍA MECÁNICA

PROYECTO TÉCNICO, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

Diseño y construcción de una máquina cortadora plasma
CNC en la empresa mecánica industrial “MOYA HNOS”

AUTOR: Renato Joaquín Carvajal Cabrera

TUTOR: Ing. Mg. Mauricio Carrillo

AMBATO – ECUADOR

2018

APROBACIÓN DEL TUTOR

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del presente proyecto técnico, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico con el tema: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CORTADORA PLASMA CNC EN LA EMPRESA MECÁNICA INDUSTRIAL MOYA HNOS”, elaborado por el señor Renato Joaquín Carvajal Cabrera, egresado de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato. CERTIFICO que el presente proyecto de titulación fue elaborado en su totalidad por el autor, revisado en todos sus capítulos y ha sido concluido.

Ambato, Junio del 2018

Ing. Mg. Mauricio Carrillo

TUTOR DEL PROYECTO TÉCNICO

AUTORÍA DEL TRABAJO

Yo Renato Joaquin Carvajal Cabrera, portador de la C.I. 1804365391, tengo a bien indicar que las ideas expuestas en el presente proyecto técnico de titulación “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CORTADORA PLASMA CNC EN LA EMPRESA MECÁNICA INDUSTRIAL MOYA HNOS”, así como también los contenidos, representaciones, análisis, conclusiones son de mi absoluta responsabilidad.

Ambato, Junio del 2018

EL AUTOR

Renato Joaquin Carvajal Cabrera
C.I. 1804365391

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este proyecto técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos patrimoniales de mi proyecto técnico con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Junio del 2018.

Autor

Renato Joaquín Carvajal Cabrera

CI: 1804365391

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal de grado aprueben el informe del trabajo técnico realizado por el estudiante Renato Joaquín Carvajal Cabrera de la carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: “Diseño y construcción de una máquina cortadora plasma CNC en la empresa mecánica industrial MOYA HNOS”.

Ambato, Junio del 2018

Para constancia Firman:

.....

Ing. Mg. Cristian Pérez

.....

Ing. Mg. Diego Núñez

AGRADECIMIENTO

Primeramente agradezco a Dios por darme la vida, a mi madre Myriam y a mi padre Patricio por el esfuerzo, dedicación y confianza que han puesto en mí, a mi hermano Christian por el apoyo y la ayuda que me brindó.

Agradezco a la empresa MECÁNICA INDUSTRIAL MOYA “HNOS”, por haberme abierto las puertas, en donde me apoyaron para la realización de mi proyecto.

Agradezco a mi mujer y a mi hija por siempre estar ahí a mi lado en cada momento difícil de la carrera.

A las autoridades y profesores de la facultad de ingeniería mecánica por las enseñanzas y consejos que me han brindado semestre a semestre, ya que me ayudaron alcanzar mi objetivo en la vida

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO
PÁGINAS PRELIMINARES

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.....	I
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA DEL TRABAJO	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
RESUMEN EJECUTIVO	XV
SUMMARY	XVI
CAPÍTULO I.....	17
ANTECEDENTES	17
1.1 Tema del trabajo técnico.....	17
1.2 Antecedentes	17
1.4 Objetivos.....	18
1.4.1 Objetivo general	18
1.4.2 Objetivos específicos.....	18
CAPÍTULO II.....	19
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	19
2.1 Investigaciones previas	19
2.2 Fundamentación teórica	22
2.2.1 Corte por plasma	22
2.2.2 Velocidad del plasma	23
2.2.3 Variables en el corte por plasma	23

2.2.4 Tipos de cortes por plasma.....	24
2.2.5 Tipos de corte de acero.....	29
2.2.6 Velocidades y espesores para el corte con plasma.....	31
2.2.7 Características de la antorcha.....	33
2.2.8 CNC (control numérico computarizado).....	34
2.2.9 Funcionamiento de la cortadora plasma CNC.....	34
2.2.10 Controladores de desplazamiento.....	37
2.2.12 Finales de carrera	42
CAPÍTULO III	46
METODOLOGÍA.....	46
3.1 Selección de alternativas.....	46
3.1.1 Selección de alternativas en el sistema de potencia	46
3.1.2 Selección de alternativas en el sistema de guiado.....	52
3.1.3 SISTEMA DE CONTROL.....	56
3.1.4 Finales de carrera	56
3.1.5 Sistema eje z de 300 mm de recorrido	56
3.2 Diseño del eje Z.....	57
3.2.1 Cálculo de las guías lineales eje Z	57
3.2.2 Cálculo del sistema de transmisión del eje Z	61
3.2.3 Cálculo del torque del eje Z	64
3.3 Diseño del eje X.....	65
3.3.1 Cálculo del sistema de guiado del eje X	65
3.3.2 Cálculo del diámetro del tornillo de potencia del eje X.....	68
3.3.3 Cálculo del torque del desplazamiento del eje X	70
3.3.4 Cálculo de soporte del eje X	71
3.4 Diseño del eje Y.....	74
3.4.1 Cálculo del sistema de guiado del eje Y	74

3.4.2 Cálculo del diámetro del tornillo del eje Y	77
3.4.3 Cálculo del torque del desplazamiento del eje Y	80
3.4.4 Cálculo de soporte del eje Y	81
3.5 Sistema de rodamientos para los rieles en el sistema X, Y	83
3.5.1 Carga dinámica en el eje x	83
3.5.2 Carga dinámica en el eje y	84
3.5.3 Soportes para los husillos de bolas en los ejes X, Y.	85
3.6 Diseño de la mesa de soporte	88
3.6.1 Cálculo de pandeo en la mesa	90
3.7 Acople motor a paso y husillo de bolas	94
3.7.1 Acople neumático.....	94
3.8 Sistema de control.....	94
3.8.1 Diagramas.....	103
3.8.2 Sistema de control del proceso de corte de plasma.....	105
3.9 Análisis del costo	109
3.10 Especificaciones técnicas.....	115
3.11 Resultados del corte por plasma CNC	117
3.12 Manual de uso y mantenimiento	120
3.12.1 Manual de uso	120
3.12.2 Montaje.....	122
3.12.3 Medidas de seguridad.....	122
3.12.4 Manual de mantenimiento	123
CAPÍTULO IV	125
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	125
4.1 Conclusiones	125
4.2 Recomendaciones	126
BIBLIOGRAFÍA	127

ANEXO	130
PLANOS.....	142

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Parámetros del proceso de corte plasma manual y mecanizado.....	25
Tabla 2	Parámetros del proceso de corte plasma de alta tolerancia	28
Tabla 3	Parámetros del proceso de corte láser	30
Tabla 4	Velocidad y espesores a 240 voltios.....	32
Tabla 5	Velocidad y espesores a 120 voltios.....	32
Tabla 6	Peso relativo de los factores	48
Tabla 7	Peso relativo de la precisión	49
Tabla 8	Peso relativo de la eficiencia	49
Tabla 9	Peso relativo al costo	50
Tabla 10	Peso relativo de la fricción	50
Tabla 11	Peso relativo de la velocidad	50
Tabla 12	Peso relativo en la construcción	51
Tabla 13	Selección de alternativa para el sistema de transmisión.....	51
Tabla 14	Peso relativo de los factores para sistema de guiado.....	53
Tabla 15	Peso relativo en la precisión	53
Tabla 16	Peso relativo en la eficiencia	54
Tabla 17	Peso relativo en el costo	54
Tabla 18	Peso relativo en la fricción	54
Tabla 19	Peso relativo en la velocidad	55
Tabla 20	Peso relativo en la construcción	55
Tabla 21	Selección de alternativa para el sistema de transmisión.....	55
Tabla 22	Peso de los componentes	57
Tabla 23:	Costos de la estructura.....	109
Tabla 24:	Sistema de guías	110
Tabla 25:	Sistema de rodamientos.....	110
Tabla 26:	Sistema del eje Z	111
Tabla 27:	Tarjeta de control.....	111
Tabla 28:	Costos del sistema eléctrico	112
Tabla 29:	Sistema de transmisión de potencia.....	113
Tabla 30:	Costo de materia prima.....	113
Tabla 31:	Costo de mano de obra	114
Tabla 32:	Características técnicas de la plasma CNC	115
Tabla 33:	Componentes de la plasma CNC.....	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Proceso de corte por plasma.....	22
Figura 2: Dinámica de partículas en el gas y en el plasma. Átomos neutros en verde, iones positivos en azul y electrones en rojo.	24
Figura 3: Esquema del proceso por aire	24
Figura 4: Esquema del proceso por aire	25
Figura 5 Esquema del proceso de corte de plasma por inyección de oxígeno	26
Figura 6: Proceso de corte por plasma por inyección de agua	26
Figura 7: Proceso de corte por plasma por doble flujo.....	27
Figura 8: Proceso de corte por plasma de alta tolerancia	27
Figura 9: Esquema del corte por gubia.....	28
Figura 10: Esquema del corte por láser	29
Figura 11: Esquema de la antorcha.....	33
Figura 12: Esquema de la antorcha tipo vertical	33
Figura 13: Códigos G y M.....	34
Figura 14: Descripción de los códigos G y M.....	35
Figura 15: Interfaz software CAM	36
Figura 16: Conexión del motor bipolar y unipolar, motores a pasos	37
Figura 17: Conexión del motor bipolar y unipolar, motores a pasos	38
Figura 18: Sistema de guiado de rodamientos.....	38
Figura 19: Sistema de guías lineales	39
Figura 20: Transmisión de potencia piñón cremallera	40
Figura 21: Transmisión de potencia por banda dentada.....	40
Figura 22: Transmisión de potencia por banda dentada.....	41
Figura 23: Transmisión de potencia por cadena.....	42
Figura 24: Componentes del final de carrera.....	43
Figura 25: Interfaz nMotion mach 3.....	44
Figura 26: Driver HY-DIV268N-5a.....	44
Figura 27 Software libre Mach 3	45
Figura 28: GGP 1605 300 mm	56
Figura 29: Esquema de las dimensiones.....	57
Figura 30: Esquema de la Carga en el eje Z.....	58

Figura 31: Estado de cargas en la viga simplemente apoyada del sistema eje Z	59
Figura 32: Sistema eje X	65
Figura 33: Diagrama de cuerpo libre de las guías del eje X.....	66
Figura 34: Husillo de bolas eje X.....	68
Figura 35: Diagrama de cuerpo libre del husillo de bolas del eje X	68
Figura 36: Diseño del eje X.....	72
Figura 37: Diagrama de cuerpo libre del eje X	72
Figura 38: Sistema eje Y	75
Figura 39: Diagrama de cuerpo libre eje Y	75
Figura 40: Husillo de bolas eje Y	77
Figura 41: Diagrama de cuerpo libre de bolas eje Y	78
Figura 42: Diseño del eje X.....	81
Figura 43: Diagrama de cuerpo libre del eje Y	81
Figura 44: Mesa de soporte	88
Figura 45: Análisis de desplazamiento máximo.....	89
Figura 46: Análisis de Von-Mises	89
Figura 47: Mesa con distribución de cargas en las patas.....	90
Figura 48: Fuerza ejercida en la pata.....	90
Figura 49: Cortador por plasma CNC con sus refuerzos.....	93
Figura 50: Acople motor husillo.....	94
Figura 51: Práctica 1	95
Figura 52: Archivo DXF	95
Figura 53: Archivo en Estlcam.....	96
Figura 54: Parámetros de corte exterior	96
Figura 55: Entrada de corte interior.....	97
Figura 56: Velocidad en Estlcam.....	97
Figura 57: Guardar programa CNC	98
Figura 58: Código G de la práctica 1	98
Figura 59: Software MACH 3	99
Figura 60: Load G code	100
Figura 61: Programa cargado	100
Figura 62: Teclado de posicionamiento.....	101
Figura 63: Generar cero cero	101
Figura 64: Ciclo Start	102

Figura 65: Pieza final.....	102
Figura 66: Acabado final	103
Figura 67: Diagrama de flujo	104
Figura 68: Diagrama de bloque	105
Figura 69: Diagrama de procesos	106
Figura 70: Diagrama de Conexión	107
Figura 71: Diagrama de control.....	108
Figura 72: Corte de una brida.....	117
Figura 73: Medición del agujero interior.....	117
Figura 74: Corte de una figura compleja	118
Figura 75: Cortadora por plasma CNC.....	118
Figura 76: Máquina trabajando.....	119

RESUMEN EJECUTIVO

La metodología que se utilizó fue la de diseño conceptual donde se diseñó cada parte de la máquina hasta determinar su diseño final y se comparó por medio de las ecuaciones de diseño mecánico el diámetro del tornillo de potencia, el diámetro de las guías que se utilizó, el torque de los motores NEMA 23, lo más importante es la tarjeta de control nMotion MACH 3 que se comunica directamente desde el ordenador a la máquina.

El diseño de la plasma CNC se realizó para trabajar con planchas (1,22m x 2,44m) ya que la empresa necesita realizar cortes en el menor tiempo posible y de buena calidad, la máquina tiene la capacidad de cortar desde 0,5mm hasta ½ plg (12,7 mm) y velocidades de corte constantes entre (350 mm/ min - 5330 mm/min). El equipo plasma que se utiliza es un hypertherm power max 1250.

La mesa de soporte de los ejes X, Y, Z, se construyó con el perfil cuadrado de 50 x 50 x 3 mm y platina de 2plg x ¼, ya que esta fue diseñada con el afán de soportar el peso total de la plancha y sus respectivos ejes.

El diseño de la cortadora por plasma CNC se realizó con el afán de construirlo en el propio taller, los componentes más relevantes para la cortadora por plasma como la tarjeta de control, las guías lineales fueron importados ya que son elementos que no se encuentran en nuestro país.

Palabras clave: Corte por plasma, CNC (Control Numérico Computarizado), capacidad de corte, velocidad de corte.

SUMMARY

The methodology used was conceptual design where each part of the machine was designed to determine its final design and the diameter of the power screw diameter was compared by means of mechanical design equations, the diameter of the guides used, The torque of the NEMA 23 motors, the most important is the nMotion MACH 3 control card that communicates directly from the computer to the machine.

The design of the plasma CNC was realized to work with irons (1,22m x 2,44m) since the company needs to realize courts in the least possible time and of good quality, the machine has the aptitude to cut from 0,5mm up to plg (12,7 mm) and constant speeds of court between (350 mm / min - 5330 mm/min). The team captures that is used a hypertherm power is max 1250.

The table of support of the axes X, Y, Z, constructed himself with the square profile of 50 x 50 x 3 mm and slide of 2plg x, since this one was designed by the emulation to support the entire weight of the iron and its respective axes.

The design of the cutter by plasma CNC was realized by the emulation to construct it in the proper workshop, the most excellent components for the cutter for plasma like the card of control, the linear guides were imported since there are elements that are not in our country.

Keywords: Court for plasma, CNC (Numerical Control Computerized), capacity of court, speed of court.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 Tema del trabajo técnico

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CORTADORA PLASMA CNC EN LA EMPRESA MECÁNICA INDUSTRIAL “MOYA HNOS”

1.2 Antecedentes

A partir del año de 1990 se fueron obteniendo grandes avances tecnológicos en el proceso de corte por plasma, al pasar del tiempo desde 1996-2006 ha implementado el sistema de CNC (Control Numérico Computarizado), este sistema viene integrado con un ordenador para trabajar doctamente la máquina, al pasar del tipo se implantó pantallas táctiles para tener mayor facilidad de control y evitar utilizar más botones. La operación de este sistema se lo realiza con cualquier software que está basado en Windows, para el manejo de esta máquinas se realiza una capacitación al personal. Esta máquina con controlador numérico computarizado realiza operación de corte de piezas más compleja. [1]

El sistema de corte por plasma más común es que se implementa como gas el aire, los fabricantes principales con el pasar del tiempo han ido mejorando la vida útil de consumibles [1]

En las industrias ecuatorianas el corte de metal está innovándose y optando el uso de las nuevas tecnologías, incrementado los requisitos de calidad del producto y productividad con el menor costo posible y en el menor tiempo, concluyendo en la búsqueda de maquinarias con mayor precisión siendo indiscutible en la industria laboral. La investigaciones que se han dado a partir del año 2006 en máquinas de alta definición, es su completa integración con las máquinas CNC con las que están acopladas

En nuestro país las industrias que emplean este tipo de corte han importado la maquinaria apropiada en un gran costo, por lo cual se plantea el diseño y

construcción de una cortadora plasma CNC, que facilite el corte de piezas complejas y de gran precisión.

1.3 Justificación

La elaboración de este proyecto responde a una necesidad en particular de la empresa MECÁNICA INDUSTRIAL “MOYA HNOS”, actualmente los mercados altamente competitivos obligan a hacer cambios en el entorno de trabajo para optimizar los procesos de producción, minimizando costos, aumentando la productividad haciéndolos más rápidos, precisos y de alta calidad, a este orden de ideas la implementación del control numérico satisface a estos requerimientos, ya que como se ha mencionado anteriormente debido a su complejidad y su costo elevado de fabricación, la empresa no garantiza el nivel continuo y productivo de los productos que se ofrecen, sumándose a esto las fechas de entrega cada vez menores exigiendo mayor precisión y un buen control de calidad de piezas cada vez más complejas.

En la empresa el proceso de corte por plasma se lo realiza de forma manual, por lo que surge la necesidad de implementar una máquina autónoma que aporte directamente en el incremento de los procesos de fabricación local y su vinculación entre hombre/máquina al momento de realizar un corte.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar y construir una máquina cortadora plasma CNC en la empresa mecánica industrial “MOYA HNOS”

1.4.2 Objetivos específicos

- Recopilar información relevante sobre el proceso de corte por plasma.
- Determinar los parámetros necesarios para la cortadora de plasma CNC.
- Seleccionar los elementos de control y componentes de los mecanismos de desplazamientos.
- Construir y realizar pruebas de funcionamiento.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Investigaciones previas

Para la implementación de este tema se han realizado varias investigaciones semejantes al tema propuesto para así poder obtener información del tema similar que se describen a continuación:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA FRESADORA CNC DE 3 EJES DE LIBERTAD CON UN VOLUMEN DE TRABAJO ÚTIL DE 500X500X100 mm PARA TALLAR MADERA EN ALTO RELIEVE”, esta indagación fue realizada por los ingenieros Sánchez Oquendo Héctor Patricio y Guanoluisa Pilatásig Holguer Fabián, para la obtención del grado de master(MSc.) en diseño de producción y automatización industrial en la carrera de ingeniería mecánica en la ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL en QUITO, julio 2013. Este trabajo tiene como objetivo diseñar y construir una máquina CNC (control numérico computarizado) de 500x500x100 el área de trabajo ya que en el país esta labor se ha realizado manualmente en la mayoría de las industrias de este tipo por lo cual con la implementación de esta máquina se optimizara los tiempos y se realizaran trabajo de mayor complejidad. [1]

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CNC DE 3 EJES PARA EL RUTEO DE PISTAS Y TALADRADO DE CIRCUITOS IMPRESOS (PCBs) POR EMC2, APLICABLE EN TARJETAS DE RECUPERACIÓN DE PLCs”, esta indagación fue realizada por los estudiantes Canga Pérez Ángelo Efrén, Lamiña Chicaiza Byron Alfredo para la obtención del grado de ingeniero industrial en la facultad de mecánica, escuela de ingeniería industrial en ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO en Riobamba, noviembre 2015. Este tema de titulación se basa en el diseño y construcción de un prototipo de máquina de control numérico computarizado (CNC), como medio alternativo para la elaboración de placas electrónicas PCBs por medio de un software libre como el EMC2, para poder así cambiar los métodos convencionales y artesanales, y así optimizar el tiempo de producción de la placa para elevar la calidad y reducir costos de producción de las mismas, el prototipo se construirá

en los tres ejes (x, y ,z) para así tener una mayor factibilidad en sus movimientos mecánicos. [2]

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE CORTE POR PLASMA MEDIANTE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO CNC”, esta investigación fue realizada por los estudiantes Holguer Fabian Guanoluisa Pilatásig y Freddy Eduardo Yáñez tapia para la obtención del grado de ingeniero electromecánico en la carrera de ingeniería electromecánica en ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO SEDE LATACUNGA , en el 2007. Este proyecto tiene como finalidad reforzar al sector industrial en el área de producción, con la construcción de un sistema de corte por arco al plasma implementando el control numérico computarizado, ya que este servirá para la elaboración de piezas complejas en el menor tiempo posible, así el trabajo tendrá un menor costo de producción y será de mayor calidad a la que se le realiza a manualmente. Con esta construcción se podrá trabajar en planchas desde 2 hasta 12mm según lo requiera el usuario para así obtener la pieza metálica deseada. [3]

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CNC CORTADORA POR PLASMA PARA PLANCHAS DE ACERO DE HASTA 10mm DE ESPESOR.”, este proyecto fue realizada por la estudiante Maya Alejandra Suntaxi Álava para la obtención del grado de ingeniero electromecánico en la facultad de ciencias exactas y tecnologías aplicadas en la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL ECUADOR en quito, 2017. La finalidad de este proyecto es diseñar y construir una máquina CNC cortadora plasma dimensionando y definiendo los parámetros para la construcción de esta máquina, así también seleccionando el sisme de control como los drivers, motores a pasos y su tarjeta controladora, realizando los cálculos necesarios para determinar los materiales para la parte mecánica y finalmente construir y ensamblar la cortadora de plasma CNC. [4]

“IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROL ELECTRÓNICO PARA UNA MESA CNC DE CORTE POR PLASMA.”, este tema de investigación fue realizado por el estudiante David Solano Monge para la obtención de título en ingeniería electrónica, en la escuela de ingeniería electrónica del INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA, en Cartago, noviembre de 2006. La finalidad de este proyecto es solucionar proceso de corte por plasmas a mano en los talleres MET (máquinas, talleres y equipos), para optimizar el tiempo empleado de corte a mano y su proceso de producción, se implementó un sistema CNC (control numérico computarizado), al corte por plasma, y para obtener cortes de mejor calidad y en el menor tiempo posible. [5]

“DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA CNC DE CORTE POR LÁSER PARA OPTIMIZAR LA CALIDAD DE TRABAJOS EN ACRÍLICO DE HASTA 5 mm DE ESPESOR”, este tema fue realizado por los estudiantes Cruz Carrillo Néstor Xavier y Pérez Chicaiza Jhony Javier para la obtención del título de ingenieros electromecánico, en la facultad de ciencias de la ingeniería y aplicadas en la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, Latacunga, febrero 2017. Este proyecto tiene como propósito dimensionar e implementar una CNC por corte láser para cortes en acrílico, con este proceso ya no estar delimitado los diseños y así aumentar la capacidad del taller, mejorado el proceso de producción en el corte de espesores hasta 5 mm, la bibliografías nos ayudar a seleccionar los parámetro de diseño ya sean mecánico y electrónicos para el ensamble final del proyecto. [6]

“IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO - CNC DE CORTE POR PLASMA PARA OPTIMIZAR EL PROCESO Y LA CALIDAD DE CORTE”, este proyecto fue realizado por Mora Martínez Joselyn Gianella y Villa Morales Marlon Joel, para obtener el grado de ingeniero electromecánico en la facultad de ciencias de la ingeniería y aplicadas en la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, Latacunga de 2016. Este proyecto de investigación va enfocado a la industria metal mecánica en las que estos trabajos por corte plasma son realizados manualmente por lo que realizarlo de esta manera lleva tiempo y no son de gran precisión por lo cual se analizó la situación y se tomó la decisión de implementar el control numérico computarizado para la mejorar el tiempo de fabricación y la calidad de cada corte realizado con la implementación de este equipo. [7]

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO DE CORTE POR PLASMA PARA LA EMPRESA SERMATEX” este proyecto fue indagado por el estudiante Andrés Oswaldo Pérez Revelo, para la obtención de título de ingeniero en mecatrónica en la facultad de ciencias de la ingeniería de la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCIAL, Quito, enero 2012. La finalidad de este proyecto en la empresa SERMATEX fue implementar un sistema de corte por plasma CNC (control numérico computarizado), ya que en la mayoría de la industria se está implementado este sistema para mejorar el tiempo de producción y la calidad de cada componente a realizar por este método, con esta implementación la empresa obtendrá mayo ingresos y ser reconocida nacionalmente debido a la calidad y al tiempo de entrega de cada producto. [8]

2.2 Fundamentación teórica

2.2.1 Corte por plasma

Alrededor del año 40 se introduce el proceso llamado TIG (tungsten Inert Gas), este utiliza un gas protector de helio y un electrodo no consumible que es de wolframio, en el año 1954 descubren el corte por plasma, este se da al aumentar la velocidad del flujo de gas y en la boquilla reduciendo la abertura. Esto se da desde el proceso por TIG, al obtener este chorro se dedujo que es capaz de cortar varios metales. De ahí nace el principio de corte por plasma que atraviesa el flujo por una boquilla y así transferir un arco, el flujo de corriente es transferido por el electrodo no consumible o también llamado cátodo y el material a cortar será el ánodo, el plasma generado trabaja a altas temperaturas que va dese 20000°. El proceso es mostrado en la figura 1. [9]

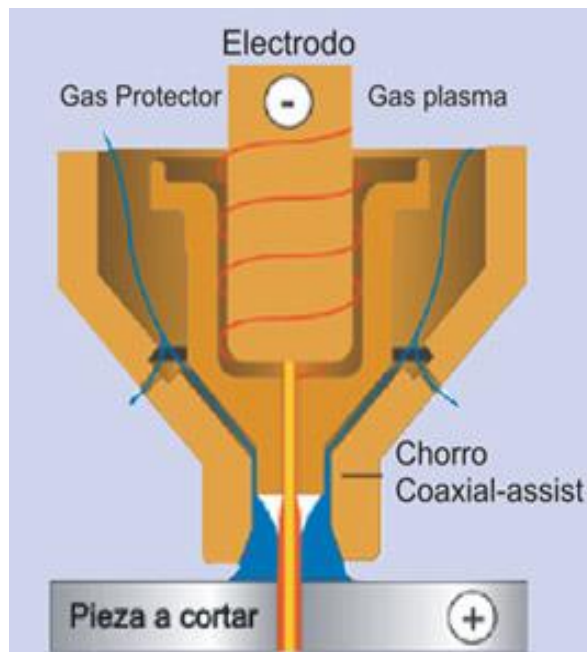


Figura 1: Proceso de corte por plasma

Fuente: [10]

La característica principal del método de corte por plasma es la disminución de peligro de alteraciones por el poder calorífico que compacta la zona de corte. Por lo que la implementación de este proceso en una industria lo hace más rentable por lo que las pequeñas industrias no le hacen la competencia en la implementación del corte por plasma ya que este tendría un costo poco elevado de equipo. [11]

El plasma generado está compuesto por dos zonas que describen a continuación:

- **Zona envolvente**, es una capa que no se ioniza y está a la vez cubre a la zona central, como esta capa esta se caracteriza por ser fría y logra alcanzara a refrigerar la boquilla aislándole eléctricamente.
- **La zona central**, esta zona se caracteriza por tener dos capas una que es la periférica que está constituida por un aro de gas que no es suficientemente conductor y la otra es la columna de plasma que es el núcleo dónde el gas es de mayor conductividad térmica y la de densidad mayor de las moléculas se ionizan a altas temperaturas.[13]

2.2.2 Velocidad del plasma

En la pieza a trabajar se genera el plasma a gran velocidad casi doblgando a la velocidad del sonido a (2000km/h), y este plasma generado supera los 1000° C, y así con esta temperatura duplica la temperatura a lo que se encuentra el material a trabaja casi a 5504°C, y con estos parámetros se obtiene un mejor corte y una mayor precisión en el área de trabajo del material

Estos parámetros son los que otorgan la gran precisión en el corte y acabado de la superficie en la pieza de trabajo. [12]

2.2.3 Variables en el corte por plasma

En la obtención de un buen acabado en el corte se necesita tomar en cuenta las siguientes variables:

- a) Gases empleados
- b) El caudal y la presión de los mismos
- c) Distancia boquilla pieza
- d) Velocidad del corte
- e) Energía empleada o intensidad del arco.

La distancia boquilla material, caudal y velocidad son ajustables directamente desde la máquina de corte por plasma según las características del material. [13]

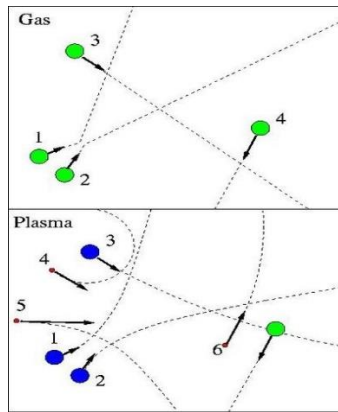


Figura 2: Dinámica de partículas en el gas y en el plasma. Átomos neutros en verde, iones positivos en azul y electrones en rojo.

Fuente: [13]

2.2.4 Tipos de cortes por plasma

➤ Corte por aire

El corte por plasma por aire se introdujo alrededor del año 1963, este tipo de corte se emplea el aire a velocidad muy elevada y este aire aumenta la velocidad de corte al 25%, esto es lo que le hace la diferencia del corte convencional por plasma en seco y este método lleva a que el material llegue a corroerse rápidamente y un desgaste elevado del electrodo. Mostrado en la figura 3 [13]

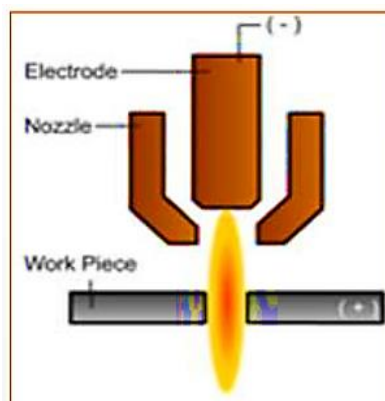


Figura 3: Esquema del proceso por aire

Fuente: [13]

El aire es más utilizado para el proceso de corte por plasma ya que es el más barato y el más fácil de conseguir, ya que para un buen corte depende totalmente del gas y el espesor de los materiales a cortar, el método de corte con aire utiliza un

electrodo de “hafnium” ya que con este electrodo se cortan espesores hasta de 6 milímetros de espesor, el “hafnium” es un metal que este es comúnmente utilizado para la construcción de filamentos u electrodos, este metal no genera la formación corrosión, el proceso de corte por aire se muestra en la figura 4. [14]

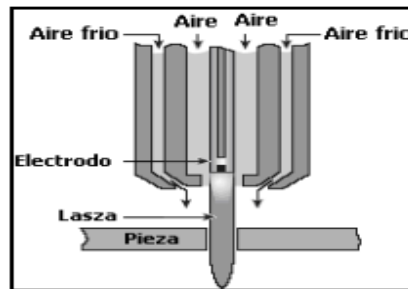


Figura 4: Esquema del proceso por aire

Fuente: 14

En la tabla 1 se muestra el tipo de gas a utilizar para los diferentes espesores de los material ya que es muy importante tener en cuenta el tipo y el espesor a continuación se detalla todos los parámetros para el corte, ya que este se puede hacer de corte manual o mecanizado porque estará dependiendo de velocidades del flujo del gas protector y del gas plasma. La tabla permite obtener el voltaje y seleccionar el tipo de proceso debido a los espesores del material a cortar. [14]

Tabla 1 Parámetros del proceso de corte plasma manual y mecanizado

Espesores (mm.)	Gas para el Plasma	Flujo del Gas (l / min.)	Gas Protector	Flujo del gas (l / min.)	Corriente (Amp.)	Velocidad (mm. / min.)	Método
1,0	Aire	98				4800	Manual
1,5	Aire	98				6300	
3	Aire	98				3000	
6,5	Aire	98				1000	
6,5	N ₂	34	CO ₂	100		1800	
6,5	Ar + H ₂	25			200	1500	
10	N ₂	35	CO ₂	100	200	1250	
12,5	Ar + H ₂	28			280	1000	
25	Ar + H ₂	33			330	500	
50	Ar + H ₂	45			400	500	
6	Ar + H ₂	55			300	7500	Mecanizado
6	N ₂	32	CO ₂	100	115	1800	
10	N ₂	32	CO ₂	100	120	900	
12,5	N ₂	32	CO ₂	100	120	480	
12,5	N ₂	32	CO ₂	100	300	3200	
12,5	Ar + H ₂	60			300	5000	
25	N ₂	70	CO ₂	100	400	1800	
25	Ar + H ₂	60			375	2300	
50	N ₂	32	CO ₂	100	400	800	
50	Ar + H ₂	60			375	500	
75	Ar + H ₂	95			420	380	
75	Ar + H ₂	45	N ₂	100	400	500	
75	Ar + H ₂	45	N ₂	100	700	650	
100	Ar + H ₂	95			450	750	
125	Ar + H ₂	95			475	250	

Fuente: 14

➤ **Corte por inyección de oxígeno**

El objetivo de este método es que la boquilla tenga una mayor vida útil de trabajo, este caso fue propuesto por el año de 1983, la inyección del oxígeno como el gas de corte y la inyección de agua por la boquilla ayudara al deterioro del electrodo y se reducirá la oxidación le material. Detallado en la figura 5. [13]

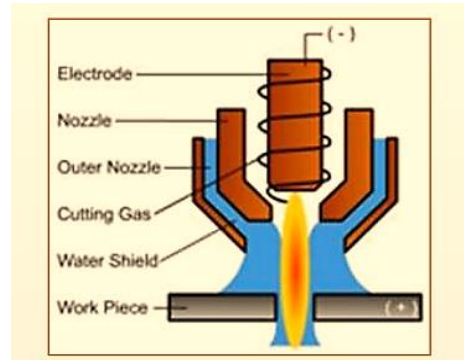


Figura 5 Esquema del proceso de corte de plasma por inyección de oxígeno

Fuente: [13]

➤ **Corte por inyección de agua**

En la empresa HYPER THEM, el presidente Couch Dick en el año de 1968 implementa el corte por inyección de agua, esto implica inyectar agua radialmente por la boquilla con este método se obtuvo mejores resultados en el momento de corte disminuyendo la escoria producida por el corte. Como se muestra en la figura 6. [13]

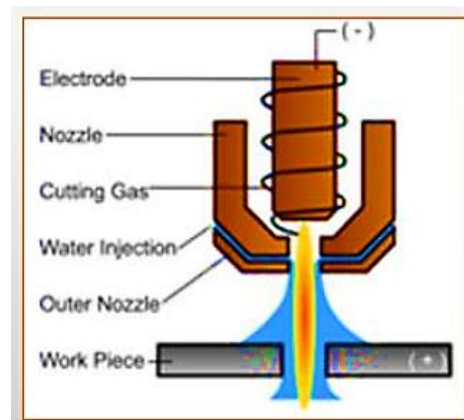


Figura 6: Proceso de corte por plasma por inyección de agua

Fuente: [13]

➤ **Corte con doble flujo**

El objetivo de este sistema de corte es utilizar nitrógeno a alta velocidad y el dióxido de carbono se lo utiliza como el gas de protección. Mostrado en la figura 7. [13]

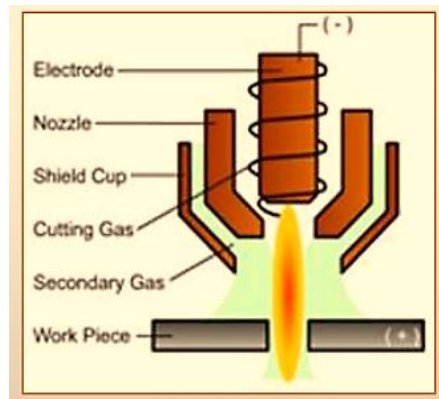


Figura 7: Proceso de corte por plasma por doble flujo

Fuente: [13]

➤ **Corte de plasmas con alta tolerancia**

El desarrollo de estos procesos por corte se implementado el corte de alta precisión y tolerancia, a este proceso se lo conoce como arco estrangulado, este tipo de plasma se lo está utilizando como una alternativa más barata que un sistema de corte laser ya que se puede proceder a cortar materiales menores a los 10 milímetros, el esquema se muestra en la figura 8. [14]

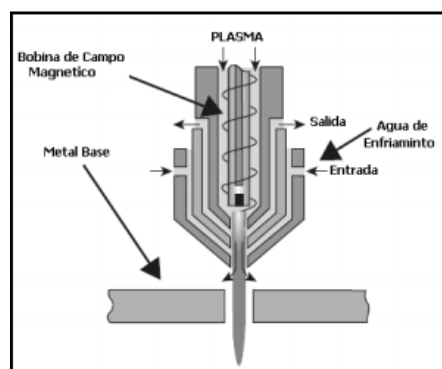


Figura 8: Proceso de corte por plasma de alta tolerancia

Fuente: [14]

Con la implementación de este proceso modificando la boquilla se ha logrado obtener un mejor acabado en el corte con las caras más perpendiculares posibles y se ha disminuido la rugosidad de las incisiones en cada corte de ahí el nombre de este proceso y de ahí se ve la diferencia entre el corte tradicional con este proceso. En la tabla 2 se detallan los parámetros de este corte. [14]

Tabla 2 Parámetros del proceso de corte plasma de alta tolerancia

Espesores (mm.)	Gas para el Plasma	Gas Protector	Corriente (Amp.)	Distancia (mm.)	Velocidad (mm /min.)
1,2	Aire	Aire	70	2	3800
2	Aire	Aire	70	2,5	2540
4	Aire	Aire	70	2	1800

Fuente: [14]

➤ **Corte de plasma con la técnica gubia**

Este proceso consiste con la utilización de un soplete por donde sale el plasmas y este se acopla a la superficie con inclinación con esto se forma un surco, este proceso es utilizado para la remoción de exceso de material para socavamientos, para preparar una área que va hacer soldada, ya que es posible remover o retirara grandes cantidades de material rápidamente este es que se muestra en la figura 9. [14]

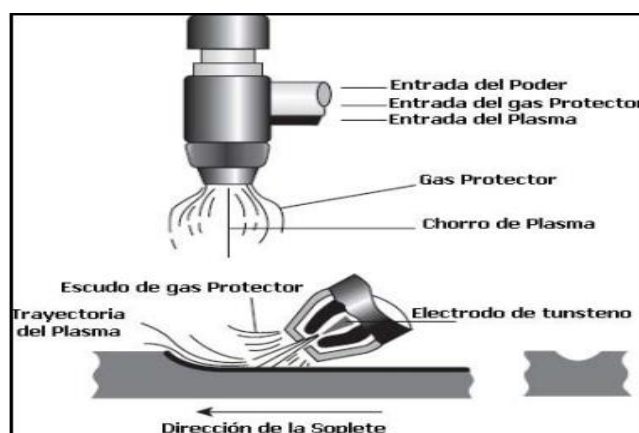


Figura 9: Esquema del corte por gubia

Fuente: [14]

2.2.5 Tipos de corte de acero

➤ Corte por rayo láser

El láser es la emisión de radiación de una luz amplificada, este láser se concentra en la superficie y puede almacenar una gran cantidad de energía donde con esto la superficie se puede unir o desvanecerse de esta manera puede cortar o soldar. La luz del rayo láser es generada por la excitación de un gas o un sólido, esta es generada por una corriente eléctrica o por la emanación de una luz de alta densidad. [14]

Los láser son comúnmente creador por CO₂ y láser de cristal “Nd-YAG (neodymium – doped yttrium –aluminium – garnet)”, de estos dos el que más poder tiene es que es utiliza dado con CO₂, este genera un láser aproximadamente de 50kw. [14]

El láser generado por ondas continuas provocas más derretimientos en los materiales, con esto puede vaporizar y generar un corte limpio, ya que este generalmente provoca en mayor almacenamiento de energía. [14]

El láser no es un corte que se utiliza comúnmente ya que este proceso tiene un costo pocos elevados, el esquema de este proceso se muestra en la figura 10. [14]

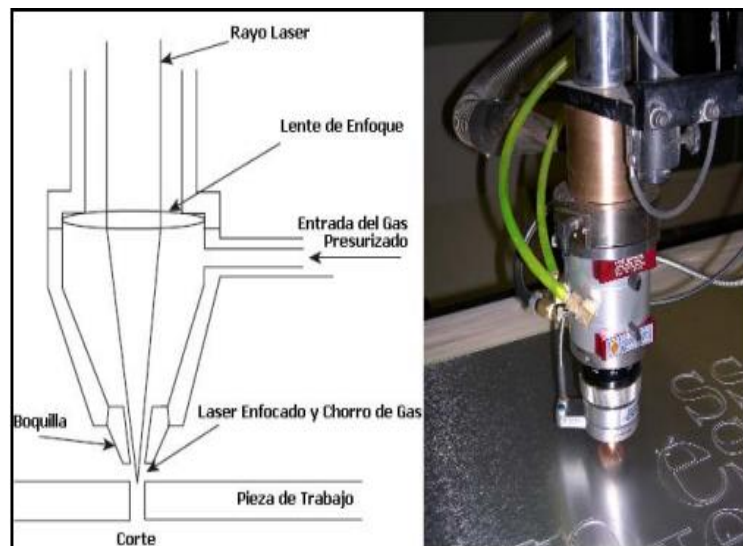


Figura 10: Esquema del corte por láser

Fuente: [14]

Para el corte en aluminio hay diferentes tipos de gases que pueden ser utilizados que son como el nitrógeno, oxígeno o aire, el oxígeno es muy reactivo con el aluminio ya que con este gas se da una gran velocidad de corte, en cambio el corte utilizando de gas el nitrógeno nos da un mejor acabado en el corte disminuyendo la rugosidad del acabado. [14]

La ventaja de utilizar como gas el aire es el costo y fácil accesibilidad que el nitrógeno. [14]

La presión es un parámetro en el cual el operario debe tener en cuenta de este si se trabaja a altas presiones en el corte del material este causa un daño a la superficie y al lente del enfoque, cuando se vaya a trabajar a altas presiones ay que cambiar el lente de enfoque variando su espesor, ya que el corte también depende entre la distancia entre la boquilla y el material a cortar. En la tabla 3 se determinan todos los parámetros para la utilización del corte láser. [14]

Tabla 3 Parámetros del proceso de corte láser

Procesos	Espesores (mm.)	Potencia Media (Kw.)	f Del Pulso (Hz)	Ancho Del Pulso (ms)	Gas Asistente	Presión Del Gas	Velocidad (mm /min.)
Pulso Nd-YAG	1,2	0,174	120	1	Oxigeno	4	6000
	2	0,414	100	0,5	Oxigeno	6	540
	4	0,224	31	1,5	Oxigeno	7	60
OC Nd-YAG	2	2			Oxigeno		4500
	2	2			Nitrógeno		300
OC CO ₂	1,2	1,41			Oxigeno		3800
	2	1,2			Oxigeno		3000
	4	1,5			Oxigeno		1200

Fuente: [14]

- **Ventajas del corte láser**

- Los filos o bordes perpendiculares no necesitan de una limpieza para proceder a ser soldado.
- Se pueden realizar cortes de presión para obtener una mayor facilidad de acople o ajuste de piezas, minimizando el tiempo de preparación.
- Las máquinas son total mente automatizadas ya que estas pueden acoplarse a un sistema de control numérico computarizada para optimización en tiempos de producción. [14]

- **Desventajas del corte por láser**

- El costo para la implantaciones esta máquina puede varias en varios miles de dólares ya que es un equipo de alta tecnológico.
- Con la implementación de este corte con aluminio genera escoria en la parte inferior del material a cortar y esto genera a que este proceso no se competitivo con los otros procesos comunes.
- Al momento de cortar el aluminio el rayo puede ser muy reflectante y esto puede afectar al lente, con esto el láser debe generar la suficiente cantidad de energía para poder vencer la barrera en el corte. [14]

➤ **Corte mecánico**

En los diferentes talleres, industrias, los cortes de materia son una necesidad ya que estos emplean diferentes métodos manuales ya que estos sean un arco con sierra, pulidora, tronzadora, guillotinas neumática esta puede cortar hasta espesores de 6 milímetros en cambio las manuales hasta 3 milímetros como manuales. En los cortes realizados manualmente los acabados nos son tan satisfactorios a los que se los realiza con la ayuda de un equipamiento para así mejorar al área de corte y optimizando los tiempos en la producción. [14]

2.2.6 Velocidades y espesores para el corte con plasma

- **Corte por plasma a 40 amperios y 240 voltios**

Con estos parámetros se logra un gran corte de material de espesores de hasta 7,9 milímetros o (5/16) de pulgada en el proceso manual, ocupando una separación de corte de 22 milímetros, en el aluminio se reduce el 35% de la

capacidad del corte ya que este tiene un gran valor de conductividad térmico.

[13]

Tabla 4 Velocidad y espesores a 240 voltios

Espesor	Velocidad aproximada
3.2 mm (1/8 pulg)	66.05 mm/s (156 pulg/min)
6.4mm (1/4 pulg)	27.1 mm/s (64 pulg/min)
9.5mm (3/8 pulg)	15.25 mm/s (36 pulg/min)
12.7mm (1/2 pulg)	9.32 mm/s (22pulg/min)
15.9mm (5/8 pulg)	5.5 mm/s (13 pulg/min)

Fuente: [13]

- **Corte por plasma a 27 amperios y 120 voltios**

De inicio hay que disminuir el amperaje a 27 para así utilizar el quipo a 120 voltios, la intensidad de corriente generada por este equipo logra corta un materia de hasta 3.2 milímetros de espesor o a 1/8 pulgada, así mismo para aluminio se reduce un 35% de la capacidad para el corte por lo que contiene una gran conductividad térmica. En la tabal 5 se muestran los parámetros para el corte en 120 voltios. [13]

Tabla 5 Velocidad y espesores a 120 voltios

<i>Espesor</i>	<i>Velocidad de avance</i>
3.2 mm (1/8 pulg)	37.25 mm/s (88 pulg/min)
4.8 mm (3/16 pulg)	21.33 mm/s (50 pulg/min)
6.4 mm (¼ pulg)	11.85 mm/s (28 pulg/min)
9.5 mm (3/8 pulg)	6.43 mm/s (15 pulg/min)
12.7 mm (½ pulg)	3.38 mm/s (8 pulg/min)
15.9 mm (5/8 pulg)	2.1 mm/s (5 pulg/min)

Fuente: [13]

2.2.7 Características de la antorcha

Las características de la antorcha que se va a utilizar depende del fabricante ya que en la figura 11 se detallan las partes de la antorcha tipo pistola en la figura 12 se muestra el esquema de un antorcha de tipo vertical. [13]



Figura 11: Esquema de la antorcha

Fuente: [15]



Figura 12: Esquema de la antorcha tipo vertical

Fuente: [15]

2.2.8 CNC (control numérico computarizado)

Desde la implementación de este sistema el hombre al pasar del tiempo ha incorporado este código a las máquinas-herramientas para así poder dar solución a la fabricación de piezas más complejas, así como se reducirá el tiempo de producción y se podrá obtener mejores acabados, con este sistema las máquinas podrán ser autómatas ya que ellas serán las que hacen el trabajo, con esto se podrá reducir el riesgo en los trabajadores. [13]

2.2.9 Funcionamiento de la cortadora plasma CNC

Programación CNC

La máquina sigue una secuencia en la cual debe ejecutar un programa CNC, en el que contiene toda la información sobre la pieza a mecanizar o cortar. El lenguaje de programación que utiliza está escrito bajo la estandarización de la norma ISO 6983 y RS274, estos son código G y M, el código G significa código general y los M de misceláneos, en la figura 13 se muestra un ejemplo de línea de programación. [16]

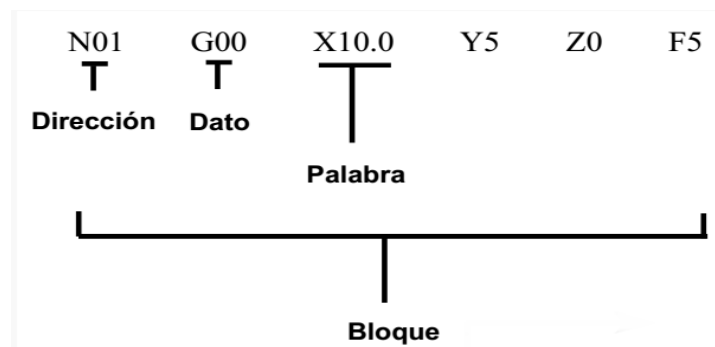


Figura 13: Códigos G y M

Fuente: [16]

Los códigos G están destinados a describir el movimiento de la máquina, como avance y movimientos rápidos. Los códigos M están destinados a describir misceláneamente las funciones que requiere el mecanizado, como por ejemplo arranque y detención del husillo. A continuación se muestra el significado del código G y M en general en la figura 14. [16]

CÓDIGOS G	CÓDIGOS M
G00: Posicionamiento rápido (sin maquinar)	M00: Parada opcional
G01: Interpolación lineal (maquinando)	M01: Parada opcional
G02: Interpolación circular (horaria)	M02: Reinicio del programa
G03: Interpolación circular (antihoraria)	M03: Hacer girar el husillo en sentido horario
G04: Compás de espera	M04: Hacer girar el husillo en sentido antihorario
G10: Ajuste del valor de offset del programa	M05: Frenar el husillo
G20: Comienzo de uso de unidades imperiales (pulgadas)	M06: Cambiar de herramienta
G21: Comienzo de uso de unidades métricas	M07: Abrir el paso del refrigerante B
G28: Volver al home de la máquina	M08: Abrir el paso del refrigerante A
G32: Maquinar una rosca en una pasada	M09: Cerrar el paso de los refrigerantes
G36: Compensación automática de herramienta en X	M10: Abrir mordazas
G37: Compensación automática de herramienta en Z	M11: Cerrar mordazas
G40: Cancelar compensación de radio de curvatura de herramienta	M13: Hacer girar el husillo en sentido horario y abrir el paso de refrigerante
G41: Compensación de radio de curvatura de herramienta a la izquierda	M14: Hacer girar el husillo en sentido antihorario y abrir el paso de refrigerante
G42: Compensación de radio de curvatura de herramienta a la derecha	M30: Finalizar programa y poner el puntero de ejecución en su inicio
G70: Ciclo de acabado	M31: Incrementar el contador de partes
G71: Ciclo de maquinado en torneado	M37: Frenar el husillo y abrir la guarda
G72: Ciclo de maquinado en frentado	M38: Abrir la guarda
G73: Repetición de patrón	M39: Cerrar la guarda
G74: Taladrado intermitente, con salida para retirar virutas	M40: Extender el alimentador de piezas
G76: Maquinar una rosca en múltiples pasadas	M41: Retraer el alimentador de piezas
G96: Comienzo de desbaste a velocidad tangencial constante	M43: Avisar a la cinta transportadora que avance
G97: Fin de desbaste a velocidad tangencial constante	M44: Avisar a la cinta transportadora que retroceda
G98: Velocidad de alimentación (unidades/min)	M45: Avisar a la cinta transportadora que frene
G99: Velocidad de alimentación (unidades/revolución)	M48: Inhabilitar Spindle y Feed override (maquinar exclusivamente con las velocidades programadas)
	M49: Cancelar M48
	M62: Activar salida auxiliar 1
	M63: Activar salida auxiliar 2
	M64: Desactivar salida auxiliar 1
	M65: Desactivar salida auxiliar 2
	M66: Esperar hasta que la entrada 1 esté en ON
	M67: Esperar hasta que la entrada 2 esté en ON
	M70: Activar espejo en X
	M76: Esperar hasta que la entrada 1 esté en OFF
	M77: Esperar hasta que la entrada 2 esté en OFF
	M80: Desactivar el espejo en X
	M98: Llamada a subprograma
	M99: Retorno de subprograma

Figura 14: Descripción de los códigos G y M

Fuente: [16]

➤ **Controlador CNC**

Este es el componente clave ya que interpreta el programa CNC y activa la secuencia de comandos, haciendo accionar los ejes encendiendo los husillos y seguir las instrucciones dadas por el usuario. Este dispone de otros propósitos que son:

- Modificar el programa si se encuentra con errores.
- Realizar la verificación de la programación CNC
- Especificar los valores que se utilizan de entrada [16]

➤ **Programa de CAM**

El programa CAM ayuda a realizar la figura a mecanizar ya que es una herramienta de gran ayuda cuando se trate de figuras altamente complicadas para generar el código de una forma sencilla y eficaz. Se muestra en la figura 15 la interfaz de un software CAM. [19]

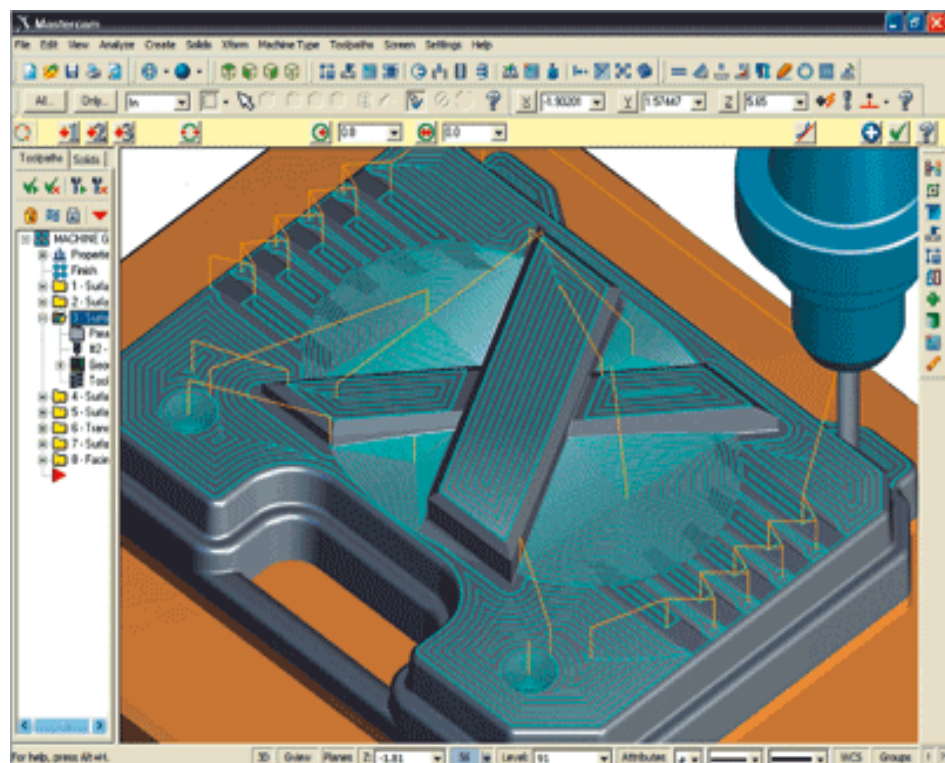


Figura 15: Interfaz software CAM

Fuente: [16]

2.2.10 Controladores de desplazamiento

➤ Motores a paso a paso

Los motores paso a paso son implementados especialmente en la construcción de máquinas de movimientos precisos, los pasos que estos motores pueden dar son desde los 90° hasta pasos muy pequeños de 1,8°, de ahí se ve la precisión para los movimientos que se los requiera, existen dos tipos de motores a pasos que son el unipolar que consta de 6 a 5 cables dependiendo de su conexión, estos son más sencillos de manipular, y los motores bipolares, en estos motores se pueden controlar de varias maneras según como se necesite la dirección de la corriente, esto se da al interior del motor que es en las bobinas, en la figura 16 se muestra el tipo de conexión de estos dos tipos de motores. [17]

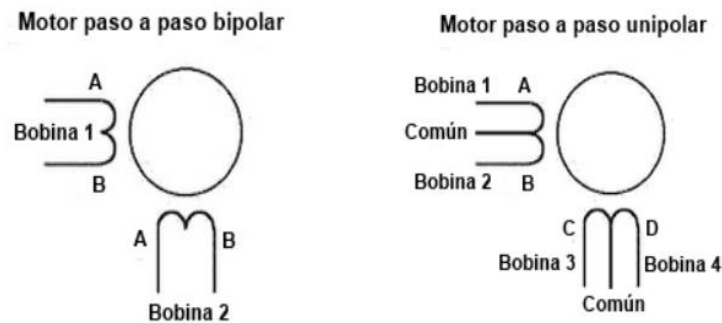


Figura 16: Conexión del motor bipolar y unipolar, motores a pasos

Fuente: [17]

➤ Servo motores

Este tipo de motores son utilizados en las industrias que necesitan una gran precisión y que trabajen a altas velocidades, estos motores se puede controlar el torque de trabajo, gracias a esto las máquinas tienen un gran desempeño en su trabajo de precisión. [17]

Estos motores son destacados ya que no constan con elementos de desgaste y tener una larga vida útil, son ahorradores de energía ya que consta con un sistema de retroalimentación con un encoder digital, en la figura 17 se muestra los elementos de este tipo motor. [17]



Figura 17: Conexión del motor bipolar y unipolar, motores a pasos

Fuente: [18]

- **Sistema de rodamientos:** Con este tipo de guiado se tendrá que realizar un componente de acople para los rodamientos y se acoplaran estos, además este sistema la lubricación no será tanta, este sistema es de bajo costo y de una precisión regular este sistema se muestra en la figura 18. [17]



Figura 18: Sistema de guiado de rodamientos

Fuente: [19]

- **Sistema de guías lineales:** Con la aplicación de este sistema se obtendrá mayor precisión en los desplazamientos ya que la fricción ejercida es mínima, así como el sistema de rodamientos la lubricación de este sistema es baja pero este tiene un costo mayor al anterior. En el ensamblaje de estos sistemas no genera juego ya que su acoplamiento es pretensado, en la figura 19 se muestra una de estos sistemas. [17]

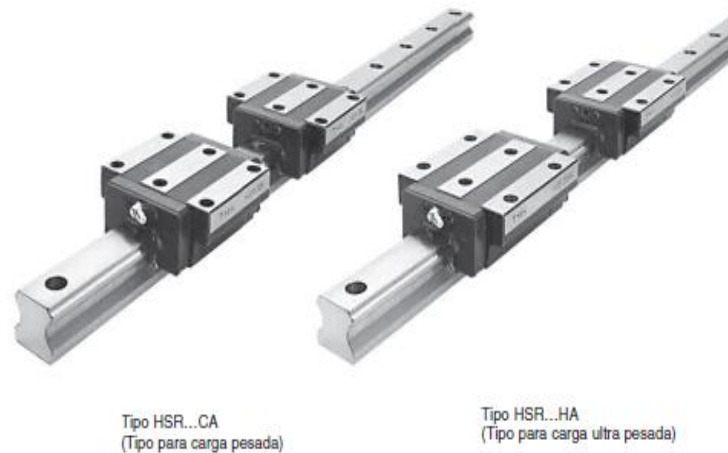


Figura 19: Sistema de guías lineales
Fuente: THK catálogo [21]

2.2.11 Transmisión de potencia

➤ Transmisión por piñón cremallera

Este sistema de transmisión es aplicado para fabricación de Routers de grandes desplazamientos obteniendo una gran precisión para trabajar a las velocidades propuestas, este sistema también es utilizado cuando vaya ocupar motores de gran torque. [22]

La fabricación de este sistema cuenta con un piñón helicoidal, cremallera y el acoplamiento de reductores de velocidad a los motores, con esto se garantiza una mayor vida útil de este sistema, la cremallera es fabricada de aleación metálica ya que así tendrá una mayor dureza que el piñón, es decir el costo de esta cremallera no será elevado y así se pueda hacer un cambio de esta cuando sufra un desgaste significativo en los dientes. [22]

Si el sistema supera los 8 pies de longitud y el peso de los puentes sea sumamente elevado este se tendrá que adaptar un motor de mayor torque para así evitar la pérdida de velocidad o retraso, cuando esto ocurra el sistema debe ser rediseñado y acoplar un segundo motor para que se obtenga otro impulso al arranque de estos motores. [22]

Es muy sencillo adaptara los micro-steps a estos motores para coordinar el impulso de estos motores, el ejemplo de transmisión se nota en la figura 20. [22]

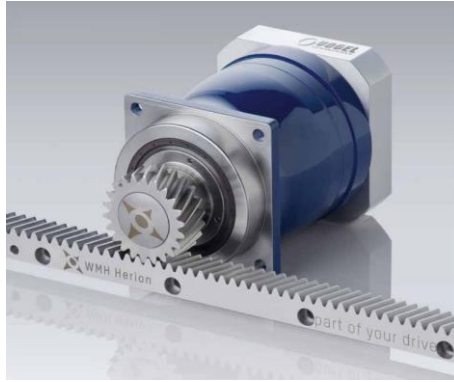


Figura 20: Transmisión de potencia piñón cremallera

Fuente: [23]

➤ **Transmisión por banda dentada**

Este sistema de transmisión es parecido al sistema de piñón cremallera, en este caso la cremallera será sustituida por una banda dentada esto evitara el desplazamiento libre entre el piñón y la banda. [24]

La ventaja de este sistema es su bajo costo y un nivel de mantenimiento bajo, la correa es de poliuretano y el piñón de acero esto hace que por la elongación de la banda provoque un error de precisión en el sistema, este sistema es más utilizado en los impresoras 3d de casa y las impresoras de tinta ya que esta no requieren una gran precisión. Al igual este sistema es de baja sonoridad, en la figura 21 se muestra un ejemplo de este sistema. [24]

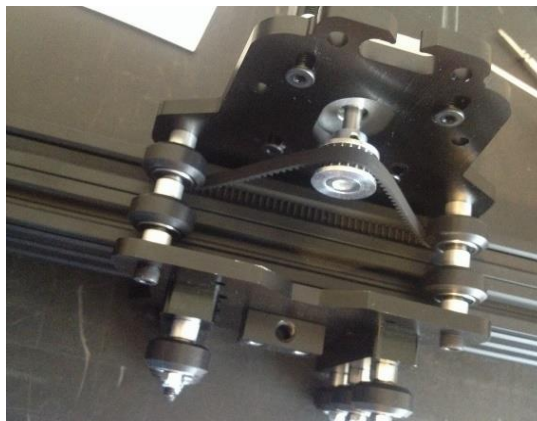


Figura 21: Transmisión de potencia por banda dentada

Fuente: [25]

➤ Transmisión por tornillo de potencia

La transmisión de potencia por husillo de bolas se encarga de generar un movimiento circular en un movimiento rectilíneo, con este tornillo se obtiene un movimiento suave y preciso, se adaptará a las condiciones de trabajo con velocidades aceptables que son controladas eficientemente con gran valor de precisión en los 3 ejes x, y, z, este sistema tiene una ventaja que cuando este termina su recorrido una bolilla se dirige hacia un extremo de la tuerca para alinearse y así ser redirigida nuevamente en sus desplazamientos, el husillo de bolas fue diseñado especialmente para disminuir eficazmente el rozamiento de la bola con la superficie del husillo de bolas, con esto no existirá pérdida de la potencia ejercida, este husillo tiene una larga vida útil y puede trabajar directamente acoplándose a los motores de micro-steps. Un claro ejemplo de este husillo se muestra en la figura 22. [26]

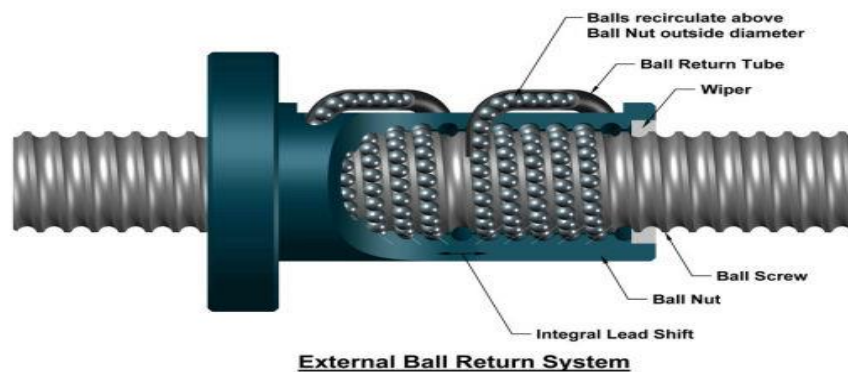


Figura 22: Transmisión de potencia por banda dentada

Fuente: [27]

➤ Transmisión por cadena

La transmisión por cadena no se utiliza en la fabricación de routers CNC, este sistema no cuenta con una gran precisión, la ventaja de trabajar con este sistema es que se trabaja a las altas velocidades, pero se debe realizar un mantenimiento masivo, la desventaja para una CNC es que la cadena se complica al ser acoplado a los motores a pasos, por el contrario este no sufre un desbordamiento de la cadena piñón y consta una gran transmisión de potencia, este sistema tiene la

ventaja de trabajar una gran área de trabajo. Un claro ejemplo de esta transmisión se muestra en la figura 23. [28]



Figura 23: Transmisión de potencia por cadena

Fuente: [27]

2.2.12 Finales de carrera

En la electrónica se hallan los componentes de contacto o finales de carrera, se encuentran varios tipos que son de accionamiento neumático y eléctrico, esto son ubicados en el final de su recorrido, un ejemplo caro es un banda de cartones ya que este tiene limitado su recorrido, este componente envía una señal y hace que el circuito se cierra y arranque de nuevo el sistema. [28]

Los finales de carrera están compuestos por una entrada normalmente abierta (NO) y una normalmente cerrada (NC), el uso de estas entradas depende netamente de usuario.

La ventaja de uso de estos dispositivos son sus diseños ya que esta no cuenta con imanes para así trabajar en altas tensiones, no es un diseño tan robusto y es muy fácil de instalarlo, la desventaja de este componente es que genera rebotes en el momento de contacto y es dependientemente de la fuerza ejercida por la actuación. Un esquema de este sistema se muestra en la figura 24. [28]

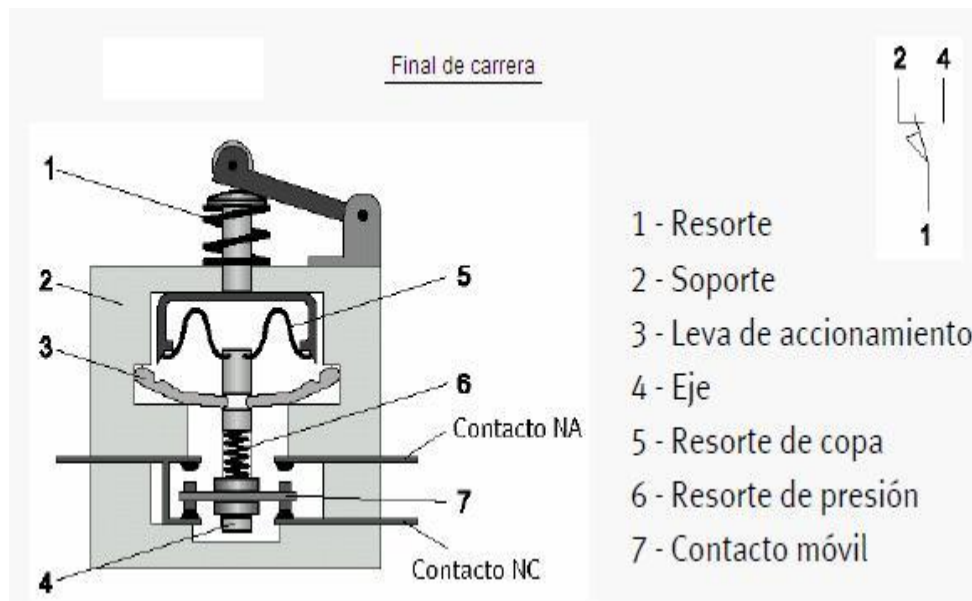


Figura 24: Componentes del final de carrera

Fuente: [29]

2.2.13 Tarjeta de control nMotion Mach 3

Es una interfaz donde se conecta los motores a controlar y sus respectivos finales de carrera esta es una de la mejor que se puede hallar en el mercado, esta tarjeta es compatible directamente con el software libre, la ventaja de esta tarjeta es que no se lo conecta ya en puerto paralelo sino en puerto USB, en la figura 25 se muestra el componente, algunas de la características son: [30]

- La facilidad de conectar a 4 ejes.
- Utiliza cualquier versión de mach 3.
- No se necesita instalar ningún controlador USB.
- Consta de varios chips para un alto procesamiento.
- Se puede configurar el tamaño del búfer y asegurar un ciclo de interpolación rápido y tener una operación estable.
- Dispone de 16 puertos de entrada y 8 puertos de salida.
- Consta de 256 bytes de espacio NVRAM. [30]



Figura 25: Interfaz nMotion mach 3

Fuente: [30]

2.2.14 Drivers

Este driver controla a los motores a pasos ya que se encuentran en función del amperaje del motor, estos drivers envían señales de accionamiento a los motores a pasos según el usuario lo necesite. En la figura 26 se muestran un driver HY-DIV268N-5a. [30]



Figura 26: Driver HY-DIV268N-5a

Fuente: [31]

2.2.15 Software libre Match 3

Lo especial de este software es que se lo consigue libre y puede ejecutarse cualquier sistema operativo, utiliza 1 GHz con 1024 x 268 pixeles. Este software se acopla a las necesidades de cualquier trabajo o proyecto en el que involucra obtener códigos G, los motores a pasos aceptan la comunicación de pulsos ya sean a DC o AC a codificación digital. En la figura 27 se muestra el software libre match 3. [32]

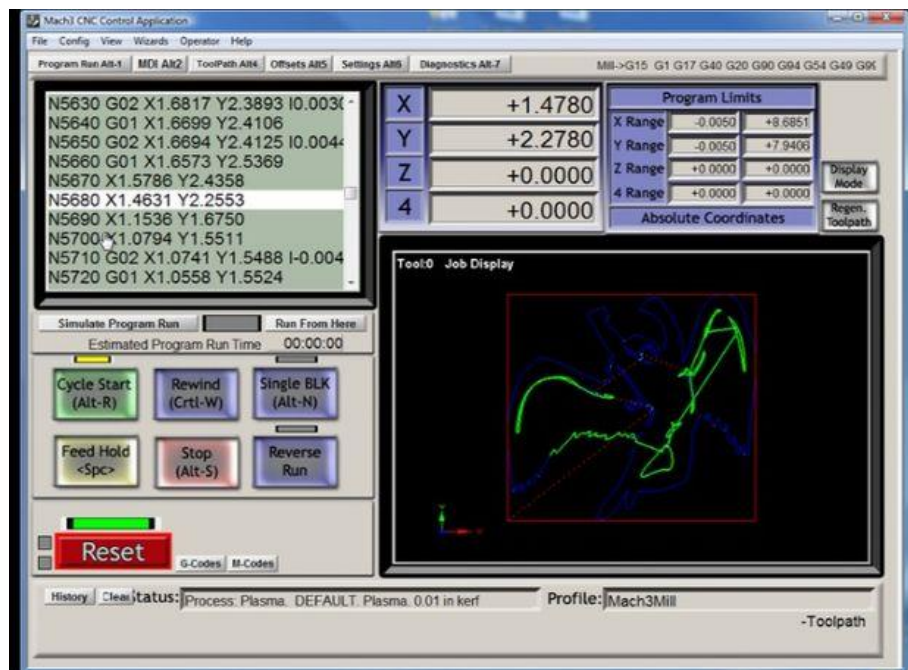


Figura 27 Software libre Mach 3

Fuente: [32]

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Selección de alternativas

Para obtener una buena selección de alternativas hay que tener en cuenta varios factores como la resistencia del material a seleccionar, disponibilidad de adquisición del material ya sea nacional e internacional, la maquinabilidad de los materiales para su trabajo de mecanizado.

3.1.1 Selección de alternativas en el sistema de potencia

Los criterios para poder seleccionar la mejor alternativa van en función de la precisión, construcción, fricción, velocidad de trabajo, eficiencia y costo.

Se aplicó el método de criterios ponderados para realizar la respectiva selección de materiales para la transmisión de potencia.

ALTERNATIVAS

➤ Piñón Cremallera

Características

- Precisión es de dos centésimas de milímetro
- Tiene un 90% de eficiencia
- Su construcción no es complicada ya que se usa para estructuras robustas su
- Su fricción es de 0,10
- Capaz de trabajar a altas velocidades sin fricción
- Este componente es costoso. [22]

➤ Tornillo de bolas

Características

- La construcción de este componente es complicada y no es robusta
- La precisión es de una centésima de milímetro

- Posee una eficiencia elevada 96%-99%
- Es sensible a la fricción con un valor de 0,03
- Capaz de trabajar a altas velocidades
- El costo es accesible para el usuario [22]

➤ **Cadena**

Características

- Su construcción es muy sencilla
- Posee una fricción de 0,35
- Trabaja a velocidades medias igual que la banda dentada
- Su precisión es menor a la de transmisión por banda dentada
- El costo es accesible ya que se encuentran fácilmente
- Eficiencia del 96%-97% [22]

➤ **Banda dentada**

Características

- Trabaja a altas velocidades de trabajo
- Trabaja a velocidades aceptables para el mecanizado
- Eficiencia del 90% - 96%
- La construcción de este componente es de manera fácil
- La fricción de este componente es menor ya que es con polea y banda [22]
- El costo es accesible para su adquisición.

Para la selección de los componentes se procede a realizar el método de criterios ponderados, el método que se va a utilizar el método de Riba, para los criterios se va asignar los siguientes valores.

1 = Si el criterio de las filas es superior o mayor que el de las columnas

0,5 = Si el criterio de las filas es equivalente o igual al de las columnas

0 = Si el criterio de las filas es inferior o deficiente que el de las columna

Para realizar el criterio se suman las ponderaciones asignadas en relación sobrantes, se añade la unidad para evitar que el criterio menos favorable tenga un valor nulo, para la solución se realiza el producto de los pesos específicos.

Criterios a considerar:

- **Precisión.-** El sistema debe tener la mayor precisión posible para obtener un buen acabado.
- **Eficiencia.-** El sistema debe contar una gran eficiencia al momento de realizar su trabajo.
- **Costo.-** Debe tener un costo moderado u accesible.
- **Fricción.-** Debe tener la menor fricción posible para el momento de mecanizar.
- **Velocidad.-** Debe aceptar la velocidad de trabajo propuesto por el operador.
- **Construcción.-** Debe ser maquinable y construido en el menor tiempo posible.

La definición de los criterios más importantes que se consideraron se genera la tabla 6 donde se realiza la evaluación del peso específico los criterios.

Tabla 6 Peso relativo de los factores

CRITERIO	PRESICIÓN	EFICIENECIA	COSTO	FRICCIÓN	VELOCIDAD	CONSTRUCCIÓN	$\sum+1$	PONDERACIÓN
PRESICIÓN		1	1	0,5	0,5	0	4	0,190
EFICIENECIA	1		0,5	1	0,5	0	4	0,190
COSTO	0	0		0,5	0,5	1	3	0,143
FRICCIÓN	0,5	1	0		0,5	0,5	3,5	0,167
VELOCIDAD	0,5	0,5	0	0,5		0,5	3	0,143
CONSTRUCCIÓN	0,5	1	0,5	0,5	0		3,5	0,167
SUMA							21	1

Fuente: Autor

De la tabla 6 se determinó la ponderación de cada uno de los factores cómo se puede ver que manda la precisión y la eficiencia ya que son los factores más relevantes para la plasma CNC.

A continuación se procede a evaluar el peso relativo de cada alternativa y cada criterio para así seleccionar el más relevante.

Tabla 7 Peso relativo de la precisión

Peso	Piñón cremallera	Tornillo de bolas	Cadena	Banda dentada	$\Sigma+1$	Ponderación
Piñón cremallera		0,5	0	0	1,5	0,25
Tornillo de bolas	1		0	0	2	0,33
Cadena	0	0		0	1	0,17
Banda dentada	0	0	0,5		1,5	0,25
Suma					6	1

Fuente: Autor

La tabla 7 muestra el peso relativo con respecto a la precisión en el sistema de transmisión de potencia, de los resultados obtenidos sobresalió el husillo de bolas con un valor de 0,33.

Tabla 8 Peso relativo de la eficiencia

Peso	Piñón cremallera	Tornillo de bolas	Cadena	Banda dentada	$\Sigma+1$	Ponderación
Piñón cremallera		1	0	0	2	0,24
Tornillo de bolas	1		1	0	3	0,35
Cadena	0	0		0,5	1,5	0,18
Banda dentada	0,5	0	0,5		2	0,24
Suma					8,5	1

Fuente: Autor

La tabla 8 de la eficiencia para el sistema de transmisión de potencia sobresalió el husillo de bolas seguido del piñón cremallera con un valor de 0,35

Tabla 9 Peso relativo al costo

Peso	Piñón cremallera	Tornillo de bolas	Cadena	Banda dentada	$\Sigma+1$	Ponderación
Piñón cremallera		0	0	0	1	0,13
Tornillo de bolas	1		0	0	2	0,25
Cadena	1	0		0,5	2,5	0,31
Banda dentada	1	0	0,5		2,5	0,31
Suma					8	1

Fuente: Autor

Con respecto a la tabla 9 se evalúa el costo de los componentes ya que debe ser accesible para el usuario, el husillo de bolas sobre sale ya que es el sistema más utilizado para CNC.

Tabla 10 Peso relativo de la fricción

Peso	Piñón cremallera	Tornillo de bolas	Cadena	Banda dentada	$\Sigma+1$	Ponderación
Piñón cremallera		0,5	1	1	3,5	0,39
Tornillo de bolas	1		0	0	2	0,22
Cadena	0	0,5		0	1,5	0,17
Banda dentada	0	0,5	0,5		2	0,22
Suma					9	1

Fuente: Autor

En la tabla 10 se muestra la ponderación de la fricción relacionado con los sistemas de transmisión de potencia, en esta tabla la mayor ponderación es la de piñón cremallera.

Tabla 11 Peso relativo de la velocidad

Peso	Piñón cremallera	Tornillo de bolas	Cadena	Banda dentada	$\Sigma+1$	Ponderación
Piñón cremallera		0,5	1	1	3,5	0,37
Tornillo de bolas	1		0,5	0	2,5	0,26
Cadena	0	0		1	2	0,21
Banda dentada	0	0	0,5		1,5	0,16
Suma					9,5	1

Fuente: Autor

En la tabla 11 se muestra la ponderación del sistema de transmisión en función de la velocidad de cada uno de los elementos, el elemento con mayor ponderaciones es la de piñón cremallera.

Tabla 12 Peso relativo en la construcción

Peso	Piñón cremallera	Tornillo de bolas	Cadena	Banda dentada	$\Sigma+1$	Ponderación
Piñón cremallera		1	0	0	2	0,22
Tornillo de bolas	0,5		0	0	1,5	0,17
Cadena	1	1		0,5	3,5	0,39
Banda dentada	0,5	0	0,5		2	0,22
				Suma	9	1

Fuente: Autor

Debido a que la construcción no es un factor tan relevante se realiza la tabla 12, el elemento más fácil de construir es la cadena, ya que de este elemento los repuestos son de fácil adquisición.

A continuación se realiza la tabla 13 donde se realiza la selección de la alternativa correcta para el sistema de transmisión de potencia.

Tabla 13 Selección de alternativa para el sistema de transmisión

Peso	Precisión	Eficiencia	Costo	Fricción	Velocidad	Construcción	Σ	Alternativas
Piñón cremallera	0,048	0,045	0,018	0,065	0,053	0,037	0,265	A1
Tornillo de bolas	0,063	0,067	0,036	0,037	0,038	0,028	0,269	A2
Cadena	0,032	0,034	0,045	0,028	0,030	0,065	0,233	A3
Banda dentada	0,048	0,045	0,045	0,037	0,023	0,037	0,234	A4

Fuente: Autor

Realizado las tablas respectivas de cada criterio con su alternativa se determinó que la alternativa 2 es la correcta seguida de la alternativa 1, debido a que no existe mucha la diferencia entre las dos alternativas, la alternativa que seleccionó la empresa es la alternativa de utilizar husillo de bolas para la transmisión de potencia en los 3 ejes.

3.1.2 Selección de alternativas en el sistema de guiado

Se toma en cuenta los criterios de selección de transmisión de potencia ya que para este sistema se necesita las mismas características que son la precisión, construcción, fricción, velocidad de trabajo, eficiencia y costo.

Se aplicará el método de criterios ponderados para realizar la respectiva selección del sistema de guías.

ALTERNATIVAS

1. Sistema de rodamientos

Características

- Este sistema de fácil construcción
- Contiene una baja precisión
- Trabaja a velocidades considerables
- Su costo accesible
- Su fricción es 60% ya que son s rodamientos
- Cuenta con 70% de eficiencia [22]

2. Sistema de guiado lineal

Características

- Su diseño hace que trabaje a velocidades altas
- Su costo es elevado
- Gran precisión
- La fricción ejercida es insignificante
- La eficiencia va desde los 85% a 99%
- Su construcción es muy fácil ya que es un eje apoyado [22]

La definición de los criterios más importantes que se consideraron se genera la tabla 14 donde se realiza la evaluación del peso específico los criterios.

Tabla 14 Peso relativo de los factores para sistema de guiado

Criterio	Precisión	Eficiencia	Costo	Fricción	Velocidad	Construcción	$\Sigma+1$	Ponderación
Precisión		1	1	0,5	1	0	4,5	0,250
Eficiencia	0,5		0,5	1	0,5	0	3,5	0,194
Costo	0	0		0,5	0,5	0,5	2,5	0,139
Fricción	0	1	0		1	0	3	0,167
Velocidad	0,5	0	0	0		0,5	2	0,111
Construcción	0,5	0,5	0	0,5	0		2,5	0,139
						Suma	18	1

Fuente: Autor

En la tabla 14 se realiza la ponderación de las consideraciones a tener para la selección de un sistema de guías, realizada la ponderación en la tabla 14 se determina que el factor más relevante es la precisión.

Tabla 15 Peso relativo en la precisión

Peso	Rodamientos	Guías lineales	$\Sigma+1$	Ponderación
Rodamientos		0	1	0,33
Guías lineales	1		2	0,67
		Suma	3	1

Fuente: Autor

La tabla 15 muestra la ponderación entre las dos opciones, debido a que se necesita en la guías una buena precisión, se ha ponderado y la opción con mayor valoración es la de las guías lineales debido a que cuentan con una gran precisión.

Tabla 16 Peso relativo en la eficiencia

Peso	Rodamientos	Guías lineales	18	1
Rodamientos		0,5	1,5	0,43
Guías lineales	1		2	0,57
		Suma	3,5	1

Fuente: Autor

En la tabla 16 se determinó que las guías lineales cuentan con una gran eficiencia para el trabajo en máquinas CNC.

Tabla 17 Peso relativo en el costo

Peso	Rodamientos	Guías lineales	$\sum+1$	Ponderación
Rodamientos		0	1	0,33
Guías lineales	1		2	0,67
		Suma	3	1

Fuente: Autor

En la tabla 17 se muestra que las guías lineales son de mayor costo pero eficaces al momento de trabajar. El costo debe ser accesible para la empresa y por disponibilidad en el mercado.

Tabla 18 Peso relativo en la fricción

Peso	Rodamientos	Guías lineales	$\sum+1$	Ponderación
Rodamientos		0,5	1,5	0,50
Guías lineales	0,5		1,5	0,50
		Suma	3	1

Fuente: Autor

En la tabla 18 se muestra que los dos componentes contienen las misma fricción en este caso se podría utilizar cualquier sistema para el ensamble de las guías.

Tabla 19 Peso relativo en la velocidad

Peso	Rodamientos	Guías lineales	$\sum+1$	Ponderación
Rodamientos		0,5	1,5	0,43
Guías lineales	1		2	0,57
		Suma	3,5	1

Fuente: Autor

Como el sistema va trabajar a altas velocidades en la tabla 19 se determinó que el sistema que soportara es el de guías lineales, este sistema no necesita de mayor lubricación.

Tabla 20 Peso relativo en la construcción

Peso	Rodamientos	Guías lineales	$\sum+1$	Ponderación
Rodamientos		0	1	0,33
Guías lineales	1		2	0,67
		Suma	3	1

Fuente: Autor

En la tabla 20 se evaluaron la construcción de estos dos elementos la cual el más fácil y rápido de fabricar son las guías lineales ya que es un eje apoyado en una base tipo pirámide.

A continuación se realiza la tabla 21 donde se realiza la selección de la alternativa correcta para el sistema de guiado

Tabla 21 Selección de alternativa para el sistema de transmisión

Peso	Precisión	Eficiencia	Costo	Fricción	Velocidad	Construcción	\sum	Alternativas
Rodamientos	0,167	0,083	0,046	0,083	0,048	0,0463	0,474	A1
Guías lineales	0,083	0,111	0,093	0,083	0,063	0,0926	0,526	A2

Fuente: Autor

Realizado las tablas respectivas de cada criterio con su alternativa se determinó que la alternativa 2 es la correcta seguida de la alternativa 1, la alternativa que seleccionó la empresa es la alternativa de utilizar guías líneas ya que brindan un gran precisión al momento de trabajar.

3.1.3 SISTEMA DE CONTROL

- **Motores a pasos.-** Los motores que se utiliza son los NEMA 23 que son para acoplar a los sistemas del eje X, Y, Z, estos motores cuenta con 1,8 grados por vuelta, los motores convierten una serie de pulsos en desplazamientos angulares. Estos motores también se comportan al igual que un conversor digital analógico, además cuentan con una gran precisión al momento de su función.
- **Tarjeta de control.-** Este componente el cerebro de la máquina que es el que lee los códigos G generados, esta tarjeta cuenta con la facilidad de manejar 4 ejes, cuenta con 16 puertos de entrada los cuales se utiliza para los finales de carrera y 8 puertos de salida que son para los tres motores del sistema y para el encendido de la antorcha.
- **Software libre.-** Para la interfaz de comunicación se procede a utilizar el software libre mach 3 este software lee archivos realizados en Estlcam, este se encarga de generar código G e interactuar directamente con la máquina.

3.1.4 Finales de carrera

Se procede a utilizar 6 finales de carrera para seguridad de la máquina y el operario ya que estos sirven para detener completamente el ciclo de trabajo, estos finales de carrera es ubicado al inicio y al final de su recorrido para evitar descarrilamientos.

3.1.5 Sistema eje z de 300 mm de recorrido

La empresa ha optado por utilizar un sistema de eje z llamado GGP 1610 300 mm tornillo de la bola carril de deslizamiento lineal, este sistema bien ya ensamblado lo que facilitaría en ensamble completo de del sistema, a este sistema se lo tendría que acoplar el seguro de la antorcha ya que este sistema dispone de 300 milímetros de recorrido, en la figura 28 se muestra el sistema ensamblado. Este sistema cuenta con una gran precisión de ahí la decisión de la empresa de utilizar este sistema.

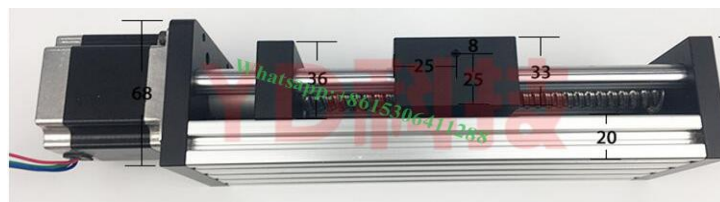


Figura 28: GGP 1605 300 mm

Fuente: [33]

3.2 Diseño del eje Z

3.2.1 Cálculo de las guías lineales eje Z

Se procede a realizar el cálculo del diámetro del sistema de las guías en el sistema z. En la figura 29 se muestra las dimensiones establecidas en el diseño

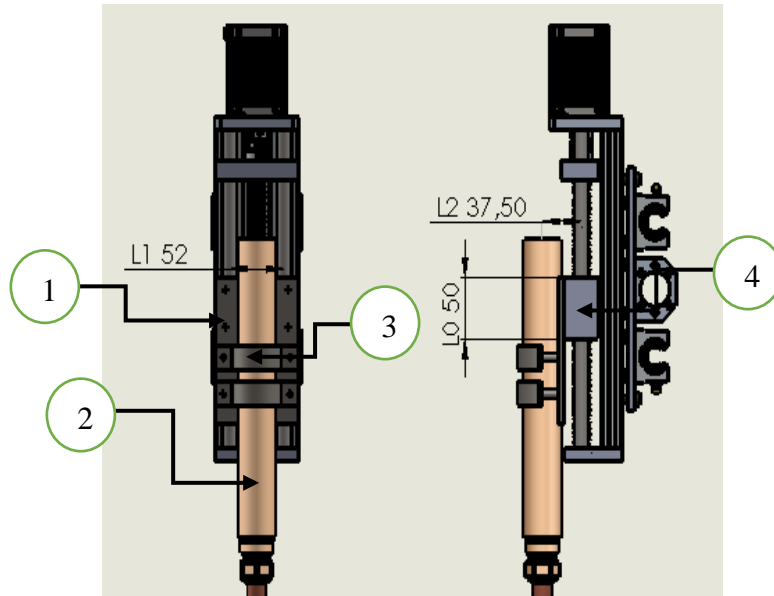


Figura 29: Esquema de las dimensiones

Fuente: Autor

El peso que va a soportar cada eje lineal a partir de los componentes que lo conforman, en la tabla 22 se muestra cada componente con su respectiva masa.

Tabla 22 Peso de los componentes del eje Z

Componentes	Masa (Kg)
1- Masa placa antorcha	0,5
2- Masa antorcha	3,5
3-Masa acople antorcha	0,45
4- Masa bloque móvil	0,35
5- Masa adicional	0,2
Masa total	5

Fuente: Autor

Se calcula el peso total con la fórmula 3.1 [34]

$$P = (\text{Masa total kg}) \times \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \quad \text{Ec. 3.1}$$

$$P = (5 \text{ kg}) \times \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$$

$$P = 49,05 \text{ [N]}$$

A continuación se procede a seleccionar el diámetro para el sistema lineal, se analiza el eje como una viga doblemente empotrada. En la figura 30 se muestra el estado de carga.

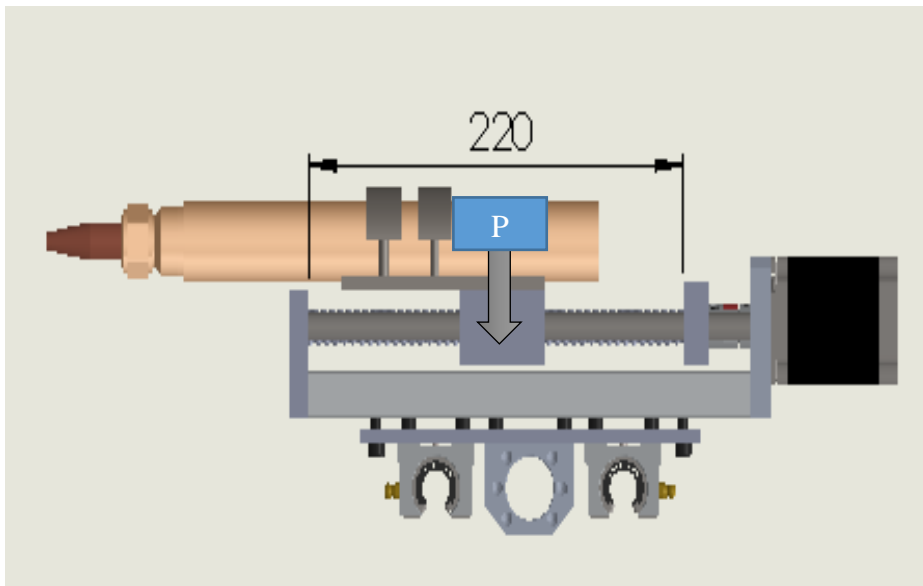


Figura 30: Esquema de la Carga en el eje Z

Fuente: Autor

El procedimiento del cálculo se lo realiza como se muestra en la figura 30, se propone que la carga esta puntuda en el eje Y, ya que así se podrá determinar el diámetro si es el correcto del sistema GGP 1605 y analizar si el tornillo sufre pandeo por la carga aplicada en el eje.

En la figura 31 se muestra la carga puntal en el centro de la viga del sistema del eje Z.

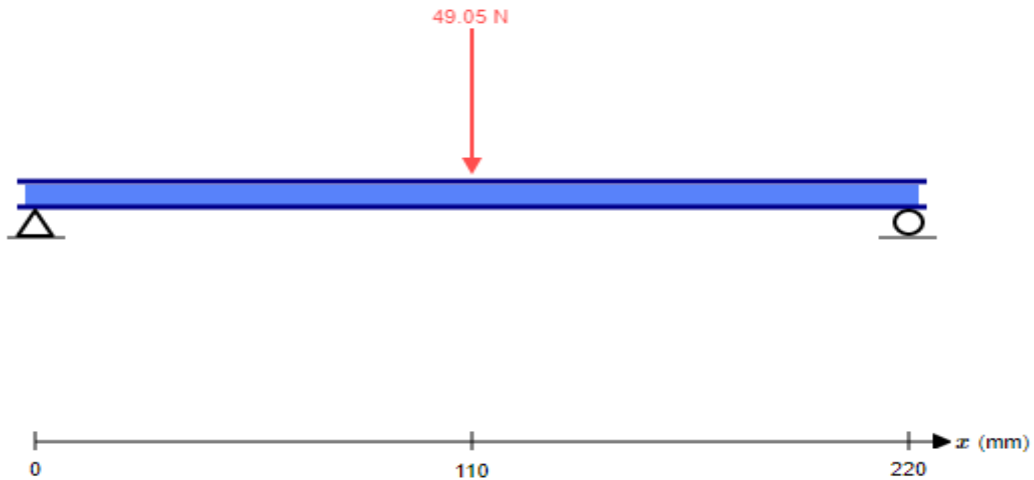


Figura 31: Estado de cargas en la viga simplemente apoyada del sistema eje Z

Fuente: Autor

Se realiza en análisis de fuerzas para determinar las reacciones en los apoyos. Se aplica la ecuación 3.11. [34]

$$\uparrow + \sum Fy = 0 \quad \text{Ec. 3.11}$$

$$Ra - P1 + Rb = 0$$

$$Ra - 49,05 [N] + Rb = 0$$

Se obtiene la ecuación 3.12 para las reacciones en los apoyos

$$Ra + Rb = 49,05 [N] \quad \text{Ec. 3.12}$$

Se procede a realizar la sumatoria de momentos a partir de la ecuación 3.13 para obtener el valor de las reacciones en los apoyos.

$$+\circlearrowleft \sum Ma = 0 \quad \text{Ec. 3.13}$$

$$(-110\text{mm} \times P1) + (220\text{mm} \times Rb) = 0$$

$$(-110\text{mm} \times 49,05 [N]) + (220\text{mm} \times Rb) = 0$$

$$(-5395.5 [Nmm]) + (220\text{mm} \times Rb) = 0$$

$$\mathbf{Rb = 24,53[N]}$$

Se reemplaza R_b en la ecuación 3,12 para la obtención de la reacción en el apoyo

$$R_a + R_b = 49,05[N] \quad \text{Ec 3.12}$$

$$R_a + 24,53[N] = 49,05 [N]$$

$$R_a = 49,05 [N] - 24,53[N]$$

$$\mathbf{R_a = 24 , 53 [N]}$$

Aplicando la ecuación 3. 13 se determina el momento flector máximo

$$M_{max} = P x 110mm \quad \text{Ec 3.13}$$

$$M_{max} = 24.53 [N] x 110mm$$

$$\mathbf{M_{max} = 2808.3 [N - mm]}$$

Para determinar el diámetro adecuado de las guías lineales se aplica la ecuación 3.14.

[34]

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} x c}{I} \quad \text{Ec 3.14}$$

El material de los ejes que se utiliza es de acero SAE 1020 este es un acero endurecido, en el anexo 1 se muestra las propiedades de algunos material especialmente del 1020. Se obtiene las propiedades del acero SAE 1020, con ($S_{ut} = 380 \text{ Mpa}$, y el $S_y = 210 \text{ Mpa}$), para diseño se opta por usar un factor de seguridad ($f_s = 5$). Se parte de la ecuación 3.15, [34], para encontrar el diámetro adecuado para las guías.

$$\sigma_{max} = \frac{S_y}{f_s} \quad \text{Ec 3.15}$$

$$\sigma_{max} = \frac{210 \text{ Mpa}}{5}$$

$$\mathbf{\sigma_{max} = 26.25 \text{ Mpa}}$$

De la ecuación 3.16 se determina el valor de S de la sección circular. [34]

$$S = \frac{M_{max}}{\sigma_{max}} \quad \text{Ec 3.16}$$

$$S = \frac{2808.3 \text{ Mpa}}{26.25 \text{ Mpa}}$$

$$\mathbf{S = 106.98 \text{ mm}^3}$$

Se aplica la ecuación número 3.17 para determinar el diámetro requerido. [34]

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times S}{\pi}} \quad \text{Ec 3.17}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times 106.8 \text{mm}^3}{\pi}}$$

$$d = 10.28 \text{mm}$$

Para el eje z se va utilizar el sistema GGP 1605 300 que cuenta con un diámetro adecuado para las guías de 12 mm, ya que el sistema soportará sin dificultad la carga debido a que el diámetro calculado es menor al del GGP 1610 300.

3.2.2 Cálculo del sistema de transmisión del eje Z

El material para el husillo de bolas es de acero inoxidable 420, este material cuenta con una resistencia de $S_y = 276 \text{ Mpa}$ y $E = 200 \text{ Gpa}$ como se muestra en el anexo 2. El peso que va a levantar el husillo es de $P = 49,05 \text{ [N]}$.

El análisis se lo va a realizar por el cálculo de columnas a partir de la ecuación 3.18, [40], tomada en el punto tangente como se muestra en la figura 35, de esta manera se determinará el diámetro requerido para la carga a soportar.

$$(SR)_D = \pi x \sqrt{\frac{2 \times E}{S_y}} \quad \text{Ec 3.18}$$

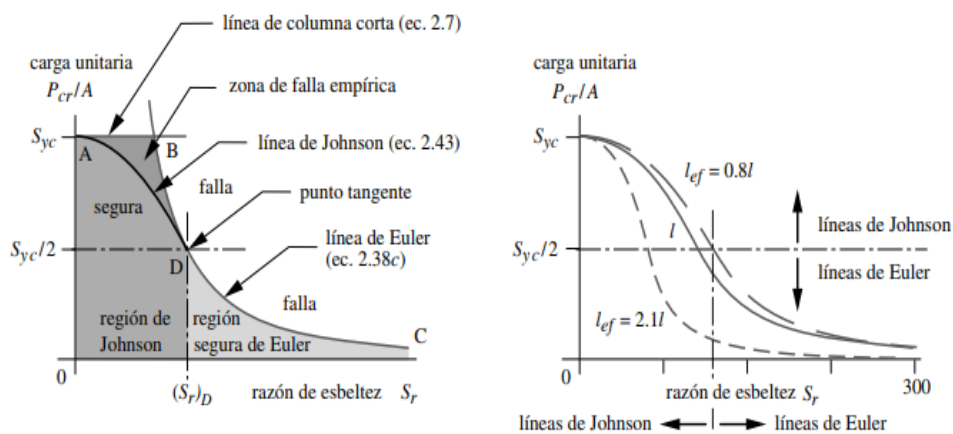


Figura 35: Construcción de las líneas de falla en una columna y las líneas de falla por las diferentes condiciones en los extremos

Fuente: [35]

Resolviendo la ecuación 3.18 para encontrar la razón de esbeltez en el punto tangente D, [35].

$$(SR)_D = \pi x \sqrt[2]{\frac{2 x 200 x 10^9}{276 x 10^6}}$$

$$(SR)_D = 119,59$$

Se aplica el diámetro que cuenta el sistema GGP 1610 300 que es de 16 milímetro para el husillo de bolas, la cual se procede a determina el área respectiva con la ecuación 3.19, el momento de inercia con la ecuación 3.20, y el radio de giro con la ecuación 3.21 de la sección circular. [34]

$$A = \left(\frac{\pi x d^2}{4}\right) \quad \text{Ec 3.19}$$

$$A = \left(\frac{\pi x 16^2}{4}\right)$$

$$A = 201,06 \text{ mm}^2$$

$$I = \left(\frac{\pi x d^4}{64}\right) \quad \text{Ec 3.20}$$

$$I = \left(\frac{\pi x 16^4}{64}\right)$$

$$I = 3216,99 \text{ mm}^4$$

$$Rg = \sqrt[2]{\frac{I}{A}} \quad \text{Ec 3.21}$$

$$Rg = \sqrt[2]{\frac{3216,99}{201,06}}$$

$$Rg = 4$$

El husillo de bolas que utiliza el sistema GGP 1610 300 es el SFU 1610 que dispone de una longitud efectiva de 220 milímetros. Como se muestra en la figura 36.

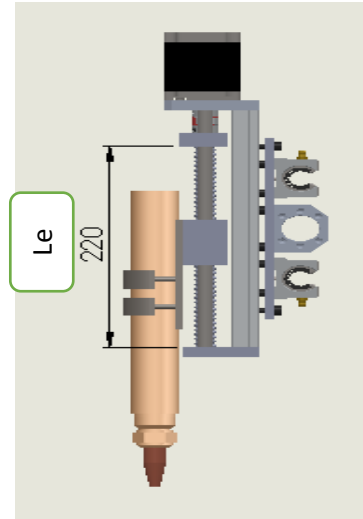


Figura 36: Longitud efectiva del recorrido (l_e)

Fuente: Autor

Se procede a determinar la razón de esbeltez real con la fórmula 3.22. [34]

$$SR = \frac{l_e}{R_g} \quad \text{Ec 3.22}$$

$$SR = \frac{220\text{mm}}{4}$$

$$SR = 55$$

Debido a que $(SR)_D$ es mayor que SR , esta columna se encuentra en la región de JOHNSON por lo que se utilizará la ecuación 3.23 para determinar la fuerza crítica de esta columna. [35]

$$P_{crit} = A \times \left[S_y - \frac{1}{E} \times \left(\frac{S_y \times SR}{2 \times \pi} \right)^2 \right] \quad \text{Ec 3.23}$$

$$P_{crit} = 201,06\text{mm}^2 \times \left[276 \times 10^6 \left[\frac{N}{\text{m}^2} \right] - \frac{1}{200 \times 10^9 \left[\frac{N}{\text{m}^2} \right]} \times \left(\frac{276 \times 10^6 \left[\frac{N}{\text{m}^2} \right] \times 55}{2 \times \pi} \right)^2 \right]$$

$$P_{crit} = 49,63 \text{ [kN]}$$

La carga crítica encontrada es la que va a soportar el husillo de bolas, para saber que el husillo va a soportar dicha carga se asume un factor de diseño de $f_s = 4$, se aplica la ecuación 3.24 para determinar la fuerza permisible en el husillos. [35]

$$P_{per} = \frac{P_{crit}}{f_s} \quad \text{Ec 3.24}$$

$$P_{per} = \frac{49,63 \text{ kN}}{4}$$

$$P_{per} = 12,40 \text{ KN}$$

Encontrado la fuerza permisible que va a soportar el husillo de bolas de 16 mm de diámetro se determinó que como la fuerza permisible es mayor que la fuerza que va a levantar el husillo, debido a esto el diámetro del sistema GGP 1610 300 soportara la carga sin ningún inconveniente.

3.2.3 Cálculo del torque del eje Z

Para determinar el torque necesario para levantar un peso de 49,05 [N] se aplica la siguiente ecuación 3. 25, donde se sabe que el SFU1610 tiene un coeficiente de fricción $\mu = 0,03$ y un paso de $p = 10$ mm. [36]

$$T_{sub} = \left(\frac{d_m \times W}{2}\right) \times \left(\frac{\mu + \tan(\lambda)}{1 - \mu \tan(\lambda)}\right) \quad \text{Ec 3.25}$$

Se calcula el diámetro de paso d_m con la ecuación 3.26. [36]

$$d_m = d_{ext} - \frac{p}{2} \quad \text{Ec 3.26}$$

$$d_m = 16\text{mm} - \frac{10}{2}$$

$$d_m = 11\text{mm}$$

Se determina el ángulo de hélice con la ecuación 3.27. [36]

$$\lambda = \tan^{-1}\left(\frac{p}{\pi \times d_m}\right) \quad \text{Ec 3.27}$$

$$\lambda = \tan^{-1}\left(\frac{10}{\pi \times 11}\right)$$

$$\lambda = 16,14^\circ$$

Remplazando los valores en la ecuación 3.25 para el torque de subida. [36]

$$T_{sub} = \left(\frac{11 \times 49,05 [N]}{2} \right) \times \left(\frac{0,03 + \tan(16,14)}{1 - 0,03 \times \tan(16,14)} \right)$$

$$T_{sub} = 86,92 [N - mm]$$

Para determinar el torque de bajada se intercambian los signos y queda la ecuación 3.28. [36]

$$T_{baj} = \left(\frac{dm \times W}{2} \right) \times \left(\frac{\mu - \tan(\lambda)}{1 + \mu \tan(\lambda)} \right) \quad \text{Ec 3.28}$$

$$T_{baj} = \left(\frac{11 \times 49,05 [N]}{2} \right) \times \left(\frac{0,03 - \tan(16,14)}{1 + 0,03 \times \tan(16,14)} \right)$$

$$T_{baj} = -69,38 [N - mm]$$

La empresa dispuso para el sistema del eje Z el motor NEMA 23 23HS30-2804S, este motor tiene un torque de 1.89 [N-m] y 1.8° grados, lo cual este torque es mayor al calculado y soportará sin dificultad la carga a levantar, en el anexo 3 se muestra las características de este motor.

3.3 Diseño del eje X

3.3.1 Cálculo del sistema de guiado del eje X

El material para las guías lineales es el acero 1045 es el material de los rieles SBR que cuenta con un esfuerzo $S_y=310$ MPa como se muestra en el anexo 4, en la figura 32 se muestra el esquema del sistema del eje x, el peso total que va a trasladar el eje x es de 65,24 Newton.

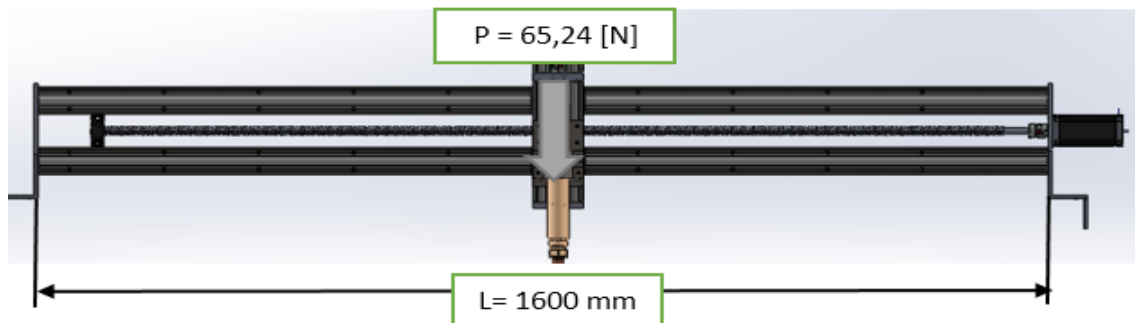


Figura 32: Sistema eje X

Fuente: Autor

En la figura 33 se tiene el diagrama de cuerpo libre de las guías lineales, para de esta manera determinar el diámetro requerido para las guías del sistema X.

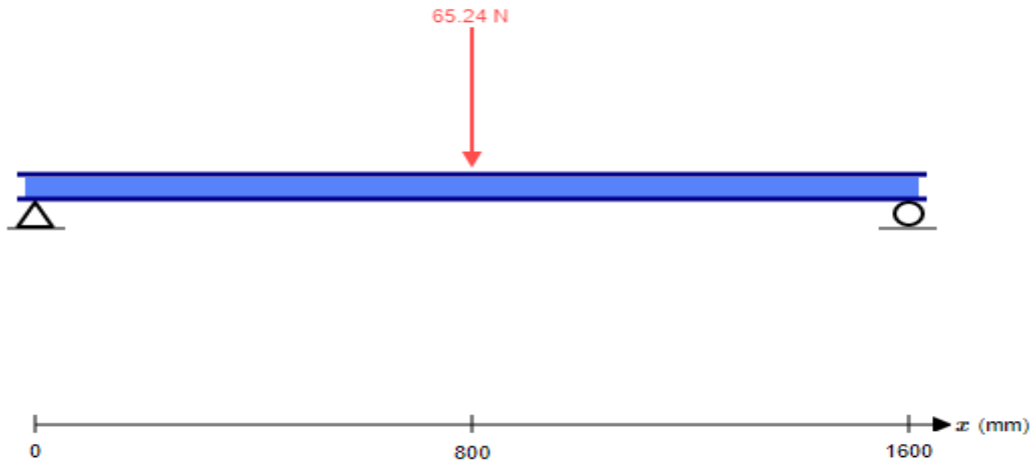


Figura 33: Diagrama de cuerpo libre de las guías del eje X

Fuente: Autor

Se procede a calcular las reacciones respectivas con la ecuación 3.11 y el momento flector con la ecuación 3.13. [34]

$$\uparrow + \sum Fy = 0 \quad \text{Ec. 3.11}$$

$$Ra - P1 + Rb = 0$$

Se obtiene la ecuación 3.12 para las reacciones en los apoyos

$$Ra + Rb = 65.24 [N] \quad \text{Ec. 3.12}$$

Se procede a realizar la sumatoria de momentos a partir de la ecuación 3.13 para obtener el valor de las reacciones en los apoyos. [34]

$$+\cup \sum Ma = 0 \quad \text{Ec. 3.13}$$

$$(-800\text{mm} \times P1) + (1600\text{mm} \times Rb) = 0$$

$$(-800\text{mm} \times 65.24 [N]) + (1600\text{mm} \times Rb) = 0$$

$$(-52192 [Nmm]) + (1600\text{mm} \times Rb) = 0$$

$$\mathbf{Rb = 32.62[N]}$$

Se reemplaza Rb en la ecuación 3,12 para la obtención de la reacción en el apoyo

$$Ra + Rb = 65.24[N] \quad \text{Ec 3.12}$$

$$Ra + 32.62[N] = 65.24 [N]$$

$$Ra = 65.24 [N] - 32.62[N]$$

$$\mathbf{Ra = 32.62 [N]}$$

Aplicando la ecuación 3. 13 se determina el momento flector máximo. [34]

$$M_{max} = Px 800mm \quad \text{Ec 3.13}$$

$$M_{max} = 32, .62 [N]x 800mm$$

$$\mathbf{M_{max} = 26096 [N - mm]}$$

El material para los ejes son el acero AISI 1045, con el Sy = 310Mpa), para diseño se opta por usar un factor de seguridad (fs = 5). Se parte de la ecuación 3.15 para encontrar el diámetro adecuado para las guías. [34]

$$\sigma_{max} = \frac{Sy}{fs} \quad \text{Ec 3.15}$$

$$\sigma_{max} = \frac{310 \text{ Mpa}}{5}$$

$$\mathbf{\sigma_{max} = 77.5 \text{ Mpa}}$$

De la ecuación 3.16 se determina el valor de S de la sección circular

$$S = \frac{Mmax}{\sigma_{max}} \quad \text{Ec 3.16}$$

$$S = \frac{26096 \text{ Mpa}}{77.5 \text{ Mpa}}$$

$$\mathbf{S = 336.72mm^3}$$

Se aplica la ecuación 3.17 para determinar el diámetro requerido. [34]

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times S}{\pi}} \quad \text{Ec 3.17}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times 336.76 \text{ mm}^3}{\pi}}$$

$$d = 15.04 \text{ mm}$$

El diámetro que se utilizara es de 16 mm ya que es por disponibilidad en el mercado y de la empresa, al ser el diámetro mayor al diseñado soportará sin ningún inconveniente la carga a soportar.

3.3.2 Cálculo del diámetro del tornillo de potencia del eje X

En la figura 34 se muestra el esquema del husillo de bolas en el sistema eje X, su longitud y su carga será igual la que soporta las guías lineales en el sistema X

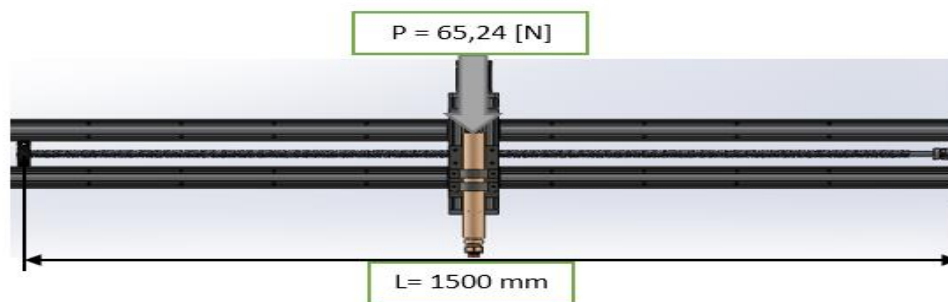


Figura 34: Husillo de bolas eje X

Fuente: Autor

De igual manera el material que se va a utilizar es acero inoxidable el AISI 420 que se puede ver en el anexo 2, este material cuenta con una resistencia de $S_y = 276 \text{ Mpa}$ y $E = 200 \text{ Gpa}$. En la figura 35 se muestra el diagrama de cuerpo libre del husillo de bolas.

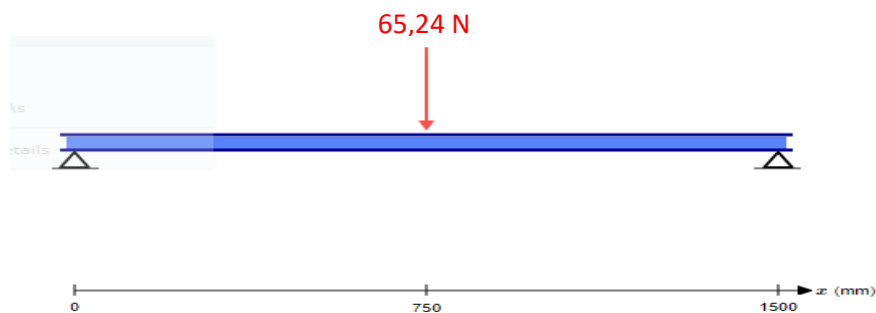


Figura 35: Diagrama de cuerpo libre del husillo de bolas del eje X

Fuente: Autor

De igual manera se parte de la ecuación 3.11 y del momento flector con la ecuación 3.13. [34]

$$\uparrow + \sum Fy = 0 \quad \text{Ec. 3.11}$$

$$Ra - P1 + Rb = 0$$

Se obtiene la ecuación 3.12 para las reacciones en los apoyos

$$Ra + Rb = 65.24 [N] \quad \text{Ec. 3.12}$$

Se procede a realizar la sumatoria de momentos a partir de la ecuación 3.13 para obtener el valor de las reacciones en los apoyos. [34]

$$+\cup \sum Ma = 0 \quad \text{Ec. 3.13}$$

$$(-750\text{mm} \times P1) + (1500\text{mm} \times Rb) = 0$$

$$(-750\text{mm} \times 65.24 [N]) + (1500\text{mm} \times Rb) = 0$$

$$(-52192 [Nmm]) + (1600\text{mm} \times Rb) = 0$$

$$\mathbf{Rb = 32.62[N]}$$

Se reemplaza Rb en la ecuación 3,12 para la obtención de la reacción en el apoyo

$$Ra + Rb = 65.24[N] \quad \text{Ec 3.12}$$

$$Ra + 32.62[N] = 65.24 [N]$$

$$Ra = 65.24 [N] - 32.62[N]$$

$$\mathbf{Ra = 32.62 [N]}$$

Aplicando la ecuación 3. 13 se determina el momento flector máximo. [34]

$$M_{max} = Px 750\text{mm} \quad \text{Ec 3.13}$$

$$M_{max} = 32,.62 [N] \times 750\text{mm}$$

$$\mathbf{M_{max} = 24465 [N - mm]}$$

Para el diseño se opta por usar un factor de seguridad ($f_s = 3$). Se parte de la ecuación 3.15 para encontrar el diámetro adecuado para el husillo de bolas. [34]

$$\sigma_{max} = \frac{Sy}{f_s} \quad \text{Ec 3.15}$$

$$\sigma_{max} = \frac{276 \text{ Mpa}}{3}$$

$$\sigma_{max} = \mathbf{92 \text{ Mpa}}$$

De la ecuación 3.16 se determina el valor de S de la sección circular. [34]

$$S = \frac{M_{max}}{\sigma_{max}} \quad \text{Ec 3.16}$$

$$S = \frac{24465 \text{ Mpa}}{92 \text{ Mpa}}$$

$$S = \mathbf{265.93 \text{ mm}^3}$$

Se aplica la ecuación 3.17 para determinar el diámetro requerido para el husillo de bolas. [34]

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times S}{\pi}} \quad \text{Ec 3.17}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times 265.93 \text{ mm}^3}{\pi}}$$

$$d = \mathbf{13.93 \text{ mm}}$$

El diámetro que se utilizará es de 16 mm por disponibilidad en el mercado se encuentra el SFU 1610 las dimensiones de este se nota en el anexo 5, que dispone con el diámetro adecuado para el sistema de potencia en el eje X.

3.3.3 Cálculo del torque del desplazamiento del eje X

Para determinar el torque necesario para trasladar un peso de 65.24 [N] se aplica la siguiente ecuación 3. 25, donde se sabe que el SFU1610 tiene un coeficiente de fricción $\mu = 0,03$ y un paso de $p = 10 \text{ mm}$. [36]

$$T_{sub} = \left(\frac{dm \times W}{2}\right) \times \left(\frac{\mu + \text{tang}(\lambda)}{1 - \mu \text{tang}(\lambda)}\right) \quad \text{Ec 3.25}$$

Se calcula el diámetro de paso d_m con la ecuación 3.26. [36]

$$d_m = d_{ext} - \frac{P}{2} \quad \text{Ec 3.26}$$

$$d_m = 16\text{mm} - \frac{10}{2}$$

$$\mathbf{d_m = 11mm}$$

Se determina el ángulo de hélice con la ecuación 3.27. [36]

$$\lambda = \text{tang}^{-1}\left(\frac{\text{avan}}{\pi \times d_m}\right) \quad \text{Ec 3.27}$$

$$\lambda = \text{tang}^{-1}\left(\frac{10}{\pi \times 11}\right)$$

$$\mathbf{\lambda = 16,14^\circ}$$

Remplazando los valores en la ecuación 3.25 para el torque del desplazamiento. [36]

$$T_{sub} = \left(\frac{11 \times 65.24 \text{ [N]}}{2}\right) \times \left(\frac{0.03 + \text{tang}(16,14)}{1 - 0.03 \times \text{tang}(16,14)}\right)$$

$$\mathbf{T_{des} = 115,6 \text{ [N} - \text{mm]}}$$

El motor dispuesto por la empresa es el NEMA23 modelo 57BYGH115-003B la hoja técnica se muestra en el anexo 6, este motor tiene un torque de 3[N-m] y 1.8° grados, este motor trabajar sin dificultades ya que consta con un torque mayor al requerido.

3.3.4 Cálculo de soporte del eje X

La empresa facilitó tubo estructural de 50 x 50 x 3 este materia cuenta con $S_y = 310 \text{ Mpa}$ y $S_{mat} = 8,48 \text{ cm}^3$ las características se muestran en el anexo 7, se realizará el cálculo necesario para determinar si este material es apto para las condiciones de trabajo que se necesita, el peso total a soportar es de $P = 143,72 \text{ [N]}$. En la figura 36 se muestra el diseño del eje X.

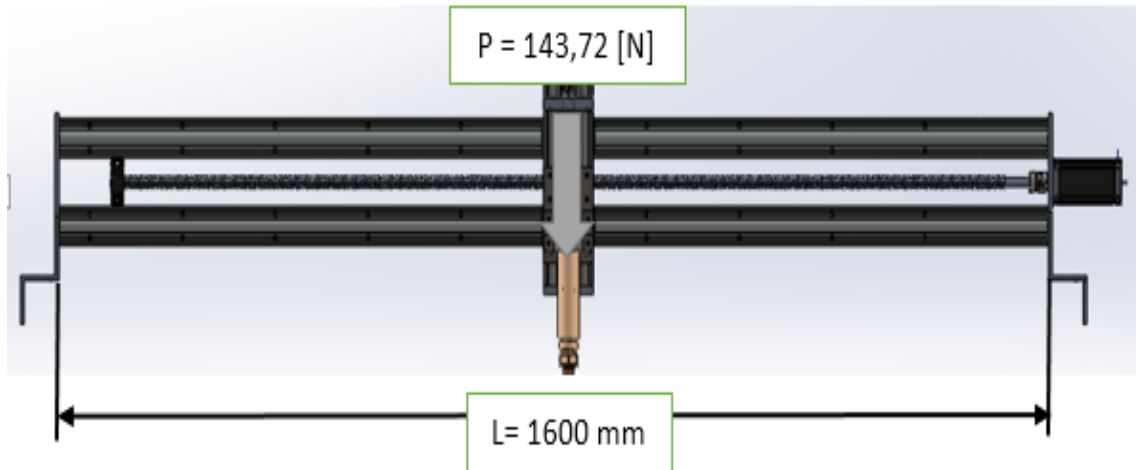


Figura 36: Diseño del eje X

Fuente: Autor

En la figura 37 se muestra el diagrama de cuerpo libre del sistema x con sus respectivas reacciones en los apoyos.

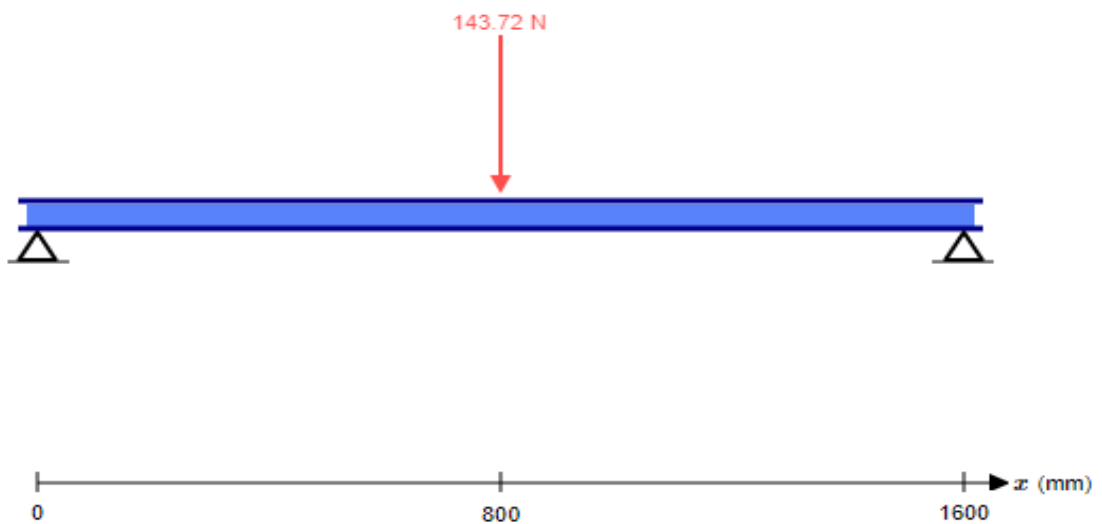


Figura 37: Diagrama de cuerpo libre del eje X

Fuente: Autor

Se parte de la ecuación 3.11 y del momento flector con la ecuación 3.13. [34]

$$\uparrow + \sum Fy = 0 \quad \text{Ec. 3.11}$$

$$Ra - P1 + Rb = 0$$

Se obtiene la ecuación 3.12 para las reacciones en los apoyos

$$Ra + Rb = 143,72 [N] \quad \text{Ec. 3.12}$$

Se procede a realizar la sumatoria de momentos a partir de la ecuación 3.13 para obtener el valor de las reacciones en los apoyos. [34]

$$+\cup \sum Ma = 0 \quad \text{Ec. 3.13}$$

$$(-800\text{mm} \times P1) + (1600\text{mm} \times Rb) = 0$$

$$(-800\text{mm} \times 143,72 [N]) + (1600\text{mm} \times Rb) = 0$$

$$(-114976 [N\text{mm}]) + (1600\text{mm} \times Rb) = 0$$

$$\mathbf{Rb = 71,86[N]}$$

Se reemplaza Rb en la ecuación 3,12 para la obtención de la reacción en el apoyo

$$Ra + Rb = 143,72[N] \quad \text{Ec 3.12}$$

$$Ra + 71,86[N] = 143,72 [N]$$

$$Ra = 143,72 [N] - 71,86[N]$$

$$\mathbf{Ra = 371,86 [N]}$$

Aplicando la ecuación 3. 13 se determina el momento flector máximo. [34]

$$M_{max} = Px 800\text{mm} \quad \text{Ec 3.13}$$

$$M_{max} = 71,86 [N] \times 800\text{mm}$$

$$\mathbf{M_{max} = 57488 [N - mm]}$$

Para el diseño se opta por usar un factor de seguridad ($f_s = 8$). Se parte de la ecuación 3.15 [34].

$$\sigma_{max} = \frac{S_y}{f_s} \quad \text{Ec 3.15}$$

$$\sigma_{max} = \frac{310 \text{ Mpa}}{8}$$

$$\sigma_{max} = \mathbf{38,75 \text{ Mpa}}$$

De la ecuación 3.16 se determina el valor de S_{req} de la sección circular. [34]

$$S_{req} = \frac{M_{max}}{\sigma_{max}} \quad \text{Ec 3.16}$$

$$S_{req} = \frac{57488 \text{ Mpa}}{38,75 \text{ Mpa}}$$

$$S_{req} = 1483,56 \text{ mm}^3$$

$$S_{req} = \mathbf{1,48 \text{ cm}^3}$$

Determinado el valor de S_{req} requerido, se determina que el material proporcionado por la empresa si soportara la carga debido a que el $S_{mat} \geq S_{req}$.

3.4 Diseño del eje Y

3.4.1 Cálculo del sistema de guiado del eje Y

El material para las guías lineales es el acero 1045 mostrado en el anexo 4, es el material de los riles SBR que cuenta con un esfuerzo $S_y=310$ MPa, en la figura 38 se muestra el esquema del sistema del eje y, el peso total que va a trasladar el eje y es de 212.36 [N], el riel está en cuatro apoyos por lo que la fuerza en cada riel es 53.09 [N].

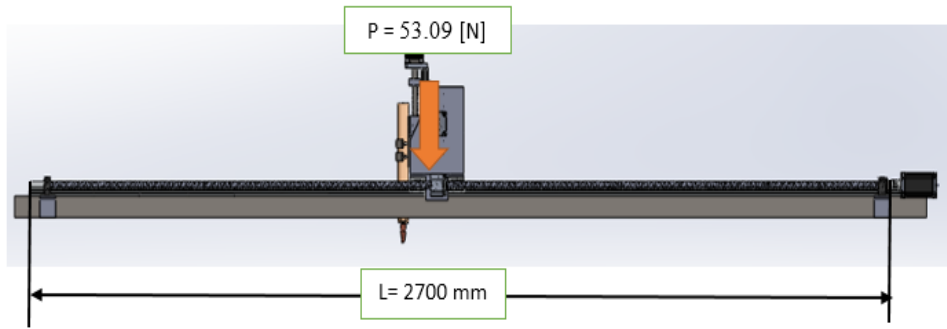


Figura 38: Sistema eje Y

Fuente: Autor

En la figura 39 tenemos el diagrama de cuerpo libre de las guías lineales, para de esta manera determinar el diámetro requerido para las guías del sistema Y.

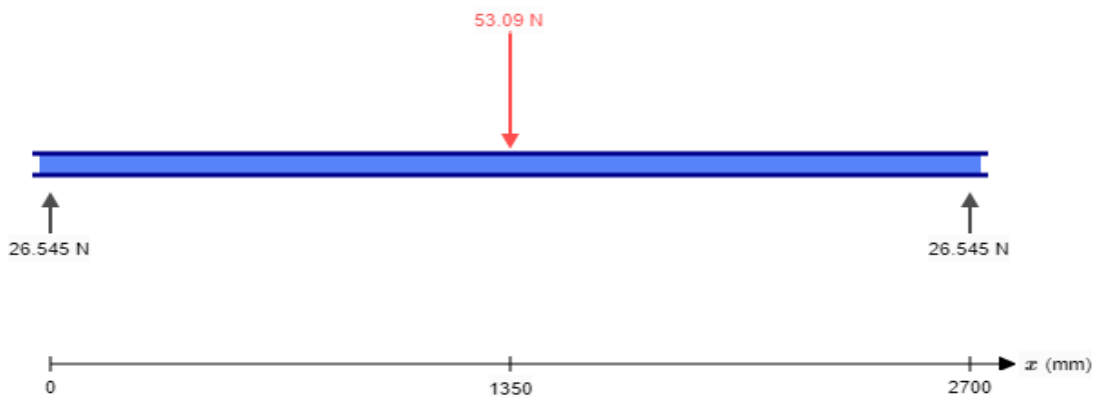


Figura 39: Diagrama de cuerpo libre eje Y

Fuente: Autor

Se procede a calcular las reacciones respectivas con la ecuación 3.11 y el momento flector con la ecuación 3.13. [34]

$$\uparrow + \sum Fy = 0 \quad \text{Ec. 3.11}$$

$$Ra - P1 + Rb = 0$$

Se obtiene la ecuación 3.12 para las reacciones en los apoyos.

$$Ra + Rb = 53.09 \text{ [N]} \quad \text{Ec. 3.12}$$

Se procede a realizar la sumatoria de momentos a partir de la ecuación 3.13 para obtener el valor de las reacciones en los apoyos. [34]

$$+\circlearrowleft \sum Ma = 0 \quad \text{Ec. 3.13}$$

$$(-1350\text{mm} \times P1) + (2700\text{mm} \times Rb) = 0$$

$$(-1350\text{mm} \times 53.09 [N]) + (2700\text{mm} \times Rb) = 0$$

$$(-71671.5 [Nmm]) + (2700\text{mm} \times Rb) = 0$$

$$\mathbf{Rb = 26.5 [N]}$$

Se reemplaza Rb en la ecuación 3,12 para la obtención de la reacción en el apoyo.

$$Ra + Rb = 53.09 [N] \quad \text{Ec 3.12}$$

$$Ra + 26.5 [N] = 53.09 [N]$$

$$Ra = 53.09 [N] - 26.5 [N]$$

$$\mathbf{Ra = 26.5 [N]}$$

Aplicando la ecuación 3. 13 se determina el momento flector máximo. [34]

$$M_{max} = Px 1350\text{mm} \quad \text{Ec 3.13}$$

$$M_{max} = 26.5 [N] \times 1350\text{mm}$$

$$\mathbf{M_{max} = 35775 [N - mm]}$$

Para el diseño se opta por usar un factor de seguridad ($f_s = 3$). Se parte de la ecuación 3.15 para encontrar el diámetro adecuado para las guías. [34]

$$\sigma_{max} = \frac{Sy}{f_s} \quad \text{Ec 3.15}$$

$$\sigma_{max} = \frac{310 \text{ Mpa}}{3}$$

$$\mathbf{\sigma_{max} = 103.33 \text{ Mpa}}$$

De la ecuación 3.16 se determina el valor de S de la sección circular. [34]

$$S = \frac{M_{max}}{\sigma_{max}} \quad \text{Ec 3.16}$$

$$S = \frac{35775 \text{ Mpa}}{103.00 \text{ Mpa}}$$

$$S = 346.22 \text{ mm}^3$$

Se aplica la ecuación 3.17 para determinar el diámetro requerido. [34]

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times S}{\pi}} \quad \text{Ec 3.17}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times 346.22 \text{ mm}^3}{\pi}}$$

$$d = 15.22 \text{ mm}$$

El diámetro que se utilizara es de 16 mm ya que es por disponibilidad en el mercado y de la empresa, el riel será el SBR 16 mostrado en el anexo 8.

3.4.2 Cálculo del diámetro del tornillo del eje Y

En la figura 40 se muestra el esquema del husillo de bolas en el sistema eje Y, su longitud y su carga será igual la que soporta las guías lineales en el sistema Y.

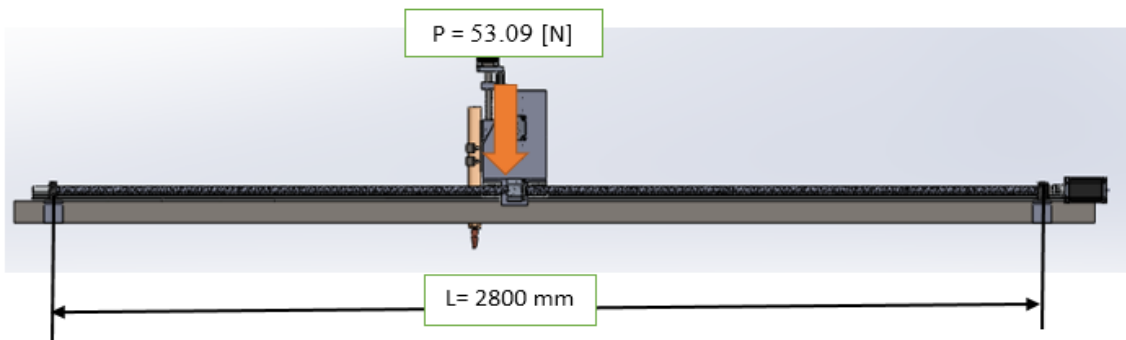


Figura 40: Husillo de bolas eje Y

Fuente: Autor

De igual manera el material que se va a utilizar es acero inoxidable el AISI 420 mostrado en el anexo 2, este material cuenta con una resistencia de $S_y = 276 \text{ Mpa}$ y $E = 200 \text{ Gpa}$. En la figura 41 se muestra el diagrama de cuerpo libre del husillo de bolas.

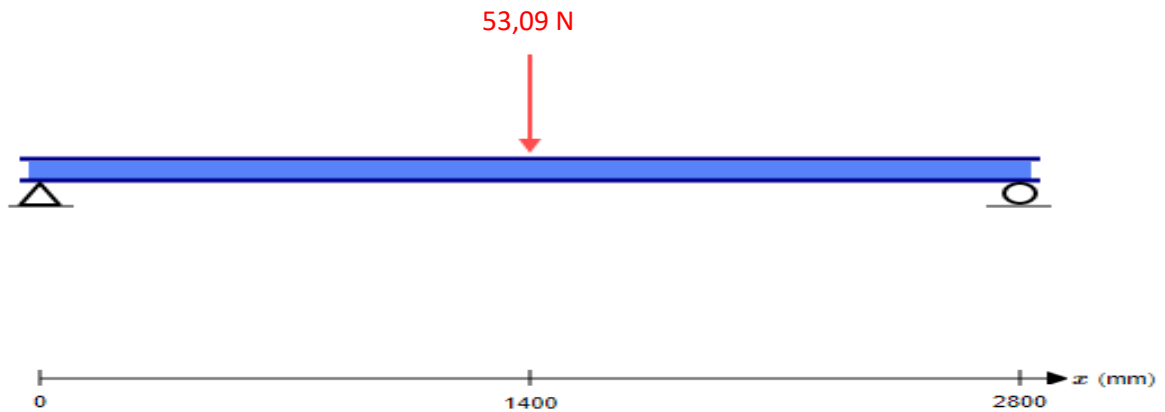


Figura 41: Diagrama de cuerpo libre de bolas eje Y

Fuente: Autor

De igual manera se parte de la ecuación 3.11 y del momento flector con la ecuación 3.13. [34]

$$\uparrow + \sum Fy = 0 \quad \text{Ec. 3.11}$$

$$Ra - P1 + Rb = 0$$

Se obtiene la ecuación 3.12 para las reacciones en los apoyos

$$Ra + Rb = 53.09 [N] \quad \text{Ec. 3.12}$$

Se procede a realizar la sumatoria de momentos a partir de la ecuación 3.13 para obtener el valor de las reacciones en los apoyos. [34]

$$+\circlearrowleft \sum Ma = 0 \quad \text{Ec. 3.13}$$

$$(-1400\text{mm} \times P1) + (2800\text{mm} \times Rb) = 0$$

$$(-1400\text{mm} \times 53.09 [N]) + (2800\text{mm} \times Rb) = 0$$

$$(-74326 [Nmm]) + (2800\text{mm} \times Rb) = 0$$

$$\mathbf{Rb = 26.5[N]}$$

Se reemplaza Rb en la ecuación 3,12 para la obtención de la reacción en el apoyo

$$Ra + Rb = 53.09[N] \quad \text{Ec 3.12}$$

$$Ra + 26.5[N] = 53.09 [N]$$

$$Ra = 53.09[N] - 26.5[N]$$

$$\mathbf{Ra = 26.5 [N]}$$

Aplicando la ecuación 3. 13 se determina el momento flector máximo. [34]

$$M_{max} = Px \ 1400mm \quad \text{Ec 3.13}$$

$$M_{max} = 26.5 [N]x \ 1400mm$$

$$\mathbf{M_{max} = 37163 [N - mm]}$$

Para el diseño se opta por usar un factor de seguridad ($f_s = 2$). Se parte de la ecuación 3.15 para encontrar el diámetro adecuado para el husillo de bolas. [34]

$$\sigma_{max} = \frac{Sy}{f_s} \quad \text{Ec 3.15}$$

$$\sigma_{max} = \frac{276 \text{ Mpa}}{2}$$

$$\mathbf{\sigma_{max} = 138 \text{ Mpa}}$$

De la ecuación 3.16 se determina el valor de S de la sección circular. [34]

$$S = \frac{M_{max}}{\sigma_{max}} \quad \text{Ec 3.16}$$

$$S = \frac{37163Mpa}{138Mpa}$$

$$\mathbf{S = 269.3mm^3}$$

Se aplica la ecuación 3.17 para determinar el diámetro requerido para el husillo de bolas. [34]

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times S}{\pi}} \quad \text{Ec 3.17}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times 269.3mm^3}{\pi}}$$

$$\mathbf{d = 13.99 \text{ mm}}$$

El diámetro que se utilizara es de 16 mm ya que es un husillo muy comercial, el modelo es el SFU 1610 que se muestra en el anexo 5, que dispone con el diámetro adecuado para el sistema de potencia en el eje X.

3.4.3 Cálculo del torque del desplazamiento del eje Y

Para determinar el torque necesario para trasladar un peso de 106.18 [N] se aplica la siguiente ecuación 3. 25, donde se sabe que el SFU1610 tiene un coeficiente de fricción $\mu = 0,03$ y un paso de $p = 10$ mm. [36]

$$T_{sub} = \left(\frac{d_m \times W}{2}\right) \times \left(\frac{\mu + \text{tang}(\lambda)}{1 - \mu \text{tang}(\lambda)}\right) \quad \text{Ec 3.25}$$

Se calcula el diámetro de paso d_m con la ecuación 3.26. [36]

$$d_m = d_{ext} - \frac{P}{2} \quad \text{Ec 3.26}$$

$$d_m = 16\text{mm} - \frac{10}{2}$$

$$\mathbf{d_m = 11mm}$$

Se determina el ángulo de hélice con la ecuación 3.27. [36]

$$\lambda = \text{tang}^{-1}\left(\frac{\text{avan}}{\pi \times d_m}\right) \quad \text{Ec 3.27}$$

$$\lambda = \text{tang}^{-1}\left(\frac{10}{\pi \times 11}\right)$$

$$\mathbf{\lambda = 16,14^\circ}$$

Remplazando los valores en la ecuación 3.25 para el torque del desplazamiento. [36]

$$T_{sub} = \left(\frac{11 \times 106.18 \text{ [N]}}{2}\right) \times \left(\frac{0.03 + \text{tang}(16,14)}{1 - 0.03 \times \text{tang}(16,14)}\right)$$

$$\mathbf{T_{des} = 188.155 \text{ [N} - \text{mm]}}$$

El motor dispuesto por la empresa es el NEMA23 modelo 57BYGH115-003B, este motor tiene un torque de 3 [N-m] y 1.8° grados, se utilizarán dos motores para obtener mayor precisión la hoja técnica de este motor se muestra en el anexo 6.

3.4.4 Cálculo de soporte del eje Y

De la misma manera la empresa trabaja con tubo estructural de 50 x 50 x 3, el tubo cuenta con $S_y = 310 \text{ Mpa}$ y $S_{mat} = 8,48 \text{ cm}^3$ la dimensiones de este tubo se muestra en el anexo7, se realiza el cálculo necesario para determinar si este material es apto para las condiciones de trabajo que se necesita, el peso total a soportar es de $P = 171,19 \text{ [N]}$. En la figura 42 se muestra el diseño del eje Y.

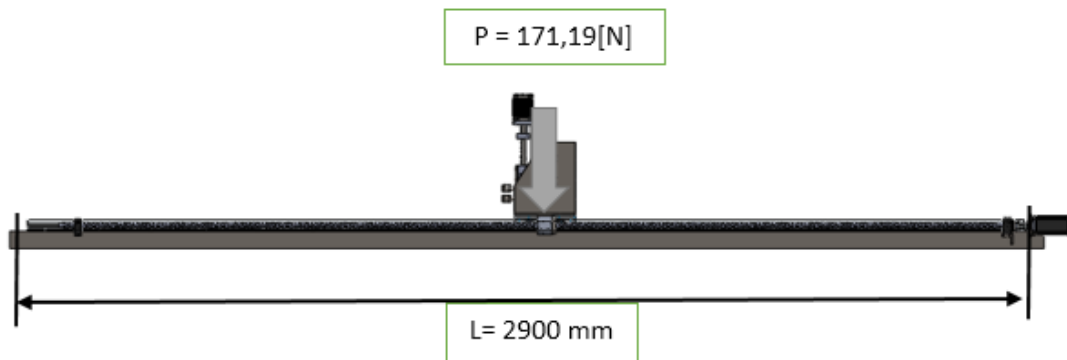


Figura 42: Diseño del eje X

Fuente: Autor

En la figura 43 se muestra el diagrama de cuerpo libre del sistema y con sus respectivas reacciones en los apoyos.

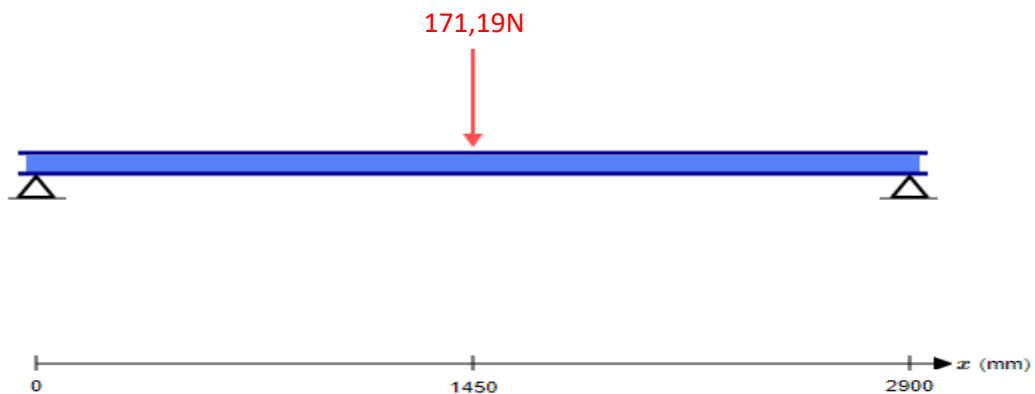


Figura 43: Diagrama de cuerpo libre del eje Y

Fuente: Autor

Se parte de la ecuación 3.11 y del momento flector con la ecuación 3.13. [34]

$$\uparrow + \sum Fy = 0 \quad \text{Ec. 3.11}$$

$$Ra - P1 + Rb = 0$$

Se obtiene la ecuación 3.12 para las reacciones en los apoyos

$$Ra + Rb = 171,19 [N] \quad \text{Ec. 3.12}$$

Se procede a realizar la sumatoria de momentos a partir de la ecuación 3.13 para obtener el valor de las reacciones en los apoyos. [34]

$$+\cup \sum Ma = 0 \quad \text{Ec. 3.13}$$

$$(-1450\text{mm}xP1) + (2900\text{mm}xRb) = 0$$

$$(-1450\text{mm}x171,19 [N]) + (2900\text{mm}xRb) = 0$$

$$(-248225,5[N\text{mm}]) + (2900\text{mm}xRb) = 0$$

$$\mathbf{Rb = 85,6[N]}$$

Se reemplaza Rb en la ecuación 3,12 para la obtención de la reacción en el apoyo

$$Ra + Rb = 171,19[N] \quad \text{Ec 3.12}$$

$$Ra + 85,6[N] = 171,19 [N]$$

$$Ra = 171,19 [N] - 85,6[N]$$

$$\mathbf{Ra = 85,6 [N]}$$

Aplicando la ecuación 3. 13 se determina el momento flector máximo. [34]

$$M_{max} = Px 1450\text{mm} \quad \text{Ec 3.13}$$

$$M_{max} = 85,6 [N]x 1450\text{mm}$$

$$\mathbf{M_{max} = 124112,75 [N - mm]}$$

Para el diseño se opta por usar un factor de seguridad (fs = 8). Se parte de la ecuación 3.15. [34]

$$\sigma_{max} = \frac{Sy}{fs} \quad \text{Ec 3.15}$$

$$\sigma_{max} = \frac{310 \text{ Mpa}}{8}$$

$$\sigma_{max} = \mathbf{38,75 \text{ Mpa}}$$

De la ecuación 3.16 se determina el valor de S_{req} de la sección circular. [34]

$$S_{req} = \frac{Mmax}{\sigma_{max}} \quad \text{Ec 3.16}$$

$$S_{req} = \frac{124112,75 \text{ Mpa}}{38,75 \text{ Mpa}}$$

$$S_{req} = 3202,91 \text{ mm}^3$$

$$S_{req} = \mathbf{3,202 \text{ cm}^3}$$

Determinado el valor de S_{req} requerido, se determina que el material proporcionado por la empresa si soportara la carga debido a que el $S_{mat} \geq S_{req}$.

3.5 Sistema de rodamientos para los rieles en el sistema X, Y

El sistema de rodamientos que se utiliza para las guías lineales es el sistema de rodamientos lineales de tipo SBR 16 LUU, los rodamientos para las guías cuentan con diámetro de 16 milímetro, se determina la carga dinámica a la cual va estar sometido los rodamientos en el eje x y eje y.

3.5.1 Carga dinámica en el eje x

Para determinar la carga dinámica a la que va a trabajar el rodamiento se analiza con la fuerza aplicada en el eje X de 0,14372 [KN], se aplica la fórmula 3.27 para determinar la carga dinámica en función de las horas de servicio. [36]

$$L_{10h} = \frac{1000000}{60 \times n} \times \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad \text{Ec 3.27}$$

De la ecuación 3.27 se obtiene la carga dinámica a la que va a trabajar el rodamiento, el $L_{10h} = 30Kh$, es tomado del anexo 9 donde se toma que las máquinas que no se usan constantemente, pero se utilizan por periodos largos, las revoluciones de trabajo de los motores nema son hasta 160 r.p.m. Con la ecuación 3.28 se termina la carga dinámica requerida de trabajo de los rodamientos en el eje X. [36]

$$C_{req} = \sqrt[3]{\frac{L_{10h} \times 60 \times n}{1000000}} \times P \quad \text{Ec 3.28}$$

$$C_{req} = \sqrt[3]{\frac{30000 \times 60 \times 160}{1000000}} \times 0,14372 \text{ [kN]}$$

$$C_{req} = \mathbf{0,1748 \text{ [KN]}}$$

Los rodamientos son aptos para el trabajo con las guías lineales, los rodamientos son los SBR 16 LUU, estos rodamientos son acorde a la condición de trabajo, cuentan con una gran capacidad de carga dinámica de $C = 1,548 \text{ [kN]}$. Estos rodamientos trabajaran sin ninguna dificultad ya que la carga dinámica del rodamiento es mayor a la carga dinámica requerida la hoja técnica de los SBR se nota en el anexo 8.

3.5.2 Carga dinámica en el eje y

Para determinar la carga dinámica a la que va a trabajar el rodamiento se analiza con la fuerza aplicada en el eje Y de $0,1712 \text{ [KN]}$, se aplica la fórmula 3.27 para determinar la carga dinámica en función de las horas de servicio. [36]

$$L_{10h} = \frac{1000000}{60 \times n} \times \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad \text{Ec 3.27}$$

De la ecuación 3.27 se obtiene la carga dinámica a la que trabaja el rodamiento, el $L_{10h} = 30Kh$, es tomado del anexo 1 donde se toma que las máquinas que no se usan constantemente, pero se utilizan por periodos largos, las revoluciones de trabajo de los motores nema son hasta 160 r.p.m. Con la ecuación 3.28 se termina la carga dinámica requerida de trabajo de los rodamientos en el eje X. [36]

$$C_{req} = \sqrt[3]{\frac{L_{10h} \times 60 \times n}{1000000}} \times P \quad \text{Ec 3.28}$$

$$C_{req} = \sqrt[3]{\frac{30000 \times 60 \times 160}{1000000}} \times 0,1712 \text{ [kN]}$$

$$C_{req} = \mathbf{0,5247 \text{ [KN]}}$$

De igual manera los rodamientos son aptos para el trabajo con las guías lineales son los SBR 16 LUU, estos rodamientos son acorde a la condición de trabajo, cuentan con una gran capacidad de carga dinámica de $C = 1,548$ [kN]. Estos rodamientos trabajarán sin ninguna dificultad ya que la carga dinámica del rodamiento es mayor a la carga dinámica requerida.

3.5.3 Soportes para los husillos de bolas en los ejes X, Y.

El sistema que se utiliza viene dado por los que se selección de los tornillos de potencia, los tornillos seleccionados para el eje x es el SFU1610 de una longitud de 1500mm, y para el eje y es el SFU 2700 de longitud 2700, los rodamientos adecuados para los husillo de bolas son los BK 12 y los BF 12.

➤ Vida nominal de rodamiento BK12 y BF12 en el eje X

Del anexo 10 el soporte BK 12 cuenta con una carga radial dinámica de 3.1 [kN] Y el soporte BF 12 con una carga radial dinámica de 4,65 [kN]. Se determina la vida nominal básica de estos rodamientos en millones de revoluciones con la fórmula 3.29, [37] con una confiabilidad del 90%. En el eje x la carga $p=0,14372$ [KN].

Vida nominal para el soporte BK12 en millones de revoluciones. [37]

$$L_{10} = \left(\frac{C}{p}\right)^3 \quad \text{Ec 3.29}$$

$$L_{10} = \left(\frac{3,1 [kN]}{0,14372 [kN]}\right)^3$$

$$L_{10} = 10035,37 \text{ millones de revoluciones}$$

Vida nominal para el soporte BK12 en horas de funcionamiento con la fórmula 3.30 [37] Las rpm de funcionamiento son a 160 de los motores nema.

$$L_{10h} = \frac{1000000}{60 \times n} \times L_{10} \quad \text{Ec 3.30}$$

$$L_{10} = \left(\frac{10000000}{60 \times 160}\right) \times 10035,37$$

$$L_{10h} = 10453510,42 \text{ horas de funcionamiento}$$

El soporte BK12 tiene una larga vida de trabajo ya que no está sometido a una carga significativa.

Vida nominal para el soporte BF12 en millones de revoluciones. Con la ecuación 3.29 [37].

$$L_{10} = \left(\frac{C}{p}\right)^3 \quad \text{Ec 3.29}$$

$$L_{10} = \left(\frac{4,65 [kN]}{0,14372 [kN]}\right)^3$$

$$L_{10} = 33869,38 \text{ millones de revoluciones}$$

Vida nominal para el soporte BF12 en horas de funcionamiento con la fórmula 3.30 [37].

$$L_{10h} = \frac{10000000}{60 \times n} \times L_{10} \quad \text{Ec 3.30}$$

$$L_{10} = \left(\frac{10000000}{60 \times 160}\right) \times 33869,38$$

$$L_{10h} = 35280604,17 \text{ horas de funcionamiento}$$

De igual manera el soporte BF12 tiene una larga vida de trabajo ya que no está sometido a una carga significativa.

➤ **Vida nominal de rodamiento BK12 y BF12 en el eje Y**

Del anexo 10 el soporte BK 12 cuenta con una carga radial dinámica de 3.1 [kN] Y el soporte BF 12 con una carga radial dinámica de 4,65 [kN]. Se determina la vida nominal básica de estos rodamientos en millones de revoluciones con la fórmula 3.29, [37] con una confiabilidad del 90%. En el eje la carga p=0,1712 [KN].

Vida nominal para el soporte BK12 en millones de revoluciones.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{p}\right)^3 \quad \text{Ec 3.29}$$

$$L_{10} = \left(\frac{3,1 [kN]}{0,1712 [kN]}\right)^3$$

$$L_{10} = 5937,09 \text{ millones de revoluciones}$$

Vida nominal para el soporte BK12 en horas de funcionamiento con la fórmula 3.30 [37].

$$L_{10h} = \frac{1000000}{60 \times n} \times L_{10} \quad \text{Ec 3.30}$$

$$L_{10} = \left(\frac{10000000}{60 \times 160} \right) \times 5937,09$$

$$L_{10h} = \mathbf{6184468,75 \text{ horas de funcionamiento}}$$

El soporte BK12 tendrá una larga vida útil ya que no está sometido a grandes fuerzas.

Vida nominal para el soporte BF12 en millones de revoluciones. Con la ecuación 3.29. [37]

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^3 \quad \text{Ec 3.29}$$

$$L_{10} = \left(\frac{4,65 [kN]}{0,1712 [kN]} \right)^3$$

$$L_{10} = \mathbf{18160,44 \text{ millones de revoluciones}}$$

Vida nominal para el soporte BF12 en horas de funcionamiento con la fórmula 3.30 [37]. Las rpm de funcionamiento son a 160 de los motores nema.

$$L_{10h} = \frac{10000000}{60 \times n} \times L_{10} \quad \text{Ec 3.30}$$

$$L_{10} = \left(\frac{1000000}{60 \times 160} \right) \times 18160,44$$

$$L_{10h} = \mathbf{18917125 \text{ horas de funcionamiento}}$$

De igual manera el soporte BF12 tiene una larga vida de trabajo por no estar sometido a grandes fuerzas.

3.6 Diseño de la mesa de soporte

La mesa será diseñada en función del peso total al que va a trabajar, en la figura 44 se muestra la mesa, de la misma forma la empresa Mecánica Industrial Moya me brindó la facilidad de utilizar tubo estructural de 50x50x3 como se muestra en el anexo 7 y platina de 2 plg x ¼. En el anexo 11 se muestra las características de la platina.

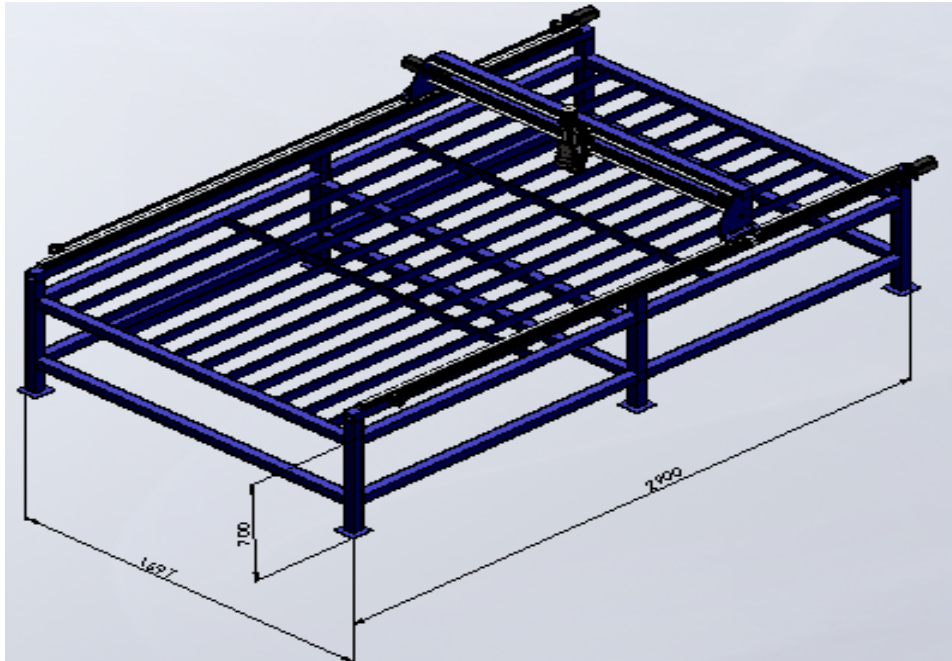


Figura 44: Mesa de soporte

Fuente: Autor

La carga está dividida en 6 patas ya que son los apoyos del sistema del eje (y) y (x), la carga total es de 597,28[N], la carga adicional es el peso de la rejilla y el peso de plancha de 12 mm lo cual nos da un peso de 3591,88 [N], en la figura 45 se muestra en análisis de desplazamiento máximo de la estructura.

Se tomó en cuenta las siguientes condiciones para el análisis de la estructura, la carga se aplica como distribuida en las 4 caras principales ya que será donde soportará el peso de plancha y de la rejilla, se utilizó el análisis “STATIC STRUCTURAL”, para la determinación de desplazamientos y esfuerzo, el tipo de apoyo que se utiliza en las 6 patas es el de “FIXED SUPPORT” ya que esta empotrada al suelo, el mallado cuenta con 11688 elementos y se utilizó el método de “Tetrahedrons”.

Se utiliza la siguiente la escala de escala de deformación $6,6e+002$ (Auto Scale) para la mejor visualización de las deformaciones en el análisis.

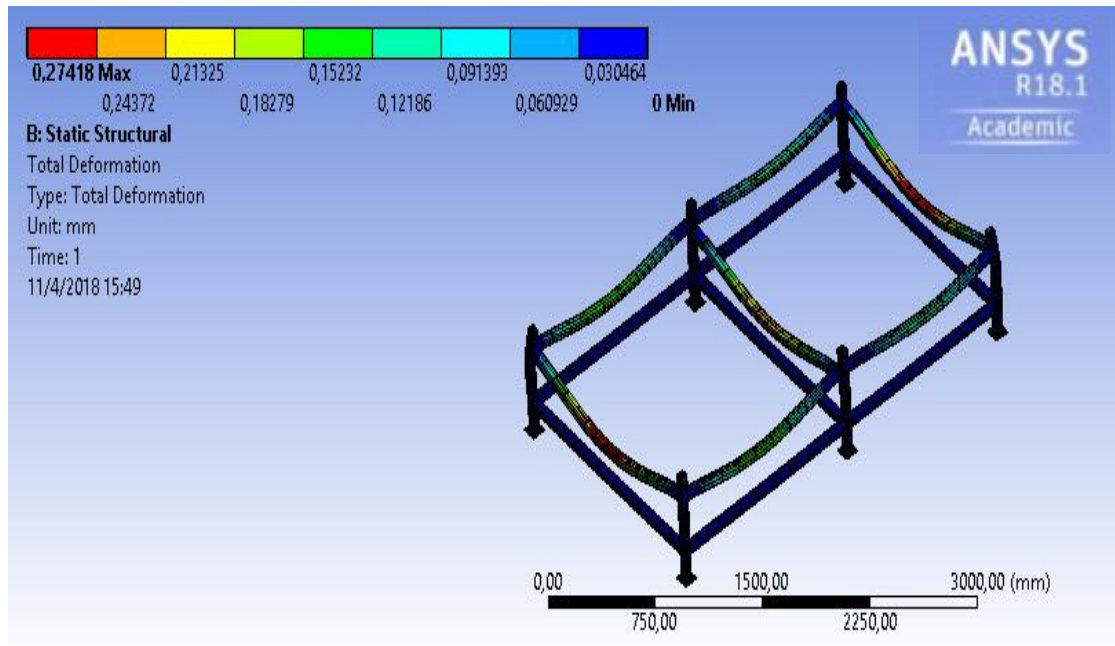


Figura 45: Análisis de desplazamiento máximo

Fuente: Autor

En el análisis se obtuvo que la estructura sufre una deformación mínima de 0,27418 milímetros. En la figura 46 se muestra el estado de carga de Von-Mises.

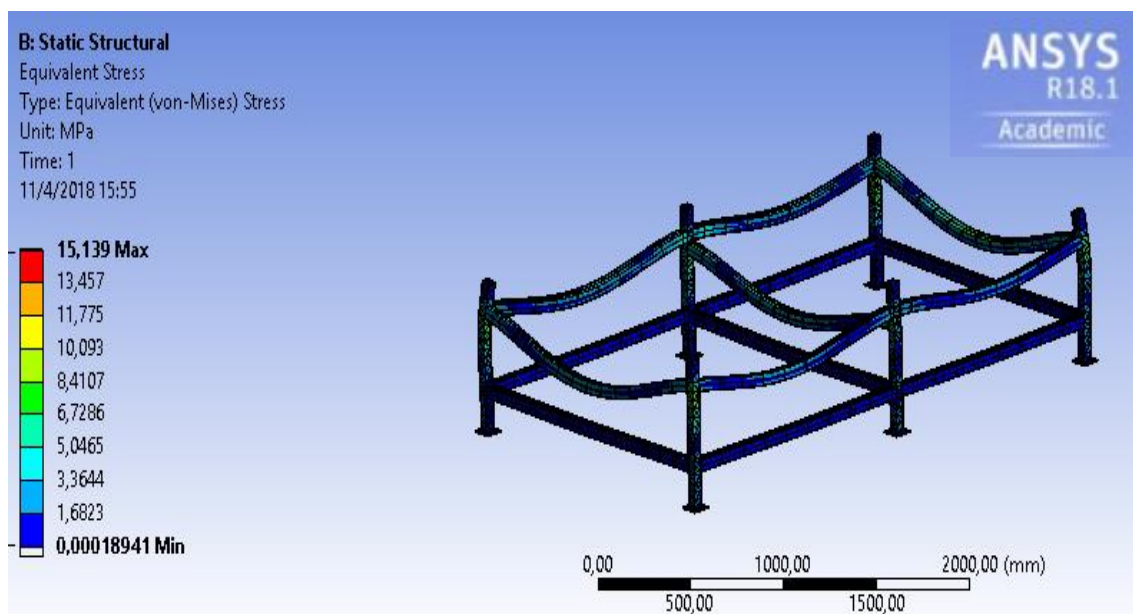


Figura 46: Análisis de Von-Mises

Fuente: Autor

En el resultado se obtiene un esfuerzo máximo de 15,139 [MPa], esto nos indica que es el 7,569% de la resistencia del material, el tubo estructural y la platina tienen una resistencia de 200 [Mpa].

3.6.1 Cálculo de pandeo en la mesa

Se realiza el análisis de pandeo para poder garantizar que las patas de la mesa soporten a la carga que están sometidas, de ahí saber si la pata sufre un pandeo. A la carga que va estar sometida cada pata es de 598,65[N] en cada una de ellas. En la figura 47 se muestra el diseño de la mesa con sus cargas.

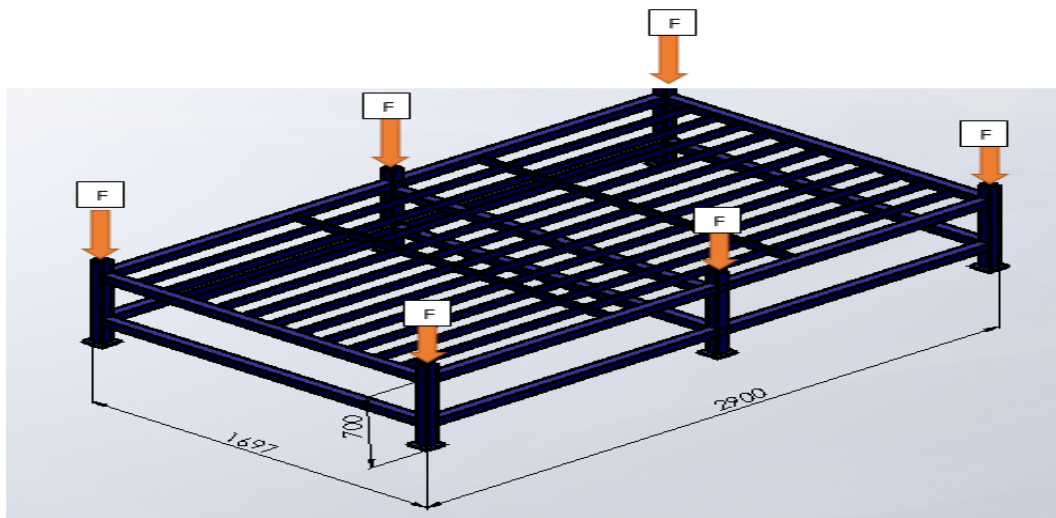


Figura 47: Mesa con distribución de cargas en las patas

Fuente: Autor

En la figura 48 se muestra el esquema simplificado de la pata con la fuerza ejercida

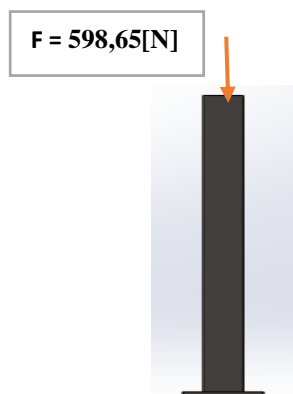


Figura 48: Fuerza ejercida en la pata

Fuente: Autor

El material que se emplea para la construcción de la mesa es un tubo estructural de 50x50x3mm. A partir de la ecuación 3.3.1, se determina el área transversal del tubo. [39]

$$A = B^2 - b^2 \quad \text{Ec 3.31}$$

$$A = (50\text{mm})^2 - (50\text{mm} - 6\text{mm})^2$$

$$A = 564\text{mm}^2$$

Ya calculada el área del tubo se calcula el momento de inercia a partir de la ecuación 3.32. [39]

$$I = \frac{B^4}{12} - \frac{b^4}{12} \quad \text{Ec 3.32}$$

$$I = \frac{(50\text{mm})^4}{12} - \frac{(50\text{mm} - 6\text{mm})^4}{12}$$

$$I = 208492\text{mm}^4$$

Se calcula la razón de esbeltez a partir de la ecuación 3.33 para determinar las características del tubo estructural. [39]

$$k = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad \text{Ec 3.33}$$

$$k = \sqrt{\frac{208492\text{mm}^4}{564\text{mm}^2}}$$

$$k = 19,23$$

Como se muestra en el anexo 5 en donde se puede mostrar el tipo de empotramiento de la columna, en este caso la pata se encuentra a un extremo empotrado y el otro extremo libre, estos valores teóricos son evaluados en condiciones ideales, se toma los valores de la AISC donde son recomendados para este caso. En el anexo 12 se muestra la tabla de las condiciones de los extremos de la pata. En este caso se determina la condición de empotrado libre y por la recomendada AISC, en la 3.34 se determina la longitud efectiva, donde la longitud real de la pata es de 650 mm. [34]

$$L_{efec} = 2.1L \quad \text{Ec 3.34}$$

$$L_{efec} = 2.1(650\text{mm})$$

$$L_{efec} = 1365mm$$

Se procede a determinar la razón de esbeltez por medio de la ecuación 3.35. [34]

$$S_r = \frac{L_{efec}}{K} \quad \text{Ec 3.35}$$

$$S_r = \frac{1365mm}{19,23}$$

$$S_r = 70,98$$

El análisis se lo va a realizar por el cálculo de columnas a partir de la ecuación 3.18, , tomada en el punto tangente. [35]

$$(SR)_D = \pi x \sqrt{\frac{2 x E}{S_y}} \quad \text{Ec 3.18}$$

Las propiedades mecánicas del material se nota en el anexo 7 donde se sabe que el módulo de Young (E=210Mpa), y la resistencia a la fluencia (S_y= 310 Mpa), se reemplaza en la fórmula 3.18.

$$(SR)_D = \pi x \sqrt{\frac{2 x 210 Mpa}{310 Mpa}}$$

$$(SR)_D = 3,66$$

Debido a que la relación (SR)_D ≤ S_r, se determina que la columna es intermedia por lo que se aplica la ecuación 3.36. [35]

$$\frac{P_{crt}}{A} = S_y - \frac{1}{E} X \left(\frac{S_y X S_r}{2 X \pi} \right)^2 \quad \text{Ec 3.36}$$

Donde la presión crítica de la columna se la expresa por unidad de área dada en la ecuación 3.37. [35]

$$\sigma = S_y - \frac{1}{E} X \left(\frac{S_y X S_r}{2 X \pi} \right)^2 \quad \text{Ec 3.37}$$

$$\sigma = 310 Mpa - \frac{1}{210 Gpa} X \left(\frac{310 Mpa X 70,98}{2 X \pi} \right)^2$$

$$\sigma = 251,6 Mpa$$

Final mente se aplica la ecuación 3.30 para determinar la fluencia del material, se aplica un factor de diseño de 2. [35]

$$S_y = \sigma \times n \quad \text{Ec 3.38}$$

$$S_y = 251,6 \text{ Mpa} \times 2$$

$$S_y = 503,2 \text{ Mpa}$$

Debido a que el material consta de un esfuerzo a la fluencia de 310 Mpa y el obtenido es de 251,6 Mpa la pata no sufrirá ninguna deformación por pandeo, al utilizar un factor de diseño esta resistencia a la fluencia se duplica y parece que el material no soportara la carga, de ahí nace la necesidad de aplicar unos refuerzos a la estructura. En la figura 49 se muestra la cortadora por plasma cnc con sus respectivos refuerzos.

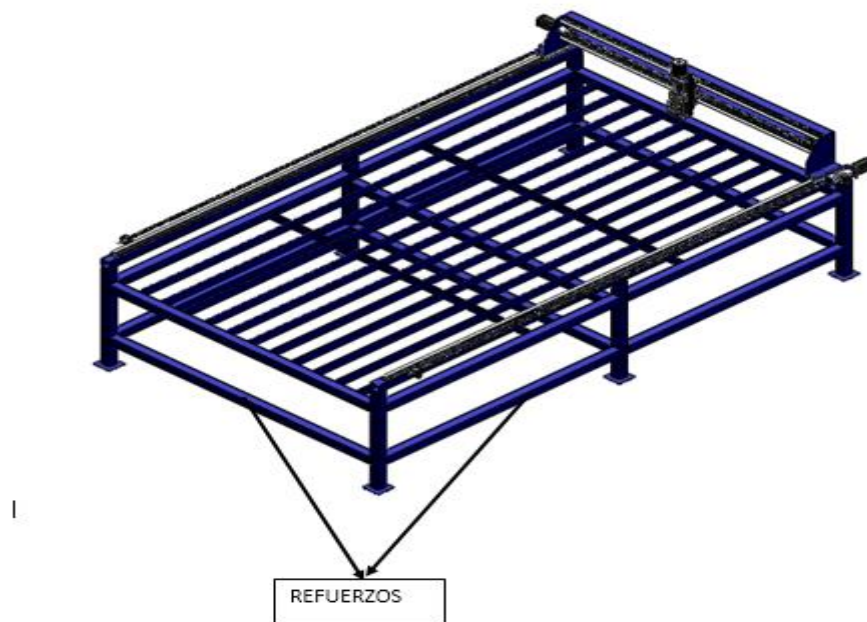


Figura 49: Cortador por plasma CNC con sus refuerzos

Fuente: Autor

El análisis de los refuerzos no es necesario debido a que ellos no están sometidos directamente a fuerzas ya que estos solo dependen del peso propio del material el cual no sufrirá deformación debido a que su longitud no es de gran magnitud, estos refuerzos fueron aplicados para evitar que la estructura sufra alguna deformación innecesaria, además sirven para apoyar el material de sacrificio.

3.7 Acople motor a paso y husillo de bolas

En las máquinas CNC ocurren fenómenos como la resonancia mecánica, esta se procede a reducir utilizando acoples entre el motor y el husillo, ya que se evita la pérdida de precisión y de pasos en el sistema.

3.7.1 Acople neumático

El sistema para compensar las oscilaciones es añadir un sistema de fuerzas opuestas, esto quiere decir que se va añadir una fricción adicional al sistema de ahí se genera un torque que es proporcional a la velocidad del motor de esta manera se limitan la oscilaciones del eje del motor en la figura 50 se muestra el sistema de acople neumático entre el husillo y el motor.

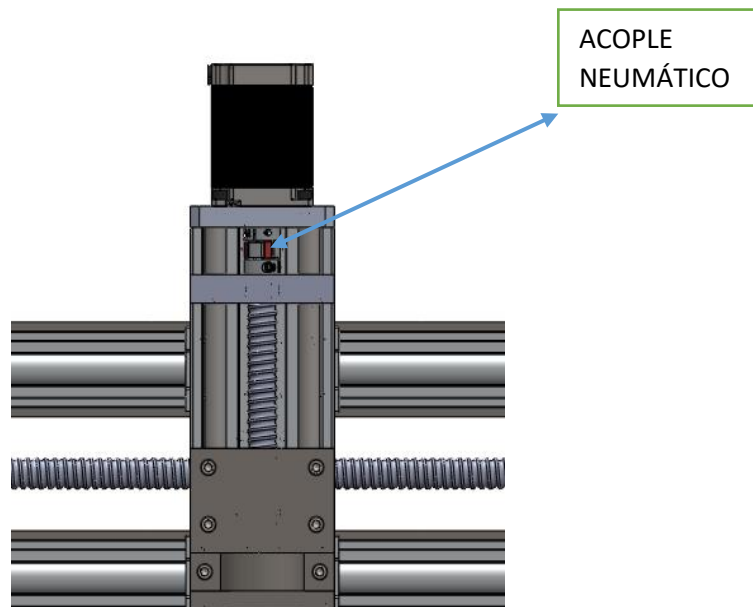


Figura 50: Acople motor husillo

Fuente: Autor

3.8 Sistema de control

A continuación se muestra la práctica número 1 en donde se realiza el dibujo en un software CAM, en la figura 51 se muestra el diseño de la pieza a cortar esta se lo realiza en un espesor de 6 mm.

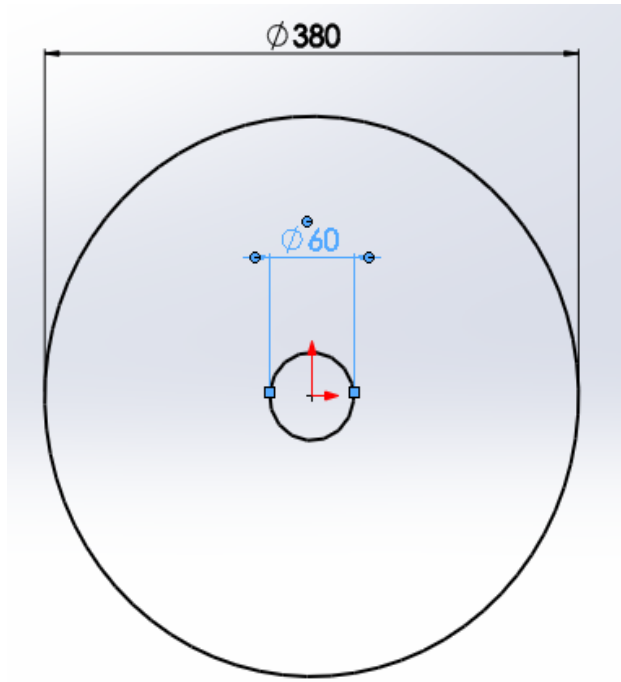


Figura 51: Práctica 1
Fuente: Autor

El archivo se lo procede a guardar en archivo DXF como se muestra en la figura 52, debido a que este será exportado a la extensión del Estlcam para generar el código G.

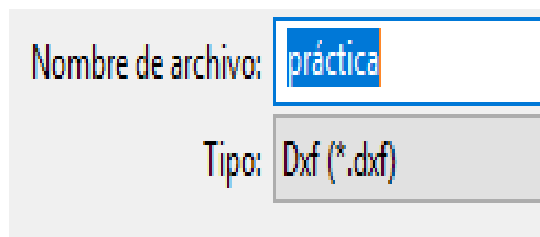


Figura 52: Archivo DXF
Fuente: Autor

Se procede a abrir el Estlcam para importar el archivo al programa en la figura 53 se muestra la importación del archivo en DXF.

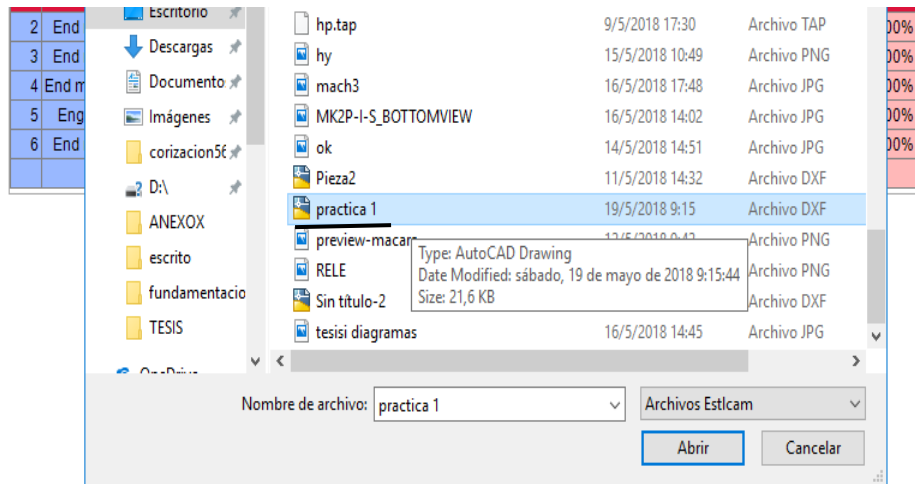


Figura 53: Archivo en Estlcam

Fuente: Autor

Una vez importado el archivo, se procede a dar los parámetros de corte para la pieza, para obtener un mejor acabado se realiza una entrada a una distancia adecuada para la posición a cortar como se muestra en la figura 54 el P0.

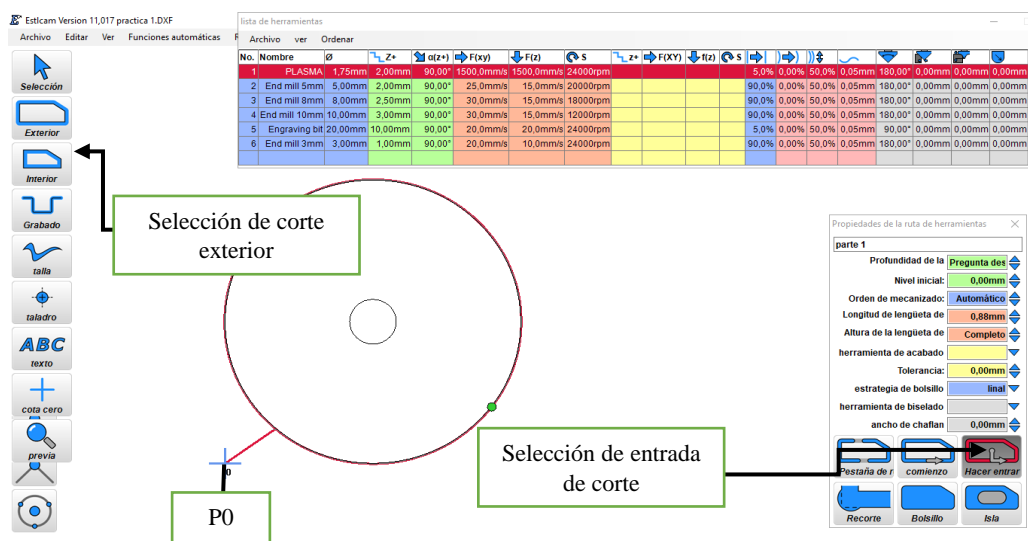


Figura 54: Parámetros de corte exterior

Fuente: Autor

También se va a realizar un corte interior de igual manera se selecciona una entrada de corte P1 para un mejor acabado, en la figura 55 se muestra los detalles.

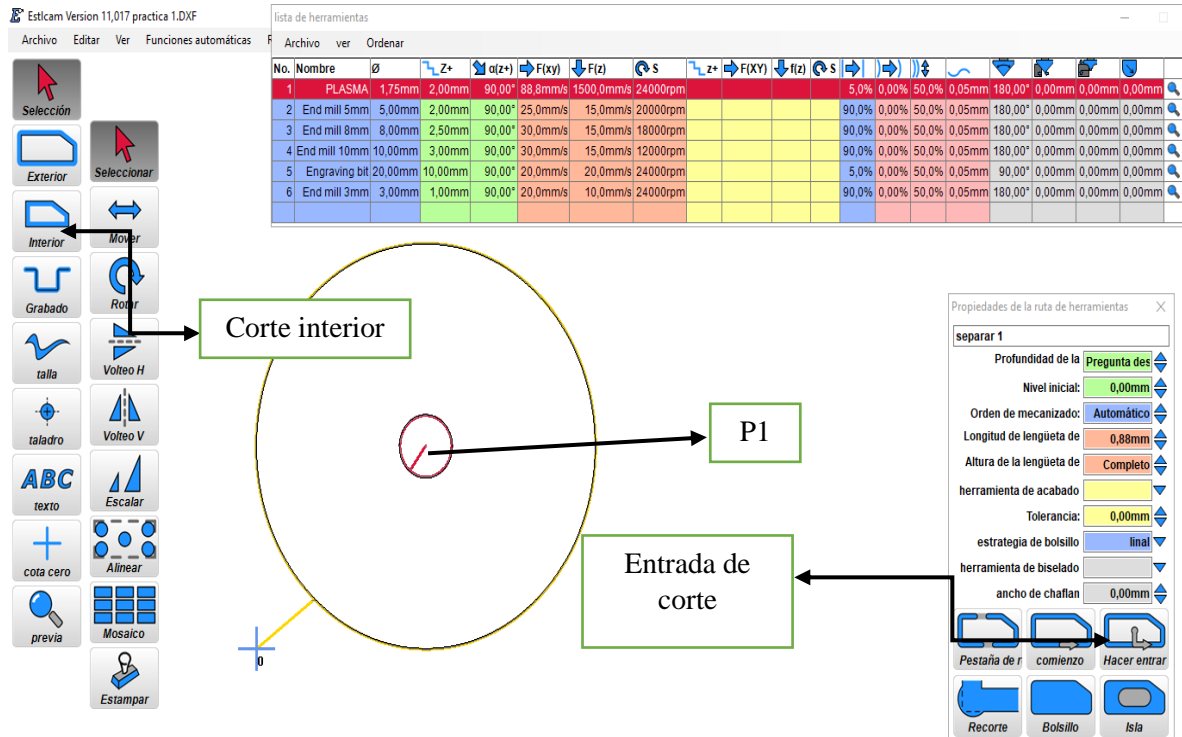


Figura 55: Entrada de corte interior

Fuente: Autor

Para el parámetro de velocidad de corte se toma del anexo 13 en función del espesor de 6 mm, se toma la velocidad de 5330 mm/min, el software trabaja en m/seg se transforma este valor obteniendo un velocidad de 88,83 mm/seg, en la figura 56 se muestra la casilla para poner le valor obtenido.

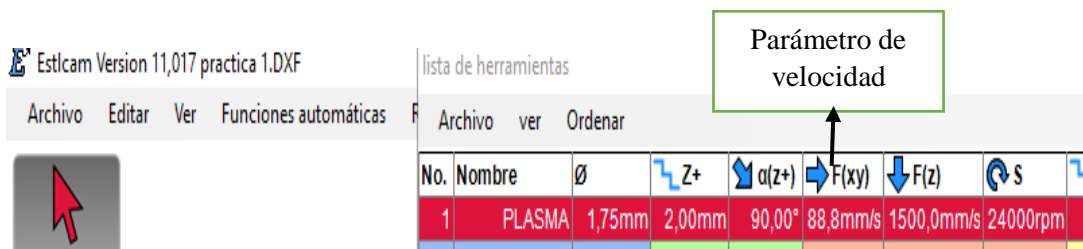


Figura 56: Velocidad en Estlcam

Fuente: Autor

Se guarda la codificación para el corte de la pieza, en la figura 57 se muestra el paso.

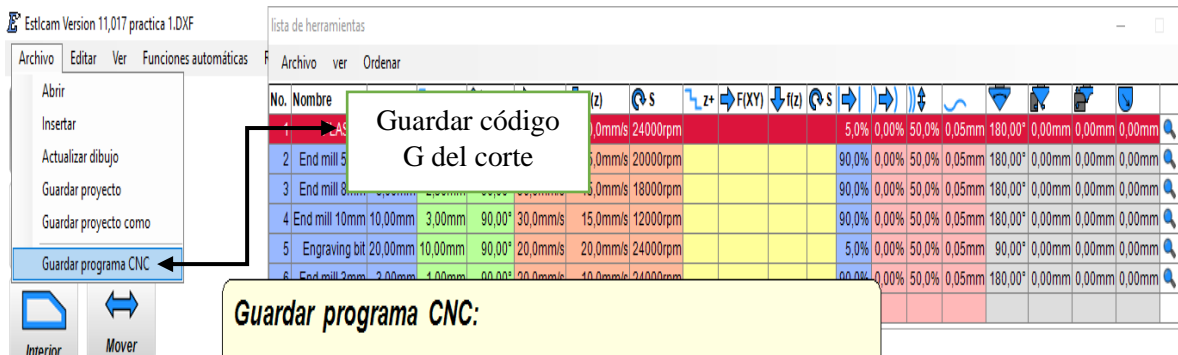


Figura 57: Guardar programa CNC

Fuente: Autor

A continuación en la figura 58 se muestra la codificación del código G para este proyecto.

```
(Project practica 1)
(Created by Estlcam version 10 build 11,017)
(Machining time about|00:00:20 hours)
(Required tools:)
(PLASMA)
F800
G00 Z5.0000
(No. 1: separar 1)
G00 X190.0000 Y190.0000
G31 Z-100
G92 Z-5.6
G00 Z5 F600
M07
G04 P0.2
G01 Z1
G01 Z-0.0100 F1500.000 S24000
G01 X172.6234 Y166.6329 F88.830
G02 X178.4525 Y216.7378 I17.3786 J23.3697
G02 X218.9301 Y186.6371 I11.5495 J-26.7352
G02 X172.6234 Y166.6329 I-28.9281 J3.3655
G01 X190.0000 Y190.0000
M09
G04 P0.2
M07
M09
G00 Z5.0000
(No. 2: parte 1)
G00 X0.0000 Y0.0000 Z5.0000
G31 Z-100
G92 Z-5.6
```

Figura 58: Código G de la práctica 1

Fuente: Autor

Los códigos más relevantes se muestran a continuación, en el anexo 14 se muestran todos códigos G y M

- G00 : Posicionamiento rápido
- G01 : Interpolación lineal
- G02 : Arco en sentido horario
- G03 : Arco en sentido anti horario
- G04 : Tiempo de permanencia
- G31 : Sonda recta
- G92 : Compensar coordenadas y establecer parámetros
- M05 : Parada del Cabezal
- M07 : Encender antorcha
- M09 : Apagar antorcha
- M30 : Fin del programa

Se procede a importar el archivo generado por Estlcam, este programa se guarda con extensión (.tab), que es el que lee el software Mach 3, en la figura 59 se muestra la interfaz del MACH 3.

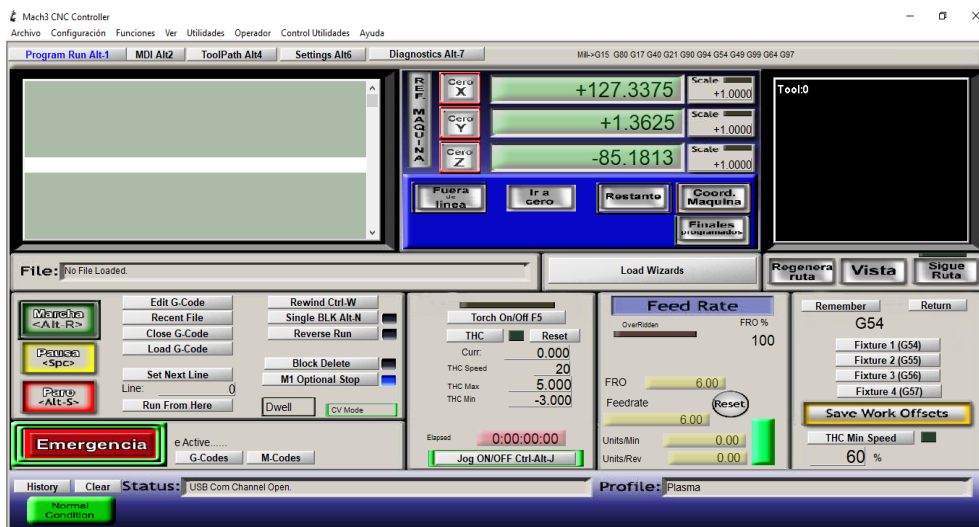


Figura 59: Software MACH 3

Fuente: Autor

Se carga el archivo en el botón de 'load G code', en la figura 60 se muestra como cargar el programa.

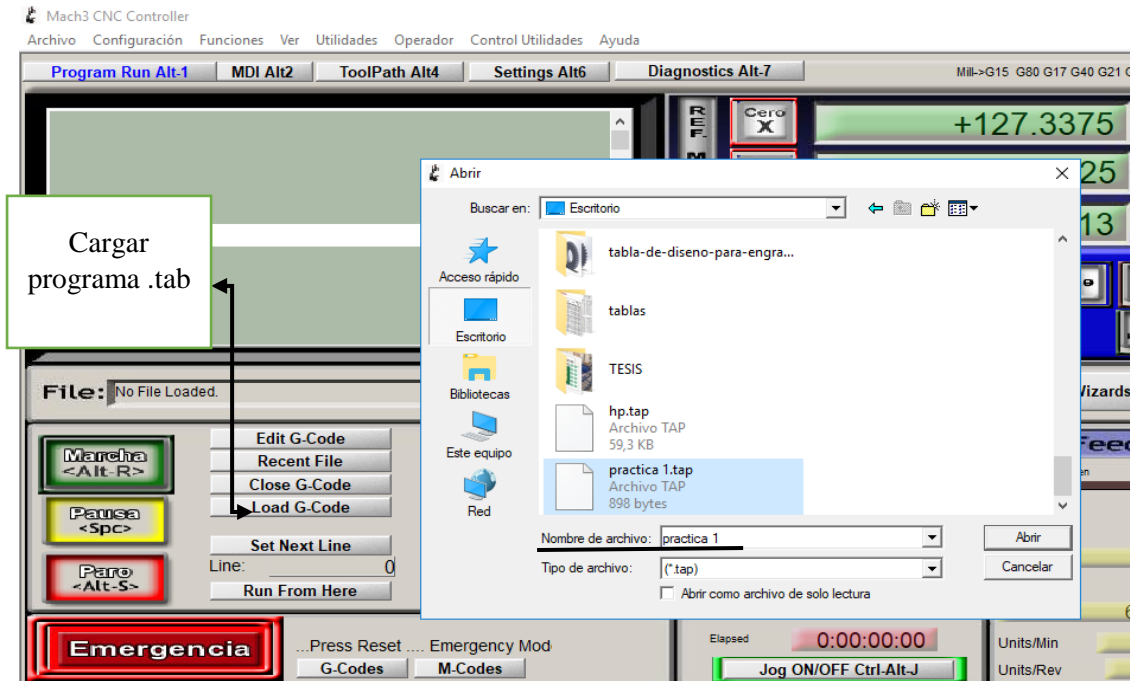


Figura 60: Load G code

Fuente: Autor

En la figura 61 se muestra la interfaz del MACH 3 cargado el programa que se va a ejecutar.



Figura 61: Programa cargado

Fuente: Autor

Se procede a seleccionar 00 de la máquina, esto significa que se procede a dar el punto de inicio del programa, en la figura 62 se muestra las teclas para el movimiento de los ejes x, y, z.

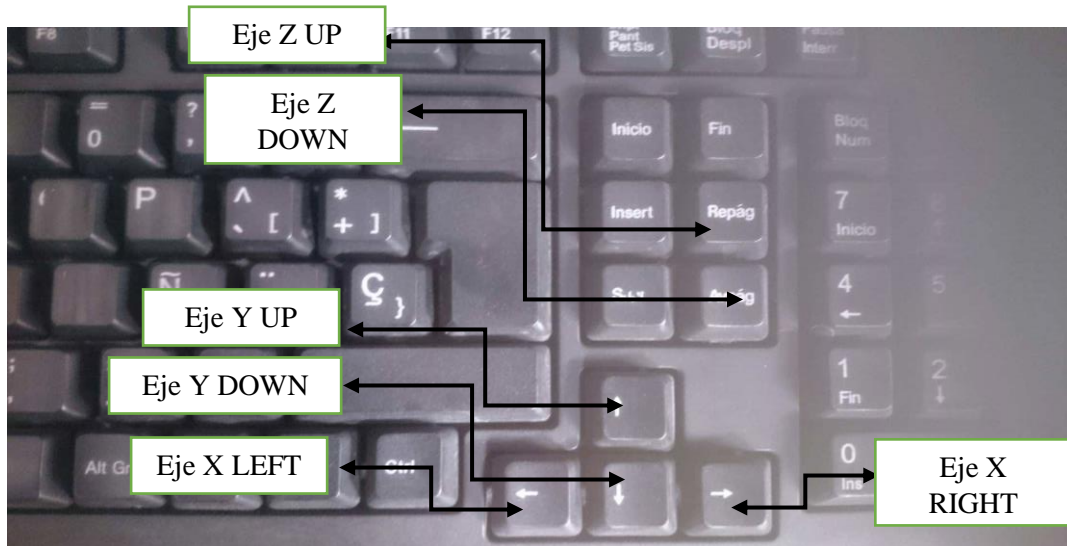


Figura 62: Teclado de posicionamiento

Fuente: Autor

Una vez ya obtenido el 00 del inicio del corte se procede a seleccionar en el programa el 00 en la imagen 65 se muestra la pestaña para seleccionar el posicionamiento.

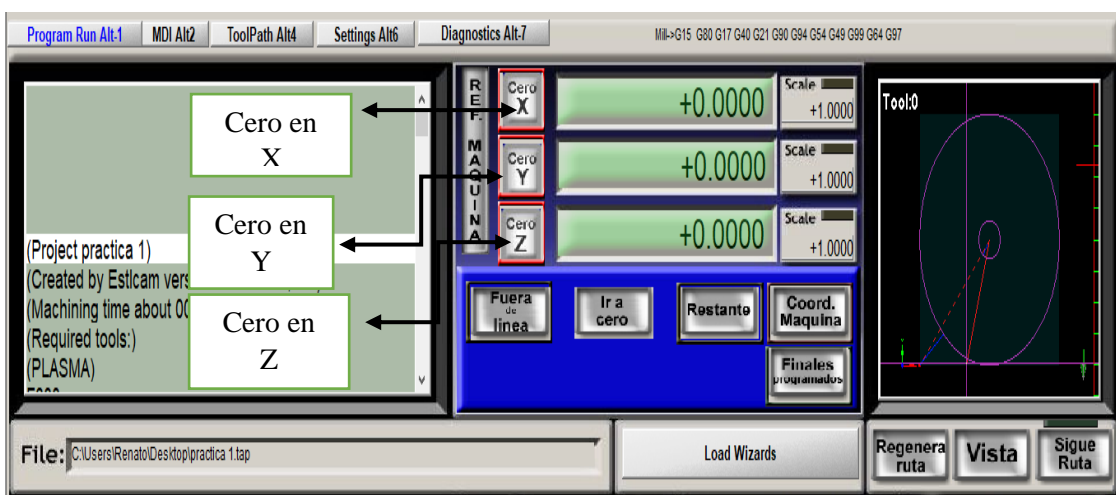


Figura 63: Generar cero cero

Fuente: Autor

Una vez ya calibrado los parámetros en el software MACH 3 se procede a ejecutar el corte en 'ciclo start', en la figura 64 se muestra el botón de ejecución.

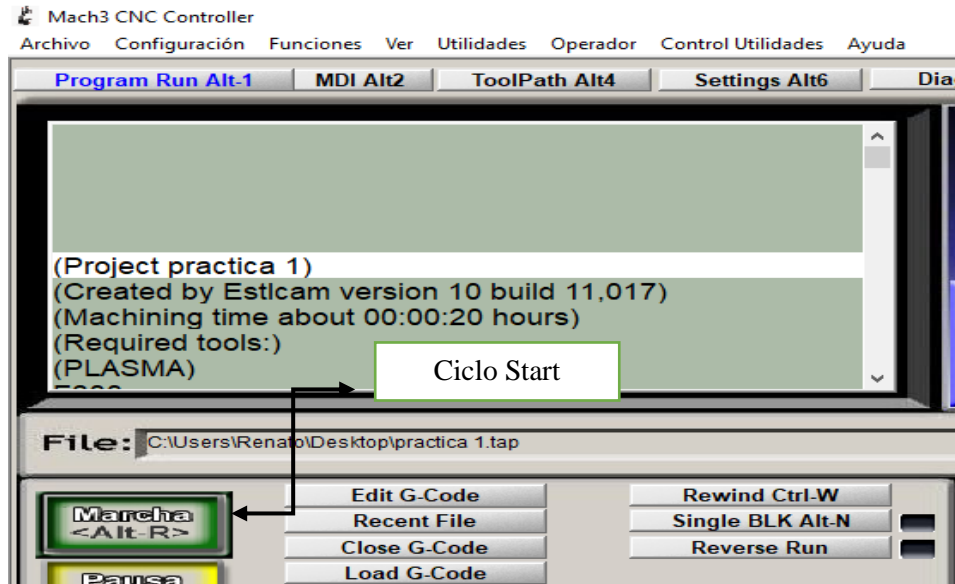


Figura 64: Ciclo Start

Fuente: Autor

En la figura 65 se muestra el corte final de la pieza en donde se observa un buen acabado y sin mucha rebaba, la pieza esta con las medidas especificadas en el diseño, en la figura 66 se muestra el acabado de la pieza en donde no se muestra mucha rebaba.



Figura 65: Pieza final

Fuente: Autor



Figura 66: Acabado final

Fuente: Autor

3.8.1 Diagramas

A continuación en la figura 67 se muestra el diagrama de flujo del proceso de corte por plasma CNC.

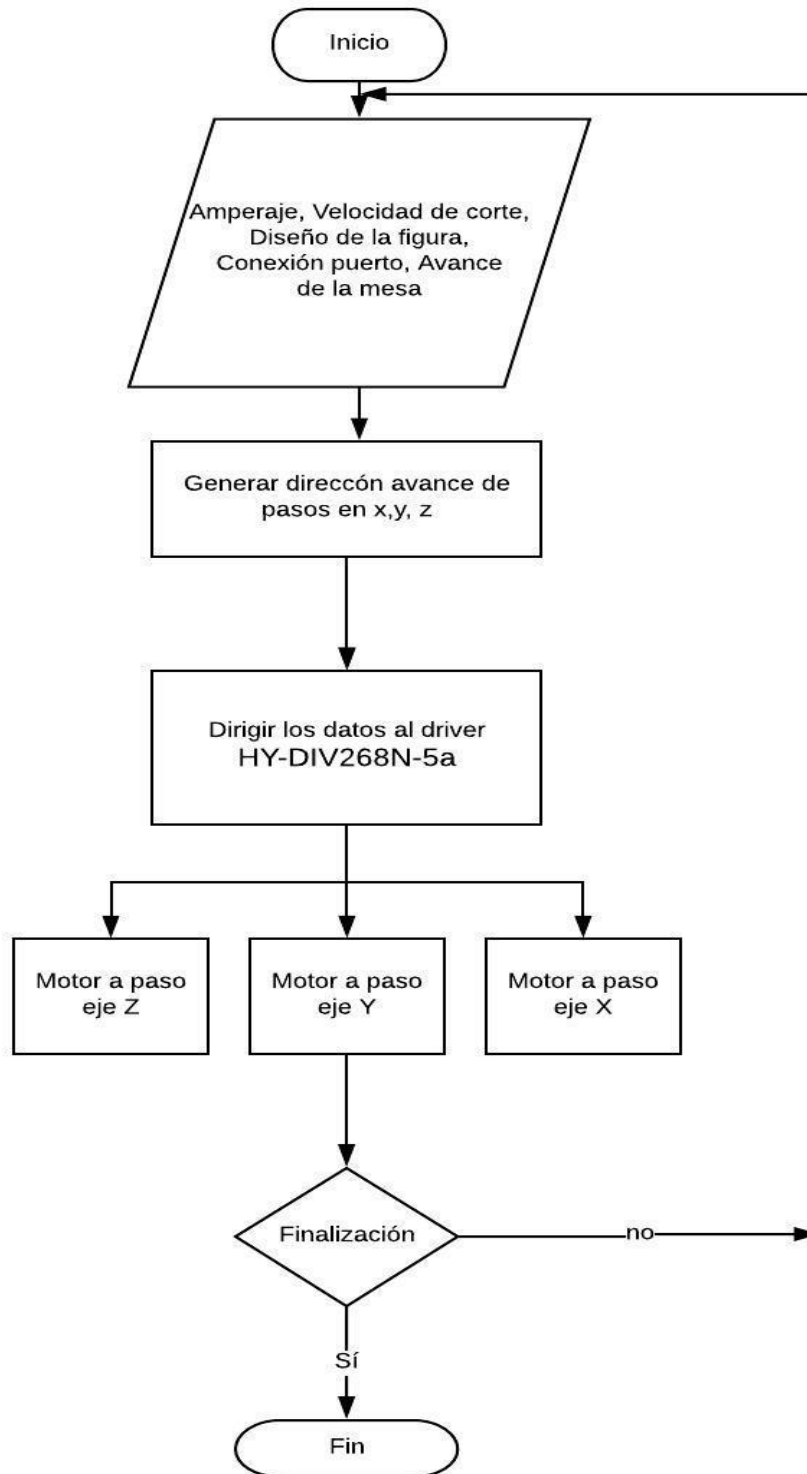


Figura 67: Diagrama de flujo

Fuente: autor

3.8.2 Sistema de control del proceso de corte de plasma

En la gráfica 68 se muestra el diagrama de boles en lazo cerrado.

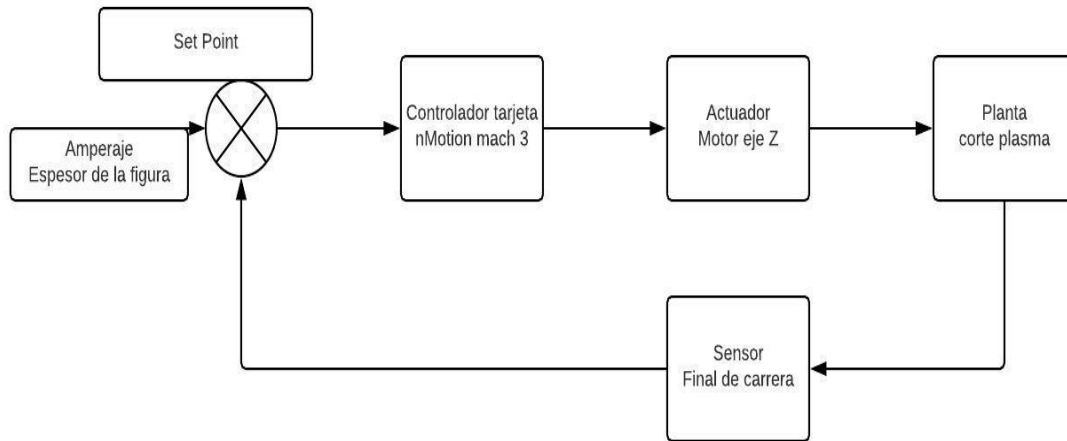


Figura 68: Diagrama de bloque

Fuete: Autor

La plasma CNC está construido por un sistema automático que consta de un set point, control, actuador, planta, sensor

Como set point se tiene que es el amperaje y espesor del material a cortar en el anexo 13 se muestra las características de algunos espesores con sus respectivos amperajes de corte

El control está constituido por la tarje nMotion Mach 3, donde esta tarjeta es la que conecta al ordenador y la máquina.

Los actuadores están constituidos por los motores nema 23 que son los que van a mover la carga sin inconvenientes.

El sensor es el que controla la altura del plasma donde se aplica para evitar daños en la boquilla de la antorcha.

En la figura 69 se muestra el diagrama de proceso de corte por plasma CNC implementado en la empresa.

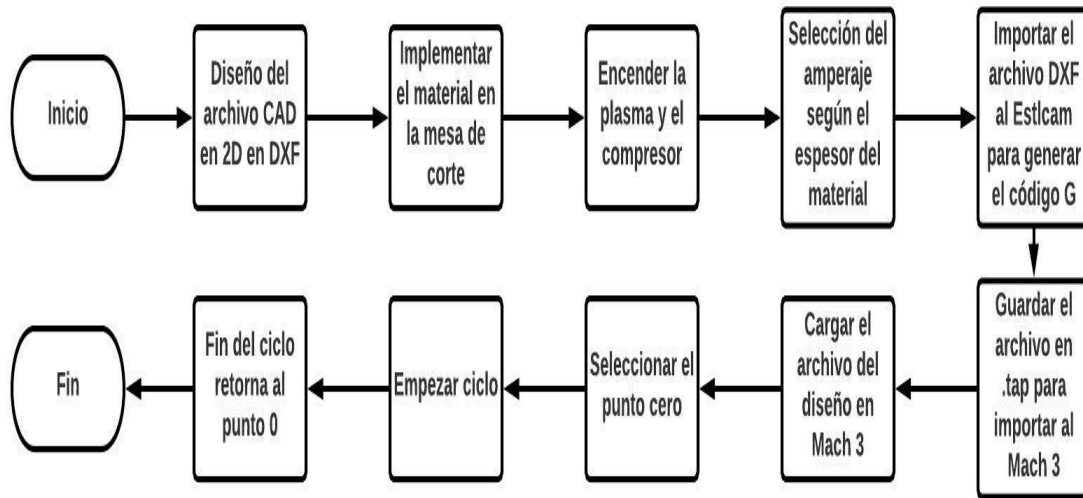


Figura 69: Diagrama de procesos

Fuente Autor

En la figura 70 se muestra el diagrama de conexión de la cortadora por plasma CNC, en donde se puede visualizar los componentes que lo conforma. En la figura 71 se muestra el diagrama de control.

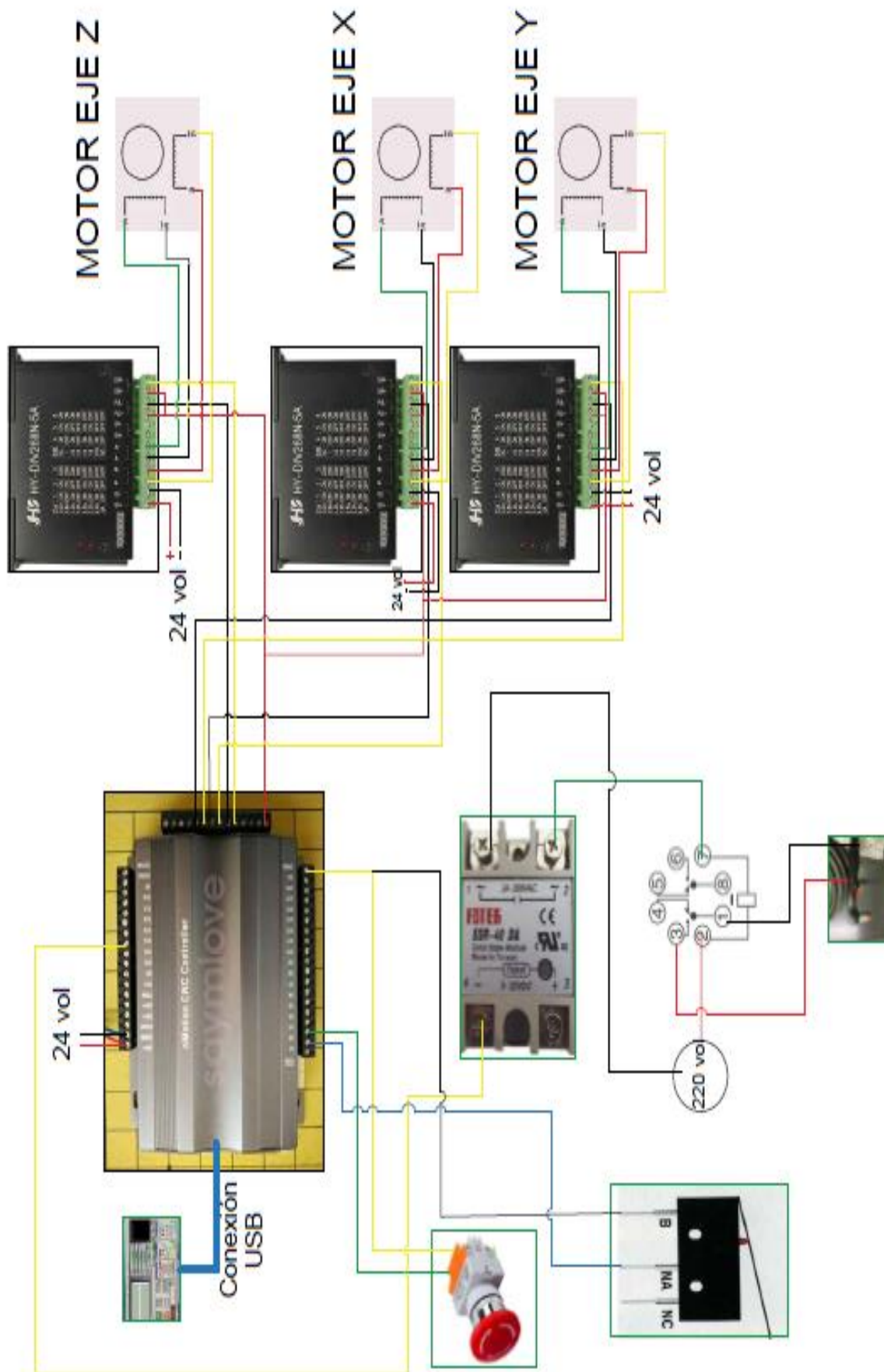


Figura 70: Diagrama de Conexión Fuente Autor

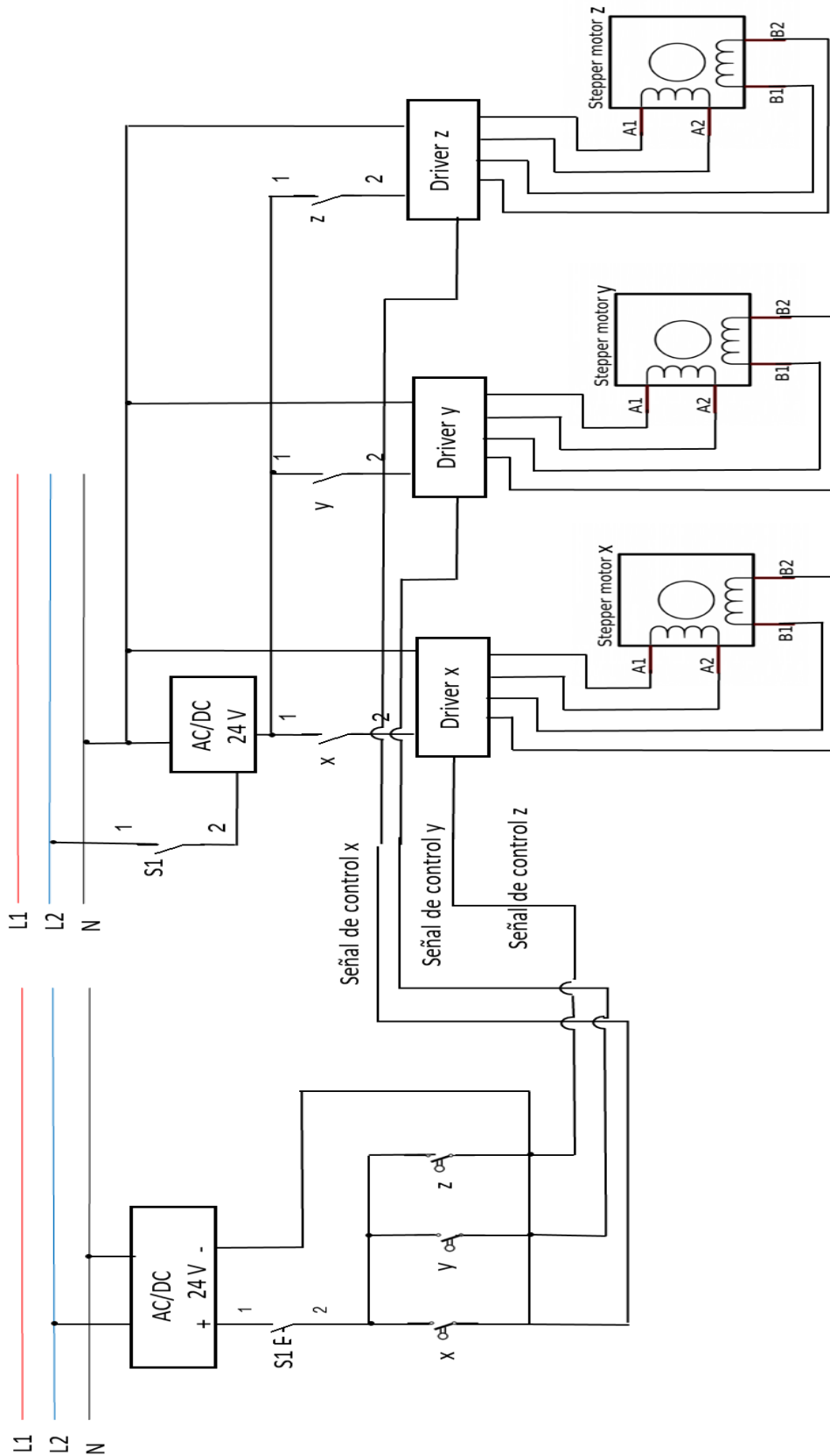
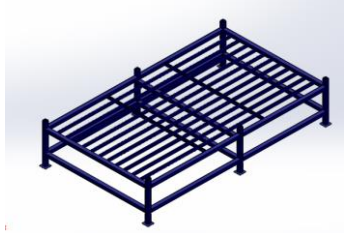
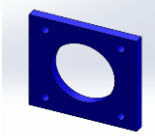
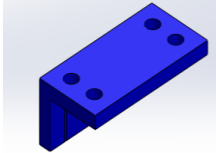
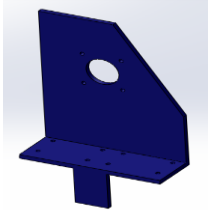
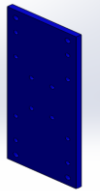


Figura 71: Diagrama de control
Fuente Autor

3.9 Análisis del costo

Se obtienen la estimación del costos con las cotizaciones obtenidas de los proveedores, en la tabla 23 se realiza el costo de la estructura.

Tabla 23: Costos de la estructura

DISEÑO	Material	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
ESTRUCTURA 	TUBO ESTRUCTURAL ASTM A-500 50X50X3	5	31,04	155,2
	PLATINA DE 2PLG X 1/4	6	19,04	114,24
BASE MOTORES 	PLANCHA DE 4 mm 67mm x 63mm	2	6	12
SOPORTE Bk12 Y BF 12 	ANGULO DE 1 1/4 X 1/4 Longitud 64mm	6	2,5	15
ACOPLE DEL EJE X Y SOPORTE DE SBR16LUU 	PLACNCHA DE 6 mm	2	17,5	35
ACOPLE DEL EJE Z AL EJE X 	PLANCHA DE 6 mm	1	7,75	7,75
			Sub-Total	339,19

Fuente: Autor

De la tabla 24 se obtiene el sub-total para la construcción de la estructura de la plasma CNC, para la estructura tiene un costo de \$ 339,19.

En la tabla 24 se obtendrá el costo de los material para el sistema de guiado en los ejes(x,y).

Tabla 24: Sistema de guías




	Material	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
	RIEL SBR 16 LONGITUD 2800mm	2	220	440
	RIEL SBR 16 LONGITUD 1600mm	2	120	240
			SUB-TOTAL	680

Fuente: Autor

En la cortadora plasma por la gran precisión que desea obtener al momento de trabajar se optó por utilizar como guías los rieles SBR 16, para el sistema sale un sub-total de \$ 680.

La tabla 25 muestra el sistema de rodamientos utilizados en el ensamble de la plasma CNC.

Tabla 25: Sistema de rodamientos

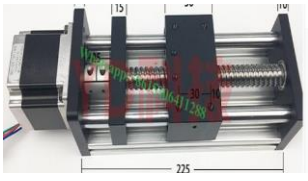
	Material	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
	RODAMIENTO BK12	2	16	32
	RODAMIENRO BF 12	2	16	32
	RODAMIENTO SBR 16 LUU	6	16	96
			SUB-TOTAL	160

Fuente: Autor

Para el sistema de rodamientos que se va utilizar en el ensamble de la cortadora plasma CNC son los BK12, BF12, el SBR16 LUU, para el ensamble sale un sub-total de \$ 160.

En la tabla 26 se muestra es sistema del eje z que es utilizado para en ensamble de la plasma.

Tabla 26: Sistema del eje Z


	Material	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
	SISTEMA EJE Z GGP 1605	1	300	300
			SUB-TOTAL	300

Fuente: Autor

La empresa brindo la facilidad de utilizar este sistema llamado GGP 1605, este sistema cuenta con gran facilidad de montaje y una gran precisión al momento de trabajar. El costo es accesible ya que no sobre pasa de los \$ 300.

En la tabla 27 se analiza el costo de la tarjeta de control para la plasma CNC.

Tabla 27: Tarjeta de control

	Material	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
	TRAJETA DE CONTROL N-MOTION MACH 3	1	300	300
			SUB-TOTAL	300

Fuente: Autor

Se optó por utilizar esta tarjeta por su fácil adquisición y pos su compatibilidad con el software MACH3.

En la tabla 28 se analiza el costo del sistema eléctrico para el ensamble de la plasma CNC.


Tabla 28: Costos del sistema eléctrico

	Material	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
	MOTOR NEMA 23 425 OZ	3	70	210
	DRIVER PASO A PASO HY- DIV268N-5a	3	38	114
	REGULADO DE VOLTAJE 36V 10 AMP	1	38	38
	TABLERO DE CONTROL	1	200	200
	COMPONENTES NO PREVISTOS	1	75	75
	PROTECTOR DE CLABLE	1	46	46
			SUB-TOTAL	683

Fuente: Autor

En la tabla 29 se detalla el costo del sistema de transmisión de potencia para los ejes.

Tabla 29: Sistema de transmisión de potencia

	Material	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
	TORNILLO DE BOLAS SFU 1610 LONGITUD 1500mm	1	168	168
	TORNILLO DE BOLAS SFU 1610 LONGITUD 2700mm	2	336	672
			SUB-TOTAL	840

Fuente: Autor

En la tabla 30 se muestra el costo total de la materia prima empleada para el sistema de corte por plasma CNC.

Tabla 30: Costo de materia prima

Detalle	Costo
Costo de la estructura	339,19
Costo sistema de guiado	680
Costo de rodamientos	160
Costo sistema eje z	300
Costo tarjeta de control	300
Costo material eléctrico	683
Costo sistema de transmisión de potencia	840
	Sub-total 3302,19
	I.v.a (12%) 396,2628
	Total 3698,45

Fuente: Autor

El costo total de la materia prima tenemos que es de 3698,45 el cual es un valor accesible para el ensamble de una plasma CNC.

En la tabla 31 se detalla el costo de mano de obra empleada para el ensamble de la cortadora por plasma CNC.

Tabla 31: Costo de mano de obra

Cargo	Horas/personal	Cantidad	\$/hora	Sub-total
Soldador	10	1	2,81	28,1
Ayudante	9	1	2,41	21,69
Armador	16	1	2,41	38,56
Ensamble de máquina	20	1	2,81	56,2
			Sub-total	144,55




Fuente: Autor

La empresa colaboró con su personal para ayudar a ensamblar la máquina en su totalidad, las personas están altamente calificadas para el ensamble.

3.10 Especificaciones técnicas

En la tabla 32 se muestra las características técnicas de la plasma CNC.




Tabla 32: Características técnicas de la plasma CNC

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FICHA TÉCNICA						
Nombre del equipo:		Cortadora de plasma CNC				
Área:		Mecanizado				
Especificaciones técnicas						
Fabricante:		Propia				
Modelo:		N/A				
Código:		PL-10CNC-001				
Año:		2018				
Activación:		Automático				
Área de trabajo		1300mm x 2550mm				
Plasma Powermax				Medidas		
Fabricante:		Hypertherm		Alto:		592 mm
Modelo:		125		Ancho:		274mm
Alimentación de gas		Aire		Voltaje de entrada		400 V
Presión y rango de flujo de entrada de gas recomendados		Corte 160 (lit/min- 5,9 bar)		Tipo de fuente de energía		Inversor-IGBT

Fuente: Autor

En la tabla 33 se detalla las dimensiones de trabajo y el quipo plasma que se utilizar para el corte. Donde se puede observar el nombre y fabricantes del equipo.

Tabla 33: Componentes de la plasma CNC

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	CORTADORA DE PLASMA CNC		
	PL-10CNC-001		
FICHA DE COMPONENTES			
Sistema	Componentes	Código	
Guñado	Riel SBR 16	PL-10CNC-002	
Estructura	Tubo cuadrado 50x50x3mm	PL-10CNC-003	
	Platina de 2 plg x 1/4	PL-10CNC-004	
	Plancha de 6 mm	PL-10CNC-005	
	Águlo de 2plg x 1/4	PL-10CNC-006	
Rodamientos	Bk 12	PL-10CNC-007	
	Bf 12	PL-10CNC-008	
	SBR16 LUU	PL-10CNC-009	
Motores	Nema 23	PL-10CNC-010	
Drivers motores	HY-DIV268N- 5a	PL-10CNC-011	
Transmisión de potencia	Husillo de bolas SFU 1610	PL-10CNC-012	
Eje Z	Sistema eje Z GGP 1605	PL-10CNC-013	
Tarjeta	N-motion Mach 3	PL-10CNC-014	

Fuente: Autor

En la tabla 33 se aprecia los detalles de los componentes con su respectivo código, esto ayudara a saber que componente cambiar o reparar al momento de tener un fallo.

3.11 Resultados del corte por plasma CNC

Se realizó pruebas de corte con geometrías simples y geometrías complejas lo cuales en la figura 72 se muestra el corte de una geometría sencilla se trata de una tipo brida de diámetro exterior de 200mm, interior de 100mm y las perforaciones de 20mm en plancha de 3 mm.



Figura 72: Corte de una brida

Fuente: Autor

El corte por plasma CNC lo hace sin dificultades ya que se realizó las mediciones del corte y las medidas coinciden correctamente.

En la figura 73 se muestra la medida del agujero interior del corte.



Figura 73: Medición del agujero interior

Fuente: Autor

A la máquina se le realiza pruebas de corte de geometrías complejas en la figura 74 vemos el ejemplo de una geometría compleja ya cortada con la máquina, el diseño fue cortado en plancha de 6mm



Figura 74: Corte de una figura compleja

Fuente: Autor

En la figura 75 se muestra la máquina instalada en la mecánica donde se observa ya conectada con su respectivo ordenador.



Figura 75: Cortadora por plasma CNC

Fuente: Autor

En la figura 76 se muestra a la máquina realizando sus primeros trabajos para la empresa en donde nos han solicitado que realicemos el corte de churos para la fabricación de transportadores sin fin, este trabajo se lo realizó en plancha de 3 milímetros de espesor en donde se obtuvo un buen acabado en el corte.



Figura 76: Máquina trabajando

Fuente: Autor

Como se observa la figura 77 se muestra que la máquina trabaja perfectamente sin dificultad, estos cortes se lo realizaban a mano y se tardaban mucho tiempo.

3.12 Manual de uso y mantenimiento

3.12.1 Manual de uso

➤ Descripción general

La máquina implementada en la empresa Mecánica Industrial Moya ‘‘Hnos’’, está diseñada para el corte de planchas de acero al carbono, acero inoxidable, aluminio, así como sus aleaciones. El sistema de corte por plasma fue automatizado en su totalidad en donde la antorcha de la hypertherm 1250 se desplaza en su totalidad de una plancha estándar de 1,22 mt x 2,44 mt, la cual sigue las coordenadas programadas por el usuario mediante un CNC (Computer Numerical Control). La cortadora por plasma CNC consta de un sistema de guiado de rieles SBR 16 con sus respectivos rodamientos, para la transmisión de potencia este sistema usa los husillos de bolas SFU 1610, la plasma consta de una bancada conformada por platinas en donde se apoya la plancha hasta de ½ pulgada de espesor.

➤ Manual de uso de la cortadora por plasma CNC

Para poner en funcionamiento la cortadora por plasma CNC se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones por parte del usuario.

1. Conectar el cable principal del equipo a la instalación eléctrica mediante clavijas o directamente al tablero eléctrico, teniendo en cuenta el voltaje de instalación del equipo.
2. Accionar el breaker para energizar el sistema, un led rojo nos indicara que el sistema esta energizado correctamente.
3. Encender la computadora para arrancar el sistema operativo de Windows, que se utilizará para el manejo del equipo.
4. En el computador se procede a realizar el dibujo de la pieza a mecanizar, mediante un software CAD a su elección del usuario, en la cual a este archivo se lo procede a guardar en extensión DXF.
5. Se procede abrir el programa en donde vamos a generar nuestro códigos G, en este caso será el Estlcam que es en donde abriremos el archivo DXF, en este software se da los parámetros de corte como la velocidad de corte, también podemos seleccionar si es un corte exterior o un corte interior todos estos parámetros dependerán del usuario y del tipo de materia a cortar.

6. El siguiente paso es iniciar el programa de control MACH3, en el cual se abrirá una ventana para elegir el perfil de usuario ya que este consta con el perfil de torno, fresa y plasma que será nuestro caso, el perfil de corte por plasma ya viene configurado de fábrica para el correcto funcionamiento.
7. Se procede a cargar el archivo generado en Estlcam tomando en cuenta los parámetros del material a cortar.
8. El equipo que se utiliza el hypertherm 1250, la cual se conecta directamente al tablero eléctrico a 220 voltios, se procede a configurar el equipo plasma para el corte ya sea en la presión del aire o amperaje , todos estos parámetro dependen del usuario y material a cortar.
9. En la ventana de MACH 3 existe un botón de RESET el cual accionándolo se activaran los movimientos de los tres ejes manual o automáticamente.
10. Mediante las flechas del teclado se podrán accionar los motores de cada eje como x, y, avanzar y retroceder respectivamente y para accionar el eje z la tecla página del teclado.
11. Para un mejor manejo del software MACH 3 se le remite al manual de este software en donde explicarán los parámetros de cada pestaña de este programa.
12. Para el usuario de la cortadora por plasma CNC de nivel medio, se recomienda colocar el material a cortar sobre la bancada de platinas y después de manera manual por medio del teclado colocar la antorcha en el punto cero cero, que será donde iniciara el programa.
13. Una vez cargado el archivo se puede mandar a ejecutar el programa sin encender la antorcha que es el botón OFFLINE, este servirá para verificar que no haya errores de programación en la ejecución del programa.
14. Ya con las configuraciones mencionadas se procede a ejecutar el programa, dando clic en CICLO START.

3.12.2 Montaje

La máquina esta proporcionada para que el usuario no realice ningún montaje adicional, excepto lo relativo a la cortadora plasma según lo que se indica en el manual de usuario.

La cortadora por plasma CNC cuenta con seis patas de apoyo, la cual está diseñada para que pueda soportar planchas de espeso de ½ plg x 1220mm x 2440mm.

Instalar la conexión a tierra de la cortadora plasma para reducir el ruido electro y evitar interferencia con los motores o controladores de la máquina, también se evitara n pequeñas descargas electro-magnéticas durante la colocación del material u operaciones de forma manual del operador del plasma CNC.

3.12.3 Medidas de seguridad

Tomar en cuenta las siguientes indicaciones para un buen uso de la máquina:

- Mantener una distancia de un metro y medio para evitar quemaduras durante la operación de corte.
- No apoyarse sobre la bancada del material durante el movimiento de los ejes de la máquina.
- Ubicar la máquina en una zona que exista ventilación.
- El operador de la cortadora por plasma CNC deberá usar protección para los ojos, mascarilla de filtro, guantes para la manipulación de piezas calientes.
- Verificar antes de iniciar el corte automático que no existan objetos o salientes en la pieza que estén en la trayectoria de los ejes y de la antorcha, u otros objetos que puedan obstaculizar el movimiento lineal.

3.12.4 Manual de mantenimiento

	<h2>Plan de mantenimiento</h2>	
DATOS TÉCNICOS		
Nombre:	Cortadora por plasma CNC	
Código:		
Producto final:	Mecanizado de geometría simples y geometrías complejas hasta el espesor de 12,5 mm	
Dimensiones genera	1697x2900x700mm	
Especificaciones:	La cortadora por plasma tiene a mejorar el tiempo de producción y con mejores acabados	
Fotografía:		
		

Plan de Mantenimiento

Nombre:	Cortadora por plasma CNC	Código:	
----------------	--------------------------	----------------	--

Producto final:	Mecanizado de geometría simples y geometrías complejas hasta el espesor
------------------------	---

Descripción del mantenimiento:	
---------------------------------------	--

Antes de iniciar:	Finalizada la operación
Limpiar con una brocha o waipe las guías lineales	Limpiar el husillo de bolas y rieles después de ser utilizada la máquina
Verificar que esten todas las conexiones	Verifique el correcto estado de los componentes.
Comprobar el movimiento en los ejes X, Y, Z	Verificar que no se quede restos de material en la bancada
Verificar que electrodo o boquilla se encuentren en buen estado	Verificar el estado del electro y boquilla de la antorcha
Verifique el correcto estado de los motores a pasos y husillos de bolas	Verificar que la antorcha no haya sufrido quemaduras
Verificar que la la PC este correctamente conectada ala tarjeta nMotion MACH 3	Comprobar que las conexiones no estén quemadas por la salpicadura de escoria

Plan de mantenimiento preventivo

ACTIVIDAD	FRECUENCIA	ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Cambio de electrodo de serie 120926 y boquilla de serie 120927	Semanal																																																
Limpiar y engrasar con grasa vkg 1/1, las guías lineales y rodaminetos	Semanal																																																
Cambio del anillo serie 120925	Semestral	1																								2																							
Cambio de cubierta exterior de serie 1209828	Semestral																																																
Cambio de junta teórica de serie 058519	Anual	1																																															
Cambio de boquilla de serie 120929	Anual																																																

Semanal		Semestral		Anual	
---------	--	-----------	--	-------	--

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Como se describe en el capítulo 1 y capítulo 2, el proceso de corte por plasma se lo ha venido realizando de forma manual, las funciones que realiza una cortadora por plasma CNC son cortes de figuras complejas y perforaciones, existen varios tipos de corte de plasma en donde solo se cambia el gas protector, el más común es el aire, también se describe las velocidades de trabajo que se pueden realizar en corte manual y corte por mecanizado, en el capítulo 2 se describe a que altura trabaja la antorcha con respecto a la plancha según el amperaje y espesor del material
- Los parámetros necesarios para el funcionamiento de corte por plasma son el espesor de la plancha y el tipo de material, de ellos se determina el amperaje y la velocidad de avance de la mesa y la altura de la antorcha, así como también el tipo de gas protector y el gas para el plasma, para el proyecto técnico se determina que para chapas de acero comprendidas entre 1,2 a 4 mm la cortadora hypertherm 1250 cubre las necesidades de la empresa ya que puede trabajar con amperajes de 30 a 125 y velocidades de 350 mm/ min hasta 5330 mm/min, como gas protector y gas para el plasma se utiliza el aire.
- El diseño fue realizado según la necesidad de la empresa Mecánica Industrial Moya y del usuario, ya que este deberá ser de fácil ensamblaje, se construyó para cortar planchas estándar es decir planchas enteras de dimensiones 1222mm X 2440mm, para el sistema de transmisión de potencia se usaron los husillos de bolas SFU 1610 que son los apropiados para el sistema en cada coordenadas ya sea en x, y o z, estos tornillos tienen una gran precisión; Según los cálculos realizado se determinó que los motores nema 23 de 3 [N-m] se utilizan para sistema de transmisión con sus respectivos drivers HY-DIV268N- 5A, lo cual en el eje y se instalador 2 motores para obtener una mejor precisión en los cortes y pueda transportar sin dificultad el peso del sistema tanto como el eje como en x e y.

- La cortadora por plasma CNC solo trabaja con materiales dúctiles como el acero negro con espesores de 1-19 mm, acero inoxidable con espesores de 1-3 mm, aluminio con espesores de 1-8 mm, se observó que no deja rebaba después de proceso de corte.

4.2 Recomendaciones

- Tener conocimiento previo de como es el funcionamiento de las máquinas que se han integrado el control numérico computarizado para la optimización de tiempos de producción.
- Construir dos tipos de agarre de la antorcha de la pawnermax 1250 ya que se va utilizar la antorcha recta o la antorcha común.
- Para el sistema de transmisión de potencia de eje y se puede implementar utilizar el sistema de piñón cremallera debido a que este sistema tiene una gran rigidez.
- Implementar el sistema de control de altura de la antorcha el THC para poder trabajar en cualquier tipo de plancha ya que esta esté doblada o corrugada, este sistema es muy útil para evitar el daño en los consumibles de la antorcha.
- Donde se instaló la cortadora por plasma CNC se debe instalar un extractor de humo debido a que esta máquina genera óxido de nitrógeno y ozono, por la persona encargada debe utilizar equipos de protección personal.
- Capacitar al personal que va utilizar el este equipo en norma s de seguridad, mantenimiento y el uso del software en el que se va a generar el código G y la ejecución del mismo.
- Realizar un sistema de acople de la rejilla debido a que esta con el uso se va a desgastar y esta se debe cambiar por lo que se va consumiendo con cada corte, la rejilla debe ser diseñada para soportar un plancha de media pulgada.
- Antes de ejecutar el programa realizar una simulación de corte, revisar los parámetros del equipo pawnermax 1250 según el material.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] H. F. Guanoluisa Pilatásig, "Diseño y construcción de una máquina fresadora cnc de 3 grados de libertad con un volumen de trabajo útil de 500x500x100 mm para tallar madera en al y bajo relieve", Quito, 2013.
- [2] Á. E. Canga Perez, "Diseño y construcción de una máquina cnc de 3 ejes para el ruteo de pistas y taladrado de circuitos impresos (pcbs) por emc2, aplicable en tarjetas de recuperación de PLCs", Riobamba, 2016.
- [3] F. E. Yáñez Tapia, "Diseño y construcción de un sistema automático de corte por plasma mediante control numérico computarizado CNC", Latacunga, 2007.
- [4] M. A. Suntaxi Ávala, "Diseño y construcción de una máquina CNC cortadora por plasma para planchas de acero de hasta 10 mm de espesor", Quito, 2017.
- [5] D. Solano Monge, "Implementación de un control electrónico para una mesa CNC de corte por plasma", Cartago, 2006.
- [6] N. X. Cruz Carrillo, "Dimensionamiento e implementación de una máquina CNC de corte por láser para optimizar la calidad de trabajos en acrílico de hasta 5mm de espesor", Latacunga, 2017.
- [7] M. J. Villa Morales, "Implementación de una máquina de control numérico computarizado-CNC de corte por plasma para optimizar el proceso y la calidad de corte", Latacunga, 2016.
- [8] A. O. Pérez Revelo, "Diseño e implementación de un sistema de control numérico computarizado de corte por plasma para la empresa SERMATEX", Quito, 2012.
- [9] Á. G. Zúñiga Morales, "Diseño y construcción de un equipo para corte de planchas con plasma operado por computador", Quito, 2015.
- [10] S. Lapenta, "Corte por plasma", Argentina, 2009.
- [11] C. C. A.-S. Alike, "Corte por plasma", Chile, 2009.

- [12] K. D. Mirallas Secaira, "Diseño de una máquina cortadora por plasma CNC", Guayaquil, 2015.
- [13] G. J. Bolaños Castillo, "Diseño y construcción de un sistema para corte por plasma, usando técnicas de control numérico computarizado", San Salvador, 2015.
- [14] M. S. Maureira Gonzales, "Aplicación de la soldadura en estructuras de aluminio", Chile, 2007.
- [15] Miller, "Corte y ranurado por plasma/aire", Ecuador, 2016.
- [16] D. m. herraminetas, "Introducción a la tecnología CNC", 2015. [En línea].
- [17] F. Granados, "Motor paso a paso", [En línea].
- [18] Electroprofesor, "Servo Motores", 2013. [En línea].
- [19] Aeromodelismo, "Glosario y fotos aclaratorios del CNC", 2008. [En línea].
- [20] E. Ganter, "Guías de movimiento lineal", 2014.
- [21] THK, "Guías de movimiento lineal", 2008. [En línea].
- [22] N. Castiglione, "Sistema de transmisión de routers CNC", Buenos Aires, 2017.
- [23] M. herraminetas, "Sistema de motores y transmisión", 2015. [En línea].
- [24] D. Samper Matínez, "Diseño y construcción de una máquina de control numérico con control en tiempo real mediante dispositivo apuntador", Valencia, 2011.
- [25] Control CNC, "Transmisión por banda dentada", 2016. [En línea].
- [26] N. Castiglione, "Transmisión del movimiento a los ejes de los CNC-Routers", Buenos Aires, 2017.
- [27] Husillos.com.mx, "Tuerca embalada y husillo", 2018. [En línea].
- [28] C. C. A.-S. Alike, "Sensores de carrera", 1993. [En línea].
- [29] M. e. industrial, "Final de carrera", 2011. [En línea].

- [30] Aliexpress, "nMotion mch 3", 2017. [En línea].
- [31] T. Egypt, "TB6600 Single Pulse 4A Hybrid Stepper Motor Driver Controller 32 Micro-Step", 2016. [En línea].
- [32] Mach 3, "Introducción al sistema CNC", 2011. [En línea].
- [33] A. espress, "Alta Precisión CNC GGP 1605 200mm tornillo de bolas carril deslizante guía lineal de movimiento deslizante", 2016. [En línea].
- [34] R. Mott, "Resistencia de materiales", México: Pearson educación, 2009.
- [35] R. L. Norton, "Diseño de máquinas un enfoque integrado", México: Pearson, 2011.
- [36] R. G. N. k. Budynas, "Diseño en ingeniería mecánica de shigley", México: The McGraw-Hill, 2008.
- [37] R. Córdova, "Diseño y construcción de un prototipo de una estación de máquina serigráfica textil automatizada para la empresa ortega de la barra", Quito, 2016.

ANEXO

Anexo 1 Propiedades del acero inoxidable 1020

Laminados en Caliente Aceros bajo, medio y alto carbono - Placa Especificación SAE 1020

Grado de Acero	Composición Química (% en peso)											Espesor		Requerimientos Físicos (Típicos)					
	C	Mn	P	S	Si	Cu	Cb	V	Ni	Cr	Mo	Pulg.	mm	Limite de Fluencia Min.		Resistencia a la Tensión Min.		Elongación % Min.	
	Máx.		Máx.	Máx.	Máx.									KSI	MPA	KSI	MPA	EN 8"	EN 2"
SAE 1020	0.17 - 0.23	0.30 - 0.60	0.030	0.035	(*)	---	---	---	---	---	---	0.187 - 2.500	4.7 - 63.5	30	210	55	380	N/A	25
Prueba de Impacto CVN				Prueba de Doblez				Dureza (RB)		Grados equivalentes: AISI 1020									
Espesor Pulg. (mm)	Temperatura de Prueba		Promedio Min. en 3 Probetas Ft-Lb (Joules)	Promedio Min. Individual Ft-Lb (Joules)	Espesor		Angulo												
	°F	°C			Pulg.	mm	Longit.	Transv.											
NO APLICA																			

Aleación 420

INFORMACIÓN GENERAL

La 420 es una aleación de acero cromo de uso general que se puede tratar térmicamente. La 420 es un grado popular para la fabricación de cubiertos. La aleación 420 es magnética tanto en la condición recocida como en la condición endurecida. Sin embargo, la resistencia a la corrosión máxima solo se obtiene en la condición completamente endurecida. Este grado se utiliza raramente en el estado recocido. La 420 es un acero inoxidable martensítico con un 12% de cromo, debido a este contenido de cromo la 420 podrá obtener una dureza máxima.

ESTÁNDARES

UNS S42000 / DIN 1.4021 / W.N. X20Cr13

APLICACIONES

- » Instrumentos dentales y quirúrgicos
- » Cubiertos
- » Bombas
- » Moldes para plástico
- » Bolas de acero
- » Herramientas de mano

COMPOSICIÓN QUÍMICA

	Porcentaje por Peso
C	0,15
Mn	1,0
P	0,04
S	0,03
Si	1,0
Cr	12,0 - 14,0
Ni	BALANCE

RESISTENCIA A LA CORROSIÓN Y OXIDACIÓN

Corrosión General

La Aleación 420 ofrece una resistencia a la corrosión completa solo en su estado endurecido y sin tensión. En esta condición, su resistencia a la corrosión es similar a la de la aleación 410. La 420 resiste corrosión atmosférica, corrosión por agua dulce, agua de minas, vapor, ácido carbónico, petróleo crudo, gasolina, sudor, alcohol, amoníaco, mercurio, soluciones de esterilización, jabones y otros medios corrosivos similares.

PROPIEDADES FÍSICAS

Modulo de Elasticidad en Tensión	29 x 10 ³ ksi 200 x 10 ³ MPa
Densidad	0,28 lb/in ³ 7,74 g/cm ³
Calor Especifico 0 - 100°C	btu/lb°F - 0,11 kJ/kg•k - 0,46
Conductividad Térmica	btu/ft 2/ft°F - 14,4 w/m•k - 24,9
Coefficiente de Expansión Térmica	5,7 x 10 ⁻⁶
Resistividad Eléctrica	a 21°C: 55 micromh-in
Permeabilidad Magnética	Magnético

PROPIEDADES MECÁNICAS

	Recocido	Endurecido y Sin Tensiones
0.2% Offset Limite Elástico	85 ksi 586 MPa	230 ksi 1.586 MPa
Resistencia a la Tracción	40 ksi 276 MPa	195 ksi 1.344 MPa
Bongación, % en 51mm	25	8
Dureza, RB	B88	C55

PROPIEDADES DE FABRICACIÓN

Mecanizado

Similar al mecanizado de aceros de alto carbono, esta aleación forma acumulación fibrosa y dura.

Soldadura

La aleación 420 no suele ser soldada debido a sus características de endurecimiento al aire. La soldadura se podría realizar después de un precalentamiento a 300-400 F (149-204 C) con templeado posterior a la soldadura por dos horas. Para metal de relleno se debe AWS E/ER420.

Anexo 3 Propiedades del acero 1045, y los rieles SBR 16

ACERO AISI-SAE 1045 (UNS G10450)

1. Descripción: es un acero utilizado cuando la resistencia y dureza son necesarios en condición de suministro. Este acero medio carbono puede ser forjado con martillo. Responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción, pero no es recomendado para cementación o cianurado. Cuando se hacen prácticas de soldadura adecuadas, presenta soldabilidad adecuada. Por su dureza y tenacidad es adecuado para la fabricación de componentes de maquinaria.

2. Normas involucradas: ASTM A108

3. Propiedades mecánicas: Dureza 163 HB (84 HRb)
Esfuerzo de fluencia 310 MPa (45000 PSI)
Esfuerzo máximo 565 MPa (81900 PSI)
Elongación 16% (en 50 mm)
Reducción de área (40%)
Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)
Maquinabilidad 57% (AISI 1212 = 100%)

4. Propiedades físicas: Densidad 7.87 g/cm³ (0.284 lb/in³)

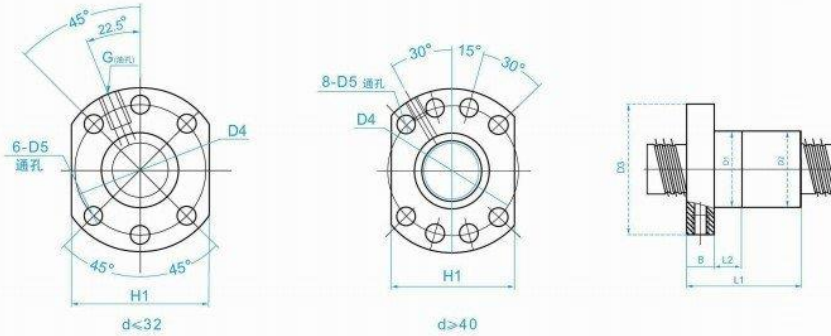
5. Propiedades químicas: 0.43 – 0.50 % C
0.60 – 0.90 % Mn
0.04 % P máx
0.05 % S máx

6. Usos: los usos principales para este acero es piñones, cuñas, ejes, tornillos, partes de maquinaria, herramientas agrícolas y remaches.

Anexo 5 Husillo de bolas SFU1610 longitud 1500mm y 2700mm

滚珠丝杠副

滚珠丝杠单螺母尺寸表

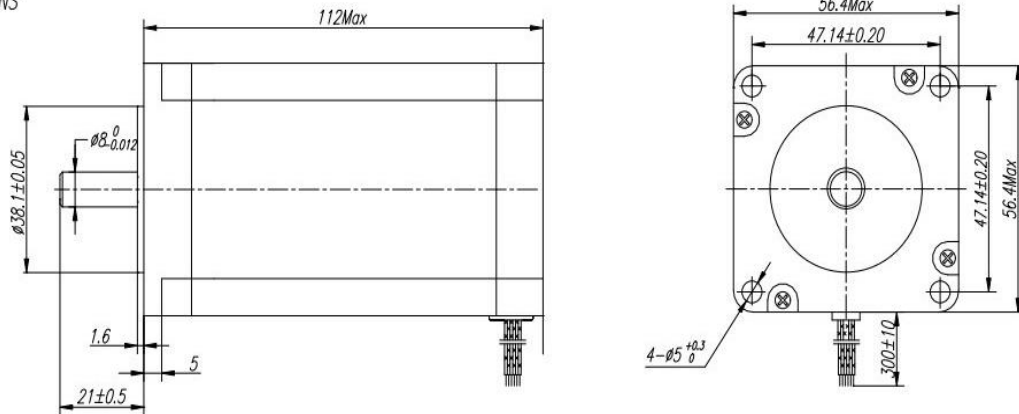


单位(Unit):mm

规格型号	公称直径	公称导程	钢球直径	法兰型式	循环圈数	螺母安装连接尺寸										额定载荷(KN)	
						D1(g6)	D2 ^o _{-0.015}	D3	D4	D5	L1	L2	B	G	H1	动载荷Ca	静载荷Coa
SFU 1204-3	12	4	2.381	d<32	3	22	21.5	42	32	4.8	35	10	8	M6	30	4	6.7
SFU 1604-3	16	4	2.381	d<32	3	28	\	48	38	5.5	36	\	10	M6	40	4.35	9.2
SFU 1605-3	16	5	3.175	d<32	3	28	27.8	48	38	5.5	42	10	10	M6	40	7.65	13.2
SFU 1610-2	16	10	2.778	d<32	2(双头)	28	27.8	48	38	5.5	42	10	10	M6	40	7.36	12.75
SFU 2005-3	20	5	3.175	d<32	3	36	35.8	58	47	6.7	42	10	10	M6	44	8.6	17.1
SFU 2010-2	20	10	3.175	d<32	2(双头)	36	35.8	58	47	6.7	42	10	10	M5	40	8.35	16.8
SFU 2010-3					3(双头)												
SFU 2504-3	25	4	2.381	d<32	3	40	\	62	51	6.6	40	\	10	M6	48	9.1	26.5
SFU 2505-3	25	5	3.175	d<32	3	40	39.5	62	51	6.6	42	10	10	M6	48	9.8	23
SFU 2510-3	25	10	4.763	d<32	3	40	39.5	62	51	6.8	85	16	15	M6	48	8.7	20.5
SFU 3205-3	32	5	3.175	d<32	5	50	49.5	80	65	9	55	10	12	M6	62	16.9	51
SFU 3210-3	32	10	6.35	d<32	3	50	49.5	80	65	9	74	16	12	M8X1	62	26.1	53.1
SFU 4005-5	40	5	3.175	d>40	5	63	62.5	93	78	9	55	10	14	M6	70	19	66.2
SFU 4010-3	40	10	6.35	d>40	3	63	62.5	93	78	9	71	16	14	M8X1	70	30.1	71
SFU 4020-2	40	20	6.35	d>40	2(双头)	63	62.5	93	78	9	94	20	14	M8X1	70	40.3	98.4
SFU 4020-3					3(双头)												
SFU 5010-4	50	10	6.35	d>40	4	75	74.5	110	93	11	95	16	16	M8X1	85	53.1	155
SFU 6310-5	63	10	6.35	d>40	5	90	\	125	108	11	97	\	18	M8X1	95	60.7	206
SFU 8010-5	80	10	6.35	d>40	5	105	\	145	125	13.5	101	\	20	M8X1	110	66.6	265

Anexo 6 Motor nema 23 de 425 oz 57BYGH115-003B

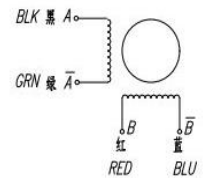
□ DIMENSIONS



□ SPECIFICATIONS unit=mm

PHASE	相数	2	PHASE	COMMENT
STEP ANGLE	步距角	$1.8 \pm 5\%$	'/STEP	
VOLTAGE	静电压	4.8	V	
CURRENT	电流	3.0	A/PHASE	
RESISTANCE	电阻	$1.6 \pm 10\%$	Ω /PHASE	
INDUCTANCE	电感	$6.8 \pm 20\%$	mH/PHASE	
HOLDING TORQUE	静转矩	300	N.cm Min	
DETENT TORQUE	定位转矩	6.5	N.cm Max	
INSULATION CLASS	绝缘等级	B		
LEAD STYLE	引出线规格	AWG22 UL1007		

□ COLORS OF LEAD WIRES BIPOLAR



标记	位置	更改文件号	签名	日期	57BYGH115-003	WANTAI MOTOR
设计		2010092	杨德松			
校对			李强			
审核						
批准						

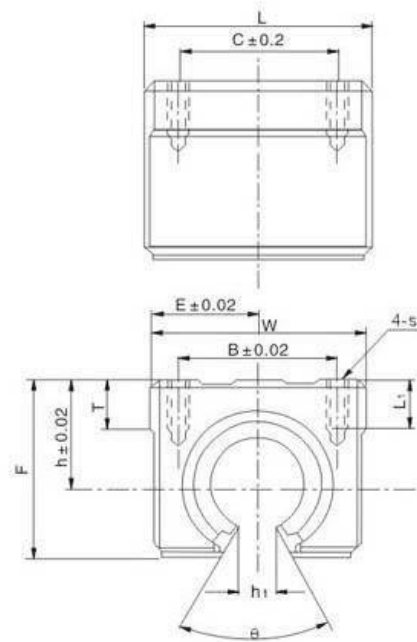
ANEXO 7 Tubo estructural ASTM 500

PROPIEDADES MECANICAS							
ASTM A500				ASTM A500			
Para Tubos Cuadrados y Rectangulares				Para Tubos Redondos:			
	Gr. A	Gr. B	Gr. C	Gr. A	Gr. B	Gr. C	Gr. D
Yield (MPa) Point	269	317	345	228	290	317	250
Tensile (MPa) Strength	310	400	427	310	400	427	400
Elongation	25%	23%	21%	25%	23%	21%	23%

Anexo 8 Rodamientos DBR 16 LUU

Linear motion ball slide units series

SBR...UU SBR...LUU



Unit Designation	Dimensions (mm)												Slide bush		Weight (kg/m)	
	h	E	W	L	F	h1	θ	B	C	S	L1	T	Designation	Basic Load Rating		
														Dynamic		Static
SBR 10UU	15	18	36	32	24	6	80°	25	20	M5	10	7	LM10UU-OP	372	549	65
SBR 13UU	17	20	40	39	27.6	8.5	80°	28	28	M5	10	8	LM13UU-OP	510	784	100
SBR 16UU	20	22.5	45	45	33	10	80°	32	30	M5	12	9	LM16UU-OP	774	1180	150
SBR 20UU	23	24	48	50	39	10	60°	35	35	M6	12	11	LM20UU-OP	882	1370	200
SBR 25UU	27	30	60	65	47	11.5	50°	40	40	M6	12	14	LM25UU-OP	980	1570	450
SBR 30UU	33	35	70	70	56	14	50°	50	50	M8	18	15	LM30UU-OP	1570	2740	630
SBR 35UU	37	40	80	80	63	16	50°	55	55	M8	18	18	LM35UU-OP	1670	3140	925
SBR 40UU	42	45	90	90	72	19	50°	65	65	M10	20	20	LM40UU-OP	2160	4020	1330
SBR 50UU	53	60	120	110	92	23	50°	94	80	M10	20	25	LM50UU-OP	3820	7940	3000
SBR 16LUU	20	22.5	45	85	33	10	80°	32	60	M5	12	9	LM16LUU-OP	1548	2360	300
SBR 20LUU	23	24	48	96	39	10	60°	35	70	M6	12	11	LM20LUU-OP	1764	2740	400
SBR 25LUU	27	30	60	130	47	11.5	50°	40	100	M6	12	14	LM25LUU-OP	1960	3140	900
SBR 30LUU	33	35	70	140	56	14	50°	50	110	M8	18	15	LM30LUU-OP	3140	5480	1260
SBR 40LUU	42	45	90	175	72	19	50°	65	140	M10	20	20	LM40LUU-OP	4320	8040	2660

Anexo 9 Catálogo NTN

Tabla 3.4 Aplicaciones en maquinarias y vida requerida (Referencia)

Clasificación del servicio	Aplicaciones en maquinarias y vida requerida (referencia) L_{10h} × 10 ³ h				
	~ 4	4 ~ 12	12 ~ 30	30 ~ 60	60 ~
Máquinas usadas por periodos cortos q utilizadas sólo ocasionalmente.	<ul style="list-style-type: none"> ● Aplicaciones domésticas ● Herramientas de mano eléctricas 	<ul style="list-style-type: none"> ● Maquinaria agrícola ● Equipos de oficina 			
Utilización durante periodos cortos e intermitentemente, pero con requerimientos de alta confiabilidad.	<ul style="list-style-type: none"> ● Equipos médicos ● Instrumentos de medición 	<ul style="list-style-type: none"> ● Motores de acondicionadores de aire residenciales ● Equipos de construcc. ● Elevadores ● Grúas 	<ul style="list-style-type: none"> ● Grúas (Poleas) 		
Máquinas que no se usan constantemente, pero se utilizan por periodos largos.	<ul style="list-style-type: none"> ● Automóviles ● Vehículos de dos ruedas 	<ul style="list-style-type: none"> ● Motores pequeños ● Buses/camiones ● Transmisiones de engranes en general ● Máquinas madereras 	<ul style="list-style-type: none"> ● Husillos de máquinas ● Motores industriales ● Trituradores ● Cribas vibratorias 	<ul style="list-style-type: none"> ● Transmisiones de engranes principales ● Máquinas de caucho/plástico ● Rodillos de calandrias ● Máquinas de impresión 	
Máquinas en constante uso durante las 8 horas del día.		<ul style="list-style-type: none"> ● Laminadores ● Escaleras eléctricas ● Transportadores ● Centrifugas 	<ul style="list-style-type: none"> ● Ejes de vehículos ferroviarios ● Acondicionadores de aire ● Motores grandes ● Centrifugas 	<ul style="list-style-type: none"> ● Ejes de locomotoras ● Motores de tracción ● Elevadores mineros ● Volantes a presión 	<ul style="list-style-type: none"> ● Máquinas de fabricación de papel ● Equipos de propulsión para barcos
24 horas de operación continua, no interrumpible.					<ul style="list-style-type: none"> ● Equipos de abastecimiento de agua ● Bombas de drenaje/ventiladores para minería ● Equipos para generación de potencia

Anexo 10 Rodamiento BK 12 y BF 12

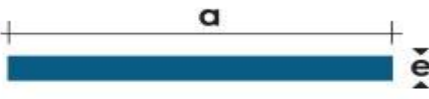


Tabla - Diámetros agujero del rodamiento
Table - Hole bearing diameters

Dimensiones Dimensions	Tipo soporte Support type	Rodamiento Bearing	Carga axial dinámica [kN] Axial dynamic load (kN)	Carga radial dinámica [kN] Radial dynamic load (kN)
Ø 6	a presión fixed	FK 6 EK 6	706 DFA	-
	de apoyo supported	EF 6 EF 8	606 ZZ	2,31
Ø 8	a presión fixed	FK 8 EK 8	708 DFA	-
	de apoyo supported	FF 10 BF 10	608 ZZ	3,35
Ø 10	a presión fixed	FK 10 BK 10	7000 DFA	6,7
	de apoyo supported	FF 12 BF 12	6000 ZZ	4,65
Ø 12	a presión fixed	FK 12 BK 12	7001 DFA	7,25
	de apoyo supported	-	-	-

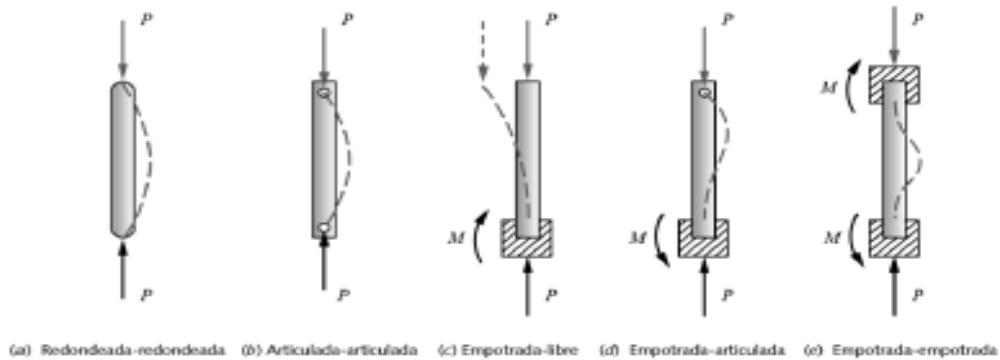
Anexo 11 Platina

Dimensiones			Propiedades
Ancho (a)		Espesor (e)	Peso
Pulg	mm	mm	Kg/m
1"	25.4	3	-
1 1/2"	38.1	3	0.955
1 1/2"	38.1	4	1.195
1 1/2"	38.1	6	1.920
2"	50.8	3	1.186
2"	50.8	4	1.560
2"	50.8	6	2.386



Anexo 12 Condición de extremos

Figura 24. Tipos de empotramiento.



Fuente. Libro, Norton-diseño de máquinas.

Tabla 27 Fórmulas por tipo de empotramiento.

Condiciones de extremo	Valores teóricos	Recomendados por la AISC*	Valores conservadores
Redondeada-redondeada	$l_{ef} = l$	$l_{ef} = l$	$l_{ef} = l$
Articulada-articulada	$l_{ef} = l$	$l_{ef} = l$	$l_{ef} = l$
Empotrada-libre	$l_{ef} = 2l$	$l_{ef} = 2.1l$	$l_{ef} = 2.4l$
Empotrada-articulada	$l_{ef} = 0.707l$	$l_{ef} = 0.80l$	$l_{ef} = l$
Empotrada-empotrada	$l_{ef} = 0.5l$	$l_{ef} = 0.65l$	$l_{ef} = l$

Fuente.

Anexo 13 Códigos G y M del MACH 3

G and M-code reference

Summary of G-codes	
G0	Rapid positioning
G1	Linear interpolation
G2	Clockwise circular/helical interpolation
G3	Counterclockwise circular/Helical interpolation
G4	Dwell
G10	Coordinate system origin setting
G12	Clockwise circular pocket
G13	Counterclockwise circular pocket
G15/G16	Polar Coordinate moves in G0 and G1
G17	XY Plane select
G18	XZ plane select
G19	YZ plane select
G20/G21	Inch/Millimetre unit
G28	Return home
G28.1	Reference axes
G30	Return home
G31	Straight probe
G40	Cancel cutter radius compensation
G41/G42	Start cutter radius compensation left/right
G43	Apply tool length offset (plus)
G49	Cancel tool length offset
G50	Reset all scale factors to 1.0
G51	Set axis data input scale factors
G52	Temporary coordinate system offsets
G53	Move in absolute machine coordinate system
G54	Use fixture offset 1
G55	Use fixture offset 2
G56	Use fixture offset 3
G57	Use fixture offset 4
G58	Use fixture offset 5
G59	Use fixture offset 6 / use general fixture number
G61/G64	Exact stop/Constant Velocity mode
G68/G69	Rotate program coordinate system
G70/G71	Inch/Millimetre unit
G73	Canned cycle - peck drilling
G80	Cancel motion mode (including canned cycles)
G81	Canned cycle - drilling
G82	Canned cycle - drilling with dwell
G83	Canned cycle - peck drilling
G84	Canned cycle - right hand rigid tapping
G85/G86/G88/G89	Canned cycle - boring
G90	Absolute distance mode
G91	Incremental distance mode
G92	Offset coordinates and set parameters
G92.x	Cancel G92 etc.
G93	Inverse time feed mode
G94	Feed per minute mode
G95	Feed per rev mode
G98	Initial level return after canned cycles
G99	R-point level return after canned cycles

M-code	Meaning
M0	Program stop
M1	Optional program stop
M2	Program end
M3/4	Rotate spindle clockwise/counterclockwise
M5	Stop spindle rotation
M6	Tool change (by two macros)
M7	Mist coolant on
M8	Flood coolant on
M9	All coolant off
M30	Program end and Rewind
M47	Repeat program from first line
M48	Enable speed and feed override
M49	Disable speed and feed override
M98	Call subroutine
M99	Return from subroutine/repeat

Figure 4.9. M-Code for M-code

PLANOS