



Diseño e implementación de un sistema mecatrónico multifuncional aplicado a manufactura aditiva y sustractiva mediante control numérico computarizado para el laboratorio CNC de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe sede Latacunga

Espín Rosales, Jonathan Antonio y Rodríguez Puruncaja Jason Alexander

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

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

Ing. Acuña Coello, Fausto Vinicio

12 de febrero de 2023

Latacunga

Reporte de verificación de contenido

Document Information

Analyzed document	TESIS ESPIN - RODRIGUEZ.docx (D158734354)
Submitted	2/15/2023 9:39:00 PM
Submitted by	Juan Carlos Altamirano
Submitter email	jc.altamiranoc@uta.edu.ec
Similarity	6%
Analysis address	jc.altamiranoc.uta@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	tesis-corregido (2).docx Document tesis-corregido (2).docx (D15940411)		1
SA	TESIS RAFAEL OLIVO - ANDRES SUCUZHANAY.docx Document TESIS RAFAEL OLIVO - ANDRES SUCUZHANAY.docx (D143405922)		2
SA	TESIS 4 EJES CNC (1).pdf Document TESIS 4 EJES CNC (1).pdf (D26124870)		11
W	URL: https://www.directindustry.es/prod/emco-gmbh/product-7241-2363368.html Fetched: 2/15/2023 9:39:00 PM		4
W	URL: https://indico.fnal.gov/event/44514/contributions/192008/attachments/131755/161464/DSM_4by4_20... Fetched: 12/2/2021 4:36:07 PM		1
SA	TESIS DIEGO AGUINSACA.pdf Document TESIS DIEGO AGUINSACA.pdf (D26103724)		1
W	URL: https://www.isixsigma.com/wp-content/uploads/2017/07/m-805-20.07.2017.xlsx Fetched: 10/11/2019 10:02:46 PM		7
SA	cap 1 y cap 2.docx Document cap 1 y cap 2.docx (D13849551)		9
SA	UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO / TESIS CUICHAN - MASAQUIZA.docx Document TESIS CUICHAN - MASAQUIZA.docx (D158543432) Submitted by: jc.altamiranoc@uta.edu.ec Receiver: jc.altamiranoc.uta@analysis.arkund.com		13
SA	TEIS_FINAL_ROUTER_COMPLETO.pdf Document TEIS_FINAL_ROUTER_COMPLETO.pdf (D41232867)		1

Firma:



Acuña Coello, Fausto Vinicio

C.C: 0501510267

Director



Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **"Diseño e implementación de un sistema mecatrónico multifuncional aplicado a manufactura aditiva y sustractiva mediante control numérico computarizado para el laboratorio cnc de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe sede Latacunga"** fue realizado por los señores **Espin Rosales Jonathan Antonio y Rodríguez Puruncaja Jason Alexander**; 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, 13 de febrero de 2023

Firma

Ing. Fausto Acuña

DIRECTOR



Responsabilidad de autoría

Nosotros, Espin Rosales, Jonathan Antonio, con cédula de ciudadanía N°1803741345, y Rodríguez Puruncaja Jason Alexander, con cédula de ciudadanía N°1725671091 declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Diseño e implementación de un sistema mecatrónico multifuncional aplicado a manufactura aditiva y sustractiva mediante control numérico computarizado para el laboratorio cnc de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe sede Latacunga”** 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 la citas bibliográficas.

Latacunga, 12 de febrero del 2023

Firma

Espin Rosales, Jonathan Antonio

C.C.: 1803741345

Rodríguez Puruncaja Jason Alexander

C.C.: 1725671091



Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Autorización de Publicación

Nosotros, Espin Rosales, Jonathan Antonio, con cédula de ciudadanía N°1803741345, y Rodríguez Puruncaja Jason Alexander, con cédula de ciudadanía N°1725671091 autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Diseño e implementación de un sistema mecatrónico multifuncional aplicado a manufactura aditiva y sustractiva mediante control numérico computarizado para el laboratorio cnc de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe sede Latacunga”** en el Repositorio Institucional cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 13 de febrero de 2023

Firma

Espin Rosales, Jonathan Antonio

C.C.: 1803741345

Rodríguez Puruncaja Jason Alexander

C.C.: 1725671091

Dedicatoria

Antonio

Dedicado a toda mi familia y amigos, en especial a mis padres Sonia Luz Rosales Jaramillo, Guillermo Rubén Espín Bedon, a mi hermana Joselyn Espín, quienes con su constante apoyo incondicional y con palabras de motivación, impulsaron mi desarrollo a lo largo de esta carrera universitaria ayudándome de esta manera a conseguir uno de los logros más importantes en mi vida.

Dedicado a mis amigos y a todas las personas que directa o indirectamente formaron parte de este proceso y me impulsaron a seguir luchando por mis sueños con cada detalle de apoyo y confidencialidad mostrada en todo este tiempo.

Jason

A toda mi familia y amigos, a ellos dedico el presente trabajo, porque han fomentado en mí, el deseo de superación y de triunfo en la vida, lo que ha contribuido a la consecución de este logro.

Espero siempre contar con su valioso e incondicional apoyo, los amo

Agradecimiento

Antonio

En primer lugar, agradezco a dios por las bendiciones recibidas de su parte y por brindarme la paciencia y constancia para terminar con esta etapa de mi vida, Agradezco a mi familia por el constante apoyo en momentos de ardua necesidad a mis padres a mi hermana y a mis tías por sus palabras de aliento e inspiración en los momentos en los que más lo necesitaba, agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y a mi tutor por permitirme realizar esta tesis para sellar mi carrera universitaria.

Jason

Agradezco primeramente al dueño de mi vida, a Dios, por su amor y su misericordia, por haberme otorgado una familia maravillosa, quienes han creído en mí siempre, dándome ejemplo de humildad y sacrificio; enseñándome a valorar todo lo que tengo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Índice de contenidos	8
Índice de Tablas	20
Índice de Figuras	23
Resumen.....	24
Abstract	25
Capítulo I: Introducción	26
Planteamiento del problema	26
Antecedentes	27
Justificación e importancia	28
Alcance del proyecto	29
<i>Objetivos</i>	31
<i>Objetivo General</i>	31
<i>Objetivos específicos</i>	31
Hipótesis.....	32
Variables de investigación	32

<i>Variables Independientes</i>	32
<i>Variables Dependientes</i>	32
Capítulo II: Marco teórico	33
Estado de arte	33
<i>Diseño e implementación de un módulo intercambiador de efectores finales, impresora 3d, plotter, grabador láser para la empresa FABCAD S.A– SAIS 3D, Marcos Canchigna, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, julio 2019.</i>	34
<i>Desarrollo de un sistema integrado de impresora 3D y tallado láser, Cheng-Tiao Hsieh, Departamento de Diseño Industrial, Universidad Tecnológica de Ming Chi, 2016.</i>	36
<i>Diseño de una maquina cortadora por plasma CNC, Kevin Mirallas, Pedro Portes, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2015.</i>	38
<i>Design and Development of a Computer Numeric Controlled 3D Printer, Laser Cutter and 2D Plotter all in one machine, Muhammad Talal Shahid, Muhammad Ammar Khan, Muhammad Zubair Khan, Mechanical Engineering Department Institute of Space Technology, 2019</i>	39
<i>A novel integration of laser engraver and 3d printer, Jeet Patel, Bhavantik Gondaliya, Nairutya Patel, Dr. Ajay M. Patel, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 2019.</i>	40
<i>Estudio, diseño e implementación de una máquina herramienta de control numérico computarizado, caso práctico prototipo de fresadora para madera.” Andrea Magali Llerena Pintag, Mario Orlando Coronel Hernández, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2014.</i>	42

<i>Diseño y construcción de una impresora 3D tipo cartesiana para la elaboración de placas electrónicas tipo SMD, Aguinosa García Diego Antonio, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2017.....</i>	43
<i>Diseño e implementación de una máquina Router cnc de 4 ejes para el tallado de modelos 3d en madera. Caicedo Guerra, Eli Damián Pillajo Almachi, Cristian Javier, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2017.</i>	45
<i>Diseño de una máquina CNC multifuncional. Juan Quiceno, Universidad autónoma de occidente, 2019.....</i>	46
<i>Fabricación aditiva multimaterial y multimétodo plataforma para futuras estructuras impresas en 3D. Devin J. Roach, Craig M. Hamel, Conner K. Dunn, Marshall V Johnson, Xiao Kuang, H. Jerry Ki, Instituto de tecnología de Geogia, 2019.</i>	47
<i>Transformación de un prototipo impreso CNC 3D a un plotter. Li Culda. Universidad Aurel Vlaicu de Arad. 2021.....</i>	48
<i>Virtual Expo Group. (10 de Noviembre del 2021). EMCO. Fresadora CNC de 3 ejes MEGAMILL. https://www.directindustry.es/prod/emco-gmbh/product-7241-2363368.html</i>	49
<i>Jorge Lorenzo. (31 de Enero del 2019). Of3lia. Guía definitiva sobre extrusores y hotends para impresora 3D. https://of3lia.com/guia-extrusor-y-hotend-impresora-3d/.....</i>	49
<i>HACO. (10 de Noviembre del 2021). HACO. Máquinas de corte por láser. http://www.esma-lda.pt/home/gestor/uploads/pdf/afcbba1712.pdf.....</i>	50
Línea base del laboratorio CNC de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga	51

<i>Centro de mecanizado vertical Leadwel V-30</i>	51
<i>Torno CNC GSK GT40a</i>	53
<i>Centro de mecanizado Expert Mill VMC-0600</i>	54
<i>Centro de mecanizado vertical de 5 ejes.</i>	55
<i>Cortadora plasma CNC</i>	56
<i>Cortadora Láser CNC</i>	58
<i>Impresora 3D BST 768</i>	59
<i>Impresora 3D CNC</i>	61
<i>Análisis del laboratorio CNC de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga.</i>	62
Alternativas de solución	64
<i>Alternativas para subsistema A: Estructura y sistema de movimiento</i>	64
<i>Alternativas para subsistema B: Mesa de trabajo</i>	66
<i>Alternativas para subsistema C: Guías de movimiento y sistema de transmisión</i>	67
<i>Alternativas para guías de movimiento.</i>	67
<i>Alternativas para transmisión de movimiento.</i>	69
<i>Alternativas para subsistema D: Interacción de cabezales</i>	70
<i>Alternativas para subsistema E: Actuadores</i>	71
<i>Alternativa para subsistema F: Control</i>	73
<i>Alternativas para subsistema G: Software de control</i>	74
<i>Alternativas para subsistema H: Cabezal de impresión 3D</i>	74
Selección de alternativas de solución	75

<i>Selección de alternativa subsistema A: Estructura y sistema de movimiento</i>	76
<i>Selección de alternativa subsistema B: Mesa de trabajo</i>	77
<i>Selección de alternativa subsistema C: Guías de movimiento y sistema de transmisión</i>	79
<i>Selección de alternativa para guías de movimiento.</i>	79
<i>Selección de alternativa para sistema de transmisión.</i>	80
<i>Selección de alternativa para subsistema D: Interacción de cabezales</i>	82
<i>Selección de alternativa para subsistema E: Actuadores</i>	83
<i>Selección de alternativa para subsistema F: Control</i>	84
<i>Selección de alternativa para subsistema G: Software de control</i>	85
<i>Selección de alternativa para subsistema H: Cabezal de impresión 3D</i>	86
Capítulo III: Diseño y selección de componentes	88
Parámetros de diseño	88
<i>Volumen de trabajo</i>	88
<i>Tamaño estimado de la máquina</i>	89
<i>Manufactura sustractiva mediante corte por láser</i>	89
Potencia, velocidad y espesor.....	89
Diámetro del lente y distancia focal.....	90
<i>Manufactura sustractiva mediante fresado</i>	91
Materiales, velocidad de corte, fuerza específica de corte.....	91
<i>Manufactura aditiva mediante impresión 3D</i>	94
Material y Temperatura para impresión 3D.....	94

Diseño del puente transversal	95
Diseño de la base estructural.	101
Diseño del sistema de movimiento Ejes X, Y, Z.....	104
<i>Diseño del sistema de movimiento para el Eje X</i>	105
Diseño de las flechas lineales para tallado.	107
Selección del rodamiento lineal para las flechas.....	110
Diseño del husillo de potencia para tallado eje X.	110
Cálculo de torque para motor para tallado.	113
Calculo y selección de poleas y correas para el eje X del carro de impresión 3D y corte láser.	115
<i>Diseño del sistema de movimiento para el Eje Y</i>	120
Diseño de las flechas lineales para tallado eje Y.	121
Selección del rodamiento lineal.	123
Diseño de husillo de potencia para fresado eje Y.....	124
Cálculo y selección de toque para motor para fresado.....	126
Diseño de poleas y correas para el eje Y del carro de impresión 3D y corte láser.....	127
<i>Diseño del sistema de movimiento para el Eje Z</i>	128
Diseño de las flechas lineales para tallado eje Z.	130
Selección del rodamiento lineal.	132
Diseño de husillo de potencia para fresado e impresión eje Z.	132
Cálculo y selección de torque para motor.....	133

Selección de componentes eléctricos.....	135
<i>Drivers</i>	135
Drivers para eje X.	136
Drivers para eje Y.	137
Drivers para eje Z.	137
<i>Finales de carrera</i>	137
<i>Fuentes de alimentación</i>	138
Fuente para energizar tarjeta de control.....	138
Fuente para energizar driver TB600.....	138
Fuente para energizar el módulo láser.	138
Selección de módulo láser	138
Selección de cabezal de fresado CNC.....	139
Diagrama eléctrico para corte láser e impresión 3D y fresadora CNC.....	140
Capítulo IV: Construcción e implementación	143
Construcción del sistema mecánico	143
<i>Construcción de la estructura base.</i>	143
<i>Implementación de las guías cilíndricas</i>	144
<i>Construcción del puente para fresado</i>	145
Construcción estructural del puente.	146
Implementación del sistema de movimiento para ejes X, Y y Z.	147
Montaje de cabezal de fresado y motores.	149

<i>Construcción del puente de impresión 3D y corte láser</i>	150
Construcción estructural del puente.	151
Implementación de los tornillos de bolas para el eje Z.	152
Implementación de las guías prismáticas para eje Y.	153
Construcción del sistema de movimiento para el eje X y Y.	154
Montaje de cabezales de impresión 3D y corte láser.	156
Implementación del sistema eléctrico	156
<i>Sistema eléctrico puente de corte láser e impresión 3D.</i>	156
<i>Sistema eléctrico puente de fresado.</i>	161
Implementación del firmware Marlin	164
Interfaz de Marlin y Pronterface	170
Capítulo V: Pruebas y Resultados.	174
Pruebas de indicación y repetición	174
<i>Análisis de los movimientos en los ejes del puente 1</i>	180
Precisión y Repetibilidad.	180
<i>Análisis de los movimientos en los ejes del puente 2.</i>	186
Precisión y repetibilidad.	186
Pruebas de corte y grabado láser	191
Pruebas de impresión 3D	194
Pruebas de tallado en madera	197
Resumen de pruebas	202

Costo beneficio	203
Validación de hipótesis	205
Validación de funcionalidad con estudiantes	212
Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones.....	221
Conclusiones	221
Recomendaciones	223
Bibliografía	224
Anexos.....	229

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Elementos de transmisión del centro de mecanizado Leadwell V-30</i>	52
Tabla 2 <i>Alternativas para armazón y sistema de movimiento</i>	65
Tabla 3 <i>Alternativas para mesa de corte láser</i>	66
Tabla 4 <i>Alternativas para guías de movimiento lineal</i>	68
Tabla 5 <i>Alternativas para transmisión de movimiento</i>	69
Tabla 6 <i>Alternativas para interacción de cabezales</i>	70
Tabla 7 <i>Alternativas para actuadores</i>	72
Tabla 8 <i>Alternativas para la tarjeta controladora</i>	73
Tabla 9 <i>Alternativas para el firmware de control</i>	74
Tabla 10 <i>Alternativas para cabezal de impresión 3D</i>	75
Tabla 11 <i>Ponderación para evaluación de alternativas</i>	76
Tabla 12 <i>Selección de armazón y sistema de movimiento</i>	77
Tabla 13 <i>Selección de mesa de trabajo para corte laser</i>	78
Tabla 14 <i>Selección de guías de movimiento</i>	79
Tabla 15 <i>Selección de sistema de transmisión</i>	81
Tabla 16 <i>Selección de alternativa para la interacción de cabezales</i>	82
Tabla 17 <i>Selección de actuadores</i>	83
Tabla 18 <i>Selección de tarjeta controladora</i>	84
Tabla 19 <i>Selección de firmware de control</i>	85
Tabla 20 <i>Selección de firmware de control</i>	87

Tabla 21 <i>Relación de velocidades y espesores con respecto a la potencia del láser</i>	90
Tabla 22 <i>Velocidades de corte para diferentes materiales</i>	92
Tabla 23 <i>Temperaturas para diferentes materiales</i>	94
Tabla 24 <i>Características de la polea GT2</i>	118
Tabla 25 <i>Configuración de corriente para driver TB6600</i>	136
Tabla 26 <i>Datos de medición de longitudes para puente 1</i>	176
Tabla 27 <i>Datos de medición de longitudes para puente 2</i>	178
Tabla 28. <i>Repetibilidad y precisión para el eje X</i>	181
Tabla 29 <i>Precisión y repetibilidad en el eje Y</i>	183
Tabla 30 <i>Precisión y repetibilidad en el eje Z</i>	185
Tabla 31 <i>Repetibilidad y precisión para el eje X puente 2</i>	187
Tabla 32 <i>Precisión y repetibilidad en el eje Y para puente 2</i>	189
Tabla 33 <i>Precisión y repetibilidad en el eje Z</i>	191
Tabla 34 <i>Errores en corte láser</i>	192
Tabla 35 <i>Errores de impresión 3D</i>	195
Tabla 36 <i>Errores de tallado</i>	198
Tabla 37 <i>Validación para corte láser</i>	206
Tabla 38 <i>Validación para impresión 3D</i>	207
Tabla 39 <i>Validación para router CNC</i>	208
Tabla 40 <i>Frecuencias observadas para corte láser</i>	209
Tabla 41 <i>Frecuencias observadas para impresión 3D</i>	209

Tabla 42 <i>Frecuencias observadas para router</i>	209
Tabla 43 <i>Frecuencias esperadas para corte láser</i>	210
Tabla 44 <i>Frecuencias esperadas para impresión 3D</i>	210
Tabla 45 <i>Frecuencias esperadas para router</i>	210
Tabla 46 <i>Chi cuadrado para corte láser</i>	211
Tabla 47 <i>Chi cuadrado para impresión 3D</i>	211
Tabla 48 <i>Chi cuadrado para router</i>	211
Tabla 49 <i>Tabulación de la pregunta 1</i>	213
Tabla 50 <i>Tabulación de la pregunta 2</i>	214
Tabla 51 <i>Tabulación de la pregunta 3</i>	215
Tabla 52 <i>Tabulación de la pregunta 4</i>	216
Tabla 53 <i>Tabulación de la pregunta 5</i>	217
Tabla 54 <i>Tabulación de la pregunta 6</i>	218
Tabla 55 <i>Tabulación de la pregunta 7</i>	219

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Cortadora plasma CNC</i>	37
Figura 2 <i>Fresadora CNC de 5 ejes</i>	56
Figura 3 <i>Cortadora plasma CNC</i>	58
Figura 4 <i>Cortadora láser CNC</i>	59
Figura 5 <i>Impresora BST 768</i>	61
Figura 6 <i>Diagrama de fuerzas y momentos para el puente transversal</i>	95
Figura 7 <i>Graficas de fuerzas y momentos flectores en software MDSolid</i>	97
Figura 8 <i>Factor de seguridad según el software Ansys</i>	100
Figura 9 <i>Diseño de la base estructural</i>	102
Figura 10 <i>Análisis estructural de la base estructural</i>	104
Figura 11 <i>Sistema de movimiento Eje X</i>	106
Figura 12 <i>Análisis estructural de los ejes para la coordenada X</i>	109
Figura 13 <i>Análisis estructural del tornillo sin fin para el eje X</i>	112
Figura 14 <i>Sistema de movimiento para el eje Y</i>	121
Figura 15 <i>Análisis estructural de los ejes para la coordenada Y</i>	123
Figura 16 <i>Análisis estructural del tornillo sin fin para el eje Y</i>	125
Figura 17 <i>Sistema de movimiento para el eje Z</i>	129
Figura 18 <i>Análisis estructural de los ejes para la coordenada Z</i>	131
Figura 19 <i>Características de cabezal de fresadora</i>	140
Figura 20 <i>Diagrama eléctrico para puente de corte láser e impresión 3D</i>	142
Figura 21 <i>Construcción de estructura base</i>	144

Figura 22 <i>Implementación de guías cilíndricas</i>	145
Figura 23 <i>Construcción e implementación del puente en la estructura base</i>	146
Figura 24 <i>Implementación de guías para el eje Y y Z</i>	147
Figura 25 <i>Colocación del tornillo de bolas para el eje Y</i>	148
Figura 26 <i>Colocación del tornillo de bolas para el eje X</i>	149
Figura 27 <i>Montaje del cabezal de fresado y motores</i>	150
Figura 28 <i>Estructura del puente de impresión 3D y corte láser</i>	151
Figura 29 <i>Implementación de los tornillos de bolas para el eje Z</i>	152
Figura 30 <i>Implementación de guías prismáticas</i>	153
Figura 31 <i>Implementación de correas síncronas para el eje Y</i>	154
Figura 32 <i>Implementación del sistema de movimiento para el eje X</i>	155
Figura 33 <i>Montaje de los cabezales de impresión 3D y corte láser</i>	156
Figura 34 <i>Implementación de drivers DVR8825 para puente de corte láser e impresión 3D</i> ..	157
Figura 35 <i>Implementación de los elementos para impresión 3D y corte laser</i>	159
Figura 36. <i>Implementación del cabezal de corte láser</i>	160
Figura 37 <i>Implementación de la fuente de alimentación para puente 1</i>	161
Figura 38 <i>Implementación de los drivers TB6600</i>	162
Figura 39 <i>Implementación de driver para husillo de fresado</i>	163
Figura 40 <i>Implementación de elementos del puente 2 en la tarjeta de control</i>	164
Figura 41 <i>Configuración de drivers</i>	165
Figura 42 <i>Configuración de termocupla</i>	166

Figura 43 <i>Configuración de pasos, velocidades, aceleraciones y rebotes</i>	167
Figura 44 <i>Configuración de finales de carrera</i>	169
Figura 45 <i>Configuración de láser y husillo de fresado</i>	170
Figura 46 <i>Interfaz de Marlin</i>	171
Figura 47 <i>Menú de opciones</i>	172
Figura 48 <i>Interface del programa Pronterface</i>	173
Figura 49 <i>Posiciones de medida</i>	175
Figura 50 <i>Errores en el eje X</i>	181
Figura 51. <i>Errores en el eje Y</i>	183
Figura 52 <i>Errores en el eje Z</i>	185
Figura 53 <i>Errores en el eje X puente 2</i>	187
Figura 54 <i>Errores en el eje Y</i>	188
Figura 55 <i>Errores en el eje Z puente 2</i>	190
Figura 56 <i>Errores en corte láser para cuadrados y círculos</i>	193
Figura 57 <i>Aproximación de error en las pruebas realizadas</i>	196
Figura 58 <i>Aproximación de error en las pruebas realizadas</i>	199
Figura 59 <i>Muestras para cálculo de errores</i>	201
Figura 60 <i>Valores de chi cuadrado</i>	212
Figura 61 <i>Gráfica de frecuencias para pregunta 1</i>	213
Figura 62 <i>Gráfica de frecuencias para pregunta 2</i>	214
Figura 63 <i>Gráfica de frecuencias para pregunta 3</i>	215

Figura 64 <i>Gráfica de frecuencias para pregunta 4</i>	216
Figura 65 <i>Gráfica de frecuencias para pregunta 5</i>	217
Figura 66 <i>Gráfica de frecuencias para pregunta 6</i>	218
Figura 67 <i>Gráfica de frecuencias para pregunta 7</i>	219

Resumen

En el presente trabajo de titulación se realizó el diseño e implementación de una máquina CNC de tres ejes para manufactura aditiva y sustractiva dentro de una misma área de trabajo, automatizando el diseño mecánico y eléctrico de forma que se puedan complementar en de una misma estructura. Para crear un diseño óptimo y funcional fue necesario el establecer parámetros en las tres aplicaciones a realizar, se investigó las velocidades y los parámetros que influyen en el corte láser, las variables que intervienen en una impresión 3D y las características técnicas necesarias para llevar a cabo un tallado en madera. Todas estas aplicaciones para un área de trabajo de 600 mm x 600 mm con una altura de 200 mm en el caso de impresión 3D y 150 mm en el caso de tallado. Como apoyo, para realizar simulaciones estructurales se diseñó el sistema en software CAD para luego realizar su respectivo análisis CAE donde se verificó que los tamaños de los elementos creados soportan las cargas producidas en los procesos realizados. Por las diferencias en los parámetros de velocidad y torque se requirió diseñar dos puentes donde se ubican los tres procesos antes mencionados con diferentes transmisiones de movimiento que permitan ejecutar las aplicaciones con los parámetros ideales. Para el control de los movimientos y accionamiento de los componentes eléctricos se utilizó el firmware MARLIN que permite generar diferentes tipos de aplicaciones CNC a partir de una tarjeta de control dentro de la cual se implementan todos los actuadores necesarios. Para las pruebas se utilizó la norma ISO 10360-2 2009 con el fin de determinar la precisión y repetibilidad de la estructura, adicional se implementó pruebas en figuras geométricas verificando el error en todos los procesos llevados a cabo. Finalmente se han establecido conclusiones y recomendaciones.

Palabras clave: Impresión 3D, corte láser, tallado, Ramps 1.4, MARLIN

Abstract

In the present degree project, the design and implementation of a CNC machine with three axes of movement was made to unite three types of additive and subtractive manufacturing within the same work area, automating the mechanical and electrical design so they can complement each other. within the same structure. To create an optimal and functional design, it was necessary to establish parameters within the three applications to be accomplished, the speeds and parameters that influence laser cutting, the variables that intervene in a 3D printing and the technical characteristics necessary for wood carving. All these applications for a work area of 600 mm x 600 mm with a height of 200 mm in the case of 3D printing and 150 mm in the case of carving. As support, to carry out structural simulations, the system was designed in a CAD software to later carry out its respective CAE analysis where it was verified that the sizes of the created elements support the loads produced in the processes carried out. Due to the differences in the speed and torque parameters, it was required to design two bridges where the three aforementioned processes are located with different movement transmissions that allow the applications to be executed with the ideal parameters. To control the movements and actuation of the electrical components, the MARLIN firmware was used, which allows the generation of different types of CNC applications from a control card which all the necessary actuators are implemented. For the tests, the ISO 10360-2 2009 standard was used in order to determine the precision and repeatability of the structure, additional tests were implemented in geometric figures, verifying the error in all the processes carried out. Finally, conclusions and recommendations have been established.

Key words: 3D Printing, Laser cutting, Carving, Ramps 1.4, MARLIN

Capítulo I

Introducción

Planteamiento del problema

Actualmente en el Ecuador no existe ningún tipo de empresas que se dediquen a la construcción de estructuras dedicadas a la manufactura sustractiva ni aditiva que cumplan con los criterios tecnológicos con los que sí cuentan en el extranjero, en Ecuador se sigue usando y produciendo maquinas antiguas como los tornos y las fresadoras, pero no existe un criterio de innovación que permita avanzar hacia un estado más automatizado de estos procesos.

La mayoría de las máquinas que poseen este tipo de tecnología como son impresoras 3D, cortadoras laser, maquinas CNC son comercializadas desde el extranjero, abriendo de esta manera un gran campo para la elaboración de las mismas en un ámbito local, y más aún si se investiga la existencia de una máquina que combine a las tres antes mencionadas es muy raro encontrarla incluso mediante importación, es decir que este tipo de tecnología en la que se trata de incorporar dos tipos de manufacturas en una sola estructura es muy difícil de encontrar incluso en el ámbito extranjero.

Las maquinarias importadas que se venden en Ecuador cumplen con el propósito de abastecer un solo tipo de manufactura por sí sola, sustractiva en el caso de las máquinas de fresado en madera y corte láser, además de aditiva en el caso de las impresoras 3D, cabe recalcar que el precio de cada una de estas es bastante elevado en el mercado

En cuanto a la estructura de las maquinas cada una presenta un dimensionamiento único y diferente, es decir cada una ejecuta su aplicación independientemente de las otras, lo cual aumenta el espacio de trabajo, así como el precio de fabricación y de implementación, además de cableado eléctrico y costes de mantenimiento.

En cuanto a la programación de cada una existe una diferencia ampliamente notoria debido a que para manufactura aditiva es necesario añadir material capa por capa mediante un extrusor, contrario al proceso de manufactura sustractiva que retira material capa por capa a partir de un husillo o mediante el uso de un láser, como se puede notar estos procesos de manufactura no solo son diferentes en estructura sino también en programación, lo cual acrecienta o disminuye el coste dependiendo de la aplicación.

Por las razones anteriormente expuestas se plantea el desarrollo de un sistema mecatrónico multifuncional para manufactura aditiva y sustractiva mediante control numérico computarizado.

Antecedentes

Con el rápido desarrollo de la ciencia y la tecnología, los medios convencionales de fabricación están perdiendo su lugar debido a algunas técnicas no convencionales como la impresora 3D, láser cortador, etc. El uso de estas técnicas poco convencionales no sólo revolucionó el proceso de fabricación, pero también acelera el proceso y también aumenta la precisión (Shahid, 2019)

Dentro de los procesos de manufactura digital es habitual escuchar los términos de fabricación sustractiva y aditiva, que hacen referencia a dos modos de fabricación de piezas o prototipos completamente utilitarios. Si bien cada método tiene sus propias características, es adecuado conocerlas para saber que es mejor utilizar en cada caso, aunque también es habitual que se utilicen de forma conjunta para diferentes etapas del proceso de fabricación. La manufactura Sustractiva hace referencia a una técnica utilizada en la fabricación de piezas, donde dichas piezas se consiguen a partir de un bloque sólido al que se le va eliminando el material sobrante, hasta conseguir el resultado deseado.

Hoy por hoy, la fabricación sustractiva es el método más recurrente, sobre todo, al trabajar con materiales como el metal o la madera. Y puede realizarse de forma manual, o bien por medio del mecanizado por control numérico computarizado, es decir, el mecanizado CNC, siendo esta última opción la más eficiente (MECASINC, 2015).

Por tanto, son numerosos los procesos que se pueden utilizar para este fin, teniendo en cuenta cuál va a ser la forma deseada para la pieza: tornos, sierras, fresadoras, cortadoras, taladradoras, etc. Y también podría considerarse el corte por láser, o el mecanizado de descarga eléctrica (EDM), como métodos de fabricación sustractiva (UNED, 2016).

La manufactura aditiva involucra tecnologías que funden el material, utiliza la técnica inversa a la fabricación sustractiva: la pieza se obtiene mediante la sobreposición o apilamiento de numerosas capas de material hasta conformar el prototipo definitivo, completamente funcional. El proceso más conocido y comúnmente utilizado para llevar a cabo esta técnica es la impresión 3D (UNED, 2016).

Justificación e importancia

El uso de máquinas CNC para manufactura aditiva y sustractiva se ha tornado en el eje principal de investigación científica en los últimos años a nivel de industria 4.0, sin embargo, a escala nacional aún no se evidencia trabajo investigativo respecto a dicho tema.

La realización de esta estructura multifuncional permitirá estrechar un poco la brecha tecnológica que actualmente es muy notoria con respecto a otros países que se encuentran en un proceso industrial mucho más elevado, además el propósito de esta estructura es hacer notar que es posible generar una producción de este tipo de máquinas en el país, para de esta manera dejar de depender únicamente de las importaciones.

Con el planteamiento de una maquina multifuncional que englobe tres aplicaciones diferentes de la manufactura se solventa el problema de las estructuras

individuales que acrecientan los trabajos y los costos para la elaboración del armazón de las mismas, puesto que en este caso compartirán una misma estructura en donde se pueda ejecutar cada una de estas tres aplicaciones, lo cual es altamente factible debido a que los tres procesos utilizan una armazón basado en un sistema cartesiano para su funcionamiento.

Se plantea el uso de un firmware en el que se pueda manejar los tres procesos de aplicación y más aún que funcionen dentro de una sola tarjeta de control, a diferencia de las máquinas de manufactura individuales las cuales poseen cada una su propia tarjeta de control con un firmware ya predispuesta para la aplicación a realizar, con esto se liberaría los costos de tres tarjetas de control diferentes, además de todos los instrumentos eléctricos que posee cada una de las máquinas, que ahora estarían predispuestas en una sola estructura.

La unión de estas tres máquinas de manufactura significa una gran reducción de costos innecesarios en todos los aspectos, permitiendo de esta manera que el operario pueda usar una sola estructura para la realización de manufactura aditiva y sustractiva reduciendo la complejidad de usar tres máquinas diferentes y espacios exagerados que obtendría al adquirir cada una de estas estructuras por separado.

Alcance del proyecto

El alcance del proyecto engloba todos los aspectos de la maquinaria, estructura, electrónica, programación, para la construcción de un mecanismo que permita fusionar la manufactura aditiva y sustractiva en un mismo espacio de trabajo aplicando las mismas a procesos de corte láser, impresión 3D y tallado en madera, con un espacio de trabajo de 600 mm x 600 mm con una altura de impresión de 200 mm y una altura para el tallado de madera de 150 mm.

Se diseñará la máquina con el fin de permitir una base de estudio para asignaturas impartidas en la carrera de Ingeniería Mecatrónica y que permita a los estudiantes familiarizarse con las aplicaciones de manufactura aditiva y sustractiva.

La estructura externa sobre la que se va a sentar todos los cabezales de las diferentes aplicaciones debe brindar robustez y fijación para que los movimientos de los ejes no afecten a la precisión de la misma, al tratarse de un área de trabajo extensa para la mayoría de estas aplicaciones se debe diseñar e implementar sistemas de transmisión de movimiento que permitan agilizar cada uno de los procesos en la medida que se pueda, los elementos de movimiento deben ser seleccionados en base a cálculos mecánicos realizados mediante teorías de diseño. Cada uno de los elementos mecánicos debe estar sometido a un factor de seguridad que asegure la solidez de la máquina al momento de realizar las tareas de manufactura.

El sistema eléctrico debe ser escogido en base a cálculos de requerimientos mecánicos, juntando estas dos áreas con el fin de brindar la seguridad a todos los movimientos de los ejes que se vaya a implementar, cada uno de los elementos eléctricos implementados en la estructura deben ser analizados en cuanto a sus propiedades y características para evitar problemas de compatibilidad y sobrecargas y cortocircuitos en los componentes a usar, las corrientes de los motores deben estar bien ajustadas a las necesidades de los mismos. Y el controlador debe poseer la capacidad de soportar todos los elementos que van montados sobre la misma.

La programación debe venir adaptada para las tareas que se desean implementar en la máquina, así como también se debe tratar de unir las tres aplicaciones mediante la menor cantidad de elementos posibles para lo cual lo ideal es unificar las aplicaciones en mismo sistema que permita intercambiar los procesos al momento que se desee realizar cada uno de los mismos, o en su defecto implementar un sistema separado pero

que les permita convivir a cada una de las aplicaciones en la misma área de trabajo y que se puede trabajar no simultáneamente pero si ocupando elementos comunes.

La cantidad de elementos que se requieren para llevar a cabo las aplicaciones en especial para impresión 3D hace difícil la unión de todos estos elementos debido a los requerimientos de corriente que se necesita para llevar a cabo la extrusión.

Para realizar cada una de estas tareas con el funcionamiento correcto se prevee realizar un conjunto de pruebas que permitan identificar errores tanto mecánicos como eléctricos y de programación todo esto en base a tener los mejores resultados que se podrían obtener con los recursos necesarios

Objetivos

Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema mecatrónico multifuncional aplicado a la manufactura aditiva y sustractiva mediante control numérico computarizado.

Objetivos específicos

- Investigar sobre el desarrollo de máquinas multifuncionales dentro de la industria manufacturera tanto en el ámbito local como en el ámbito internacional
- Identificar las necesidades del laboratorio CNC en relación a las áreas de aplicación que se requiera implementar.
- Diseñar la estructura mecánica, el sistema de distribución de cabezales y el circuito eléctrico que de soporte a la máquina a partir del uso de diferentes softwares de apoyo.
- Implementar la estructura mecánica y circuitería eléctrica de la máquina, además de un sistema de distribución para alternar el uso de los cabezales de corte laser, impresión 3D y tallado.

- Realizar pruebas de calibración para testear el correcto funcionamiento de la maquina en cada una de sus tres aplicaciones.

Hipótesis

¿El diseño e implementación de un sistema mecatrónico multifuncional permitirá realizar trabajos de manufactura aditiva y sustractiva mediante control numérico computarizado?

Variables de investigación

Variables Independientes

- Diseño e implementación de un sistema mecatrónico multifuncional

Variables Dependientes

- Manufactura aditiva y sustractiva mediante control numérico computarizado

Capítulo II

Marco teórico

Estado de arte

Las máquinas CNC son instrumentos comunes en la industria mecánica, los cuales son usados en procesos de remoción de material, para generar una pieza conforme a la aplicación que se le vaya a dar a la misma, y en otros casos son usados en procesos de aporte de materia prima para a partir de un sustrato en forma de fibra construir un elemento complejamente formado, estos procesos son conocidos como manufactura sustractiva y aditiva respectivamente.

Los sistemas CNC son aquellos en los que se usa un ordenador para generar movimientos coordinados entre los diferentes ejes de una máquina de manufactura, de esta manera se puede generar trayectorias que se caracterizan sobre todo por su precisión y exactitud en los trazos, en la industria se puede encontrar ejemplos de manufactura sustractiva como los tornos CNC las fresadoras CNC, que usan una herramienta de corte para la remoción de material, y en otros casos se usa una tecnología diferente, como en el corte laser en la que se realiza la remoción de material mediante un haz de luz láser que es el encargado de cortar el elemento mecánico, y para la manufactura aditiva se tiene las impresoras 3D las cuales mediante el aporte de un material en forma de fibra trazan rutas para crear un objeto determinado.

En el medio local existen algunas máquinas de este tipo enfocadas a un determinado tipo de manufactura como cortadoras láser CNC, routers CNC, impresoras 3D, etc. La mayoría de estas han sido realizadas como parte de un proceso de titulación en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, sin embargo, en un proyecto se encontró la implementación de los dos tipos de manufactura en una sola estructura CNC, para las

aplicaciones de corte laser, router e impresión 3D, que es una máquina completa que agrupa los procesos industriales que se podrían hacer por separado en una sola estructura, aventajándose de esta manera frente a industrias en las que se usan máquinas unificadas para las diferentes aplicaciones. A nivel nacional se tiene el aporte de muchas universidades en las que se ha desarrollado máquinas CNC, pero la gran mayoría se enfoca a un solo tipo de manufactura sin ninguna combinación entre las aplicaciones existentes y a nivel mundial existen empresas dedicadas a la generación de sistemas CNC que en los últimos años han ido innovando su producción y actualmente ya han creado estructuras que fusionan los dos tipos de manufactura, prueba de ello es la estructura de Creality CP-01, en la que se incorporan diferentes cabezales para cada una de las aplicaciones, además de estas estas empresas existen proyectos presentados por institutos alrededor del mundo en donde ya se aprecia la innovación al incursionar en la combinación de diferentes aplicaciones de manufactura en una sola máquina mediante el uso de cambio de cabezales para cada una de las mismas.

A continuación, se presentará algunos de los proyectos encontrados respecto a la combinación de más de un tipo de manufactura que engloben un sistema CNC como su estructura base, tanto a nivel nacional como a nivel internacional.

Diseño e implementación de un módulo intercambiador de efectores finales, impresora 3d, plotter, grabador láser para la empresa FABCAD S.A– SAIS 3D, Marcos Canchigna, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, julio 2019.

El presente proyecto fue desarrollado a partir de una estructura exterior cerrada a forma de chapa metálica denominada FORZA 4, la cual en su interior fue diseñada con un sistema cartesiano de tres ejes X, Y, Z. En lo que respecta a las mecánicas de los ejes se usó para el eje Y un sistema de ejes cilíndricos de 400 mm de longitud como rieles para el movimiento libre del carro transversal, esto haciendo uso de rodamientos lineales estándar R0650, en cuanto al sistema de transmisión en este eje se usó una configuración de correa dentada GT2, para el

eje X se utilizó el mismo principio de transmisión, pero en este caso se usó en lugar de ejes lineales una guía lineal de precisión SRS12M debido a la importancia de este eje, finalmente para el eje Z que es el más importante dentro de la máquina debido a que se debe regular para los diferentes cabezales, se usó un sistema de husillo de bolas SFU/RM 1204 que es uno de los más usados para estas aplicaciones gracias a su precisión y a soporte de altas cargas (Canchignia, 2019).

En lo que compete al sistema eléctrico y de control de la máquina se ha usado una tarjeta controladora GeetechGT2560 la cual posee gran versatilidad para manejar múltiples funciones debido a que es una combinación de las tarjetas Ramps y Arduino, a esta tarjeta se le suman los drivers 2DM556 con los que tiene compatibilidad y los motores que se seleccionaron, utilizando cálculos de diseño mecánico para transmisión fueron los Nema 23 y 34. Para la configuración de la circuitería de cada uno de los actuadores finales se creó un conector universal que sirva para todos los cabezales que interactúan en la máquina. Para el cambio de cabezales se diseñó tres diferentes modelos los cuales contenían cada uno de los actuadores finales por lo que para su conexión se utilizó el sistema de sujeción por acople de presión mediante el cual se crea un conector macho y un hembra los cuales se desmontan cada vez que se requiera utilizar una aplicación diferente (Canchignia, 2019).

En cuanto a la programación del firmware que va programado en la tarjeta de control se aplicó el firmware Marlín, el cual es uno de los más amigables y fáciles de configurar, esto dependiendo de las características de la tarjeta de control que en este caso es compatible con el firmware seleccionado y además posee gran versatilidad de conectores para poder realizar una configuración para multitareas (Canchignia, 2019).

Los resultados obtenidos según los estudios realizados sobre los productos finales de los procesos arrojaron una medición promedio de 299.93 mm en contraste con la longitud de diseño la cual fue de 300 mm lo que da un margen muy estrecho de error en cuanto a la

precisión. En la prueba de repetitividad los promedios obtenidos dieron un promedio de 0.015 mm en contraste con el promedio de una maquina comercial Forza 4 la cual tiene promedio de 0.010 mm hace denotar una amplia diferencia respecto a lo ideal. Los tiempos de cambio de cabezal tambien fueron medidos dando un promedio de 40.66 seg. Debido a que los mismos se realizan de manera manual (Canchignia, 2019).

Desarrollo de un sistema integrado de impresora 3D y tallado láser, Cheng-Tiao Hsieh, Departamento de Diseño Industrial, Universidad Tecnológica de Ming Chi, 2016.

En el siguiente estudio se plantea la idea de elaborar una máquina CNC que posea las aplicaciones de tallado laser e impresión 3D, en este caso no se trata de un desacople de cabezales, más bien se trata de encajar ambos cabezales dentro del mismo carro transversal, para lo cual se ha diseñado e implementado primero una estructura mecánica muy parecida a una impresora 3D normal, con sus ejes Y, X accionados mediante motores paso a paso y con transmisión de correas dentadas para mayor velocidad en los movimientos de estos dos ejes sin embargo el eje Z va sujeto a una transmisión por husillo de bolas el cual es común a la mayoría de las maquinas CNC puesto que este es el eje que necesita mayor precisión, en este caso, el movimiento en Z se ejecutará en todo el carro transversal no solo en la herramienta, dentro del área de los cabezales se ha colocado un sensor inductivo que indica la posición exacta en donde se encuentra la cama caliente, esto se ha realizado con el propósito de generar el espacio necesario para que los dos cabezales puedan operar sin ningún contratiempo su implementación se muestra en la figura 1 (Hsieh, 2016).

En cuanto al aspecto electrónico la tarjeta de control usada ha sido Ramps 1.4 debido a la cantidad de puertos que la misma posee y la facilidad de compatibilidad con los drivers y motores, acompañada de un Arduino mega el cual tambien activa algunos de los componentes secundarios como el sensor inductivo entre otros. El láser usado es uno de 500 mW que funciona con una fuente de 12 voltios, para el funcionamiento de este se ha dispuesto de un

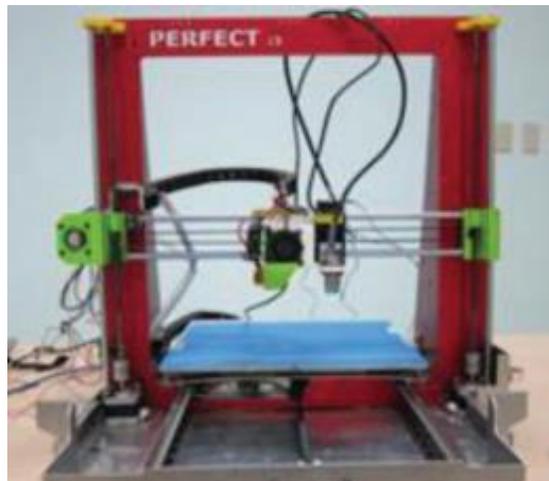
relé on/off conectado a una señal del Arduino de activación. El firmware utilizado para controlar la tarjeta es el Marlin el cual permite desde ordenador cambiar las diferentes configuraciones para las salidas del controlador, incluso permite configurar una pantalla LCD y crear un HMI visual que permita monitorear de mejor manera todo el proceso (Hsieh, 2016).

Finalmente, para la configuración del láser hizo falta modificar algunos parámetros sobre la proximidad del actuador hacia la tabla de madera puesto que para optimizar el proceso y obtener el mejor resultado posible se debe ejecutar prueba desde diferentes distancias (Hsieh, 2016).

Los resultados obtenidos en base a los estudios realizados fueron una longitud focal del láser de 142.5 mm, dado que para el control de la profundidad de corte se debe modular la velocidad y la longitud focal, se determinó que la velocidad adecuada con la que se puede cortar un papel A4 es de 100 mm/min (Hsieh, 2016).

Figura 1

Cortadora plasma CNC



Nota. En la imagen se puede observar una combinación entre impresora 3D y cortadora láser.

Tomado de (Hsieh, 2016)

Diseño de una maquina cortadora por plasma CNC, Kevin Mirallas, Pedro Portes, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2015.

Esta estructura fue desarrollada como una idea de optimización de corte de láminas de hierro que anteriormente se realizaba de forma manual haciendo que los acabados y la precisión del corte no sea la requerida por parte de los consumidores, para solventar este problema se ha realizado una máquina CNC es decir guiada mediante código G, cuyas señales son procesadas en una tarjeta de control y que hace el proceso de corte laser, mucho más exacto debido a la precisión en la transmisión y a los motores usados, para desarrollar este proyecto se usó un sistema cartesiano de tres ejes para los movimientos de los actuadores, en el este caso al tratarse de una estructura con gran alcance y tamaño (1220 x 2440 mm) se ha optado por generar la transmisión de los tres ejes de movimiento mediante husillos de bolas, para el eje Z se usó un husillo de bolas BSH 01204 conjuntamente con rodamientos en la parte superior e inferior dichos rodamientos son 51100 SKF los cuales son orientados mediante ejes lineales, para el eje X se usó el husillo de bolas BSH 02005 que van acompañados de guías y rodamientos lineales BBES20LA, y finalmente para el eje Y se usaron guías de precisión conjuntamente con un husillo de bolas BSH 02005 y con rodamientos lineales NTN-6300 (Kevin Mirallas, 2015).

Para el sistema eléctrico y de control se usó como en la mayoría de los casos una tarjeta de control que va conectada a los diferentes drivers y motores que son los encargados de generar el movimiento, en este caso los actuadores escogidos fueron los motores a paso frame nema 23 los cuales poseen gran torque para trabajar con cargas pesadas, la tarjeta de control elegida fue la PBZ-RX la cual tiene compatibilidad con el firmware Probotix que se adapta a la aplicación que se vaya a realizar en este caso corte plasma, los drivers usados fueron los Mondostep 4.2 Bipolar, el sistema electrónico es acompañado con una fuente de poder de 25V a 8.5^a (Kevin Mirallas, 2015).

Durante el análisis de este proyecto se pudo denotar que la precisión de la maquina crece cuando el sistema de transmisión está confirmado por husillo de bolas, el cual no es aconsejable si la maquina no es de uso industrial es decir que no abarca zonas muy extensas, además que el precio al usar este tipo de transmisión se incrementa mucho con respecto a los otros, uno de los aspectos a resaltar es que la ventilación parece un factor determinante para esta aplicación puesto que para largas jornadas en donde el plasma se llega a calentar en exceso hace falta una fuente de ventilación para no que el producto final no sufre imperfecciones (Kevin Mirallas, 2015).

Como resultados obtenidos se puede manifestar que la maquina permite realizar cortes de planchas metálicas con dimensiones máximas de 1220x1220 mm con espesores desde 0.5 hasta 12.5 mm. Con el máximo espesor de diseño (12,7 mm acero al carbono) a cortar se selecciona el equipo plasma que satisfaga este espesor con el 100% (10 minutos de corte continuo) del ciclo de trabajo, existiendo la posibilidad de cortar espesores mayores de hasta 16,7 mm pero con ciclos de trabajos de 50% (5 minutos de corte continuo) (Kevin Mirallas, 2015).

Design and Development of a Computer Numeric Controlled 3D Printer, Laser Cutter and 2D Plotter all in one machine, Muhammad Talal Shahid, Muhammad Ammar Khan, Muhammad Zubair Khan, Mechanical Engineering Department Institute of Space Technology, 2019

Este trabajo propone diseñar y desarrollar una impresora 3D mediante el uso de control numérico computarizado, cortadora láser y trazador 2D, todo en una sola máquina. La especialidad de esta la máquina es que el usuario no tendrá que cambiar de herramienta siempre que quiere realizar cualquier otra operación (Muhammad Talal Shahid, 2019).

El marco de la máquina y el funcionamiento de los componentes se basará en el cartesiano tipo de impresoras 3D (Muhammad Talal Shahid, 2019).

Entre los componentes usados para la construcción de esta máquina se utiliza Arduino como el microprocesador, mientras que Ramps 1.4 es la placa utilizada como la placa controladora. Esta misma placa se utilizó para los tres Procesos (Muhammad Talal Shahid, 2019).

El puerto D9 en la placa RAMPS se utiliza para alimentar la pieza ventilador. Su potencia se puede variar de 0 a 255 con el incremento de 1. El láser óptico de diodo se puede conectar a este puerto para cumplir con el propósito de grabado láser, el mismo posee una potencia de 80W. El coeficiente de transferencia de calor de 19.04 W/m²k y una velocidad de 2.5m/s del aire proporcionado por el ventilador al extrusor. El material del extrusor era establecido en Aluminio 6063. El número de aletas fue variado hasta se obtuvo la temperatura deseada en el extrusor (Muhammad Talal Shahid, 2019).

Los resultados después de realizar el análisis térmico en el extrusor de temperatura de transición vítrea para el filamento ABS es de 105 C siempre que el número de aletas es igual a 8 con 2 mm de espesor (Muhammad Talal Shahid, 2019).

A novel integration of laser engraver and 3d printer, Jeet Patel, Bhavantik Gondaliya, Nairutya Patel, Dr. Ajay M. Patel, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 2019.

Este trabajo se propone para diseñar y desarrollar la integración de una impresora 3D y grabador láser en un solo control de sistema. La tecnología de impresión 3D se basa en el Fused técnica de modelado de deposición (FDM) que es un proceso aditivo de fabricación mientras grabado láser (un subconjunto de marcación láser) se basa en la fabricación sustractiva proceso (Nairutya, 2019).

El desarrollo de esta máquina incluye un sistema de impresión 3D, sistema de nivelación auto-cama y un sistema de grabado láser (Nairutya, 2019).

El láser utilizado en este trabajo es un láser de 500mw / 450nm / 12volt. Usando Arduino Mega como controlador, la energía del láser es bajo, por lo que sólo puede ejecutar una tarea de grabado. El relé es un interruptor accionado eléctricamente que se utiliza para controlar el encendido /apagado del láser (Nairutya, 2019).

El Arduino Mega y RAMPS 1.4 se utilizaron para controlar tres motores en tres ejes, el extrusor, tres paradas finales, un calentador de la cama de impresión, sensores de temperatura, etc (Nairutya, 2019).

Para un desarrollo rápido, se hace uso del firmware libre llamado Marlin se utiliza para controlar los dispositivos para ejecutar impresión 3D y grabado láser (Nairutya, 2019).

La impresión 3D y el grabado láser se basan en dos enfoques de fabricación opuestos. Por supuesto, necesitan software diferente para llevar a cabo sus tareas específicas. El presente trabajo seleccionó el “host repetier” asociado con Slicr3r para manejo de la impresión 3D y el Inkscape para el manejo de grabado láser.

El Firmware Marlin se ejecuta en la placa principal de la impresora 3D, gestionando todas las actividades en tiempo real de la máquina. Eso coordina los calentadores, motores, sensores, luces, LCD visualización, botones y todo lo demás involucrado en el proceso de impresión 3D.

Los resultados obtenidos se obtienen variando los parámetros de procesamiento del láser, como potencia, velocidad y número de pasadas, diferentes colores pueden ser creado en la superficie, los datos logrados son los siguientes: Distancia focal, 25, 50, 75 mm; Distancia puntual 40, 70, 100 um.

Estudio, diseño e implementación de una máquina herramienta de control numérico computarizado, caso práctico prototipo de fresadora para madera.” Andrea Magali Llerena Pintag, Mario Orlando Coronel Hernández, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2014.

El presente trabajo permite visualizar el estudio, diseño e implementación de una máquina fresadora para madera, mediante control numérico computarizado el cual basa todo su funcionamiento en un diseño cartesiano, el material usado es el hierro negro y aluminio, para la base utiliza ángulos de 20x20x550mm y un espesor de 3mm, además tubo cuadrado de 20x20x40mm para los apoyos de la mesa, logrando así un área de trabajo de (297x420mm) medidas que están sujetas al formato A3.

Las guías para el desplazamiento de los ejes se trabajan en acero inoxidable, para el eje “Y” se utiliza guías de ($\frac{1}{2}$ “x 570mm), para el eje “X” guías de ($\frac{1}{2}$ “x 520mm) y para el eje “Z” guías de ($\frac{1}{2}$ “x 180mm).

Entre las especificaciones para la transmisión de movimiento el presente proyecto se refiere al tornillo sin fin o tornillo de bola como el mecanismo a emplearse, de diámetro 10mm, paso de 1.5mm, rosca ACME y su longitud es 200mm, el husillo es de Nylon PA66 con una rosca interna compatible con el tornillo sin fin de 10mm.

Los motores seleccionados para el movimiento de los ejes “X e Y”, son los motores serie Nema 23, modelo AX0501878/B5311101A, pasos por revolución 200, voltaje nominal 1.75 VDC, corriente de fase de 2 amperios por cada fase y un torque de 0.83 [N.m] y para el movimiento del eje “Z” se usa el motor serie Nema 23, modelo STP-57D210 pasos por revolución 200, voltaje nominal 2.4 VDC, corriente de fase de 1.5 amperios por cada fase y un torque de 0.62 [N.m].

La máquina herramienta para fresar seleccionada es Dremel Serie 3000, velocidades variables entre (5000-32000) rpm, amperaje 1.2 A, voltaje 120 AC, frecuencia 50-60 Hz y un peso de 20 onz.

Entre las tarjetas empleadas para el control numérico computarizado se tiene el Arduino UNO como tarjeta controladora del sistema, Pololu A4988 es una placa para controlar micro pasos de motores PAP bipolares, Toshiba TB6560AHQ es una tarjeta de alta potencia, cuya corriente aplicada a las bobinas de los motores PAP es 3.5A máximo y también provee una protección completa para la PC en caso de sobrecarga de corriente y exceso de temperatura.

Además de las partes mecánicas y estructurales el presente trabajo muestra a Mach3Mill como software controlador y al programa LazyCam como software CAM, también se considera el voltaje y amperaje consumido por los motores PAP, eligiendo como fuente de alimentación la serie RDY-240-24, voltaje de entrada 100V-120V/200V-220V, corriente de consumo 1.3A, tensión de salida 24VDC y corriente de salida de 10A.

Diseño y construcción de una impresora 3D tipo cartesiana para la elaboración de placas electrónicas tipo SMD, Aguinaca García Diego Antonio, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2017.

En el presente proyecto se expone el desarrollo de una impresora 3D, que ocupa un sistema extrusor tipo jeringa utilizando un motor y un tornillo sin fin unido a un pistón que empuja el material de apoyo durante la impresión, para ello se ha desarrollado una estructura cartesiana de 3 ejes de movilidad, que son accionados mediante el uso de motores Nema 17 de la empresa GEETECH en cada uno de los respectivos ejes. Para la transmisión del movimiento se usaron tornillos sin fin debido al costo y robustez de los mismos. En el caso del eje Y, X se utilizó un acople para motor de 5 a 8 mm, con un rodamiento de bolas 608ZZ, un rodamiento lineal LM8LUU y un soporte para rodamiento lineal, para el eje Z se usó dos

motores uno a cada lado que funcionen síncronamente, de esta manera se elevará toda la estructura correspondiente al cabezal del extrusor.

En el diseño de la mesa de trabajo se tomó en cuenta ciertas condiciones como la temperatura mínima que debe alcanzar que en este caso es de 210 grados centígrados y un porcentaje de pandeo menor al 1%, en consecuencia, de estos criterios se determinó que la potencia para la cama caliente debe ser de 300 W. Para alcanzar esta potencia y transformarla en energía calórica se utilizó un cable resistivo AC de 110 V.

Para el control del sistema eléctrico se determinó que la mejor opción sería la placa GT2560 por el alto número de pines que posee la misma, y que sirven para conectar los componentes que constituyen la impresora 3D. El firmware instalado dentro de esta placa es el Marlin debido a la versatilidad que se tiene para la configuración de máquina deseada.

En el sistema de extrusión se utilizó un sistema de empuje pistón engranaje, que contiene en su composición dos imanes de neodimio para sujetar la placa conjunta del extrusor a la base, y también para unir la cápsula del material con el motor.

Dado que la energía generada por todos los elementos eléctricos que conforman la estructura es de 123.87 W se escogió una fuente de 12 V que posee una potencia de 150 W.

Los resultados obtenidos en la resolución de este proyecto fueron rangos positivos de precisión que maneja la estructura, para ello se realizaron varios ensayos, de los cuales se obtuvo una desviación promedio de +0.08 mm, en el dimensionamiento de pistas de espesores de 0.6 y 0.2 mm. En cuanto a la repetibilidad se imprimió 5 veces un punto en la base, dando un promedio de repetibilidad de +-0.4 mm. Para validar el funcionamiento de la placa electrónica se puso la impresora en funcionamiento a una temperatura de 70 grados centígrados y consumos de corriente de hasta 200 miliamperios, sin afectar ninguno de los componentes.

Diseño e implementación de una máquina Router cnc de 4 ejes para el tallado de modelos 3d en madera. Caicedo Guerra, Eli Damián Pillajo Almachi, Cristian Javier, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2017.

El presente proyecto detalla el diseño y construcción de una máquina Router de 4 ejes, mediante control numérico computarizado para tallar madera, la misma que posee un volumen de trabajo de 800x500x150mm para trabajar figuras de 700mm de largo y 100mm de diámetro, el material empleado para la base es tubo cuadrado de acero ASTM A500 de 40x40x2mm, las placas de soporte para los elementos de transmisión y guías de movimiento lineal se las realiza en una plancha de acero A36 de 3mm de espesor, la mesa de trabajo está fabricada en MDF de 3 capas es decir 5 mm de espesor.

La máquina herramienta usada para la manufactura es de la marca Dewalt y se selecciona la serie DW618D por tener un rango de velocidad de 8000 a 24000 rpm, con una potencia de 2-1/4 HP (1.67 kW), los motores a pasos seleccionados son híbridos de la serie 34HST9805-37B2 y se selecciona una fuente de 24 voltios y 15 amperios por su disponibilidad en el mercado. El driver empleado es DM860A ya que es un controlador diseñado precisamente para trabajar con las 2 fases que cuentan los motores a pasos híbridos.

Para el cableado se emplea cable flexible aislado de cobre AWG 18 para la conexión entre los drivers y motores, AWG 16 para la conexión entre la fuente de poder y drivers. En lo que corresponde a los conductores de las señales de control se emplea cables flexibles AWG 22.

El sistema de control se establece en una tarjeta Breakout Board (BOB) DB25- 1205. Es una tarjeta con puerto paralelo diseñada para establecer una conexión flexible entre el computador y la máquina CNC, traduce las señales provenientes del computador y provee señales de dirección y paso a la CNC, entre las características principales de esta tarjeta se

considera que posee una interface para seis ejes, voltaje de alimentación 5 VDC y soporte para Mach3 y un acoplador óptico incorporado.

Entre las normas de seguridad usadas para máquinas herramienta industriales se referenció la norma EN ISO 12100-1 - Tipo A, Seguridad de las máquinas: Conceptos básicos, principios generales para el diseño. Parte 1: Terminología básica, metodología. EN ISO 13849-1 - Tipo B, Seguridad de maquinaria: Partes de los sistemas de mando relativos a la seguridad. Parte 1: Principios generales para el diseño. EN 693 - Tipo C, Máquinas-herramienta: Prensas hidráulicas, requisitos de seguridad.

Para máquinas de automatización con control numérico se usó la norma ISO 6983-1: 2009, la cual se refiere al control numérico de máquinas, formato de programa, definición de las palabras de dirección, además de formato de los datos para el posicionamiento, el movimiento de línea y sistemas de control de contorno. (ISO, 2017)

Los resultados obtenidos de la realización de este proyecto de titulación se obtiene un volumen de trabajo: 874x650x170 mm (Ejes XYZ), una precisión: +/- 0.05 mm, una velocidad máxima de avance: 700 mm/min, diámetro de trabajo del cuarto eje: 140 mm, potencia del husillo: 2 ¼ hp, velocidad del husillo: 8000-24000 rpm, todo esto realizado con un costo: 2860 dólares americanos.

Diseño de una máquina CNC multifuncional. Juan Quiceno, Universidad autónoma de occidente, 2019.

El proyecto expuesto trata de la construcción de una estructura que combina aplicaciones de grabado laser, impresión 3D y ruteado 3D, mediante el intercambio manual de cabezales y la implementación de un sistema de control para acoplar las distintas herramientas a usar.

Para el sistema de movimiento se seleccionó un pórtico con cabezal móvil, con autonomía de movimiento en cada uno de los ejes, para los ejes X, Y se escogió un husillo trapezoidal de bolas circundantes modelo SFU1605 y dos guías lineales con rieles SBR20, el eje Z está compuesto por 2 husillos modelo RPTS 16x4 y 2 guías lineales que se encuentran en los laterales del pórtico. Este sistema se encuentra montado sobre perfiles P8 que permiten la conexión de las guías de movimiento mediante la ranura de 8 mm que poseen.

Para el sistema eléctrico se implementó una tarjeta controladora Ramps que se conecta a dos distintos drivers TB6560 Y KL-11080, los mismos que controlan 2 motores Nema 23 con pares de torsión de 1.27 Nm y un motor KI-11080 con un par de torsión de 8.47 Nm. El sistema de control se encuentra dirigido por el firmware Repetier, puesto que presenta versatilidad para usar las 3 funcionalidades, además posee una LCD que permite interactuar con los motores.

Para la impresión 3D se escogió un extrusor directo Mk8, uno de los más usados, para grabado láser la mejor opción es Prusa i3 que es un cabezal de 3.5 W 450 nm con modulación TTL, y finalmente para el ruteado se implementó un mototool Dremel 3000.

Fabricación aditiva multimaterial y multimétodo plataforma para futuras estructuras impresas en 3D. Devin J. Roach, Craig M. Hamel, Conner K. Dunn, Marshall V Johnson, Xiao Kuang, H. Jerry Ki, Instituto de tecnología de Geogia, 2019.

El artículo expuesto plantea la idea de la manufactura aditiva desde una combinación de elementos primarios, es decir, la elaboración de una pieza compleja en donde se mezclen más de un material para su formación, se presenta una estructura capaz de llevar a cabo esta tarea muy útil en diferentes campos y aplicaciones.

El sistema integrado cuenta con siete cabezales en total de diferentes tecnologías de manufactura aditiva, dos de tecnología FFF (fabricación de filamentos fundidos), dos de DIW (escritura de tinta directa), dos de IJ (chorro de tinta) y una de AJ (chorro de aerosol).

Todos los cabezales se encuentran montados sobre el pórtico del eje Z, mientras que la cama se mueve en los ejes X, Y. La superficie de trabajo es de 1m X 0.5m con una precisión de $\pm 3\mu\text{m}$ y una velocidad máxima de 1 m/s. El cabezal para extrusión es un Prusa3D uno de los más usados para estas aplicaciones, el módulo de inyección de aerosol es un motor de impresión Optomec con un atomizador neumático, el módulo de curado fotónico es una lámpara de flash de Zenón que emite una luz de amplio espectro, el módulo IJ de fotopolímero consta de dos Xaar 1003 que son cabezales de impresión piezoeléctricos.

Se usó un controlador de movimiento dedicado Aeroteh A3200, los movimientos de los cabezales son controlados independientemente, para la sincronización del movimiento de todos los cabezales se dispuso de un software interno codificado en Python.

Transformación de un prototipo impreso CNC 3D a un plotter. Li Culda. Universidad Aurel Vlaicu de Arad. 2021.

En este apartado se detalla la construcción de un plotter CNC a partir de piezas impresas de una maquina común, las piezas son diseñadas en un software CAD y luego son creadas en una impresora 3D, a estos componentes se les añade algunos otros del sistema de transmisión mecánico para así formar una estructura funcional y con un muy bajo costo de producción.

En este caso la mesa de trabajo se moverá sobre los ejes X, Y y para el movimiento del eje Z que corresponde a la herramienta se tiene un motor a pasos provisto de un husillo de bolas que permite el posicionamiento preciso del efector final, para el movimiento en los ejes X, Y se tiene un sistema de cadena, conjuntamente con sus respectivos ejes lineales.

El sistema eléctrico se encuentra formado una tarjeta controladora Arduino UNO, la cual es conectada a la tarjeta Arduino CNC Shield V3 que es una plataforma de Arduino en donde se programa una aplicación CNC puede ser grabado láser, impresión 3D o plotter CNC, lo que

la hace ideal para facilitar la combinación de estas tres áreas, el driver usado para manejar los motores es el A4988, para generar el movimiento se escogió tres motores a pasos 28BYJ-48. El firmware usado para la programación de la CNC es LaserGRBL debido a la compatibilidad con Arduino y su fácil manejo.

Virtual Expo Group. (10 de Noviembre del 2021). EMCO. Fresadora CNC de 3 ejes

MEGAMILL. <https://www.directindustry.es/prod/emco-gmbh/product-7241-2363368.html>

A continuación se detallan las especificaciones técnicas que posee una Fresadora CNC de 3 ejes MEGAMILL de marca "emco", la orientación del husillo es vertical, tiene una estructura de pórtico, su recorrido mínimo en el eje X es 7500 mm (295 in) y su recorrido máximo es 20000 mm (787 in), su recorrido mínimo en el eje Y es 4000 mm (157 in) y su recorrido máximo es 7000 mm (276 in), su recorrido mínimo en el eje Z es 1500 mm (59 in) y su recorrido máximo es 2000 mm (79 in), su potencia es 40 kW (54,38 hp), alcanza una velocidad de 30 m/min en mecanizado, un torque de 1200 Nm lo cual es ideal para moldes y matrices en la industria del automóvil y piezas grandes en la industria aeroespacial, la estructura básica es resistente a la flexión, a la torsión y a las vibraciones dado que es de acero soldado, posee un accionamiento de cremallera de alta precisión con juego cero en los ejes X e Y, incluye guías de rodillos lineales con holgura cero en todos los ejes lineales para una alta precisión de posición, motor del husillo principal 40 kW / 1200 Nm, sistemas de cambio automático de cabezales, cambio automático de herramienta y control numérico mediante Heidenhain, Siemens.

Jorge Lorenzo. (31 de Enero del 2019). Of3lia. Guía definitiva sobre extrusores y hotends para impresora 3D. <https://of3lia.com/guia-extrusor-y-hotend-impresora-3d/>

A continuación, se detalla la comparativa de 3 tipos de extrusores de impresoras 3d: MK8 vs Titan vs Bondtech BMG.

Extrusor MK8

Posee un extrusor mk8 recomendado para sistema de extrusión bowden (el extrusor está fuera del carro), el mismo que es compatible con lite 6, all metal V6 y volcano, tiene una velocidad máxima de 50 mm/s, su relación de transmisión es 1/1, no posee doble engranaje, el motor paso a paso necesario mínimo normal es de la serie (nema 17 | 1,7a | 0,4 Nm).

Extrusor Titán

Posee un extrusor para sistema de extrusión bowden (el extrusor está fuera del carro), el mismo que es compatible con V6, all metal V6 y volcano, tiene una velocidad máxima de 80 mm/s, su relación de transmisión es 3/1, no posee doble engranaje, el motor paso a paso necesario mínimo es TIPO PANCAKE (Nema 17 | 1,2A | 0,12 N·m)

Extrusor Bondtech BMG

Posee un extrusor para sistema de extrusión Directo (el extrusor está fuera del carro), el mismo que es compatible con V6, all metal V6 y volcano, tiene una velocidad máxima de 120 mm/s, su relación de transmisión es 3/1, si posee doble engranaje, el motor paso a paso necesario mínimo normal es TIPO PANCAKE (Nema 17 | 1,2A | 0,12 N·m).

HACO. (10 de Noviembre del 2021). HACO. Máquinas de corte por láser.

<http://www.esma-lda.pt/home/gestor/uploads/pdf/afcbba1712.pdf>

Se detalla a continuación las especificaciones de la máquina de corte por láser HLT 3500, la cual posee una potencia de 3500 (W), una longitud de onda de 10.6 (µm), tiene una frecuencia 0 – 2.5 (kHz), una potencia estabilizada +/-1.5 en 24 h(%), una estabilidad del punto +/-0.15 24h(mrad), el gas para el tratamiento por láser usado es LASAL 97 PREMIX.

Las dimensiones de la hoja para mecanizado son de 1500x3000 (mm), el recorrido máximo de los ejes X, Y y Z es de 1550x3050x100 (mm) respectivamente, la velocidad máxima de posicionamiento es de 75 (m/min), la velocidad máxima de corte es 15 (m/min), la precisión en la programación 0.01 (mm), la precisión en el posicionamiento es 0.05 (mm/m), la potencia

máxima consumida 65 (kW), el uso de aire comprimido alcanza los 6 (bar) y el peso de la máquina es de 11 (T).

Línea base del laboratorio CNC de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, en su intención por mejorar su propuesta académica, con respecto a la enseñanza de forma práctica de los nuevos sistemas de producción que han surgido a partir de la globalización, se ha implementado un laboratorio en el que se imparten conocimientos técnicos en las carreras de Mecatrónica y Electromecánica, en donde se pueden encontrar procesos industrializados que son llevados a cabo gracias al uso de tecnología de primera punta.

El laboratorio CNC cuenta con un conjunto de máquinas dedicadas a los procesos de manufactura automatizados, las cuales se describirán a detalle a continuación.

Centro de mecanizado vertical Leadwel V-30.

El centro de mecanizado vertical Leadwell V-30, es una estructura basada en control numérico computarizado, que realiza múltiples aplicaciones como son fresado, taladrado, tallado, etc., usa un sistema electrónico que le permite trazar trayectorias, a una velocidad y con un posicionamiento de la herramienta de corte de alta precisión, que facilita el desarrollo de piezas complejas al momento de manufacturar, posee un espacio de trabajo apropiado para aplicaciones industriales, dispone de un ATC de 20 herramientas, donde se almacenan todas las herramientas de corte que se pueden utilizar para llevar a cabo las diferentes tareas de mecanizado.

En cuanto exterior de la máquina, posee un armazón en forma de chapa metálica, posee una ventana que protege al operario en contra de desperdicios que se desprenden de los procesos llevados a cabo, el área de trabajo viene dado por una mesa provista de ranuras

T, las cuales son usadas para sujetar directamente la piezas, el área que ocupa la mesa es de 890 x 400 mm, la configuración de la superficie es 18TX125X3 mm, la mesa se puede mover transversalmente junto con el carro transversal o longitudinalmente sobre el carro transversal.

Para los movimientos que se realizan en los tres ejes X, Y y Z se tiene diferentes guías lineales que son las encargadas de conducir el movimiento en una dirección determinada, además de un sistema de transmisión, en este caso en los tres ejes se han utilizado husillos de bolas y rodamientos lineales para transmitir el movimiento, en la tabla 1 se muestran las diferentes guías y husillos de bolas usadas para cada eje.

Tabla 1

Elementos de transmisión del centro de mecanizado Leadwell V-30

Elemento	Denominación
Guía en eje X	LG24-35-1640L-2
Husillo de bolas para el eje X	36XP10X1248L (mm)
Guía en el eje Y	LG24-35-1000L-2
Husillo de bolas para el eje Y	40XP10X888L (mm)
Guía en eje Z	LG24-35-1080L-2
Husillo de bolas para el eje Z	40XP10X1120L (mm)

Nota. En la tabla se visualiza los diferentes elementos usados para la transmisión de movimiento de la maquina en sus tres ejes. Tomado de (Marco Arias, 2019)

La velocidad máxima que alcanza el husillo es de 8000 rpm, su motor tiene una potencia de 11 Kw, el cono tiene una configuración CT-40, los motores responsables del movimiento de los ejes brindan una velocidad de 36 m/min

Posee un sistema neumático accionado al momento de cambiar una herramienta de trabajo usando un compresor de 100 psi, un sistema eléctrico el cuál es conformado principalmente por el controlador de la máquina que en este caso es FANUC Serie Oi-Modelo F; cuenta con un hardware de última generación que permite realizar múltiples operaciones. En la parte posterior de la estructura se encuentran los PLCs que son los encargados de, conjuntamente con el controlador, general las señales adecuadas para el movimiento de los servomotores los cuales son de la marca FANUC. Posee un intercambiador de calor, para mantener fríos los componentes eléctricos, además tiene un transformador de voltaje que cambia de 220 a 440 voltios.

Torno CNC GSK GT40a

El torno CNC GSK GT40a es una máquina de manufactura con tecnología de control numérico, se utiliza para la creación o moldeo de piezas cilíndricas que necesitan un proceso de revolución para su formación, el hecho de ser una máquina automática que se rige por datos codificados hace que los detalles de las piezas mejoren, también existe una relevante mejora en cuanto a calidad y reducción de tiempo de trabajo en comparación con su homónimo proceso manual.

Consta de las mismas partes que un torno común, la estructura externa está compuesta por una chapa metálica que recubre el interior de la máquina brindando seguridad al operario, para la generación del movimiento en los diferentes ejes, usa un mecanismo de piñón cremallera, en los ejes X y Y, que se montan en un carro transversal dispuesto sobre guías prismáticas que dictan el espacio que se va a recorrer en cada dirección. Para la automatización de estos movimientos se usan servomotores conectados un sistema eléctrico monitoreado por un controlador que en este caso es un GSK980TD, que dentro de su programación posee dos tipos de software: el del sistema y el del PLC; el primero controla la

interfaz, comunicación, decodificación y el segundo realiza la ejecución de los programas en lenguaje Ladder.

El rango de velocidades del husillo va desde 200-2000 rpm, la potencia del motor principal es de 7.5 Kw, la velocidad de desplazamiento en los ejes X, Z son 3.8 m/min y 7.6 m/min respectivamente.

Centro de mecanizado Expert Mill VMC-0600

El centro de mecanizado Expert Mill VMC-0600 es una estructura dedicada a la manufactura de piezas metálicas de menor tamaño, permite generar una mayor cantidad de detalles en el diseño de la pieza, debido a la precisión que adquiere la misma por la optimización del espacio y la delicadez en los avances de sus tres ejes lineales de movimiento X, Y, Z.

La estructura externa está compuesta por un armazón cerrado hecho de aluminio fundido, el área en donde se lleva a cabo el proceso de mecanizado se encuentra sellado por seguridad, la mesa de trabajo posee una configuración matricial que permite la implementación de tornillos de sujeción, el área de trabajo es de 436 mm x 127 mm, las dimensiones para la materia prima no deben ser mayor al recorrido de los ejes por lo tanto debe ser menor a 304 mm x 152 mm x 241 mm. El sistema de transmisión de movimiento está conformado por guías lineales con rodamientos de bolas, y husillos de bolas en cada uno de los ejes.

Dentro del sistema eléctrico, el husillo de la maquina está accionado por un motor DC con imán permanente de 1 hp, los actuadores que generan los movimientos en los ejes son motores a paso que poseen 200 pasos/rev, posee un controlador de alto rendimiento IPM 150 que guía al sistema eléctrico para generar las trayectorias necesarias.

El control de esta máquina se basa en el software CNCBASE que es una herramienta de gran utilidad debido a su versatilidad, su fácil manejo, además de su multifuncionalidad,

posee una interfaz electrónica que permite al usuario monitorear el proceso de mecanizado de forma muy intuitiva, y con la posibilidad de verificar cada uno de los parámetros importantes para la operación.

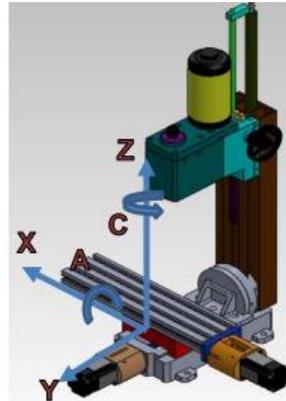
Centro de mecanizado vertical de 5 ejes.

El centro de mecanizado vertical de 5 ejes fue desarrollado como un proyecto de investigación, en el que se parte de una fresadora vertical de 3 ejes X, Y, Z, para agregarle 2 ejes más de rotación A y C, de esta manera se puede realizar piezas con una mayor dificultad de mecanizado; este proyecto se desarrolló para ser utilizado en materiales blandos, esto como limitante de la máquina.

El interior se encuentra al descubierto, es decir que no cuenta con una estructura cerrada de protección, el área de trabajo es bastante reducido debido a que está hecha para realizar piezas pequeñas con gran precisión, por lo que los recorridos de sus ejes son bastante cortos, eje X 140 mm, eje Y 86 mm y eje Z 215 mm. El sistema de transmisión de movimiento usa husillos de bolas en los tres ejes conjuntamente con guías cola de milano sobre las cuales van montadas los diferentes accesorios para montaje de la pieza a trabajar como se muestra en la figura 2.

Figura 2

Fresadora CNC de 5 ejes



Nota. En la imagen se puede observar la estructura, así como sus componentes mecánicos.

Tomado de (Bustillos Diego, 2014)

El sistema de control consta de una tarjeta controladora Combo-board rev.5, que viene cargada de un software Mach 3 usado para el control de los movimientos, los drivers usados para el control de motores son GeckoDriver G202, para el control de la velocidad del husillo se ha usado una tarjeta LM-1hp, se usan motores a pasos de la marca Quicksilver modelo A23-3, también se cuenta con un HMI el cual viene programado con la interfaz del software de control usado.

En el programa Mach 3 se introducen elementos previamente diseñados en un software CAD, aquí se transforman todos estos diseños en código G que es el utilizado por el centro de mecanizado para trazar trayectorias a velocidades y con posicionamientos controlados.

Cortadora plasma CNC.

Otra de las máquinas que se han realizado en este laboratorio es la cortadora plasma CNC la cual se puede observar en la figura 3, posee 3 ejes de movimiento, tiene además una cama de agua mediante la cual se reduce la contaminación que existe en este proceso debido al gas liberado durante el corte.

El área de trabajo de la estructura permite cortar planchas de acero de 1220 mm x 1220 mm con espesores que varían entre 1.9 a 9.5 mm dependiendo de la potencia a la cual se esté trabajando. Está conformada por una mesa fija y un pórtico móvil, hechos de acero A36; para la transmisión del movimiento en el pórtico se usaron cadenas, conjuntamente con piñones y tornillos sin fin para mover el cabezal. Se implementaron motores a pasos 17HS111 con sus respectivos drivers DQ542MA y como final de carrera se adaptó un sensor inductivo modelo TK-12P4C F, como controlador de los 3 ejes de movimiento se utilizó ADTECH modelo HC-4500 que es compatible con la cortadora plasma Hypertherm Powermax 1000 que posee una antorcha DURAMAX MRT.

El controlador viene incorporado una pantalla a modo de HMI desde donde se puede cargar los programas que se desee ejecutar, incluso se puede interactuar con las diferentes posiciones y velocidades que se están llevando a cabo en dicho proceso

Figura 3***Cortadora plasma CNC***

Nota. En la imagen se puede observar una cortadora plasma de tres ejes que posee una cama de agua. Tomado de (Terán, 2017)

Cortadora Láser CNC

La cortadora láser se realizó como un proyecto de titulación con la finalidad de brindar una herramienta de manufactura sustractiva al laboratorio CNC, esta estructura cuenta con dos ejes móviles X y Y, el eje Z permanece estático puesto que no es necesario que la herramienta de corte se mueva en este eje durante el proceso, más que simplemente para buscar el punto de enfoque correcto del láser.

La potencia seleccionada para este tipo de trabajo fue de 80 W, que es la potencia para poder cortar planchas de MDF de 10 a 14 mm de espesor, el área de trabajo es de 900 mm en el eje X y 900 mm en el eje Y; para la transmisión del movimiento en los dos ejes se usó flechas con rodamientos lineales para el traslado del cabezal, la generación de los movimientos se da a partir de husillos de bolas en ambos ejes, accionados por motores a paso híbridos de la marca nema 23.

Figura 4*Cortadora láser CNC*

Nota. En la imagen se puede apreciar el diseño de la cortadora láser que se encuentra en el laboratorio CNC. Tomado de (Carlos Lugmania, 2015)

El sistema de control está conformado por un procesador de señales digitales DSP AWC608, que tiene la posibilidad de controlar hasta 4 ejes, así como la activación del tubo láser y los drivers de los motores que en este caso corresponden a la tarjeta microstepping KL-4030 bipolar. La máquina contiene también un sistema de enfriamiento para el tubo láser Chiller CW-300; se tiene tres fuentes de alimentación, una para el accionamiento de los motores, la segunda para la tarjeta DSP y la tercera para accionar el tubo láser su diseño se puede observar en la figura 4. El programa con el que se opera la máquina es LaserCad, se escogió este software por la compatibilidad con la tarjeta principal

Impresora 3D BST 768

Esta máquina con la que cuenta el laboratorio CNC, es de uso didáctico puesto que su diseño está asociado al prototipado rápido de piezas pequeñas y que necesitan un alto grado de precisión, es de fácil uso lo que la hace perfecta para el aprendizaje de este tipo de manufactura.

Su estructura está formada por una capa externa que recubre todo el interior de la impresora que mantiene al operario al margen del proceso, posee una ventana plástica para poder monitorear la operación, el tamaño del grosor de capa que puede brindar es de 0.254 mm. Cuenta con las siguientes partes: un cabezal de extrusión con su respectiva boquilla, varillas guías para el movimiento del eje Z que se usan como rieles, para los otros dos ejes se usan transmisión mediante cadenas, vienen acompañadas de rodamientos lineales; en medio de estas guías se encuentra un husillo de bolas para la transmisión del movimiento, se tiene un cartucho de material de modelado y un cartucho de material de soporte que en este caso el más usado es el ABS, cuenta con una pantalla que posee una interfaz amigable con el usuario, un montaje para la limpieza de la boquilla de extrusión, un recipiente de purga en donde se depositan los desperdicios de la operación realizada, la base donde se ubica el material para generar la pieza, una plataforma z que contiene un calefactor para la base y retenedores que permiten ajustar la mesa a la plataforma Z. La ubicación de algunos de ellos se observa en la figura 5.

Figura 5*Impresora BST 768*

Nota. Se muestra el modelo de la estructura de la impresora 3D BST 678. Recuperado de (Stratagics INC, 2008)

El área de impresión de la máquina es de 203x203x305 mm, haciendo notoria la dimensión de los elementos que se pueden imprimir en la misma, el cabezal que se usa es de la serie SST 768, el software que se usa para el control es CatalystEx que se ejecuta en una plataforma de Windows 2000 o Windows XP Pro, para la generación del movimiento se usan motores a pasos Nema 17, que poseen 200 pasos por vuelta con una corriente de 1.2 amperios por bobinado y un torque de 3.2 kg/cm.

Impresora 3D CNC

Esta impresora fue desarrollada como un trabajo de titulación con el fin de dar una base de prácticas para manufactura aditiva a todos los estudiantes que utilizan el laboratorio CNC, la idea se basa en una estructura de robustez modesta que permita mediante el uso de una interfaz amigable generar piezas mediante la tecnología de control numérico computarizado y haciendo uso de elementos mecánicos y eléctricos que permitan generar trayectorias precisas y complejas.

Para el modelo estructural y el movimiento de los ejes se tomó como base la impresora HP Designjet 3D, la cual posee cuatro columnas en las cuales se apoyan los ejes X, Y, el mecanismo extrusor se mueve sobre el eje X y este a su vez sobre el eje Y, en este caso la mesa se mueve completamente sola sobre el eje Z, dando una mayor estabilidad al cabezal de extrusión. El sistema de transmisión está dado por guías en forma de ejes cilíndricos y rodamientos lineales LM8UU, impulsados por correas de sincronización GT2, esto en los ejes X, Y mientras que para el eje Z se escogió un husillo de potencia.

Para la generación del movimiento se optó por motores paso a paso Nema 17 con drivers A4988, posee también un sensor electromagnético a modo de final de carrera, se utilizó un mecanismo de ruedas motrices para el extrusor conjuntamente con fundidor BUDASCHNOZZLE 1.2 y un sensor de temperatura HONEYWELL, el extrusor posee un motor Nema 17, como calefactor de la cama se dispuso de placas PCB.

La alternativa seleccionada para el control fue la tarjeta Ramps usada en conjunto con un Arduino Mega, el firmware seleccionado para ser impuesto en la tarjeta el pronterface que es un software libre desarrollado en Python para el control de máquinas CNC y para el diseño de las piezas a manufacturar se escogió el software Cura que convierte archivos SLT.

Análisis del laboratorio CNC de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga.

Como se puede constatar en la descripción del laboratorio realizada anteriormente, existe varias máquinas dedicadas a los dos tipos de manufactura, predominando las enfocadas a la manufactura sustractiva, esto debido a que la impresión 3D es un proceso que va en avance, mientras que las tecnologías de remoción de material están vigentes ya desde hace mucho. Existe una carencia en el laboratorio CNC con respecto a esta tecnología, la impresora que se tiene es para volúmenes de piezas bastante reducidas, el área de trabajo no supera los 200 x 200 mm, que en contraste al avance que permite la impresión 3D actualmente es un uso

deficiente de este proceso, en muchos otros países este mismo tipo de máquinas son diseñadas con la intención de manufacturar piezas de gran extensión, por lo que es necesario crear una estructura que permita llegar a unos niveles modestos en cuanto al alcance de la impresión permitiendo crear piezas de mayor tamaño al actualmente permitido.

En cuanto a la manufactura sustractiva se tiene algunos ejemplares en el laboratorio con diferentes aplicaciones, fresado, cortadora plasma y cortadora láser; el equipo que se maneja es de tipo industrial, en donde se operan con elementos blandos, pero tamaño considerable, como por ejemplo las cortadoras plasma y laser, tiene capacidad para una plancha de 240x 120 cm de acrílico, sin embargo para aplicaciones didácticas y de aprendizaje dentro de la universidad no se necesitan planchas de estas extensiones, más bien se necesita una herramienta en la que se pueda explorar cada uno de los parámetros de funcionamiento de las máquinas CNC, que es en si la finalidad del laboratorio, así que al tratarse de fines didácticos no se hace primordial el usar planchas enteras de materiales blandos, una mayor utilidad tendrían planchas de medio tamaño en donde el estudiante pueda trabajar en los detalles de su diseño, mas no en su extensión. Para la aplicación de fresado se tienen algunas máquinas como los centros de mecanizados verticales, que tienen un área de trabajo de 890x400 mm el cual es un tamaño adecuado puesto que no se necesita de gran tamaño para instruir a los estudiantes sobre este tipo de manufactura.

Algunos equipos, principalmente los prototipos, con los que se cuenta actualmente en el laboratorio CNC ya han pasado por su tiempo de vida útil, son estructuras de un tamaño considerable que ocupan una gran área, sobre todo al conocer que cada una de estas cumplen con una aplicación específica, lo óptimo sería tener una maquina en donde se engloben la mayor cantidad de aplicaciones, este efecto tendría incluso repercusión en los estudiantes que no cuentan con una correcta herramienta para estudiar los tipos de manufacturas con la simplicidad y optimización que el proceso de aprendizaje requiere para alcanzar mayores resultados.

Alternativas de solución

Para la solución de los diferentes problemas que se han venido denotando, se debe tomar en cuenta la investigación previa realizada, además de la línea base de laboratorio CNC, que da una idea de las necesidades y las características de equipos similares que servirán como un instructivo para generar las mejores ideas de solución.

Las alternativas se generarán conforme a los diferentes subsistemas que interactúan dentro de la máquina y que además se valorizaran para encontrar la opción más adecuada y viable para beneficio de la máquina. Los subsistemas son:

- Subsistema A: Estructura y sistema de movimiento
- Subsistema B: Mesa de trabajo
- Subsistema C: Guías de movimiento y sistema de transmisión
- Subsistema D: Interacción de cabezales
- Subsistema E: Actuadores
- Subsistema F: Control
- Subsistema G: Software de control
- Subsistema H: Cabezal de impresión 3D

Alternativas para subsistema A: Estructura y sistema de movimiento

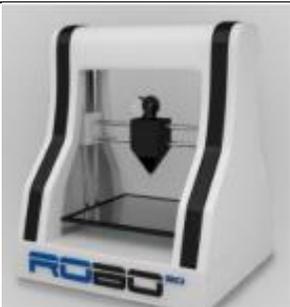
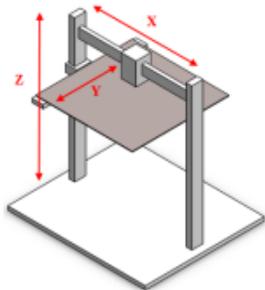
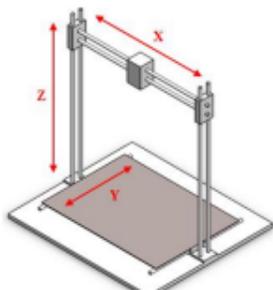
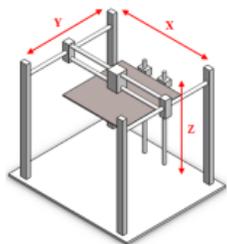
La estructura es la parte de la máquina que sobresale ante la perspectiva del usuario, debe ser llamativa, de un aspecto moderno y sofisticado atendiendo a otras características físicas como la robustez, que sea fácil de manufacturar, fácil de desmontar en caso de mantenimiento con un diseño capaz de soportar los diferentes procesos que se van a ejecutar en su interior.

Por su parte el sistema de movimiento tiene una gran relevancia en el proceso llevado a cabo, ya que dependiendo del mismo los resultados para una operación u otras serán más

satisfactorios, tendrás más rango de movimientos en sus ejes o podrá soportar mayor cantidad de cargas. Las alternativas escogidas para este apartado se muestran en la tabla 2.

Tabla 2

Alternativas para armazón y sistema de movimiento

Alternativas	Nombre	Modelo	Sistema de movimiento
1	Modelo Robo 3D		
2	FORZA 4		
3	SIC B1325		

Nota. En la tabla 2 se puede observar las diferentes alternativas a ser evaluadas en cuanto al diseño del armazón y el sistema de movimiento de la maquina a construir. Recuperado de (Susana Chancusi, 2014)

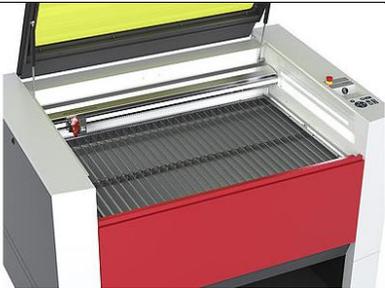
Alternativas para subsistema B: Mesa de trabajo

Dado que la sobre la mesa de trabajo se van a establecer tres aplicaciones de manufactura se debe tomar en cuenta las características de cada una de las mismas, atendiendo a las mismas se ha elegido un sistema de sobre posición de mesas, es decir como base se tendría la mesa para corte laser y para las otras aplicaciones se tendría una plancha de aluminio que por su capacidad de trasmisión y retención de calor es idóneo tanto para impresión 3D como para tallado, la misma que sería colocada sobre la mesa principal mediante ajuste por pernos de -esta manera se podrá utilizar para los tres procesos llevados a cabo.

Para mesas de corte laser se tienen varios diseños que se observan en la tabla 3, los cuales tienen características diferentes por lo que se debe elegir ya de mayor conveniencia al proyecto.

Tabla 3

Alternativas para mesa de corte láser

Alternativas	Nombre	Modelo
1	Mesa de corte de lamelas de aluminio	

Alternativas	Nombre	Modelo
2	Mesa de corte de lamelas de acrílico	
3	Mesa de corte en panel de abeja	

Nota. En la tabla 3 se puede observar las diferentes opciones a ser evaluadas en cuanto a la apropiada mesa para la operación de corte láser. Recuperado de (Trotec, 2021)

Alternativas para subsistema C: Guías de movimiento y sistema de transmisión

Alternativas para guías de movimiento. Son necesarias debido a que sobre ellas se van a montar gran cantidad de elementos, además juegan un papel importancia en la precisión de la máquina y las posibles vibraciones que la misma pueda tener durante los procesos de manufactura. Las opciones a tomar en cuenta se muestran en la tabla 4.

Tabla 4*Alternativas para guías de movimiento lineal*

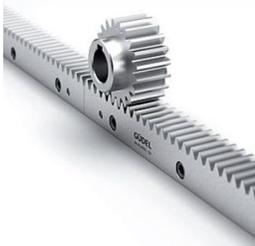
Alternativas	Nombre	Modelo
1	Sistema lineal guiado por eje	
2	Sistema lineal con recirculación de rodillos	
3	Guías cilíndricas con rodamientos lineales	

Nota. En la tabla 4 se puede observar las diferentes opciones a analizar para selección la guía lineal que mejor se adapte a la máquina. Recuperado de (SCHAEFFLER, 2021)

Alternativas para transmisión de movimiento. Para la transmisión de movimiento existen varias opciones viables como se muestra en la tabla 5, que proporcionan características especiales y son requeridas para un tipo específico de maquinarias, algunas pueden soportar mayores cargas y son más precisas que otras, pero son igualmente más caras y difíciles de conseguir en el medio.

Tabla 5

Alternativas para transmisión de movimiento

Alternativas	Nombre	Modelo
1	Transmisión mediante cadenas dentadas	
2	Transmisión mediante el mecanismo piñón cremallera	
3	Transmisión mediante husillo de bolas	
4	Transmisión mediante cadenas metálicas	

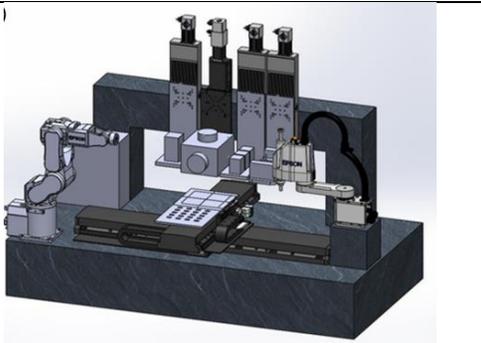
Nota. En la tabla 5 se puede apreciar los diferentes tipos de transmisión para maquinas CNC cada una con características diferentes. Recuperado de (CNC, 2021)

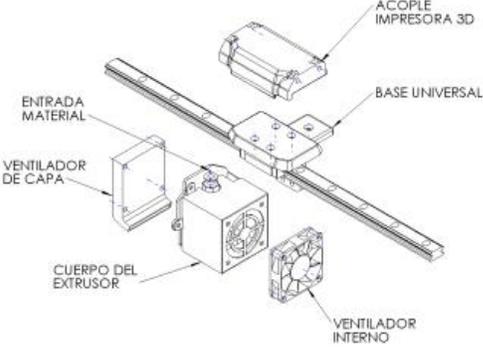
Alternativas para subsistema D: Interacción de cabezales

En el sistema se implementarán tres diferentes cabezales para cada una de las aplicaciones de manufactura que se realizarán, por lo cual se crea un inconveniente al unir cada uno de estos cabezales según convenga por lo que se han generado algunas soluciones presentadas en la tabla 6 que permiten solventar las necesidades presentadas.

Tabla 6

Alternativas para interacción de cabezales

Alternativas	Nombre	Modelo
1	Alojamiento de los tres cabezales en el pórtico transversal	

2	<p>Sistema intercambiador automático de los cabezales según la aplicación</p>	
3	<p>Acople flexible manual de cada uno de los cabezales al pórtico transversal</p>	

Nota. Se presentan las diferentes alternativas para solucionar el problema de distintos cabezales en una misma máquina. Recuperado de (Canchignia, 2019)

Alternativas para subsistema E: Actuadores

Para coordinar todos los movimientos de la máquina y para vencer la inercia producida por el peso de los componentes de la misma se necesita actuadores de gran precisión y de alta potencia que posean un gran torque para ello existen dos alternativas presentadas a continuación en la tabla 7:

Tabla 7*Alternativas para actuadores*

Alternativas	Nombre	Modelo
1	Motores a pasos	
2	Servomotores DC	
3	Servomotores AC	
4	Brushless motors	

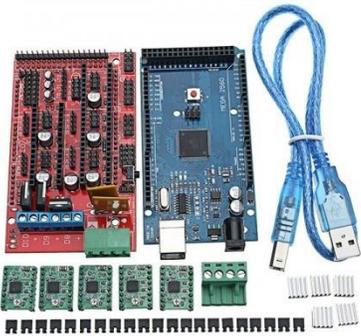
Nota. En la tabla se puede apreciar las dos alternativas investigadas para que actúen como efectores de movimiento. Recuperado de (microPap, 2021)

Alternativa para subsistema F: Control

El control se lo debe realizar desde un dispositivo capaz de soportar un firmware CNC, además que posea las salidas necesarias para poder controlar todos los elementos actuadores que posee el sistema, las opciones a analizar se observan en la tabla 8.

Tabla 8

Alternativas para la tarjeta controladora

Alternativas	Nombre	Modelo
1	GeetechGT2560	
2	Ramps 1.4 y Arduino Mega	
3	Aerotech A3200	

Nota. En la tabla se muestran diferentes opciones de tarjetas de control que se pueden usar para la creación de un sistema CNC.

Alternativas para subsistema G: Software de control

El firmware es el cerebro de la estructura CNC, se encarga de la decodificación de todos los parámetros de la máquina y el posterior envío de señales eléctricas hacia los actuadores con el fin de generar trayectorias que formen el sólido requerido. Se encarga también de interpretar el código G ingresado por el usuario, de igual manera existen algunos programas que permiten llevar a cabo esta tarea las alternativas más acertadas a la aplicación requerida se presentan en la tabla 9.

Tabla 9

Alternativas para el firmware de control

Alternativas	Nombre
1	Marlin
2	Láser GRBL
3	Repetier

Nota. En la tabla se presentan diferentes opciones recopiladas con anterioridad que son usadas para distintos tipos de máquinas CNC.

Alternativas para subsistema H: Cabezal de impresión 3D

El cabezal de impresión 3D es uno de los elementos actuadores dentro de la máquina, se encarga de recibir filamentos y fundirlos mediante un mecanismo calefactor, mediante una boquilla estos son extruidos en forma de líquido que se va colocando capa por capa hasta formar un sólido definido, en el mercado existen varias opciones los cuales se pueden valorar en base a sus características diferenciándose unos de otros. Las alternativas se presentan en la tabla 10.

Tabla 10*Alternativas para cabezal de impresión 3D*

Alternativas	Nombre	Modelo
1	Hemer E3D	
2	BondTech LGX	
3	BMG	
4	MK8	

Nota. En la tabla se presentan diferentes alternativas para elegir el cabezal de impresión 3D más conveniente.

Selección de alternativas de solución

En este apartado se analizarán y se puntuarán las diferentes características de los elementos presentados como alternativas para cada uno de los subsistemas, lo que generara

una opción óptima a ser utilizada dentro del proyecto a desarrollar. Las calificaciones asignadas a las características de los componentes estarán regidas mediante orden numérico interpretando los datos de tabla 11.

Tabla 11

Ponderación para evaluación de alternativas

Calificación	% de Óptimo	Denominación
0	< 30	Insatisfactorio
1	31 a 50	Satisfactorio
2	51 a 75	Bueno
3	76 a 90	Muy Bueno
4	91 a 100	Excelente

Nota. Se puede apreciar los diferentes valores de ponderación bajo los cuales se calificarán cada una de las características de las alternativas presentadas

Selección de alternativa subsistema A: Estructura y sistema de movimiento

Las características que se van a tomar en cuenta y que son de gran relevancia para elegir la mejor estructura son:

- Menor costo
- Complejidad de fabricación
- Apariencia estética
- Rigidez estructural
- Peso
- Facilidad de movimiento

Aplicando la calificación anteriormente descrita se escoge la mejor alternativa para la estructura de la máquina.

Tabla 12

Selección de armazón y sistema de movimiento

Criterio	Modelo ROBO 3D	FORZA 4	SIC B1325
Menor costo	3	2	4
Complejidad de fabricación	3	3	3
Apariencia estética	4	4	2
Rigidez estructural	2	4	3
Peso	3	2	3
Facilidad de movilidad	3	4	3
Total	18	19	18

Nota. En la tabla se califica cada uno de los criterios para escoger la mejor opción de armazón y sistema de movimiento de la estructura.

Como se puede apreciar en la tabla 12 la alternativa seleccionada para el armazón y el sistema de movimiento de la máquina fue la del Forza 4 que es una solución bastante robusta y con una gran apariencia estética, que además protege al usuario de posibles desperdicios que se lleguen a dar durante las operaciones

Selección de alternativa subsistema B: Mesa de trabajo

Los criterios que se tomarán en cuenta para la selección de la mesa adecuada para corte laser serán los siguientes:

- Disponibilidad en el mercado
- Estabilidad
- Resistencia a la potencia del laser
- Prevención de reflexiones de láser
- Costo
- Cantidad de soportes para piezas

Tabla 13

Selección de mesa de trabajo para corte laser

Criterio	Mesa de corte de lamelas de aluminio	Mesa de corte de lamelas de acrílico	Mesa de corte de panal de abejas
Disponibilidad en el mercado	3	2	4
Estabilidad	3	3	4
Resistencia a la potencia del láser	4	4	2
Prevención de reflexiones de laser	4	3	3
Costo	2	2	4
Cantidad de soportes para piezas	4	4	2
Total	18	18	19

Nota. Se escoge la mejor opción para el desarrollo de una mesa de trabajo para corte laser atendiendo a ciertos criterios

Como se observa en la tabla 13 la opción seleccionada para la mesa de corte laser es la que posee la configuración de panel de abejas, la misma que brinda precisión estabilidad y que existe disponibilidad en el mercado.

Selección de alternativa subsistema C: Guías de movimiento y sistema de transmisión

Selección de alternativa para guías de movimiento. Para los sistemas de guías lineales se van a analizar los siguientes criterios:

- Capacidad de carga
- Precisión
- Vida útil
- Bajo costo
- Velocidad
- Rigidez
- Disponibilidad en el mercado

Tabla 14

Selección de guías de movimiento

Criterio	Sistema lineal guiado por eje	Sistema lineal con recirculación de rodillos	Guías cilíndricas con rodamientos lineales
Capacidad de carga	2	4	3
Precisión	3	4	3
Vida útil	2	3	2
Bajo costo	4	1	4
Velocidad	3	4	4
Rigidez	2	4	2

Total	16	20	18
--------------	-----------	-----------	-----------

Nota. Se puede observar la ponderación de cada una de las alternativas en base a diferentes criterios en cuanto al sistema de guías de movimiento para la máquina.

En la tabla 14 se puede apreciar que la opción elegida para guiar el movimiento a través de los tres ejes es el sistema lineal con recirculación de rodillos, pero debido al precio del mismo se ha optado por usar guías cilíndricas con rodamientos lineales que si bien no poseen las mismas características, pero el precio es bastante modesto en comparación con los otros sistemas.

Selección de alternativa para sistema de transmisión. Los criterios para la selección del sistema de transmisión de la maquinas son los siguientes:

- Precisión
- Velocidad
- Torque
- Eficiencia mecánica
- Bajo costo
- Potencia

Tabla 15*Selección de sistema de transmisión*

Criterio	Transmisión	Transmisión	Transmisión	Transmisión
	mediante cadenas dentadas	mediante el mecanismo piñón cremallera	mediante husillo de bolas	mediante cadenas metálicas
Precisión	1	3	4	3
Velocidad	4	2	4	3
Torque	1	4	3	4
Eficiencia mecánica	3	3	4	3
Bajo costo	4	2	2	3
Potencia	2	4	3	3
Implementación	4	2	3	3
Total	19	20	23	21

Nota. Se puede observar la selección de la mejor opción para la transmisión del movimiento en la maquina tomando en cuenta importantes criterios.

La opción seleccionada para transmitir el movimiento generado por los motores fue husillo de bolas, por la precisión y el torque que brinda, en este caso se trabajara con tallado en madera, en este proceso es necesario una gran transmisión de torque y fuerza como se observa en la tabla 15.

Selección de alternativa para subsistema D: Interacción de cabezales

Para la interacción de los cabezales dentro de la misma maquina se debe tener en cuenta los siguientes criterios de selección

- Implementación
- Eficiencia del mecanismo
- Costo
- Automatización del proceso
- Velocidad de interacción

Tabla 16

Selección de alternativa para la interacción de cabezales

Criterio	Alojamiento de los tres cabezales en el pórtico transversal	Sistema	Acople flexible
		intercambiador automático de los cabezales según la aplicación	manual de cada uno de los cabezales al pórtico transversal
Implementación	2	2	3
Eficiencia del mecanismo	2	4	3
Costo	3	2	3
Automatización del proceso	3	4	1
Velocidad de interacción	3	3	2
Total	13	15	12

Nota. Se puede apreciar las diferentes ponderaciones a cada uno de los criterios seleccionados con el fin de escoger la mejor opción de interacción de cabezales

Como se observa en la tabla 16 la alternativa seleccionada para este apartado es la de un sistema intercambiador automático de cabezales que permita automatizar el proceso de accionamiento de efectores finales, sin necesidad de hacerlo de forma manual.

Selección de alternativa para subsistema E: Actuadores

En cuanto a los actuadores de movimiento a usarse se tienen los siguientes criterios:

- Bajo costo
- Precisión
- Torque
- Velocidad
- Disponibilidad en el mercado

Tabla 17

Selección de actuadores

Criterio	Motores a paso	Servomotores DC	Servomotores AC	Brushless motors
Bajo costo	4	2	1	3
Precisión	3	4	4	3
Torque	4	3	4	2
Velocidad	3	4	4	3
Disponibilidad	4	2	3	3
Total	18	15	16	14

Nota. Se observa la ponderación de ciertos criterios para analizar la mejor opción para la generación de movimiento de la máquina.

Para la generación de movimiento se seleccionó los motores a pasos que tiene una diferencia notable en cuanto a precio en comparación con sus homónimos servomotores (tabla 17)

Selección de alternativa para subsistema F: Control

Para seleccionar la tarjeta controladora del sistema se debe tener en cuenta los siguientes aspectos que ayudan a un mejor desarrollo de la estructura:

- Mejores características técnicas
- Mayor robustez
- Información sobre su uso
- Menor costo
- Disponibilidad

Tabla 18

Selección de tarjeta controladora

Criterio	GeetechGT2560	Ramps 1.4 y Arduino Mega	Aerotech A3200
Mejores características técnicas	4	3	3
Mayor robustez	4	2	3
Información sobre su uso	4	4	2
Menor costo	2	4	2

Disponibilidad	3	3	3
Total	18	16	13

Nota. Se puede apreciar las diferentes características que son necesarias para determinar la tarjeta de control que mejor se adapte al proceso que se va a llevar cabo

La tarjeta de control seleccionada según la tabla 18 fue la GeetechGT2560 por su gran capacidad de llevar a cabo múltiples tareas relacionadas con la tecnología CNC, como se evidencio en los proyectos analizados anteriormente donde se usaba la misma para propósitos similares a los presentados en este proyecto.

Selección de alternativa para subsistema G: Software de control

Para el firmware controlador de todas las partes eléctricas de la maquina se tienen los siguientes criterios:

- Fácil programación
- Entorno dinámico
- Mayor capacidad de control
- Información sobre uso
- Mayor robustez de control

Tabla 19

Selección de firmware de control

Criterio	Marlin	Láser GRBL	Repetier
Fácil programación	4	2	3
Entorno dinámico	3	3	4

Mayor capacidad de control	4	4	3
Información sobre su uso	4	2	3
Mayor robustez de control	4	3	2
Total	19	14	15

Nota. Los diferentes criterios de selección son emparejados con cada una de las alternativas que se tiene para el software de control de la estructura

El software seleccionado para el control de todas las operaciones realizadas en la maquina es Marlin que es uno de los firmwares más famosos en la industria CNC, especialmente porque contiene una plataforma que permite interactuar varias aplicaciones en el mismo sistema su selección se puede apreciar en la tabla 19.

Selección de alternativa para subsistema H: Cabezal de impresión 3D

Para el cabezal de impresión 3D a escoger para la máquina se tienen los siguientes criterios:

- Fuerza de empuje
- Eficacia en sistema directo
- Sencillo montaje
- Baja corriente nominal
- Fácil adquisición
- Precio

Tabla 20*Selección de firmware de control*

Criterio	Hemera E3D	BondTech LGX	BMG	MK8
Fuerza de empuje	4	4	3	3
Eficacia en sistema directo	4	3	3	4
Sencillo montaje	4	3	3	3
Baja corriente nominal	2	3	4	3
Fácil adquisición	2	2	3	4
Precio	2	3	3	4
Total	18	18	19	21

Nota. Los diferentes criterios de selección son emparejados con cada una de las alternativas que se tiene para el cabezal de impresión 3D

El cabezal seleccionado la impresión 3D en un MK8 que posee una configuración tipo directa y tipo BOWDEN (tabla 20), es decir que se puede montar el motor de empuje en el mismo cabezal o fuera de él; la boquilla de latón que posee hace que la impresión sea precisa y tiene gran compatibilidad con gran cantidad de filamentos como ABS, PLA, PTEG.

Capítulo III

Diseño y selección de componentes

Parámetros de diseño

En la siguiente sección se ha detallado cada uno de los diferentes parámetros que la máquina deberá cumplir a forma de requerimientos mediante el uso de un diseño adecuado que permita satisfacer cada uno de los mismos. Se debe tomar en cuenta que existen tres diferentes aplicaciones de manufactura que intervienen por lo que se debe definir parámetros para cada una de estas características.

Volumen de trabajo

Para el volumen de trabajo se debe tener en cuenta el análisis a la línea base en donde se denotó que en cuanto a impresión es necesario volúmenes normales de impresión, capaz de ser utilizado con facilidad por los estudiantes, mientras que para fresado y corte láser no es necesario grandes volúmenes ya que la máquina tiene fines didácticos, dicho esto las

dimensiones ideales máximas para el volumen de trabajo basado en medidas utilizadas en el mercado considerando $\frac{1}{4}$ de plancha serían 60X60X30 cm (Bricolaje, 2022)

Tamaño estimado de la maquina

Para el tamaño total de la máquina se consideró el armazón externo de la misma sumado a la mesa de trabajo y un área en donde se instalarán la mayoría de los dispositivos electrónicos de control y los elementos necesarios para llevar a cabo los tres procesos descritos por lo que el tamaño para la maquina será de 1200X1500 mm aproximadamente según las medidas de las máquinas analizadas en el capítulo 2.

Manufactura sustractiva mediante corte por láser

Potencia, velocidad y espesor. Existe una relación intrínseca entre los valores de la potencia láser con la velocidad y espesor de corte láser, mientras mayor es la potencia del láser, mayores espesores de material se pueden trabajar y se puede utilizar velocidades de corte más altas. En los proyectos e investigaciones revisadas anteriormente se puede observar diferentes tipos de láser, con diferentes potencias, existen láseres industriales con un fuerte haz de luz, pero en este caso no es necesario este tipo de efectores, como se apreció en el análisis de la línea base, es necesario proveer una herramienta capaz de ayudar al estudiante a practicar sus destrezas en esta área. Comparando las diferentes máquinas expuestas en el estado de arte se concluyó que la potencia laser más común y la más usada para fines didácticos es la de 40 W, por lo que es la elegida para la realización de este proyecto. La velocidad de corte y el espesor dado esta potencia de láser se detallan en la tabla 21.

Tabla 2

Relación de velocidades y espesores con respecto a la potencia del láser

Material	CORTE			GRABADO	
	Espesor en mm	Velocidad en mm/seg	Rango de potencia	Velocidad en mm/seg	Rango de potencia
MDF	3	15-20	40-60	200-400	30-50
	6	10-15	60-70		
	9	5-8	80-85		
	12	3-8	85-90		
Acrílico	3	10-20	40-65	200-400	20-35
	6	6-10	60-70		
	9	5-7	80-85		
	12	2-5	92-93		
	18	1-2	85-90		

Nota. En la tabla se muestra los diferentes valores de espesores emparejado con la velocidad de corte recomendada para cada caso. Tomado de (SIDEKO, 2018)

La velocidad para corte láser máxima tomando en cuenta la tabla sería 400 mm/seg y la mínima dado que se propone una potencia de 40 W sería de 200 mm/seg. Los espesores máximos que se pueden mecanizar serán 4 mm en MDF y 3 mm en acrílico.

Diámetro del lente y distancia focal.

Para encontrar el diámetro de lente adecuado para la aplicación llevada a cabo se debe tomar en cuenta el material a trabajar, además de su espesor, ya que si mayor es el tamaño del lente se puede cortar mayores espesores, pero un mayor lente produce un haz de luz de mayor tamaño lo que baja la precisión de corte, mientras que un lente de menor tamaño no puede

cortar espesores de mayor tamaño, pero poseen una precisión mucho más definida que los anteriores, analizando la aplicación que se le va a dar a este proceso se tiene en cuenta que no es necesario el corte de grandes espesores, más bien se necesita mayor precisión en los trabajos a realizar, por lo que el tamaño adecuado para esta aplicación es de 1.5 pulgadas de diámetro que permite corte de materiales finos, en acrílico hasta 6 mm y en madera de dureza media hasta 8 mm (TROTEC, 2021).

La distancia focal depende del lente que se va a utilizar cada lente tiene una distancia focal determinada, pero también se puede encontrar aplicaciones específicas de la distancia focal por ejemplo una distancia focal de 38 mm o 1.5 pulgadas es usada generalmente para materiales finos como el papel, y es producido por un lente de menor tamaño, mientras que para este caso es necesario una distancia focal de 50.8 mm o 2 pulgadas, esta distancia es específica para grabado laser y para corte en espesores menor a 8 mm y es producido por un lente de 1.5 pulgadas de diámetro (Diplaser, 2021) por lo que se adapta al lente seleccionado.

Es necesario saber la velocidad de operación de este proceso a ser tomado en cuenta más adelante, por lo cual se tiene la tabla:

Manufactura sustractiva mediante fresado

Materiales, velocidad de corte, fuerza específica de corte. Para definir los parámetros de fresado se debe realizar un análisis del material a mecanizar, según los proyectos revisados en el capítulo 2, se encuentra máquinas de fresado que trabajan con materiales duros como acero y aluminio, además de otras que trabajan con materiales blandos como madera y plásticos, dado que el proceso de fresado implementado en este proyecto tiene fines didácticos y educativos, los materiales a mecanizar serán madera y plásticos.

Se debe analizar el material con mayor índice de dureza para realizar los posteriores cálculos de mecanizado, para ello se hace uso del registro de brinell, el cual describe la dureza

de los materiales en base a sus propiedades elásticas y resistivas, por lo que se tiene que para madera dura el índice de dureza brinell es hasta de 20 HB (Bermejo, 2020), mientras que en cuanto a polímeros el nylon es el que posee mayor dureza 12 HB (Quispe, 2014). Conociendo estos datos se concluye que el material con mayor dureza en el que se va a trabajar es la madera, utilizándose entonces sus propiedades para los cálculos concernientes a mecanizado.

Habiendo determinado el material que se va a usar para la operación de fresado se tiene una velocidad específica para madera dada en la tabla 22

Tabla 22

Velocidades de corte para diferentes materiales

Material	Vc(m/min)
Madera dura	400
Madera blanda	600
Contrachapado	600
Aluminio	350
Plásticos	250-600

Nota. En la tabla se muestra los diferentes valores de velocidad de corte para los materiales seleccionados. Tomado de (TECNOCORTE, 2021)

La velocidad de corte mínima tomada para este proyecto es de 400 m/min, que corresponde a madera dura, que es el límite en cuanto a materiales duros para trabajar. Con esta información se procede a encontrar la fuerza de corte, tomando en cuenta que el diámetro

de la fresa para aplicaciones didácticas y no industriales según la investigación realizada en el capítulo 2 oscila entre 4 – 6 mm.

La fuerza de corte y demás parámetro que van a ser utilizados para el diseño se calculan mediante fórmulas descritas en (Caicedo Damian, 2018), dando como resultado una fuerza específica de corte $k_c = 600 \frac{N}{mm^2}$ y una fuerza de corte $F_c = 180 N$. La potencia neta del motor es de 0.4 KW.

Estos valores han sido calculados mediante fórmulas de mecanizado, tomando en consideración la velocidad de corte dada por el material y la fuerza específica de corte para un espesor medio de viruta para la madera.

Al igual que para la velocidad de corte, la velocidad de avance depende del material que se va a mecanizar, teniendo en cuenta que se operará en madera dura y que el tamaño máximo de la fresa a utilizar es de 6 mm se tiene el anexo 1, donde se ilustra las velocidades de avance para diferentes materiales, dependiendo del diámetro de la fresa y de las revoluciones del husillo; para fresas standard con 6 mm de diámetro se tiene una velocidad de giro $n = 9900 RPM$, y una velocidad de avance $V_f = 1500 mm/min$. Y para la fuerza de avance en taladrado se tiene una fuerza de avance de $F_f = 256 N$.

Manufactura aditiva mediante impresión 3D

Material y Temperatura para impresión 3D Según la investigación y según los materiales a imprimir previa sobre las impresoras 3D desarrolladas como proyectos se establece algunos de los materiales más utilizados para impresión 3D, así como ABS, PLA o Nylon, existe una preferencia por el filamento de ABS dentro de este tipo de máquinas debido a la facilidad de adquisición y económico precio, por lo cual se utilizará dicho filamento de ABS con diámetros de 1.75 mm como en el caso de los proyectos analizados en el capítulo II.

Dependiendo del tipo de material a usar, se tiene una temperatura adecuada del extrusor para fundir el filamento, para lo cual se tiene la tabla 23.

Tabla 23

Temperaturas para diferentes materiales

Material	Temperatura de impresión
ABS	240
PLA	220
PET	230
NINJAFLEX	250
NYLON	260

Nota. En la tabla se muestra los diferentes valores de temperatura para los materiales seleccionados. Tomado de (Moreno, 2018)

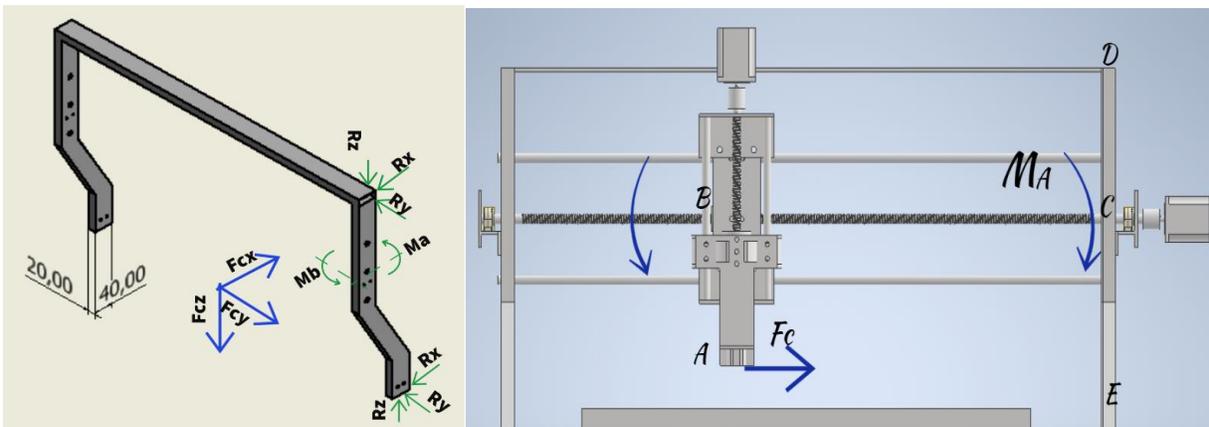
La temperatura correspondiente en el extrusor para filamentos de ABS es de 240 grados Celsius.

Diseño del puente transversal

Para saber si el diseño del puente satisface la seguridad requerida por la máquina se debe tomar en cuenta las fuerzas que intervienen en su estructura y analizar los esfuerzos resultantes, la fuerza de corte que ejerce el cabezal al entrar en contacto con la madera se transfiere desde el punto A hasta el punto C, pero adicional a esta fuerza, existe un momento flector formado por la distancia desde donde se produce la fuerza hasta el punto de aplicación del momento en este caso el punto C, al ser tomado el puente como una viga DE se toma en cuenta esta fuerza aplicada sobre el punto C además del momento flector, de esta manera se tiene una viga sometida a flexión, por una fuerza y un momento flector como se muestra en la figura 6.

Figura 6

Diagrama de fuerzas y momentos para el puente transversal



Nota. Se muestra las fuerzas y momentos que interactúan con el puente transversal utilizados para medir su resistencia

Analizando la fuerza de corte en las tres direcciones en las cuales la herramienta de corte se moverá se tiene los momentos y reacciones observados en la figura 6, para el diseño del puente transversal se tomará en caso más crítico de carga en el puente transversal, para lo cual se toma en cuenta el momento de inercia; según la disposición propuesta del puente

transversal el menor momento de inercia viene con el momento M_a debido a que en esta dirección la base es mayor a la altura del elemento usado. Por tanto, se utilizará este momento para el diseño del puente.

La fuerza de corte ya se ha calculado con anterioridad $F_c = 180 \text{ N}$, mientras que el momento flector se calcula con la siguiente fórmula.

$$M_A = F_c * d_{AB} \quad \text{Ec 3-1}$$

Donde:

M_A es el momento flector

F_c es la fuerza de corte ejercida por el cabezal en la madera

d_{AB} es la distancia entre el punto de aplicación de la fuerza y el husillo de bolas del eje X

La mayor distancia entre estos dos puntos dado el máximo del recorrido en el eje Z es $d_{AE} = 200 \text{ mm}$, conociendo este dato el momento resultante es:

$$M_A = 180 \text{ N} * 0.2 \text{ m}$$

$$M_A = 36 \text{ Nm}$$

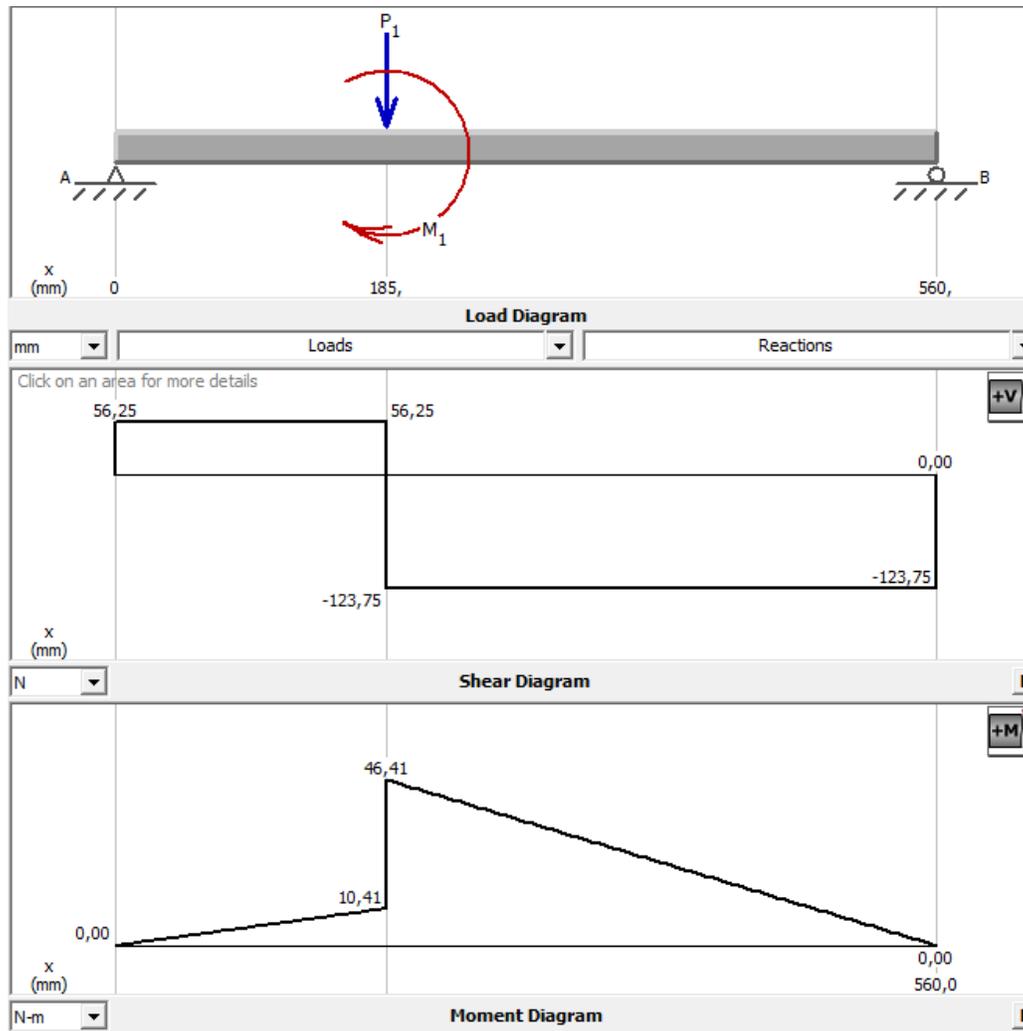
Conociendo estos datos ya se puede analizar la viga DE que es una de los puntos críticos de la máquina, dicha viga posee apoyos en sus extremos al tratarse de un puente estático, una fuerza de corte en el punto C y un momento flector en el mismo punto, para encontrar el esfuerzo en dicho punto, se encuentra primero el momento máximo de la viga mediante el software MDSolids con los siguientes datos.

$$d_{DE} = 560 \text{ mm}$$

$$d_{DC} = 185 \text{ mm}$$

Figura 7

Graficas de fuerzas y momentos flectores en software MDSolid



Nota. Se muestra las fuerzas y momentos flectores resultante que serán tomados en cuenta para encontrar el esfuerzo máximo y el factor de seguridad

Como se puede observar en la figura 7 el resultado de las reacciones en los puntos de apoyo D y E son de $R_{Dy} = 56.21$ N y $R_{Ey} = 123.75$ N, mientras que el momento flector máximo en la viga es de $M_{DE} = 46.41$ Nm, con estos dato se calcula el esfuerzo flector mediante la siguiente formula:

$$\sigma_{DE} = \frac{M*c}{I} \quad \text{Ec 3-2}$$

Donde:

σ_{DE} es el esfuerzo flector para la viga

M es el máximo momento de la viga

c es el centroide de la sección transversal

I es el momento de inercia según la sección transversal

La sección transversal seleccionada para el elemento a diseñar es tubo rectangular por su alto momento de inercia y debido a que el tamaño de uno de sus lados tiene que ser de 40 mm para sostener los elementos que van montados en el eje Y. Existe gran disponibilidad de este tubo; el tamaño de esta sección transversal se selecciona mediante la tabla mostrada en el anexo 2, en donde se muestran tamaños comerciales para tubo rectangular. Las dimensiones de la sección transversal escogidas son 40X20 mm, dado que es el menor tamaño disponible, mediante el cálculo se encontrará el espesor a ser utilizado en el mismo atendiendo a la teoría mecánica para evitar el fallo del elemento.

Para encontrar el espesor del tubo a utilizar, en primer lugar, se debe tomar en cuenta el factor de diseño o seguridad para los cálculos correspondientes, dicho esto se tiene el apéndice A21 (Mott, 2006), donde se especifica los factores de diseño para diferentes esfuerzos. Según (Mott, 2006) para un esfuerzo seguro el factor de diseño en esfuerzos normales directos es de 2, por lo que se considerará este valor para todos los cálculos posteriores.

Habiendo definido el factor de diseño a utilizar se calcula el esfuerzo de diseño del elemento.

$$\sigma_d = \frac{Sy}{N} \quad \text{Ec 3-3}$$

El material escogido que se ha tomado en cuenta para este diseño es acero estructural A36, debido a que en el estado de arte la mayoría de los proyectos utilizan este material y por ser el más común en el mercado, cuya resistencia de cadencia es de $S_y = 250 \text{ MPa}$.

$$\sigma_d = \frac{250 \text{ MPa}}{2} = 125 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{DE} = \frac{M * c}{I}$$

Conociendo los valores del esfuerzo de diseño el momento flector y el centroide del tubo se calcula la inercia de diseño para el elemento:

$$I_D = \frac{M * c}{\sigma_{DE}}$$

$$I_D = \frac{46410 \text{ Nmm} * 10 \text{ mm}}{125 \text{ N/mm}^2}$$

$$I_D = 3712 \text{ mm}^4$$

La inercia de un tubo rectangular es igual a:

$$I = \frac{b1 * h1^3}{12} - \frac{b2 - h2^3}{12}$$

Conociendo los valores de base y altura del tubo se debe encontrar el espesor para el tubo teniendo como resultado la siguiente expresión:

$$I = \frac{(40 \text{ mm}) * (20 \text{ mm})^3}{12} - \frac{(40 \text{ mm} - 2e) * (20 \text{ mm} - 2e)^3}{12}$$

$$12 * I = -16e^4 + 800e^3 - 14400e^2 + 112000e$$

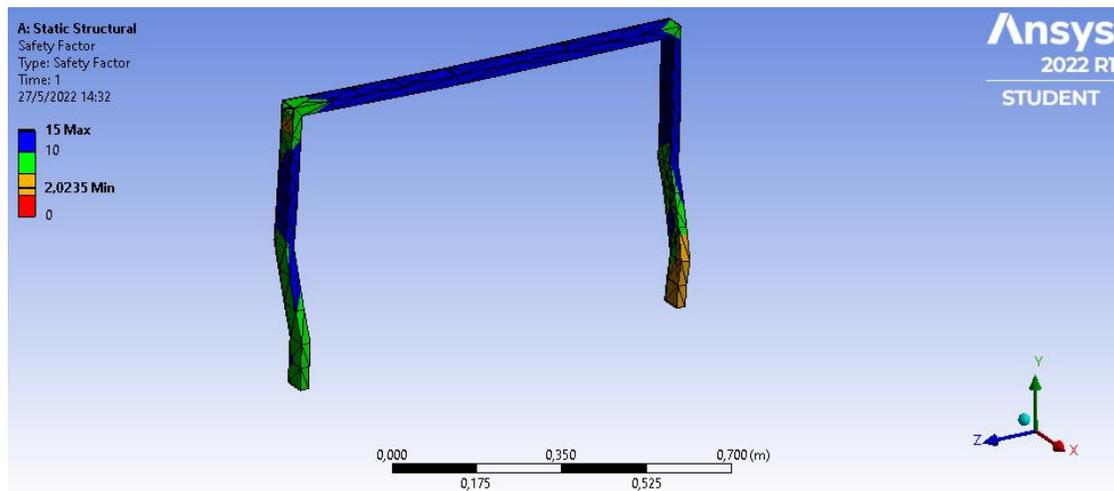
$$16e^4 - 800e^3 - 14400e^2 - 112000e + 44544 = 0$$

$$e = 0.6 \text{ mm}$$

Con este valor de espesor se simula en el software Ansys para comprobar el factor de seguridad obtenido mediante calculo teniendo el resultado mostrado en la figura 8.

Figura 8

Factor de seguridad según el software Ansys



Nota. Se ilustra el diseño estructural del puente transversal a partir del uso del software Ansys

Como se puede observar en la figura 8 el resultado de la simulación arroja un esfuerzo máximo de 120 MPa, una deformación máxima de 1.1 mm y un factor de diseño de 2.08, el cual se acerca considerablemente al tomado para los cálculos anteriores.

Tomando en cuenta las demás direcciones de las fuerzas de corte, para F_{cx} se tiene el mismo momento flector que en el caso desarrollado, pero la inercia para este momento flector es mayor ya que la base es de 20 mm y la altura de 40 mm, y finalmente F_{cz} genera la reacción R_z comprimiendo el elemento, por lo que para calcular este esfuerzo normal se aplica la fórmula:

$$\sigma_{DE} = \frac{F_{CZ}}{A}$$

$$A = \frac{F_{CZ}}{\sigma_{DE}}$$

$$A = \frac{180 N}{125 \frac{N}{mm^2}} = 1.44 mm^2$$

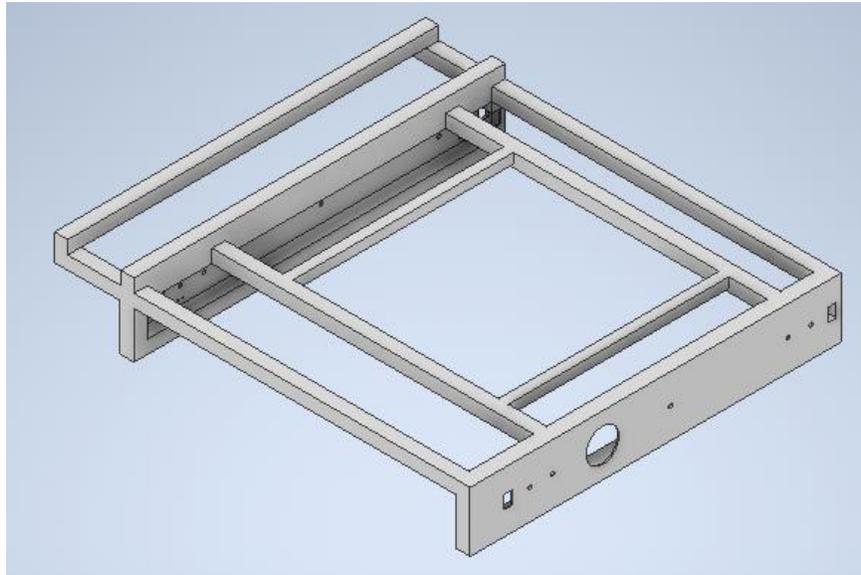
Esta área calculada es menor a la de la sección transversal calculada anteriormente por lo que el modelo calculado es seguro.

Dado que las dimensiones de espesor de tubo encontradas mediante cálculo para el elemento no existen en el mercado, se optó por seleccionar un tubo de tamaño comercial y el más apegado posible s, 40X20 con un espesor de 1.2 mm escogido de la tabla del anexo 2.

Diseño de la base estructural.

Para la base estructural de la maquina se ha tomado en cuenta el mismo material anteriormente seleccionado, para lo cual se tiene varias opciones vistas en el estado de arte capitulo II, se ha tomado en cuenta en precio de cada uno de estos materiales, el más económico para el proyecto y con un alto grado de rigidez es acero estructural, el cual es bastante accesible en el medio y fácil de manipular.

La sección transversal escogida para la estructura es tubo cuadrado por su alto valor de inercia y por la estética que le generan al diseño mostrado en la figura 9.

Figura 9*Diseño de la base estructural*

Nota. En la imagen se observa un diseño de la base estructural a usar como soporte de la máquina.

La estructura sirve de soporte para los dos carros transversales, también se ve afectada por la interacción del cabezal de fresado al ser este un proceso de mecanizado por arranque de viruta (fricción). Se tiene que analizar las fuerzas que se producen debido a este proceso, para el diseño seguro de este armazón.

Para el cálculo se debe primero analizar las fuerzas que van a afectar a la estructura, dicho esto se tiene una sección en la parte posterior donde va colocado el tubo láser con un peso aproximado de 4 kg, en el centro de la estructura está dispuesta la mesa de trabajo y la pieza de trabajo, se ha considerado un peso de 25 kg como máximo para estos elementos, y finalmente se tiene los componentes que se encuentran en los tres ejes de desplazamiento, los cuales se consideran con un peso máximo total de 50 kg, dando como peso total de $Wt =$

$79 \text{ kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 774.2 \text{ N}$ a este se le suma la fuerza de corte que también interviene en la máquina $Wt = 774.2 \text{ N} + 180 \text{ N} = 954.2 \text{ N}$.

Utilizando el programa MDSolid se obtuvo un momento flector de 231,393 Nm, este dato será utilizado para encontrar el tamaño de la sección transversal mediante la aplicación de la ecuación 3-3, el esfuerzo de diseño es el mismo que en la sección anterior, por lo que se tiene:

$$\frac{I}{c} = \frac{231393 \text{ Nmm}}{125 \text{ MPa}}$$

$$\frac{I}{c} = 1851.14 \text{ mm}^3$$

Con este dato se escoge un tamaño para el tubo cuadrado analizando a inercia y el lado del mismo. El tamaño que más se acerca a este valor es de la sección 40x40 con un espesor de 1 mm, como se observa en el anexo 2.

Para el cálculo se usará estos valores de base y altura con el fin de encontrar el espesor exacto que cumpla con el factor de seguridad propuesto, dicho esto se tiene:

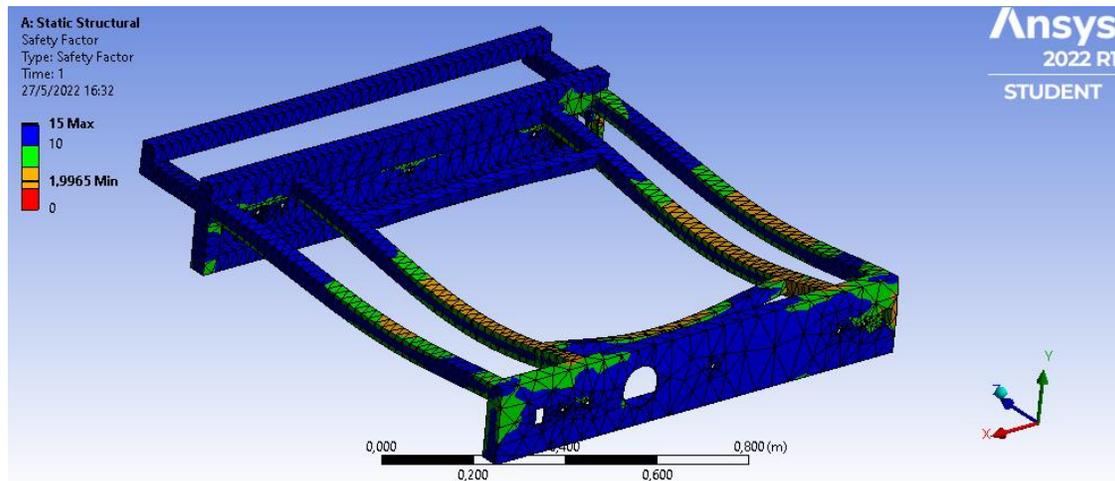
$$I = \frac{(40 \text{ mm}) * (40 \text{ mm})^3}{12} - \frac{(40 \text{ mm} - 2e)(40 \text{ mm} - 2e)^3}{12}$$

$$12 * 1851.14 * 20 = -16e^4 + 1280e^3 - 38400e^2 + 512000e$$

$$16e^4 + 1280e^3 - 38400e^2 - 512000e + 444273.6 = 0$$

$$h = 0.93 \text{ mm}$$

Con esta sección transversal calculada se pasa al software Ansys donde se comprueba el factor de seguridad tomado para el cálculo.

Figura 10*Análisis estructural de la base estructural*

Nota. Se observa el factor de seguridad de la base estructural de la máquina tomando en consideración las medidas adecuadas

Como se puede observar en la figura 10 el factor de seguridad para este diseño es de 1.99, por lo que el tamaño ideal del tubo a usar es de 4x40 con un espesor de 0.93 mm.

La selección del tubo a usar se la realiza en base a los tamaños estándar que se encuentra en el mercado local, el tamaño arrojado mediante cálculos no existe en el mercado, por lo que se procese a usar el tamaño superior más cercano al mismo, en este caso el más cercano es de 40X40 con un espesor de 1 mm, como se aprecia en el anexo 2.

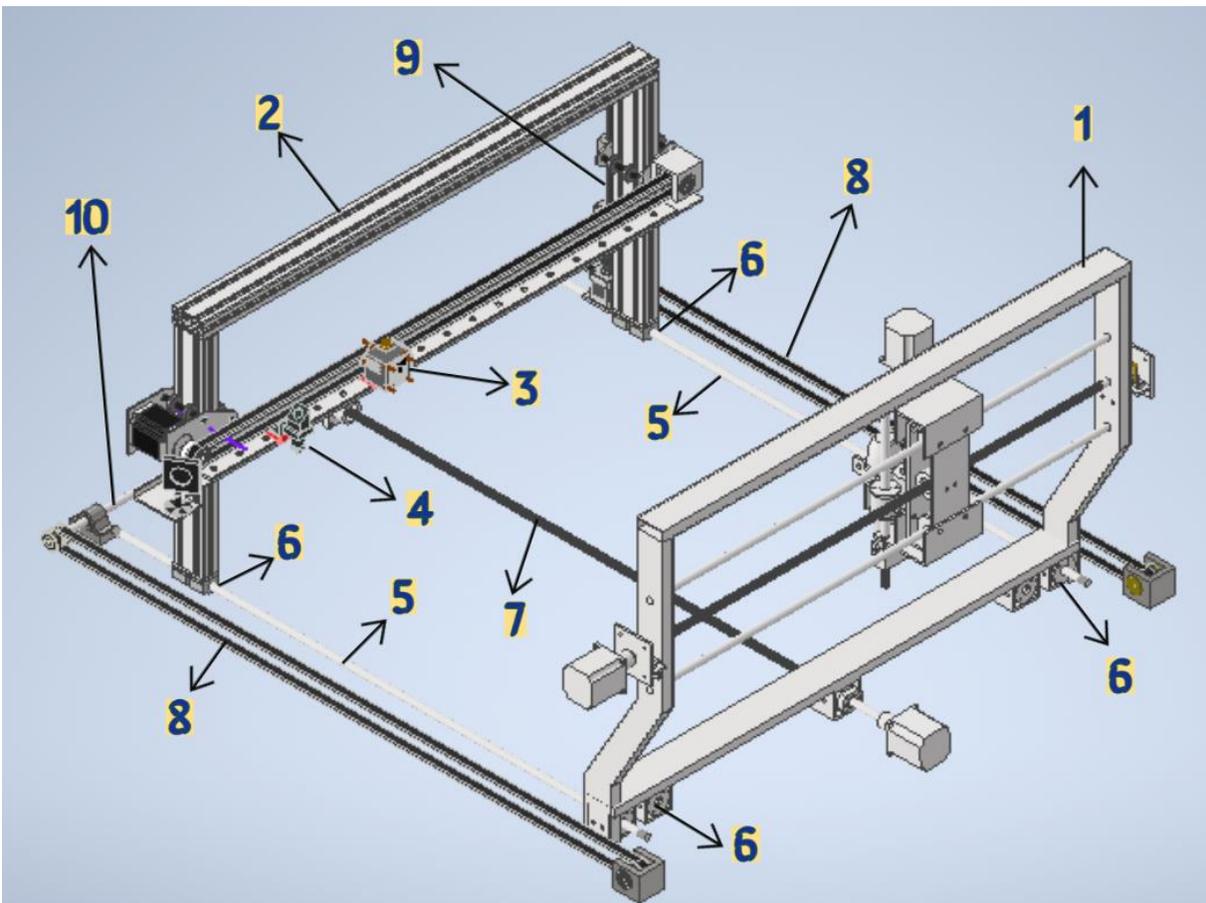
Diseño del sistema de movimiento Ejes X, Y, Z

Para el movimiento coordinado de los ejes de la máquina se necesita primero diseñar mediante teoría mecánica cada uno de los componentes que intervienen en este proceso, cabe recalcar que para redistribuir de mejor manera las aplicaciones a ser implementadas en la máquina, se van a diseñar dos puentes transversales, el primero (1) se dispondrá para la aplicación de fresado CNC puesto que esta requiere un diseño más consistente por las fuerzas a las cuales se ve sometido, mientras que el otro puente (2) va a poseer los cabezales para las

aplicaciones de impresión 3D (3) y corte láser (4), cuyo diseño puede ser más frágil porque no se ven sometidos a fuerzas de consideración, dicho esto para ambos puentes se usará el mismo tipo de guías circulares (5), acoplados con rodamientos lineales (6) seleccionadas en la sección 2.4.3.1 que permitan el libre movimiento en este eje, mientras que para la transmisión de movimientos en el caso de fresado se ha optado por husillos de bolas (7) para los tres ejes, por su gran torque en este tipo de aplicaciones, y para el segundo carro se ha optado por transmisión por correas (8) en los ejes X, Y, y por un husillo de bolas en el eje Z (9) sección 2.4.3.2

Diseño del sistema de movimiento para el Eje X

En la figura 11 se puede observar el sistema de movimiento que está conformado por cuatro ejes cilíndricos (5), dos para cada carro transversal (1)(2), que hacen las veces de guías lineales ubicándose en la parte baja de la estructura, por debajo del área de trabajo, se encuentran a una distancia simétrica a partir del centro de la mesa hacia los lados, en la mitad se encuentra un husillo de potencia (7) encargado de transmitir el movimiento al carro transversal de fresado (1), mientras que para el carro transversal de corte laser e impresión 3D (2) se utilizan correas (8) ubicadas a los lados de la estructura y conectadas entre sí mediante un eje (10) acoplado a otro motor que genera el movimiento de dicho carro transversal, , dicho esto se debe realizar el cálculo de los elementos que conforman estos dos sistemas, primero se debe calcular el diámetro de las guías para cada carro transversal, para luego calcular el diámetro del husillo de potencia por un lado y las poleas a ser utilizadas por el otro. Una vez realizado esto se calculará el torque que deben poseer los motores para mover estos sistemas.

Figura 11*Sistema de movimiento Eje X*

Nota. Se puede observar el sistema de movimiento del eje Y con cuatro guías lineales, el husillo de bolas y las correas dentadas conectadas a sus respectivos motores.

Diseño de las flechas lineales para tallado. Para el diseño de las guías lineales se debe encontrar el diámetro adecuado que soporte la masa total de cada uno de los puentes transversales, con el fin de separar los procesos y evitar vibraciones que interrumpan con la calibración del tubo laser, se ha separado las guías para cada uno de los puentes, es decir va a existir un par de guías para el puente 1 y otro par para el puente 2. El peso total a soportar se distribuye entre dos flechas por los valores totales se dividen entre dos.

Dicho esto, la masa considerada para el puente de fresado es de 40 Kg como máximo dado que son dos guías, el peso se distribuye entre las guías al igual que la fuerza de corte, mientras que para el puente 2 es de 30 Kg; conociendo estos datos se puede encontrar el peso de los mismos los cuales son $Wf = \left(20 \text{ kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) + 90 \text{ N} = 286 \text{ N}$ para el puente 1 y $Wf = 10 \text{ kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 98 \text{ N}$ para el puente 2. Utilizando el programa MDSolid se obtiene un momento flector de 73.64 Nm para la flecha del puente transversal 1, y 25.23 Nm para el puente transversal 2.

Para el cálculo del diámetro mínimo de la flecha se aplica el concepto de esfuerzo flector, por ser el máximo esfuerzo encontrado en el elemento, para calcular este esfuerzo se procede como en casos anteriores en donde se analiza primero el factor de diseño y la resistencia de cadencia para acero estructural, esto con el fin de encontrar el esfuerzo de diseño para el elemento.

$$\sigma_d = \frac{Sy}{N}$$

$$\sigma_d = \frac{250 \text{ MPa}}{2}$$

$$\sigma_d = 125 \text{ MPa}$$

Teniendo el dato del esfuerzo de diseño se procede a calcular el diámetro de la flecha mediante la fórmula 3-2:

$$\sigma_D = \frac{M * c}{I}$$

Donde el centroide y la inercia se pueden reescribir en base al radio de la flecha a calcular:

$$\sigma_D = \frac{M * r}{\frac{1}{4} * \pi * r^4}$$

$$r = \left(\frac{4 * M}{\pi * \sigma_{DE}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Ec 3-5

$$r1 = \left(\frac{4 * 73645 \text{ Nmm}}{\pi * 125 \text{ MPa}} \right)^{1/3}$$

$$r1 = 9.08 \text{ mm} \approx D1 = 18.16 \text{ mm}$$

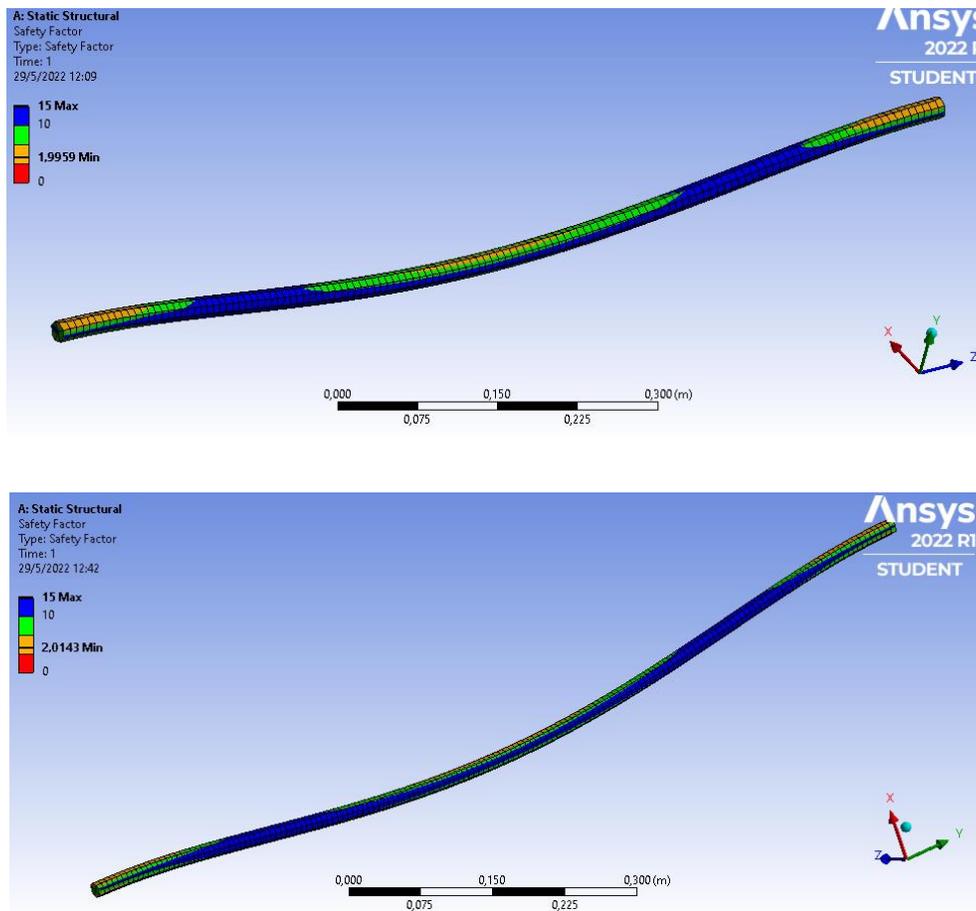
$$r2 = \left(\frac{4 * 25235 \text{ Nmm}}{\pi * 125 \text{ MPa}} \right)^{1/3}$$

$$r2 = 6.35 \text{ mm} \approx D2 = 12.71 \text{ mm}$$

Los diámetros calculados para el carro transversal 1 y 2 son 18.16 mm y 12.71 mm respectivamente, con estos datos se simula en el software ansys para comparar el factor de seguridad propuesto en los cálculos con los determinados mediante software asegurando así el diseño de la flecha.

Figura 12

Análisis estructural de los ejes para la coordenada X.



Nota. a) Se observa el factor de diseño para el eje del carro transversal 1 y b) el factor de diseño del eje para el carro transversal 2

Se realizó el análisis mediante software y se determinó que con un diámetro de eje igual a 18.16 mm para el carro transversal 1 se tiene un factor de seguridad de 1.99 y un diámetro de eje igual a 12.71 mm para el carro transversal 2 da como resultado un factor de seguridad de 2.01, se muestra en la figura 12.

Los diámetros exactos encontrados mediante calculo no existen en el mercado local, así que se escoge diámetros comerciales mayores a los mismos para asegurar la efectividad del

diseño. Dicho esto, el diámetro elegido para el carro transversal 1 es 20 mm y para el carro transversal 2 es de 16 mm.

Selección del rodamiento lineal para las flechas. El diámetro de la guía lineal ha sido calculado en la sección anterior, por lo que para seleccionar un par de rodamientos lineales acorde a este eje se debe tener en cuenta este diámetro, se ha revisado los tamaños de rodamientos lineales estándar (S.A, 2007), en donde se han encontrado varios tipos de rodamientos, según la empresa de fabricación, los mismos se ilustran en el anexo 3.

Los rodamientos elegidos son de dos diámetros diferentes, por lo visto en la sección anterior y van a ser utilizados en guías de diferentes tamaños. Son de la marca Súper, su costo es bajo, algunas características del mismo son:

- Suavidad de funcionamiento
- Gran capacidad de carga
- Larga duración de vida útil
- Compensa automáticamente los errores de compensación

El coeficiente de fricción para este tipo de rodamiento lineal $\mu = 0.001$

Diseño del husillo de potencia para tallado eje X. Para diseñar de forma segura el tornillo sin fin del husillo de potencia primero se debe evaluar el esfuerzo cortante en la rosca del tornillo, para ello se tiene la siguiente fórmula:

$$\sigma_d = F/A$$

Donde:

- Esfuerzo de diseño $\sigma_d = \frac{Sy}{2}$
- El peso a transportar F

- Área de rosca A
- Resistencia a la cadencia del acero estructural A36 $S_y = 250 \text{ MPa}$

$$\sigma_d = \frac{250 \text{ MPa}}{2}$$

$$\sigma_d = 125 \text{ MPa}$$

Para calcular el peso a transportar se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones.

$$F_T = Wt + Fc \quad \text{Ec } 3.12$$

- Peso del carro transversal para tallado $m_x = 40 \text{ kg}$ (Tomando en cuenta todos sus elementos)
- Fuerza de corte para tallado $Fc = 180 \text{ N}$

$$F = \left(40 \text{ kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) + (180 \text{ N})$$

$$F = 572 \text{ N}$$

Conociendo estos datos se puede encontrar el área que debe tener el tornillo sin fin para evitar fallas.

$$A = F / \sigma_d$$

$$A = \frac{572 \text{ N}}{125 \text{ N/mm}^2}$$

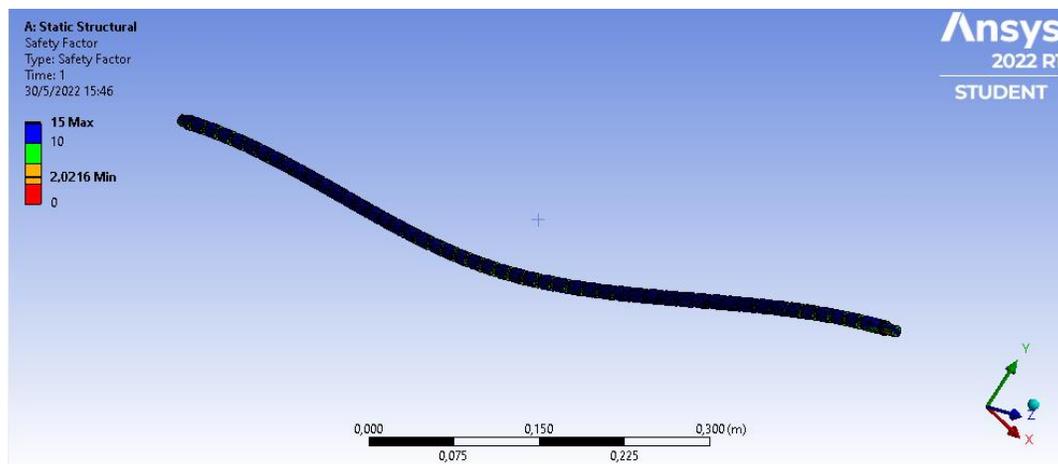
$$A = 4.57 \text{ mm}^2 \approx 0.007 \text{ pulg}^2$$

Según la tabla que se entra en el Anexo 4 (Mott, 2006) se muestra las diferentes áreas con su respectivo diámetro estándar, con el área resultante se puede mostrar que es permitido escoger un diámetro mayor a $\frac{1}{4}$ de pulgada.

Analizando el tornillo sin fin debido a la flexión, se lo considera como un eje en el cual existe un momento flector debido al peso de los componentes y la fuerza de corte. Dicho momento se obtiene mediante el uso de MDSolid y es igual a 49.079 Nm, teniendo en cuenta esto el diámetro se calcula usando la fórmula 3-5 obteniendo un diámetro de 15.87 mm, la comprobación en software se observa en la figura 13.

Figura 13

Análisis estructural del tornillo sin fin para el eje X.



Nota. El factor de diseño encontrado mediante software es el utilizado para los cálculos.

Debido a que no existe el diámetro calculado, se escoge un tornillo de bolas SFU01605 de 16 mm de diámetro con un paso de 5 mm para transmitir mayor precisión al diseño y velocidad al mismo tiempo, además que el diámetro y la rosca permiten una carga dinámica de 780 kgf como se muestra en el anexo 5, que es más de la carga calculada.

Cálculo de torque para motor para tallado. Para seleccionar el motor a usar en este eje de movimiento, primero se debe calcular el torque total que se debe ejercer para mover toda la estructura montada, teniendo en cuenta la intervención del tornillo sin fin para este efecto, y su papel en el movimiento de esta carga elevada, puesto que el mismo va unido al eje del motor mediante un acople.

En primer lugar, se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones para empezar con el cálculo:

- Diámetro del tornillo sin fin $d = 16 \text{ mm}$
- Paso de la rosca $p = 5 \text{ mm}$
- $L = p = 5 \text{ mm}$
- Fuerza total a desplazar $F = 572 \text{ N}$
- Coeficiente de fricción de husillo $f = 0.19$
- Ángulo de rosca $\phi = 14.5^\circ$

Primero se debe calcular el diámetro de paso Dp y el ángulo de paso λ para lo cual se aplican las siguientes formulas (Mott, 2006):

$$Dp = d - \frac{p}{2} \quad \text{Ec 3-6}$$

$$Dp = 16 \text{ mm} - \frac{5 \text{ mm}}{2}$$

$$Dp = 13.5 \text{ mm}$$

$$\lambda = \tan^{-1}\left(\frac{L}{\pi * Dp}\right) \quad \text{Ec 3-7}$$

$$\lambda = \tan^{-1}\left(\frac{5 \text{ mm}}{\pi * 13.5 \text{ mm}}\right) = 6.72^\circ$$

Para determinar los diferentes torques de subida y bajada para las cargas que intervienen en este eje, además de la eficiencia y la potencia que se requiere para que el tornillo sin fin transmita movimiento se utilizan las siguientes fórmulas (Mott, 2006):

Mediante el uso de la ecuación se calcula el torque de subida que se debe implementar para mover la carga en dirección positiva.

$$Tu = \frac{FDp}{2} \left[\frac{(\cos \phi \tan \lambda + f)}{\cos \phi - f \tan \lambda} \right] \quad Ec \quad 3-8$$

$$Tu = \frac{(572 \text{ N})(13.5 \text{ mm})}{2} \left[\frac{(\cos(14.5^\circ) * \tan(6.72^\circ) + (0.19))}{\cos(14.5^\circ) - (0.19) \tan(6.72^\circ)} \right]$$

$$Tu = 1195 \text{ N mm} \approx 1.1 \text{ N m}$$

Finalmente, para el cálculo de la potencia requerida por el motor se tiene:

$$P = \frac{T * n}{716} \quad Ec \quad 3-9$$

La velocidad de giro nominal n para las aplicaciones llevadas a cabo se calcula teniendo en consideración una velocidad de avance en los ejes de 25 mm/segundo mostrada en el anexo 6. Considerando esto se tiene:

$$RPM = \frac{25 \text{ mm}}{\text{segundo}} * \frac{1 \text{ rev}}{5 \text{ mm}} * \frac{60 \text{ segundos}}{1 \text{ minuto}}$$

$$RPM = 300$$

Por lo tanto, se debe tener una velocidad de giro igual a 300 RPM para alcanzar la velocidad de avance propuesta de esta manera ya se puede calcular la potencia del motor.

$$P = \frac{1.2 \text{ N m} * 300 \frac{\text{rev}}{\text{min}}}{716}$$

$$P = 0.5 \text{ HP}$$

Con estos datos ya se puede seleccionar un motor a pasos ideal que permita trabajar con el torque que se ha calculado y que tenga una velocidad de giro dentro del rango establecido. El motor elegido es el Nema 23 M1233051 que tiene un torque de 1.4 N m y una velocidad máxima de 1500 RPM como se aprecia en el anexo 7.

Con esta velocidad máxima de funcionamiento el avance generado en este eje seria de:

$$\text{Velocidad avance} = \frac{1500 \text{ rev}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ segundos}} * \frac{5 \text{ mm}}{1 \text{ rev}}$$

$$\text{Velocidad avance} = 125 \text{ mm/seg}$$

Calculo y selección de poleas y correas para el eje X del carro de impresión 3D y

corte láser. El desplazamiento lineal en el eje X para el carro transversal 2 se realiza mediante un sistema de transmisión Poleas - correa de sincronización (Numeral 2.3.3.2). Para realizar un diseño seguro de las poleas y correas a usarse para la transmisión del movimiento, se debe primero encontrar la fuerza necesaria para mover a cierta velocidad la carga que significa el carro trasversal.

Se debe tomar en cuenta el peso del carro transversal, la fuerza normal de resultado del peso del mismo y la fuerza del rozamiento debido a los rodamientos lineales usados para guiar el movimiento.

Para calcular la fuerza necesaria para mover el mecanismo se tienen las siguientes ecuaciones (Navarrete, 2014):

$$Ec = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{Ec 3-10}$$

$$W = F * d \quad \text{Ec 3-11}$$

$$fr = \mu_k * N \quad \text{Ec 3-12}$$

$$N = m * g \quad \text{Ec 3-13}$$

Donde:

E_c : Energía cinética que se consume

W : Trabajo

m : Masa de los mecanismos

Velocidad de impresión $v = 200 \frac{mm}{s}$

F : Fuerza requerida para el movimiento

fr : Fuerza de rozamiento

d : Distancia entre poleas

N : Fuerza normal al eje

Gravedad $g = 9.81m/s^2$

Factor de fricción entre polea y correa $\mu_k = 0.18$

Al realizar igualaciones y reemplazos sobre la ecuación se obtiene la siguiente ecuación para encontrar la fuerza que se debe ejercer en la polea:

$$F = N * \left(\frac{v^2}{2*d*g} + fr \right) \quad \text{Ec 3.14}$$

Para mover el mecanismo de puente a lo largo del eje Y se debe calcular la normal ejercida por el peso sobre el eje $Ny = m * g$. La masa del puente transversal para este caso es

de 30 kg tomando en cuenta todos sus componentes. Entonces se tiene que $N_y = 294 \text{ N}$ y $d = 1.03 \text{ m}$. Con estos datos la fuerza requerida es:

$$F = 294 \text{ N} * \left(\frac{(0.2 \text{ m/s})^2}{2 * 1.03 \text{ m} * 9.81 \text{ m/s}^2} + 0.18 \right)$$

$$F = 55.82 \text{ N}$$

Conociendo este dato se puede calcular el torque y potencia que debe poseer el motor a usar para mover el mecanismo. El torque se puede calcular tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Despreciable peso de la banda
- Despreciable inercia en las poleas
- No hay deslizamiento en la banda

Además, se tiene la fórmula:

$$T = F * r \quad \text{Ec } 3.15$$

Donde:

T: Torque del motor

r: Radio de la polea

F: Fuerza en la banda

Para la transmisión del movimiento se ha seleccionado una polea dentada GT2, la cual por sus características como se muestra en la tabla 24, se hace idóneo su uso dentro de la máquina, además que se ha tomado como referencia los trabajos realizados en cuanto a cortadoras laser e impresión 3D descrita en el numeral 2.1.7, en la mayoría de estas se ha

usado este tipo de poleas por su diseño seguro y su gran facilidad en la transmisión del movimiento.

Tabla 24

Características de la polea GT2

Características	GT2
Diámetro interno	5 mm
Diámetro externo	27 mm
Numero de dientes	36
Paso	2 mm

Nota. En la tabla se muestra las características de una polea dentada GT2. Tomado de (Factory, 2019)

Las correas síncronas se seleccionan a partir de la polea escogida, en este caso se utilizarán correas GT2 las cuales se caracterizan por no presentar deslizamiento, no se estiran, posee un buen control del tensado de la misma, no existe ruido y no necesitan lubricación, por lo que es necesario su uso, garantizando buena transmisión desde el motor hacia la correa sin ningún tipo de pérdidas.

Habiendo seleccionado la polea a utilizarse se puede encontrar el torque necesario para mover la carga ya que se conoce el diámetro de la misma.

$$r = \frac{D}{2} \quad Ec \quad 3.16$$

$$r = \frac{27 \text{ mm}}{2} = 13.5 \text{ mm}$$

$$T = 55.82 \text{ N} * 13.5 \text{ mm}$$

$$T = 753 \text{ N mm} \approx 0.75 \text{ Nm}$$

Se debe considerar la mayor velocidad de operación para este puente transversal, teniendo dos procesos rápidos como son corte láser e impresión 3D, en el inciso 3.1 se describe estas dos velocidades, obteniendo la mayor de ellas para corte laser $V_f = 400 \text{ mm/seg}$

Esta velocidad es lineal para el movimiento del puente transversal, se necesita conocer la velocidad de revoluciones para el eje del motor, para ello se tiene la siguiente ecuación:

$$\omega = \frac{V_f}{r}$$

El radio para este caso es el de la polea a utilizar:

$$\omega = \frac{200 \frac{\text{mm}}{\text{seg}}}{13.5 \text{ mm}}$$

$$\omega = 14.81 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$\omega = 141.47 \text{ RPM}$$

Conociendo el torque y la velocidad de giro igual a 28 RPM se tiene una potencia de:

$$P = \frac{T * n}{63000}$$

$$P = \frac{0.71 \text{ Nm} * 141.47 \text{ RPM}}{716}$$

$$P = 0.15 \text{ HP}$$

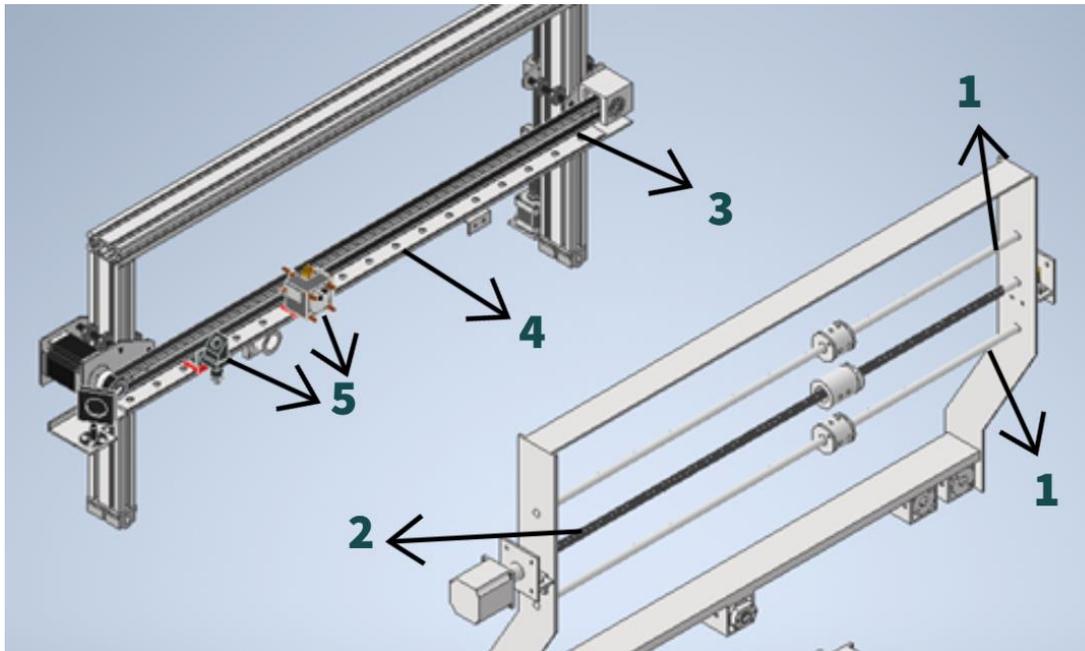
Con el valor de torque a mover se selecciona un motor NEMA 23 GM57HS56-1504 que posee un torque de 0.9 Nm y una velocidad máxima de 1000 RPM sin carga y 300 RPM con carga, sus características se muestran en el anexo 7.

Diseño del sistema de movimiento para el Eje Y

El sistema de movimiento del eje X es similar en su composición al del eje Y diseñado previamente, posee dos guías cilíndricas lineales (1) (sección 2.4.3.1) para poder guiar el movimiento del cabezal de fresado, y la transmisión del movimiento se realiza mediante un husillo de bolas (2) (sección 2.4.3.2), que transforma el movimiento rotacional del motor en movimiento lineal, este sistema se encuentra montado sobre la estructura del eje X, de esta manera se genera el desplazamiento en los ejes X, Y de manera coordinada como se muestra en la figura 11, esto para el carro de fresado, mientras que para el carro de corte laser e impresión 3D, se tiene un mecanismo de polea y correa (3) (sección 2.4.3.2) montado conjuntamente con guías lineales hiwin (4) (sección 2.4.3.1) que poseen su respectivo bloque deslizando en donde se montan los cabezales (5) como se muestra en la figura 14 .

Figura 14

Sistema de movimiento para el eje Y



Nota: Se denota la presencia de las dos guías lineales con el husillo de bolas en el sistema de movimiento del eje Y.

A continuación, se procede a diseñar y seleccionar los diferentes elementos de este sistema tales como: guías lineales cilíndricas, rodamientos lineales, husillo de bolas, poleas, correas y torque requerido para los motores.

Diseño de las flechas lineales para tallado eje Y. Para el diseño de las guías lineales se debe encontrar el diámetro adecuado que soporte la masa total del cabezal de fresado.

Dicho esto, la masa considerada para el de fresado es de 15 Kg como máximo, dado que son dos guías el peso se reduce a la mitad además se suma la mitad de la fuerza de corte, conociendo estos datos se puede encontrar el peso del mismo el cual es $Wf =$

$(7.5 \text{ kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) + 90 \text{ N} = 163.5 \text{ N}$. Utilizando el programa MDSolid se obtiene un momento

flector de 37.114 Nm para la flecha del eje Y. Para el cálculo del diámetro mínimo de la flecha se aplica el concepto de esfuerzo flector, por ser el máximo esfuerzo encontrado en el elemento. Para calcular este esfuerzo se procede como en casos anteriores en donde se analiza primero el factor de diseño y la resistencia de cadencia para acero estructural, esto con el fin de encontrar el esfuerzo de diseño para el elemento.

$$\sigma_d = 125 \text{ MPa}$$

Se realiza el mismo reemplazo hecho para las flechas del eje X:

$$r = \left(\frac{4 * M}{\pi * \sigma_{DE}} \right)^{1/3}$$

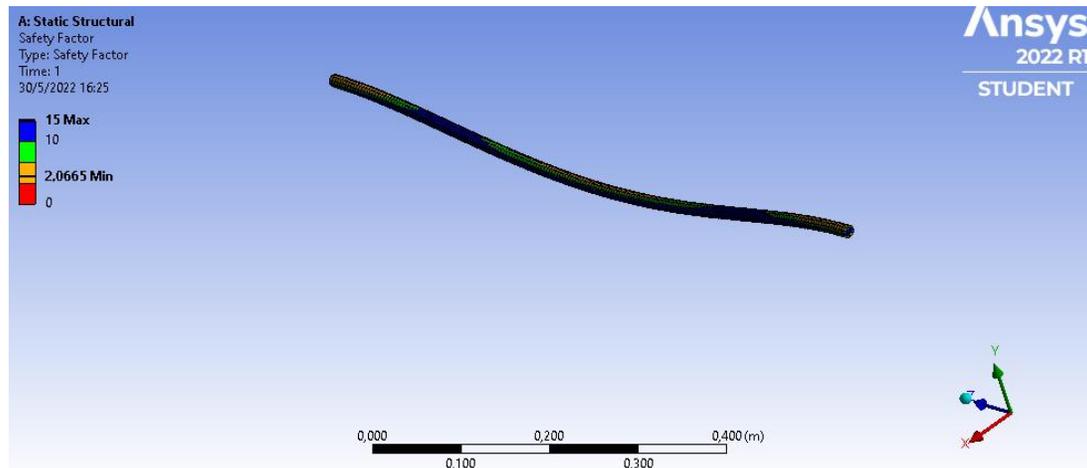
$$r1 = \left(\frac{4 * 37114 \text{ Nmm}}{\pi * 125 \text{ MPa}} \right)^{1/3}$$

$$r1 = 7.23 \text{ mm} \approx D1 = 14.46 \text{ mm}$$

El diámetro calculado para la flecha del eje Y es 14.46 mm, con este dato se simula en el software ansys para comparar el factor de seguridad propuesto en los cálculos con los determinados mediante software asegurando así el diseño de la flecha.

Figura 15

Análisis estructural de los ejes para la coordenada Y.



Nota. Se ilustra el factor de seguridad para la flecha del eje Y

Se realizó el análisis mediante software (figura 15) y se determinó que con un diámetro de eje igual a 14.46 mm se tiene un factor de seguridad de 2.066. Este factor de seguridad es parecido al usado para los cálculos por lo que se puede concluir que el diseño de la flecha es seguro para la máquina.

Selección del rodamiento lineal. El diámetro de la guía lineal ha sido calculado en la sección anterior, por lo que para seleccionar un par de rodamientos lineales acorde a este eje se debe tener en cuenta este diámetro, se ha revisado los tamaños de rodamientos lineales estándar (S.A, 2007), en donde se han encontrado varios tipos de rodamientos, según la empresa de fabricación, los mismos se ilustran en el anexo 3.

Diseño de husillo de potencia para fresado eje Y. Para diseñar de forma segura el tornillo sin fin del husillo de potencia primero se debe evaluar el esfuerzo cortante en la rosca del tornillo, al igual que se lo realizó para el eje X, tomado que el material del tornillo es de acero estructural A36 recocido:

$$\sigma_d = \frac{250MPa}{2}$$

$$\sigma_d = 125 MPa$$

Para calcular el peso a transportar se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones.

$$F = Wc + Fc \quad Ec \quad 3.17$$

- Peso del cabezal $Wc = 15 kg$
- Fuerza de corte para tallado $Fc = 180 N$

$$F = \left(15 kg * 9.8 \frac{m}{s^2}\right) + (180 N)$$

$$F = 327 N$$

Conociendo estos datos se puede encontrar el área que debe tener el tornillo sin fin para evitar fallas.

$$A = F/\sigma_d$$

$$A = \frac{327 N}{125 N/mm^2}$$

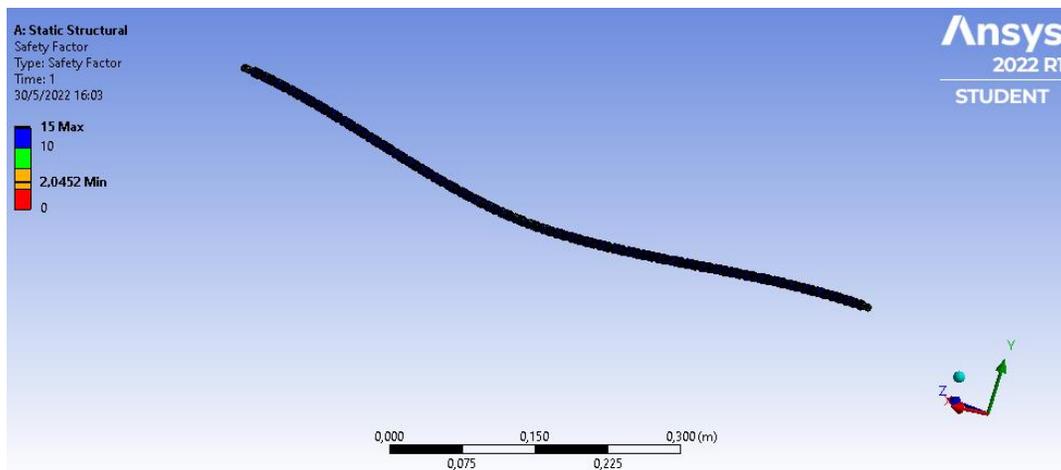
$$A = 2.61mm^2 \approx 0.004 pulg^2$$

Según la tabla que se entra en el Anexo 4 (Mott, 2006) se muestra las diferentes áreas con su respectivo diámetro estándar, con el área resultante se puede mostrar que es permitido escoger un diámetro mayor a $\frac{1}{4}$ de pulgada.

Analizando el tornillo sin fin debido a la flexión, se lo considera como un eje en el cual existe un momento flector debido al peso de los componentes y la fuerza de corte. Dicho momento se obtiene mediante el uso de MDSolid y es igual a 24.743 Nm, teniendo en cuenta esto el diámetro se calcula usando la fórmula 3-5 obteniendo un diámetro de 11.7 mm (figura 16).

Figura 16

Análisis estructural del tornillo sin fin para el eje Y.



Nota. El factor de diseño encontrado mediante el software Ansys se observa en la imagen

Debido a que no existe el diámetro calculado, se escoge un tornillo de bolas SFU1204 de 12 mm de diámetro con un paso de 4 mm, cuya carga dinámica soportada es de 593 Kg que es más del peso calculado

Cálculo y selección de toque para motor para fresado.

Para seleccionar el motor a usar en este eje primero, se debe calcular el torque total que se debe ejercer para mover toda la estructura montada sobre el mismo como se realizó con el sistema anterior, teniendo en cuenta la intervención del tornillo sin fin para este efecto, en este caso la carga no es tan elevada como en el caso anterior, por lo que se deberá seleccionar el motor adecuado referente al torque calculado.

En primer lugar, se tiene en cuenta las siguientes consideraciones para empezar con el cálculo:

- Diámetro del tornillo sin fin $d = 12 \text{ mm}$
- Paso de la rosca $p = 4 \text{ mm}$
- Fuerza total a desplazar $F = 327 \text{ N}$

Primero se debe calcular el diámetro de paso Dp y el ángulo de paso λ para lo cual se aplican las fórmulas (Mott, 2006):

$$Dp = 10 \text{ mm}$$

$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{4 \text{ mm}}{\pi * 10 \text{ mm}} \right) = 7.25^\circ$$

Para determinar los diferentes torques de subida y bajada para las cargas que intervienen en este eje, se debe aplicar las fórmulas anteriormente usadas:

$$Tu = \frac{(327 \text{ N})(10 \text{ mm})}{2} \left[\frac{(\cos(14.5^\circ) * \tan(7.25^\circ) + (0.19))}{\cos(14.5^\circ) - (0.19) \tan(7.25^\circ)} \right]$$

$$Tu = 542.4 \text{ N mm} \approx 0.54 \text{ N m}$$

Finalmente, para el cálculo de la potencia requerida por el motor se tiene:

$$P = \frac{T * n}{63000}$$

La velocidad de giro nominal n ya definida es de 25 mm/seg por lo que:

$$RPM = \frac{25 \text{ mm}}{\text{segundo}} * \frac{1 \text{ rev}}{5 \text{ mm}} * \frac{60 \text{ segundos}}{1 \text{ minuto}}$$

$$RPM = 300$$

Por lo tanto, se debe tener una velocidad de giro igual a 300 RPM para alcanzar la velocidad de avance propuesta de esta manera ya se puede calcular la potencia del motor.

$$P = \frac{0.54 \text{ N m} * 300 \frac{\text{rev}}{\text{min}}}{716}$$

$$P = 0.22 \text{ HP}$$

Con el torque obtenido ya se puede seleccionar un motor a pasos ideal, ha sido elegido el NEMA 23 M1233011, que posee un torque de 0.55 Nm y una velocidad con carga de 300 RPM, lo cual concuerda con los datos calculado, sus características son mostradas en el anexo 7.

Diseño de poleas y correas para el eje Y del carro de impresión 3D y corte láser.

Se ha decidido usar este tipo de transmisión en el eje Y por la rapidez de movimiento que permiten las poleas además que no se requiere de gran fuerza de tracción para generar desplazamiento por las bajas cargas que este eje posee, se debe indicar también que los procesos que se ejecutan en este carro transversal no poseen ningún tipo de fricción adicional con el material de trabajo por lo que su torque no es tan elevado y su transmisión de movimientos es más simple.

Para calcular el torque necesario en las poleas se consideran las mismas fórmulas y los mismos datos que para el eje Y de este carro, a excepción de la masa a mover que en este caso es $m = 7 \text{ kg}$, por lo tanto la fuerza normal sería $N_y = 68.6 \text{ N}$ y $d = 990 \text{ mm}$. Por lo tanto:

$$F = 68.6 N * \left(\frac{(0.05 m/s)^2}{2 * 0.99 m * 9.81 m/s^2} + 0.18 \right)$$

$$F = 12.35 N$$

La polea y las correas elegidas serán las mismas que para el eje Y poleas dentadas y correas síncronas GT2. Con los datos de estas poleas y correas se calcula el torque necesario para mover la carga.

$$T = 12.35 N * 13.5 mm$$

$$T = 166 N mm \approx 0.166 Nm$$

Para la potencia se tiene:

$$P = \frac{T * n}{63000}$$

$$P = \frac{0.16 Nm * 282.94}{716}$$

$$P = 0.06 HP$$

Con el torque obtenido ya se puede seleccionar un motor a pasos ideal, ha sido elegido el NEMA 17 M1173021, que posee un torque de 0.28 Nm y una velocidad con carga de 300 RPM, lo cual concuerda con los datos calculado, sus características son mostradas en el anexo 8.

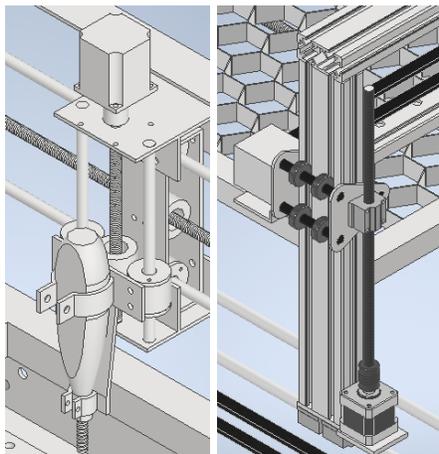
Diseño del sistema de movimiento para el Eje Z

Para el diseño del eje Z del carro de tallado se usará dos guías cilíndricas como las ya vistas en secciones anteriores las cuales irán montadas sobre el eje Y, de esta manera se reduce la cantidad de elementos a elevar si se compara con la elevación de todo el puente, lo que resulta beneficioso en la reducción del material a usar y la complejidad del diseño, estas dos guías se encuentran a los lados de un husillo de bolas que será el encargado de mover el

cabezal de tallado que en este caso será una fresadora sujeta a este mecanismo como se observa en la figura , mientras que para el carro de impresión y corte láser también se usará un husillo de bolas pero en este caso las guías vendrán dispuestas en formas de perfiles de aluminio cuyo movimiento se realiza mediante rodamientos como se observa en la figura 17.

Figura 17

Sistema de movimiento para el eje Z



Nota. Se observa el sistema de guiado y sistema de transmisión del eje Z

A continuación, se procede a determinar el diámetro de las flechas que sirven de guías lineales, los rodamientos lineales, los husillos de bolas para cada uno de los carros y los torques de los motores que se van a usar.

Diseño de las flechas lineales para tallado eje Z. Para el diseño de las guías lineales se debe encontrar el diámetro adecuado que soporte la masa del cabezal de fresado. Se debe tomar en cuenta que en este caso la disposición de las flechas será vertical por lo que la masa del cabezal no se toma en cuenta, solo se analizará con la fuerza de corte que genera un esfuerzo flector en la flecha. Dada la existencia de dos flechas la fuerza de taladrado $F_f = 256 N$ sección 3.4, se distribuye entre cada una de estas, entonces la fuerza que actúa en la flecha es $Wf = 128 N$. Utilizando el programa MDSolid se obtiene un momento flector de 5.175 Nm para la flecha del eje Z. Para calcular este esfuerzo se procede como en casos anteriores en donde se analiza primero el factor de diseño y la resistencia de cadencia para acero estructural, esto con el fin de encontrar el esfuerzo de diseño para el elemento.

$$\sigma_d = 125 MPa$$

Se realiza el mismo reemplazo hecho para las flechas del eje Y:

$$r = \left(\frac{4 * M}{\pi * \sigma_{DE}} \right)^{1/3}$$

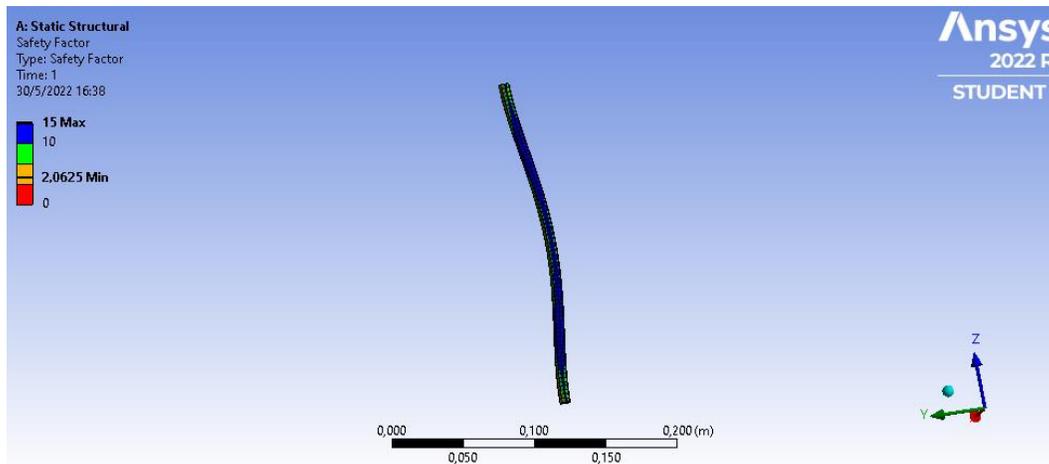
$$r1 = \left(\frac{4 * 5175 Nmm}{\pi * 125 MPa} \right)^{1/3}$$

$$r1 = 3.74 mm \approx D1 = 7.49 mm$$

El diámetro calculado para la flecha del eje Z es 7.49 mm, con este dato se simula en el software Ansys para comparar el factor de seguridad propuesto en los cálculos con los determinados mediante software asegurando así el diseño de la flecha.

Figura 18

Análisis estructural de los ejes para la coordenada Z.



Nota. Se ilustra el factor de seguridad para la flecha del eje Z

Se realizó el análisis mediante software mostrado en la figura 18 y se determinó que con un diámetro de eje igual a 7.49 mm para el carro transversal 1 se tiene un factor de seguridad de 2.06, comprobando de esta manera el factor usado para los cálculos. En el mercado no se encuentra flechas de este tamaño determinado, por lo que se escoge un diámetro mayor comercial de 10 mm.

Selección del rodamiento lineal. El diámetro de la guía lineal ha sido calculado en la sección anterior, por lo que para seleccionar un par de rodamientos lineales acorde a este eje se debe tener en cuenta este diámetro, se ha revisado los tamaños de rodamientos lineales estándar (S.A, 2007), en donde se han encontrado varios tipos de rodamientos, según la empresa de fabricación, los mismos se ilustran en el anexo 3.

Diseño de husillo de potencia para fresado e impresión eje Z. Para el cálculo del diámetro ocupado en el husillo de potencia se las considera como columnas debido a su posición vertical, se calculará el diámetro para el carro transversal 1 y 2 figura 11. El diámetro calculado será utilizado tanto para el tornillo de impresión como para el cabezal de fresado, es este caso el cabezal de fresado posee la mayor fuerza de trabajo. De esta manera se tiene:

Módulo de elasticidad de acero A36 recocido $E = 200 \text{ GPa}$

Longitud efectiva $Le = KL$

Constante que depende del extremo $K = 1$ (articulada - articulada)

Longitud para tallado $Lt = 230 \text{ mm}$

Longitud para impresión 3D y corte láser $Li = 320 \text{ mm}$

Carga crítica para tallado $P_{crt} = \text{Peso cabezal tallado} + F_f = \left(5 \text{ kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) + 256 = 305 \text{ N}$

Carga crítica para impresión 3D y corte láser $P_{cri} = \text{Peso puente de impresion 3D} =$

$\left(15 \text{ kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) = 147 \text{ N}$

Despejando el diámetro:

$$d_{min\text{tallado}} = \sqrt[4]{\frac{64 * P_{cr} * Le^2}{\pi^3 * E}}$$

$$d_{min}tallado = \sqrt[4]{\frac{64 * 305 N * (0.23 m)^2}{\pi^3 * (2 \times 10^{11} Pa)}}$$

$$d_{min}tallado = 0.0035 m \approx 3.5 mm$$

$$d_{min}impresion = \sqrt[4]{\frac{64 * 147 N * (0.32 m)^2}{\pi^3 * (2 \times 10^{11} Pa)}}$$

$$d_{min}impresion = 0.0035 m \approx 3.5 mm$$

El diámetro permitido para el husillo de potencia es de 3.3 mm, para fines de seguridad se escogerá el mismo husillo que para los anteriores ejes de movimiento, es decir, bolas SFU1004 de 10 mm de diámetro con un paso de 4 mm, con una carga dinámica de 420 kgf.

Cálculo y selección de torque para motor. Para seleccionar el motor a usar en este eje primero se procede de la misma forma que se realizó anteriormente.

En primer lugar, se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones para empezar con el cálculo:

- Diámetro del tornillo sin fin $d = 10 mm$
- Paso de la rosca $p = 4 mm$
- Longitud de rosca $L = p = 4 mm$
- Fuerza total a desplazar para tallado $Ft = 229 N$
- Fuerza total a desplazar para impresión 3D $Fi = 147 N$
- Coeficiente de fricción de husillo $f = 0.19$
- Ángulo de rosca $\phi = 14.5^\circ$

Primero se debe calcular el diámetro de paso Dp y el ángulo de paso λ para lo cual se aplican las siguientes formulas (Mott, 2006):

$$Dp = 8 mm$$

$$\lambda = \tan^{-1}\left(\frac{4 \text{ mm}}{\pi * 8 \text{ mm}}\right) = 9.04^\circ$$

Mediante el uso de la ecuación se calcula el torque de subida que se debe implementar para mover la carga en dirección positiva.

$$T_u = \frac{FDp}{2} \left[\frac{(\cos \phi \tan \lambda + f)}{\cos \phi - f \tan \lambda} \right]$$

$$T_{uf} = \frac{(229 \text{ N})(8 \text{ mm})}{2} \left[\frac{(\cos(14.5^\circ) * \tan(9.04^\circ) + (0.19))}{\cos(14.5^\circ) - (0.19) \tan(9.04^\circ)} \right]$$

$$T_{uf} = 382 \text{ N mm} \approx 0.38 \text{ N m}$$

$$T_{ui} = \frac{(147 \text{ N})(10 \text{ mm})}{2} \left[\frac{(\cos(14.5^\circ) * \tan(9.04^\circ) + (0.19))}{\cos(14.5^\circ) - (0.19) \tan(9.04^\circ)} \right]$$

$$T_{ui} = 269.6 \text{ N mm} \approx 0.26 \text{ N m}$$

Finalmente, para el cálculo de la potencia requerida por el motor se tiene:

$$P = \frac{T * n}{63000}$$

La velocidad de giro nominal n para las aplicaciones llevadas a cabo se calcula teniendo en consideración una velocidad de avance en los ejes de 25 mm/segundo.

Considerando esto se tiene:

$$RPM = \frac{25 \text{ mm}}{\text{segundo}} * \frac{1 \text{ rev}}{5 \text{ mm}} * \frac{60 \text{ segundos}}{1 \text{ minuto}}$$

$$RPM = 300$$

Por lo tanto, se debe tener una velocidad de giro igual a 300 RPM para alcanzar la velocidad de avance propuesto de esta manera ya se puede calcular la potencia del motor.

Los motores a pasos escogidos dados los torques calculados son para el puente de fresado NEMA 17 M1173031 con un torque nominal de 0.4 Nm con una velocidad de carga de 300 RPM y para el puente de corte laser e impresión 3D se selecciona dos motores NEMA 17 M1173021 con un torque nominal de 0.28 Nm con una velocidad de 300 RPM, uno a cada lado del puente para equilibrarlo al momento del movimiento.

Selección de componentes eléctricos

Para el funcionamiento de la máquina se necesitan seleccionar los componentes eléctricos que permiten el movimiento de los ejes así como el accionamiento de cada uno de los procesos que se llevan a cabo en esta estructura, como base principal del sistema eléctrico se tiene la tarjeta RAMPS 1.4 seleccionada en el apartado 2.4.6, a partir de la misma se van a escoger los elementos que van conectados a la misma, teniendo en cuenta que los motores para cada eje ya se han seleccionado en la sección anterior.

Drivers

Analizando las características de cada uno de los motores seleccionados en la sección anterior se escogerá los drivers que mejor se adapte al uso de cada uno de los mismos tomando en cuenta las corrientes de operación y el voltaje necesario para su correcto funcionamiento.

Drivers para eje X. Para el puente transversal de fresado se seleccionó un motor Nema 23 M1233051, en la ficha técnica del motor (Anexo 7) se observa el valor de corriente en cada fase igual a 3 Amperios, conociendo este dato se busca un driver con la capacidad de brindar dicho amperaje. El driver TB 6600 posee una corriente pico de 4 A y una entrada de fuente de voltaje de 0 - 45 voltios (TOSHIBA, 2012). Para la configuración de la corriente este driver posee tres interruptores, cuyas combinaciones permiten entregar cierta corriente al motor conectado, estas configuraciones se muestran en la tabla 25. Sus características son mostradas en el anexo 9.

Tabla 25

Configuración de corriente para driver TB6600

Corriente A	Corriente máxima	S4	S5	S6
0.5	0.7	ON	ON	ON
1	1.2	ON	OFF	ON
1.5	1.7	ON	ON	OFF
2	2.2	ON	OFF	OFF
2.5	2.7	OFF	ON	ON
2.8	2.9	OFF	OFF	ON
3	3.2	OFF	ON	OFF
3.5	4	OFF	OFF	OFF

Nota. En la tabla se muestra las diferentes configuraciones de ajuste para la corriente suministrada al motor. Tomado de (Geek, 2020)

El motor escogido para el segundo puente transversal de corte láser e impresión 3D es un Nema 23 GM57HS56-1504, su corriente nominal es de 1.5 A, teniendo este dato se selecciona un driver DVR8825, el cual es un controlador para motores a paso, que suministra corriente a motores de hasta 2.5 A (Instruments, 2014), además existe facilidad de obtención en el mercado, su ficha técnica se presenta en el anexo 10. La conexión del mismo es montada sobre la tarjeta Ramps 1.4, la misma posee pines definidos para este tipo de driver.

Drivers para eje Y. En el eje Y se tiene igualmente dos motores para los dos puentes transversales de la máquina, para el puente de fresado el motor elegido es Nema 23 M1233011 que posee una corriente nominal de 0.62 A, por lo que se hace idóneo el uso de un driver DVR8825, y para el puente de corte láser e impresión 3D se seleccionó un motor a pasos Nema 17 M1173021 con una corriente nominal 1.3 A con lo cual también se elige para el mismo un driver DVR8825.

Drivers para eje Z. El eje Z de la máquina está compuesto por tres motores a pasos, el puente transversal de fresado posee un motor a pasos Nema 17 M1173031 con una corriente nominal de 1.7 A y el puente transversal de corte láser e impresión 3D es un Nema 17 M1173021 con una corriente nominal de 1.3 A, para ambos casos el driver seleccionado es un DRV8825 puesto que suministra el nivel de corriente que requieren los mismos.

Finales de carrera

Con el fin de precautelar los límites de movimientos en los 3 ejes es necesario implementar dispositivos eléctricos que emitan una señal al momento que se llegue a un límite de recorrido, en la sección 2.1.5 se aprecia el uso de un EndStop Gwoops que es un interruptor de punto final mecánico compatible con la tarjeta Ramps 1.4, al usar la misma tarjeta de control se hace necesario también la implementación de este dispositivo para el control de los límites de recorrido en la máquina, sus características se muestran en el anexo 11.

Fuentes de alimentación

El sistema eléctrico se compone de varias partes que requieren alimentación a diferentes voltajes y diferentes amperajes, por lo que es necesario dividir cada una de estas secciones para escoger la fuente de poder adecuada.

Fuente para energizar tarjeta de control. El sistema eléctrico tiene como principal herramienta la tarjeta controladora Ramps 1.4, la cual soportará a 3 motores para los movimientos de los ejes lineales, además de todos los componentes que vienen montados en la misma, por lo cual el fabricante de la tarjeta recomienda bajo este criterio que se use una fuente de 12 voltios que es el voltaje nominal de la tarjeta y una corriente de 20 A, este valor se obtiene al sumar la corriente que necesita la tarjeta Ramps 1.4, la misma que tiene dos puertos de 11 A y 5 A cada uno de estos dando un total de 16 A y sumado a la corriente consumida por el láser (4 Amperios) anexo 12.

Fuente para energizar driver TB600. Dado que el driver TB6600 utiliza una corriente de 0 a 4.5 A, tiene que ser energizado por una fuente de mayor potencia, para lo cual el voltaje de entrada de dicho driver es de 0 a 40 voltios y el amperaje es de 0 a 4.5 A, la fuente idónea para el funcionamiento del mismo es de 36 voltios a 5 Amperios.

Fuente para energizar el módulo láser. Para energizar el modulo láser se utilizará la misma fuente de 12 voltios y 20 amperios ya que cumple con los requerimientos definidos por el productor del módulo láser a utilizar, es decir que para la conexión de la tarjeta controladora y el modulo láser se utilizará la misma fuente por facilidad de uso.

Selección de módulo láser

El proceso de corte láser depende de varios componentes que deben ser seleccionados dependiendo de la potencia con la que se va a trabajar, como se especificó en la sección , la potencia para el sistema implementado debe ser de 40 W por lo que se elige un módulo que cumpla con esta especificación. La ficha técnica se muestra en el anexo 13.

Selección de cabezal de fresado CNC

El cabezal de fresado posee diferentes elementos mecánicos y eléctricos que en su conjunto forman un sistema complejo de mecanizado, estos elementos son el sistema de sujeción y el motor a ser usado para el giro de la herramienta.

Para el método de sujeción a usar existen varias opciones detalladas en la línea base del laboratorio CNC sección 2.2 donde se encuentra con gran cantidad de máquinas que ocupan diferentes mecanismos de sujeción, por ejemplo, existen mandriles con mordazas ajustables, portabrocas de ajuste con llave, portabrocas con espiga integrada, pero para el proceso de fresado se tienen las boquillas de sujeción (collet), las cuales brindan gran precisión y estabilidad al proceso llevado a cabo, este sistema es apropiado para fresar madera e incluso puede servir para materiales más resistentes

El motor a ser usado para el giro de la herramienta va a ser determinado dependiendo de la velocidad de revolución y la potencia neta encontrada en parámetros de diseño sección 4.1, esta velocidad de revolución es de 9900 RPM y la potencia neta de trabajo es de 0.4 KW.

El control del cabezal de fresado es otra de las características de interés, a partir del sistema eléctrico usado, el mecanismo ideal es mediante PWM a través una tarjeta de control. Dados estos parámetros se tienen diferentes tipos de cabezales de fresado, dependiendo de la velocidad de revolución, la potencia del motor, el método de sujeción y el método de control de la velocidad en el husillo. Se ha analizado una lista de cabezales para fresadoras pequeñas en donde se encuentra potencias a partir de 500 W y con diferentes velocidades de operación, el cabezal ideal siguiendo los parámetros indicados es un 500 W CNC Air Cooled Spindle, el cual posee un rango de velocidad de hasta 12000 RPM como se puede observar en la figura 19, tiene una boquilla de sujeción collet ER11 que permite fijar fresas de hasta 7 mm y la forma de

control de velocidad en mediante PWM, que se puede cómodamente realizar desde una tarjeta de control como en este caso. El resto de características se presenta en el anexo 14.

Figura 19

Características de cabezal de fresadora



Nota: Se observa las características del cabezal de fresado seleccionado para la maquina diseñada. Recuperado de (LLC, 2018)

Diagrama eléctrico para corte láser e impresión 3D y fresadora CNC

El sistema eléctrico se compone de dos partes fundamentales, la primera tiene que ver con las aplicaciones de corte laser e impresión 3D, para la cual se usan motores drivers y sistemas de operación específicos para la aplicación, mientras que para fresado se usan diferentes motores guías, sistemas de movimientos y drivers. La conexión para estos dos sistemas es similar puesto que se utilizan motores para generar movimiento en los tres ejes, lo que cambia es el accionamiento de efectores finales.

Las conexiones eléctricas del sistema tienen como base fundamental la tarjeta controladora RAMPS 1.4, es el cerebro de la operación a llevar a cabo y los demás elementos se montan sobre la misma de acuerdo a la configuración de los puertos que se dispone dentro de la tarjeta de control. En la figura 20 se muestra la conexión de todos los elementos eléctricos

que componen la máquina, la tarjeta tiene puertos para los tres ejes de movimiento X, Y, Z, además de uno extra para el eje Z que va a ser usado en este caso para nivelar el puente en ambos lados, posee puertos para dos motores más, uno de estos va a ser utilizado para montar el extrusor de la impresora. Se tiene puertos para conectar una LCD, siendo esta la interface para controlar los dos procesos que aquí se ejecutan.

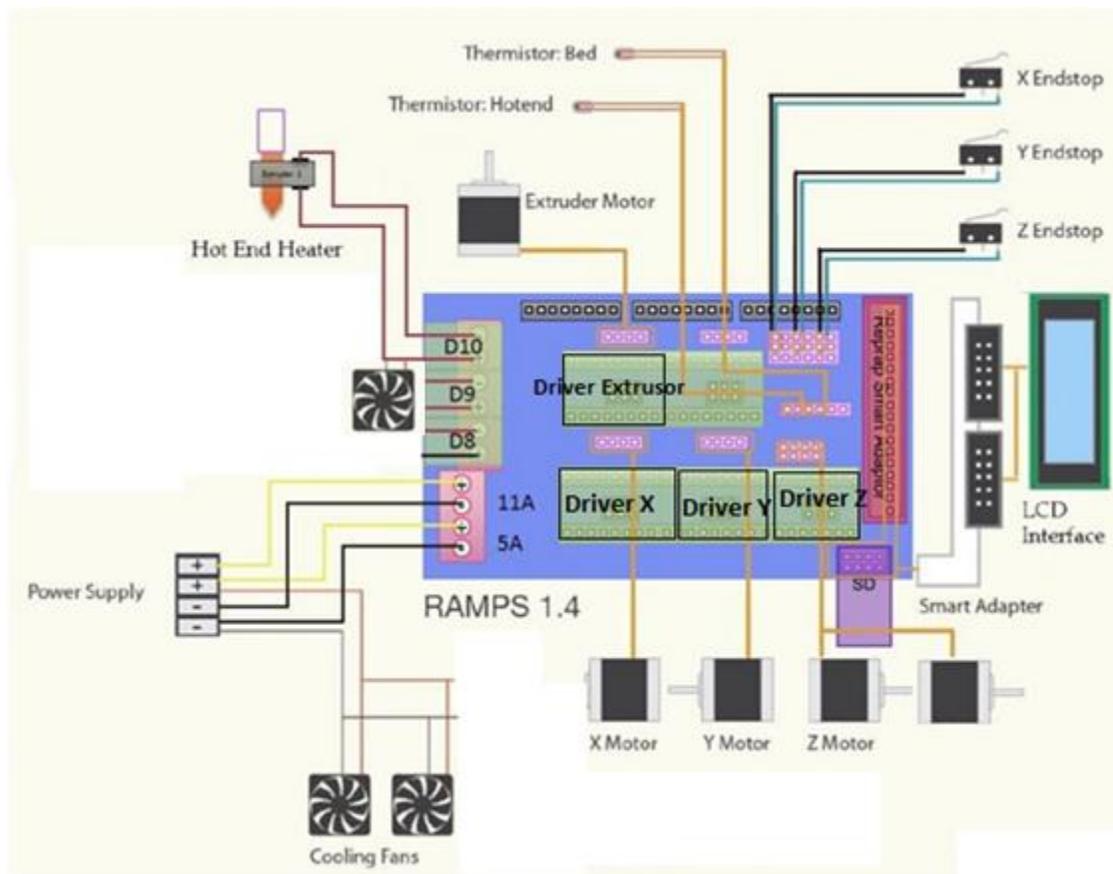
Para la conexión de los actuadores se tiene el hot end de la impresora 3D ubicado en el puerto D10, la fuente con la que se conmuta este sistema en una fuente de 0-24 V descrita anteriormente.

El accionamiento de los motores se realiza mediante drivers que van conectados a la tarjeta en los puntos mostrados en la figura 20, estos drivers son compatibles con la tarjeta y viene listos para ser montados en la misma.

La ventilación viene conectada a la fuente de alimentación de la tarjeta de esta manera se accionarán cuando la máquina se encuentre encendida.

Figura 20

Diagrama eléctrico para puente de corte láser e impresión 3D



Nota. Se muestra todos los componentes eléctricos de la máquina interconectados para su correcto funcionamiento. Recuperado de (Createc, 2016)

En cuanto a la aplicación de fresado se utilizan los mismos componentes para la generación de movimiento, es decir la disposición de los motores no cambian puesto que se tiene 3 motores para los diferentes ejes, los finales de carrera son colocados en la misma posición, en este caso no existe extrusor por lo que este puerto se deja libre.

Capítulo IV

Construcción e implementación

Construcción del sistema mecánico

En esta sección se detallará el proceso de construcción del sistema mecánico, así como de cada uno de los componentes que se han diseñado previamente en el capítulo III, la máquina a construir se encuentra compuesta por una estructura base que da soporte a todos los mecanismos de soporte y a los actuadores que intervienen en los procesos de manufactura, sobre esta van dispuestos a lo largo dos puentes, con sistemas de movimientos individuales cada uno de ellos, compartiendo únicamente guías circulares fijadas a la estructura y que permiten el movimiento de los dos puentes en la estructura.

Construcción de la estructura base.

El diseño de la estructura base realizado en el apartado 3.6, arroja como resultado la construcción de la misma con un tubo cuadrado de 40x40 cm, el cual va soldado formando la estructura previamente mostrada la figura 21, para la construcción del mismo se ha utilizado 12 metros de dicho tubo.

Figura 21*Construcción de estructura base*

Nota. Se muestra la base de la estructura donde se montarán los componentes para los dos puentes de trabajo

Implementación de las guías cilíndricas

Para el desplazamiento de los carros en el eje X se han dispuesto dos guías cilíndricas, en el apartado de diseño se encontró un diámetro de 24 mm para soportar las cargas montadas sobre las mismas, pero debido a la escasez de las mismas en el medio local se optó por guías cilíndricas apoyadas en una base prismática, el valor de diámetro más alto encontrado en el medio para las mismas es de 16 mm, lo cual sumado a la rigidez de la base es suficiente para soportar las cargas previstas. Las guías se han fijado en los extremos de la estructura base, con una conexión mediante pernos como se muestra en la figura 22.

Figura 22*Implementación de guías cilíndricas*

Nota: Las guías cilíndricas fijadas a los extremos de la estructura base para el movimiento de los puentes de trabajo

Construcción del puente para fresado

El puente de fresado está compuesto por diferentes partes como se muestra en la figura 12, este puente se encuentra montado sobre las guías cilíndricas y un tornillo de bolas fijadas montados en la estructura base, está conformado por el puente estructural donde van montados todos los elementos para transmisión de movimiento de los ejes Y y Z, además de los motores y el cabezal de fresado.

Construcción estructural del puente. La estructura del puente se lo realiza utilizando un tubo cuadrado de 40X20 mm como se especifica en la sección 3.5, el espesor mínimo para este tubo en el mercado es de 1.2 mm, para su construcción se necesita realizar cortes precisos y soldar cada una de las partes que conforman el puente, en la parte baja del puente se ha colocado una terminación que permita sujetar mediante pernos el puente a la plancha que a su vez se encuentra unida a los rodamientos lineales de la guía cilíndrica, permitiendo el movimiento del mismo a lo largo del eje X, como se observa en la figura 23.

Figura 23

Construcción e implementación del puente en la estructura base



Nota. La estructura del puente de fresado es montada sobre los rodamientos lineales mediante pernos

Implementación del sistema de movimiento para ejes X, Y y Z. Para el movimiento del eje Y del puente de fresado es necesario colocar las guías cilíndricas de 16 mm, calculadas en la sección 3.7.2, sobre las mismas irán montados rodamientos lineales que servirán de soporte para el mecanismo de movimiento del eje Z, el cual también posee un par de guías cilíndricas de 12 mm donde va montado el cabezal de fresado, como se puede ver en la figura 24.

Figura 24

Implementación de guías para el eje Y y Z

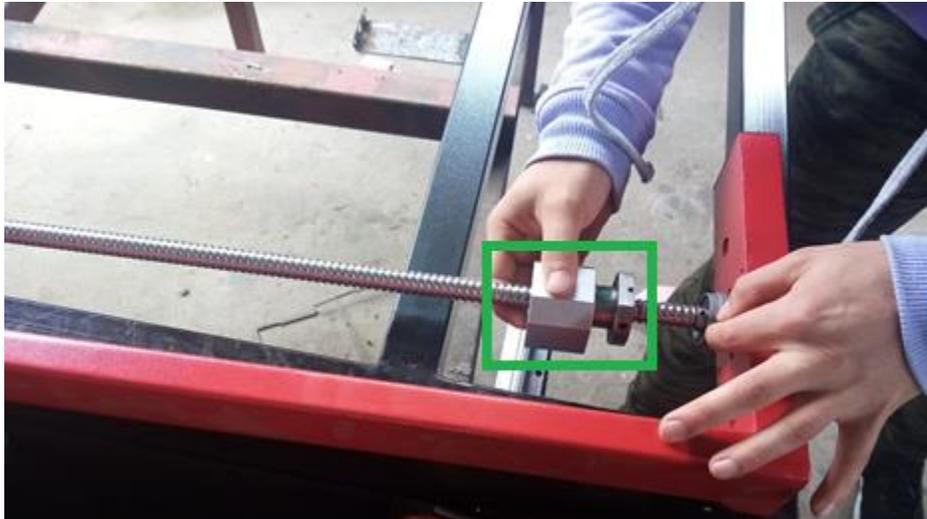


Nota. Sobre las guías del eje Y se ha dispuesto una estructura unida a los rodamientos lineales mediante pernos, en esta estructura se montará el cabezal de fresado.

Para la transmisión del movimiento se implementa un tornillo de bolas tanto en el eje Y como en el Z, de 16 mm y 12 mm respectivamente, este se dispone entre las dos guías como se observa en la figura 25.

Figura 25

Colocación del tornillo de bolas para el eje Y

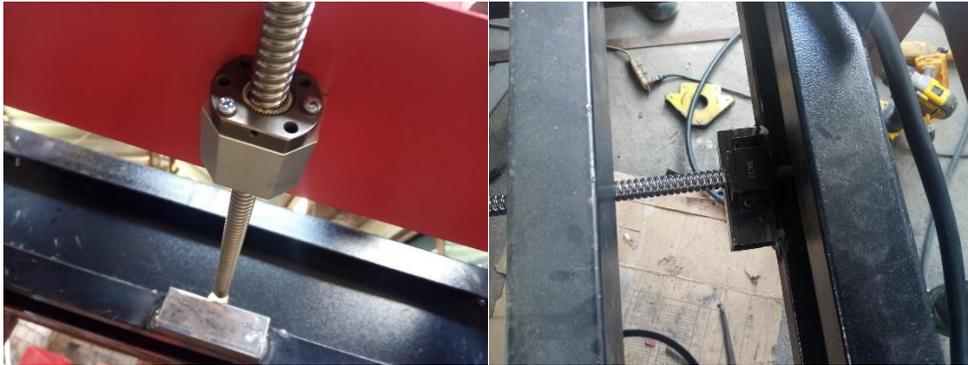


Nota. El tornillo de bolas se coloca con una fijación de rodamiento en los extremos y con un acople para el motor.

Para el eje X se utiliza un tornillo de bolas fijado al puente mediante pernos, en los extremos del mismo se tiene cremalleras unidas a la estructura base que dan soporte al tornillo de bolas y acoplado al motor en uno de sus extremos, se muestra en la figura 26.

Figura 26

Colocación del tornillo de bolas para el eje X



Nota. El tornillo de bolas del eje X va unido al puente mediante una conexión empernada y con cremalleras en los extremos

Montaje de cabezal de fresado y motores. El cabezal de fresado para este puente es colocado en la estructura que se ha armado sobre las guías del eje Y, sujetado a un tornillo de bolas de 12 mm calculado en la sección 3.7.3, todos estos tornillos de bolas van acoplados a motores a pasos nema en sus extremos, donde son fijados al puente mediante pernos como se puede observar en la figura 27.

Figura 27*Montaje del cabezal de fresado y motores*

Nota. Se arma la estructura del eje Z y se coloca sobre los rodamientos lineales del eje Y, con los motores en los extremos

Construcción del puente de impresión 3D y corte láser

El puente de impresión y corte laser tiene diferente sistema de movimiento que el puente de fresado en sus ejes, en este caso los ejes X y Y utilizan un movimiento por correas mientras que para el eje Z se tiene dos tornillos de bolas ubicados a los lados del puente, permitiendo de esta manera subir y bajar el eje Y con los respectivos cabezales de trabajo. Va montado sobre las mismas guías cilíndricas antes establecidas, su diseño se puede observar en la figura 11, consta de un puente estructural, una guía prismática para el eje Y, de un soporte para los cabezales y los mecanismos de polea y correa tanto para el eje X como para el eje Y.

Construcción estructural del puente. La estructura base del puente está hecha de aluminio, para su construcción se utilizó un perfil típico de aluminio utilizado en máquinas cnc, el diseño es más sencillo que el puente de fresado puesto que el mismo conlleva grandes esfuerzos en las tareas que cumple por lo que no es necesaria una gran rigidez, al igual que en el puente anterior este tiene una base en donde se puede empujar a los rodamientos lineales que se encuentran montados en las guías cilíndricas, la forma de este puente se muestra en la figura 28.

Figura 28

Estructura del puente de impresión 3D y corte láser



Nota. La estructura del puente posee un espacio para colocar el motor a cada lado del mismo para elevar los cabezales que van montados

Implementación de los tornillos de bolas para el eje Z. El diámetro de los tornillos es de 12 mm y fueron seleccionados en la sección 3.7.3, los mismos van colocados a los dos lados del puente y sirven para elevar el eje Y y los cabezales que se encuentran montados en el mismo; los tornillos van sujetos en la parte de arriba por medio de una cremallera, generando de esta manera estabilidad en el movimiento. Como se observa en la figura 29.

Figura 29

Implementación de los tornillos de bolas para el eje Z



Nota. Los tornillos de bolas vienen ajustados a la maquina mediante unas cremalleras que sostienen a los mismos, en la base el puente cuenta con una estructura de sujeción para el motor y por consiguiente al tornillo

Implementación de las guías prismáticas para eje Y. La guía prismática HIWIN fue escogida en la sección 7.3.2 por su gran estabilidad y por la precisión que brinda en cada movimiento, han sido montadas sobre los tornillos de bolas que existen en cada extremo del puente formando de esta manera el eje Y, sobre estas guías van montados dos bloques deslizantes donde irán montados los cabezales de impresión 3D y corte láser, el montaje de la misma se aprecia en la figura 30.

Figura 30

Implementación de guías prismáticas



Nota. La guía prismática se coloca sujetando mediante pernos a los bloques del tornillo de bolas en cada uno de sus extremos

Construcción del sistema de movimiento para el eje X y Y. En la sección 3.7.1 se diseñó el mecanismo de transmisión por correas para estos ejes, se seleccionó correas síncronas GT2 conjuntamente con poleas dentadas GT2, para el mecanismo del eje Y se colocó las poleas sobre la guía prismática y las correas van conectadas a un elemento montado sobre los bloques hiwin como se observa en la figura 31.

Figura 31

Implementación de correas síncronas para el eje Y

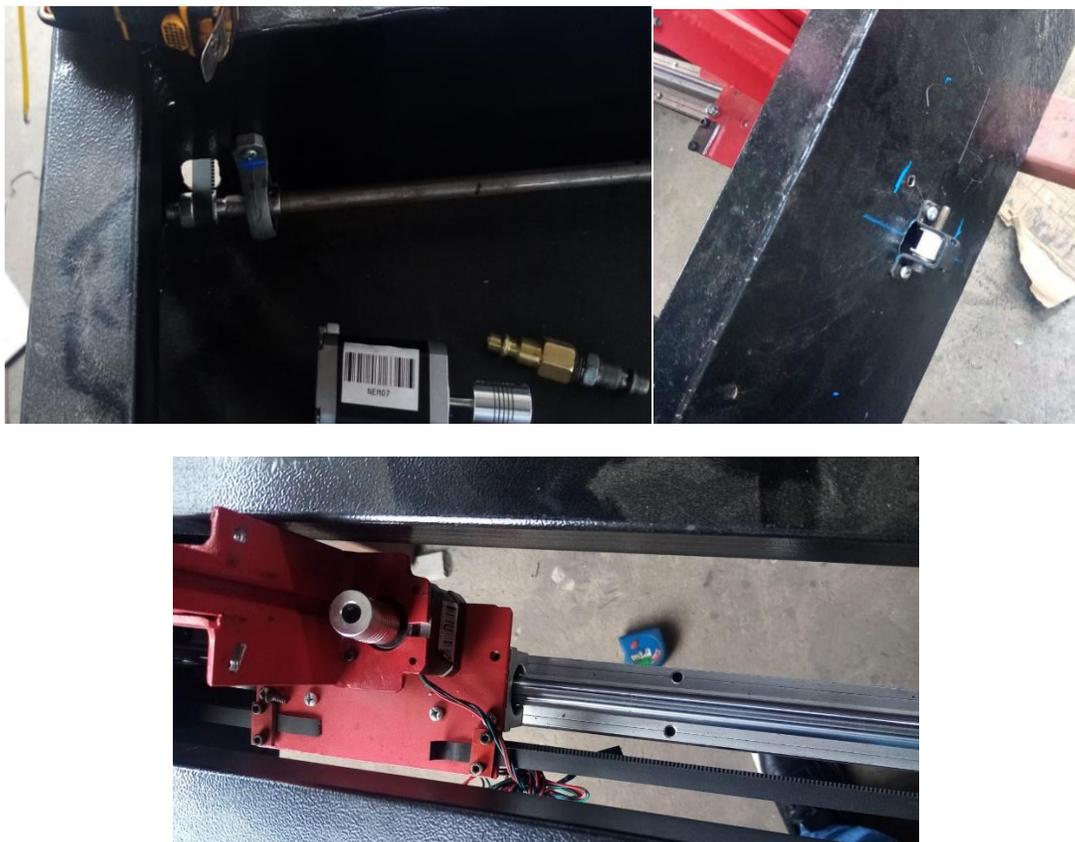


Nota. Se colocan las poleas en cada extremo del puente transversal a la salida de cada uno de los motores.

Para el eje X se tiene un mecanismo más complejo puesto que se tiene dos correas síncronas a los lados de los rodamientos lineales montados sobre las guías lineales compartidas, por lo que para el movimiento de ambos lados se ha dispuesto de un eje de 12 mm, donde van montadas las poleas síncronas, este eje es acoplado al motor para el desplazamiento de todo el puente simétricamente, en el otro extremo de la correa se encuentra una polea síncrona acoplada a la estructura base como se muestra en la figura 32

Figura 32

Implementación del sistema de movimiento para el eje X



Nota. El sistema se compone de correas unidos al puente como se muestra en la figura, con un eje que transmite el movimiento de un lado del puente hacia el otro lado.

Montaje de cabezales de impresión 3D y corte láser. Los cabezales de corte láser e impresión 3D van montados sobre dos bloques deslizantes HIWIN unidos mediante una pieza de sujeción, todo esto moviéndose a través de la guía prismática del eje y. El cabezal de impresión 3D posee un motor para introducir el material de impresión en la boquilla o HOT END y un ventilador para enfriar el mismo, mientras que el cabezal laser es un módulo regulable de 40 W regulable mediante señal PWM el montaje de los mismos se muestra en la figura 33.

Figura 33

Montaje de los cabezales de impresión 3D y corte láser



Nota. El sistema se compone de correas unidos al puente como se muestra en la figura, con un eje que transmite el movimiento de un lado del puente hacia el otro lado.

Implementación del sistema eléctrico

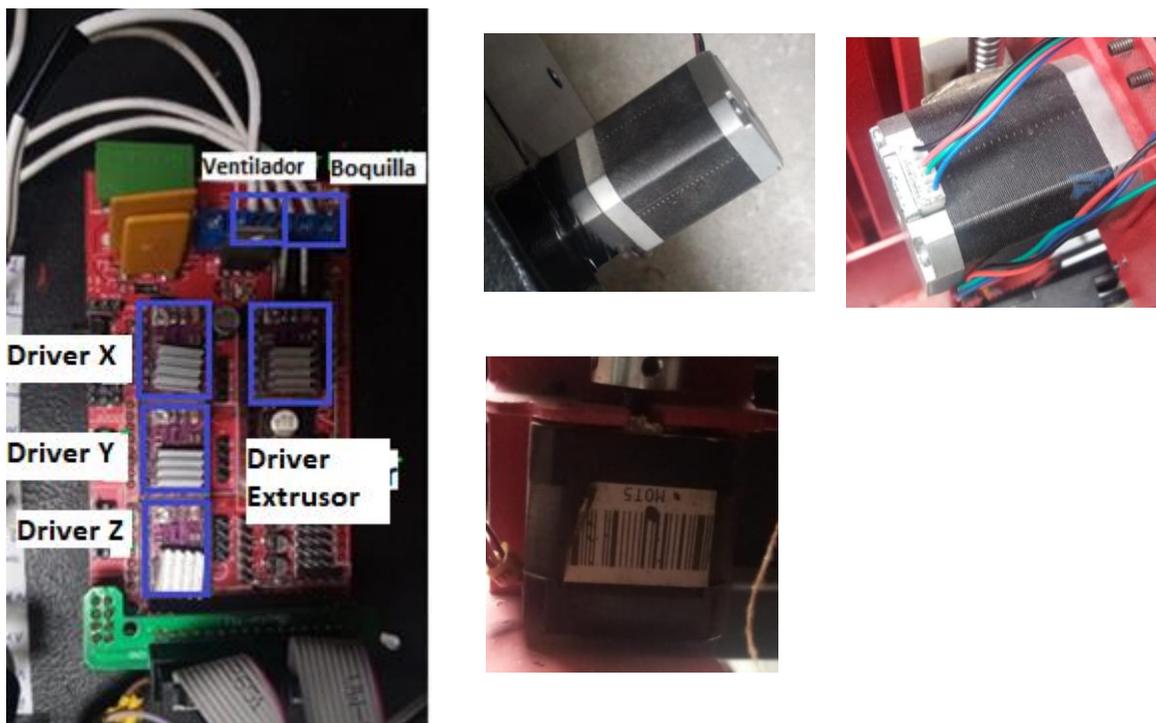
Sistema eléctrico puente de corte láser e impresión 3D.

El sistema eléctrico tiene como centro de operaciones la tarjeta Ramps 1.4, desde donde se controla cada uno de los elementos que se requieren para el funcionamiento de las tres aplicaciones llevadas a cabo en la máquina. En la figura 20 se representa cada uno de los

elementos del puente de impresión 3D y corte láser que van conectados a la tarjeta de control. Los drivers DVR8825 escogidos en el capítulo 3, son compatibles con el microcontrolador y tienen un espacio reservado dentro de la Ramps 1.4 para la colocación de los mismos como se observa en la figura 34.

Figura 34

Implementación de drivers DVR8825 para puente de corte láser e impresión 3D



Nota. Cada uno de los drivers debe ir con su respectivo disipador de calor puesto que estos elementos suelen calentarse.

Estos drivers tienen la capacidad de mover el motor a la fracción de $1/32$ por cada paso lo que genera mayor precisión al momento de realizar los diseños propuestos, cada uno de estos drivers controla un motor en un eje específico de movimiento a excepción del eje Z el cual se compone de 2 motores, para los cuales se divide la corriente permitiendo energizar los dos

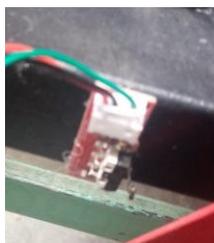
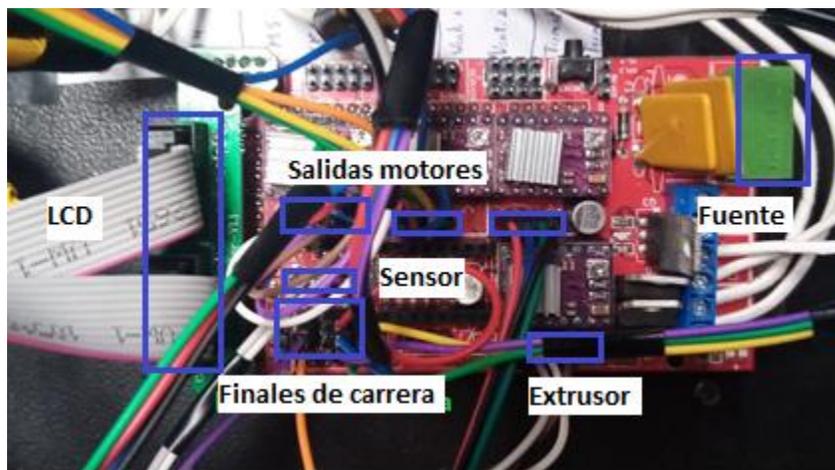
con el mismo driver, se tiene también un driver para el eje del extrusor. Cada motor posee dos bobinas las cuales van dispuestas en los pines correspondientes de la Ramps 1.4.

El extrusor se conecta en el puerto D9 de la tarjeta como se muestra en la figura 36, a lado del mismo se encuentra el ventilador de capa conectado en el puerto D10. Posterior a la colocación de los drivers se debe implementar el termistor y los finales de carrera en la posición indicada en el esquema de la figura 20. Con excepción del final de carrera del eje Z ya que para este se ha dispuesto de un sensor inductivo que permita nivelar la cama automáticamente. La conexión del mismo se realiza en el mismo puerto de final de carrera, pero se necesita realizar un acondicionamiento de la señal de salida puesto que la entrada del sensor es de 12 V y su salida es de un valor similar lo cual puede quemar la tarjeta de control, por lo que se implementa el circuito del anexo 16.

La implementación de todos los elementos se aprecia en la figura 35.

Figura 35

Implementación de los elementos para impresión 3D y corte laser

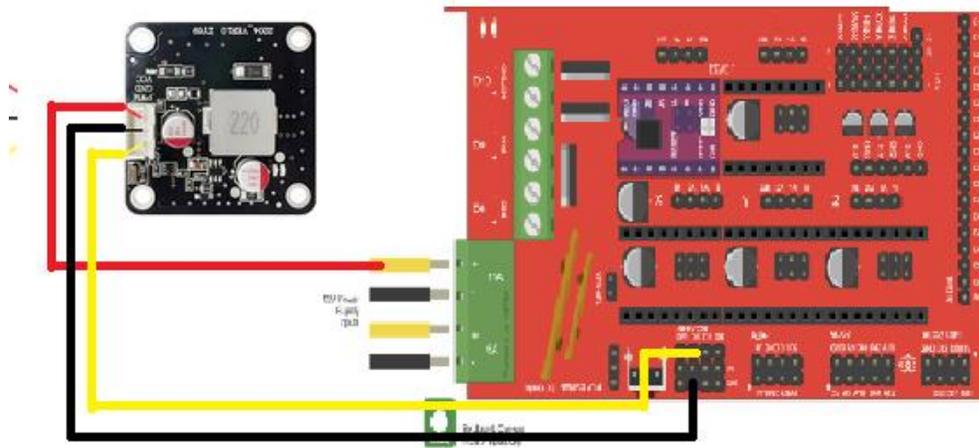


Nota. Cada uno de los elementos se debe conectar en su posición adecuada para evitar corto circuitos al momento de encender la máquina

Para la implementación de corte láser se optó por uno eléctrico debido a la disponibilidad del mismo y al alto coste de la implementación del láser de CO₂ y los inconvenientes en la disposición de cada uno de sus elementos dentro de la máquina, teniendo la misma potencia en los dos casos, las propiedades del mismo se muestran en el anexo 13. Su implementación es realmente cómoda ya que solo depende de una fuente externa de 12 v y una alimentación PWM que puede ser utilizada desde la tarjeta Ramps 1.4. La conexión del mismo se realiza siguiendo el diagrama mostrado en la figura 36.

Figura 36.

Implementación del cabezal de corte láser

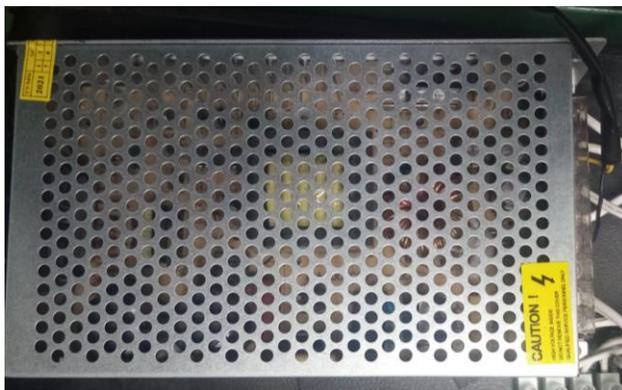


Nota. La conexión del terminal positivo se la debe realizar en el puerto superior esto debido a que existe mayor flujo de corriente disponible.

La conexión se la realiza utilizando el puerto D6, que posee una salida PWM, las tierras se encuentran conectadas por lo que no existe problema de usar este puerto y para energizar el láser se utiliza la entrada de 12 v de la Ramps 1.4 suministrando el poder necesario para su correcto funcionamiento. Este puerto es definido por la tarjeta para la implementación de un láser eléctrico con utilización de una señal PWM. Finalmente se conecta la fuente de 12 v 20A que va a energizar todo este puente, la misma que se muestra en la figura 37.

Figura 37

Implementación de la fuente de alimentación para puente 1



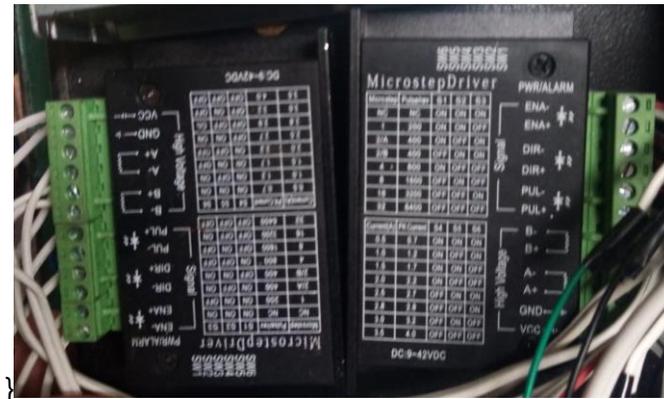
Nota. La fuente tiene un interruptor para ser usada con 110 v o 220 v por lo que se debe asegurar que este en la posición adecuada.

Sistema eléctrico puente de fresado.

El sistema eléctrico del puente de fresado es bastante similar al de corte láser e impresión 3D con la diferencia que en este caso no se tiene un extrusor para conectar en el puerto D9, el único elemento de trabajo conectado a esta tarjeta es el husillo para fresado, otra diferencia importante es que el sistema de movimiento para este eje es mediante tornillo de bolas en los tres ejes de movimiento y la fuerza que se requiere para mover y fresar al mismo tiempo es muy superior al otro puente para los cual en la sección 3 ya se han establecido los motores adecuados y los drivers que se encargarán de estos movimientos, para el eje X y Y se tienen los drivers TB6600 que manejan hasta 4 Amperios y para el eje Z se tiene un driver DVR8825 puesto que este eje es el que menor fuerza ejerce durante el proceso. El diagrama de conexión de estos drivers se puede observar en anexo 17. Mientras que su implementación se muestra en la figura 38.

Figura 38

Implementación de los drivers TB6600

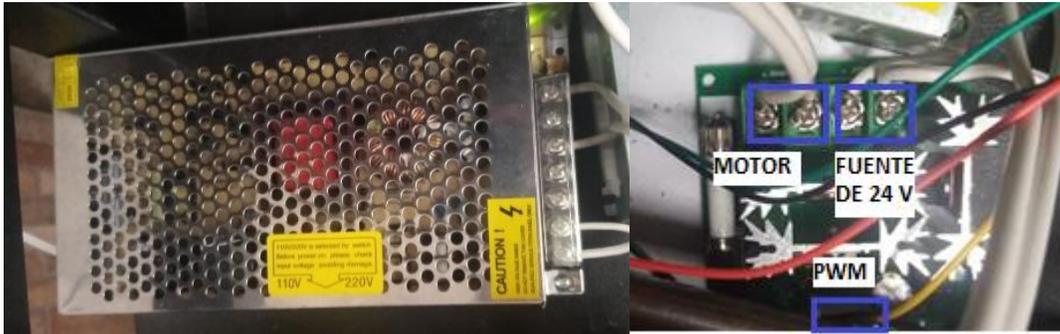


Nota. Cada uno de estos drivers necesitan ser energizados con una fuente de 12 voltios y cada uno consume 3 Amperios

Al igual que en el puente 1 los elementos restantes van conectados en los mismos puertos de la Ramps 1.4, en este caso no es necesario un termistor y solo hace falta la conexión de los finales de carrera de este puente. Para la conexión del husillo de fresado se sigue el mismo ejemplo del láser en el puente 1 (anexo 15), se extrae una señal PWM del puerto D6 de la Ramps, esta señal es utilizada por un driver Mgsystem que tiene una capacidad de 10-60 voltios, un amperaje máximo de 10 Amperios además de una entrada PWM para regular la intensidad de salida hacia el motor del husillo de fresado, este driver se energiza con una fuente de 24 voltios puesto que es el voltaje necesario para el motor del husillo LD52GF-400W cuyas características se muestran en el anexo 15. La implementación de este driver y su fuente de alimentación se muestra en la figura 39.

Figura 39

Implementación de driver para husillo de fresado.

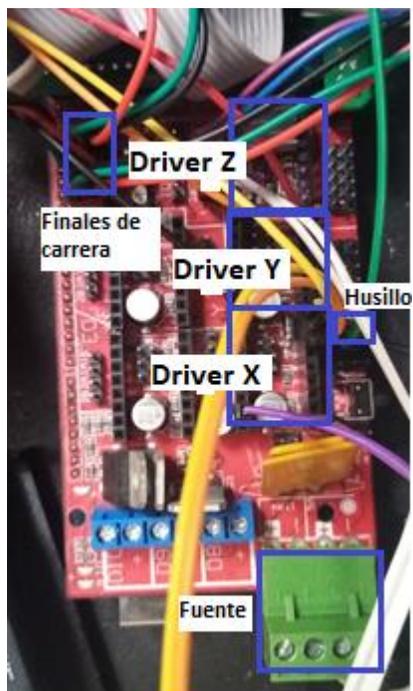


Nota. El driver tienen su propia alimentación de 24 voltios con un amperaje máximo de 10 Amperios

La implementación de todos los elementos como son los drivers de los motores, los finales de carrera, el husillo de fresado y la LCD de control se muestra en la figura 40, completando de esta manera la implementación de todos los elementos en los dos puentes de trabajo los cuales se encuentran protegidos por botones de encendido, para cada puente, además se tiene un botón adicional para el encendido del láser.

Figura 40

Implementación de elementos del puente 2 en la tarjeta de control



Nota. En este caso solo se necesita conectar un driver DVR8825 ya que los ejes X, Y tienen drivers de mayor potencia.

Implementación del firmware Marlin

El firmware contiene un compendio de configuraciones en las que se debe tomar en cuenta las características que se desea tener en la máquina diseñada, dentro de este entorno de configuración se puede cambiar valores de drivers motores, finales de carrera, offset entre otras características que deben tener valores acordes al funcionamiento requerido por la máquina. Este firmware es de fácil manipulación y accesibilidad ya que se puede encontrar una adaptación en arduino del mismo, es decir que solo se hace necesaria la instalación de este IDE para poder configurar las funciones del firmware.

Lo primero que se define en el firmware son los drivers que se van a usar en cada uno de los ejes de la estructura en este caso para el puente 1 (figura 41 a) todos los ejes de

movimiento son ejecutados mediante el driver DVR8825 y para el puente 2 (figura 41 b) los ejes X,Y son ejecutados mediante el driver TB6600 Y el eje Z con el driver DVR8825, esta configuración se la puede apreciar en la figura 43.

Figura 41

Configuración de drivers

```

#define X_DRIVER_TYPE  DRV8825
#define Y_DRIVER_TYPE  DRV8825
#define Z_DRIVER_TYPE  DRV8825
//#define X2_DRIVER_TYPE  A4988
//#define Y2_DRIVER_TYPE  A4988
//#define Z2_DRIVER_TYPE  A4988
//#define Z3_DRIVER_TYPE  A4988
//#define Z4_DRIVER_TYPE  A4988
//#define I_DRIVER_TYPE  A4988
//#define J_DRIVER_TYPE  A4988
//#define K_DRIVER_TYPE  A4988
//#define U_DRIVER_TYPE  A4988
//#define V_DRIVER_TYPE  A4988
//#define W_DRIVER_TYPE  A4988
a) #define E0 DRIVER TYPE  DRV8825
b) #define X_DRIVER_TYPE  TB6600
   #define Y_DRIVER_TYPE  TB6600
   #define Z_DRIVER_TYPE  DRV8825

```

Nota. En el segundo puente no es necesario definir el driver del ya que no se usará este eje

La termocupla que se ocupa para el puente 1 es una de 100 K ohmios cuya designación es el número 1 (figura 42 a), mientras que para el puente no se dispone de ninguna termocupla por lo que se asigna el valor de 998 a la definición del mismo (figura 42 b), este valor significa que la temperatura va a permanecer por defecto siempre en 25 grados.

Figura 42

Configuración de termocupla

a)	<pre> #define TEMP_SENSOR_0 1 #define TEMP_SENSOR_1 0 #define TEMP_SENSOR_2 0 #define TEMP_SENSOR_3 0 </pre>	b)	<pre> #define TEMP_SENSOR_0 998 #define TEMP_SENSOR_1 0 #define TEMP_SENSOR_2 0 #define TEMP_SENSOR_3 0 </pre>
----	--	----	--

Nota. Si se desea establecer la temperatura en el segundo puente de 100 grados se debe definir como 999 en lugar de 998.

El siguiente ítem es definir son los pasos en cada milímetro que se mueve los ejes de la máquina, así como las velocidades máximas que puede alcanzar, las aceleraciones y los rebotes que tiene la maquina durante el proceso de trabajo, para calcular los pasos se debe tomar en cuenta la transmisión que usa cada uno de los ejes, realizando una medición dado unos pasos determinados la relación que se mueve a consecuencia de los mismos, las velocidades se establecen dependiendo de las capacidades de los motores y la aceleración conjuntamente con el rebote se configuran mediante pruebas que permitan identificar los valores correctos para que el movimiento sea suave y adecuado. Los valores establecidos son los que se muestran en la figura 43 a para el puente 1 y en la figura 43 b para el puente 2.

Figura 43

Configuración de pasos, velocidades, aceleraciones y rebotes

```

*/
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 40, 40, 1600, 185.23 }

/**
 * Default Max Feed Rate (linear=mm/s, rotational=°/s)
 * Override with M203
 *
 *           X, Y, Z [, I [, J [, K...]]
 */
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE { 80, 80, 1, 8 }

// #define LIMITED_MAX_FR_EDITING // Limit edit via M203 or
#if ENABLED(LIMITED_MAX_FR_EDITING)
  #define MAX_FEEDRATE_EDIT_VALUES { 600, 600, 10, 50 } // ...
#endif

/**
 * Default Max Acceleration (speed change with time) (linear=mm/(s^2), rotational=°/s^2)
 * (Maximum start speed for accelerated moves)
 * Override with M201
 *
 *           X, Y, Z [, I [, J [, K...]]
 */
#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION { 1000, 1000, 35, 3000 }

// #define LIMITED_MAX_ACCEL_EDITING // Limit edit via M201 or
#if ENABLED(LIMITED_MAX_ACCEL_EDITING)
  #define MAX_ACCEL_EDIT_VALUES { 6000, 6000, 200, 20000 } // ...
#endif
a) #endif

```

```

| */
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 320, 640, 400, 500 }

/**
 * Default Max Feed Rate (linear=mm/s, rotational=°/s)
 * Override with M203
 *
 *                               X, Y, Z [, I [, J [, K...]]], E
 */
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE      { 100, 100, 5, 25 }

// #define LIMITED_MAX_FR_EDITING // Limit edit via M203 or LCD t
#if ENABLED(LIMITED_MAX_FR_EDITING)
| #define MAX_FEEDRATE_EDIT_VALUES { 600, 600, 10, 50 } // ...or, se
#endif

/**
 * Default Max Acceleration (speed change with time) (linear=mm/(s^2),
 * (Maximum start speed for accelerated moves)
 * Override with M201
 *
 *                               X, Y, Z [, I [, J [, K...]]], E
 */
#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION  { 500, 500, 100, 10000 }

// #define LIMITED_MAX_ACCEL_EDITING // Limit edit via M201 or LCD t
#if ENABLED(LIMITED_MAX_ACCEL_EDITING)
| #define MAX_ACCEL_EDIT_VALUES    { 6000, 6000, 200, 20000 } // ...
#endif

```

b)

Nota: Los valores que se muestran son los que se han definido en base a pruebas con el fin de realizar movimientos de los ejes controlado y sin rebote

Otro aspecto a configurar son los finales de carrera, los cuales se puede utilizar en dos configuraciones normalmente abierto o normalmente cerrado, se puede verificar mediante el uso del código M119, el cual da un reporte del estado de los finales de carrera, si se encuentran activos sin estar accionando se debe cambiar la configuración de los mismos en el firmware, para el caso establecido la lógica que se le ha dado es el mostrado en la figura 44 a para el puente 1 y figura 44 b para el puente 2.

Figura 44

Configuración de finales de carrera

```

// Mechanical endstop with COM to ground and NC to Signal uses "false" h
#define X_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // Set to true to invert the logic
#define Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // Set to true to invert the logic
a) #define Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic

```

```

// Mechanical endstop with COM to ground and NC to Signal uses "false"
#define X_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // Set to true to invert the logic
#define Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // Set to true to invert the logic
b) #define Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // Set to true to invert the logic

```

Nota. Para el sensor inductivo se debe cambiar la lógica del final de carrera para el correcto funcionamiento del mismo

Finalmente se debe realizar la configuración para usar en el puente 1 el láser eléctrico, mientras que en el puente 2 el husillo de fresado, la lógica es la misma ya que la tarjeta controladora define el puerto D6 como salida PWM para ser usada bien sea por un láser o por un husillo, pero en el firmware se debe definir esta opción ya que normalmente viene comentada, en el caso del puente uno se debe descomentar la línea de `LASER_FEATURE`, mientras que para el puente dos la línea a descomentar es `SPINDLE_FEATURE`, como se muestra en la figura 45.

Figura 45

Configuración de láser y husillo de fresado

```

* Spindle & Laser control
*
* Add the M3, M4, and M5 commands to turn the spindle/laser on and off, and
* to set spindle speed, spindle direction, and laser power.
*
* SuperPid is a router/spindle speed controller used in the CNC milling community.
* Marlin can be used to turn the spindle on and off. It can also be used to set
* the spindle speed from 5,000 to 30,000 RPM.
*
* You'll need to select a pin for the ON/OFF function and optionally choose a 0-5V
* hardware PWM pin for the speed control and a pin for the rotation direction.
*
* See https://marlinfw.org/docs/configuration/2.0.9/laser\_spindle.html for more config details.
*/
#define SPINDLE_FEATURE
// #define LASER_FEATURE
#if EITHER(SPINDLE_FEATURE, LASER_FEATURE)
  #define SPINDLE_LASER_ACTIVE_STATE LOW // Set to "HIGH" if SPINDLE_LASER_ENA_PIN is active

  #define SPINDLE_LASER_USE_PWM // Enable if your controller supports setting the s
  #if ENABLED(SPINDLE_LASER_USE_PWM)
    #define SPINDLE_LASER_PWM_INVERT false // Set to "true" if the speed/power goes up when yo
    #define SPINDLE_LASER_FREQUENCY 2500 // (Hz) Spindle/laser frequency (only on supported
    // ESP32: If SPINDLE_LASER_PWM_PIN is onboard then
    // the frequency determines the PWM resolution. 25
    // (250000 / SPINDLE_LASER_FREQUENCY) = max value.
  #endif
#endif

```

Nota. Se debe definir el valor máximo para la potencia de cada uno de los elementos.

Para activar el láser o husillo mediante código G marlín incorpora los comandos M3 S y M5, mediante los cuales se enciende el láser o husillo listo para ser usado, siendo la S un valor entre 0 y 255 dependiendo de la potencia a la que requiera grabar, y para el husillo un valor entre 5000 y 12000 revoluciones que es el valor permitido por la herramienta usada.

Interfaz de Marlin y Pronterface

Marlin posee una interfaz de control con algunas de las funciones más importantes, desde donde se puede monitorear todo el sistema que posee la máquina, temperatura, avance de impresión o corte láser, posicionamiento en los ejes X, Y y Z, ventiladores y otras características todo esto hace posible que el operario se familiarice más con el entorno de trabajo al ser capaz de monitorear el proceso.

En su pantalla principal (figura 46 a) se muestra un extrusor con la temperatura que se encuentra en ese momento, en el instante en que se decida calentar la boquilla esta temperatura irá en aumento hasta el punto que se haya dispuesto, posee un icono de ventilador el cual recre la potencia a la que está trabajando el mismo, tiene una barra de coordenadas para indicar la posición del instrumento en ese momento preciso, se encuentran los tres ejes de movimientos y también la posición del extrusor. La pantalla en ambos casos es la misma con la única diferencia que la del puente 2 siempre mantiene su temperatura en 25 grados centígrados (figura 46 b) grados debido a la configuración realizada en el firmware.

Figura 46

Interfaz de Marlin



Nota: a) Pantalla principal del puente de impresión 3D y corte láser. b) Pantalla principal del puente de fresado

El menú de operación está conformado por algunas opciones en el caso del puente uno contiene una pestaña de movimiento para mover en forma individual cada uno de los ejes incluido el extrusor, se tiene un control de láser para realizar disparos de prueba y manipular la potencia a la que se dispara el láser, se tiene un control de temperatura desde donde se fija una temperatura para la boquilla de extrusión, dicha temperatura se alcanza mediante un control PID integrado en el sistema, se tiene una pestaña de configuración donde se pueden cambiar valores relacionados a las características de la máquina y otras opciones avanzadas (figura 47 a). El menú del puente dos es básicamente el mismo con la diferencia que el mismo

tiene un control de husillo de fresado en lugar de láser y no posee una pestaña de temperatura dado que en este no existe un extrusor (figura 47 b).

Figura 47

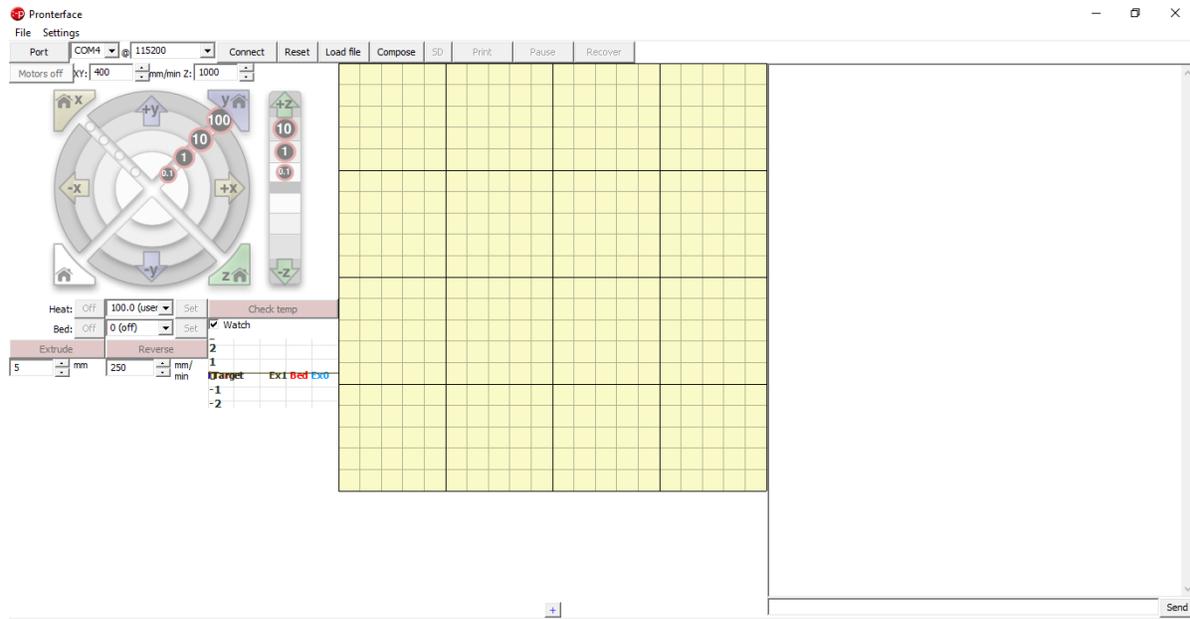
Menú de opciones



Nota. a) Menú de interfaz para el puente de fresado. b) Menú de interfaz para el puente de impresión 3D y corte láser

Para el control desde computadora se dispone de un programa de gran accesibilidad y facilidad de uso, en donde se puede mover los ejes en la disposición que se requiera, se puede también accionar el extrusor y establecer un monitoreo de temperatura para la boquilla del extrusor, se pueden imponer las velocidades a las cuales se desea mover los ejes de la máquina, también posee una barra de comandos desde la cual se puede enviar código G interpretable por el firmware del sistema, para poder realizar trabajos bien sea de impresión corte láser o fresado se puede cargar programas completos en código G, pausarlos y resetearlos según las necesidades del usuario.

La interfaz de Pronterface se puede apreciar en la figura 48.

Figura 48*Interface del programa Pronterface*

Nota. Este programa es un ejecutable por lo que es de gran accesibilidad y uso bastante intuitivo para el operario.

Capítulo V

Pruebas y Resultados.

Pruebas de indicación y repetición

Para las pruebas mecánicas de movimiento a realizarse se ha utilizado la norma ISO 10362-2 2009, la cual provee pruebas de aceptación para máquinas de medición por coordenadas cartesianas (CMM), las mediciones se las debe realizar mediante el uso de un reloj comparados midiendo diferentes distancias programadas con más de 2 repeticiones para de esta forma obtener el error de medición y que tanta repetibilidad posee la máquina. Se tomará como muestra 5 diferentes longitudes en posiciones determinadas de los ejes de movimientos, teniendo como muestra total 75 medidas que darán un resultado confiable de la precisión y repetición que posee la estructura.

Se han tomado 2 posiciones en el eje Y, 2 en el eje X y una en el eje Z para cada uno de los puentes puesto que ambos poseen diferente sistema de movimiento y es independiente el uno del otro por lo que el error encontrado también será diferente. La distancia máxima de recorrido en los ejes X, Y es de 600 mm y de 250 mm en el eje Z, esto para el puente de corte láser e impresión 3D mientras que para el puente de fresado es igual en los ejes X, Y, en el eje Z sin embargo el recorrido máximo es de 150 mm.

Las posiciones en las que se han tomado las medidas se ilustran en la figura 49.

Figura 49*Posiciones de medida*

Los datos de las mediciones se han organizado en una tabla en donde se tiene las mediciones ideales de la máquina y en las otras columnas se tiene las mediciones reales que se han ejecutado, se puede observar la tabla 26 para el puente de corte láser e impresión 3D y en la tabla 27 para el puente de fresado, para determinar los errores se tiene la variable de error de medición de longitud (EL) que es la diferencia entre la medida idealizada y la medida real que muestra el reloj comparador, se tiene también la variable de repetibilidad (R0), la cual es la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de las medidas reales realizadas y finalmente se tiene el error máximo permitido (MEP) que es el valor máximo de error arrojado por la estructura.

Tabla 26*Datos de medición de longitudes para puente 1*

PUENTE 1								
EJES	Posición	Medida	Medida Real 1	Mediada Real 2	Medida Real 3	EL1	EL2	EL3
X	1	600	599,98	599,99	600,01	-0,02	-0,01	0,01
		300	299,97	299,99	299,98	-0,03	-0,01	-0,02
		150	149,98	149,96	149,98	-0,02	-0,04	-0,02
		100	99,99	99,99	99,99	-0,01	-0,01	-0,01
		50	49,99	49,99	50,02	-0,01	-0,01	0,02
	2	600	599,98	599,99	599,98	-0,02	-0,01	-0,02
		300	299,99	299,98	299,99	-0,01	-0,02	-0,01
		150	149,99	149,99	149,97	-0,01	-0,01	-0,03
		100	99,99	100	100	-0,01	0	0
		50	49,99	49,98	50	-0,01	-0,02	0
Y	3	600	600,02	600,02	600,01	0,02	0,02	0,01
		300	299,99	300	300	-0,01	0	0
		150	150,01	150	149,99	0,01	0	-0,01

PUENTE 1

		100	99,99	100	100,01	-0,01	0	0,01
		50	50	50	50	0	0	0
		600	599,98	600	600	-0,02	0	0
		300	299,97	299,98	299,9	-0,03	-0,02	-0,1
	4	150	150,01	150,01	150	0,01	0,01	0
		100	99,97	99,99	99,98	-0,03	-0,01	-0,02
		50	49,98	49,97	49,97	-0,02	-0,03	-0,03
		250	249,96	249,95	249,98	-0,04	-0,05	-0,02
Z	5	100	100,01	99,96	99,96	0,01	-0,04	-0,04
		25	25,01	25,03	25,01	0,01	0,03	0,01

Tabla 27*Datos de medición de longitudes para puente 2*

PUENTE 2								
EJES	Posición	Medida	Medida Real 1	Mediada Real 2	Medida Real 3	EL1	EL2	EL3
X	1	600	599,97	600,01	600,01	-0,03	0,01	0,01
		300	300	300,01	299,98	0	0,01	-0,02
		150	149,98	149,96	149,97	-0,02	-0,04	-0,03
		100	100,02	100,03	100	0,02	0,03	0
		50	50,01	50,01	49,98	0,01	0,01	-0,02
	2	600	600	600,02	600,01	0	0,02	0,01
		300	300	300	299,99	0	0	-0,01
		150	150,02	150,02	150,04	0,02	0,02	0,04
		100	99,98	99,98	99,98	-0,02	-0,02	-0,02
		50	50,02	49,99	50	0,02	-0,01	0
Y	3	600	599,98	600,03	600,01	-0,02	0,03	0,01
		300	300,01	300,01	299,99	0,01	0,01	-0,01
		150	149,98	150	150	-0,02	0	0

PUENTE 2

		100	99,97	99,99	100	-0,03	-0,01	0
		50	50,01	50,01	50,03	0,01	0,01	0,03
		600	600,03	600,01	600,02	0,03	0,01	0,02
		300	300	299,98	299,98	0	-0,02	-0,02
	4	150	149,99	149,98	150,02	-0,01	-0,02	0,02
		100	100,03	100,01	100	0,03	0,01	0
		50	50	50,03	50,02	0	0,03	0,02
		150	150,01	150,01	150,02	0,01	0,01	0,02
Z	5	75	75,01	75,01	75,01	0,01	0,01	0,01
		25	25,01	25,02	25,01	0,01	0,02	0,01

Análisis de los movimientos en los ejes del puente 1

Se ha utilizado un reloj comparador fijado a la estructura de la máquina, para medir la precisión y repetibilidad de la misma como se especifica en la norma ISO 10360-2, los datos se han presentado en la sección anterior, ahora se procede a analizar estos datos para descubrir los valores de error que posee la estructura en cada uno de sus ejes.

Precisión y Repetibilidad. En la figura 50 se aprecia la gráfica de los valores de error en el eje X para las diferentes longitudes que se han evaluado. Las series 1,2,3 corresponden a los valores de EL1, EL2 y EL3 respectivamente para la posición 1 y los valores de serie 4,5,6, representan a la posición 2. Dicho esto, se puede apreciar en la gráfica la repetibilidad como la distancia más grande entre valores en una misma posición y la precisión como el valor que más se aleja de la línea del centro. Estos datos también se presentan ordenados en la tabla 28, en donde se aprecia que los valores máximos de repetibilidad para este eje es de $R0=0.03$ mm y valor máximo de error permitido en este eje es $MPE=0.04$ mm. La gráfica denota que a medida que aumentan las distancias crece el error de la máquina y la repetibilidad de la misma.

Figura 50

Errores en el eje X

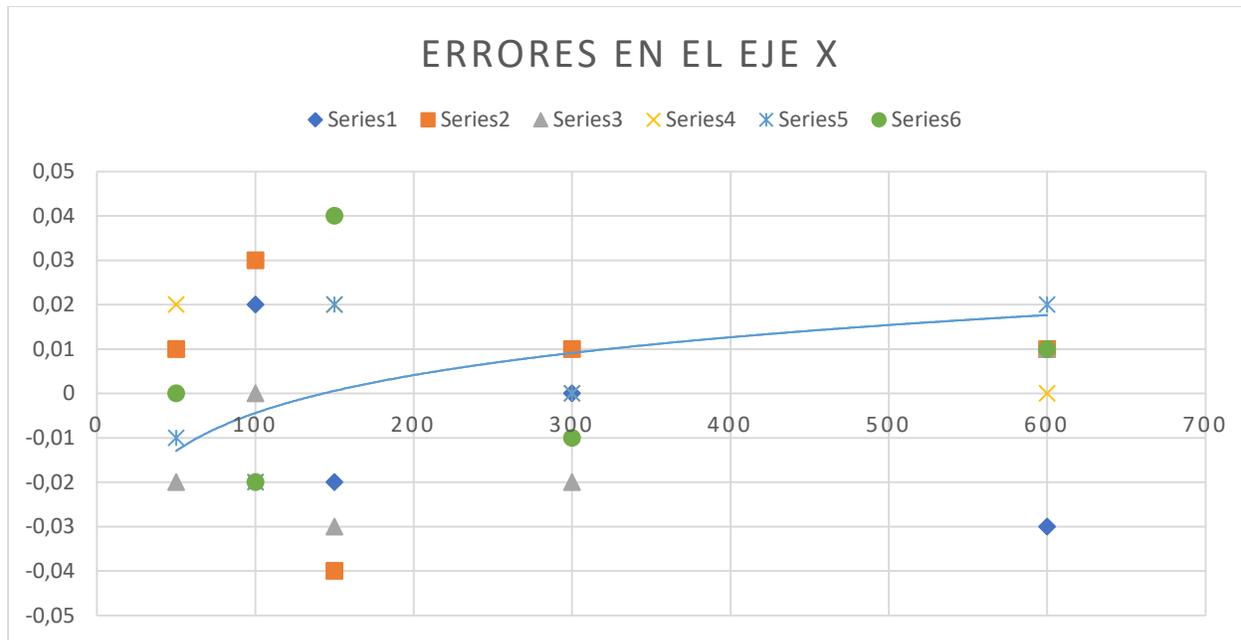


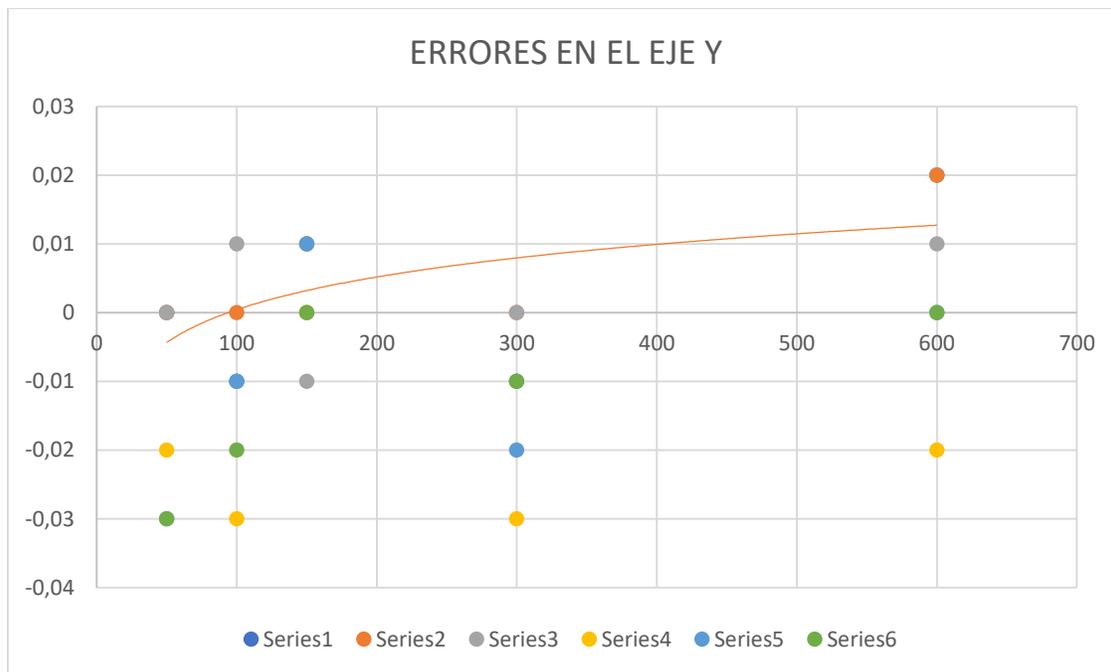
Tabla 28.

Repetibilidad y precisión para el eje X

EJES	Posición	Medida	EL1	EL2	EL3	R0	MPE
X	1	600	-	-	0,01	0,03	0,02
		300	0,02	0,01	-	0,02	0,03
		150	0,02	0,04	0,02	0,02	0,04
		100	0,01	0,01	0,01	0	0,01
		50	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02
		0	-	-	-	-	-

EJES	Posición	Medida	EL1	EL2	EL3	R0	MPE
		600	-	-	-	0,01	0,02
			0,02	0,01	0,02		
		300	-	-	-	0,01	0,02
			0,01	0,02	0,01		
	2	150	-	-	-	0,02	0,01
			0,01	0,01	0,03		
		100	-	0	0	0,01	0,01
			0,01				
		50	-	-	0	0,02	0,02
			0,01	0,02			

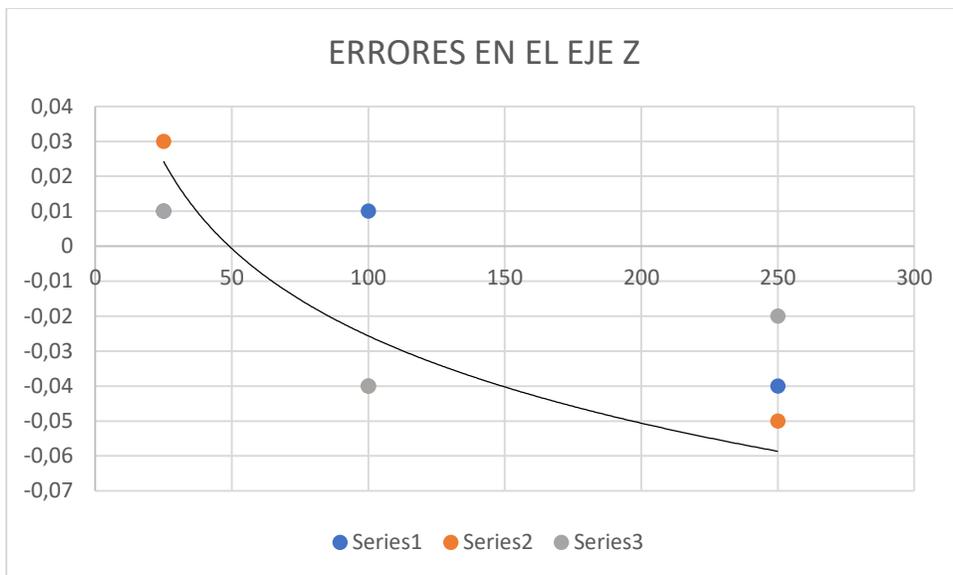
Para el eje Y se tiene la figura 51, en donde al igual que en el caso anterior se muestra la dispersión de errores en cada una de las longitudes tomadas a modo de prueba, con los mismos títulos para cada una de las series que se tomó en el caso anterior. En este caso la repetibilidad es bastante simétrica en la mayoría de las longitudes de prueba y en el caso de la precisión se observa un mayor rango en las longitudes más largas. Los valores máximos de repetibilidad para este eje es de $R0=0.02$ mm y valor máximo de error permitido en este eje es $MPE=0.03$ mm. Al igual que para el eje anterior mientras mayor es la distancia se incrementa el error.

Figura 51.*Errores en el eje Y***Tabla 29***Precisión y repetibilidad en el eje Y*

EJES	Posición	Medida	EL1	EL2	EL3	R0	MPE
Y	3	600	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02
		300	-0,01	0	0	0,01	0,01
		150	0,01	0	- 0,01	0,02	0,01
	4	100	-0,01	0	0,01	0,02	0,01
		50	0	0	0	0	0
		600	-0,02	0	0	0,02	0,02

EJES	Posición	Medida	EL1	EL2	EL3	R0	MPE
		150	0,01	0,01	0	0,01	0,01
		100	-0,03	-0,01	- 0,02	0,02	0,03
		50	-0,02	-0,03	- 0,03	0,01	0,03

Finalmente, para el eje Z se tiene la gráfica mostrada en la figura 52, donde al igual que en los casos anteriores se observa las 3 valoraciones que se ejecutan en diferentes longitudes, en este caso las longitudes son diferentes por que el tamaño de este eje es menor a los anteriores. En la gráfica se puede mostrar que la repetibilidad en promedio se encuentra en el mismo rango durante las diferentes longitudes, mientras que la precisión es más baja según mas largo sea el recorrido. Los datos mostrados en la tabla 30 dan como valores máximos de repetibilidad para este eje $R0=0.05$ mm y valor máximo de error permitido en este eje es $MPE=0.05$ mm. Se denota el crecimiento del error a medida que aumentan las distancias

Figura 52*Errores en el eje Z***Tabla 30***Precisión y repetibilidad en el eje Z*

EJES	Posición	Medida	EL1	EL2	EL3	R0	MPE
Z	5	250	-	-	-	0,03	0,05
		100	0,01	0,04	0,04	0,05	0,04
		25	0,01	0,03	0,01	0,02	0,03

Análisis de los movimientos en los ejes del puente 2.

Precisión y repetibilidad. Se realiza el mismo proceso que se llevó a cabo en el apartado anterior, utilizando un reloj comparador y probando la calibración de los ejes en diferentes longitudes, para realizar un análisis en base a estos datos. En la figura 53 se aprecia la gráfica de los valores de error en el eje X para las diferentes longitudes que se han evaluado. La repetibilidad es homogénea en todos los puntos de medición, mientras que la precisión posee menor precisión que en los casos anteriores. Estos datos también se presentan ordenados en la tabla 31, en donde se aprecia que los valores máximos de repetibilidad para este eje es de $R_0=0.04$ mm y valor máximo de error permitido en este eje es $MPE=0.04$ mm. Se aprecia el mismo comportamiento de los ejes del puente 1 las medidas más largas afectan más a la precisión de la máquina.

Figura 53

Errores en el eje X puente 2

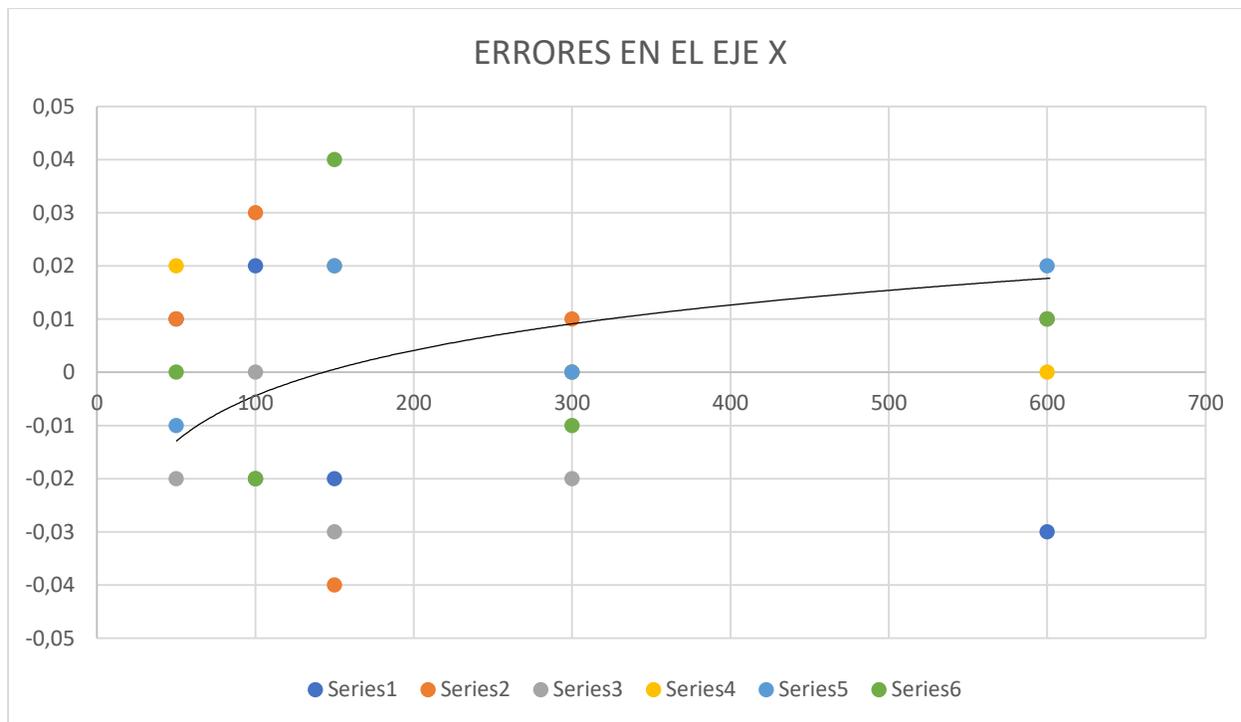


Tabla 31.

Repetibilidad y precisión para el eje X puente 2

EJES	Posición	Medida	EL1	EL2	EL3	R0	MPE
X	1	600	-0,03	0,01	0,01	0,04	0,03
		300	0	0,01	-0,02	0,03	0,02
		150	-0,02	-0,04	-0,03	0,02	0,04
		100	0,02	0,03	0	0,03	0,03
		50	0,01	0,01	-0,02	0,03	0,02
2	2	600	0	0,02	0,01	0,02	0,02
		300	0	0	-0,01	0,01	0,01
		150	0,02	0,02	0,04	0,02	0,04

100	-0,02	-0,02	-0,02	0	0,02
50	0,02	-0,01	0	0,03	0,02

Para el eje Y la dispersión de muestra en la figura 54. La repetibilidad es bastante similar en todo el recorrido de pruebas, no existe ningún punto en donde se intensifique o se disminuya notoriamente este valor, en cuanto a la precisión, ha reducido en cuanto a los valores del puente 1. Los valores máximos de repetibilidad para este eje es de $R_0=0.05$ mm y valor máximo de error permitido en este eje es $MPE=0.03$ mm.

Figura 54

Errores en el eje Y

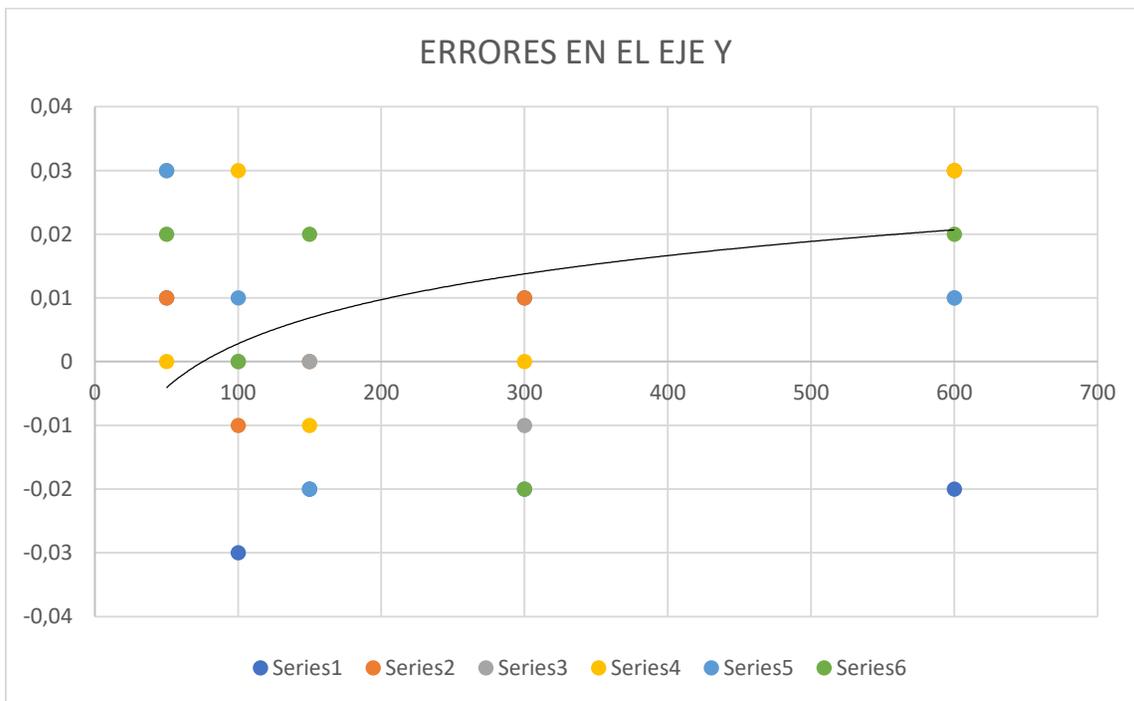


Tabla 32*Precisión y repetibilidad en el eje Y para puente 2*

EJES	Posición	Medida	EL1	EL2	EL3	R0	MPE
Y	3	600	-0,02	0,03	0,01	0,05	0,03
		300	0,01	0,01	-0,01	0,02	0,01
		150	-0,02	0	0	0,02	0,02
		100	-0,03	-0,01	0	0,03	0,03
		50	0,01	0,01	0,03	0,02	0,03
		600	0,03	0,01	0,02	0,02	0,03
	4	300	0	-0,02	-0,02	0,02	0,02
		150	-0,01	-0,02	0,02	0,04	0,02
		100	0,03	0,01	0	0,03	0,03
		50	0	0,03	0,02	0,03	0,03
		600	0,03	0,01	0,02	0,02	0,03
		300	0	-0,02	-0,02	0,02	0,02

Finalmente, para el eje Z se tiene la gráfica mostrada en la figura 55, donde al igual que en los casos anteriores se observa las 3 valoraciones que se ejecutan en diferentes longitudes. En la gráfica se puede mostrar que en los extremos es decir donde las longitudes son las más largas o más cortas hay un mayor rango de repetibilidad y la precisión se estabiliza en una distancia promedio y cae en los extremos. Los datos mostrados en la tabla 33 dan como valores máximos de repetibilidad para este eje $R0=0.01$ mm y valor máximo de error permitido en este eje es $MPE=0.02$ mm.

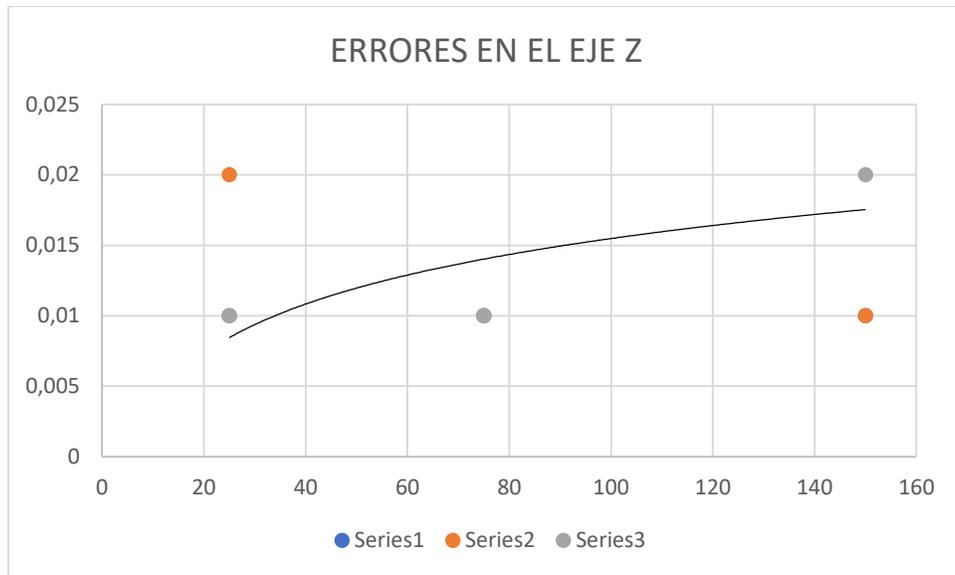
Figura 55*Errores en el eje Z puente 2*

Tabla 33*Precisión y repetibilidad en el eje Z*

EJES	Posición	Medida	EL1	EL2	EL3	R0	MPE
		150	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02
Z	5	75	0,01	0,01	0,01	0	0,01
		25	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02

Pruebas de corte y grabado láser

Para las pruebas de grabado se han creado varios diseños los cuales poseen zonas de sombreado en donde la maquina necesita ser precisa y versátil puesto que existen cambios muy rápidos de encendido y apagado del láser, además que los bordes de los diseños son bastante suavizados por lo que se necesita una buena calibración para lograr cada uno de estos detalles. El diseño ha sido pasado a código G mediante software, para finalmente ser leído por la máquina.

Para la prueba de corte se ha realizado rectángulos, círculos y triángulos de varias medidas para poder analizar el error en diferentes longitudes. Las medidas para estas figuras son de 25, 50, 75 mm.

Los cortes se han realizado en tabla MDF de 3 m y triplex de 4 mm que es el tamaño que corta el láser según el fabricante cuyos datos se muestran en el anexo 13, esto en una pasada según las pruebas de corte realizadas. Los errores en las medidas se muestran en la tabla 34 a para cuadrados, tabla 34 b para círculos y 34 c para triángulos tomando en consideración que la primera medida se refiere al eje X y la segunda al eje Y.

Tabla 34*Errores en corte láser*

ERRORES EN CORTE LÁSER EN CUADROS			
Tamaños	Medida real 1	Medida real 2	Medida real 3
25x25	24,9x24,8	24,8x25	24,7x24,8
50x50	49,7X49,8	49,85X49,9	49,7X49,75
75x75	74,6X74,8	74,7X74,7	74,8X74,75

a)

ERRORES EN CORTE LÁSER EN CIRCULOS			
Tamaños	Medida real 1	Medida real 2	Medida real 3
25x25	24,85X24,9	25X24,9	24,8X24,95
50x50	49,8X49,85	49,75X49,8	49,85X49,8
75x75	74,7X74,85	74,75X74,75	74,65X74,75

b)

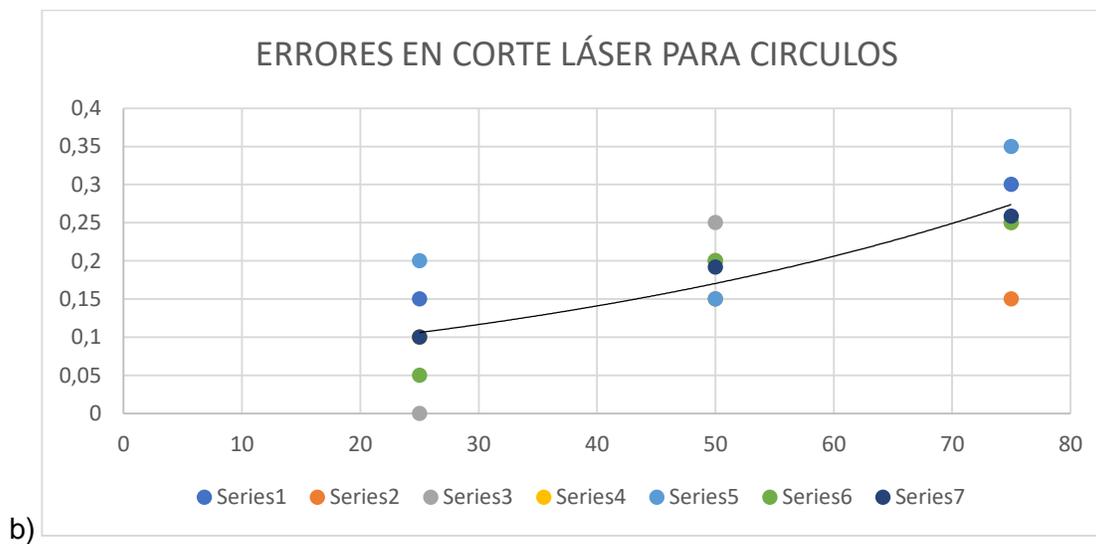
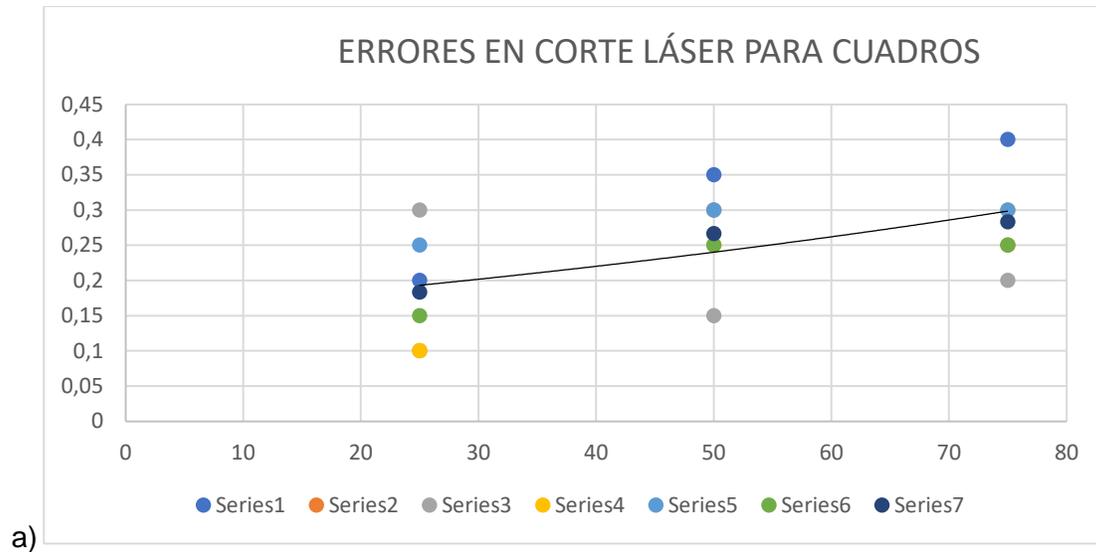
ERRORES EN CORTE LÁSER EN TRIANGULOS			
Tamaños	Medida real 1	Medida real 2	Medida real 3
25x25	24,08X24,9	24,7X24,9	24,75X24,85
50x50	49,65X49,7	49,85X49,75	49,7X49,75
75x75	74,6X74,75	74,8X74,7	74,7X74,75

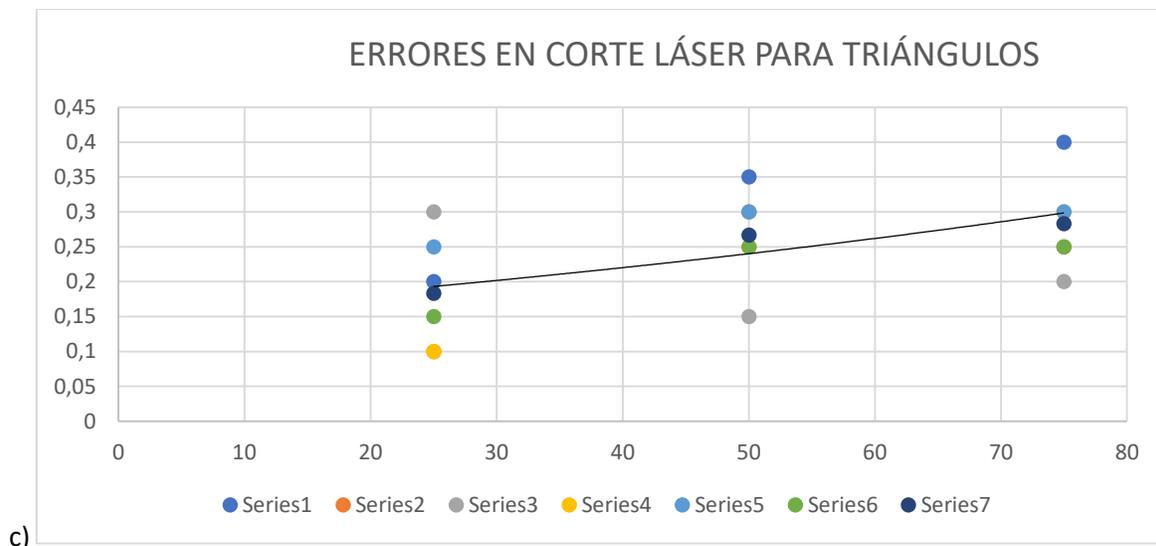
c)

En la figura 56 a se observa la curva de aproximación según los datos que se han obtenido en las medidas de pruebas para cuadrados así mismo en la figura 56 b para círculos y 56 c para triángulos, denotando de esta manera que para cortes de menor tamaño el error es mínimo mientras que para piezas grandes el error aumenta, se debe tomar en cuenta que el error medido incluye el haz de luz que se introduce en la madera y produce un espaciado de corte.

Figura 56

Errores en corte láser para cuadrados y círculos





Como se aprecia el error máximo es de 0.4 mm para cuadros, 0.35 para círculos y de 0.4 para triángulos, se debe tomar en cuenta que en la medición del error interviene la ranura de corte realizada por el. Analizando estos datos se puede deducir que la máquina posee gran precisión en lo referente a corte láser, haciendo idóneo su uso en aplicaciones referente al ámbito estudiantil.

Pruebas de impresión 3D

Para las pruebas de impresión 3D se ha necesitado de fibra PLA, la cual tiene una temperatura de extrusión de 200 grados Celsius, mediante el uso de este filamento de 1.75 mm de diámetro se diseñó unos cubos, cilindros y triángulos de diferentes medidas para analizar el error en cada una de ellas, de esta manera se tiene la tabla 35 a, b y c donde se visualizan los valores medidos en dichas pruebas

Tabla 35*Errores de impresión 3D*

ERRORES EN IMPRESIÓN 3D EN CUBOS			
Tamaños	Medida real 1	Medida real 2	Medida real 3
25X25	25,4x25,55	25,45x25,55	25,3x25,35
50X50	50,5x50,6	50,6x50,5	50,4x50,2
75X75	75,7x75,75	75,75x75,65	75,6x75,25

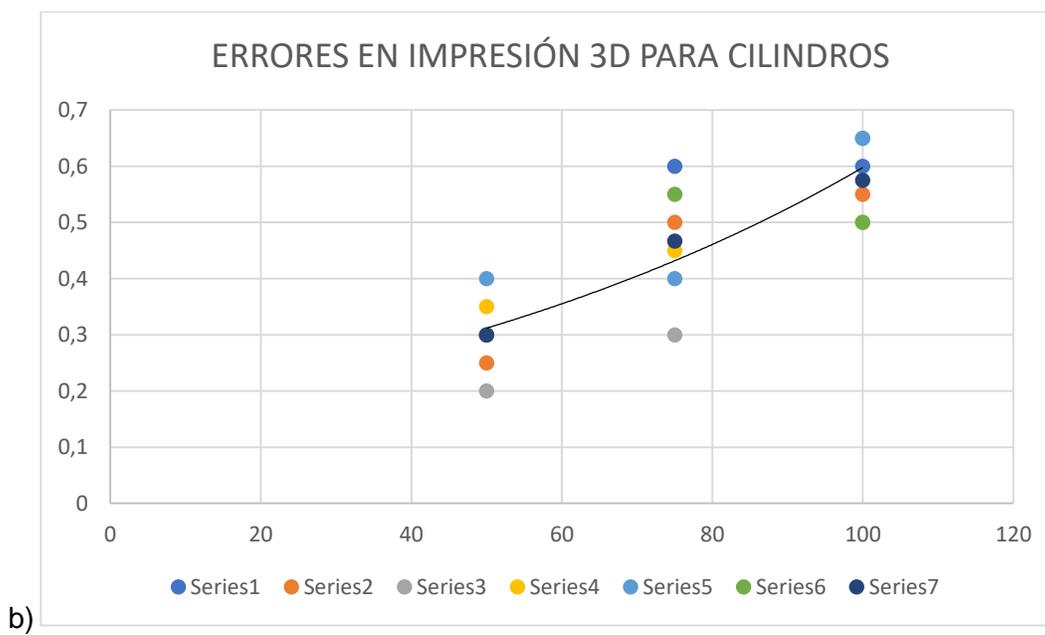
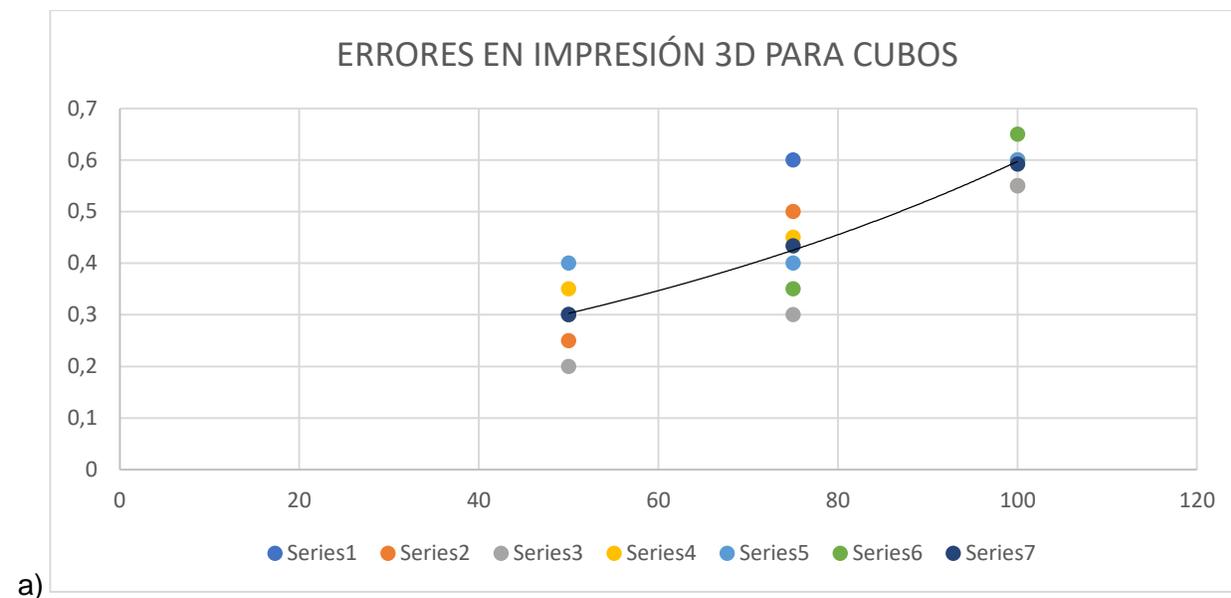
a)

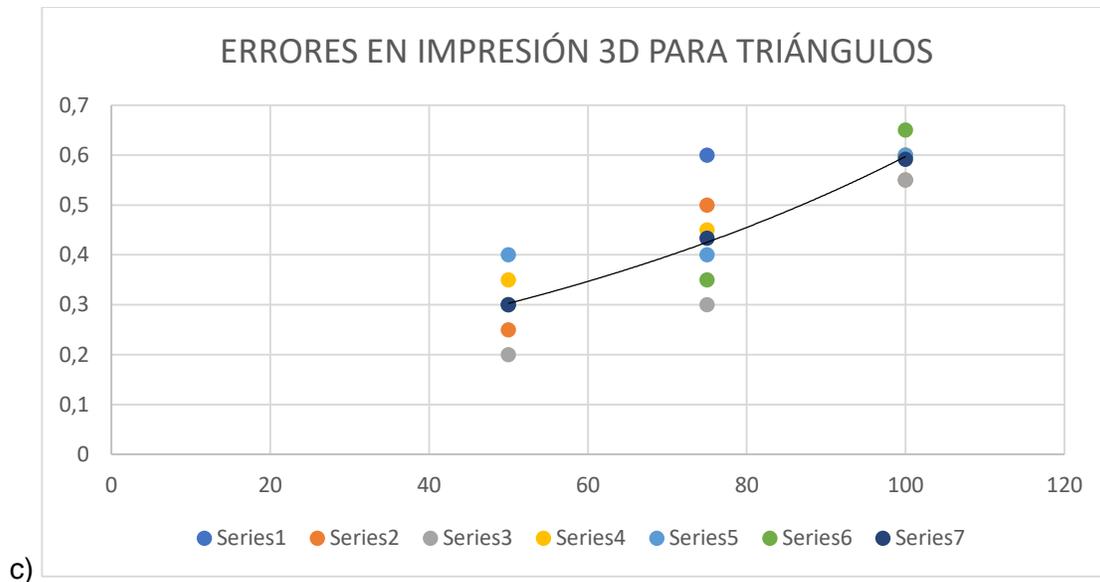
ERRORES EN IMPRESIÓN 3D EN CILINDROS			
Tamaños	Medida real 1	Medida real 2	Medida real 3
25X25	25,3x25,25	25,2x25,35	25,4x25,3
50X50	50,6x50,5	50,3x50,45	50,4x50,55
75X75	75,6x75,55	75,65x75,5	75,65x75,5

b)

ERRORES EN IMPRESIÓN 3D EN TRIÁNGULOS			
Tamaños	Medida real 1	Medida real 2	Medida real 3
25X25	25,3x25,25	25,2x25,35	25,4x25,3
50X50	50,6x50,5	50,3x50,45	50,4x50,35
75X75	75,6x75,55	75,55x75,6	75,6x75,65

En la figura 57 a, b y c se observa la curva de aproximación de los valores medidos que dan respuesta al error encontrado a diferentes medidas de impresión para cubos cilindros y triángulos respectivamente.

Figura 57*Aproximación de error en las pruebas realizadas*



El error máximo encontrado es de 0.65 mm en cubos, 0.65 en cilindros y 0.65 en triángulos, es decir que el error aumenta a medida que el tamaño de la pieza crece. Al este error no ser tan alto demuestra la gran precisión y versatilidad que posee la impresora.

Pruebas de tallado en madera

Para la prueba de tallado en madera al igual que en los casos anteriores se ejecutó cuadros y círculos para medir su error, para su ejecución dentro de la máquina se tiene una fresa de 1/8, la cual es la ideal para usar con un collet E11, se necesitó topes los cuales fueron impresas en la misma estructura y sirven para sostener la madera en un punto fijo evitando con ello cualquier tipo de desplazamiento, además que el acabado no se ve afectado por los desplazamientos de la misma sobre la mesa de fresado. Los resultados de las pruebas realizadas se describen en la tabla 36 a para cuadrados, 36 b para círculos y 36 c para triángulos.

Tabla 36*Errores de tallado*

ERRORES DE TALLADO EN MADERA PARA CUADROS			
Tamaños	Medida real 1	Medida real 2	Medida real 3
50x50	50,4x49,9	50,4x50,1	50,45x50,2
100x100	100,65x99,8	100,5x100,6	100,45x100,55
150x150	150,7x150,5	150,65x150,6	150,6x150,45

a)

ERRORES DE TALLADO EN MADERA PARA CÍRCULOS			
Tamaños	Medida real 1	Medida real 2	Medida real 3
50x50	50,2x50,2	50,3x50,25	50,3x50,2
100x100	100,35x100,4	100,4x100,55	100,4x100,35
150x150	150,6x150,7	150,55x150,65	150,45x150,7

b)

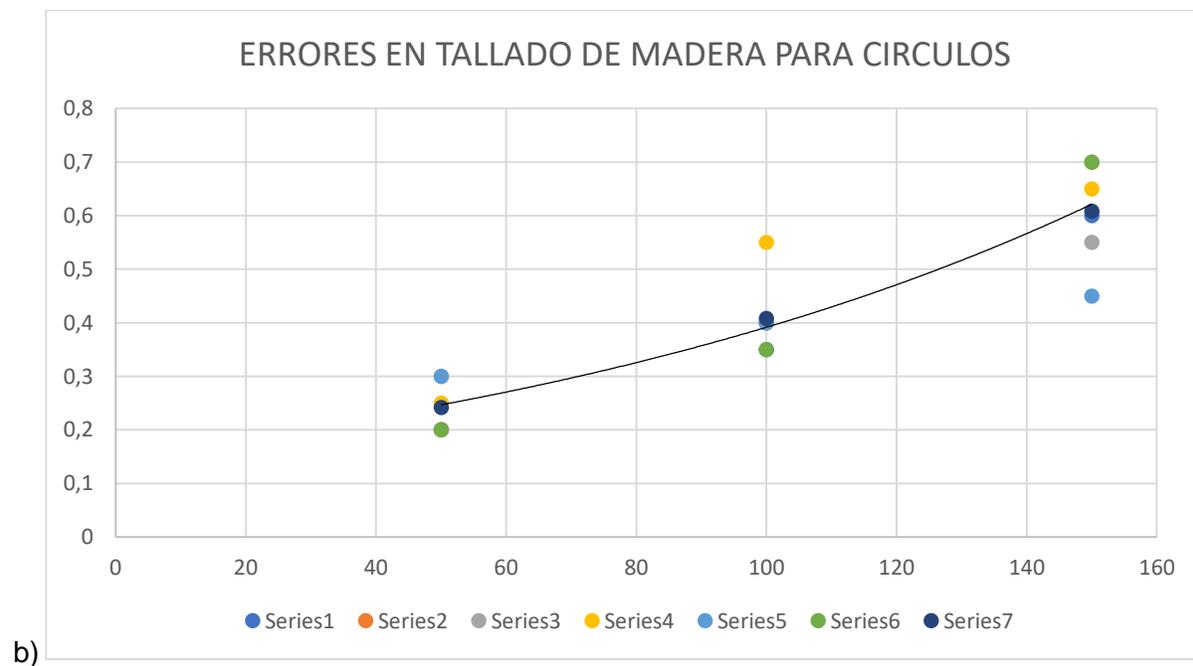
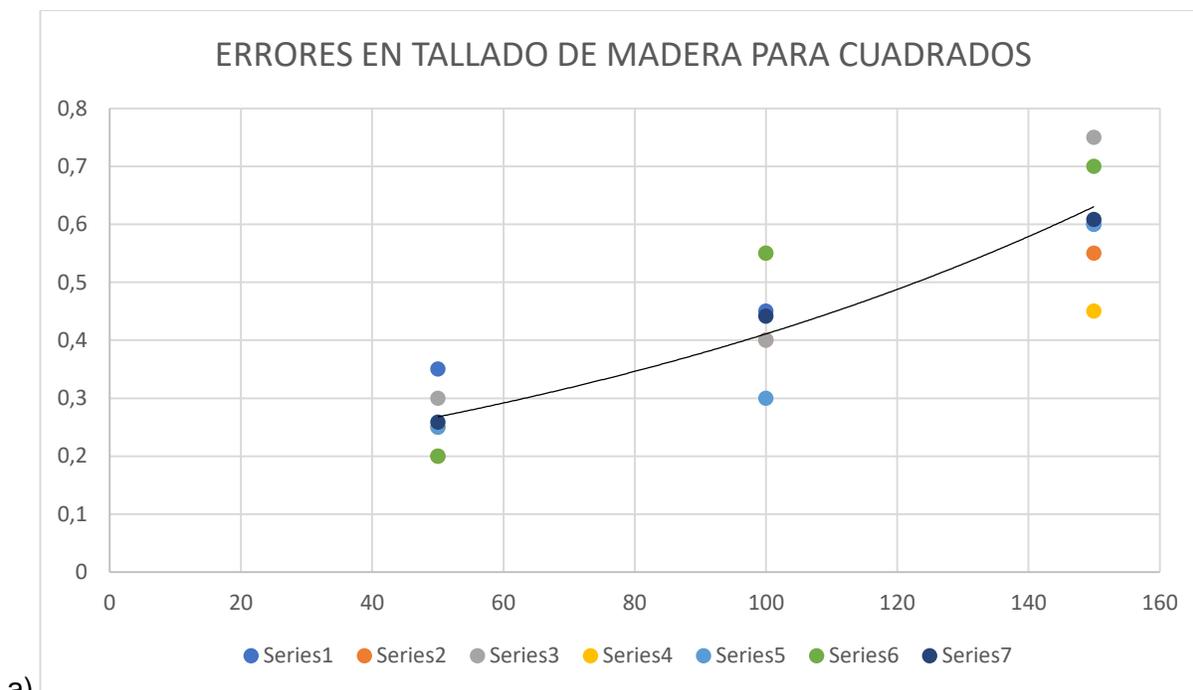
ERRORES DE TALLADO EN MADERA PARA TRIÁNGULOS			
Tamaños	Medida real 1	Medida real 2	Medida real 3
50x50	50,35x50,2	50,3x50,25	50,25x50,2
100x100	100,45x100,4	100,4x100,55	100,3x100,55
150x150	150,6x150,55	150,75x150,45	150,6x150,7

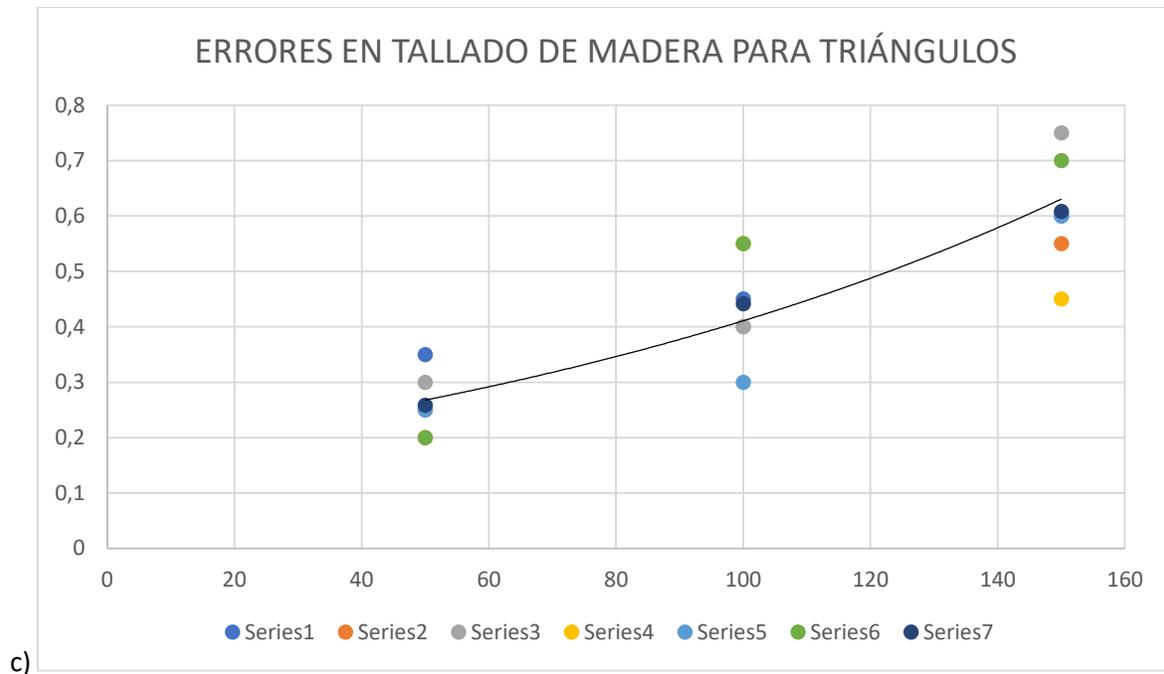
c)

En la figura 58 a, b y c se observa la curva de aproximación de los valores medidos que dan respuesta al error encontrado a diferentes medidas de tallado para cuadrados y círculos respectivamente.

Figura 58

Aproximación de error en las pruebas realizadas



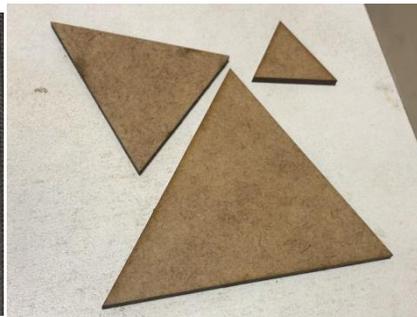
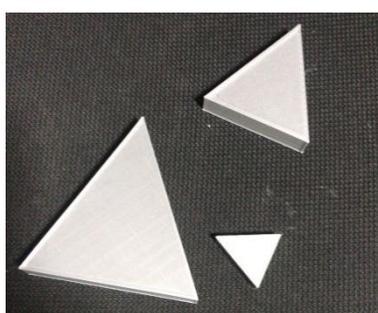
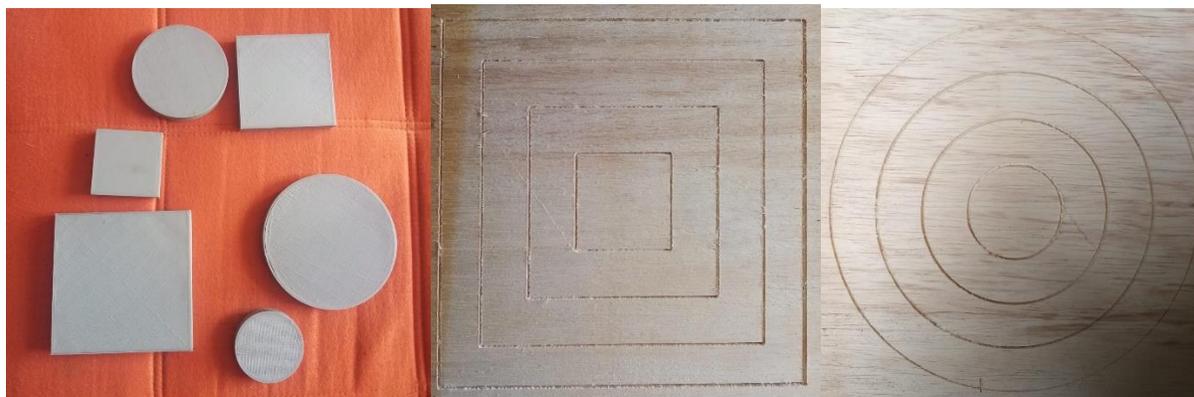


El error encontrado fue de 0.75 mm en cuadrados, 0.7 en círculos y 0.75, el error aumenta a medida que el tamaño del diseño crece. El error encontrado en las mediciones demuestra que la aplicación de tallado en madera se puede realizar sin ningún tipo de problemas en aplicaciones educativas. En la figura 62 se presentan las muestras de tallado en madera donde se observa un buen acabado y ejecución en los diseños realizados.

En la figura 59 se observa algunas de las muestras realizadas para calcular los errores en cada una de las aplicaciones de manufactura

Figura 59

Muestras para cálculo de errores



Resumen de pruebas

- Las pruebas de posicionamiento dieron como resultado que la precisión de la máquina en el puente 1 es de 0.05 mm con una repetibilidad de 0.05 mm y para el puente 2 se tiene una precisión de 0.05 mm y una repetibilidad de 0.04 mm, esto para el uso de la máquina son ningún tipo de aplicación es decir en vacío.
- Las pruebas de corte láser han reflejado que el error máximo encontrado en esta aplicación es de 0.4 mm, se han probado los cortes en dos tipos de madera arrojando como resultado que se puede cortar a una distancia de 3 mm sobre el nivel de la pieza de trabajo un espesor de 4 mm en tabla triplex y 3 mm en tabla MDF.
- Las pruebas de impresión se realizaron con PLA a una temperatura de 200 grados Celsius, el error máximo encontrado para esta aplicación con una boquilla de 0.4 mm fue de 0.65 mm
- Las pruebas de tallado en madera han reflejado un error máximo de 0.75 mm utilizando una fresa de 1/8 in y con el spindle girando a una velocidad de 9000 RPM
- La velocidad máxima permitida para grabado láser es de 1000 mm/min, mientras que para corte láser siguiendo las indicaciones del fabricante (anexo 13) es de 100 mm/min.
- La velocidad máxima de impresión que puede alcanzar la máquina es de 100E1 0 mm/min, pero para mejorar el acabado de la pieza a imprimir la velocidad adecuada es de 800 mm/min
- Para tallado en madera se deben considerar varias características técnicas del proceso, como por ejemplo la dureza de la madera, para las pruebas se realizó con triplex la cual permitió una profundidad de pasada de hasta 1 mm con una velocidad de 150 mm/min, mientras que para pasadas de 0.5 mm la velocidad de corte se puede aumentar hasta 300 mm/min

- El área establecida para los tres procesos que se van a llevar a cabo es de 600 mm x 600 mm, en el caso de impresión 3D se tiene una opción de compensación para nivelar la cama para distancia de impresión elevadas
- El recorrido en el eje Z es de 200 mm en el caso de impresión 3D, lo que brinda una gran capacidad de volumen a los diseños que se puedan implementar para esta aplicación.
- Las pruebas realizadas demuestran que no existe ningún tipo de inconveniente en cuanto a la utilización de la misma área de trabajo por las tres aplicaciones que aquí se realizan debido a la capacidad de adaptar cada proceso a una cama que le permita realizar la operación sin problemas

Costo beneficio.

Para analizar las ganancias de la máquina implementada con respecto a otras en el mercado, se debe analizar, las diferencias de precisión y los costos que poseen cada una de las mismas, dicho esto, el costo de la máquina implementada asciende 3000 dólares.

En cuanto a impresoras 3D se tiene un modelo de gran volumen por lo que para realizar una comparación en cuanto a costos se ha tomado la impresora Zortrax M300 que posee un volumen de trabajo de 300mm x 300mm x 300mm semejante al volumen de la estructura diseñada (600mm x 600mm x 200mm), esta impresora posee una precisión de 90-920 micrometros mucho más alto en comparación al 0.65 mm arrojado por las pruebas y un precio de 3300 euros (Zortrax, 2023), se denota una gran diferencia en cuanto a precisión, pero existe gran beneficio en cuanto a costo.

Para cortadoras láser se tiene la grabadora laser de CO2 de 40 W F810, la cual posee un área de trabajo de 150 mm x 150 mm, es decir la mitad del área de trabajo implementado en el diseño presentado. La precisión es de 0.0035 mm que supone una gran mejora en

comparación a 0.4 mm de la estructura implementada, en cuanto al costo la máquina descrita tiene un costo de 543 dólares (FEUNGSAKE, 2023).

Finalmente, para comparar el router se utilizó un modelo de la empresa STARMA cnc, tiene un área de trabajo de 2000 mm por 300 mm un volumen mayor al diseñado, la precisión es de 0.01 mm mientras que para este caso el diseño presentado tiene una precisión de 0.75 mm, pero el costo total de la máquina mencionada es de 4800 dólares

Como se puede denotar existe un considerable beneficio con respecto al volumen de trabajo que posee la estructura implementada, en impresión se tiene un 200% respecto a su homónima, en cuanto a costo se tiene una ganancia de 125%, para corte láser en cuanto a volumen se tiene una ganancia de 400% y en costo se tiene una pérdida de 75%, finalmente para router no se tiene ni ganancia ni pérdida puesto que son los mismos volúmenes, en cuanto a costo se tiene una ganancia de 165%. La estructura implementada tiene un costo de 3000 dólares mientras que si se suma las tres máquinas descritas para cada aplicación se tiene un valor total de 9343 dólares, dando un porcentaje de ganancia de 334%.

Validación de hipótesis

- **Hipótesis**

El diseño e implementación de un sistema mecatrónico multifuncional permitirá realizar trabajos de manufactura aditiva y sustractiva mediante control numérico computarizado

- **Variable dependiente**

Diseño e implementación de un sistema mecatrónico multifuncional.

- **Variable independiente**

Manufactura aditiva y sustractiva mediante control numérico computarizado

Hipótesis Nula (H0): El sistema mecatrónico multifuncional no permitirá realizar trabajos de manufactura aditiva y sustractiva mediante control numérico computarizado

Hipótesis alternativa(H1): El sistema mecatrónico multifuncional permitirá realizar trabajos de manufactura aditiva y sustractiva mediante control numérico computarizado

En base a las pruebas de posicionamiento y de aplicación realizadas se ha obtenido como resultado lo siguiente.

Para evaluar si el diseño de un sistema mecatrónico multifuncional permitirá realizar trabajos de manufactura aditiva y sustractiva mediante control numérico computarizado se tomará los valores de error de la máquina con el fin de establecer un umbral del 0.75% para validar la hipótesis.

Tabla 37*Validación para corte láser*

Corte	Porcentaje de error	Corte Válido
Cuadrado	0.8%	NO
Cuadrado	0.8%	NO
Cuadrado	0.6%	SI
Cuadrado	0.3%	SI
Cuadrado	0.6%	SI
Cuadrado	0.53%	SI
Cuadrado	0.4%	SI
Cuadrado	0.33%	SI
Cuadrado	0.33%	SI
Círculo	0.6%	SI
Círculo	0.4%	SI
Círculo	0.8%	NO
Círculo	0.4%	SI
Círculo	0.5%	SI
Círculo	0.4%	SI
Círculo	0.4%	SI
Círculo	0.33%	SI
Círculo	0.46%	SI
Triángulo	0.8%	NO
Triángulo	1.2%	NO
Triángulo	1%	NO
Triángulo	0.7%	SI
Triángulo	0.5%	SI
Triángulo	0.4%	SI
Triángulo	0.53%	SI
Triángulo	0.4%	SI
Triángulo	0.4%	SI

Tabla 38*Validación para impresión 3D*

Corte	Porcentaje de error	Corte Válido
Cuadrado	2.2%	NO
Cuadrado	2.2%	NO
Cuadrado	1.4%	NO
Cuadrado	1.2%	NO
Cuadrado	1.2%	NO
Cuadrado	1.1%	NO
Cuadrado	0.8%	NO
Cuadrado	0.85%	NO
Cuadrado	0.86%	NO
Círculo	1.2%	NO
Círculo	1.4%	NO
Círculo	1.4%	NO
Círculo	1.2%	NO
Círculo	0.9%	SI
Círculo	1.1%	NO
Círculo	0.8%	SI
Círculo	0.86%	SI
Círculo	0.86%	SI
Triángulo	1%	NO
Triángulo	1.4%	NO
Triángulo	1.6%	NO
Triángulo	1.2%	NO
Triángulo	0.9%	SI
Triángulo	0.8%	SI
Triángulo	0.8%	SI
Triángulo	0.8%	SI
Triángulo	0.86%	SI

Tabla 39*Validación para router CNC*

Corte	Porcentaje de error	Corte Válido
Cuadrado	0.8%	NO
Cuadrado	0.8%	NO
Cuadrado	0.9%	NO
Cuadrado	0.65%	SI
Cuadrado	0.60%	SI
Cuadrado	0.55%	SI
Cuadrado	0.46%	SI
Cuadrado	0.43%	SI
Cuadrado	0.4%	SI
Círculo	0.4%	SI
Círculo	0.6%	SI
Círculo	0.6%	SI
Círculo	0.4%	SI
Círculo	0.55%	SI
Círculo	0.4%	SI
Círculo	0.466%	SI
Círculo	0.433%	SI
Círculo	0.466%	SI
Triángulo	1%	NO
Triángulo	0.6%	SI
Triángulo	0.5%	SI
Triángulo	0.45%	SI
Triángulo	0.55%	SI
Triángulo	0.55%	SI
Triángulo	0.4%	SI
Triángulo	0.5%	SI
Triángulo	0.46%	SI

En las tablas 37, 38 y 39 se presentan los porcentajes de error para corte láser, impresión 3D y router, con su respectiva descripción en base al cumplimiento del umbral impuesto para la aceptación del error obtenido.

Se organiza un conteo para identificar cuáles son las figuras que cumplen con el umbral y la cantidad de las mismas. Se tiene las tablas 40, 41, 42 cada una de las cuales representa una aplicación.

Tabla 40

Frecuencias observadas para corte láser

		Clase			
		Triángulo	Cuadrado	Círculo	Total
Corte valido	SI	9	9	7	25
	NO	0	0	2	2
	Total	9	9	9	27

Tabla 41

Frecuencias observadas para impresión 3D

		Clase			
		Triángulo	Cuadrado	Círculo	Total
Corte valido	SI	3	4	5	12
	NO	6	5	4	15
	Total	9	9	9	27

Tabla 42

Frecuencias observadas para router

		Clase			
		Triángulo	Cuadrado	Círculo	Total
Corte valido	SI	8	6	9	23
	NO	1	3	0	4
	Total	9	9	9	27

Los valores esperados para cada uno de los procesos se observan en las tablas 43, 44 y 45

Tabla 43*Frecuencias esperadas para corte láser*

		Clase			
		Triángulo	Cuadrado	Círculo	Total
Corte valido	SI	8.33	8.33	8.33	25
	NO	0.67	0.67	0.67	5
	Total	9	9	9	27

Tabla 44*Frecuencias esperadas para impresión 3D*

		Clase			
		Triángulo	Cuadrado	Círculo	Total
Corte valido	SI	4	4	4	12
	NO	5	5	5	15
	Total	9	9	9	27

Tabla 45*Frecuencias esperadas para router*

		Clase			
		Triángulo	Cuadrado	Círculo	Total
Corte valido	SI	7.66	7.66	7.66	25
	NO	1.33	1.33	1.33	2
	Total	9	9	9	27

Finalmente se obtienen los valores de chi cuadrado que se muestran en las tablas 46, 47, 48.

Tabla 46*Chi cuadrado para corte láser*

		Clase			
		Triángulo	Cuadrado	Círculo	Total
Corte valido	SI	0.05	0.05	0.21	0.31
	NO	0.67	0.67	2.64	3.98
	Total	0.7238	0.7238	2.85	4.29

Tabla 47*Chi cuadrado para impresión 3D*

		Clase			
		Triángulo	Cuadrado	Círculo	Total
Corte valido	SI	0.25	0	0.25	0.5
	NO	0.2	0	0.2	0.4
	Total	0.45	0	0.45	0.9

Tabla 48*Chi cuadrado para router*

		Clase			
		Triángulo	Cuadrado	Círculo	Total
Corte valido	SI	0.015	0.23	0.35	0.595
	NO	0.08	2.09	1.33	3.5
	Total	0.095	1.56	2.44	4.095

El promedio de los tres valores de chi cuadrado para las aplicaciones da un total de 3.095 comparando con el valor de la tabla de chi cuadrado para 0.25 de confiabilidad (figura 60) se tiene 2.77

Figura 60

Valores de chi cuadrado

gl	Valor-p							
	0.5	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001
1	0.45	1.32	2.71	3.84	5.02	6.63	7.88	10.83
2	1.39	2.77	4.61	5.99	7.38	9.21	10.60	13.82
3	2.37	4.11	6.25	7.81	9.35	11.34	12.84	16.27
4	3.36	5.39	7.78	9.49	11.14	13.28	14.86	18.47
5	4.35	6.83	9.24	11.07	12.83	15.09	16.75	20.52
6	5.35	7.84	10.64	12.59	14.45	16.81	18.55	22.46
7	6.35	9.04	12.02	14.07	16.01	18.48	20.28	24.32
8	7.34	10.22	13.36	15.51	17.53	20.09	21.95	26.12
9	8.34	11.39	14.68	16.92	19.02	21.67	23.59	27.88
10	9.34	12.55	15.99	18.31	20.48	23.21	25.19	29.59
11	10.34	13.70	17.28	19.68	21.92	24.72	26.76	31.26

El valor calculado es mayor al encontrado en la figura 60 por lo que se valida la hipótesis H1 y se rechaza la hipótesis nula, es decir que el sistema mecatrónico multifuncional permitirá realizar trabajos de manufactura aditiva y sustractiva mediante control numérico computarizado

Validación de funcionalidad con estudiantes

Para realizar esta actividad se participó en la feria de proyectos realizada por la carrera de Ingeniería Mecatrónica, donde se presentó, interactuó y expuso el funcionamiento de la máquina a estudiantes, esto con el fin de realizar encuestas que permitan conocer el nivel de funcionalidad, utilidad y la opinión de los estudiantes frente al diseño de la máquina implementada, los estudiantes también pudieron interactuar y monitorear los procesos que se realizaron en dicha feria.

A continuación, se presenta los resultados de la encuesta realizada para comprobar la funcionalidad de la máquina al ser utilizada y expuesta antes estudiantes.

1. ¿Considera útil la máquina CNC presentada?

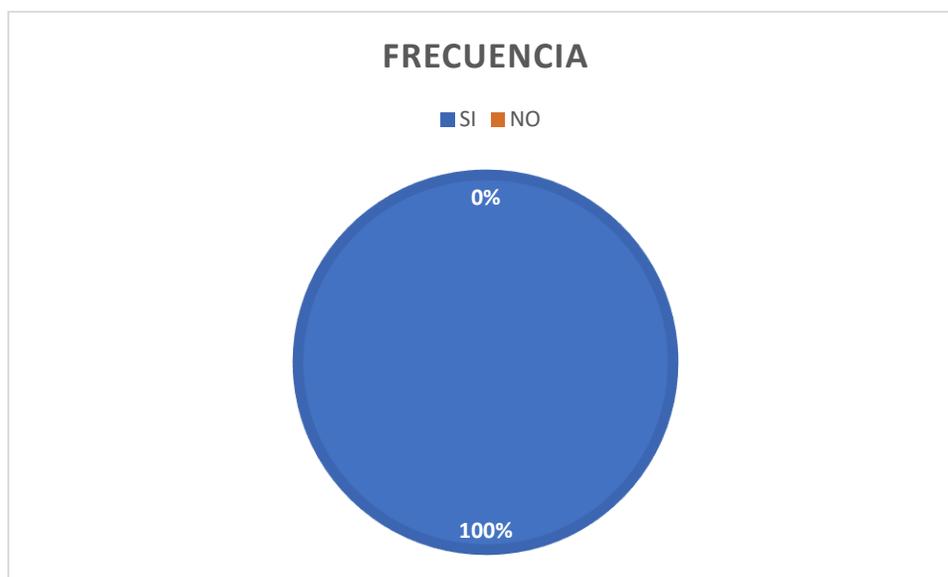
Tabla 49

Tabulación de la pregunta 1

RESPUESTAS	FRECUENCIA	%
SI	41	100%
NO	0	0%
TOTAL	41	100%

Figura 61

Gráfica de frecuencias para pregunta 1



Como se aprecia en la figura todos los participantes de la encuesta consideran que es de utilidad la máquina presentada, lo que hace factible su uso dentro de las instalaciones de la universidad

2. ¿Pudo como operario realizar las aplicaciones requeridas?

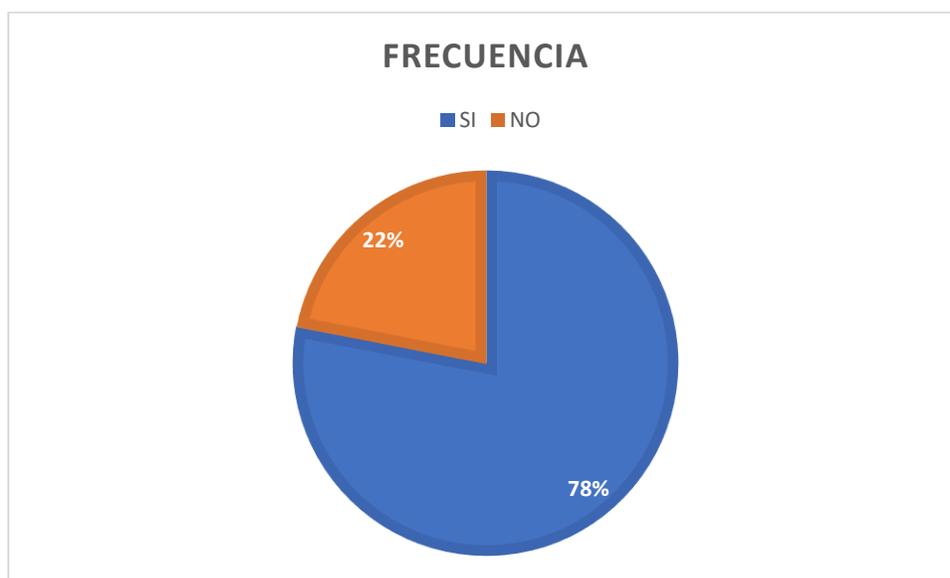
Tabla 50

Tabulación de la pregunta 2

RESPUESTAS	FRECUENCIA	%
SI	32	78%
NO	9	22%
TOTAL	41	100%

Figura 62

Gráfica de frecuencias para pregunta 2



De los participantes que usaron la máquina el 78% pudo interactuar de manera correcta y adecuada con la máquina

3. ¿Considera que la máquina presentada puede ser usada con estudiantes?

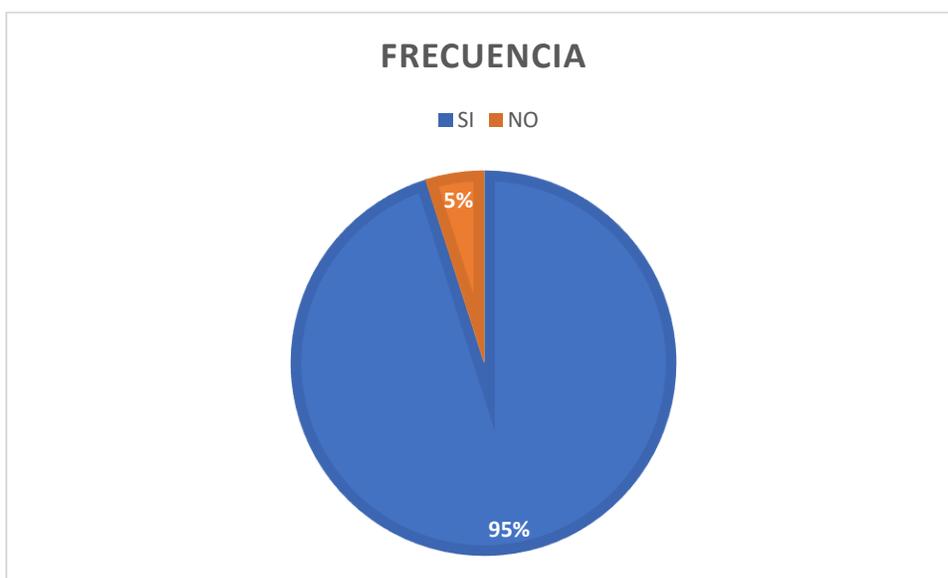
Tabla 51

Tabulación de la pregunta 3

RESPUESTAS	FRECUENCIA	%
SI	39	95%
NO	2	5%
TOTAL	41	100%

Figura 63

Gráfica de frecuencias para pregunta 3



El 98% de los estudiantes encuestados considera que la máquina se puede usada en prácticas de materias referentes a los temas de aplicación

4. ¿Cómo calificaría el diseño de la máquina presentada?

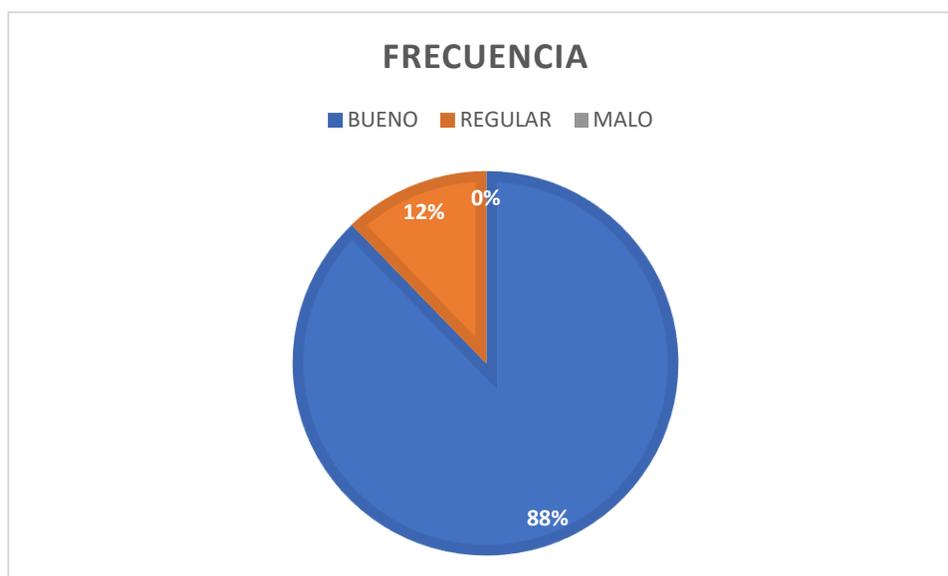
Tabla 52

Tabulación de la pregunta 4

RESPUESTAS	FRECUENCIA	%
BUENO	36	88%
REGULAR	5	12%
MALO	0	0%
TOTAL	41	100%

Figura 64

Gráfica de frecuencias para pregunta 4



El 88% de los estudiantes califica como bueno el diseño de la máquina presentado el 12% como regular y el 0% como malo por lo que se satisface las necesidades de los estudiantes.

5. ¿Considera que la máquina posee una facilidad de uso?

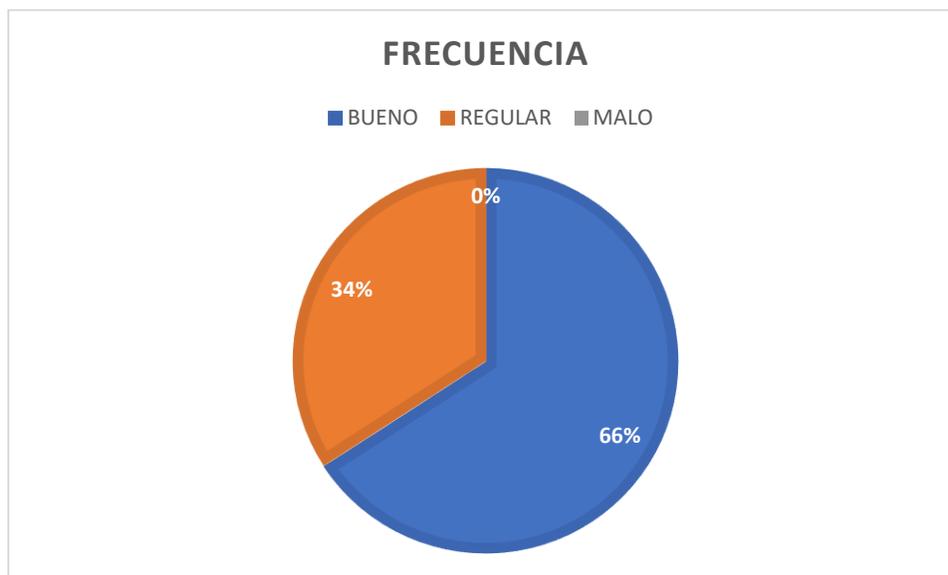
Tabla 53

Tabulación de la pregunta 5

RESPUESTAS	FRECUENCIA	%
BUENO	27	66%
REGULAR	14	34%
MALO	0	0%
TOTAL	41	100%

Figura 65

Gráfica de frecuencias para pregunta 5



El 66% de los estudiantes afirma que la máquina posee un alto grado de facilidad de uso, el 34% una regular facilidad de uso y el 0% considera que no es de fácil.

6. ¿Considera que el funcionamiento de la máquina es el óptimo?

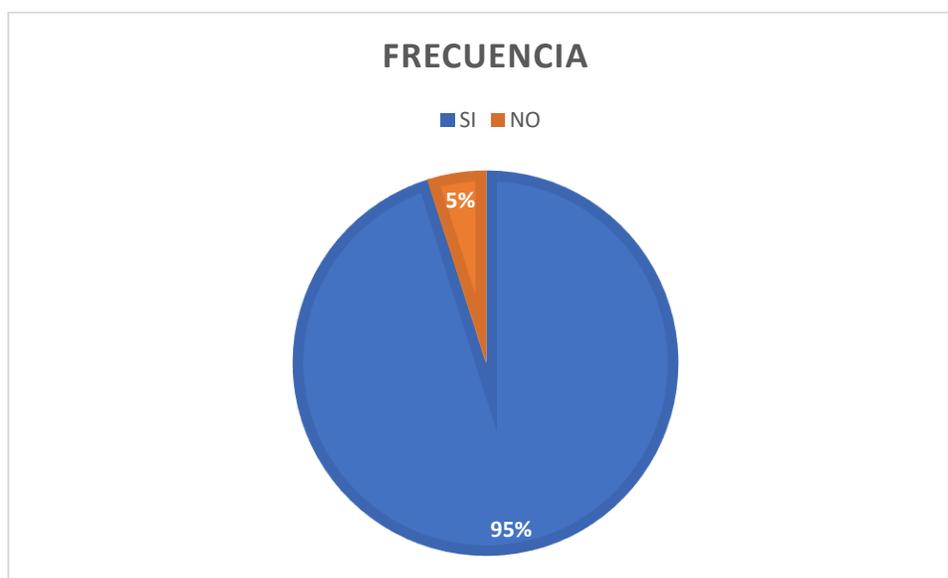
Tabla 54

Tabulación de la pregunta 6

RESPUESTAS	FRECUENCIA	%
SI	39	95%
NO	2	5%
TOTAL	41	100%

Figura 66

Gráfica de frecuencias para pregunta 6



El 95% de las personas encuestadas cree que la máquina tiene un funcionamiento óptimo en cada una de sus tareas y el 5% cree que no es el óptimo para manufactura, por lo que el funcionamiento cumple con unas altas expectativas forjadas

7. ¿La explicación realizada resolvió sus dudas?

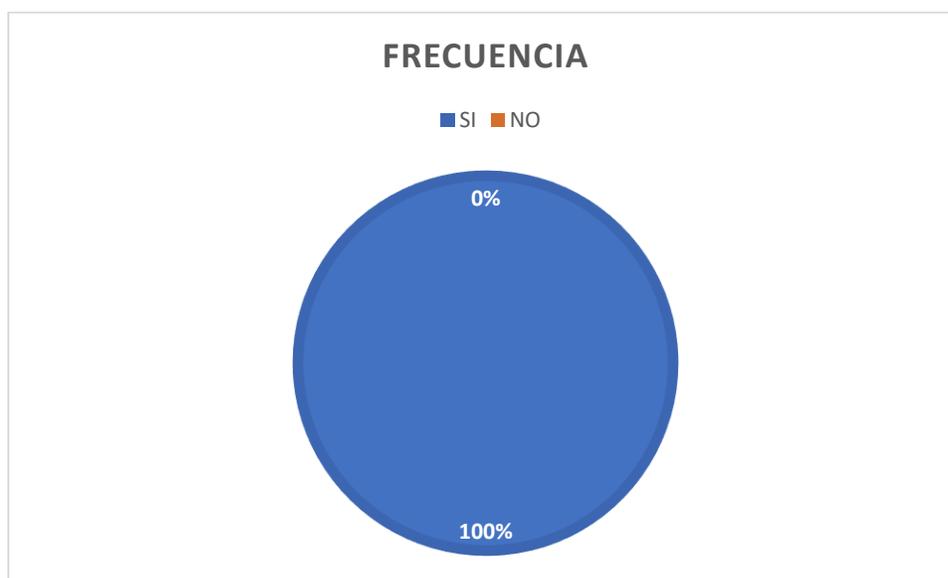
Tabla 55

Tabulación de la pregunta 7

RESPUESTAS	FRECUENCIA	%
SI	41	100%
NO	0	0%
TOTAL	41	100%

Figura 67

Gráfica de frecuencias para pregunta 7



EL 100% de los encuestados piensa que la exposición hecha ha sido clara y concisa y de fácil entendimiento

Como se puede apreciar en la encuesta realizada un gran porcentaje de la población tomada para esta encuesta piensa que existe un funcionamiento óptimo por parte de la máquina, también se puede denotar que perciben la maquina como un prototipo de fácil uso lo que

permite realizar aplicaciones de manufactura con herramientas didácticas que permiten una mayor retención por parte del estudiante. Para los estudiantes encuestados también existe un diseño óptimo de la estructura como se evidencio en las tablas de datos.

Capítulo VI

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Se diseñó e implemento un sistema mecatrónico aplicado a la manufactura aditiva y sustractiva mediante control numérico computarizado con un error en corte láser máximo de 0.4 mm, en impresión 3D de 0.65 mm y en tallado de 0.75 mm
- El análisis de coste-beneficio da como resultado la gran ventaja que posee la estructura implementada en cuanto a volumen de trabajo en sus tres aplicaciones, pero más importante es la reducción de un 68% en el costo de implementación y 66.6% en promedio de volumen con respecto a máquinas de características similares comerciales, pero existe una reducción considerable en cuanto a la precisión.
- Los desplazamientos máximos en los ejes X, Y son de 600 mm con un avance de 1300 mm/min, 200 mm para el eje Z del puente de corte láser e impresión 3D con un avance de 200 mm/min y 150 mm para el puente de fresado con un avance de 600 mm/min.
- El uso de rodamientos lineales cilíndricos de baja precisión, produce una vibración en los procesos llevados a cabo, y se denota aún más en el router en donde existe una fuerza axial de corte que amplifica dicha vibración afectando a la precisión de la máquina durante el proceso
- El uso de guías lineales cilíndricas produce un pandeo mínimo que afecta a la resolución de la máquina en especial al proceso de ruteado
- Los motores a pazos funcionan de correcta en cuanto a su torque en bajas velocidades, pero a medida que aumenta la velocidad del motor se reduce considerablemente la fuerza del mismo llegando a perder pasos.

- Se investigó sobre el desarrollo de máquinas multifuncionales en el ámbito local como internacional, usando dicha información como punto de partida para el desarrollo de un diseño compacto y con los elementos adecuados para cada aplicación
- Se identificó las necesidades del laboratorio CNC mediante la línea base del mismo, generando una descripción detallada de todos los elementos que son necesarios implementar para generar un espacio más interactivo
- Aplicando la norma ISO 10360-2 para pruebas en máquinas cartesianas, se encontró una precisión de 0.05 mm y una repetibilidad de 0.05 mm.
- Se ha implementado un sensor inductivo a modo de final de carrera para el eje Z con el cual se puede configurar la opción AUTO BED LEVELING que le permite al firmware trazar una malla para compensar los desniveles existentes obteniendo mejores resultados al compensar el desnivel de la misma.
- En el puente de corte láser e impresión 3D se ha colocado un solo cabezal con la herramienta de impresión y corte láser, por lo que para el uso de cada uno de ellos se debe declarar el offset correspondiente respecto al final de carrera que para el cabezal de impresión es de 30 mm y para el de corte láser es de 60 mm
- Mediante una encuesta se comprobó que la máquina implementada posee un funcionamiento óptimo además que es de fácil uso y posee un diseño adecuado para las funciones requeridas.

Recomendaciones

- Para evitar variación de corriente y más duración de la máquina en un futuro cambiar los drivers del puente de impresión 3D y corte láser por TB6600 los cuales pueden mantener un suministro de corriente constante además que no se calientan.
- Buscar una implementación de cama caliente para las impresiones puesto que ayudaría a adherirse de mejor manera al material
- Si se requiere usar en puente de fresado para materiales más duros se recomienda cambiar los motores a pasos por servomotores puesto que poseen un mismo torque a diferentes velocidades
- Se recomienda utilizar rodamientos lineales HIWIN, puesto que tiene una precisión mucho mayor a la de los rodamientos lineales comunes, aunque también hay un incremento en el precio de los mismos
- Se recomienda el uso de servomotores en las aplicaciones que se necesite un torque considerable con una velocidad de trabajo bastante alta
- Se recomienda usar guías prismáticas ya que se aseguran mejor a los bloques en donde van montados los cabezales de trabajo
- Una de las recomendaciones más recibidas en las encuestas es el diseño de un mejor HMI que permita leer los datos en cada momento en que se realizan las operaciones

Bibliografía

ALL3DP. (26 de Mayo de 2021). *Las mejores impresoras 3D de gran formato de 2021*.

Obtenido de ALL3DP:

[https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjv69P0zNfzAhXMQzABHSmVAhoQFnoECB8QAQ&url=https%3A%2F%2fall3dp.com%2Fes%2F1%2Fmejor-impresora-3d-gran-formato%2F&usg=AOvVaw0WMgPmyweyWvq_NMYb9kWM](https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjv69P0zNfzAhXMQzABHSmVAhoQFnoECB8QAQ&url=https%3A%2F%2Fall3dp.com%2Fes%2F1%2Fmejor-impresora-3d-gran-formato%2F&usg=AOvVaw0WMgPmyweyWvq_NMYb9kWM)

Andrea LLerena, M. C. (10 de Mayo de 2014). *Dspace ESPOCH*. Obtenido de Dspace

ESPOCH: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3534/1/108T0095.pdf>

Bermejo, F. (22 de Junio de 2020). *TMFB*. Obtenido de TMFB: <https://tmolduras-fbermejo.es>

Bricolaje, O. (24 de Abril de 2022). *Tableros MDF*. Obtenido de Tableron MDF:

<https://www.maderaydecoracion.com/tableros/tableros-mdf>

Bustillos Diego, C. K. (2014). *Diseño y construcción de un prototipo de centro de mecanizado vertical CNC de 5 ejes para el laboratorio CNC*. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Caicedo Damian, P. C. (2018). *Diseño e implementación de una máquina Router CNC de 4 ejes para el tallado de modelos 3D en madera*. Quito, Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Canchignia, M. (2019). *Diseño e implementación de un intercambiador de efectores finales*. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

- Carlos Lugmania, W. V. (2015). *Diseño y construcción de un prototipo de cortadora por láser de dióxido de carbono con control numérico computarizado*. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Castiglione, N. V. (2017). Sistemas de transmisión de routers CNC. *Revista letreros*, 4.
- CNC, F. (09 de Noviembre de 2021). *Fisher CNC*. Obtenido de Transmisión del movimiento CNC: <https://sites.google.com/site/fischercncyelectronica/que-hace-un-reuter-cnc/que-se-debe-tener-en-cuenta-para-comprar-un-reuter/sistema-de-guiado/transmisión-del-movimiento>
- Creality. (10 de Agosto de 2021). *Impresora 3D CP-01*. Obtenido de Impresora 3D CP-01: <https://www.creality.com/es/goods-detail/cp-01-3d-printer>
- Createc, 3. (29 de Octubre de 2016). *RAMPS 1.4*. Obtenido de RAMPS 1.4: <https://createc3d.com/es/comprar-electrónica-impresora-3d/156-ramps-14.html>
- Diplaser. (02 de Febrero de 2021). *Diplaser*. Obtenido de Distancia Focal: <https://www.youtube.com/watch?v=Hesn7rlxWY0>
- Factory, G. (25 de Noviembre de 2019). *Factory, Geek*. Obtenido de Polea dentada GT2: <https://www.geekfactory.mx/tienda/robotica/piezas-para-cnc-e-impresoras-3d/polea-dentada-gt2-20-dientes-5mm-barreno/>
- Geek, E. (25 de Mayo de 2020). *Tutorial del TB6600*. Obtenido de Tutorial del TB6600: <https://www.electrogeekshop.com/tutorial-del-tb6600-driver-de-motor-paso-a-paso-con-arduino/>
- Hsieh, C.-T. (2016). Desarrollo de un sistema integrado de impresora 3D y tallado láser . *Dept. of Industrial Design, Ming Chi University of Technology*, 4.

Ingemecánica. (26 de Mayo de 2022). *Ingemecánica*. Obtenido de Medición de dureza de los materiales: https://ingemecanica.com/tutoriales/tabla_dureza.html

Instruments, T. (05 de Julio de 2014). *DRV8825 Stepper Motor Controller IC*. Obtenido de DRV8825 Stepper Motor Controller IC: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv8825.pdf?ts=1655166886165>

Kevin Mirallas, P. P. (21 de Septiembre de 2015). *Dspace ESPOL*. Obtenido de Dspace ESPOL: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/94486/D-CD88200.pdf>

Láser, M. (20 de Junio de 2020). *MCW Láser*. Obtenido de MCW Láser: <https://www.amazon.com/-/es/MCWlaser-39-370-longitud-m%C3%A1quina-grabador/dp/B07KYPWRWC?th=1>

LLC, S. (8 de Abril de 2018). *Amazon*. Obtenido de Amazon: <https://www.amazon.com/dp/B07C1TBZC3?tag=all3dp0c-20>

Marco Arias, K. P. (2019). *Informe De Análisis De Resultados Documental Del Centrote Mecanizado Vertical Leadwell V30*. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

microPap. (20 de Febrero de 2021). *microPap easy motion*. Obtenido de Motores paso a paso vs servos: <https://www.micropap.com/index.php/blog/motores/item/19-motores-paso-a-paso-vs-servos>

Moreno, A. (27 de Noviembre de 2018). *Norba Sky*. Obtenido de Creality Ender 3: <https://norbasky.blogspot.com/2018/11/>

Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México,D.F.: Naucalpan de Juarez.

Muhammad Talal Shahid, M. A. (2019). Diseño y desarrollo de una Impresora 3D, Cortadora láser y Trazador 2D CNC . *16th International Bhurban Conference on Applied Sciences & Technology (IBCAST)*, 7.

Navarrete, P. (2014). *Diseño y construcción de un impresora 3D autoreplicable controlada inalámbicamente*. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas.

NOVACERO. (01 de Octubre de 2019). *NOVACERO*. Obtenido de El acero del futuro:
https://www.novacero.com/wp-content/uploads/2021/05/NOVACERO-BROCHURE_090719_HR.pdf

Quispe, L. G. (14 de Noviembre de 2014). *Dureza brinell*. Obtenido de Dureza brinell:
http://gomez2010.weebly.com/uploads/5/8/0/2/5802271/14_noviembre__dureza-brinell-2014.pdf

Richard Budynas, K. N. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México, D.F.: Mc Graw Hill.

S.A, R. V. (25 de Marzo de 2007). *Rodamientos Vigo S.A*. Obtenido de Ayuda para la selección de rodamientos lineales:
<https://rodavigo.net/catalogos/REXROTH%20LINEAL/Rodamientos%20lineales/02%20Rodamientos%20lineales.pdf>

Sanchez, M. D. (12 de Julio de 2019). *Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE: <http://repositorio.espe.edu.ec/>

SCHAEFFLER. (09 de Noviembre de 2021). *SCHAEFFLER*. Obtenido de Sistemas con recirculación de rodillo: <https://www.schaeffler.es/content.schaeffler.es/es/productos-y->

soluciones/industria/portafolio-de-productos/sistemas-de-guiado-lineal/sistemas-con-recirculacion-de-rodillos/index.jsp

SIDECO. (06 de Noviembre de 2018). *SIDECO*. Obtenido de Parametros de una cortadora laser para una produccion de éxito: <https://blog.sideco.com.mx/parametros-de-una-cortadora-láser-co2-para-una-producción-de-éxito>

SOLUTIONS, C. I. (20 de Marzo de 2021). *Fuente de alimentación láser MYJG-80W*. Obtenido de Fuente de alimentación láser MYJG-80W: <https://www.amazon.com/-/es/Cloudray-Fuente-alimentaci%C3%B3n-grabador-cortador/dp/B07BBHCTJ4?th=1>

Stratacy INC, D. (2008). *Manual de operación BST 768*. Estados Unidos: CAN/CSA C22.2 n° 60950-1-03.

Susana Chancusi, P. N. (2014). *Diseño y construcción de una impresora 3D auto-replicable controladas inalámbicamente para el prototipado de piezas plasticas de bajo costo*. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

TECNOCORTE. (12 de Abril de 2021). *Tecnocorte Herramientas de corte para madera*. Obtenido de Veocidad de corte y avance en fresadora CNC: <https://tecnocorte.com/blog/fresadora-cnc-calcular-velocidad-de-corte-y-de-avance/>

TekniStore. (20 de Febrero de 2014). *TekniStore*. Obtenido de Sfu1204 : <https://www.teknistore.com/es/piezas-mecánicas/68375-sfu1204-300mm-ball-screw-with-single-ball-nut-for-cnc.html>

Terán, S. M. (2017). Diseño y construcción de una cortadora por plasma CNC . *Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*, 131.

TOSHIBA. (19 de Enero de 2012). *TB6600H G*. Obtenido de TB6600H G: <http://www.haoyuelectronics.com/ebay/TB6600/TB6600HG.pdf>

Trotec. (9 de Noviembre de 2021). *Trotec*. Obtenido de La configuración correcta para cada aplicación: <https://www.troteclaser.com/es/máquinas-láser/accesorios-láser/mesas-par-máquinas-láser/>

TROTEC. (24 de Noviembre de 2021). *TROTEC*. Obtenido de Tipos de lente para láser : <https://www.troteclaser.com/es-es/ayuda-y-asistencia/centro-de-ayuda/elección-lente-correcta>

ANEXOS