



Diseño y construcción de un equipo automático de corte multidireccional PAC, en 3 ejes, para optimizar la sección en perfiles planos y curvos hasta 1000x1000x10 mm con control numérico computarizado para la producción de implementos agrícolas.

Cuichan Cobos, Milton Andrés y Masaquiza Cruz, Erick Bladimir

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera en Mecatrónica

Ing. Acuña Coello, Fausto Vinicio

14 de febrero de 2023

Latacunga

Reporte de verificación de contenido

Resultados de la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos

Document Information

Analyzed document	TESIS CUICHAN - MASAQUIZA.docx (D158543432)
Submitted	2023-02-13 17:40:00
Submitted by	Juan Carlos Altamirano
Submitter email	jc.altamiranoc@uta.edu.ec
Similarity	7%
Analysis address	jc.altamiranoc.uta@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO / TESISscarvajal.pdf Document TESISscarvajal.pdf (D41080365) Submitted by: cmcarrillo@uta.edu.ec Receiver: cmcarrillo.uta@analysis.urkund.com	14
SA	Tesis Suelta y Corte Robotizado Multifunción.pdf Document Tesis Suelta y Corte Robotizado Multifunción.pdf (D110441273)	2
SA	URKUND Cortadora por plasma de 3 ejes con cama de agua CNC.pdf Document URKUND Cortadora por plasma de 3 ejes con cama de agua CNC.pdf (D26098657)	28
SA	TESIS ACHOTE JOSE.pdf Document TESIS ACHOTE JOSE.pdf (D61563744)	4
SA	TESIS_Lara_Muso.docx Document TESIS_Lara_Muso.docx (D35442120)	2
SA	TESIS_URKUN_ALVAREZ.docx Document TESIS_URKUN_ALVAREZ.docx (D54216896)	1
W	URL: https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el... Fetched: 2023-02-13 17:41:00	1

Nota: Colocar únicamente la página que indica el porcentaje de similitud de la herramienta contratada por la Universidad.

Firma:



Acuña Coello, Fausto Vinicio

C.C.:0501510267

Director



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **“Diseño y construcción de un equipo automático de corte multidireccional PAC, en 3 ejes, para optimizar la sección en perfiles planos y curvos hasta 1000x1000x10 mm con control numérico computarizado para la producción de implementos agrícolas.”** fue realizado por los señores **Cuichan Cobos, Milton Andrés y Masaquiza Cruz, Erick Bladimir**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 14 de febrero del 2023

Ing. Acuña Coello Fausto Vinicio

C.C.:0501510267

Director



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Responsabilidad de autoría

Nosotros, **Cuichan Cobos, Milton Andrés**, con cédula de ciudadanía No. 1725155319 y **Masaquiza Cruz, Erick Bladimir**, con cédula de ciudadanía No. 1805165576, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Diseño y construcción de un equipo automático de corte multidireccional PAC, en 3 ejes, para optimizar la sección en perfiles planos y curvos hasta 1000x1000x10 mm con control numérico computarizado para la producción de implementos agrícolas.”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 14 de febrero del 2023

Cuichan Cobos Milton Andrés
C.C.: 1725155319

Masaquiza Cruz Erick Bladimir
C.C.: 1805165576



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Autorización de Publicación

Nosotros **Cuichan Cobos, Milton Andrés**, con cédula de ciudadanía No. 1725155319 y **Masaquiza Cruz, Erick Bladimir**, con cédula de ciudadanía No. 1805165576, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **"Diseño y construcción de un equipo automático de corte multidireccional PAC, en 3 ejes, para optimizar la sección en perfiles planos y curvos hasta 1000x1000x10 mm con control numérico computarizado para la producción de implementos agrícolas."** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 14 de febrero del 2023

Cuichan Cobos, Milton Andrés
C.C.: 1725155319

Masaquiza Cruz, Erick Bladimir
C.C.: 1805165576

Dedicatoria

Este trabajo lo dedico a mis padres Edgar y Cecilia que siempre me han apoyado en todo el camino de mi vida estudiantil, por inculcarme valores como la responsabilidad, el respeto la honestidad y lo más importante la perseverancia, a mi hermano Santiago que siempre ha estado ahí para ayudarme y darme palabras de aliento para no desistir, agradezco a Andrés mi amigo y compañero de tesis por todas las vivencias que hemos pasado en estos años, dedicado especialmente para mi abuelito Miguelito que me cuida desde el cielo y a todos los que de una u otra manera han aportado en mi camino personal como estudiantil.

-Erick.

Dedicatoria

Este trabajo lo dedico a mis padres María y José Luis que siempre me han apoyado en todo el camino de mi vida estudiantil, por inculcarme valores como la responsabilidad, el respeto, la honestidad, perseverancia, y a no rendirme ante ninguna circunstancia a mis hermanos que siempre ha estado ahí para ayudarme y darme palabras de aliento para no desistir, como no dedicar un pequeño espacio a mis abuelitos y a mis tías que de una u otra manera han aportado en mi camino personal como estudiantil, y sin desmerecer también dedicar a mi amigo y compañero de tesis por todos los momentos que compartimos a lo largo de este camino llamado Universidad, y sobre todo agradecer a una persona especial que me ha acompañado en este último trayecto para finalizar mi etapa como estudiante, a Sofía por estar conmigo en los mejores y peores momentos y a todos las personas que me encontré a lo largo de toda mi estadía en Latacunga.

-Andrés

Agradecimiento

Agradecemos al Ingeniero Fausto Vinicio Acuña, por guiarnos durante todo el desarrollo de nuestra tesis, por su paciencia y ayuda, sin ello no hubiese sido posible el desarrollo de este proyecto, de igual manera a nuestros padres, hermanos, amigos y todos los que de alguna manera sumaron de manera positiva para poder culminar nuestra carrera.

-Andrés y Erick

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenido	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimiento.....	8
Índice de contenidos	9
Índice de tablas	15
Índice de figuras	17
Resumen	22
Abstract.....	23
Capítulo I: Estado del arte y marco teórico	24
Antecedentes.....	24
Planteamiento del problema	26
Cortadoras CNC PAC y OAC	27
<i>Huawei CG2-11-II Magnética máquina de llama oxicorte y biselar de tubo</i>	<i>28</i>
<i>CG1-13 Máquina de gas multidireccional para corte de chapa curvada</i>	<i>29</i>
<i>CG2-11D/G Máquina de oxicorte de tubos manual/automático integrado</i>	<i>29</i>
<i>Máquina cortadora de perfiles de tubos por plasma CNC PNC-1200^a.....</i>	<i>30</i>
<i>Molina Molina, Sandra Maricela. Terán Vaca, Carlos David (2017). Diseño y construcción de una cortadora por plasma de tres ejes con cama de agua mediante control numérico computarizado para el laboratorio CNC.</i>	

<i>Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Extensión Latacunga.</i>	31
<i>Achote Criollo, José Abrahan (2020). Rovayo Muñoz, Felipe Andrés (2020). Murillo Mantilla, Luis Alejandro (2020). Implementación de un prototipo de cortadora plasma CNC para la realización de prácticas de laboratorio de la carrera de Tecnología Electromecánica de la Unidad de Gestión de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPEL”. Carrera en Tecnología en Electromecánica. Departamento de Eléctrica y electrónica. Universidad de la Fuerzas Armadas. Extensión Latacunga</i>	32
<i>Renato Joaquín Carvajal Cabrera (2018). Diseño y construcción de una máquina cortadora plasma CNC en la empresa mecánica industrial “MOYA HNOS”. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTA DE INGENIRÍA CIVÍL Y MECÁNICA INGENIRÍA MECÁNICA</i>	34
<i>Mesa de corte térmico MEGACORD, WELD-RAF, Buenos Aires- Argentina, 2013</i>	35
<i>Cortadora de plasma Qustom CNC PL1-1300, México, Guadalajara.</i>	36
<i>Máquina de corte de CNC portátil acetileno/propano RM1530, China, Jining, Shandong.....</i>	37
Línea Base	38
<i>Materiales usados en la fabricación de herramientas e implementos agrícolas</i>	38
<i>Materiales utilizados en los talleres artesanales de la provincia de Cotopaxi.....</i>	39
<i>Implementos Agrícolas</i>	41
<i>Arado.....</i>	41
<i>Arado cincel.....</i>	42

Arado rotativo.	42
Rastra.	43
Rastra de discos.	44
Rastra combinada.....	44
Remolque.....	45
Tanquero.....	45
Estado actual de talleres artesanales productores de implementos agrícolas	46
Cortadoras plasma en la industria artesanal.....	47
Cortadoras de plasma industriales	48
POWERMAX65.	48
GYS cutter 40FV.....	49
POWERMAX600.	49
Controlador CNC.....	49
Controlador CNC Hypertherm EDGE Pro.	50
Controlador ADTECH ADT-HC4500.....	51
CNC MISNCO SF-2012.....	51
MyPlasm CNC.....	52
PC-2-Route modelo M2 rev. 1.8.....	52
Tipos de transmisiones para maquinas CNC.....	53
Transmisión por piñón- cremallera.	53
Transmisión por cadena.	54
Actuadores	54
Motores a pasos DC.	54
Control de altura de la antorcha (THC)	55
Controlador XPTH3C-300 II.	57
Controlador ADTECH SHEZHEN HCA 1002.....	58

Alternativas de solución	58
Alternativas de diseño.....	59
<i>Mecanismo para chapas curvas CG1-13 (Opción 1)</i>	59
<i>CNC 3 ejes de transmisión por cadena (Opción 2)</i>	60
<i>Mecanismo de la máquina CNC RM1530 (Opción 3)</i>	61
Capítulo II: Diseño y selección del sistema mecatrónico.....	63
Parámetros de diseño	63
<i>Plancha de acero</i>	63
<i>Velocidad de corte para acero al carbono</i>	63
<i>Tipos de cortadoras portátiles</i>	63
<i>Transmisión</i>	65
<i>Tipos de motor</i>	65
Diseño del sistema mecánico.....	67
<i>Elementos estáticos de eje Y</i>	67
Cálculo de la fuerza de corte.....	69
Cálculo del momento de flexión	70
Cálculos para la selección de los Motores “X” y “Y”	76
<i>Cálculos para el motor del eje “X”</i>	76
<i>Cálculos para el motor del eje “Z”</i>	78
Diseño del piñón cremallera para el mecanismo de movimiento.....	79
<i>Diseño de piñón-cremallera con $(z)(m)$, para los ejes X & Y</i>	81
Diseño del engrane.....	81
Diseño de la cremallera.....	82
<i>Diseño de piñón-cremallera con $(z)(m)$, para el eje Z</i>	82
Diseño de la cremallera.....	83
Análisis CAE.....	84

Análisis estático.....	85
Análisis en el eje Y.	85
Análisis del eje X.....	87
Análisis del eje Z.....	88
Análisis dinámico	89
Análisis del engrane y cremallera para los ejes X, Y	94
Selección de motores y drivers.....	96
Selección de la tarjeta CNC	98
Selección del controlador THC	99
Interfaz My plasm CNC (THC control).....	99
Fuente de alimentación	100
Cálculo de cargas	100
Finales de carrera	101
Cables.....	103
Seguridad.....	105
Sistema de control.....	108
Diagrama de bloques para la construcción del sistema mecánico	109
Diagrama secuencia del funcionamiento de la máquina	111
Capítulo III: Implementacion y configuración del sistema mecatrónico	112
Construcción del sistema mecánico	112
Corte.....	113
Soldado y pintado.....	113
Unión de rieles cremalleras con los ejes.....	114
Montaje de motores.....	114
Ensamble de todos los ejes	115
Conexiones del sistema eléctrico	115

Conexión y configuración de los motores.....	116
<i>Conexión de los interruptores mecánicos</i>	<i>118</i>
<i>Base automática (utilizando límites basados en HOME).....</i>	<i>118</i>
Conexión y configuración de la fuente de plasma	119
<i>MyPlasm CNC (THC)</i>	<i>119</i>
<i>Configuración de la interfaz de plasma.</i>	<i>120</i>
Sistema de detección de la altura del material.....	121
Posicionamiento del proyecto.....	122
Capítulo IV: Pruebas y resultados	123
Herramientas de medición	123
<i>Precisión.....</i>	<i>125</i>
Pruebas de corte en Acero al carbono.....	130
<i>Corte de cuadrados.....</i>	<i>130</i>
<i>Corte de círculos</i>	<i>132</i>
<i>Corte de triángulos.....</i>	<i>133</i>
<i>Prueba de corte de perfiles curvos</i>	<i>135</i>
<i>Corte de partes para implementos agrícolas.....</i>	<i>137</i>
<i>Comparación de valores con una máquina comercial</i>	<i>140</i>
<i>Validación de la hipótesis.....</i>	<i>140</i>
Capítulo V:Conclusiones y recomendaciones	144
Conclusiones.....	144
Recomendaciones	145
Bibliografía	146
Anexos	148

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cuadro comparativo de máquinas cortadoras plasma.....	64
Tabla 2 Tipos de transmisiones para plasma CNC.....	65
Tabla 3 Cuadro comparativo de tipos de motores.....	66
Tabla 4 Comparación entre los drivers DM542T y TB6600.....	97
Tabla 5 Controladores CNC.....	98
Tabla 6 Controladores THC.....	99
Tabla 7 Comparación entre fuentes disponibles en el mercado.....	101
Tabla 8 Finales de carrera.....	102
Tabla 9 Comparación entre luces pilotos disponibles en el mercado.....	106
Tabla 10 Comparación entre paro de emergencia.....	106
Tabla 11 Comparación entre interruptores puesta en marcha.....	107
Tabla 12 Comparación entre fusibles.....	107
Tabla 13 Máquinas y herramientas utilizadas para la construcción del equipo mecatrónico...	112
Tabla 14 Valores obtenidos con el reloj comparador.....	125
Tabla 15 Promedio de errores en el eje X.....	126
Tabla 16 Promedio de errores en el eje Y.....	127
Tabla 17 Promedio de errores en el eje Z.....	128
Tabla 18 Precisión de la cortadora plasma portátil.....	129
Tabla 19 Cortes de cuadrados en mm.....	131
Tabla 20 Cortes de círculos en mm.....	132
Tabla 21 Cortes en triángulos en mm.....	134
Tabla 22 Parámetros de corte.....	135
Tabla 23 Datos obtenidos del THC.....	137
Tabla 24 Validación de cortes.....	141
Tabla 25 Tabla frecuencias observadas.....	142

Tabla 26 <i>Frecuencias esperadas</i>	142
Tabla 27 <i>Tabla de chi cuadrado</i>	142

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Máquina de llama oxicorte CG2-11-II</i>	28
Figura 2 <i>Máquina de corte por gas para chapa curvada CG1-13</i>	29
Figura 3 <i>CG2-11D/G Cortadora de tubos integrada manual/automática</i>	30
Figura 4 <i>CNC Cortadora de tubos PNC 1200 A</i>	31
Figura 5 <i>Diseño y construcción de una cortadora por plasma de tres ejes con cama de agua mediante control numérico computarizado para el laboratorio CNC.</i>	32
Figura 6 <i>Implementación de un prototipo de cortadora plasma CNC para la realización de prácticas de laboratorio de la carrera de Tecnología Electromecánica de la Unidad de Gestión de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPEL”</i>	34
Figura 7 <i>Diseño y construcción de una máquina cortadora plasma CNC en la empresa mecánica industrial “MOYA HNOS”</i>	35
Figura 8 <i>Mesa de corte térmico MEGACORD, WELD-RAF</i>	36
Figura 9 <i>Cortadora de plasma Qustom CNC PL1-1300</i>	37
Figura 10 <i>Máquina de corte de CNC portátil acetileno/propano RM1530</i>	38
Figura 11 <i>Material reciclado utilizado para la obtención de las piezas</i>	40
Figura 12 <i>Tipos de arado</i>	41
Figura 13 <i>Arado cincel</i>	42
Figura 14 <i>Arado de discos</i>	42
Figura 15 <i>Tipos de rastra</i>	43
Figura 16 <i>Rastra de disco tándem y offset</i>	44
Figura 17 <i>Esquema de rastra de coronas rotativas</i>	44
Figura 18 <i>Remolque agrícola basculante hacia atrás de dos ejes y Remolque agrícola lateral con eje tandem y carga vertical sobre la lanza</i>	45
Figura 19 <i>Tanquero para transporte de leche</i>	46

Figura 20 Cortadora de plasma Elektro.....	47
Figura 21 Cortadora de plasma powermax 65.....	48
Figura 22 Cortadora plasma GYS cutter 40FV	49
Figura 23 Cortadora de plasma powermax 600.....	49
Figura 24 Controlador CNC Hypertherm EDGE-Pro.....	50
Figura 25 Controlador ADTECH ADT-HC450.....	51
Figura 26 Controlador MISNCO SF-2012	51
Figura 27 MyPlasm CNC	52
Figura 28 Transmisión piñón cremallera	53
Figura 29 Husillo de bolas	53
Figura 30 Transmisión piñón cadena	54
Figura 31 Motor a pasos.....	55
Figura 32 Servomotor	55
Figura 33 THC Hypertherm ArcGlide	56
Figura 34 Control de altura XPTHC-300 II.....	57
Figura 35 Control de altura SH-HC 30	57
Figura 36 Controlador de altura ADTECH HCA 1002.....	58
Figura 37 Cortadora de plasma Elektro.....	59
Figura 38 Cortadora OAC CG1-13 de Huawei.....	59
Figura 39 CNC Cortadora de tubos PNC 1200 A	61
Figura 40 Máquina de corte de CNC portátil acetileno/propano RM1530.....	62
Figura 41 Entrevista a dueños talleres artesanales que realizan implementos agrícolas	62
Figura 42 Idea inicial de la cortadora CNC portátil	67
Figura 43 Corte transversal del eje Y.....	68
Figura 44 Balance de fuerzas sección 1	69
Figura 45 Balance de fuerzas sección 2	70

Figura 46 <i>Diagrama de momentos en el eje Y</i>	70
Figura 47 <i>Equilibrio de momentos sección 1</i>	71
Figura 48 <i>Equilibrio de momentos sección 2</i>	71
Figura 49 <i>Diagrama de momentos en el eje Y</i>	72
Figura 50 <i>Vista transversal de la viga</i>	74
Figura 51 <i>Selección del modulo Material bonificado (F14) y templado por inducción</i>	80
Figura 52 <i>Elementos de un engrane</i>	81
Figura 53 <i>Cargas y soportes del eje Y</i>	85
Figura 54 <i>Esfuerzo de Von Misses en el eje Y, valores en MPa</i>	86
Figura 55 <i>Factor de seguridad en el eje Y</i>	86
Figura 56 <i>Esfuerzo de Von Misses en el eje X</i>	87
Figura 57 <i>Factor de seguridad en el eje X</i>	87
Figura 58 <i>Cargas aplicadas en el eje Z</i>	88
Figura 59 <i>Esfuerzo de Von Misses en el eje Z</i>	89
Figura 60 <i>Factor de seguridad del eje Z</i>	89
Figura 61 <i>Mallado del eje Y</i>	91
Figura 62 <i>Frecuencias naturales</i>	91
Figura 63 <i>Deformación máxima con frecuencias naturales</i>	92
Figura 64 <i>Rango de frecuencia de análisis</i>	92
Figura 65 <i>Deformación total en análisis dinámico</i>	93
Figura 66 <i>Factor de seguridad dinámico</i>	93
Figura 67 <i>Fuerzas aplicadas al mecanismo piñón cremallera</i>	94
Figura 68 <i>Esfuerzo de Von Misses en el mecanismo piñón cremallera</i>	95
Figura 69 <i>Factor de seguridad en el mecanismo piñón cremallera</i>	95
Figura 70 <i>Deformación en el mecanismo piñón cremallera</i>	96
Figura 71 <i>THC MyPlasm</i>	100

Figura 72 Fuente de voltaje 24V-5A.....	101
Figura 73 Final de carrera SPTD.....	103
Figura 74 Cargas eléctricas para cables AWG	104
Figura 75 Cables seleccionados para la conexión.....	104
Figura 76 Elementos de seguridad para la maquina CNC	108
Figura 77 Sistema de control del proyecto.....	109
Figura 78 Diagrama secuencia de construcción del sistema mecánico.....	110
Figura 79 Diagrama secuencia del funcionamiento de la máquina	111
Figura 80 Corte de partes mediante plasma	113
Figura 81 Ejes soldados y pintados.....	114
Figura 82 Unión de los ejes y rieles mediante tornillos.....	114
Figura 83 Acople del motor.....	115
Figura 84 Ensamble de todos los ejes	115
Figura 85 Conexión del sistema eléctrico	116
Figura 86 Conexión de los motores con sus respectivos drivers y la placa controladora.....	117
Figura 87 Configuración de los ejes.....	117
Figura 88 Configuración de los motores a pasos de los 3 ejes	118
Figura 89 Conexión de los interruptores	118
Figura 90 Entrada de la placa madre	119
Figura 91 Plasma interface THC	119
Figura 92 Conexión del puesto PCP al THC.....	120
Figura 93 Configuración de la plasma.....	120
Figura 94 Pines para conectar el final de carrera para la detección del material	121
Figura 95 Ventana de ajustes para el eje Z	121
Figura 96 Posicionamiento de la antorcha	122
Figura 97 Cero del eje z.....	122

Figura 98 <i>Posiciones de medida del reloj comparador</i>	124
Figura 99 <i>Gráfica de errores en X</i>	126
Figura 100 <i>Gráfica de errores en Y</i>	127
Figura 101 <i>Gráfica de errores en Z</i>	128
Figura 102 <i>Posiciones en el cuadrado que serán medidas</i>	130
Figura 103 <i>Gráfica de errores en cuadrados</i>	131
Figura 104 <i>Posiciones en el círculo que serán medidas</i>	132
Figura 105 <i>Gráfica de errores en círculos</i>	133
Figura 106 <i>Posiciones en el triángulo que serán medidas</i>	134
Figura 107 <i>Gráfica de errores en triángulos</i>	134
Figura 108 <i>Perfil de acero curvo</i>	136
Figura 109 <i>Corte de rectángulo en perfil curvo</i>	136
Figura 110 <i>Puntos de prueba para el THC</i>	136
Figura 111 <i>Variación de altura con respecto al error de voltaje</i>	137
Figura 112 <i>Molde de una aradora</i>	138
Figura 113 <i>Arado cortado en placa de 6mm</i>	138
Figura 114 <i>Corte manual de arado</i>	139
Figura 115 <i>Pruebas de corte en acero al carbono de diferentes espesores</i>	139
Figura 116 <i>Tabla de distribución del chi cuadrado</i>	143

Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño y construcción de un equipo automático de corte plasma multidireccional portátil en 3 ejes, para disminuir el tiempo de corte en planchas de acero planas y curvas con control numérico computarizado. Para la realización del proyecto se investigó el funcionamiento de las cortadoras tradicionales de plasma que se utilizan en el área metalmecánica agroindustrial, se analizó los mecanismos utilizados en cortadoras manuales y automáticas. Se investigó los equipos que se pueden realizar a partir de esta materia prima, aspectos como la forma de sus piezas, la forma en que estas se unen y el funcionamiento de la estructura como tal, para optimizar la realización de las mismas mediante el corte automático computarizado. El diseño e implementación se desarrolló en 5 etapas: modelado y diseño 3D de la máquina, armado del mecanismo, implementación del controlador MyPlasm CNC el mismo que incluye un THC para realizar el control de altura para el corte de planchas curvas, implementación del mecanismo para el corte de planchas planas y curvas de 1 a 10mm de espesor, descripción del HMI que permite la correcta interacción entre el operario y la máquina. Y por último se valida el funcionamiento de la misma para verificar si se optimiza el corte tanto en tiempo como en calidad de corte y cumple la función de cortar planchas curvas.

Palabras clave: Cortadora plasma, THC, planchas curvas, control de altura, metalmecánica agroindustrial.

Abstract

The objective of this project is the design and construction of an automatic portable multidirectional plasma cutting equipment, in 3 axes, to reduce the cutting time in flat and curved steel plates with computerized numerical control. For the realization of the project, the operation of the traditional plasma cutters used in the agro-industrial metal-mechanical area was investigated, and the mechanisms used in manual and automatic cutters were analyzed. We investigated the equipment that can be made from this raw material, aspects such as the shape of its pieces, the way in which these are joined and the operation of the structure as such, to optimize the realization of the same by means of computerized automatic cutting. The design and implementation was developed in 5 stages: modeling and 3D design of the machine, assembly of the mechanism, implementation of the MyPlasm CNC controller which includes a THC to perform the height control for cutting curved plates, implementation of the mechanism for cutting flat and curved plates from 1 to 10mm thick, description of the HMI that allows the correct interaction between the operator and the machine. And finally the operation of the machine is validated to verify if the cutting is optimized both in time and quality of cut and fulfills the function of cutting curved plates.

Key words: Plasma cutter, THC, curved plates, height control, agro-industrial metalworking.

Capítulo I

Estado del arte y marco teórico

Antecedentes

Los beneficios de la mecanización en los que se centran los agricultores son la puntualidad del trabajo en el campo, la alta eficiencia, la productividad y la reducción del desgaste.

De esta definición se desprende que la agricultura siempre ha estado mecanizada, utilizando tres fuentes de energía: la energía humana, animal y la mecánica (motriz), razón por la cual la agricultura requiere herramientas y máquinas motorizadas.

La mayoría de las medidas de mecanización en la agricultura se aplican para ahorrar mano de obra: aumentar la productividad laboral (producción por trabajador) y hacer que el trabajo sea físicamente más fácil y menos agotador. Ha transcurrido casi una década desde que, en la llamada 1ª Cumbre Mundial de la Mecanización Agrícola (Agrievolution 2008), el Director de Infraestructura Rural y Agro-industria de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) destacó que la mecanización realiza una aportación importante para la producción agraria, y que ésta sufrirá un notable incremento en la mayoría de las regiones del mundo durante las siguientes 2-3 décadas (Márquez y Gasparetto, 2008).

En Ecuador, el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGAP) tiene como uno de sus objetivos el desarrollo de los medios de producción como base para una producción competitiva. Uno de los propósitos es desarrollar la economía rural, para que los jóvenes permanezcan trabajando en el campo, es decir, que no se desarraiguen y contribuyan al desarrollo de este sector. Por eso es importante ofrecer servicios especializados, como producción de semillas, abonos, centros de recolección, pero sobre todo centros de mecanización agrícola. En la agricultura, varios profesionales se dedican, con diferentes perspectivas, a la gestión y administración de las máquinas agrícolas.

Las operaciones de corte y maquinado en la industria son un método ampliamente utilizado, debido a que permiten la manufactura de piezas con formas complejas. Estas operaciones pueden clasificarse en dos grupos, las que se basan en la remoción mecánica del material en forma de viruta y aquellas que se encargan de eliminar el material por fusión, evaporación, o acción química y/o eléctrica (Schey, 2001).

Todos estos procesos de corte son adecuados para cortes de contorno, sobre todo si se usan acompañados de mecanismos de seguimiento, tales como los controles numéricos computarizados o CNC (Schey, 2001).

Desde el año 1990 se ha ido obtenido grandes avances tecnológicos en el proceso de corte por plasma PAC, al pasar del tiempo, entre los años 1996-2006 se ha implementado el sistema de CNC (Control Numérico Computarizado), este sistema viene integrada 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 estas máquinas se realiza una capacitación al personal. Esta máquina con controlador numérico computarizado realiza operación de corte de piezas más compleja.

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 y consumibles.

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. Las 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 un cortador plasma CNC, que facilite el corte de piezas complejas y de gran precisión.

Planteamiento del problema

La producción de maquinaria e implementos agrícolas del primer semestre del año resultó un 124,5% por encima de la registrada en igual lapso de 2019 y tanto en este rubro como la maquinaria en general, ya se superan los niveles de 2018 y 2019, según informó el INEC.

De acuerdo con el informe oficial, las ventas de maquinaria e implementos agrícolas en el primer semestre de 2021 aumentaron tanto en facturación como en unidades respecto del mismo período de 2020. En facturación creció 64% en valores corrientes, al llegar a los 68.875,2 millones de dólares, y en unidades vendidas pasó de 9.092 unidades a 9.459 máquinas".

Existe gran competencia entre la producción artesanal y la comercialización de implementos y equipos de Agricultura, Ecuatrama S.A. es una de las empresas que se dedica a comercializar este tipo de implementos de la mas alta calidad enfocadas en ayudar a satisfacer las necesidades del agricultor ecuatoriano, sin embargo, existen asociaciones artesanales dedicadas a la producción de bienes agrícolas, uno de ellas ubicadas en Santiago de Píllaro, la cual aun realiza este tipos de implementos reutilizando la materia prima, el corte de estas piezas se lo realiza de forma manual, razón por la cual es necesario tecnificar el proceso de corte. Para que sea mas rápido y preciso.

Al producirse implementos agrícolas se lo realiza de forma artesanal, esto conlleva a fallas humanas como cortes no precisos, productos defectuosos por falta de control de calidad, etc. Por lo tanto, es necesario que se optimice la fabricación de estos implementos automatizando la primera línea de producción que es el corte de la materia prima.

La elaboración de este proyecto responde a una necesidad en particular de las industrias agrícolas, de obtener implementos que faciliten la generación de sus productos ya que actualmente los mercados altamente competitivos obligan a hacer cambios en el entorno de trabajo para optimizar los procesos de producción de máquinas, minimizando costos, aumentando la productividad realizando estas máquinas más rápido, 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, las empresas no garantizan 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.

Cortadoras CNC PAC y OAC

El corte con plasma es el proceso más utilizado en el medio, por su accesibilidad y versatilidad, especialmente para producción industrial y producción en pequeños lotes, es de fácil uso, el plasma se define como “El plasma es uno de los estados fundamentales de la materia, siendo los demás el sólido, el líquido y el gaseoso. El plasma es un gas electroconductor que se calienta a altas temperaturas. El gas está constituido por partículas ionizadas; es decir, grupos de partículas con carga positiva y negativa. El calor generado en el proceso puede alcanzar temperaturas de más de 20 000 °C, mientras que el chorro de plasma procedente de la boquilla puede aproximarse a una velocidad similar a la del sonido.”

(SCULPTEO, 2022)

Otro proceso para corte es mediante gas (oxígeno y acetileno) OAC, como su nombre indica este procesos se utiliza para cortar piezas metálicas mediante oxiacetileno, consta de dos etapas: Según (Marlow, 2006) para realizar el corte por oxiacetileno “el área de metal base ferroso debe someterse a un precalentamiento aproximadamente de 900 °C, cuando alcanza una temperatura optima o el metal ferroso se encuentre al rojo vivo, se procede a incidir con un

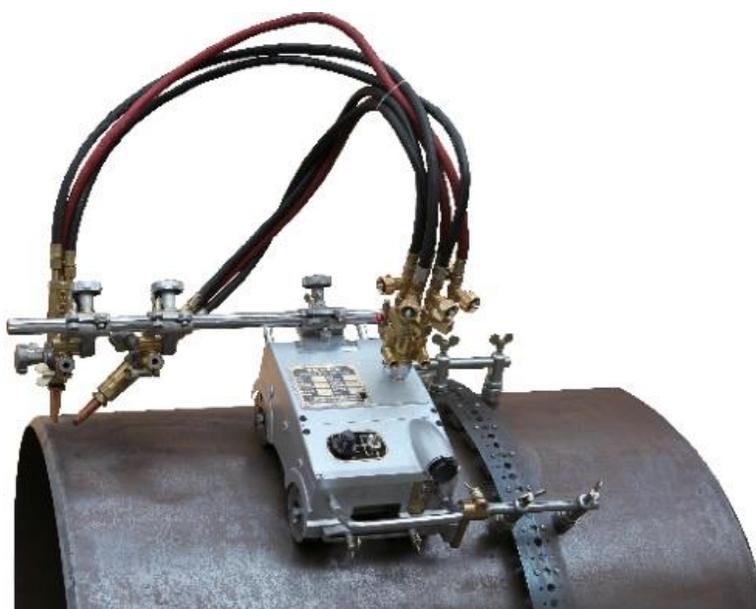
chorro de oxígeno para producir la oxidación”. Actualmente se utiliza este corte para materiales ferrosos que tienen mucho grosor y se puede realizar de forma manual o automática.

Huawei CG2-11-II Magnética máquina de llama oxicorte y biselar de tubo

El mecanismo (*¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*) está compuesto por una aleación de aluminio que lo hace ligero y portátil, para su movimiento cuenta con una pletina con agujeros y 4 ruedas de imán permanente que se arrastran en el tubo o la plancha metálica mientras realiza el proceso de corte, los movimientos que puede realizar la máquina son: paralelo o vertical en una plancha metálica, aunque se desenvuelve mejor en corte de tubería, posee dos antorchas de ranura: ITC (45°). Las dimensiones de la máquina son 350X310X180mm, el voltaje de alimentación que ocupa es de 220V a 50Hz, el diámetro de corte es mayor a 108mm, el grosor de corte va desde los 6mm hasta los 50mm, la velocidad de corte mínima es de 50 mm/min y máxima de 750mm/min, fuerza de absorción magnética máxima 50Kg, finalmente el peso del mecanismo es de 20Kg. (Huawei Cutting, 2020)

Figura 1

Máquina de llama oxicorte CG2-11-II

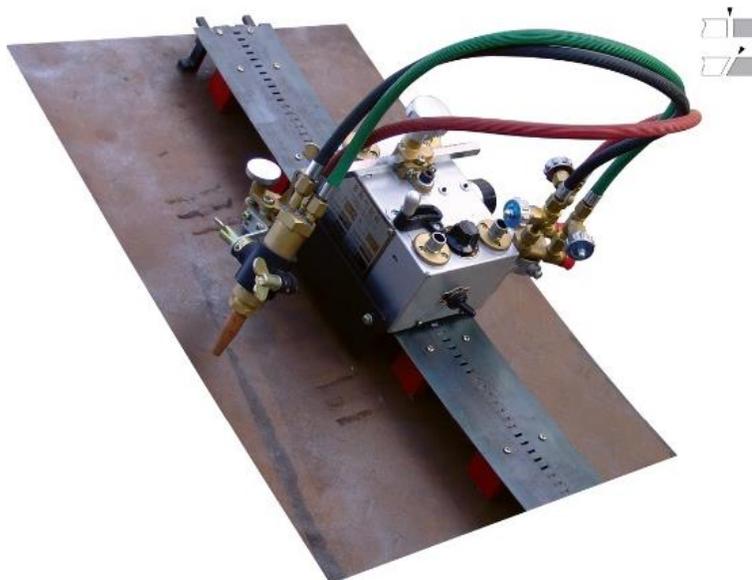


CG1-13 Máquina de gas multidireccional para corte de chapa curvada

Es un cortador multidireccional (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) portátil, la velocidad es regulada por medio del controlador “Silicon” de fácil operación, el desplazamiento se realiza en un carril de aleación níquel cobalto, el mismo que en toda su longitud posee 13 imanes permanentes distribuidos equitativamente, el carril puede moverse en superficies transversales, verticales y curvas, su aplicación mas común es el corte sesgado. Peso de la máquina 15Kg, dimensiones 230X200X230mm, alimentación 220V a 50Hz, velocidad de corte mínima 50 mm/min y máxima 750 mm/min, espesor de corte 6-30mm, longitud de corte máxima 700mm, motor DC110V 0.5A 30W 10000r/min. (Huawei Cutting, 2020)

Figura 2

Máquina de corte por gas para chapa curvada CG1-13



CG2-11D/G Máquina de oxicorte de tubos manual/automático integrado

La máquina de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** tiene un volumen bajo, es ligera y con cuerpo firme, tiene un centro de gravedad bajo, su funcionamiento es estable. La máquina posee una batería para corte automático, pero también

se la puede realizar de forma manual al no disponer de un suministro de energía, la batería tiene una autonomía de 6 horas cuando está cargada completamente, se utiliza para corte de tuberías de petróleo, tuberías de industria química y proyectos de corte de tuberías en general. El movimiento se realiza mediante una cadena y 4 ruedas en la parte inferior. Peso de mecanismo 14.5Kg, peso de antorcha 1.5Kg, dimensiones 285X420X450mm, alimentación 220V, velocidad de corte 50-750mm/min, espesor de corte 5-50mm, diámetro de corte \varnothing 150- \varnothing 600mm, motor HWR4H61-102 35W. (Huawei Cutting, 2020)

Figura 3

CG2-11D/G Cortadora de tubos integrada manual/automática



Máquina cortadora de perfiles de tubos por plasma CNC PNC-1200^a

Es una máquina CNC como indica la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, su movimiento en X está dado por un mecanismo de piñón cadena, mientras el eje Y tiene un mecanismo piñón cremallera, puede cortar extremos de tubería, hacer agujeros en T, agujeros circulares, doble inglete cruz, cruz excéntrica, agujeros rectangulares. El modelo 1200A tiene una longitud de corte de 1250mm, longitud de corte eficiente 900mm, diámetro de tubería eficiente corte \varnothing 250- \varnothing 1200mm, voltaje 220V a 50Hz, espesor de corte 0-30mm,

velocidad de corte 0-6000mm/min, Servomotor de 400W, dimensiones de la máquina 1500X300X300mm, peso 35Kg, materiales que corta: acero inoxidable, acero al carbono, aluminio, tarjeta controladora “START CONTROL SYSTEM”. (HUAWEI CUTTING, 2021)

Figura 4

CNC Cortadora de tubos PNC 1200 A



Molina Molina, Sandra Maricela. Terán Vaca, Carlos David (2017). Diseño y construcción de una cortadora por plasma de tres ejes con cama de agua mediante control numérico computarizado para el laboratorio CNC. Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Extensión Latacunga.

En este trabajo de titulación se basó en el diseño y la construcción de una cortadora por plasma de tres ejes con cama de agua mediante control numérico computarizado como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Para llevar a cabo dicho proyecto, se determinaron parámetros de corte para planchas de acero al carbono de dimensiones 1220X1220mm con espesores entre 1,9 a 9,5mm. Se diseñó la estructura donde fueron montados los elementos de forma manual. Para el sistema de control se utilizó un controlador de 3 ejes ADTECH HC-4500 y un THC Microstep SH-HC30. Finalizada la

implementación del sistema mecatrónico se realizaron pruebas utilizando la norma ISO 10360-2 2009 para determinar la precisión y repetibilidad de la máquina. Adicionalmente se hicieron pruebas de corte en piezas de dimensiones mínimas 10 mm para cuadrados y 15mm. para círculos y para piezas grandes de 1150mm.

Figura 5

Diseño y construcción de una cortadora por plasma de tres ejes con cama de agua mediante control numérico computarizado para el laboratorio CNC.



Achote Criollo, José Abrahan (2020). Rovayo Muñoz, Felipe Andrés (2020). Murillo Mantilla, Luis Alejandro (2020). Implementación de un prototipo de cortadora plasma CNC para la realización de prácticas de laboratorio de la carrera de Tecnología Electromecánica de la Unidad de Gestión de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPEL”. Carrera en Tecnología en Electromecánica. Departamento de Eléctrica y electrónica. Universidad de la Fuerzas Armadas. Extensión Latacunga

Este proyecto describe el desarrollo de una cortadora plasma CNC (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), con la finalidad de implementar un prototipo de bajo costo mediante la utilización de tecnologías de software que sean fáciles de implementar y usar por el operario, como lo es el Mach 3, y placas de control como Arduino uno y el mismo USB Mach 3. A través del estudio del estado del arte y la fundamentación teórica, se determinó los

requerimientos y características necesarias para el diseño e implementación del prototipo cortadora por plasma CNC considerando su desempeño y funcionamiento dentro de la industria. Además, mediante el modelado tridimensional y el análisis estático por elementos finitos se determinó que los materiales más frecuentes para la construcción de maquinaria CNC son los tubos de acero al carbono entre los cuales se seleccionó tubos cuadrados de 2"x2"x2,5mm ASTM A500 grado C. Este dispositivo utiliza como sistema de actuación, un conjunto de motores a pasos Nema 23 KL23H276-28-4B con un torque de 1.9 Nm, para los ejes X & Y, el modelo 23HS22-2804S con un torque de 1.25 Nm para el eje Z, adicionalmente a esto el sistema de transmisiones por medio de bandas dentadas que le permiten a la máquina desplazarse sobre las guías lineales en sus respectivos ejes son las GT2 de 6mm de ancho con un total de 426 dientes que cuales están compuestas por goma de neopreno y fibra de vidrio, la polea dentada utilizada es la Machifit GT2 Polea de distribución Diámetro interno de la rueda síncrona de 20 diente para 6 mm de ancho. La cortadora plasma utilizada es una PTK con una potencia de 7000W, que trabaja con un voltaje que puede ser de 110 o 220 voltios, el amperaje de la cortadora es de 0 a 30 AMP. Esta cortadora puede ser utilizada para cortes en acero, hierro, acero inoxidable, entre otros. Contiene todas las entradas para conexión de compresor de aire. (PTK, s.f.).

Figura 6

Implementación de un prototipo de cortadora plasma CNC para la realización de prácticas de laboratorio de la carrera de Tecnología Electromecánica de la Unidad de Gestión de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPEL"



Renato Joaquín Carvajal Cabrera (2018). Diseño y construcción de una máquina cortadora plasma CNC en la empresa mecánica industrial "MOYA HNOS". UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTA DE INGENIRÍA CIVÍL Y MECÁNICA INGENIRÍA MECÁNICA

La metodología que se utilizó fue la de diseño conceptual donde se diseñó cada parte de la máquina (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.) hasta determinar su diseño final y se comparó por medio de las ecuaciones de diseño mecánico un diámetro del tornillo de potencia calculado es de 13.93 mm, y el que se utilizó es de 16 mm, en disponibilidad del mercado se encuentra el SFU 1610, el diámetro de las guías que se utilizó fue de 16mm por la disponibilidad, los motores utilizados son los NEMA 23 23HS30-2804S, este motor tiene un torque de 1.89 [N-m], 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 in. (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.

Figura 7

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



Mesa de corte térmico MEGACORD, WELD-RAF, Buenos Aires- Argentina, 2013

MEGACORD desarrolló una máquina para corte pesado como se indica en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, es la primera con cabezal biselador "3DBH-Femcor" del país, apta para aplicaciones navales e industriales, posee un panel ergonómico y pantalla táctil de fácil manejo, para el sistema de control utiliza el controlador CNC Hypertherm EDGE Pro de 6 ejes con pantalla touch screen, brindando de este modo gran calidad y una precisión en el corte de +/- 0.2mm, con una velocidad de movimiento de 25000mm/min, para cortar un espesor de planchas de hasta 80mm con plasma y 150mm con oxicorte. Posee guías

lineales trapezoidales dobles para la sujeción del carro transversal y rieles de acero rectificado para la banca longitudinal con ello ofrecen la precisión antes mencionada en sus cortes, el movimiento de las coordenadas utiliza servomotores AC Yaskawa con alimentación de 380V (50-60HZ) trifásico, con un torque de 350 N-m, el control de altura (THC), lo realiza mediante la implementación de un ArcGlide THC con anticollisión magnético o Sensor THC (con cabezal robotizado).

Figura 8

Mesa de corte térmico MEGACORD, WELD-RAF



Cortadora de plasma Qustom CNC PL1-1300, México, Guadalajara.

Qustom CNC Plasma modelo PL1-1300 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) es una cortadora de metales recomendable para todo uso. Esta máquina de corte con antorcha plasma soporta hasta 12 mm de espesor de material ya sea este acero inoxidable, galvanizado, al carbón, aluminio o latón. Este cortador viene equipado con un potente generador de antorcha plasma de 63A de amperaje y 9500W de potencia para trabajar materiales de hasta 6mm (1/4") o 100A amperios y 17800W para cortar hasta 12mm. Posee un sistema de movimiento estable y preciso gracias a sus motores electrónicos de movimiento de micro pasos (MICRO STEPS) que alcanzan una velocidad de 1200 a 8000 mm/min dependiendo el material, los cuales logran un nivel de detalle impresionante gracias a su precisión de +/- 0.02 mm y hacen de esta máquina una herramienta útil para trabajos que

requieren un alto nivel de detalle. Incluye el software original de diseño y comunicación FASTCAM, este ayuda a cortar más rápido y de forma planificada para optimizar material. Tiene un panel de control LCD a color de fácil operación y protegido con llave para programar y operar su máquina plasma muy fácilmente. Utiliza el Código G y soporta los formatos más comunes generados por los programas de diseño como DXF y DWG.

Figura 9

Cortadora de plasma Qustom CNC PL1-1300



Máquina de corte de CNC portátil acetileno/propano RM1530, China, Jining, Shandong.

La máquina de corte por plasma CNC es un equipo de corte automático y de alta eficiencia. Es ampliamente utilizado para cortar todo tipo de materiales de acero al carbono, acero inoxidable, aluminio, con una precisión de corte en el área máxima (es decir en el máximo alcance del brazo telescópico) de $\pm 0.5\text{mm}$, dando $\pm 0.1\text{mm}$ de precisión como se muestra en el Anexo 1, a una velocidad de corte que puede variar de 0 - 4000mm por minuto, y el uso de su fuente de energía de plasma, que pueden la Yahong cut-100A, cut-130A, cut-200A, esta máquina adopta el sistema de control Starfire, puede cortar formas planas arbitrarias, un control de altura mediante un THC. La máquina puede leer diversos formatos de archivos directamente y convertirlos en un programa de corte con interfaz hombre-máquina

humanizada gracias al FastCAM Standard visión, el cual soporta archivos como: Auto CAD / Solidworks / CAXA / Types, etc.

La máquina de la Figura 11, usa una fuente de alimentación de 220V, con una frecuencia de 50HZ/60HZ, y una potencia de 200W, dentro de sus características especiales, están: su estructura compacta, peso ligero y portabilidad. Puede cortar por control manual, y también puede cortar automáticamente con movimiento estable y alta precisión de corte antes mencionado. La máquina adopta una estructura de brazo telescópico, los ejes X e Y adoptan material de aleación de aluminio de aviación AA4045.

Figura 10

Máquina de corte de CNC portátil acetileno/propano RM1530



Línea Base

Materiales usados en la fabricación de herramientas e implementos agrícolas

Labrar la tierra es una de las actividades más antiguas de la humanidad. Los agricultores utilizaban sus manos, ramas y palos para arar la tierra, plantar, cuidar y cosechar. Más tarde, para sobrevivir, los agricultores utilizaron cuchillos, palas, hoces y otras herramientas agrícolas para cultivar alimentos. Con el tiempo y el desarrollo de la tecnología, se mejoró las herramientas agrícolas siendo más modernas y sofisticadas, reduciendo en gran medida el tiempo que los agricultores dedicaban al cultivo de la tierra.

Estas herramientas les permitían cultivar en mayor escala y poder cosechar durante todo el año, para ello el uso de ciertos materiales como aceros es indispensable para la fabricación de las mismas, la selección de estos materiales depende de el tipo de tratamiento que se le este dando el suelo, el tipo de suelo que se está trabajando, así también como la aplicación y uso que se le dé a la herramienta.

Entre los materiales común mente usados tenemos: materiales resistentes como el acero al carbón, el acero inoxidable, los aceros anti desgaste o el polietileno, adicionalmente existen cierto tipo de herramientas como los discos de arado que requieren un tratamiento adicional, para ello se utiliza una chapa de acero laminada (AISI C-1074), la cual es estampada y tratada térmicamente para conseguir mediante esta última operación la dureza superficial necesaria para disminuir los posibles desgastes, sobre todo del borde.

Para la construcción de herramientas como aporcadoras y abonadoras es común mente utilizado perfiles estructurales en acero ASTM A36 y acero ASTM A500, sin embargo, para las aplicaciones más comunes son suficientes las planchas de acero A-36 laminado en caliente, mientras que ahí donde requiramos condiciones de no corrosión utilizaremos planchas de acero inoxidable de grado AISI 316 o 316 L.

Materiales utilizados en los talleres artesanales de la provincia de Cotopaxi

La materia prima utilizada se obtiene principalmente de materiales en desuso que son vendidos a las chatarreras para que se encarguen de reciclarlos, entre los materiales más reutilizados podemos encontrar perfiles usados en las petroleras, el reciclaje de chapas metálicas y principalmente el reciclaje de tolva, estos materiales son comprados a un costo razonable por los maestros artesanos de la localidad.

La norma ASME B31.3 establece los requisitos para la instalación, inspección y pruebas de tubería para transportar todo tipo de fluido, incluyendo aquí productos químicos, productos derivados de petróleo, gas, etc. Sin embargo, en el Ecuador rige la norma INEN 2260:2010, en la cual se establecen los requerimientos obligatorios de seguridad en el territorio nacional. Con

respecto a materiales de la tubería podemos encontrar: acero al carbono, acero inoxidable y cobre, las medidas van a variar dependiendo el uso que se le a la tubería, dentro de esos diámetros nominales podemos encontrar desde 13.5 mm a 750 mm en cedula 10, que el valor nominal más usado.

Servicios agrícolas CASA, taller ubicado en el barrio Lasso, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, especializado en construcción y reparación de material agrícola como guachadoras, rastras, arados y discos de rastras, utiliza material reciclado o de segunda para elaborar las piezas de sus implementos, materiales como tolvas de los molinos (Figura 11) las cuales usualmente, están elaboradas de materiales resistentes como el acero al carbón, el acero inoxidable, los aceros anti desgaste, siendo estos los principales materiales que reutilizan los talleres artesanales, en lo general utilizan pedazos de planchas de segunda mano y mediante un corte manual a las mismas obtienen la forma de la pieza.

Figura 11

Material reciclado utilizado para la obtención de las piezas



En la actualidad el uso de material de segunda obtenida de las petroleras como lo son tubos de metal que desechan con el desuso, es demasiado complicado su compra y los maestros prefieren comprar las plancha en ferreterías de la localidad.

Implementos Agrícolas

Existen varios implementos agrícolas que se utilizan en el sector agrícola de la provincia de Cotopaxi-Ecuador, a continuación, se definirá cada uno de estos para tener en cuenta al momento de realizar la máquina cortadora CNC.

Arado. Es un implemento muy antiguo de la agricultura con el que se puede remover y ablandar la tierra agrícola o capa arable, también sirve para incorporar los abonos, mejorar sus condiciones para la germinación de las semillas y a que se incorporen otras materias orgánicas, etc. Los arados pueden ser de reja y vertedera, de discos, etc. (Barioglio, 2006)

Figura 12

Tipos de arado



Arado cincel. Este tipo de arado se utiliza principalmente para no alterar el perfil del suelo, disgregan la tierra sin alterar la forma del territorio, agrietándolo con la ayuda de uno o varios cinceles adyacentes a un brazo unido a un marco portaherramientas. (Fedefruta, 2022)

Figura 13

Arado cincel



Arado rotativo. Se utiliza principalmente para la mezcla del suelo, manipulan el suelo y en exceso pueden alterar la estructura del mismo. Cortan trozos del suelo y los lanzan en contra de la carcasa del arado, el tamaño de los trozos depende de la velocidad del rotor. Este implemento agrícola se usa para destruir terrones, picar residuos, pero hay que tener en cuenta la potencia del motor que va acoplado con las cuchillas. (Fedefruta, 2022)

Figura 14

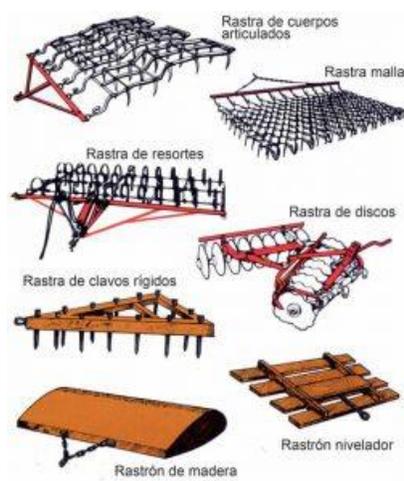
Arado de discos



Rastra. Complemento del arado y cuyo objeto es: desmenuzar el terreno que el arado ha roto groseramente, extirpar las raíces y las plantas que no han sido completamente enterradas, igualar la superficie del terreno, cubre las semillas en la siembra al voleo, entierra los abonos, rompe la costra que se forma sobre el terreno después de las grandes lluvias, etc. (Barioglio, 2006)

Figura 15

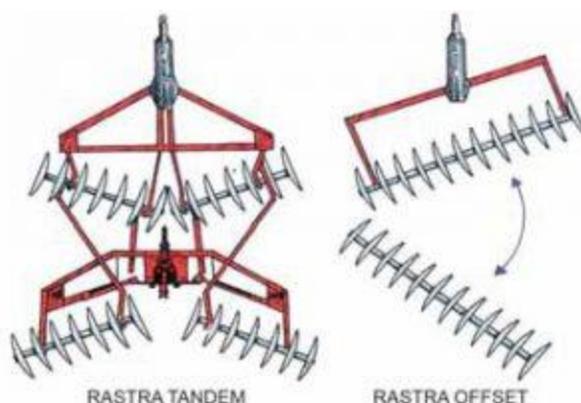
Tipos de rastra



Rastra de discos. La rastra de discos es un implemento agrícola mayormente utilizado en el sector papero, controla mayormente el crecimiento de maleza, corta los residuos de vegetales, existe dos tipos: rastra de disco offset y rastra de disco tándem. (Fedefruta, 2022)

Figura 16

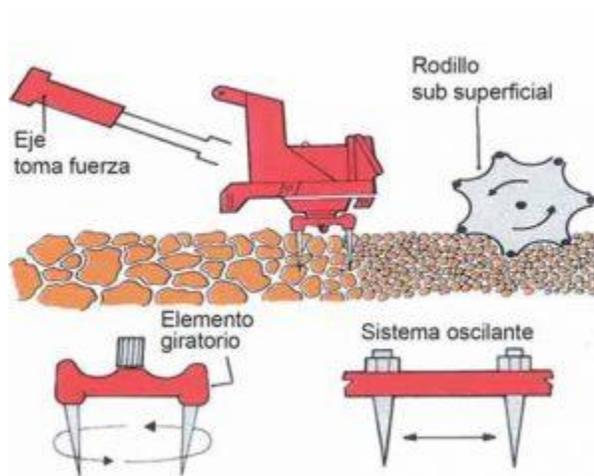
Rastra de disco tándem y offset



Rastra combinada. Este tipo de rastra es la mas utilizada en el medio, destaca su sistema de rotor de eje horizontal con clavos o azadas, se desenvuelve de mejor manera en terrenos arcillosos secos y praderas densas y duras. Tienen mayor efectividad en preparar el suelo para la siembra de semillas. (Fedefruta, 2022)

Figura 17

Esquema de rastra de coronas rotativas



Remolque. El remolque está compuesto de una caja de base metálica plana y barras laterales metálicas, sirve para transportar varias cosechas, granos, semillas, alimento para animales, abonos, animales, etc. Dependiendo su uso se determina el material el cual utilizar para que aguante la carga a transportar. (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2022)

Figura 18

Remolque agrícola basculante hacia atrás de dos ejes y Remolque agrícola basculante lateral con eje tandem y carga vertical sobre la lanza



Tanquero. Un tanquero es un recipiente de metal al que se puede dar muchos usos como: transporte de gasolina, agua, leche, etc. En el sector agrícola mayormente se utiliza para el transporte de leche y agua, debido a esto el material con el que se construye es una plancha de acero inoxidable AISI 304 acabado 2B, mediante un proceso de rolado en frío se le da la forma y se une con soldadura GTAW sanitaria.

En los talleres artesanales no se construye regularmente este tipo de tanqueros, debido a que el material antes mencionado suele ser muy costoso y las personas que adquieren este producto suelen ser agricultores que normalmente solo transportan agua para su ganado, así que la construcción de estos tanqueros vienen principalmente de planchas de acero A36, que luego pasarán a un proceso de fondeado para darle la forma, uniéndolo mediante soldadura GMAW, finalmente se pinta interiormente y exteriormente con una pintura especial para evitar su oxidación.

Figura 19

Tanquero para transporte de leche

**Estado actual de talleres artesanales productores de implementos agrícolas**

Según (Ramírez, 2015) La agricultura e industria en Cotopaxi abarca el 59% de la economía de la provincia, por lo que la demanda de máquinas e implementos agrícolas es alta, debido a esto varias personas han decidido montarse pequeños talleres artesanales viendo una oportunidad económica media la fabricación de implementos agrícolas, debido a que todo su proceso es manual el acabado no es tan bueno a comparación de un implemento agrícola importado y sus tiempos de producción también son muy largos, los artesanos no son capaces de competir con las grandes industrias metalmeccánicas o los implementos agrícolas importados.

La gran mayoría de agricultores en Cotopaxi no tienen la capacidad económica de adquirir herramientas y máquinas aradoras de alto costo, se investigó acerca de las importaciones que se realizan en Ecuador, específicamente en el apartado de implementos agrícolas, varias empresas adquieren productos del extranjero principalmente de Brasil y Perú, no existe un porcentaje exacto pero la cantidad de arados y rastras que se traen bordean aproximadamente las 60 unidades mensuales, en consecuencia existe la posibilidad de producir los implementos agrícolas aquí en Ecuador, pero los productores artesanales de rastras, arados, etc., tendrían que mejorar el acabado y reducir los tiempos de producción de estos para poder satisfacer la demanda.

Por ello, existe la necesidad de diseñar y construir una máquina CNC portable de 1000x1000mm para procesos PAC y OAC, mejorando así el acabado de varias piezas que se cortan manualmente, consecuentemente los implementos agrícolas que son artesanales pueden competir con una marca internacional como Jhon Deer que vende una guachadora en \$1500, una guachadora artesanal ronda entre los \$800-\$1000 y cumplen la misma función.

Cortadoras plasma en la industria artesanal

Luego de estudiar los implementos agrícolas que se producen, materiales, diámetros y medidas se procede a plantear dos mecanismos y una mejora para solucionar la necesidad de optimizar la producción de implementos agrícolas.

Para resolver el problema se ha propuesto tres posibles soluciones a los requerimientos, donde se evaluará diferentes aspectos a cada uno de los posibles diseños, como sus ventajas y desventajas, portabilidad del diseño, estado del material que se va a cortar (planchas totalmente planas, planchas curvas y planchas con cierto grado de deformidad). Uno de los factores principales que debemos tener en cuenta para el diseño de la maquina es que se va a automatizar una cortadora de plasma industrial (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), por lo que el mecanismo nos debe permitir acoplar las diferentes formas de antorchas que traen estas cortadoras.

Figura 20

Cortadora de plasma Elektro



Cortadoras de plasma industriales

Con los avances que se ha dado en los últimos años el corte por plasma y oxicorte se ha convertido en un proceso indispensable para el ámbito industrial, puesto que permite realizar cortes precisos en el acero y materiales no ferrosos (Hypertherm, Energía, 2015).

Para el presente trabajo se explicará dos diferentes tipos de cortadoras industriales:

- Cortadoras de plasma automáticas, este tipo de cortadora utiliza el material que se esta cortando como un terminal positivo el cual atrae el arco eléctrico y el plasma sale de forma instantánea por la antorcha.
- Cortadoras de plasma manuales, para este tipo de cortadoras el operario debe expulsar manualmente el arco eléctrico para que el plasma salga por la antorcha, mediante un switch ubicado en la misma.

POWERMAX65. Sistema de corte por plasma y ranurado de metal de calidad profesional para corte manual de 20 mm (3/4 pulg.) y perforación mecanizada de 16 mm (5/8 pulg.) de espesor de material a cortar. (Colimpo)

Figura 21

Cortadora de plasma powermax 65



GYS cutter 40FV. La Cortadora de plasma GYS cutter 40FV es una máquina que permite realizar trabajos de alta precisión de hasta 15 mm de espesor de material a cortar con factor de 60% de trabajo a 40% de descanso.

Figura 22

Cortadora plasma GYS cutter 40FV



POWERMAX600. La máquina de la Figura 23 es una selección enteramente confiable y económica para aplicaciones de cortes de 16 mm (5/8"). Alto rendimiento con sistema portátil de corte por plasma. El corte puede realizárselo a mano o máquina donde se necesita ponerse en contacto el arco eléctrico y el aire comprimido para cortar a través del acero suave, acero inoxidable, aluminio y la mayoría de los otros metales.

Figura 23

Cortadora de plasma powermax 600



Controlador CNC

El sistema principal de un mecanismo CNC es el método con el que se controlará el movimiento automático de sus ejes, en muchos proyectos de investigación se utiliza tarjetas

controladoras, el mayor inconveniente con estos dispositivos es la desconfiguración que se puede dar, por desconexiones inesperadas. Se realizó la investigación de varios controladores CNC los cuales se detallarán a continuación.

Controlador CNC Hypertherm EDGE Pro. La tarjeta controladora Hypertherm EDGE Pro (Figura 24) tiene un beneficio confiable, se puede realizar el control mediante la asistencia del software Phoenix, las ventajas son: la comunicación integrada entre el sistema de corte plasma y el control de altura para la antorcha (THC) realizando un control automatizado, asume herramientas tanto de soporte para el diagnostico y con la ayuda de IOT se puede realizar un trabajo remoto. (Hypertherm, EDGE-Pro, 2016).

Figura 24

Controlador CNC Hypertherm EDGE-Pro



Controlador ADTECH ADT-HC4500. Las primacías del controlador son: excelente rendimiento gracias a su precisión, mejora la calidad de corte, equipado con el microprocesador ARM9, procesos de interpolación, interfaz amigable con el usuario, gracias a esto es posible el control de 3 servomotores o motores a paso, es compatible con códigos G y M. (ADTECH, 2014)

Figura 25

Controlador ADTECH ADT-HC450



CNC MISNCO SF-2012. El siguiente controlador permite varios tipos de corte tales como: corte plasma, corte por chorro de agua por alta presión y corte por laser CO2, alta velocidad y control en cortes curvos, puede controlar la altura de forma automática, equipado con el microprocesador de tipo industrial ARM7, compatible con software CAD/CAM como Fastcam, Mastercam, IBE,etc. (soldgreat.com, 2015).

Figura 26

Controlador MISNCO SF-2012



MyPlasm CNC. El sistema CNC MyPlasm (Figura 27), que controla las máquinas de corte por plasma es el sistema más sencillo que permite que las personas que no tienen conocimientos avanzados de programación y control de máquinas CNC puedan operar la máquina. Aunque muchos profesionales confían en él, es principalmente para aficionados y amateurs. Para procesos en los que la productividad y la calidad se ponen al más alto nivel, se deben utilizar herramientas de programación profesionales.

Figura 27

MyPlasm CNC



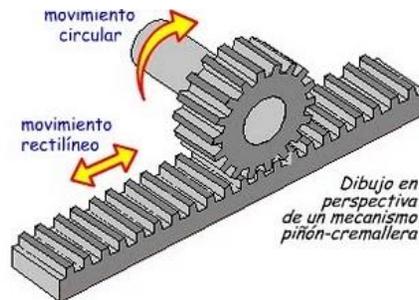
PC-2-Route modelo M2 rev. 1.8. El PC-2-Route modelo M2 rev. 1.8 nos permite interconectar el puerto paralelo del Pc con los accionamientos del motor paso a paso gecko y controlarlos mediante relés de estado sólido, La interfaz utiliza un transformador con doble bobinado primario y secundario y aisladores ópticos para aislar totalmente el puerto paralelo del PC de la fuente de alimentación del motor paso a paso y del equipo que se controlado. Funciona con 115 voltios de CA o 220 voltios de CA (puente seleccionable) 50hz o 60hz

Tipos de transmisiones para maquinas CNC

Transmisión por piñón- cremallera. Este mecanismo transforma el movimiento circular del piñón en un movimiento lineal en la cremallera, se utiliza para movimientos de precisión especialmente en fresadoras, cortadoras láser y cortadoras por plasma. (Wittenstein Alpha, 2015).

Figura 28

Transmisión piñón cremallera



Transmisión por husillo de bolas. Su costo es elevado, poseen mucha precisión, requieren de poco mantenimiento, velocidad media. Este sistema es para CNC's profesionales con un presupuesto elevado. (Mecapedia, 2015).

Figura 29

Husillo de bolas



Transmisión por cadena. Los piñones requieren lubricación, pero son engranajes duraderos que pueden funcionar en condiciones ambientales adversas y a altas temperaturas. También proporcionan una relación constante entre las velocidades de los ejes de entrada y salida y los ángulos de rotación, por lo que pueden utilizarse en aplicaciones de automoción y de ingeniería general en las que son necesarios. (Ingemecánica, 2015).

Figura 30

Transmisión piñón cadena



Actuadores

Se denomina como actuador al dispositivo que proporciona energía necesaria para trasladar en forma rotacional o lineal a un sistema mecatrónico; el tipo de actuador dependerá de su fuente de alimentación, siendo eléctrica, neumática e hidráulica. (Reyes, Cid, & Vargas, 2013)

Motores a pasos DC. Empresas especializadas en el diseño y construcción de cortadoras por plasma CNC como la Qustom CNC PL1-1300, México y en proyectos de tesis como se detalló en la sección 1.3.9 recomiendan el uso de motores a pasos, estos motores no requieren de un sistema de retroalimentación, aunque si son compatibles con dichos sistemas. (Aguirre & Sandoval, 2008).

Cuando el motor es energizado, girará un ángulo específico por cada paso; se diseñan para producir un gran número de pasos por revolución, como ejemplo se tiene 50, 100 o 200;

correspondientes a una rotación de 7.2° , 3.6° y 1.8° por paso; son compatibles con sistemas electrónicos; su resolución está definida por el número de dientes del rotor y del estator.

(Fitzgerald, Charles, & Stephen, 2004).

Figura 31

Motor a pasos



Servomotores DC. Se trata de un tipo especial de motor el cual incluye en la misma carcasa el grupo reductor y una tarjeta de control, su tamaño y peso son reducidos, la tensión de alimentación es de bajo consumo, poseen un par de torsión elevado, debido a la electrónica de control que poseen, es posible realizar movimientos precisos, esto se consigue utilizando un tren de pulsos. (Angulo, 2005). El movimiento de los ejes de la máquina para corte pesado MEGACORD se desarrolló con servomotores, mencionados anteriormente en la sección 1.3.8.

Figura 32

Servomotor



Control de altura de la antorcha (THC)

Control de altura de la antorcha THC (Torch Height Control), elemento primordial para la aplicación de corte térmico, va conectado a la máquina de plasma y por medio del voltaje de

arco de plasma el THC controla la distancia entre la antorcha y la pieza a cortar, es decir permite el desplazamiento sobre el eje "Z" lo que implica el movimiento ascendente y descendente de la antorcha. (Hypertherm, Control de altura de la antorcha, 2012).

Controlador Hypertherm ArcGlide. ArcGlide THC (ver Figura 33) muestrea continuamente el voltaje del arco y lo ajusta automáticamente para obtener una distancia óptima entre la antorcha y la pieza a cortar de este modo brinda mayor duración de los consumibles, maximiza la productividad puesto que viene incluido de una graduación automática para el cambio de altura después del sensado de altura inicial, posee un conjunto de anticolidión magnético o neumático, capacidad de elevación de 11,4 kg. (Hypertherm, ArcGlide THC, 2012)

Figura 33

THC Hypertherm ArcGlide



Controlador XPTHC-300 II. Control de altura XPTHC-300 II (ver Figura 34) con funciones de doble velocidad de inicio de sensado para la protección de la antorcha, función anticolidión, es compatible con corte bajo el agua, posee modo manual y automático junto a 6 indicadores para facilitar la solución de problemas. (plasmatech, 2015)

Figura 34

Control de altura XPTHC-300 II



Controlador SH-HC30 . THC SH-HC30 (ver Figura 35) posee control de ajuste de velocidad, altura automática, para evitar los problemas de choques con las piezas a cortar función anticolidión, la precisión está en el rango de +/- 5 mm, es compatible con el sistema de corte por plasma Hypertherm Powermax 1000. (Ali Express, 2015)

Figura 35

Control de altura SH-HC 30



Controlador ADTECH SHEHZHEN HCA 1002. THC ADTECH SHEHZHEN HCA 1002 (ver Figura 36) controlador de altura que posee doble velocidad y dos modos de inicio de sensado, soporte de perforación dinámica para corte de material grueso, control automático en la recepción de señal de esquinas, la precisión está en el rango de ± 5 mm, es compatible con el sistema de corte por plasma Hypertherm Powermax 1000. (Alibaba, 2016)

Figura 36

Controlador de altura ADTECH HCA 1002



Alternativas de solución

Luego de estudiar los implementos agrícolas que se producen, materiales, diámetros y medidas se procede a plantear dos mecanismos y una mejora para solucionar la necesidad de optimizar la producción de implementos agrícolas.

Para resolver el problema se ha propuesto tres posibles soluciones a los requerimientos, donde se evaluará diferentes aspectos a cada uno de los posibles diseños, como sus ventajas y desventajas, portabilidad del diseño, estado del material que se va a cortar (planchas totalmente planas, planchas curvas y planchas con cierto grado de deformidad). Uno de los factores principales que debemos tener en cuenta para el diseño de la máquina es que se va a automatizar una cortadora de plasma industrial (Figura 37), por lo que el mecanismo nos debe permitir acoplar las diferentes formas de antorchas que traen estas cortadoras.

Figura 37

Cortadora de plasma Elektro



Alternativas de diseño

Mecanismo para chapas curvas CG1-13 (Opción 1)

Tomando en cuenta los parámetros antes mencionados el primer diseño que se propone es un mecanismo similar al de la máquina CG1-13 (Figura 2), la cual nos va a permitir realizar el corte de chapas curvadas, que es una de las principales materias primas reciclada que obtienen los artesanos de la localidad, esta máquina al tener un peso de 15 kg y dimensiones pequeñas la hacen una de las principales opciones de diseño.

Ventajas

Como se puede observar en la Figura 38, el riel guía donde se monta el cabezal de la cortadora se adapta a la forma de la placa metálica lo que facilita el no tener que generar un control de altura de la antorcha, esto debido al bajo peso del cabezal, lo que la hace perfecta para material de segunda mano que no siempre es una plancha de metal plana.

Figura 38

Cortadora OAC CG1-13 de Huawei



Desventajas

Como se muestra en la Figura 38, se puede observar que la placa del riel guía es demasiado delgada debido a que debe moldearse a la forma del material que se está cortando, ya que esta máquina está diseñada para un movimiento en un solo eje y por lo tanto no dispone de un controlador CNC, debido a que se requiere cortar formas específicas, se debe implementar el movimiento en 2 ejes, sean estos X & Y, lo que nos lleva a implementar el uso de un brazo telescópico para generar el movimiento en el segundo eje, y esto generaría un desbalance en el cabezal de corte.

CNC 3 ejes de transmisión por cadena (Opción 2)

La siguiente solución de diseño que se ha encontrado es realizar una máquina CNC parecida a la CNC PNC-1200A de Huawei (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), pero mejorando algunos aspectos como el control de altura de antorcha por medio de THC y reduciendo el costo en construcción en comparación a la PNC-1200A.

Figura 39

CNC Cortadora de tubos PNC 1200 A



Ventajas

Gracias a que este diseño está pensado para cortar tubos y tiene un control CNC, se puede adaptar el mecanismo para cortar planchas curvas, es un diseño portátil que nos permitirá el corte de figuras complejas.

Desventajas

Como se puede observar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, las planchas de acero recicladas no siempre son placas planas en el caso del material de la figura no es una plancha curva, si no, posee una forma variada, lo que hace imposible que el diseño de la PNC -1200 A de Huawei se pueda acoplar a este tipo de material. Y es necesario implementar un control de altura de la antorcha.

Mecanismo de la máquina CNC RM1530 (Opción 3)

Luego de haber investigado en talleres que fabrican implementos agrícolas, los operarios (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), han manifestado que la mayoría del material sea de primera o de segunda mano son placas de acero en su mayoría planas y muy pocas veces placas con alguna forma de curvatura como en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, por lo cual se ha brindado una solución de optimizar el

control de Z con el THC manteniendo una CNC de 3 ejes convencional (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) que a su vez es más fácil de construir y controlar que un sistema de cadena, reduciendo costos y siendo esta más asequible para los artesanos que producen los implementos agrícolas.

Figura 40

Máquina de corte de CNC portátil acetileno/propano RM1530



Figura 41

Entrevista a dueños talleres artesanales que realizan implementos agrícolas



Ventajas

El mecanismo es portátil y nos permitirá el corte de figuras complejas y mediante la implementación de un control de altura podremos cubrir el hecho de que la plancha de acero no sea en su totalidad plana.

Desventajas

Con la implementación del control de altura y un rango de trabajo considerable para el eje Z, no se a encontrado desventaja en este diseño.

Capítulo II

Diseño y selección del sistema mecatrónico

Parámetros de diseño

Plancha de acero

Como se describió en el estado del arte y mediante a las entrevistas realizadas, las planchas de acero al carbono A36 que se utilizan para fabricar los implementos agrícolas, tienen un ancho de 2.40X1.2m con un espesor máximo de 10mm, pero teniendo en cuenta que las piezas que se cortan no sobrepasan el metro de largo y ancho se decidió construir un mecanismo que corte piezas de 1000X1000x10mm.

Velocidad de corte para acero al carbono

(Jeffus, 2016) Afirma que placas delgadas de acero bajos en carbono se pueden cortar con una velocidad máxima de 13.5 mm/s, esto para una placa de 3mm de espesor, pero se alcanza mayor espesor de corte aumentando el amperaje, tal es el caso de una máquina de 60A, a continuación se tomará como referencia el manual de una máquina de corte manual por plasma Hyperterm Powermax 65, solo para tener una idea de las velocidades de corte que se pueden llegar a alcanzar dependiendo el espesor del material.

El manual de usuario (Anexo 1) especifica en la sección 3-28 que para realizar el corte de una placa de acero de bajo carbono de 3mm se requiere una velocidad 6800 mm/min con un voltaje de 122V y con una altura inicial de 1.5mm, teniendo un tiempo de retardo de perforación de 0.1s, y para un corte de una placa de 10mm de espesor que es el máximo que se propone se recomienda una velocidad de 1680 mm/min con un voltaje de 127V, la altura inicial será de 1.5mm y tiene un tiempo de retardo de perforación de 0.5s.

Tipos de cortadoras portátiles

A partir de la alternativa de solución y luego de haber concluido el estudio de estado del arte, continua el análisis de parámetros para el diseño del sistema mecatrónico, basándose en los datos que se obtuvieron en el capítulo 1, mediante cuadros comparativos se procederá a

realizar la selección de materiales para construcción de la máquina, motores, controlador, sensores, mecanismo, etc.

Para la evaluación se considera una ponderación de 100%, dividiéndose para cada elemento de evaluación considerando su importancia, además, cada columna puede adquirir un valor de 1 a 10, siendo el 1 mínimo y 10 el máximo, teniendo en consideración los datos obtenidos del estado del arte, finalmente se suman el total de columnas y la que tenga mayor valor será seleccionada para el diseño de la máquina, este proceso se repetirá en todas la tablas descritas a continuación.

Tabla 1

Cuadro comparativo de máquinas cortadoras plasma

Elementos de evaluación	Valor porcentaje	Cortadora con imanes adaptable para planchas curvas		CNC transmisión con cadena para tubos		CNC de 2 ejes lineales	
		Valor	Total	Valor	Total	Valor	Total
Diseño portátil	20%	8	1.6	7	1.4	9	1.8
Mecanismo CNC	20%	0	0	8	1.6	8	1.6
Facilidad de construcción	20%	8	1.6	6	1.2	9	1.8
Control de altura de la antorcha	15%	1	0.15	1	0.15	7	1.05
Adaptabilidad a la forma de la placa de acero	15%	9	1.35	7	1.05	9	1.35
	100%		4.7		5.4		7.6

Transmisión

Tabla 2

Tipos de transmisiones para plasma CNC

Elementos de evaluación	Porcentaje	Husillo de bolas		Piñón cremallera		Transmisión por cadena	
		Valor	Total	Valor	Total	Valor	Total
Precisión	25%	9	2.25	10	2.5	5	1.25
Fricción	20%	9	1.8	10	2	6	1.2
Transmisión de potencia	10%	9	0.9	8	0.8	10	1
Velocidad	10%	8	0.8	9	0.9	7	0.7
Peso	10%	7	0.7	6	0.6	10	1
Accesibilidad en el mercado	15%	4	0.6	4	0.6	8	1.2
costo	10%	5	0.5	5	0.5	6	0.6
TOTAL	100%		7.55		7.9		6.95

Al analizar la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se puede observar que los sistemas de transmisión más rentables son el husillo de bolas y piñón- cremallera ya sea por su precisión, velocidad, y su bajo costo, de entre estos dos resalta el mecanismo piñón- cremallera que a pesar que no es muy accesible en el mercado, basta con obtener el engrane y se puede fabricar la cremallera, ya que no es una máquina en acceso grande, no existe dificultad en diseñar y construir la cremallera.

Tipos de motor

Empresas especializadas en el diseño y construcción de cortadoras por plasma CNC como la Qustom CNC PL1-1300, México y en proyectos de tesis como se detalló en la sección 1.3.9 recomiendan el uso de motores a pasos, estos motores no requieren de un sistema de retroalimentación, aunque si son compatibles con dichos sistemas. (Aguirre & Sandoval, 2008).

Por otro lado, los servomotores, se trata de un tipo especial de motor el cual incluye en la misma carcasa el grupo reductor y una tarjeta de control, su tamaño y peso son reducidos, la tensión de alimentación es de bajo consumo, poseen un par de torsión elevado, debido a la

electrónica de control que poseen, es posible realizar movimientos precisos, esto se consigue utilizando un tren de pulsos. (Angulo, 2005). El movimiento de los ejes de la máquina para corte pesado MEGACORD se desarrolló con servomotores, mencionados anteriormente en la sección 1.3.8.

Tabla 3

Cuadro comparativo de tipos de motores

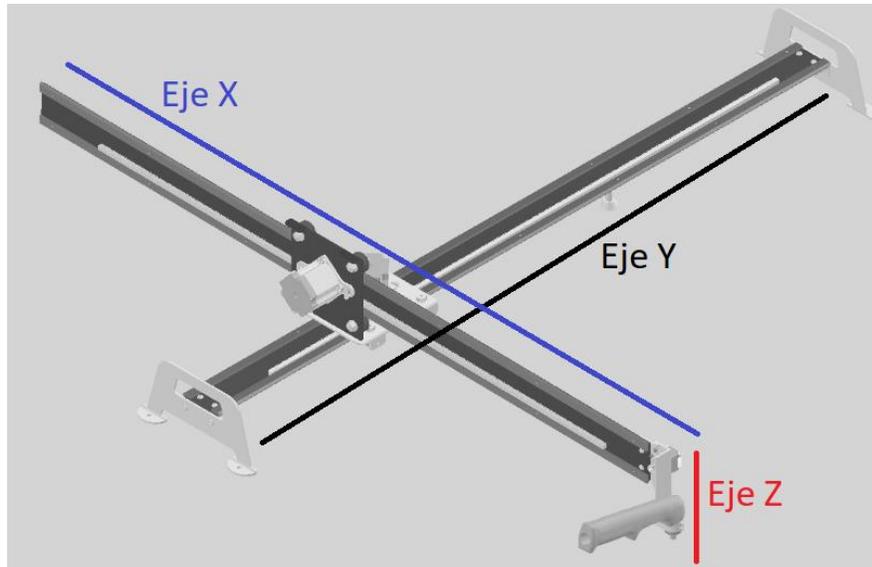
Elementos de evaluación	Porcentaje	Servomotores		Motores a pasos	
		Valor	Total	Valor	Total
Precisión	15%	10	1.5	6	0.9
Torque	10%	10	1	5	0.5
Comportamiento ante el ruido eléctrico	10%	6	0.6	7	0.7
Control	10%	10	1	7	0.7
Bajo costo	15%	5	0.75	10	1.5
Menor consumo de energía	10%	7	0.7	10	1
Comportamiento ante ambiente hostil	10%	5	0.5	7	0.8
Lazo abierto	10%	0	0	10	1
Lazo Cerrado	10%	10	1	0	0
TOTAL	100%		7.15		7

Con los resultados obtenidos en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se puede concluir que los motores idóneos para el mecanismo serán servomotores, aunque se optó por utilizar motores a pasos, por su costo inferior, menor consumo de energía, accesibilidad en el mercado y facilidad para obtener un buen control.

Diseño del sistema mecánico

Figura 42

Idea inicial de la cortadora CNC portátil



En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se puede observar el bosquejo de lo que sería la estructura de la máquina cortadora computarizada, tomando de idea la máquina de Huawei que se describe en el estado del arte en la sección **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, representando sus ejes para su posterior análisis.

Elementos estáticos de eje Y

Definidos los parámetros de diseño y la alternativa de solución, se procederá a realizar los cálculos para la estructura, además, se debe tomar en cuenta los pesos de los elementos que estarán presentes para el movimiento. Como un valor aproximado se tiene: el peso de la estructura del brazo telescópico (3.2 kg.), peso del motor que realiza el movimiento (0.7 kg.), antorcha (0.5 kg). La sumatoria de los elementos será 4.4 Kg.

Para encontrar las reacciones en los apoyos, es necesario verificar el balance de fuerzas en la vertical, para garantizar que la viga no se mueva hacia arriba o hacia abajo, y el balance de momentos, para garantizar que la viga no gire. El diagrama de cuerpo libre de la viga es:

Figura 43

Corte transversal del eje Y



Por lo tanto, equilibrando fuerzas verticalmente, se encuentra:

$$\sum F_y = 0$$

$$F_1 - R1 - R2 = 0$$

(1)

Donde:

R representa las reacciones; **F** representa fuerzas puntuales.

Por lo tanto, sustituyendo los valores en la ecuación (1), se encuentra:

$$R1 + R2 = 98N$$

Equilibrando los momentos en el primer apoyo, encontramos:

$$\sum M = 0$$

$$R2(x_{soporte2} - x_{soporte1}) - F1(x_{fuerza1} - x_{soporte1}) = 0$$

(2)

Sustituyendo los valores numéricos en la ecuación (2), se encuentra

$$R2(1.2 - 0) = +(98)(0.6 - 0)$$

$$1.2R2 = 58.8N$$

De las dos ecuaciones, se encuentra el siguiente sistema:

$$R1 + R2 = 98N$$

$$1.2R2 = 58.8N$$

Resolviendo el sistema, encontramos:

$$R1 = 49N$$

$$R2 = 49N$$

Cálculo de la fuerza de corte

Para encontrar la ecuación de la fuerza cortante, es necesario equilibrar las fuerzas verticales en cada sección (que van de 0 a x metros), es decir:

$$\sum Fy + V(x) = 0$$

(3)

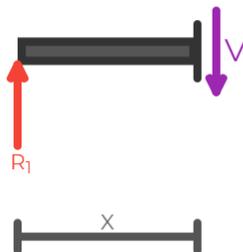
Donde $V(x)$ es el valor de la fuerza cortante en la posición x .

Sección 1 ($0 \leq x \leq 0.6$)

Resolviendo el balance de fuerzas en la sección:

Figura 44

Balance de fuerzas sección 1



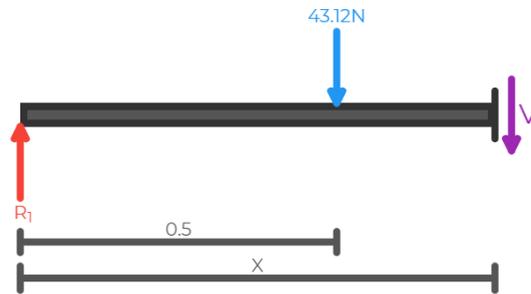
$$-R1 + V(x) = 0$$

Sustituyendo los valores numéricos, se encuentra

$$V(x) = 49$$

Sección 2 ($0.6 \leq x \leq 1.2$)

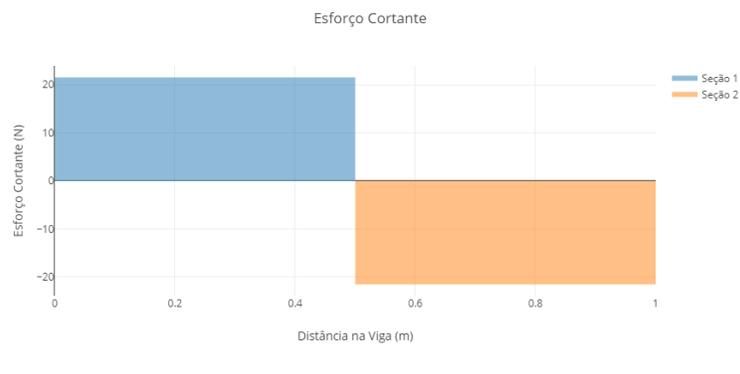
Resolviendo el balance de fuerzas en la sección:

Figura 45*Balace de fuerzas sección 2*

$$F_1 - R_1 + V(x) = 0$$

Sustituyendo los valores numéricos, se encuentra

$$V(x) = -49$$

Figura 46*Diagrama de momentos en el eje Y*

Cálculo del momento de flexión

Para encontrar la ecuación del momento flector, es necesario equilibrar el momento en cada sección (que va de 0 a x metros), es decir:

$$\sum Fy(x - xcarga) + \sum M + M(x) = 0$$

(4)

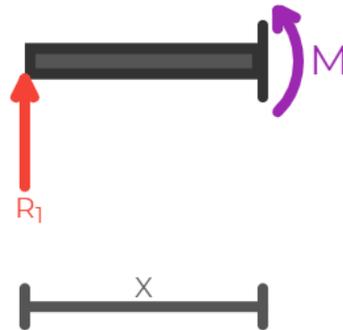
Donde $M(x)$ es el valor del momento flector en la posición x .

Sección 1 ($0 \leq x \leq 0.6$)

Resolviendo el equilibrio de momentos en la sección:

Figura 47

Equilibrio de momentos sección 1



$$-R_1(x - x_{\text{soporte } 1}) + M(x) = 0$$

Sustituyendo los valores numéricos, se encuentra

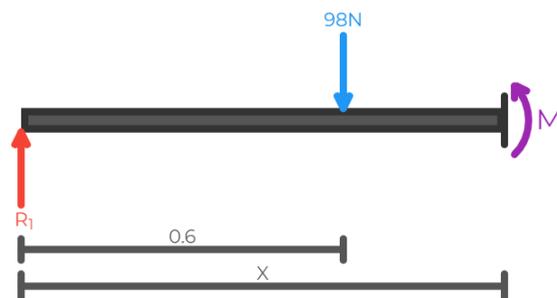
$$M(x) = 49x$$

Sección 2 ($0.6 \leq x \leq 1.2$)

Resolviendo el equilibrio de momentos en la sección:

Figura 48

Equilibrio de momentos sección 2



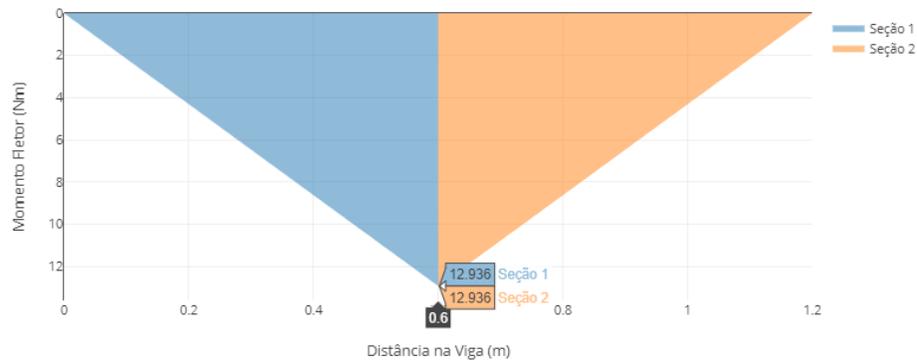
$$F_1(x - x_{\text{fuerza } 1}) - R_1(x - x_{\text{soporte } 1}) + M(x) = 0$$

Sustituyendo los valores numéricos, se encuentra

$$M(x) = -49x + 58.8$$

Figura 49

Diagrama de momentos en el eje Y



El diagrama de momentos se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** : El momento crítico obtenido es 29.4 N-m y estará presente en la mitad de la viga.

Ya que el material a utilizar será el acero A36, se conoce que $S_y = 248 \text{ MPa}$.

De acuerdo a la sección 5-7 de (Mott, 2006), se aplica un factor de diseño igual a 2, debido a que se trata de un diseño de estructuras estáticas con cargas dinámicas, la cual brindará mayor confiabilidad en los datos obtenidos.

Partiendo de la siguiente ecuación se tiene:

$$\sigma_{max} = S_y/n \quad (5)$$

Donde:

$\sigma_{m\acute{a}x}$ = Esfuerzo normal máximo

S_y = Resistencia a la fluencia del material

n = Factor de seguridad

Sustituyendo los valores en la ecuación (5) se tiene:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{248}{2}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 124 \text{ MPa}$$

Para obtener el elemento estructural es necesario encontrar el módulo de sección, el que se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$S = \frac{M}{\sigma_{\text{máx}}} \quad (6)$$

Donde:

S = Módulo de sección

M = Momento flector máximo

$\sigma_{\text{máx}}$ = Esfuerzo normal máximo

Se reemplaza los valores en la ecuación (6) :

$$S = \frac{29.4 \text{ Nm}}{124 \text{ MPa}}$$

$$S = 0.237 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$S = 0.237 \text{ cm}^3$$

Sabiendo entonces que el ancho de las planchas de acero comerciales de 3/16", sabiendo el módulo de sección al cual queremos llegar vamos a utilizar la fórmula de módulo de sección para perfiles rectangulares, según Mott 5ta edición:

$$S = \frac{bh^2}{24}$$

$$0.237 = \frac{0.47625 * h^2}{24}$$

Despejando para obtener la altura del perfil

$$h = 3.45 \text{ in}$$

Aproximamos a 3.5 y esas son las medidas de las placas de acero, el análisis del elemento estructural seleccionado será en la mitad, ya que en este punto existe una mayor concentración de cargas; en esta sección el esfuerzo flector será máximo.

Como se trata de una viga compuesta por dos materiales y formas diferentes, como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** El análisis estático para obtener reacciones, fuerza cortante y momento flector Según (Beer Jhonston 5ta Ed), se considerará

como una sola viga uniforme para dicho análisis. Mientras que se utilizarán otras formas y otro análisis para la obtención del esfuerzo flector y posteriormente el esfuerzo Von Mises.

Figura 50

Vista transversal de la viga



Se utilizará para determinar el esfuerzo flector, la siguiente ecuación:

$$\sigma = n \frac{Mc}{I} \quad (7)$$

Donde:

σ = Esfuerzo flector

n = Factor de conversión

M = Momento flector máximo

c = Distancia desde el centro de gravedad hacia su extremo

Como datos se tiene:

$$M = 12.80 \text{ Nm}$$

$$c = 31.75 \text{ mm}$$

$$n = \frac{E_{A36}}{E_{ac}}$$

$$n = 0.1559$$

Se considera trabajar como un solo cuerpo para generar una base equivalente con la siguiente ecuación:

$$b_m = n * b_r \quad (8)$$

$$b_m = 0.1559 * 2.5$$

$$b_m = 0.389 \text{ in}$$

La inercia para secciones compuestas tenemos primero que calcular el centroide del elemento que vamos a analizar el cual está dado por la ecuación:

$$y = \frac{\sum yA}{\sum A} \quad (9)$$

$$y = 1.326$$

Una vez obtenido el centroide de nuestro elemento a analizar, obtendremos la inercia de dicho elemento con la siguiente ecuación:

$$I_x = I + Ad^2 \quad (10)$$

$$I_x = 26.32 \text{ in}^4$$

Posteriormente, se reemplaza los valores en la Ecuación (7)

$$\sigma = 15.989 \text{ Mpa}$$

La Ecuación (10) permite determinar los esfuerzos principales de Von Misses:

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma}{2} \pm \sqrt{\frac{\sigma^2}{2} + \tau^2} \quad (11)$$

El elemento estará sometido a un torque, el cual esta generado por el brazo telescópico o en este caso denominado eje X, el cual genere un torque máximo al este encontrarse en el recorrido máximo por lo que:

$$\sigma_1 = 80.365 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_1 = 28.391 \text{ MPa}$$

Para definir el factor de seguridad se utiliza la Ecuación (12):

$$n = \frac{\sigma_{perm}}{\sigma_{vonmises}} \quad (12)$$

$$n = \frac{248MPa}{80.365MPa}$$

$$n = 3.085$$

El factor de seguridad es superior a 2, ya que el espesor utilizado para la estructura, supera al mínimo, aunque se encuentre sobredimensionado debido a las características propias del acero, que previamente se seleccionó por cuestión de costos, con ello se logrará reducir el desequilibrio en el mecanismo, mayor robustez, disminuirá el riesgo a fallos por fatiga, elementos móviles y concentradores de tensiones.

Cálculos para la selección de los Motores “X” y “Y”

En este apartado se tomará en cuenta la potencia y torque de los motores para la próxima selección de los mismos, dado que para el eje X & Y se utilizará los mismos motores, solo se realizará un análisis diferente para el motor utilizado en el eje Z.

Cálculos para el motor del eje “X”

El cálculo se lleva a cabo con la siguiente nomenclatura:

m_{TX} = masa total a desplazar del eje "X"
 r_e = radio del engranaje
 U_k = Fuerza de rozamiento en las guías
 a = aceleración de los motores
 F = Fuerza total para el movimiento
 V = Velocidad de avance del sistema

FT = Fuerza tangencial
 Fr = Fuerza de rozamiento en las guías
 m = masa a desplazar
 P = potencia de los motores
 σ = Tensión real de carga

Datos:

$m_{TX} = 4.4 \text{ kg o } 9.7 \text{ lb}$
 $r_e = 1,02362 \text{ in}$
 $U_k = 0,004$
 $a = 1,31 \text{ ft/s}^2 \text{ (recomendada por el fabricante)}$

Se comenzará calculando el torque necesario para desplazar el peso total en el eje “X”, con la siguiente ecuación:

$$T = F * r$$

(13)

La fuerza total que ejerce para el movimiento del motor en el eje "X", será el resultado de:

$$F = FT + Fr$$

(14)

Para determinar la Fuerza tangencial se utilizará la siguiente ecuación

$$FT = m * a$$

(15)

La Fuerza de rozamiento de las guías se utiliza la ecuación:

$$Fr = FT * Uk$$

(16)

El cálculo de la potencia requerida en los motores se tiene con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{\sigma * V}{33000}$$

(17)

Se determinará la velocidad de avance de la antorcha en vacío; utilizando la velocidad máxima de corte permitida en el controlador CNC: $V = 4000 \text{ mm/min}$.

Ya que el catálogo de motores viene dado en el sistema inglés (SI), es necesario transformar la velocidad dichas unidades, por consiguiente:

$$V = \frac{4000\text{mm}}{\text{min}} * \frac{1\text{cm}}{10\text{mm}} * \frac{1\text{ft}}{30.48} = \mathbf{13,12 \text{ ft/min}}$$

Se reemplaza los valores en la ecuación (15)

$$FT = 9.7 \text{ lb} * 1,31 \text{ ft/s}^2$$

$$FT = 12.99 \text{ lbf}$$

Sustituyendo los valores en la Ecuación (16) se tiene:

$$Fr = 12.99\text{lbf} * 0,004 = 0,05 \text{ lbf}$$

A continuación, se reemplaza los valores de Fr y FT en la ecuación:

$$F = 12.99 \text{ lbf} + 0,05 \text{ lbf} = 13.04 \text{ lbf}$$

Se reemplaza los valores en la ecuación (13):

$$T = F * r = 13,34 \text{ lbf in}$$

Para asegurar el diseño debido a que el cálculo es ideal, se utiliza un factor de seguridad de 1,5: (Mott, 2006)

$$\sigma = 13.34 * 1,5 = 20.1 \text{ lbf}$$

Sustituyendo los valores obtenidos en la ecuación anterior, se obtiene la potencia requerida en el motor para el eje "X & Y":

$$P = \frac{20.1 \text{ lbf} * 13.12 \text{ ft/min}}{33000} = \mathbf{0,007 \text{ HP}}$$

Cálculos para el motor del eje "Z"

Se lo realiza de igual manera que los cálculos para el eje "X", utilizando la misma nomenclatura y las mismas ecuaciones, la diferencia viene que únicamente se utilizara el peso de la masa y se usa los mismos datos de engrane que para los ejes X & Y.

Datos:

$$m_{TotalY} = 0.5 \text{ kg o } 1.1 \text{ lb}$$

$$r_e = 1,02362 \text{ in}$$

$$Uk = 0,004$$

$$a = 1,31 \text{ ft/s}^2 \text{ (recomendada por el fabricante)}$$

Se reemplaza los valores en la ecuación (15):

$$FT = 1.1 \text{ lb} * 1,31 \text{ ft/s}^2$$

$$FT = 1.441 \text{ lbf}$$

Sustituyendo los valores en la de (16) se tiene:

$$Fr = 1.1 \text{ lbf} * 0,004 = 0,004 \text{ lbf}$$

A continuación, se reemplaza los valores de Fr y FT en la ecuación:

$$F = 1.441\text{ lbf} + 0,004\text{ lbf} = 1.4454\text{ lbf}$$

Se reemplaza los valores en la ecuación (13):

$$T = F * r = 1.47\text{ lbf in}$$

Para asegurar el diseño debido a que el cálculo es ideal, se utiliza un factor de seguridad de 1,5: (Mott, 2006)

$$\sigma = 1.47 * 1,5 = 2.21\text{ lbf}$$

Sustituyendo los valores obtenidos en la ecuación anterior, se obtiene la potencia requerida en el motor para el eje "Z":

$$P = \frac{2.21\text{ lbf} * 13.12\text{ ft/min}}{33000} = \mathbf{0,0008\text{ HP}}$$

Diseño del piñón cremallera para el mecanismo de movimiento

Para el diseño del sistema de movimiento se tomará principalmente en cuenta la masa total a desplazar por lo que se tiene como datos:

Peso estimado de los motores = **1.4 kg** Estructura = **3kg** Total, masa a desplazar = **4.4 kg**

Partiendo unas condiciones mecánicas previas como son la masa a desplazar, velocidad, aceleración de la misma y coeficiente de seguridad tenemos que deducir las fuerzas corregidas que nos permitan entrar en las tablas "RECTO - HELICOIDAL" que nos informarán del módulo más adecuado y con él el número de dientes del piñón.

Primero vamos a obtener la fuerza tangencial real

$$f_{ht} = P(9.81 * u + a)$$

(18)

f_{ht} = Fuerza tangencial vertical teorica

f_{ht} = Fuerza tangencial horizontal teorica

P = masa a elevar o trasladar

a = aceleracion lineal

u = coeficiente de rozamiento

$$f_{ht} = 4.4(9.81 * 0.3 + 0)$$

$$f_{ht} = 129.492\text{ N}$$

Ahora obtenemos la fuerza tangencial corregida

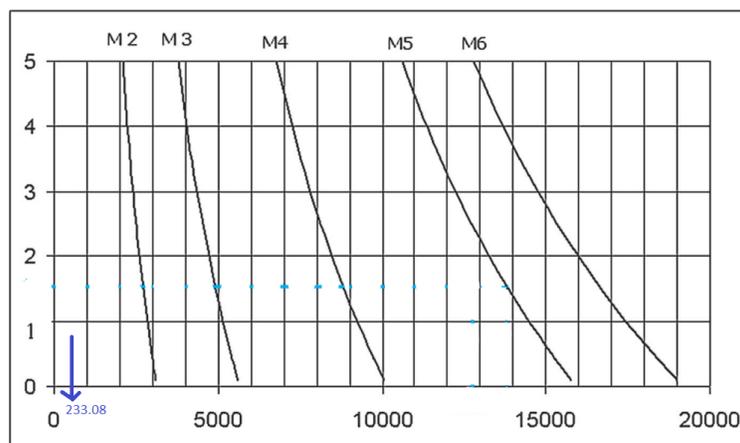
$$f_{ht} = 129.492 * 1.8$$

$$f_{ht} = 233.0856 \text{ N}$$

Con el valor de la fuerza tangencial entramos en la tabla de selección para la selección de diente recto y deducimos el tipo y dimensión de la cremallera que necesitamos.

Figura 51

Selección del modulo Material bonificado (F 114) y templado por inducción HRC= 52



Como podemos observar **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** el módulo más cercano es 2, sin embargo, vemos que se encuentra muy alejado de este valor por lo que supondremos el valor mínimo del módulo que en este caso sería 1 y suponemos un número de dientes $N = 24$

Estos diagramas están basados en las consideraciones de LEWIS y HERZ y para su cálculo se han introducido oportunamente unos coeficientes de corrección al objeto de garantizar el respeto de los valores de flexión en la base del diente y de la presión de Herz adecuada a las características de los materiales y de los tratamientos térmicos propuestos.

Por consiguiente sabiendo el módulo que usaremos y el número de dientes de los engranes comerciales usaremos las siguientes formulas:

Diseño de piñón-cremallera con $(z)(m)$, para los ejes X & Y

Donde los datos m y z vienen dado por:

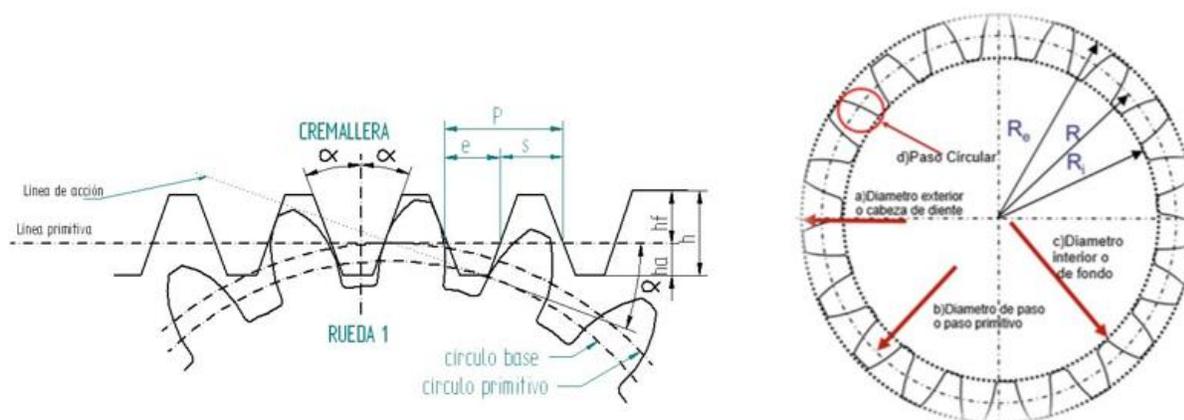
m = Modulo

z =Numero de dientes

Diseño del engrane

Figura 52

Elementos de un engrane



Diámetro de paso o primitivo

$$h_o = 1$$

$$D_p = m * z$$

Dedendum

$$D_p = 24$$

$$h_p = 1.25 * m$$

Paso circular

$$h_p = 1.25$$

$$p = \pi * m$$

Altura total

$$p = 3.14$$

$$h = h_p + h_o$$

Espesor de diente

$$h = 0.225m$$

$$s = p * (19/40)$$

Diámetro interior

$$s = 1.49$$

$$D_i = D_p - 2h_o$$

Addendum

$$D_i = 21.5 \text{ mm}$$

$$h_o = m$$

Diámetro exterior

$$De = Dp + 2ho$$

$$De = 26 \text{ mm}$$

Diseño de la cremallera. Para calcular el número de dientes que tiene la cremallera utilizaremos los mismos datos del engrane, como lo son el módulo y el número de dientes, adicional a esto sabemos que el máximo desplazamiento será de 1m, y para alcanzar una velocidad lineal cercana a la velocidad máxima permitida por el THC la velocidad del piñón debe ser 55 rpm con estos valores aplicaremos los siguientes formulas:

Dientes de cremallera

$$Dr = 75.39 \text{ mm}$$

$$De_c = \frac{d_r * n * m}{N * \pi}$$

Tiempo de desplazamiento

$$De_c = 318.30$$

$$t = \frac{N}{V}$$

Número de vueltas de piñón

$$t = 0.24 \text{ min}$$

$$N = \frac{d}{d_r}$$

Velocidad lineal

$$N = 13.26 \text{ vueltas}$$

$$V = \frac{t}{n}$$

Distancia recorrida en cada vuelta

$$V = 414.6 \text{ cm/min}$$

$$Dr = m * n * r$$

El valor de la distancia entre líneas o dientes y de la línea de paso es valor obtenido del paso circular y Dedendum, respectivamente, obtenido en el diseño del engrane debido a que debe estar en juego por lo que:

Distancia entre dientes = **3.14** Línea de paso = **1.25**

Diseño de piñón-cremallera con (z)(m), para el eje Z

Para el diseño del sistema pion cremallera para el eje Z se tomará en consideración las mismas ecuaciones, pero esta vez al ser el rango de movimiento mas limitado el modulo se tomara como 0.5, con estos datos, los resultados obtenidos son los siguientes:

Diámetro de paso o primitivo

$$Dp = 24$$

$$Dp = m * z$$

Paso circular

$$p = \pi * m$$

$$p = 1.57 \text{ mm}$$

Espesor de diente

$$s = p * (19/40)$$

$$s = 0.7457 \text{ mm}$$

Addendum

$$h_o = m$$

$$h_o = 0.5$$

Dedendum

$$h_p = 0.625 * m$$

$$h_p = 0.625$$

Altura total

$$h = h_p + h_o$$

$$h = 1.125 \text{ mm}$$

Diámetro interior

$$D_i = D_p - 2h_o$$

$$D_i = 10.75 \text{ mm}$$

Diámetro exterior

$$D_e = D_p + 2h_o$$

$$D_e = 13 \text{ mm}$$

Diseño de la cremallera. Para calcular el número de dientes que tiene la cremallera utilizaremos los mismos datos del engrane, como lo son el módulo y el número de dientes, adicional a esto sabemos que el máximo desplazamiento será de 1m, y para alcanzar una velocidad lineal cercana a la velocidad máxima permitida por el THC la velocidad del piñón debe ser 55 rpm con estos valores aplicaremos los siguientes **formulas:**

Dientes de cremallera

$$D_{e_c} = \frac{d_r * n * m}{N * \pi}$$

$$D_{e_c} = 318.30$$

Número de vueltas de piñón

$$N = \frac{d}{d_r}$$

$$N = 13.26 \text{ vueltas}$$

Distancia recorrida en cada vuelta

$$D_r = m * n * r$$

$$D_r = 75.39 \text{ mm}$$

Tiempo de desplazamiento

$$t = \frac{N}{V}$$

$$t = 0.24 \text{ min}$$

Velocidad lineal

$$V = \frac{t}{n}$$

$$V = 414.6 \text{ cm/min}$$

El valor de la distancia entre líneas o dientes y de la línea de paso es valor obtenido del paso circular y Dedendum, respectivamente, obtenido en el diseño del engrane debido a que debe estar en juego por lo que :

Distancia entre dientes = 1.57

Línea de paso = 0.6

Análisis CAE

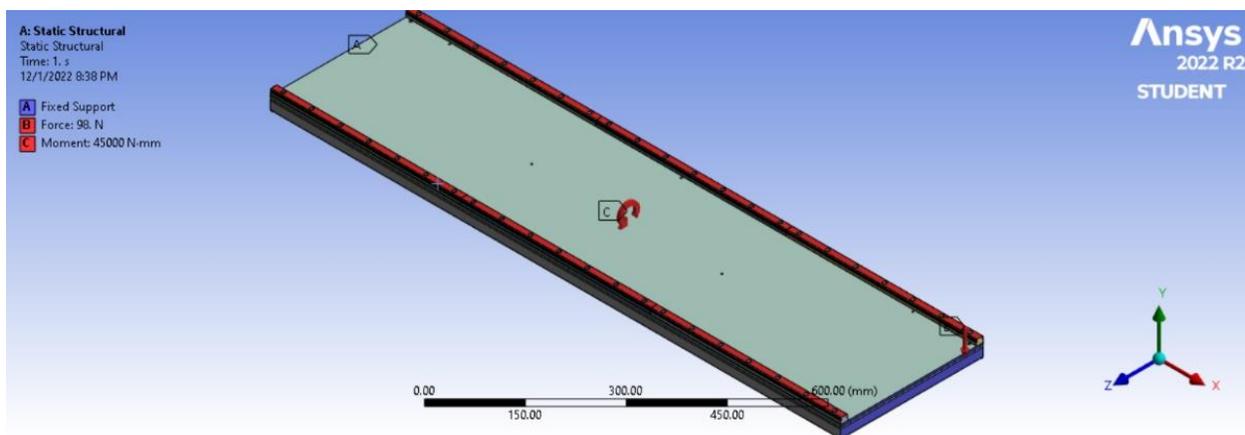
La tecnología actual permite realizar simulaciones por medio de computadoras las cuales ayudan a determinar esfuerzos principales, máximos, factor de seguridad, desplazamiento, etc. Existen varios programas que permiten calcularlos, algunos se encuentran en los propios software CAD como Inventor y otros están enfocados solamente en el CAE, es el caso de ANSYS el cuenta con una versión estudiantil que se utilizará en este caso para comprobar los datos obtenidos manualmente.

Análisis estático

Análisis en el eje Y. Las cargas aplicadas en el eje Y son el peso de los motores para el movimiento tanto en el eje X y eje Y que sumados los pesos y multiplicados por la gravedad da un total de $98.12N$, de igual manera un torque que se produce debido al peso del eje Z, que está compuesto por un motor, la estructura de movimiento y el peso de la propia antorcha, que en total da $45000 N * mm$, los soportes están ubicados en los extremos de la placa y tubo que van soldados con los agarres como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 53

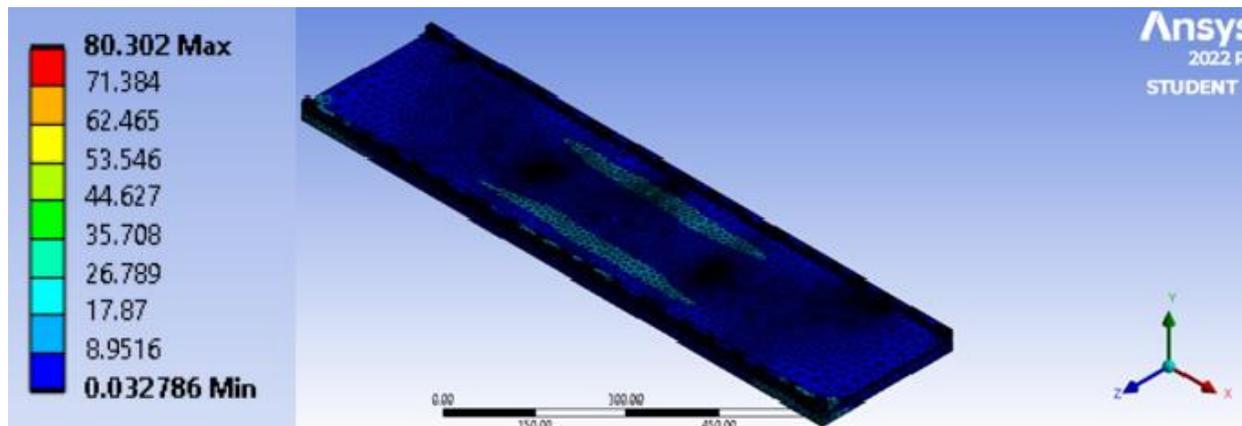
Cargas y soportes del eje Y



Como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** el esfuerzo de Von Mises máximo es de $80.30 MPa$ parecido al valor calculado el cual es un valor de $80.365 MPa$, teniendo una diferencia de $0.065 MPa$, ubicándose mayormente en el centro la placa de acero, por lo que se acepta el modelo.

Figura 54

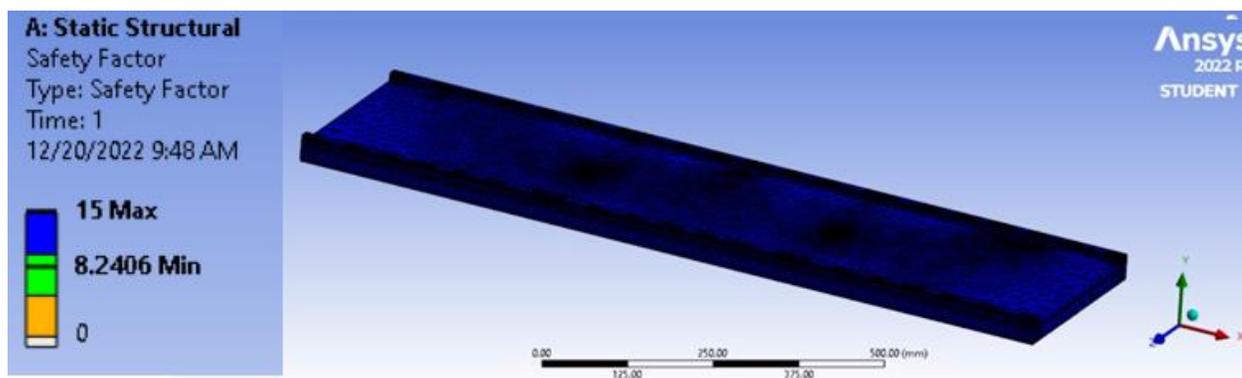
Esfuerzo de Von Misses en el eje Y, valores en MPa



La Figura 55 muestra el valor de factor de seguridad máximo que este caso es 15 y mínimo de 8.24 dando a entender que esta sobredimensionado esto para evitar las vibraciones y tener mayor estabilidad de la máquina, se podrá comprobar con un análisis dinámico más adelante.

Figura 55

Factor de seguridad en el eje Y

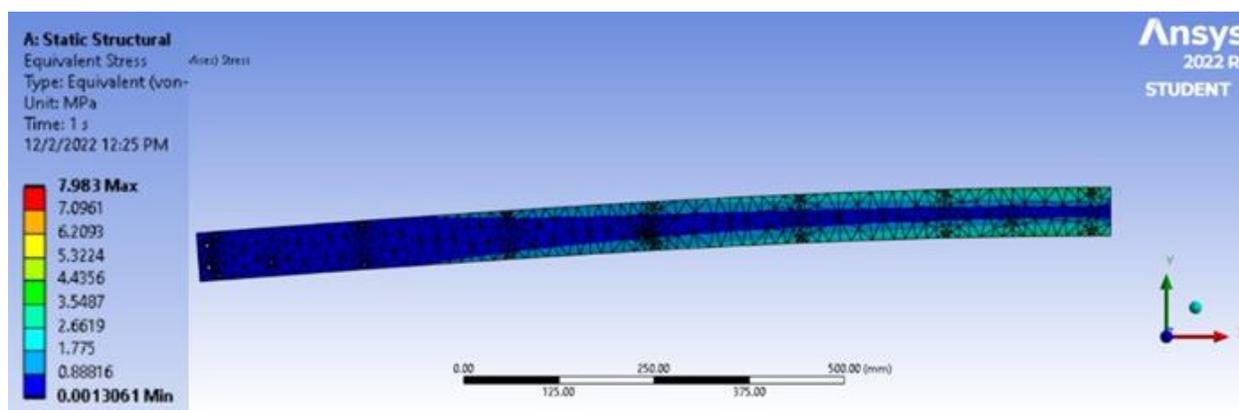


Luego de comprobar que los datos obtenidos en el software CAE ANSYS se aproximan a los datos calculados, se utilizará el mismo para calcular el esfuerzo de Von Misses y factor de seguridad en los demás elementos.

Análisis del eje X. Para la comprobación de los datos obtenidos en la sección 2.2.1, se utilizará los mismos datos para ingresar en el software y comprobar dichos resultados. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra que el esfuerzo de Von Misses máximo es de 7.98 Mpa

Figura 56

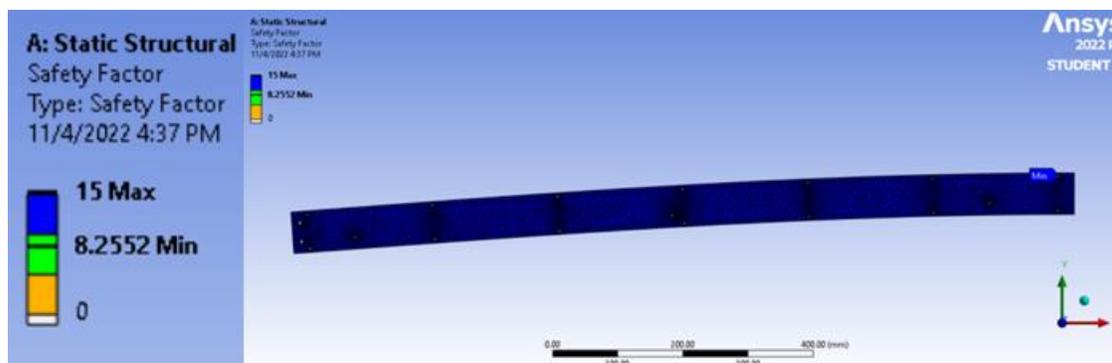
Esfuerzo de Von Misses en el eje X



Para el factor de seguridad nos fijamos en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** como se puede observar el valor máximo es de 15 y el mínimo es de 8, se puede decir que existe un sobredimensionamiento, esto se debe al material que se utiliza en este caso (A36) y las cargas aplicadas no son muy grandes.

Figura 57

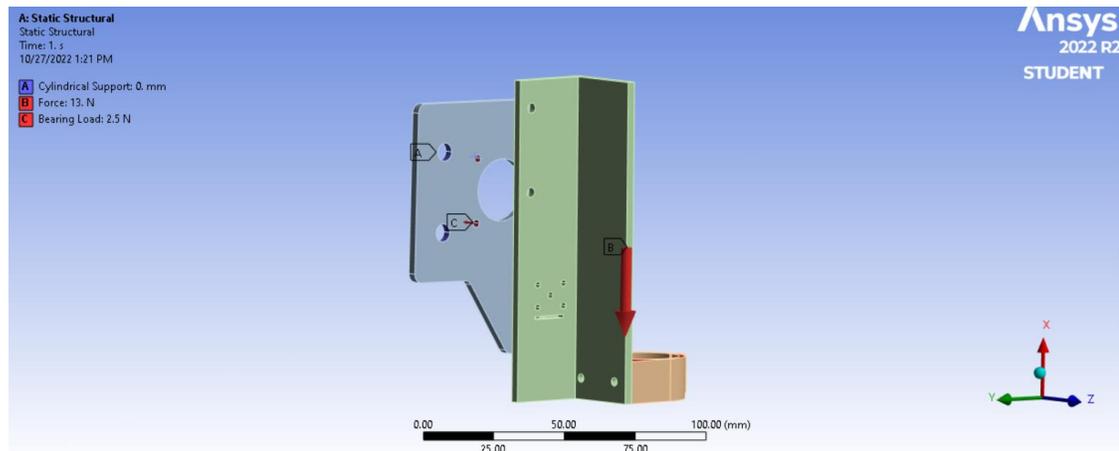
Factor de seguridad en el eje X



Análisis del eje Z. El soporte del eje Z va a aguantar el soporte del motor, el riel, la cremallera y el peso de la antorcha, el soporte estaría en la parte de los tornillos, el total de fuerza sería para el motor $2.5N$, y la antorcha sumado rieles son $13N$ mostrado en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 58

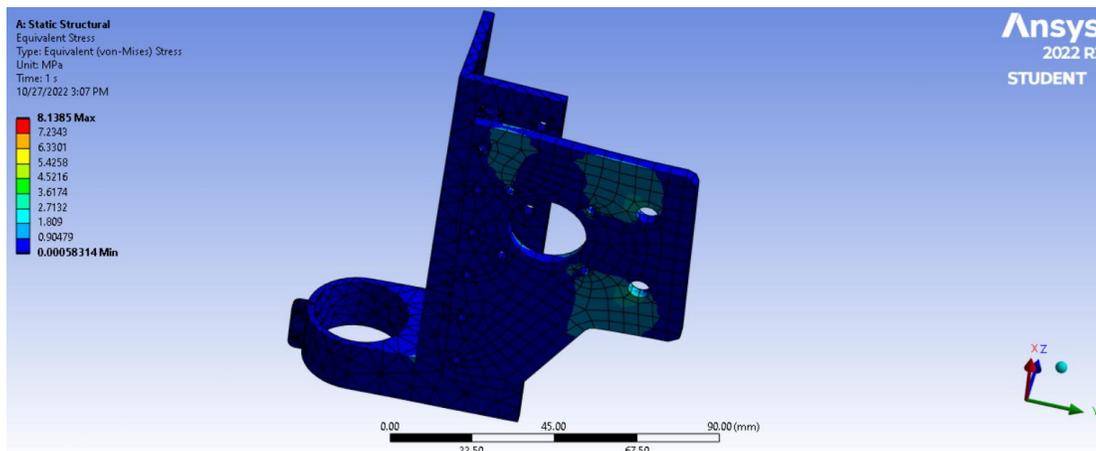
Cargas aplicadas en el eje Z



En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se puede apreciar que el esfuerzo de Von Mises es de $8.14MPa$, el máximo esfuerzo se encuentra en la parte de los tornillos que lo unen al eje X, cabe resaltar que esto se debe al material porque es rígido y necesario para este tipo de operaciones pues no se debe deformar mientras se realiza la operación de corte ya que esta debe ser exacta.

Figura 59

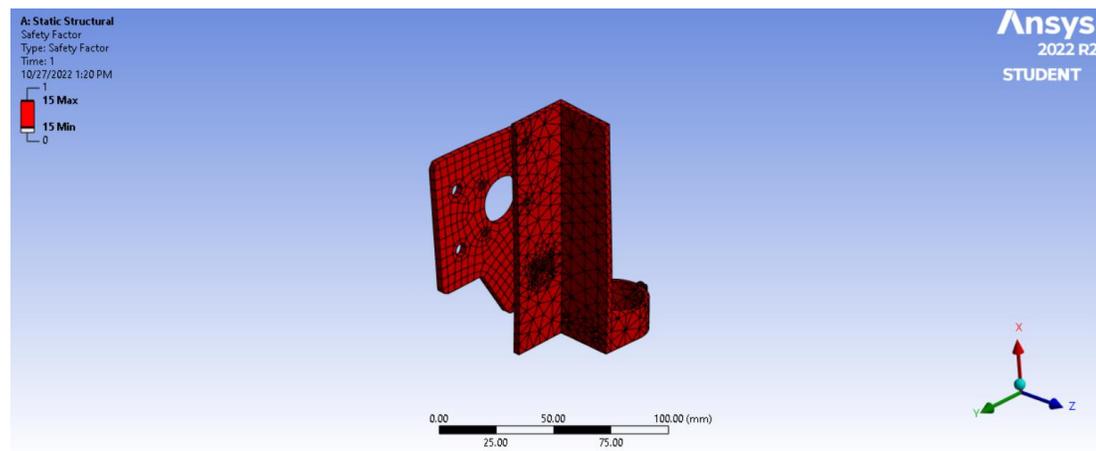
Esfuerzo de Von Mises en el eje Z



Como se describió anteriormente el material del eje Z es rígido para que la deformación sea lo mínimo posible es por eso que el valor es muy grande mínimo de 15, como se puede ver en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 60

Factor de seguridad del eje Z



Análisis dinámico

El análisis dinámico de mecanismos estudia el tipo de fuerzas y torques o momentos externos, los cuales establecen como se va a mover la máquina. Este análisis es muy importante porque se determina las posibles modificaciones que pueden suceder ya sean

tensiones o deformaciones debido a movimientos oscilatorios. Existen 3 métodos para analizar estos casos.

El método Newton plantea que sus partes rígidas son un sólo sólido perfecto, de ahí se plantea un sistema de ecuaciones diferenciales que cumplen con las leyes de Newton, expresada de la siguiente manera:

$$\begin{cases} F_i = m_i a_i \\ r_{oi} * F_i = I * a \end{cases}$$

El segundo método consiste en equilibrio dinámico, como indica su nombre se basa en equilibrar sus fuerzas físicas en un sistema de ecuaciones de varios grados de libertad en función del tiempo, se expresa de la siguiente manera:

$$F(t)_I + F(t)_D + F(t)_s = F(t)$$

Donde los vectores de fuerza en el tiempo t son:

$F(t)_I$ es un vector que indica las fuerzas de inercia que intervienen en las masas modales

$F(t)_D$. Este vector representa las fuerzas de amortiguamiento, normalmente viscos

$F(t)_s$: Hace referencia a un vector de fuerzas que actúan internamente en la estructura

$F(t)$: Con este vector se representan todas las cargas que se pueden aplicar externamente

El tercer método con el que se puede realizar el análisis dinámico es mediante software y es el que se ocupará en este caso, para el estudio hay que someter al mecanismo a excitación vibracional.

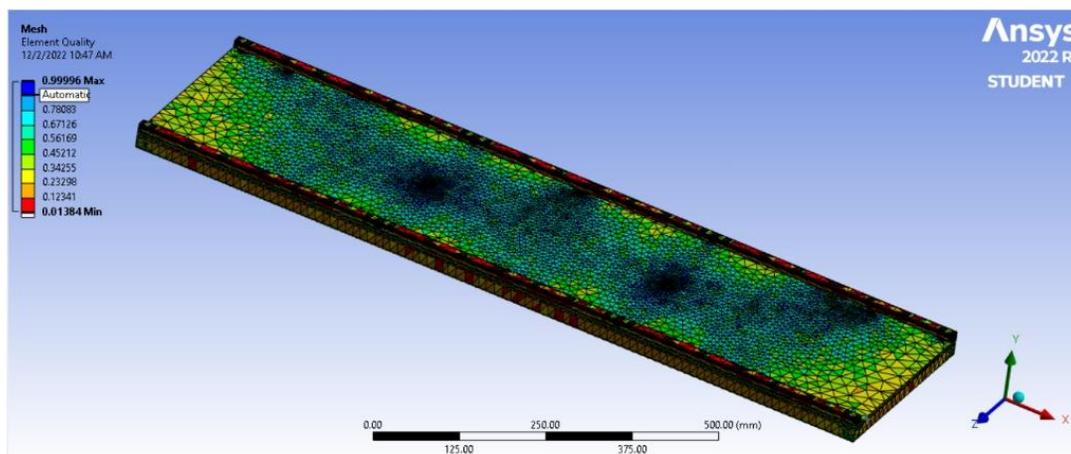
El análisis modal se utiliza para encontrar frecuencias naturales del mecanismo, esto para reducir vibraciones excesivas.

El software que se va a utilizar para este caso es ANSYS (estudiantil), a continuación, el procedimiento realizado y resultados obtenidos:

Primero se inserta un sistema de análisis modal, se carga el modelo, a continuación, se realiza el mallado como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 61

Mallado del eje Y



Luego se procede a colocar soportes y analizar las vibraciones naturales, en este caso existen 6 frecuencias naturales que causan flexión y torsión en el elemento, para este caso van desde los 115 Hz a los 523 Hz como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 62

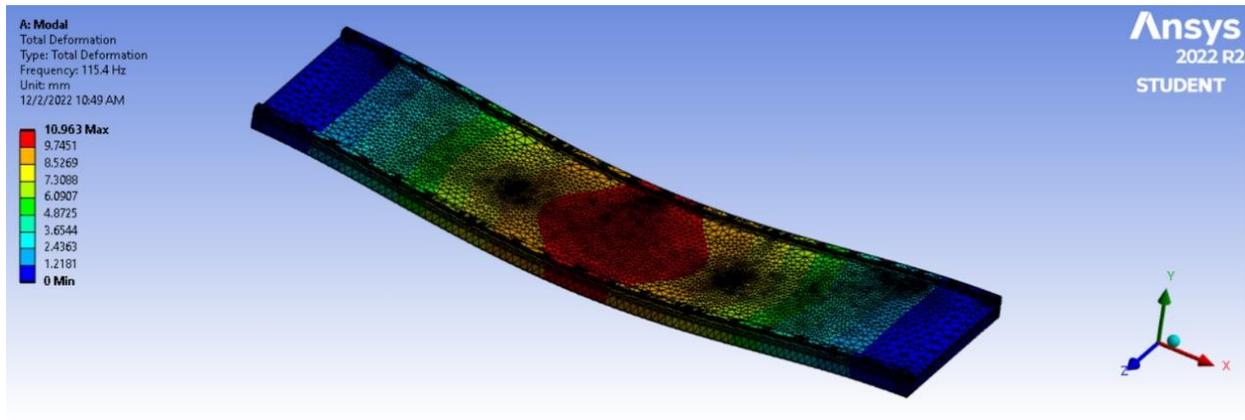
Frecuencias naturales

Tabular Data		
	Mode	<input checked="" type="checkbox"/> Frequency [Hz]
1	1.	115.4
2	2.	176.79
3	3.	286.24
4	4.	370.05
5	5.	462.76
6	6.	523.12

Las frecuencias naturales producen una deformación máxima de 10.96mm como se puede observar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 63

Deformación máxima con frecuencias naturales



Después de realizar el análisis modal, se procede con la respuesta armónica para determinar cómo se comportará el mecanismo con las fuerzas externas y comprobar que la deformación sea mínima, de igual manera el factor de seguridad sea mayor que el recomendado.

Figura 64

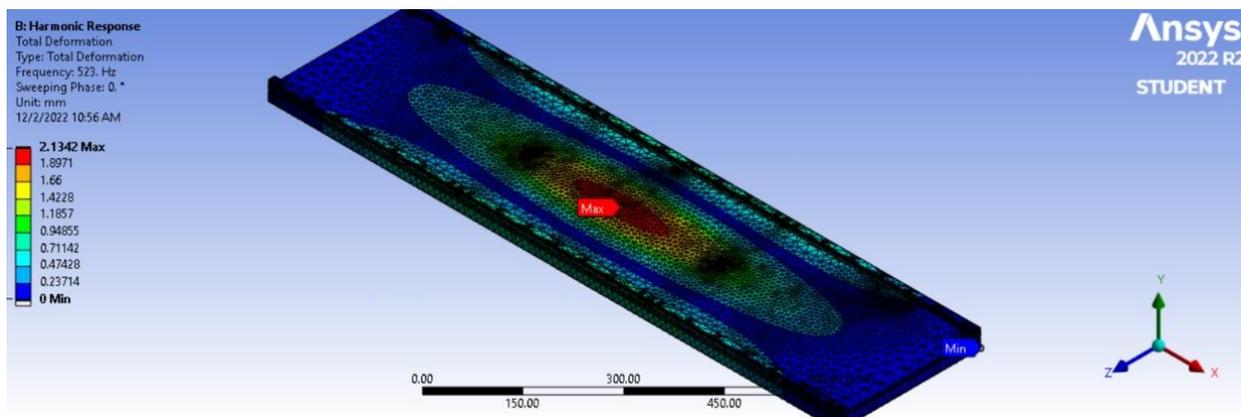
Rango de frecuencia de análisis

Details of "Analysis Settings"	
Step Controls	
Multiple Steps	No
Options	
Frequency Spacing	Linear
<input type="checkbox"/> Range Minimum	115. Hz
<input checked="" type="checkbox"/> Range Maximum	523. Hz
<input type="checkbox"/> Solution Intervals	10
User Defined Frequencies	Off
Solution Method	Mode Superposi...
Include Residual Vector	No
Cluster Results	No
On Demand Expansion	No
Store Results At All Frequencies	Yes

Como se puede observar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** la deformación es mínima alcanzando una deformación total de 2.13mm, con lo que se puede concluir que las fuerzas externas y vibraciones naturales no afectan al mecanismo en Y.

Figura 65

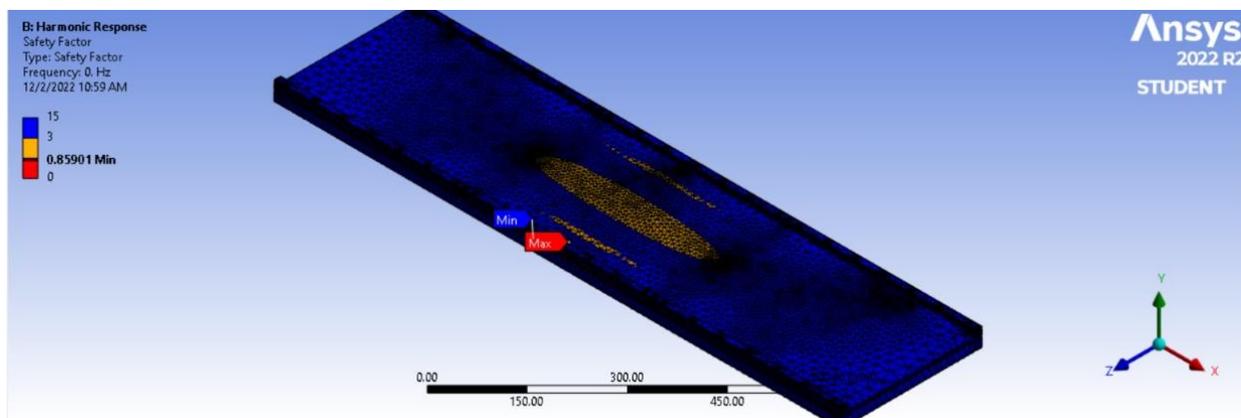
Deformación total en análisis dinámico



El factor de seguridad que se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** determina que existe un “sobredimensionamiento” en las partes que no sufren mucho esfuerzo, esto se debe al material (acero A36) y que la magnitud de fuerzas aplicadas no son muy grandes, pero en las partes que son más críticas se obtiene un factor de seguridad de 3 siendo este mayor al recomendado el cual (Mott, 2009) define como un valor de 2.

Figura 66

Factor de seguridad dinámico

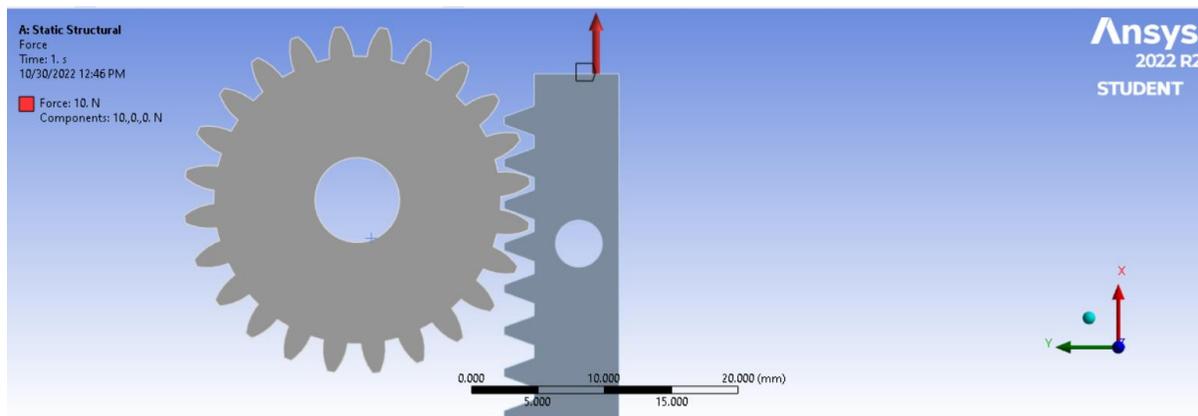


Análisis del engrane y cremallera para los ejes X, Y

Los ejes de la máquina tienen la misma longitud y para el movimiento se utilizará el sistema de piñón cremallera que alcanzará un máximo de un metro, para los dos ejes se utilizará el mismo mecanismo, luego de haberlos diseñado anteriormente, se aplicará una fuerza de 10N, los soportes estarán en los agujeros para los tornillos y se simulará un soporte remoto para el engrane como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** .

Figura 67

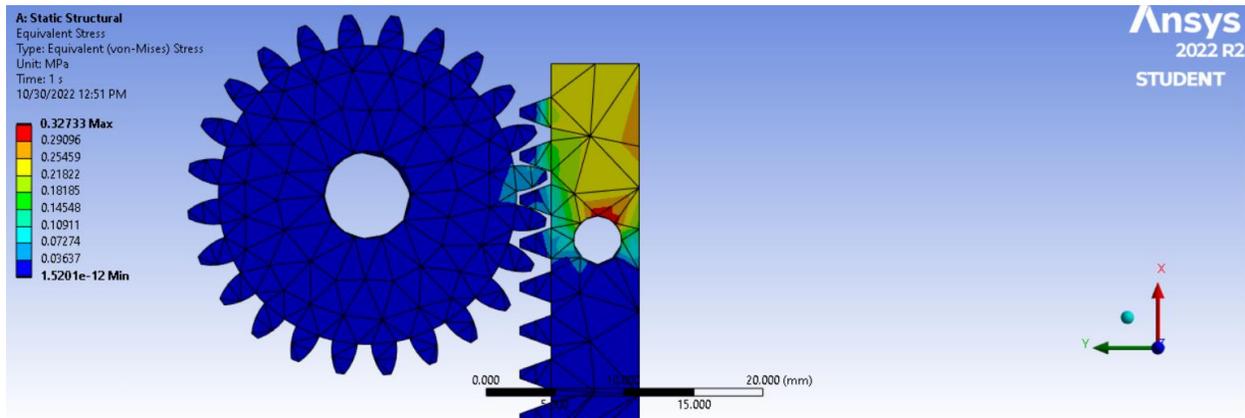
Fuerzas aplicadas al mecanismo piñón cremallera



Como se puede observar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** el esfuerzo de Von Mises es mínimo dando un valor de 0.32MPa y se encuentra en la parte de los tornillos, los dientes del mecanismo no se ven afectados.

Figura 68

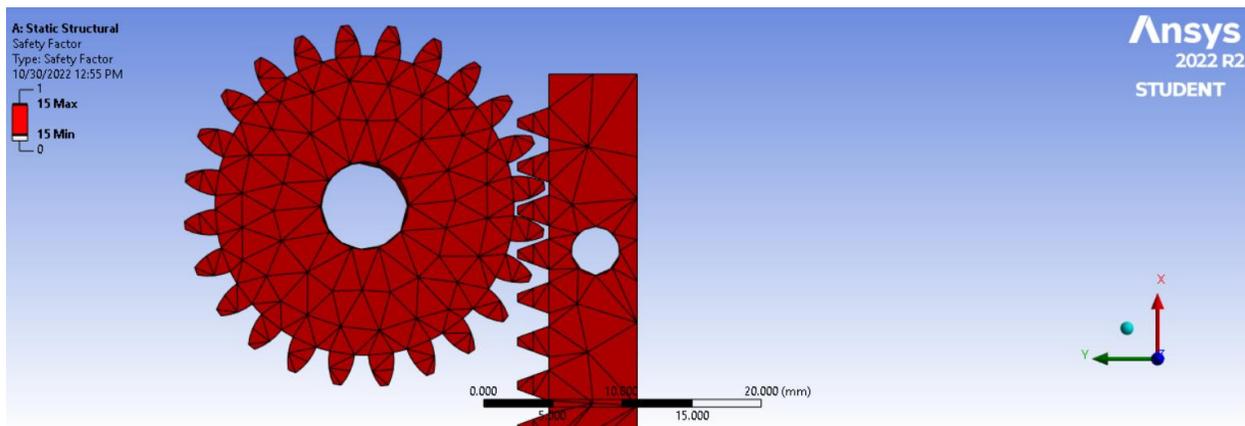
Esfuerzo de Von Mises en el mecanismo piñón cremallera



La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra el factor de seguridad es máximo por el material (AISI 1117), pues estos se encuentran en el mercado y es aceptado pues (Mott, 2009) recomienda un factor de seguridad mínimo de 3 para elementos de transmisión de potencia.

Figura 69

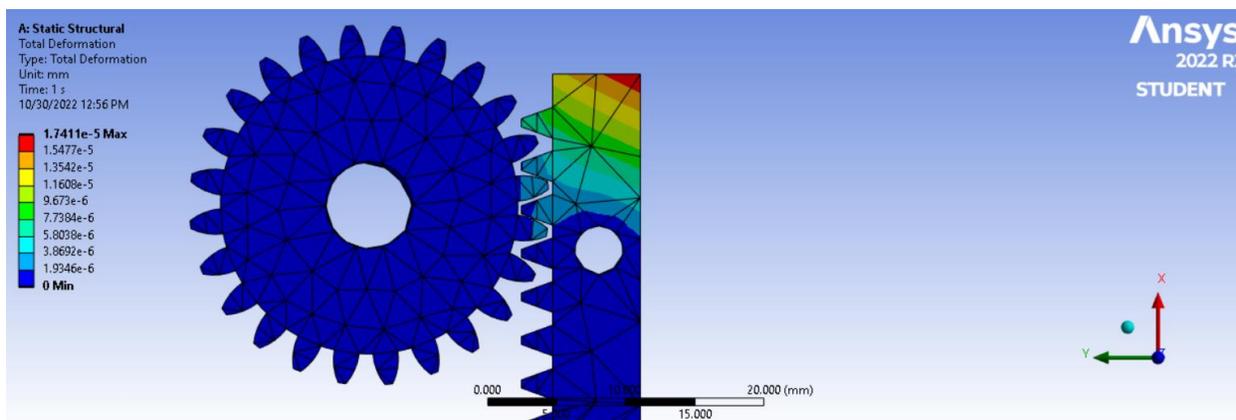
Factor de seguridad en el mecanismo piñón cremallera



Finalmente, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se puede observar que no hay deformación considerable, ni en los dientes del piñón tampoco en los dientes de la cremallera, pues produce una deformación máxima de $1.74e^{-5} \text{ mm}$.

Figura 70

Deformación en el mecanismo piñón cremallera



Selección de motores y drivers

Luego de haber calculado los valores de torque que necesitan los motores para mover los ejes del mecanismo se procede con la selección de los motores, de acuerdo a la sección **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, el torque necesario para el eje Z es de $1.147 \text{ lbf} \cdot \text{in}$, para el eje X & Y se necesita un torque similar debido a que los ejes son simétricos, precisando un valor de $13.34 \text{ lbf} \cdot \text{in}$.

Analizando estos valores y con ayuda de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se ha seleccionado un motor a pasos debido a la precisión requerida para este tipo de movimientos, cabe resaltar que al energizar un motor a pasos sus bobinas quedan enclavadas en la posición requerida, esta característica de los motores a paso, hace que sea una opción adecuada para la máquina de corte por plasma, se elegirá un motor NEMA 17 que brinda un torque es de $2.75 \text{ lbf} \cdot \text{in}$ siendo este mayor al calculado que es de $1.147 \text{ lbf} \cdot \text{in}$, este motor a pasos es de dos fases y el modelo disponible en el mercado es el 17H47H-0406A de MS TECHNOLOGY, en el Anexo 2 se especifica las características de este motor y también las conexiones.

Para el desplazamiento de los ejes X & Y se ha calculado un torque de $13.34 \text{ lbf} \cdot \text{in}$, debido a esto se procede a seleccionar un motor NEMA 24, exactamente el modelo 24HS34-

3504D de la marca MS TECHNOLOGY, el torque que entrega es de 17.704 *lbf * in* siendo mayor que el calculado, este tipo de motores se utilizan mucho en máquinas CNC como se estudió en el estado del arte, además que tienen alta calidad, son muy confiables y precio de mercado asequible, el catalogo completo se puede ver en el Anexo 3, en este también se detalla sus conexiones y características eléctricas.

Luego de describir y seleccionar los motores que se utilizaran para el movimiento de sus respectivos ejes, se procede con la selección de los drivers, para esto se basa en el estado del arte antes mencionado los tipos de drivers, los más utilizados en el mercado para los motores NEMA 23 y NEMA 17 son los: DM542T y TB6600, debido a su robustez ante el ruido y vibraciones, se utiliza en su mayor parte para el control de máquinas CNC, bordadoras, embaladoras, etc. A continuación se determinara cual es el más adecuado mediante un cuadro comparativo entre ambos drivers, considerando el mismo tipo de evaluación de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 4

Comparación entre los drivers DM542T y TB6600

Elementos de evaluación	Valor porcentaje	Driver DM542T		Driver TB6600	
		Valor	Total	Valor	Total
Costo	30%	8	2.4	10	3
Disponibilidad en el mercado	20%	7	1.4	8	1.6
Robustez ante ruido	25%	8	2	7	1.75
Robustez ante vibraciones	25%	8	2	7	1.75
	100%		7.8		8.1

Analizando la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** gana el driver TB6600 debido a que el costo y la disponibilidad en el mercado son mayores, a pesar de ser un poco menos robustos, se selecciona este modelo de driver para reducir costos y que la

máquina sea mas accesible para los artesanos. En el anexo 4 se describirá sus especificaciones eléctricas principales de driver TB6600.

Selección de la tarjeta CNC

En la sección **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se habla de los controladores más usados en las cortadoras CNC PAC, para este apartado plantearemos los parámetros de selección, como: precio, disponibilidad en el mercado, numero de ejes que puede controlar, software y hardware, estos parámetros nos llevara a la selección de la tarjeta controladora más adecuada para nuestro sistema.

Tabla 5

Controladores CNC

Elementos de evaluación		Controlador CNC Hypertherm EDGE Pro		MyPlasm CNC		PC-2-Route modelo M2 rev. 1.8	
		Valor	Total	Valor	Total	Valor	Total
Resolución	20%	8	1.6	10	2	9	1.4
Consumo de energía menor	20%	6	1.2	8	1.6	9	1.6
Precio	20%	8	1.6	10	2	9	1.2
Control de altura de la antorcha	15%	1	0.15	10	1.5	6	0.15
Software y Hardware fácil de usar	15%	9	1.35	9	1.35	8	1.05
	100%		5.7		8.4		5.4

Después de analizar la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se concluye que la tarjeta controladora más optima por sus ventajas es la MyPlasm CNC. El Cual se explicará la forma de conexión y su posterior programación.

Selección del controlador THC

Tabla 6

Controladores THC

Elementos de evaluación		Hypertherm ArcGlide		MyPlasm CNC Interface		XPTH3-300II		SH-HC30	
		Valor	Total	Valor	Total	Valor	Total	Valor	Total
Precisión	20%	8	1.6	10	2	9	1.4	10	2
Velocidad	20%	6	1.2	8	1.6	9	1.6	8	1.6
Consumo bajo de energía	20%	8	1.6	10	2	9	1.2	10	2
Control de motor eje z	15%	1	0.15	10	1.5	6	0.15	10	1.5
Software y Hardware fácil de usar	10%	9	1.35	9	1.35	8	1.05	9	1.35
Precio	10%	2	0.2	10	1	5	0.5	5	0.25
	100%		5.9		9.4		5.9		6.2

Después de analizar la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se concluye que la tarjeta controladora del THC más óptima por sus ventajas es la MyPlasm CNC, ya que esta viene incluida en la tarjeta principal. El Cual se explicará la forma de conexión y su posterior programación

Interfaz My plasm CNC (THC control)

La Figura 71 muestra el THC seleccionado, fue desarrollado especialmente para las necesidades de control de plasma mediante máquina de corte CNC. La interfaz de plasma, así como la placa base opto aislada fue diseñado de una manera que permite la eliminación de todo el hardware y software interferencias, gracias a las cuales el sistema es resistente a cualquier interferencia HF / HV generado por fuentes de plasma.

Figura 71

THC MyPlasm



Fuente de alimentación

Los drivers TP6600 pueden ser energizados con una fuente de voltaje DC de 24V-5, el consumo de corriente dependerá de cada motor en este caso se tiene 3 motores NEMA, los motores que moverán los ejes X & Y consumen 1.8A cada uno, mientras que el motor que controla el eje Z consume 0.4A, la tarjeta controladora consume 0.6A y el voltaje de entrada es de 24V.

Cálculo de cargas

Datos:

$$I_{motorX} = I_{motorY} = 1.8A \quad I_{motorZ} = 0.4A \quad I_{tarjeta} = 0.6A$$

$$I_{total} = I_{motorX} + I_{motorY} + I_{motorZ} + I_{tarjeta} = 4.6A$$

En total el consumo de corriente viene siendo de 4.6A, por lo que se busca una fuente de 24V debido a que todos los elementos seleccionados requieren ese voltaje y 5A que es el valor estándar en el mercado.

Tabla 7

Comparación entre fuentes disponibles en el mercado

Elementos de evaluación	Valor porcentaje	Fuente de voltaje BK modelo 1671A		Fuente de alimentación Mean Well DR-15-24		JOYLIT 120W fuente de alimentación de conmutación DC	
		Valor	Total	Valor	Total	Valor	Total
Costo	30%	3	0.9	5	1.5	10	3
Disponibilidad en el mercado	20%	3	0.6	5	1	10	2
Tamaño	10%	5	0.5	7	0.7	8	0.8
Protección ante cortocircuitos	20%	10	2	7	1.4	5	1
Cumple requisitos	30%	8	2.4	9	2.7	10	3
	100%		6.4		7.3		9.8

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** da como ganador a la fuente de la marca JOYLIT siendo esta la que se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, aunque no tiene buena protección contra cortocircuitos es muy asequible y fácil de encontrar en el mercado y cumple con los requisitos antes mencionados.

Figura 72

Fuente de voltaje 24V-5A



Finales de carrera

Existen diferentes tipos de finales de carrera, como los finales de carrera mecánicos, ópticos, magnéticos y capacitivos. Cada uno de estos tipos tiene sus propias ventajas y

desventajas. En general, los finales de carrera mecánicos son los más comunes y fiables, ya que son resistentes y duraderos, y pueden soportar un uso intenso en condiciones difíciles. Sin embargo, los finales de carrera ópticos y magnéticos también son populares debido a su alta precisión y facilidad de uso.

Tabla 8

Finales de carrera

Elementos de evaluación	Valor porcentaje	Mecánico		Óptico		Magnético	
		Valor	Total	Valor	Total	Valor	Total
Costo	30%	9	2.7	7	2.1	8	2.4
Disponibilidad en el mercado	20%	10	2	9	1.8	9	1.8
Uso intenso	10%	10	1	10	1	10	1
Robusto frente alta frecuencia	30%	9	2.7	7	2.1	5	1.5
Durabilidad	10%	9	0.9	9	0.9	9	0.9
	100%		9.3		7.9		7.6

Con los datos obtenidos de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, para este proyecto opta por utilizar los finales de carrera mecánicos, debido a que las altas frecuencias que se pueden generar para formar el plasma, afecten a los sensores magnéticos y ópticos. Los sensores magnéticos pueden ser sensibles a las alteraciones en los campos magnéticos y pueden verse afectados por frecuencias muy altas. Por otro lado, los sensores ópticos pueden verse afectados por la intensidad de la luz, y las altas frecuencias pueden causar interferencia en la señal que reciben.

El final de carrera SPTD (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) a utilizar, tiene 3 pines (NO, COM, NC) y un largo de palanca de 28mm, se emplearan 3 para detectar que los ejes X, Y & Z llegan a "HOME".

Figura 73

Final de carrera SPTD

**Cables**

Se utiliza cable concéntrico para conexiones de motores y alimentación en general de la máquina según la norma ASTM B 174, específicamente para la alimentación se utilizara cable concéntrico 3x18 AWG que resiste una carga eléctrica de 7A y para la conexión con los motores se opta por un cable concéntrico 4x18 AWG este tipo de cable soporta una carga eléctrica de 5.6A, suficiente ya que la corriente que pasará por los motores es de 5A máximo, , mientras que para los finales de carrera y conexiones de switchs, se utilizará cable gemelo #22 que aguanta una carga de 3A suficiente para la corriente que circulara por el cable, finalmente para la conexión entre el controlador y los drivers de motores se utilizara cable tipo bus de datos #24 aguanta una carga de 1.2A suficiente para las cargas que envía el controlador a los drives, estos datos los podemos observar en la Figura 74 y en la Figura 75 se observan los tipos de cables a utilizar.

Figura 74

Cargas eléctricas para cables AWG

AWG Cables multipolares con temperaturas hasta 30 °C

AWG	Sección del cable mm ²	Carga eléctrica en Amperio (Número de hilos)				
		hasta 3	4 - 6	7 - 24	25 - 42	43 y mas
24	0,21	2	1,6	1,4	1,2	1,0
22	0,33	3	2,4	2,1	1,8	1,5
20	0,52	5	4,0	3,5	3,0	2,5
18	0,82	7	5,6	4,9	4,2	3,5
16	1,31	10	8,0	7,0	6,0	5,0
14	2,08	15	12,0	10,5	9,0	7,5
12	3,32	20	16,0	14,0	12,0	10,0
10	5,26	30	24	21	18	15
8	8,35	40	32	28	24	20
6	13,29	55	44	38	33	27
4	21,14	70	56	49	42	35
3	26,65	80	64	56	48	40
2	33,61	95	76	66	57	47
1	42,38	110	88	77	66	55

Figura 75

Cables seleccionados para la conexión



Cable concéntrico 3x18 AWG



Cable concéntrico 4x18 AWG



Cable gemelo #22



Cable tipo bus #24

Seguridad

Las máquinas CNC deben llevar una serie de botones de seguridad para garantizar la seguridad del operador y prevenir accidentes. Estos botones suelen incluir un interruptor de encendido/apagado, un botón de paro de emergencia y un interruptor de bloqueo de puerta. También pueden incluir botones de seguridad adicionales, como un interruptor de luz de advertencia o un botón de paro de seguridad, según el tipo y el modelo de la máquina CNC en cuestión.

Según la norma IEC 60204-1 establece requisitos para el uso de códigos de colores en las máquinas eléctricas para indicar el uso o la función de los conductores y componentes eléctricos. Estos códigos de colores se utilizan para asegurar que los trabajadores puedan identificar de manera clara y rápida los conductores y componentes eléctricos y para minimizar el riesgo de errores o accidentes durante el trabajo con las máquinas.

A continuación, se proporciona una lista de algunos códigos de colores comunes utilizados en botones, interruptores y luces:

Verde: generalmente se utiliza para indicar el funcionamiento normal o el estado de "encendido" de un componente.

Rojo: generalmente se utiliza para indicar el estado de "apagado" o para alertar de una situación de emergencia.

Azul: generalmente se utiliza para indicar el estado de "apagado" o para alertar de una situación de emergencia.

Naranja: generalmente se utiliza para indicar una situación de alerta o para indicar que se está realizando un proceso de inicio o parada.

Gris o neutro: generalmente se utiliza para indicar una situación de inactividad o para componentes que no están en uso.

Tabla 9

Comparación entre luces pilotos disponibles en el mercado

Elementos de evaluación	Valor porcentaje	Luz piloto metálico verde c/led integrado 220 VAC.		Piloto luz verde Fristom FT045		Luz piloto led 22mm verde 110v	
		Valor	Total	Valor	Total	Valor	Total
Costo	30%	5	1.5	7	2.1	10	3
Disponibilidad en el mercado	20%	8	1.4	5	1.6	10	2
Tamaño	25%	5	1.25	7	1.75	8	2
Robustez ante ruido	25%	8	2	7	1.75	8	2
	100%		7.8		8.1		9

Analizando la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** la opción más adecuada es la luz piloto verde circular de 22mm, debido a su costo que es mas barato que las otras dos opciones y su disponibilidad en el mercado es mayor, además que cumple con las mismas funciones que las otras 2.

Tabla 10

Comparación entre paro de emergencia

Elementos de evaluación	Valor porcentaje	Pulsador de paro con liberación de llave		Interruptor de paro de emergencia por tracción de cable		Pulsador de paro con liberación de giro	
		Valor	Total	Valor	Total	Valor	Total
Costo	30%	5	1.5	7	2.1	9	2.7
Disponibilidad en el mercado	20%	8	1.4	5	1.6	10	2
Vuelta de puesta en marcha	25%	7	1.75	5	1.25	8	2
Protección ante corrosión	25%	7	1.75	8	2	7	1.75
	100%		6.4		6.95		8.45

El resultado más alto de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** es 8.45 que corresponde a un pulsador de paro con liberación de giro, debido al costo menor y la puesta en marcha es más fácil que las demás.

Tabla 11*Comparación entre interruptores puesta en marcha*

Elementos de evaluación	Valor porcentaje	Botón pulsador doble paro/arranque		Botón pulsador		Interruptor giro de perilla de dos posiciones	
		Valor	Total	Valor	Total	Valor	Total
Costo	30%	8	2.7	2.4	2.1	9	2.7
Disponibilidad en el mercado	20%	9	1.8	8	1.6	10	2
Seguro	25%	9	2.25	7	1.75	9	2.25
Protección ante corrosión	25%	7	1.75	7	1.75	7	1.75
	100%		8.5		7.2		8.7

De acuerdo a la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** el ganador es el interruptor de perilla de dos posiciones por un poco a comparación del botón pulsador doble debido a su precio, aunque hay que reconocer que ambos son seguros pus indican de una forma mas clara que la máquina está activa en caso de alguna falla con la luz piloto.

Tabla 12*Comparación entre fusibles*

Elementos de evaluación	Valor porcentaje	Fusible rápido		Fusible lento		Interruptor termomagnético	
		Valor	Total	Valor	Total	Valor	Total
Costo	30%	7	2.1	9	2.7	7	2.1
Disponibilidad en el mercado	20%	9	1.8	9	1.8	9	1.8
Nivel de protección de elementos	25%	9	2.25	7	1.75	9	2.25
Ligero y fácil replazo	25%	9	2.25	9	2.25	7	1.75
	100%		8.4		8.5		7.9

A pesar de que el resultado de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** da como ganador al fusible lento por 0.1 se optará por la selección de un fusible rápido de 5A ya que los elementos que protege el fusible si es lento al tardar su desconexión puede llegar a

quemarlos y el precio del fusible rápido comparado con los drivers y tarjeta controladora es grande.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se puede observar los elementos físicos que se seleccionó anteriormente.

Figura 76

Elementos de seguridad para la maquina CNC



Sistema de control

Determinados todos los elementos electrónicos, requeridos para la implementación del sistema de control, y previo a desarrollar el mapa de conexiones, se procede a el funcionamiento del sistema electrónico y el esquema de conexión de los actuadores con la tarjeta de control, como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 77

Sistema de control del proyecto

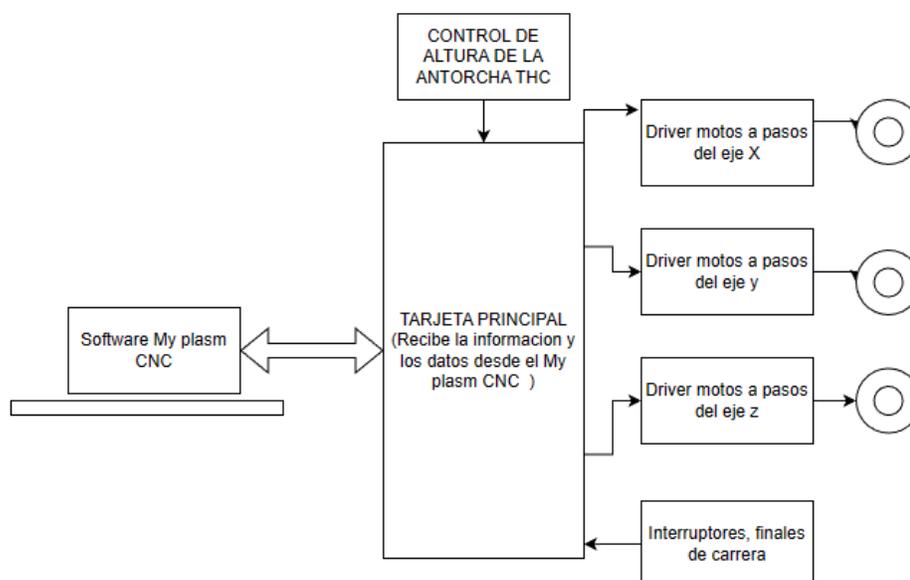


Diagrama de bloques para la construcción del sistema mecánico

La construcción se va a realizar siguiendo el orden del diagrama de flujo como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 78

Diagrama secuencia de construcción del sistema mecánico

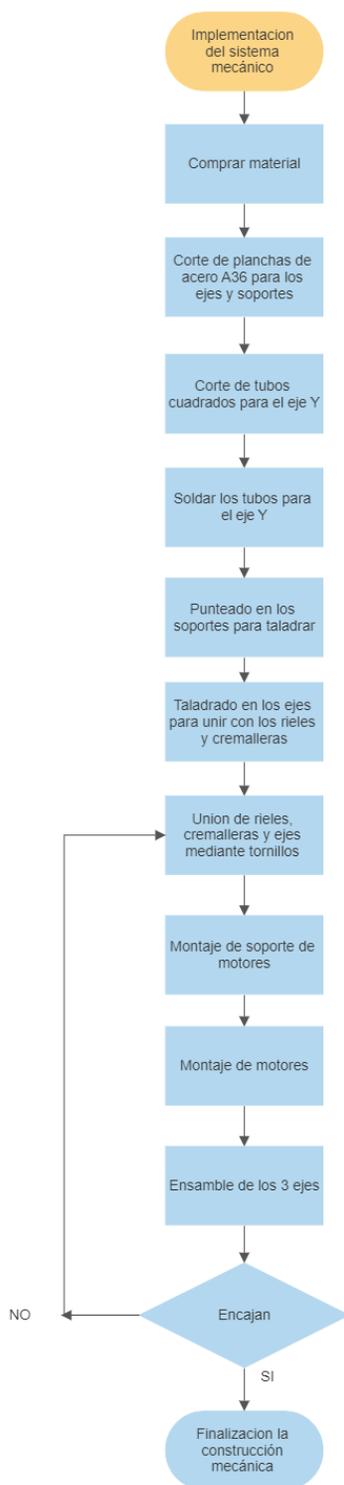
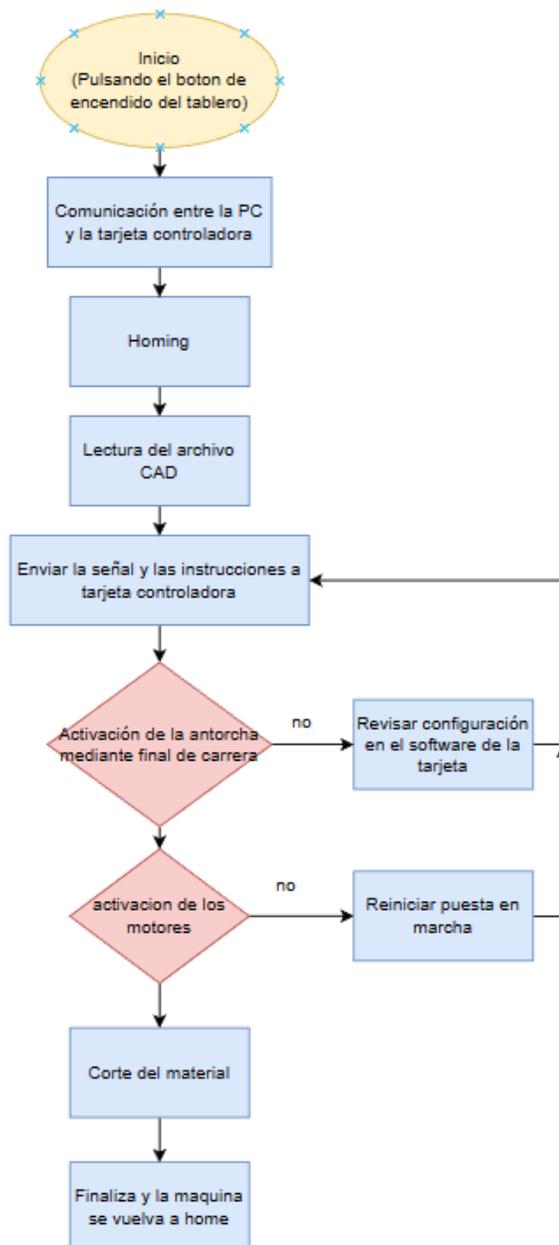


Diagrama secuencia del funcionamiento de la máquina

A continuación, se detalla el proceso del funcionamiento de la máquina mediante un diagrama de flujo como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Figura 79

Diagrama secuencia del funcionamiento de la máquina



Capítulo III

Implementación y configuración del sistema mecatrónico

Finalizado el CAPITULO II que consistía en seleccionar los materiales, elementos electrónicos y mecánicos, en este capítulo se describirá los procesos que se llevaron a cabo para la construcción e implementación del sistema mecatrónico.

Construcción del sistema mecánico

Para el presente proyecto se utilizaron varias herramientas y equipos que facilitarían la construcción del sistema mecatrónico, estos se detallan en las **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Tabla 13

Máquinas y herramientas utilizadas para la construcción del equipo mecatrónico

N.º	Máquinas y herramientas
1	Cortadora plasma
2	Sierra tronzadora
3	Pulidora
4	Taladro de banco
5	Taladro manual
6	Soldadora GMAW
7	Compresor
8	Esmeril
9	Moladora
10	Flexómetro
11	Calibrador pie de rey
12	Pinzas de presión
13	Escuadra magnética
14	Machuelos
15	Destornilladores
16	Electrodo consumible
17	Nivelador de mano
18	Brocas
19	Pelador de cables
20	Cautín
21	Estaño
22	Multímetro

Con la ayuda de las herramientas y maquinaria detallada anteriormente se realizaron varias operaciones para la construcción del equipo mecatrónico, los cuales se detallan a continuación.

Corte

Para el corte de la plancha de acero ASTM A36 se utilizó una CNC de corte plasma industrial, mediante los diseños CAD en formato DXF, se obtuvo los ejes y soportes que se van a soldar (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), por otra parte, el corte de tubo cuadrado, rieles y cremalleras se lo realizó con la ayuda de una sierra tronzadora.

Figura 80

Corte de partes mediante plasma



Soldado y pintado

Luego de terminar con los cortes de todas las piezas se procede a unirlos mediante proceso de soldadura GMAW, entre ellos los tubos con la placa del eje Y, de igual manera los soportes de motores, luego de realizar un desbaste de excedente de material se envió las piezas a pintarlas mediante pintura electroestática, para que la alta frecuencia de la máquina plasma no la afecte la electrónica de la cortadora CNC, el resultado se puede observar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 81

Ejes soldados y pintados

***Unión de rieles cremalleras con los ejes***

La unión de rieles y cremalleras con los ejes se hizo mediante tornillos M6, para esto se taladro varios agujeros dependiendo las distancias entre cada agujero del riel y cremallera como se puede observar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 82

Unión de los ejes y rieles mediante tornillos

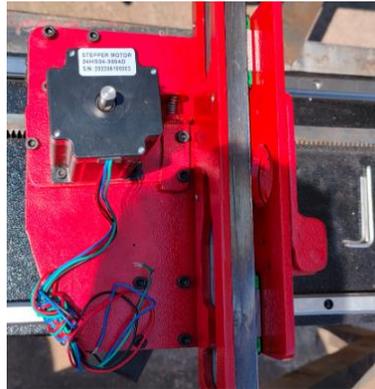
***Montaje de motores***

Después de montar los soportes de motores con los rieles en sus respectivos ejes, se debe acoplar los mismos, para ellos primero hay que colocar el piñón en el eje de cada motor y

luego cuadrar los agujeros del motor con los del soporte y ajustarlos con sus respectivos tornillos como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Figura 83

Acople del motor



Ensamble de todos los ejes

Finalmente, luego de tener todos los ejes armados con sus rieles, cremalleras y motores, se procede a ensamblarlos, para ello se inicia con el eje X, uniendo el soporte de motor con el eje X haciendo que se acople el piñón del motor con su cremallera, de la misma manera hay que repetir esto con el eje Z como se indica en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 84

Ensamble de todos los ejes



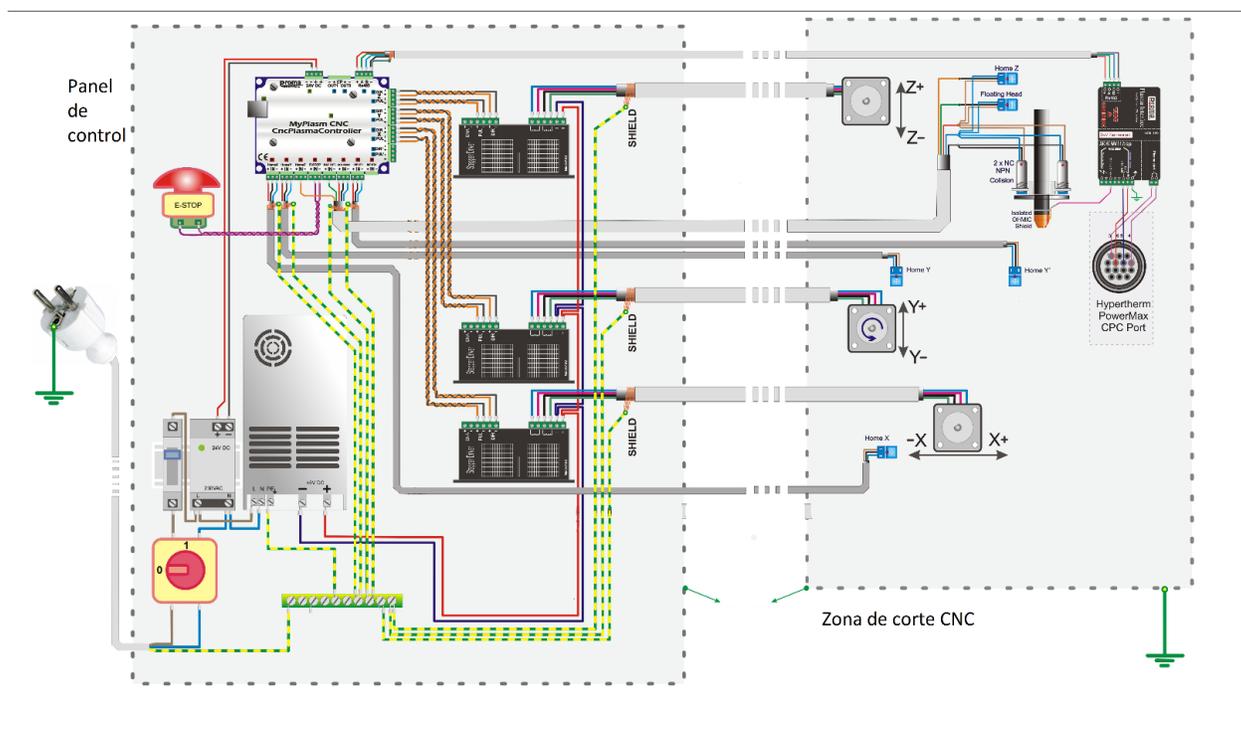
Conexiones del sistema eléctrico

En primer lugar, conectar el controlador CNC MyPlasm con la interfaz de plasma, conectar la fuente de alimentación de 24 V CC (fuente de alimentación con una capacidad

mínima de 0,7 A) y conectar el cable USB a un ordenador con el software CNC MyPlasm instalado previamente como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 85

Conexión del sistema eléctrico

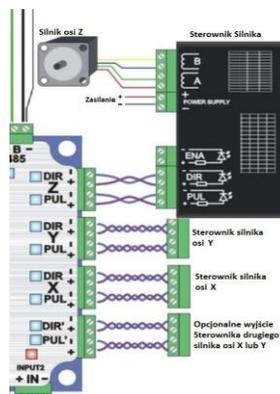


Conexión y configuración de los motores

El controlador CNC MyPlasm dispone de salidas PUL/DIR (Step/Dir) para controlar 4 motores paso a paso, servomotores paso a paso o servo accionamientos. Para minimizar el impacto de las interferencias en las señales de control, las conexiones deben realizarse con pares de hilos trenzados como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 86

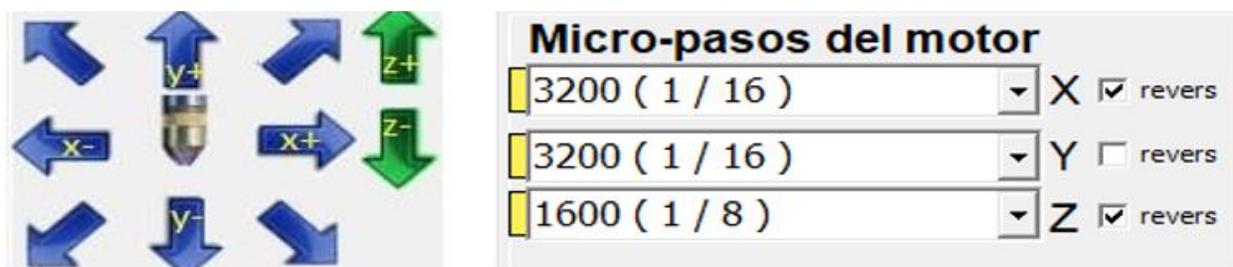
Conexión de los motores con sus respectivos drivers y la placa controladora



Una vez conectado los motores se comprueba y ajusta la dirección de los ejes como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 87

Configuración de los ejes



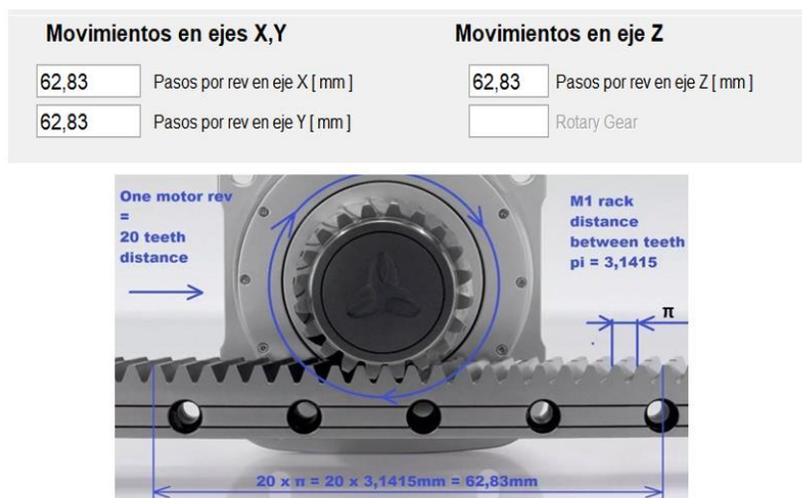
El siguiente paso consiste en determinar los parámetros de engranaje de los distintos ejes.

Cabe recalcar que la determinación correcta de la división de los pasos, estos son los parámetros más importantes que influyen en el funcionamiento eficaz (rápido, suave y preciso) de la máquina.

En la pestaña configuración de la máquina, debe especificarse el desplazamiento del eje por una rotación del motor como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 88

Configuración de los motores a pasos de los 3 ejes

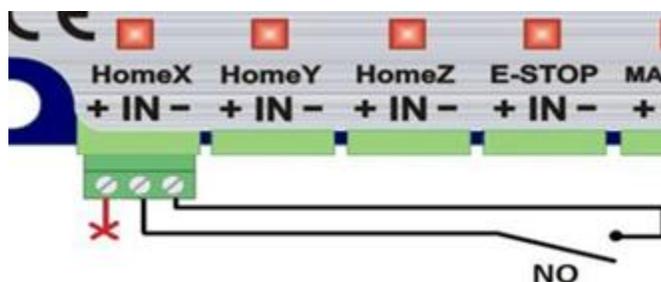


Conexión de los interruptores mecánicos

La conexión en para los sensores se pueden ver en la Figura 89. En este caso se usó un sensor mecánico (final de carrera).

Figura 89

Conexión de los interruptores



Base automática (utilizando límites basados en HOME)

Para un correcto Homing de la máquina (ajuste de los puntos de referencia) los sensores / interruptores HOME deben estar correctamente conectados.

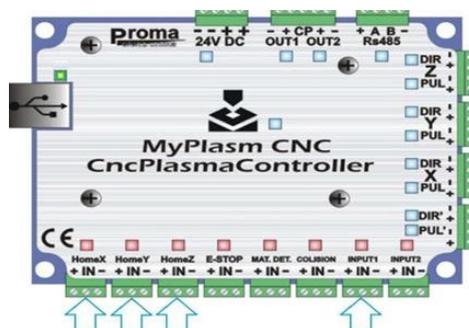
Sensores/interruptores Inicio para los ejes X, Y pueden montarse a ambos lados del eje (para puntos cero o máximo).

Para el eje Z, el sensor HOME Z debe montarse en su posición superior.

Las entradas básicas para los sensores son HomeX HomeY y HomeZ. La entrada Home para el eje esclavo X/Y (si se utiliza) es INPUT1, como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 90

Entrada de la placa madre



Conexión y configuración de la fuente de plasma

MyPlasm CNC (THC)

El sistema CNC MyPlasm (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**) funciona con cualquier fuente de plasma, pero las fuentes baratas / chinas con ionizadores HV / HF generan interferencias muy altas, por lo que cuando el arco se enciende o se apaga, a veces pueden generar problemas en el computador. El impacto de las interferencias puede minimizarse en gran medida alejando el cable de la antorcha y la fuente de plasma del sistema de automatización.

Figura 91

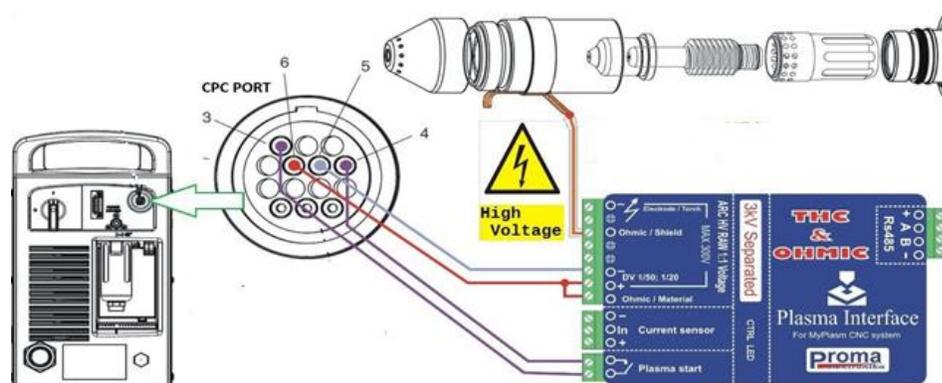
Plasma interface THC



La conexión de la fuente de plasma se realiza mediante una interfaz opto aislada, que controla el encendido de la cortadora, la medición de la tensión del arco (con el fin de controlar la altura del THC) y lleva incorporado un sistema de detección de contacto del material (para antorchas equipadas con una cubierta de boquilla aislada diseñada a tal efecto), como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Figura 92

Conexión del puesto PCP al THC



Configuración de la interfaz de plasma.

A continuación, se va a detallar la configuración de la interfaz de plasma como muestra la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Figura 93

Configuración de la plasma

CONFIGURACION DEL PLASMA

Activado

Divisor de voltaje

Calibración de voltaje [%]

Altura del arco máx.[mm]

0-100 Velocidad del THC

Esperar Arco Ok

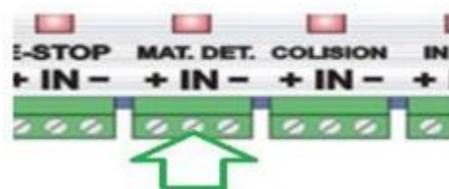
Sistema de detección de la altura del material.

El cabezal flotante, que es el método que hemos seleccionado para este proyecto (la antorcha se coloca sobre una guía adicional, activando el final de carrera al encontrarse con el material) es un sistema de detección mecánico, que resulta muy fiable para detectar materiales sucios, corroídos o pintados/encolados.

La entrada de detección - sensor / extremo del cabezal flotante está marcada como: MAT.DET., como se puede observar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Figura 94

Pines para conectar el final de carrera para la detección del material



MyPlasm CNC permite utilizar ambos sistemas al mismo tiempo (reconociendo automáticamente qué sistema se ha activado), lo que hace que el sistema de detección de la altura del material sea muy rápido, preciso y fiable.

La configuración se realiza a través de la pestaña ajustes, como indica la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Figura 95

Ventana de ajustes para el eje Z

Altura inicial en Z

Test

Sensor óhmico Corrección óhmica [mm]

Cabezal Z flotante Corrección de cambio[mm]

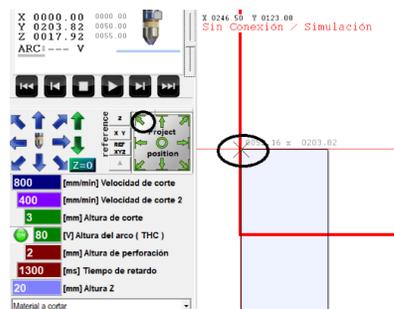
Altura de detección[mm] Velocidad de detección

Posicionamiento del proyecto

Hay varias formas de determinar la posición de un proyecto. Es establecer correctamente los ejes y posicional la antorcha donde queremos que empiece el corte, como podemos observar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 96

Posicionamiento de la antorcha



La posición del eje Z (altura) se puede determinar más fácilmente tocando el material con la antorcha y haciendo clic en Z = 0, el icono que se muestra el la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 97

Cero del eje z



Capítulo IV

Pruebas y resultados

La norma ISO 10360-2 especifica los métodos de ensayo para evaluar la precisión de las máquinas de medición por coordenadas (CMM, por sus siglas en inglés). Esta norma forma parte de una serie de normas desarrolladas por la Organización Internacional de Normalización (ISO) que abarcan el campo de las CMM.

La norma ISO 10360-2, publicada por primera vez en 2009, reemplaza a la edición anterior, ISO 10360-2:2001. La norma proporciona orientación sobre cómo realizar y informar los resultados de los ensayos utilizados para determinar la precisión de una CMM. Incluye requisitos sobre las condiciones de ensayo, las piezas de ensayo y los métodos de ensayo para evaluar la precisión de las CMM, así como orientación sobre cómo interpretar y informar los resultados de estos ensayos. La norma está destinada a ser utilizada por fabricantes y usuarios de CMM, así como por laboratorios de calibración y ensayo, para garantizar que las CMM sean precisas y capaces de realizar el nivel de precisión requerido.

Herramientas de medición

Se va a utilizar dos herramientas en específico para la recolección de datos, un reloj comparador que servirá para medir el error que se tiene al desplazar los ejes y un calibrador pie de rey para las diferentes figuras geométricas que se van a cortar, con esto se planea encontrar el error de longitud (EL), la repetibilidad (R0) siendo este valor la diferencia entre el dato más alto y el más mínimo de las mediciones tomadas del error de longitud, finalmente el error máximo permitido (MPE) que se define como el valor más extremo del error de medición del longitud (EL).

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran los puntos en donde se van a tomar las medidas de los ejes para representarlos en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 98

Posiciones de medida del reloj comparador

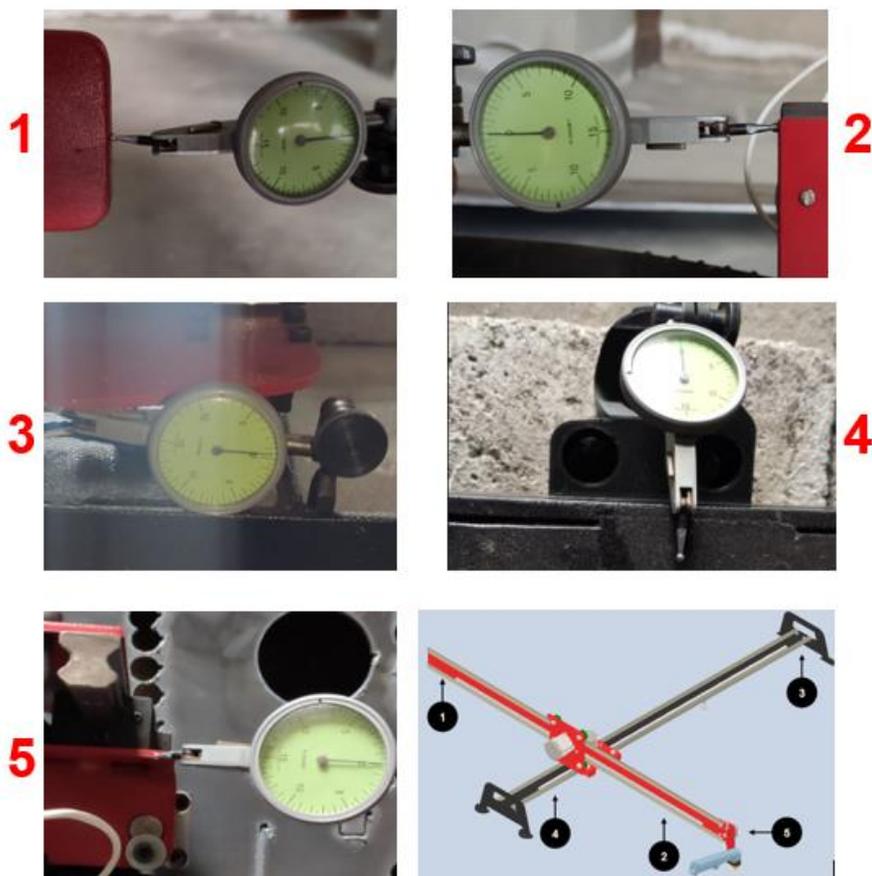


Tabla 14

Valores obtenidos con el reloj comparador

Ejes	Posición del reloj comparador	Longitud (mm)	Valor medido			Error de longitud (EL)		
			L1	L2	L3	E1	E2	E3
X	1	1000	1000.7	1000.72	1000.7	0.7	0.72	0.7
		500	500.3	500.32	500.31	0.3	0.32	0.31
		250	250.18	250.15	250.18	0.18	0.15	0.18
		125	125.12	125.1	125.11	0.12	0.1	0.11
		50	50.08	50.05	50.06	0.08	0.05	0.06
	2	1000	1000.71	1000.7	1000.7	0.71	0.7	0.7
		500	500.33	500.32	500.32	0.33	0.32	0.32
		250	250.16	250.17	250.17	0.16	0.17	0.17
		125	125.12	125.11	125.11	0.12	0.11	0.11
		50	50.12	50.11	50.13	0.12	0.11	0.13
Y	3	1000	1000.21	1000.22	1000.21	0.21	0.22	0.21
		500	500.15	500.14	500.16	0.15	0.14	0.16
		250	250.1	250.11	250.1	0.1	0.11	0.1
		125	125.08	125.09	125.08	0.08	0.09	0.08
		50	50.05	50.04	50.05	0.05	0.04	0.05
	4	1000	1000.23	1000.21	1000.21	0.23	0.21	0.21
		500	500.13	500.13	500.12	0.13	0.13	0.12
		250	250.11	250.1	250.1	0.11	0.1	0.1
		125	125.07	125.08	125.08	0.07	0.08	0.08
		50	50.04	50.03	50.04	0.04	0.03	0.04
Z	5	10	10.08	10.1	10.1	0.08	0.1	0.1
		5	5.05	5.1	5.05	0.05	0.1	0.05
		2.5	2.55	2.6	2.6	0.05	0.1	0.1

Precisión

Teniendo en cuenta la norma ISO 10360-2 y con la ayuda de los datos de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se grafican los errores en los 3 ejes X, Y & Z

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra la dispersión de los errores calculados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** específicamente del eje X en las posiciones asignadas (1 y 2), como se puede observar el error es directamente proporcional a la longitud es decir, aumenta a medida que se incrementa la longitud, el error

máximo permitido es de 0.29 con longitud máxima de 1000mm con una repetibilidad de 0.02 como muestra la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 99

Gráfica de errores en X

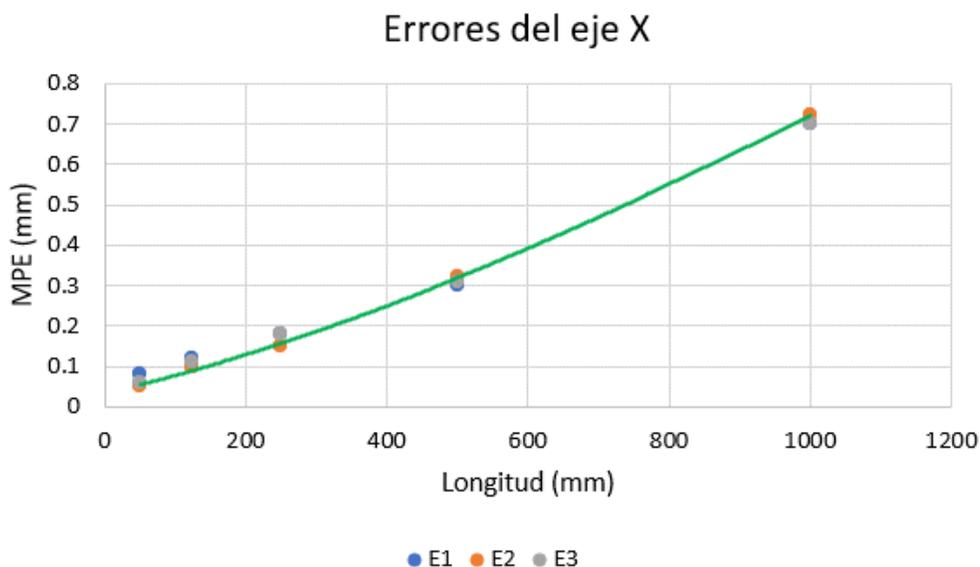


Tabla 15

Promedio de errores en el eje X

Eje	Posición del reloj comparador	Longitud (mm)	Error de longitud (EL)			R0	MPE
			E1	E2	E3		
X	1	1000	0.7	0.72	0.7	0.02	0.72
		500	0.3	0.32	0.31	0.02	0.32
		250	0.18	0.15	0.18	0.03	0.18
		125	0.12	0.1	0.11	0.02	0.12
		50	0.08	0.05	0.06	0.03	0.08
	2	1000	0.71	0.7	0.7	0.01	0.71
		500	0.33	0.32	0.32	0.01	0.33
		250	0.16	0.17	0.17	0.01	0.17
		125	0.12	0.11	0.11	0.01	0.12
		50	0.12	0.11	0.13	0.02	0.13

Para el eje Y se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** la dispersión del error según las posiciones asignadas (3 y 4), como se puede observar el error es directamente proporcional a la longitud, es decir, aumenta a medida que se incrementa la longitud, el error máximo permitido es de 0.12 con longitud máxima de 1000mm con una repetibilidad de 0.01 como muestra la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 100

Gráfica de errores en Y

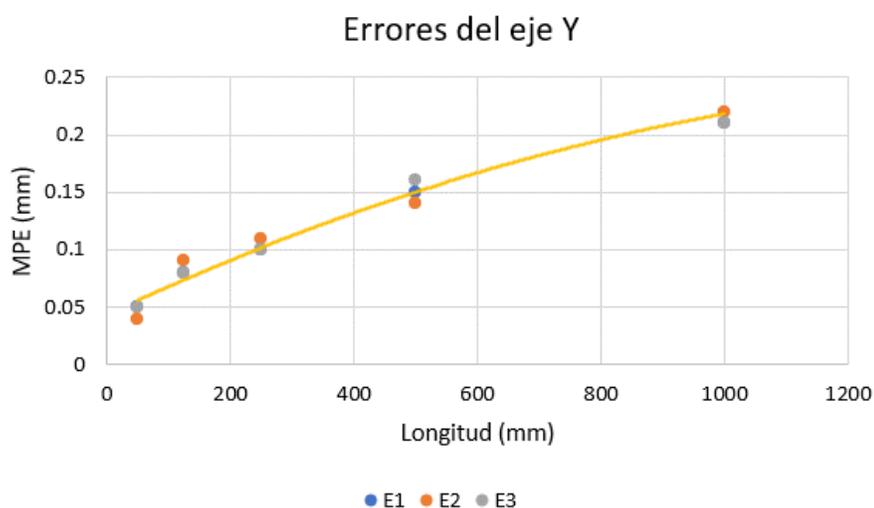


Tabla 16

Promedio de errores en el eje Y

Ejes	Posición del reloj comparador	Longitud (mm)	Error de longitud (EL)			R0	MPE
			E1	E2	E3		
Y	3	1000	0.21	0.22	0.21	0.01	0.22
		500	0.15	0.14	0.16	0.02	0.16
		250	0.1	0.11	0.1	0.01	0.11
		125	0.08	0.09	0.08	0.01	0.09
		50	0.05	0.04	0.05	0.01	0.05
	4	1000	0.23	0.21	0.21	0.02	0.23
		500	0.13	0.13	0.12	0.01	0.13
		250	0.11	0.1	0.1	0.01	0.11
		125	0.07	0.08	0.08	0.01	0.08
		50	0.04	0.03	0.04	0.01	0.04

Finalmente la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra la dispersión de los errores calculados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** específicamente del eje Z en la posición asignada (5), como se puede observar el error no varía mucho puesto que la distancia que recorre es muy pequeña, el error máximo permitido es de 0.1 con longitud máxima de 10 con una repetibilidad de 0.02 como muestra la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 101

Gráfica de errores en Z

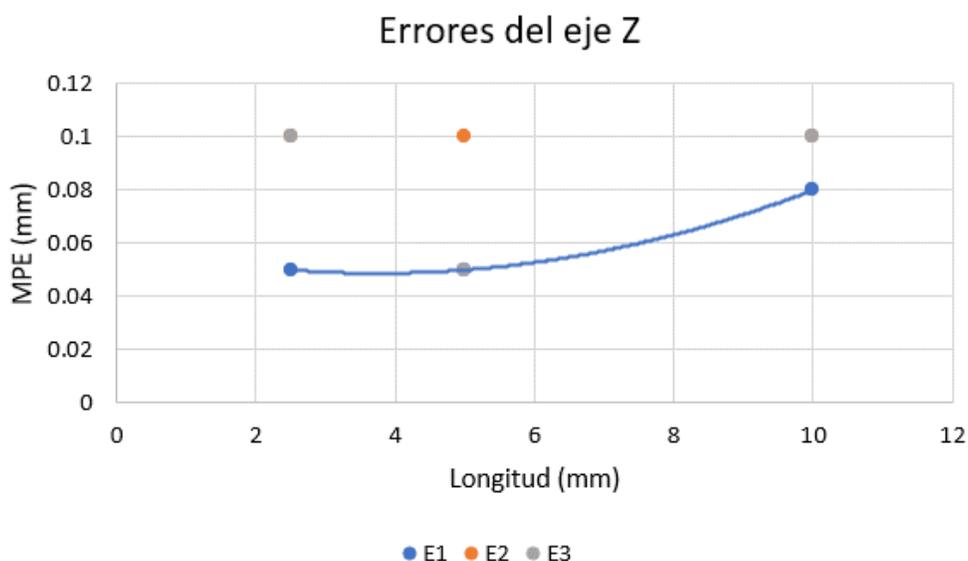


Tabla 17

Promedio de errores en el eje Z

Ejes	Posición del reloj comparador	Longitud (mm)	Error de longitud (EL)			R0	MPE
			E1	E2	E3		
Z	5	10	0.08	0.1	0.1	0.02	0.1
		5	0.05	0.1	0.05	0.05	0.1
		2.5	0.05	0.1	0.1	0.05	0.1

Para obtener la precisión de la máquina se realiza el promedio de los datos obtenidos de todos los ejes dando como precisión promedio 0.17mm con una repetibilidad de 0.02 como indica la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 18

Precisión de la cortadora plasma portátil

Posición del reloj comparador	Longitud (mm)	R0	MPE
1	1000	0.02	0.72
	500	0.02	0.32
	250	0.03	0.18
	125	0.02	0.12
	50	0.03	0.08
2	1000	0.01	0.71
	500	0.01	0.33
	250	0.01	0.17
	125	0.01	0.12
	50	0.02	0.13
3	1000	0.01	0.22
	500	0.02	0.16
	250	0.01	0.11
	125	0.01	0.09
	50	0.01	0.05
4	1000	0.02	0.23
	500	0.01	0.13
	250	0.01	0.11
	125	0.01	0.08
	50	0.01	0.04
5	10	0.02	0.1
	5	0.05	0.1
	2.5	0.05	0.1
Promedio		0.02	0.17

Pruebas de corte en Acero al carbono

Para las siguientes pruebas se van a realizar cortes de cuadrados, triángulos y círculos de diferentes tamaños, para determinar el error que se produce entre el diseño y corte midiendo desde varios puntos.

Corte de cuadrados

Para este caso se procede realizar cortes de cuadrados en 3 medidas diferentes, siendo pequeño 10mm, mediano 500mm y grande la máxima dimensión de corte 1000mm, para tener varios datos y determinar de mejor manera el error se a tomar varias medidas como lo muestra la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y se detalla en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 102

Posiciones en el cuadrado que serán medidas

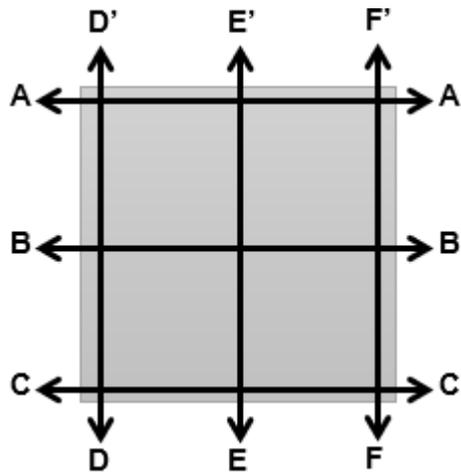


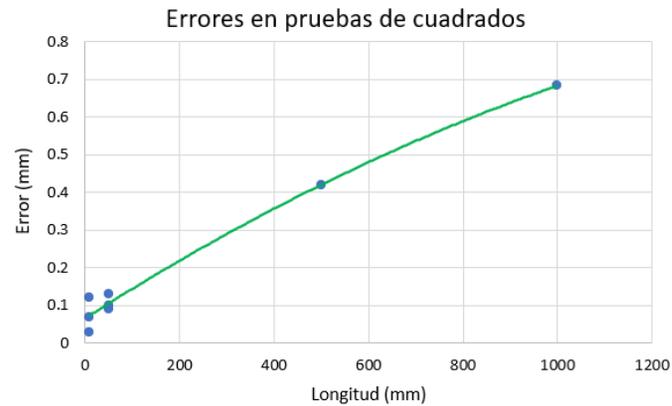
Tabla 19

Cortes de cuadrados en mm

Prueba	Tamaño	A-A'	B-B'	C-C'	D-D'	E-E'	F-F'	Error1	Error2	Error3	Error4	Error5	Error6	Promedio
Pequeño1	10	10.03	10	10.05	9.94	9.97	10.03	0.03	0	0.05	0.06	0.03	0.03	0.03
Pequeño2	10	9.94	9.93	9.95	9.9	9.93	9.95	0.06	0.07	0.05	0.1	0.07	0.05	0.07
Pequeño3	10	10.07	10.5	10.6	9.98	10.01	9.98	0.07	0.5	0.6	0.02	0.01	0.02	0.12
Pequeño4	50	50.12	50.15	50.14	50.09	50.15	50.11	0.12	0.15	0.14	0.09	0.15	0.11	0.13
Pequeño5	50	50.1	50.08	50.09	50.13	50.11	50.1	0.1	0.08	0.09	0.13	0.11	0.1	0.10
Pequeño6	50	50.15	50.15	50.13	50	50.05	50.08	0.15	0.15	0.13	0	0.05	0.08	0.09
Error promedio en cuadrados pequeños														0.08
Mediano	500	500.5	501	501	500	500.5	501.5	0.5	1	1	0	0.5	1.5	0.42
Grande	1000	1000.7	1000.75	1000.7	1000.6	1000.65	1000.7	0.7	0.75	0.7	0.6	0.65	0.7	0.68
Error promedio en cuadrados grandes														0.61

Figura 103

Gráfica de errores en cuadrados



Analizando la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se tiene un error promedio de 0.08 mm en cortes de piezas pequeñas, mientras que el error promedio en cortes medianos es de 0.42mm, finalmente en piezas grandes se puede apreciar que el error promedio es de 0.68mm, comprobando lo que se menciona en la sección **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, que el error incrementa a medida que la longitud es mayor.

Corte de círculos

De igual forma que en cortes de cuadrados se procederá a realizar corte de círculos de igual manera pequeños y medianos, para medirlos como muestra la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, detallando los valores y error en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Figura 104

Posiciones en el círculo que serán medidas

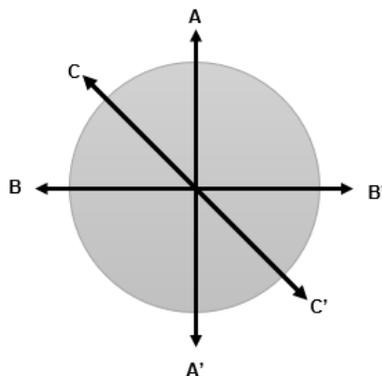


Tabla 20

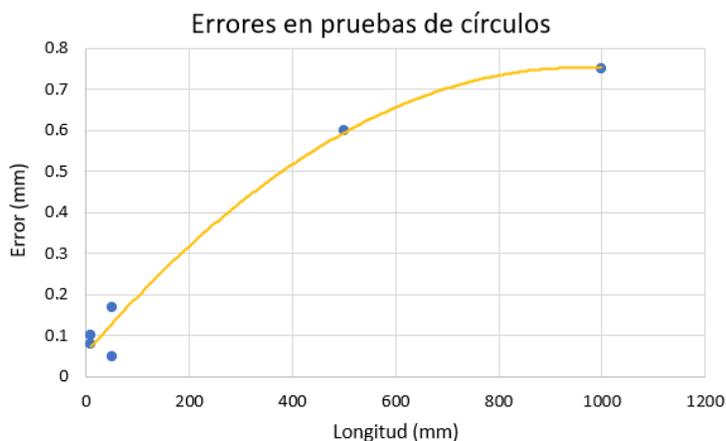
Cortes de círculos en mm

Prueba	Tamaño	A-A'	B-B'	C-C'	Error1	Error2	Error3	Promedio
Pequeño1	10	10.05	10.1	10.08	0.05	0.1	0.08	0.08
Pequeño2	10	10.1	10.09	10.1	0.1	0.09	0.1	0.10
Pequeño3	50	50.35	50.2	50.25	0.35	0.2	0.25	0.17
Pequeño4	50	50.02	49.92	50.06	0.02	0.08	0.06	0.05
Error promedio en círculos pequeños								0.09
Mediano	500	500.7	500.6	500.5	0.7	0.6	0.5	0.6

Grandes	1000	1000.75	1000.7	1000.7	0.75	0.7	0.7	0.75
----------------	------	---------	--------	--------	------	-----	-----	------

Figura 105

Gráfica de errores en círculos



Analizando la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se puede ver que el error promedio para círculos pequeños es de 0.09mm, mientras que el error en círculos medianos es de 0.6mm y para círculos grandes existe un error de 0.75mm, resultados parecidos a los cuadrados.

Corte de triángulos

Para terminar las pruebas de corte en figuras se procede a cortar triángulos siguiendo los tamaños anteriores, en este caso será un triángulo equilátero para comprobar que las medidas son iguales o el error es mínimo, se realizaran las medidas como indica la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 106

Posiciones en el triángulo que serán medidas

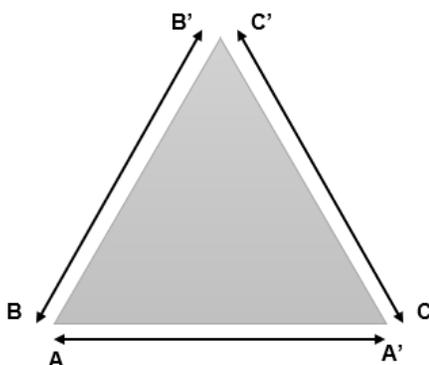


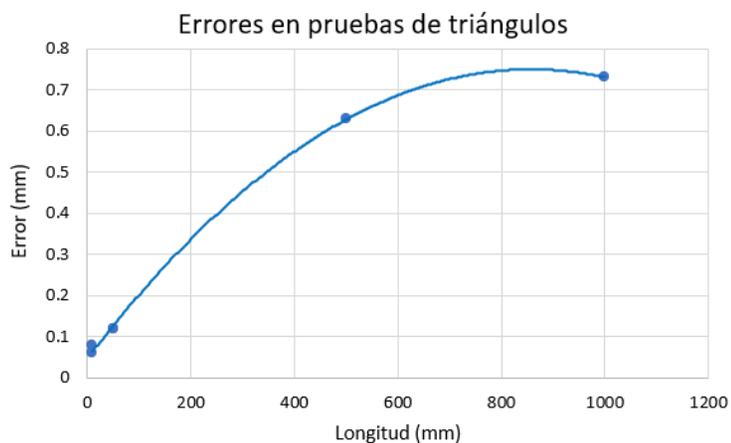
Tabla 21

Cortes en triángulos en mm

Prueba	Tamaño	A-A'	B-B'	C-C'	Error1	Error2	Error3	Promedio
Pequeño1	10	10.07	10.08	10.08	0.07	0.08	0.09	0.08
Pequeño2	10	10.05	10.06	10.06	0.05	0.06	0.06	0.06
Pequeño3	50	50.11	50.12	50.12	0.11	0.12	0.12	0.12
Pequeño4	50	50.12	50.12	50.12	0.12	0.13	0.13	0.12
Error promedio en triángulos pequeños								0.09
Mediano	500	500.7	500.6	500.6	0.7	0.6	0.6	0.63
Grandes	1000	1000.8	1000.7	1000.7	0.8	0.7	0.7	0.73

Figura 107

Gráfica de errores en triángulos



La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra que el error para triángulos pequeños es de 0.09mm, para triángulos medianos es de 0.63 y para triángulos grandes el error promedio es de 0.73mm, corroborando que el error aumenta a medida que la longitud aumenta.

Las pruebas de corte realizadas de las 2 figuras, se realizaron en varios espesores de acero al carbono ASTM A36, para esto hay que tener en cuenta la velocidad de corte y amperaje que se va a utilizar, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se detalla el material, espesor, corriente y velocidad de corte, en base al Anexo 1 y las pruebas con la máquina.

Tabla 22

Parámetros de corte

Material	Espesor (mm)	Corriente (A)	Velocidad de corte (mm/min)	Ciclo de trabajo
Acero al carbono ASTM A36	2	30A	1800	100%
	4	35A	1500	100%
	6	40A	1000	100%
	8	40A	700	60%
	10	40A	400	60%

Prueba de corte de perfiles curvos

Luego de realizar cortes en placas planas, se procede a hacer pruebas en una placa algo curva y desnivelada a propósito, esto para comprobar que el THC implementado cumple su función, la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra como la plancha se encuentra desnivelada y con una curvatura algo pronunciada, en la cual se va a realizar el corte.

Figura 108*Perfil de acero curvo*

Para la prueba se realiza el corte de un rectángulo de 200*50 mm, como se puede observar la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 109*Corte de rectángulo en perfil curvo*

Se procede a realizar esa medición en los puntos que muestra la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.,** considerando que son los más críticos para analizar.

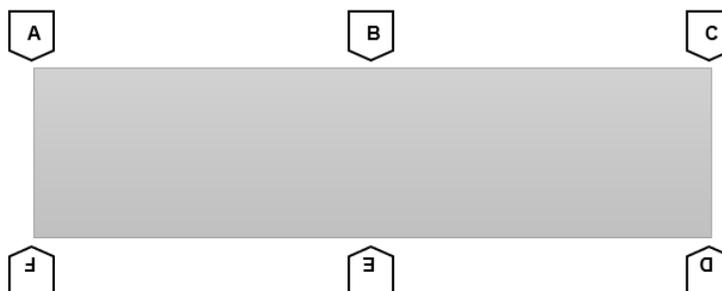
Figura 110*Puntos de prueba para el THC*

Tabla 23

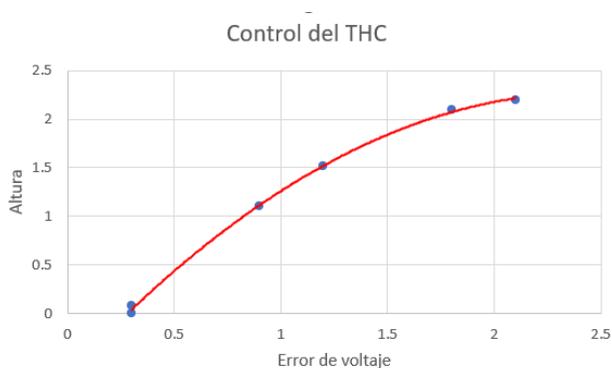
Datos obtenidos del THC

Punto	Altura Inicial	Altura en el punto	Voltaje de control	Voltaje en el punto	Aumento de Altura	Error de Voltaje
A	3	3	80	80.3	0	0.3
B	3	4.52	80	81.2	1.52	1.2
C	3	5.2	80	82.1	2.2	2.1
D	3	5.1	80	81.8	2.1	1.8
E	3	4.1	80	80.9	1.1	0.9
F	3	2.92	80	79.7	0.08	0.3

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** sirve para comprobar que el funcionamiento del controlador, se puede observar que mientras el error de voltaje aumenta, la altura igual aumenta y si el voltaje disminuye la altura es proporcional, se puede tener mejor apreciación de esto en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Figura 111

Variación de altura con respecto al error de voltaje



Corte de partes para implementos agrícolas

Finalmente, luego de culminar con las pruebas de corte en perfiles curvos y planos, se va a realizar cortes de implementos agrícolas, para esto se tiene que conseguir el molde que utilizan los artesanos para el corte manual, la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra el molde más utilizado por los artesanos para la construcción de aradoras.

Figura 112

Molde de una aradora



Luego de realizar el diseño del molde en cualquier programa en CAD, se procede a realizar el corte con los parámetros previamente detallados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** para una placa de 6mm.

Figura 113

Arado cortado en placa de 6mm



La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra la pieza ya cortada, normalmente según explican los artesanos del taller mecánico industrial Toaquiza, el corte de esta parte se hace en una plancha de 6 a 8mm y se demora un tiempo promedio de 4 minutos, el corte realizado se tardó aproximadamente 1 minuto con 50 segundos.

Figura 114

Corte manual de arado



La Figura 114 muestra el corte manual de un arado, como se puede observar el corte tiene curvas y no es tan exacto como un corte mecanizado, el artesano se tardo en cortar este implemento una media aproximada de 4 minutos.

Figura 115

Pruebas de corte en acero al carbono de diferentes espesores



La Figura 115 muestra los diferentes cortes realizados en acero al carbono con diferentes espesores, como indica la norma ISO 10360-2 anteriormente detallada, se obtuvo una precisión promedio de 0.17 y una repetibilidad de ± 0.02 mm de acuerdo a las

especificaciones de la máquina como indica la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Se tiene un error mínimo en piezas pequeñas teniendo un promedio de 0.1 mm y en piezas grandes de 1mm que no afectarían al momento del corte de implementos pues lo que se busca es optimizar el corte y tiempo.

Comparación de valores con una máquina comercial

Para realizar la comparación de la máquina se escogió una CNC comercial como se especifica en la sección 0, donde se puede evidenciar una precisión de ± 0.1 mm de error, mientras que la máquina portátil que se construyó tiene un promedio de ± 0.17 mm, evidenciando así que tiene una diferencia de ± 0.07 mm de precisión entre nuestra máquina y una maquina comercial.

El costo-beneficio de la máquina portátil construida por estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas sede Latacunga, tuvo un costo aproximado de 3 mil dólares, mientras que la máquina cortadora plasma de la sección 1.3.10, tiene un costo de 8 mil dólares sin envío desde China, por lo que es 37.5% más barata, teniendo en cuenta que se la precisión varia solo en ± 0.07 mm, siendo más asequible para los artesanos que fabrican implementos agrícolas.

Validación de la hipótesis

Para la validación de hipótesis en se va a utilizar el método de chi cuadrado, el cual mediante valores experimentales y de forma cualitativa se compara la variable teórica, para esto tenemos la hipótesis planteada, de la cual se obtiene la hipótesis nula (H_0)y la hipótesis alternativa (H_1).

Hipótesis planteada:

¿El equipo automático de corte multidireccional PAC, en 3 ejes, optimizará la sección en perfiles planos y curvos hasta 1000x1000x10 mm en la producción de Implementos Agrícolas?

- H_0 = El equipo automático de corte multidireccional PAC, en 3 ejes, no optimizará la sección en perfiles planos y curvos hasta 1000x1000x10mm

- H_1 = El equipo automático de corte multidireccional PAC, en 3 ejes, optimizará la sección en perfiles planos y curvos hasta 1000x1000x10mm

Las variables de investigación serán las siguientes:

Variabes Independientes

Equipo automático de corte multidireccional PAC

Variabes Dependientes

Optimizar la sección en perfiles planos y curvos hasta 1000x1000x10 mm con control numérico computarizado para la producción de Implementos Agrícolas.

Para evaluar si el equipo de automático de corte multidireccional optimiza el corte en perfiles planos y curvos, se tomaran los valores de las pruebas de corte anteriores, delimitando un porcentaje de error del 25% para que sea aceptable, caso contrario no se aceptara el error.

Tabla 24

Validación de cortes

Corte	Porcentaje de error	Corte Válido
Cuadrado	3%	SI
Cuadrado	7%	SI
Cuadrado	12%	SI
Cuadrado	13%	SI
Cuadrado	10%	SI
Cuadrado	9%	SI
Cuadrado	42%	SI
Cuadrado	68%	NO
Círculo	8%	SI
Círculo	10%	SI
Círculo	17%	SI
Círculo	5%	SI
Círculo	60%	NO
Círculo	75%	NO
Triángulo	8%	SI
Triángulo	6%	SI
Triángulo	12%	SI
Triángulo	12%	SI
Triángulo	63%	NO

Triángulo	73%	NO
-----------	-----	----

La Tabla 24 representa los cortes validos dependiendo si el error es menor al 25%, caso contrario no se acepta el corte.

Tabla 25

Tabla frecuencias observadas

		Tabla de errores de corte			
		Clase			
		Triángulo	Cuadrado	Círculo	Total
Corte valido	SI	4	7	4	15
	NO	2	1	2	5
	Total	6	8	6	20

La Tabla 25 organiza el conteo para determinar cuales cortes son válidos para cada clase.

Tabla 26

Frecuencias esperadas

		Clase			
		Triángulo	Cuadrado	Círculo	Total
Corte valido	SI	4.5	6	4.5	15
	NO	1.5	2	1.5	5
	Total	6	8	6	20

La Tabla 26 describe las frecuencias esperadas calculadas en base a la Table 25.

Tabla 27

Tabla de chi cuadrado

		Clase			
		Triángulo	Cuadrado	Círculo	Total

Corte valido	SI	0.56	1.67	0.56	2.78
	NO	1.67	5.00	1.67	8.33
	Total	2.22	6.67	2.22	11.11

Para determinar la validación de la hipótesis nula se base en el valor total de la Tabla 27, según la definición, nos dice que para negar la hipótesis nula el valor critico debe ser menor que el valor calculado.

El valor critico se obtiene de la tabla del chi cuadrado, se necesita el grado de libertad que es 2 y se generalmente se utiliza un valor de probabilidad del 5%, dando como resultado un valor critico de 5.99 como se muestra en la Figura 116

Figura 116

Tabla de distribución del chi cuadrado

P = Probabilidad de encontrar un valor mayor o igual que el chi cuadrado tabulado

v/p	0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,15
1	10,8274	9,1404	7,8794	6,6349	5,0239	3,8415	2,7055	2,0722
2	13,8150	11,9827	10,5965	9,2104	7,3778	5,9915	4,6052	3,7942
3	16,2660	14,3202	12,8381	11,3449	9,3484	7,8147	6,2514	5,3170
4	18,4662	16,4238	14,8602	13,2767	11,1433	9,4877	7,7794	6,7449
5	20,5147	18,3854	16,7496	15,0863	12,8325	11,0705	9,2363	8,1152

Como conclusión el valor critico es menor que el valor calculado por lo que la hipótesis nula se rechaza, aceptando la hipótesis alternativa la cual se define como:

- H_1 = El equipo automático de corte multidireccional PAC, en 3 ejes, optimizará la sección en perfiles planos y curvos hasta 1000x1000x10mm

De igual manera se optimizó el tiempo de corte y se lo redujo en 62.5% como se explica en la sección 4.2.5.

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Se investigó acerca de los varios implementos agrícolas que se utilizan para el arado, volteado, etc., y que procedimiento se realiza para el corte de planchas de acero que se manipulan para la fabricación de los mismos.
- Se diseñó el modelo de la máquina de corte en un programa CAD implementando la solución de movimiento lineal para planchas planas y control de altura para planchas curvas, con la ayuda de softwares eléctricos y electrónicos.
- Se construyó la máquina cortadora plasma portátil siguiendo los planos del archivo CAD, realizando la conexión electrónica, finalmente vinculando la parte del controlador para el movimiento de sus ejes y encendido de antorchas.
- Se realizó pruebas en diferentes tipos de planchas planas y curvas dependiendo de su espesor.
- De acuerdo a la norma ISO 10360-2, se obtuvo una precisión promedio de 0.17 y una repetibilidad de ± 0.02 mm en la máquina CNC.
- La máquina permite cortar placas planas y curvas con un espesor mínimo de 1mm y máximo de 10mm.
- El error promedio en piezas pequeñas es de 0.08mm.
- El THC hace posible el control de altura de la antorcha para evitar el choque durante el proceso de corte, en consecuencia, se puede cortar planchas curvas, aumentando el tiempo de vida de los consumibles.
- Se optimizó el corte, tanto en calidad como en tiempo, reduciéndolo en un 62.5% logrando cortar más placas en menos tiempo, ayudando a reducir el tiempo de entrega de implementos agrícolas.

Recomendaciones

- Para mejorar la precisión y la repetibilidad del corte final se recomienda usar una transmisión por tornillo sin fin.
- Para mayor control en el desplazamiento de los ejes “Y” y “X”, se recomienda cambiar los motores a pasos por servomotores considerando que el costo será mayor.
- Se recomienda usar la maquina en un ambiente abierto, ya que como es un equipo móvil no cuenta con un sistema de ventilación.
- Para un mayor cuidado del equipo que controla la maquina se recomienda un equipo plasma adecuado para la automatización,
- Se recomienda usar una computadora con las protecciones necesarias para las altas frecuencias.
- Se recomienda dar mantenimiento periódico a los elementos móviles, así como también lubricar las cremalleras, para evitar fallos en el desplazamiento.
- Utilizar el equipo de seguridad en el laboratorio (cascos, gafas protectoras, mandil, guantes de soldadura, zapatos de seguridad)

Bibliografía

- Barioglio, C. (2006). *Diccionario de Las Ciencias Agropecuarias*. Córdoba: Encuentro.
- Dirven , B. B., Pérez, R., Cáceres, R. J., Tito, A. T., Gómez , R. K., & Ticona, A. (2018). *El desarrollo rural establecido en las áreas Vulnerables*. Lima: Colección Racso.
- Fedefruta. (2022). *Fedefruta*. Fedefruta: <https://fedefruta.cl/manual-tecnico-de-maquinaria-agricola-para-el-agricultor/>
- Huawei Cutting. (2020). *Huawei Cutting*. Huawei Cutting: <http://www.huawei-cutting.es/cg--ii-magntica-mquina-de-llama-oxicorte-y-biselar-de-tubo-133.html>
- Huawei Cutting. (2020). *Huawei Cutting*. Huawei Cutting: <http://www.huawei-cutting.es/cg--direccin-multi-todas-las-posiciones-mquina-de-gas-corte-para-la-chapa-curvada-146.html>
- HUAWEI CUTTING. (2021). *ALIBABA*. ALIBABA: https://www.alibaba.com/product-detail/CNC-Plasma-Pipe-profile-Cutting-Machine_62030474757.html
- Jeffus, L. (2016). *Soldadura. Principios y aplicaciones*. Madrid: Paraninfo .
- Jijingi, H., & Siméon, P. (2017). Need for meaningful mechanization strategies to enhance sustainable agricultural production in Benue State-Nigeria. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 258-259.
- Marlow, G. y. (2006). *Guía de soldadura para el técnico profesional*. México: Limusa.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2022). *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación: <https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-tecnologias-probadas/maquinaria-agricola/remolques.aspx>
- Mott, R. L. (2009). *Diseño de elementos de máquinas*. Mexico: Pearson Educacion.

Ramírez, S. (05 de Septiembre de 2015). La agricultura e industria abarcan el 59% de la economía de Cotopaxi. *EL COMERCIO*.

SCULPTEO. (2022). *SCULPTEO*. SCULPTEO: <https://www.sculpteo.com/es/glosario/corte-por-plasma/>

Tovar, G. L. (1986). *El asentamiento y la segregación de los Blancos y Mestizos*. Bogotá: Cengage.

Anexos