



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CNC DE 3 EJES PARA EL RUTEO DE PISTAS Y TALADRADO DE CIRCUITOS IMPRESOS (PCBs) POR EMC2, APLICABLE EN TARJETAS DE RECUPERACIÓN DE PLCs

**CANGA PÉREZ ANGELO EFRÉN
LAMIÑA CHICAIZA BYRON ALFREDO**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

**RIOBAMBA – ECUADOR
2016**

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2015-11-08

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

CANGA PÉREZ ANGELO EFRÉN
LAMIÑA CHICAIZA BYRON ALFREDO

Titulado:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CNC DE 3 EJES PARA EL RUTEO DE PISTAS Y TALADRADO DE CIRCUITOS IMPRESOS (PCBs) POR EMC2, APLICABLE EN TARJETAS DE RECUPERACIÓN DE PLCs”

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Dr. Carlos Santillan Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Jhonny Orozco Ramos
DIRECTOR

Ing. Eduardo García Cabezas
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: CANGA PÉREZ ANGELO EFRÉN

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CNC DE 3 EJES PARA EL RUTEO DE PISTAS Y TALADRADO DE CIRCUITOS IMPRESOS (PCBs) POR EMC2, APLICABLE EN TARJETAS DE RECUPERACIÓN DE PLCs”

Fecha de Examinación: 2016-11-17

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Almendariz Puente PRESIDENTE TRIB.DEFENSA			
Ing. Jhonny Orozco Ramos DIRECTOR			
Ing. Eduardo García Cabezas ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marco Almendariz Puente
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: LAMIÑA CHICAIZA BYRON ALFREDO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CNC DE 3 EJES PARA EL RUTEO DE PISTAS Y TALADRADO DE CIRCUITOS IMPRESOS (PCBs) POR EMC2, APLICABLE EN TARJETAS DE RECUPERACIÓN DE PLCs”

Fecha de Examinación: 2016-11-17

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Almendariz Puente PRESIDENTE TRIB.DEFENSA			
Ing. Jhonny Orozco Ramos DIRECTOR			
Ing. Eduardo García Cabezas ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marco Almendariz Puente
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA.

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Canga Pérez Angelo Efrén

Lamiña Chicaiza Byron Alfredo

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.

Nosotros, Byron Alfredo Lamiña Chicaiza y Angelo Efrén Canga Pérez, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Canga Pérez Angelo Efrén

Cedula de Identidad: 150063386-0

Lamiña Chicaiza Byron Alfredo

Cedula de Identidad: 060380278-6

DEDICATORIA.

Dedico este trabajo a Dios por su infinito amor y cuidado, por darme la fortaleza y sabiduría para permitirme llegar a culminar esta tan deseada meta profesional.

A mi madre María Beatriz Chicaiza, por ser un pilar fundamental en el día a día, que con su esfuerzo y sacrificio nunca me ha abandonado en esos momentos difíciles ha sido ejemplo de fortaleza, aguante y perseverancia.

A mi hermano José Luis Lamina, que nunca me quiso ver desfallecer, sin sus consejos y apoyo no hubiera logrado llegar hasta aquí.

A mis amigos y compañeros que de una forma u otra, formaron parte de mi vida.

Byron Alfredo Lamiña Chicaiza

Dedico este logro alcanzado primeramente a Dios por haberme dado la fortaleza y perseverancia de culminar uno de mis objetivos principales en esta querida institución.

A mi Madre Carmen Pérez que con su esfuerzo sacrificio y trabajo nunca me ha abandonado en los momentos más difíciles, a mi Padre Efrén Canga por su apoyo incondicional y concejos.

A mi Esposa Andrea Guilcamaigua, a mi hijo Ian Canga que siempre estuvieron dando esa voz de apoyo y la fortaleza para realizar mis sueños.

A mi hermano Tony Canga que nunca me quiso ver desfallecer que en el instante que estuve a punto de tirar la toalla estuvieron allí para brindarme sus manos y levantarme.

A mis familiares, amigos y seres importantes que ya no están con migo que siempre estuvieron velando por mi, en este camino que condujo a la realización de este logro.

Angelo Efrén Canga Pérez

AGRADECIMIENTO.

En primer lugar quiero agradecer a Dios, luego a mis padres Luis Alfredo y María Beatriz. Quienes han dedicado su vida a la mía, por sus enseñanzas y apoyo brindado, siendo el pilar fundamental para la culminación de esta etapa de mi vida.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Industrial, por darme la oportunidad de obtener una profesión, y ser una persona útil a la sociedad.

Agradezco al Ing. Jhonny Orozco e Ing. Eduardo García, por la amistad y confianza depositada, su conocimiento y experiencia ha sido un pilar primordial para el desarrollo de este proyecto.

Byron Alfredo Lamiña Chicaiza

Agradezco a Dios por darme fortaleza para lograr mis metas, a mi familia por brindarme todo el cariño y confianza para ver culminada una meta más de la vida

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Industrial, por darme la oportunidad de obtener una profesión, y ser una persona útil a la sociedad.

Agradezco al Ing. Jhonny Orozco e Ing. Eduardo García, por brindarme su amistad, quienes con la ayuda de su conocimiento y experiencia se logró elaborar el presente documento.

Angelo Efrén Canga Pérez

CONTENIDO.

Pág.

INTRODUCCIÓN.

1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Planteamiento Del Problema.	2
1.3	Justificación.	2
1.3.1	<i>Justificación Teórica</i>	2
1.3.2	<i>Justificación Metodológica</i>	3
1.3.3	<i>Justificación Práctica</i>	3
1.4	Objetivos.....	4
1.4.1	<i>Objetivo general</i>	4
1.4.2	<i>Objetivos específicos</i> :	4

MARCO TEÓRICO.

2.1	Control Numérico Computarizado.....	5
2.1.1	<i>Generalidades</i>	5
2.1.2	<i>Ventajas de un sistema CNC</i>	7
2.1.3	<i>Desventajas de un sistema CNC</i>	8
2.1.4	<i>Sistema de control CNC</i>	8
2.2	Programación CNC.	8
2.3	CAD/CAM.....	10
2.3.1	<i>Tecnología CAD</i>	10
2.3.2	<i>Tecnología CAM</i>	10
2.3.3	<i>Sistemas CAD/CAM</i>	10
2.3.4	<i>Ventajas de la implementar sistemas CAD/CAM</i>	11
2.4	Software EMC2.....	11
2.5	Fresadora.	12
2.5.1	<i>Router CNC</i>	13
2.6	Placa De Circuito Impreso (PCBs).	16
2.6.1	<i>Técnicas de elaboración de los circuitos impresos (PCBs)</i>	16
2.6.2	<i>La Fabricación de PCBs utilizando tecnología CNC</i>	17
2.6.3	<i>Diferencias entre los métodos de producción de las placas (PCBs)</i>	17
2.7	Motores paso a paso.	18

DISEÑO Y CÁLCULOS DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS DE LA MÁQUINA CNC.

3.1	Parámetros de diseño.....	19
3.1.1	<i>Espacio de trabajo</i>	19
3.1.2	<i>Velocidad de corte (V_c)</i>	19
3.1.3	<i>Avance/diente (S_z)</i>	20
3.1.4	<i>Velocidad de avance (s')</i>	20
3.1.5	<i>Sección de viruta (S_v)</i>	21
3.1.6	<i>Volumen de viruta arrancado o cantidad máxima posible (V)</i>	21
3.1.7	<i>Presión de corte</i>	23
3.1.8	<i>Cálculos</i> :	23

3.1.9	<i>Cálculo de la fuerza de corte:</i>	25
3.2	<i>Diseño De La Máquina</i>	25
3.2.1	<i>Diseño de la estructura vertical coordenada Z</i>	25
3.2.2	<i>Diseño de la estructura horizontal coordenada X</i>	36
3.2.3	<i>Diseño de la estructura horizontal coordenada Y</i>	46
3.2.4	<i>Cálculo del torque para el tornillo de potencia coordenada X, Y y Z</i>	55
3.3	<i>Modelado CAD</i>	59
3.3.1	<i>Modelado 3D de partes</i>	59
3.3.2	<i>Subensambles</i>	63
3.3.3	<i>Ensamble Completo</i>	65
3.4	<i>CAE Ingeniería asistida por computadora</i>	65
3.4.1	<i>Análisis de elementos finitos (FEM)</i>	65
3.4.2	<i>Configuración SolidWorks Simulation</i>	66
3.5	<i>Procedimiento de análisis</i>	67
3.5.1	<i>Paso 1: Creación de un estudio</i>	67
3.5.2	<i>Paso 2: Asignación de materiales</i>	68
3.5.3	<i>Paso 3: Aplicación de restricciones</i>	69
3.5.4	<i>Paso 4: Aplicación de cargas</i>	70
3.5.5	<i>Paso 5: Mallado del ensamblaje</i>	71
3.5.6	<i>Paso 6: Ejecución del análisis</i>	71
3.5.7	<i>Paso 7: Visualización de los resultados Tensión de von Mises</i>	72
3.6	<i>Resultados Del Análisis De Elementos Finitos (FEM)</i>	72
3.6.1	<i>Análisis Para Taladrado:</i>	72
3.6.2	<i>Análisis Para Fresado:</i>	73

CONSTRUCCIÓN DE PIEZAS Y ENSAMBLAJE.

4.1	<i>Construcción de Partes</i>	75
4.2	<i>Ensamblaje</i>	77
4.2.1	<i>Ensamble de guías lineales Eje Y</i>	77
4.2.2	<i>Ensamble de la mesa base</i>	78
4.2.3	<i>Ensamble estructura eje X</i>	79
4.2.4	<i>Ensamble de la estructura eje Z</i>	80
4.2.5	<i>Montaje del sistema de control</i>	82

SISTEMA DE CONTROL.

5.1	<i>Diagrama del sistema</i>	84
5.2	<i>Selección del Componentes del sistema</i>	84
5.2.1	<i>Motores para ejes X, Y, Z</i>	85
5.2.2	<i>Tarjeta controladora de motor a pasos</i>	87
5.2.3	<i>Spindle</i>	91
5.2.4	<i>Selección de la fuente de alimentación</i>	93
5.2.5	<i>Caja de control e interconexión</i>	94
5.2.6	<i>Interconexión de las tarjetas controladoras</i>	96

DESCRIPCIÓN DE SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE PCB.

6.1	<i>Software CadSoft EAGLE</i>	98
6.2	<i>Software de medición y corrección de alturas</i>	108
6.2.1	<i>Autoleveller</i>	109
6.3	<i>Software para control de la máquina CNC</i>	112

6.3.1	<i>Linux CNC EMC2</i>	112
-------	-----------------------------	-----

PRUEBAS Y RESULTADOS.

7.1	Pruebas de la estructura mecánica.....	119
7.2	Pruebas del sistema eléctrico.....	121
7.3	Pruebas de controladores – Microstepping.....	121
7.4	Prueba de funcionamiento.....	122
7.4.1	<i>Elaboración de la placa PCB</i>	122
7.4.2	<i>Proceso de maquinado del material con el software Linux CNC EMC2</i>	123
7.5	Manufactura de la placa PCB.....	125
7.5.1	<i>Escaneo con Autoleveller</i>	125
7.5.2	<i>Ruteado de la Placa PCB</i>	126
7.6	Resultados.....	128

COSTOS.

8.1	Costos directos de fabricación.....	130
8.2	Costo materia prima para la fabricación de piezas:.....	130
8.3	Costos de elementos.....	130
8.4	Costo de mano de obra y maquinado.....	132
8.5	Gastos.....	132
8.6	Costo total del proyecto.....	133

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

9.1	CONCLUSIONES.....	134
9.2	RECOMENDACIONES.....	135

BIBLIOGRAFÍA.

ANEXOS.

PLANOS.

LISTA DE FIGURAS.

	Pag.
1	Principios de operación de una máquina herramienta de NC5
2.	Principio de operación de una máquina herramienta CNC.....6
3	Interfaz gráfica del software EMC2. 11
4	Tipos de Fresadoras 13
5	Tipos de Mesa para Router 13
6	Router CNC.....16
7	Placa de circuito impreso (PCBs).....16
8	Motores Paso a paso. 18
9	Traslación vertical con carga vertical (Ecuaciones de cálculo)26
10	Diagrama cuerpo libre, fuerzas y momentos flectores.28
11	Ejes estándar ESSC.....32
12	Flechas o ejes guías coordenada Z33
13	Fuerzas y restricciones.....33
14	Factor de seguridad.....33
15	Traslación horizontal con carga lateral (Ecuaciones de cálculo)37
16	Diagrama cuerpo libre, fuerzas y momentos flectores.39
17	Ejes estándar ESSC5.....43
18	Flechas o ejes coordenada Y.43
19	Fuerzas y Restricciones.....44
20	Factor de Seguridad44
21	Traslación horizontal con carga normal (Ecuaciones de cálculo)47
22	Diagrama cuerpo libre, fuerzas y momentos flectores.49
23	Flechas o ejes coordenada X.52
24	Fuerza y Restricciones.53
25	Factor de Seguridad.53
26	Transmisión de movimiento horizontal56
27	Mesa prototipo CNC.....60
28	Soporte spindle.60
29	Carrito desplazamiento eje X.61
30	Placa Base Motor Superior.....61
31	Placa Inferior Bloque Corredera.....61
32	Soporte lateral izquierdo.62
33	Soporte lateral derecho.62
34	Perfiles base.....62
35	Placa Base Corredera.63
36	Soporte posterior mesa.....63
37	Mesa prototipo CNC.....63
38	Guía soporte eje Y.64
39	Ejes guías eje X.64
40	Guía soporte eje X.64
41	Guía soporte de spindle eje Z.....64
42	Ensamble Completo.....65
43	Configuración SolidWorks Simulation.....66
44	Establecimiento de las unidades y parámetros del análisis.....67

45	Creación del estudio.....	68
46	Asignación de materiales	68
47	Materiales Asignados.....	69
48	Aplicación de restricciones.	69
49	Aplicación de cargas.....	70
50	Mallado del ensamblaje.	71
51	Ejecución del Análisis.....	71
52	Aplicación Elementos Finitos.	72
53	Análisis de elementos finitos para taladrado.....	72
54	Análisis de elementos finitos para taladro.	73
55	Deflexión máxima para taladrado.....	73
56	Análisis de Elementos Finitos para Fresado.	73
57	Aplicación de elementos finitos fresado.	74
58	Máximo esfuerzo fresado.....	74
59	Deflexión máxima.	74
60	Placas soporte Laterales eje X.....	76
61	Placa superior Corredera eje Z.	76
62	Placa inferior Corredera eje Z.	76
63	Base guía eje Y.....	76
64	Soporte frontal de la mesa.....	76
65	Soporte posterior de la mesa.	77
66	Perfil L, soportes laterales de la mesa.....	77
67	Bloque Corredera Superior eje X.	77
68	Guía soporte de spindle eje Z.	77
69	Ensamble de guías lineales Eje Y.....	78
70	Acoplamiento de los soportes de la mesa.	78
71	Estructura base de la mesa.	79
72	Procedimiento de la sujeción de la mesa base.....	79
73	Proceso de ensamble del eje X.	80
74	Sujeción del eje X a la mesa.....	80
75	Ensamble del sistema eje Z.	81
76	Montaje y sujeción del spindle.	81
77	Proceso de cableado.....	82
78	Colocación de motores pasó a paso.	82
79	Ensamble final prototipo CNC.	83
80	Diagrama de bloques de los componentes del sistema.	84
81	Motor a Pasos DCNC-NEMA 23.	87
82	Tarjeta controladora JP-382.	90
83	Spindle.	92
84	Controlador de velocidad del motor portaherramientas.....	93
85	Secuencia de alimentación sistema electrónico.....	93
86	Transformador Toroidal.	93
87	Transformador Toroidal 110v a 36V – 18V.	94
88	Socket MIC334.....	95
89	Conector MIC324 para cables de la máquina fresadora.	96
90	Conector IEC C14 con porta fusible.	96
91	Montaje de placas controladoras.	97
92	Interfaz gráfica de CadSoft EAGLE.....	98
93	Editor de diagramas esquemáticos de EAGLE, Circuito PLC.....	99
94	Ventana de ERC.	100

95	Editor de circuitos impresos de EAGLE, pistas del circuito.....	101
96	Ventana Design Rule Check (DRC).	103
97	Página oficial pcbgcode.	103
98	Ejecución pcb-gcode.....	104
99	Ventana de configuración de la ULP pcb-gcode de EAGLE.....	104
100	Pre-visualización tarjeta PCB del circuito PLC con PIC 16F84A	107
101	Visualización de lista de códigos.	107
102	Desnivel en las placas de cobre.	108
103	Ventana principal.	109
104	Página oficial Autoleveller.....	109
105	Área de prueba para interpolación plano XY.....	110
106	Browse for Gcode.....	110
107	Parámetros sugeridos por Autoleveller.	111
108	Código G modificado por Autoleveller.	111
109	Ventana principal de Linux CNC EMC2.....	113
110	Ventana de aviso stepper configuration Linux CNC.....	114
111	Stepper configuration Linux CNC, nueva configuración.	114
112	Ventana de configuración de perfil.....	115
113	Parallel Port Setup.	116
114	Axis Configuration.	116
115	Axis test.....	117
116	Acceso directo a perfil configurado.....	118
117	Pruebas de desplazamiento del eje Y.....	120
118	Pruebas de desplazamiento del eje X.....	120
119	Teclas para el desplazamiento de los ejes.	122
120	Sujeción de la placa de cobre a mecanizar.....	123
121	Ventana principal del software Linux CNC EMC2.....	123
122	Control manual Linux CNC EMC2.....	124
123	Definición del origen pieza.	125
124	Sujeción del extremo de la sonda al útil de corte.	126
125	Diseño base de la placa PCB.....	127
126	Visualización del proceso de Ruteo.....	127
127	Proceso de Ruteo de pistas sobre la placa de cobre 1.....	127
128	Proceso de Ruteo de pistas sobre la placa de cobre 2.....	128
129	Proceso de Ruteo de pistas sobre la placa de cobre 3.....	128
130	Placa de cobre mecanizada.....	128
131	Componentes integrados sobre la tarjeta PCB elaborada.	129

LISTA DE TABLAS

	Pag.
1. Valoración de los métodos de fabricación de circuitos (PCBs)	18
2. Velocidad de corte m/min y avance mm/min.....	20
3. Normalización de las profundidades de corte o fresado	21
4. Cantidad admisible de viruta al fresar	22
5. Valores de presión específica de corte.....	23
6. Propiedades mecánicas acero AISI 1050.....	31
7. Ejes de precisión.....	32
8. Propiedades mecánicas acero AISI/SAE 1045.....	35
9. Selección marca de la casa comercial.....	36
10. Ejes de precisión.....	43
11. Propiedades Mecánicas del Aluminio 6063	75
12. Especificaciones del motor seleccionado.....	86
13. Comparativa de controladores para motores a pasos.....	89
14. Características de la tarjeta controladora JP-382A.....	90
15. Especificaciones del Motor Portaherramientas	91
16. Especificaciones del controlador JP1482 para Spindle	92
17. Características transformador 100V – 36V- 18V.....	94
18. Parámetros de configuración individual para los ejes	117
19. Costos Materia Prima.....	130
20. Costos Sistema Mecánico	131
21. Costos Sistema Electrónico.....	131
22. Costos Mano de Obra	132
23. Gastos.....	132
24. Costo Total del Proyecto.....	133

SIMBOLOGÍA

Fc	Fuerza de corte	[N]
Vc	Velocidad de corte	[m/min]
Sz	Avance por diente	[mm/min]
Z	Numero de dientes de la fresa	
D	Diámetro de la fresa	[mm]
S´	Velocidad de avance	[mm/min]
V	Volumen de viruta arrancado	[cm ³ /min]
Ks	Presión de corte	[N/mm ²]
Sv	Sección de viruta	[mm ²]
P	Potencia del Tupi (Spindle)	[KW]
M	Momento flector máximo	[Nm]
S	Módulo de resistencia para una sección transversal cilíndrica	[mm ³]
Sy	Resistencia a la fluencia del material	[Gpa]

LISTA DE ABREVIACIONES

EMC	Enhanced Machine Controller - Controlador de máquinas mejorado
CAD	Computer Aided Desing-Diseño Asistido Por Computadora
CAM	Computer Aided Manufacturing- Manufactura Asistida Por Computadora
EAGLE	Easy Applicable Graphical Layout Editor – Editor de diagramas gráficos de fácil aplicación
NC	Numeral Control- Control Numérico
CNC	Computer Numeral Control- Control Numérico Computarizado
PCB	Printed Circuit Board - Placa De Circuito Impreso
ECAD	Electronic Computer Aided Design - Diseño Electrónico Asistido por Computadora
PLC	Programmable Logic Controller - Controlador Lógico Programable

LISTA DE ANEXOS

- A Catálogo Techno isel Pag.26-32
- B Herramientas de Corte y Grabado VinylShop Pag. 16
- C Matriz de Evaluación Para Selección De Materiales

RESUMEN

Este trabajo de titulación trata del diseño y construcción de un prototipo de máquina de control numérico computarizado (CNC), como medio alternativo para la elaboración de placas electrónicas PCBs por medio de un software libre como el EMC2, sustituyendo así los métodos convencionales y en muchos casos artesanales, esperando lograr reducir el tiempo de fabricación de cada placa mejorando el proceso, elevando la calidad y reduciendo los costos de producción de las mismas. Se realiza el esquema de los elementos que conformaran nuestro prototipo CNC, ayudados del software de diseño Solidworks que facilita simulaciones que nos permitan el análisis del comportamiento antes de la fabricación de los componentes, se analiza la selección de distintos elementos necesarios para elaborar una interfaz que nos permita dar movimiento y controlar el prototipo por medio del software a través de una computadora. El prototipo de CNC se encuentra constituido por tres sistemas fundamentales: El sistema mecánico para el movimiento de los tres ejes, el sistema de control CNC basado en microcontroladores encargados de interpretar las instrucciones y simultáneamente realizar el control de los elementos mecánicos; y el programa que contiene toda la información de las acciones a realizar. Logrado el prototipo digital y cumpliendo con los requerimientos iniciales se procede con la construcción del prototipo en materiales previamente seleccionados tomando en consideración su función y utilidad, consiguiendo que el sistema CNC sea capaz de cumplir todos los requerimientos en la realización de placas PCB de una manera rápida y eficiente. Se recomienda continuar con la investigación sobre los sistemas CNC para ir fomentando el desarrollo tecnológico de la Escuela.

PALABRAS CLAVE:<CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO (CNC)>, <PLACA DE CIRCUITO IMPRESO (PCB)>, <CONTROLADOR DE MAQUINA MEJORADO (EMC)>, <DISEÑO ELECTRÓNICO ASISTIDO POR COMPUTADORA (ECAD)>, <CONTROL NUMÉRICO (NC)>, <MANUFACTURA ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAM)>, <EDITOR DE DIAGRAMAS GRÁFICOS DE FÁCIL APLICACIÓN (EAGLE)>, <CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)>

ABSTRACT

This graduation work is about the design and construction of a computer numeric control prototype machine as an alternative for the elaboration of printed circuit boards PCBs electronic plates through EMC2 free software, substituting in this way the conventional and artisanal methods, this tends to reduce the manufacturing time of each plate improving the process and quality as well as reducing the production cost. For this, it was necessary to draw the elements which make up the CNC prototype with the use of Solidworks software, this allows having simulations which reflect the operation of the machine before the construction of the components, it is also necessary to analyze and select the different elements which are necessary for creating an interface which allows moving and controlling the prototype with the software through a computer. The CNC prototype is made up by three fundamental systems: The mechanic system for moving the three axis, the microcontroller-based control system which interprets the instructions and controls the mechanical elements at the same time, and the program containing the information about the instructions to be carried out. Once the digital prototype was finished with all the requirements, it is necessary to keep on with the construction of the prototype with the materials previously selected, taking into account their function and utility, this makes a system able to fulfil the requirements for PCB plates construction in a fast and efficient way. It is recommended to carry on with the research about CNC systems in order to improve the technical development of the School.

KEYWORDS :< COMPUTER NUMERICAL CONTROL (CNC)>, <PRINTED CIRCUIT BOARD (PCB)>, <ENHANCED MACHINE CONTROLLER (EMC)>, <ELECTRONIC COMPUTER AIDED DESIGN (ECAD)>, <NUMERICAL CONTROL (NC)>, <COMPUTER AIDED MANUFACTURING (CAM)>, <EASILY APPLICABLE GRAPHICAL LAYOUT EDITOR (EAGLE)>, <PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC)>

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes.

En el mundo la ciencia y tecnología han avanzado hasta el punto de poder llegar a construir máquinas completamente automáticas e independientes al reemplazar ciertas prácticas manuales por dispositivos electrónicos y mecánicos, de tal manera que ahorran mucho trabajo, recursos y tiempo a los seres humanos.

En la actualidad el Ecuador viene sufriendo ciertos cambios en la matriz productiva para ello el gobierno ha incrementado la eficiencia en los servicios que brinda la Secretaría de Educación Superior, Ciencia y Tecnología, optimizando los recursos destinados a generar transferencia tecnológica en los sectores estratégicos, a fin de contribuir al desarrollo de la ciencia y tecnología, para incrementar la productividad y competitividad con un enfoque de responsabilidad social.

Sin embargo, el desarrollo tecnológico en nuestro País aún tiene limitaciones para poder competir de una manera óptima, el avance tecnológico nos facilita mucho los procesos de fabricación, de tal manera que se los puede desarrollar con mayor rapidez, eficacia y disminuyendo costos, en comparación con métodos manuales

Existe gran variedad de soluciones a la hora de abordar este tema, ya que existe toda una industria especializada en esta tecnología. A nivel mundial se producen máquinas fresadoras tipo router CNC con diversos precios dependiendo del alcance de las mismas.

Cuyos precios que oscilan desde 8000\$ hasta 17000\$ tomando en cuenta que en el Ecuador, estas máquinas CNC trabajan solo en dos ejes X, Y siendo el eje Z regulable manualmente se podría considerar que son modelos muy básicos en precios que superan los 6000\$ sin contar los cargos del envío según las cotizaciones realizadas en <http://supracnc.com/router> empresa dedicada a proveer de máquinas tipo router en Ecuador. La máquina CNC que se propone construir tiene las mismas prestaciones, puesto

que elimina gran parte de los procedimientos manuales al momento de realizar el ruteado y taladrado de circuitos impresos en menor tiempo y con una mayor calidad, logrando contribuir en el cambio de la matriz productiva desarrollando tecnología en el país.

1.2 Planteamiento Del Problema.

Las industrias para ser cada vez más competitivas, han venido optando por la automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en todas sus líneas de producción, utilizando en su mayoría Controladores Lógicos Programables (PLCs), u otros controladores de tipo electrónicos, todos ellos importados a nuestro País.

Durante el gobierno de Rafael Correa Delgado en los últimos años se han venido imponiendo aranceles a los artículos electrónicos con el fin de reducir las importaciones para fomentar el desarrollo de nuestra propia tecnología, haciendo cada vez más complicado el tener a nuestra disposición dichos controladores, ya sea para incorporarlos en nuevos procesos o para reemplazar elementos de los que se encuentran defectuosos, con el fin de prolongar la vida útil de los PLCs y los Controladores Electrónicos que se encuentran en uso, abriendo así la necesidad de fabricar estos elementos de manera artesanal o en ciertos casos con tecnologías básicas que consumen mucha inversión en recursos y tiempo con el fin de no desechar estos equipos.

Para lo cual en el Ecuador ha venido incrementándose la aplicación de la tecnología CNC, dando lugar a la importación de máquinas CNC nuevas y de segunda mano, en el primer caso de altísimo costo, que pequeñas empresas no pueden adquirir con mucha facilidad, en el segundo caso son más asequibles con un menor tiempo de vida útil dependiendo del estado en que se encuentre, en otros casos vienen con defectos como desgaste, juego entre elementos y otros defectos difíciles de identificar por el personal encargado en el montaje y a veces no las pueden instalar quedando obsoletas por lo que representa una gran pérdida económica para la empresa que la adquirió.

1.3 Justificación

1.3.1 *Justificación Teórica.* Las máquinas CNC tienen un costo elevado, puesto que

realizan trabajos de alta precisión en 2D y 3D en diversos materiales, además de la dificultad de la obtención de partes para la reposición de elementos en el mantenimiento correctivo, también la necesidad de mano de obra especializada para realizar el mantenimiento de software y hardware.

por tales motivos lo que pretendemos lograr es construir una máquina que realice funciones similares orientadas a la fabricación de placas PCBs, las mismas que conforman la parte electrónica de dispositivos usados en la automatización de procesos industriales como son; PLCs y Controladores Electrónicos, para aportar en la recuperación de los dispositivos defectuosos y en casos favorables a la reproducción de los mismos, con un tiempo de fabricación corto, mayor calidad y un costo menor reduciendo la el uso de la mano de obra aplicando un software de control.

1.3.2 *Justificación Metodológica.* Para lograr los objetivos planteados, partiremos del razonamiento inductivo para analizar y clasificar los hechos particulares de las operaciones aplicadas al momento de realizar circuitos impresos PCBs, y fomentar la aplicación de la tecnología CNC, como un método óptimo en su elaboración, posteriormente se aplicara el método analítico, que inicia por la identificación de cada una de las partes que conformaran el proyecto, obteniendo la información de máquinas comerciales CNC.

Basándose en la información obtenida se ocupara el método sistemático para determinar cada uno de sus componentes y relacionarlos entre sí, para poder determinar su estructura y dinámica, y apoyados del método experimental poder solucionar de una manera eficiente los errores que se presenten, y finalmente ocupar la metodología lógica, para realizar un análisis ordenado desde el inicio del trabajo y cubrir vacíos usando razonamientos lógicos concretos y acertados.

1.3.3 *Justificación Práctica.* Conforme avanza la tecnología electrónica, han venido variando los procesos de fabricación de artículos electrónicos, al igual que sus tarjetas PCBs, en la que se encuentran integrados sus componentes lo que hace que muchos modelos y diseños se vayan descontinuando y cada vez sea más complicado encontrarlos en el mercado, debido a los métodos de fabricación fueron descartados, haciendo que la

fabricación de placas PCBs sea más crucial para aportar a la recuperación de varios dispositivos electrónicos.

Debido a la densidad de trabajo que representa, el crear una réplica de una placa PCBs, pues exige exactitud y precisión, acudimos a la utilización de la tecnología CNC, apoyados en los diseños asistidos por computadora, no orientaremos a simplificar esa tarea, para definir y especificar un método más rápido que ahorre tiempo, esfuerzo y dinero al usuario, y que elimine el uso y desperdicio de papel, agua y químicos, que de cierta forma resulta perjudicial para el medio ambiente.

1.4 Objetivos.

1.4.1 *Objetivo general.* Diseñar y construir una máquina CNC de 3 ejes para el ruteo de pistas y taladrado de circuitos impresos (PCBs) controlado por (EMC2), aplicable en tarjetas de recuperación de PLCs.

1.4.2 *Objetivos específicos:*

- Determinar los parámetros característicos básicos del prototipo CNC.
- Diseñar una Máquina-Herramienta con control numérico computarizado CNC para la elaboración de circuitos impresos (PCBs).
- Aplicar el diseño CAD-CAM en la elaboración placas (PCBs) por medio de un software como el EMC2.
- Desarrollar el algoritmo para la elaboración de la placa PCBs.
- Realizar pruebas de funcionamiento de cada elemento.
- Elaborar una guía para el proceso de elaboración de la placa Pc.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

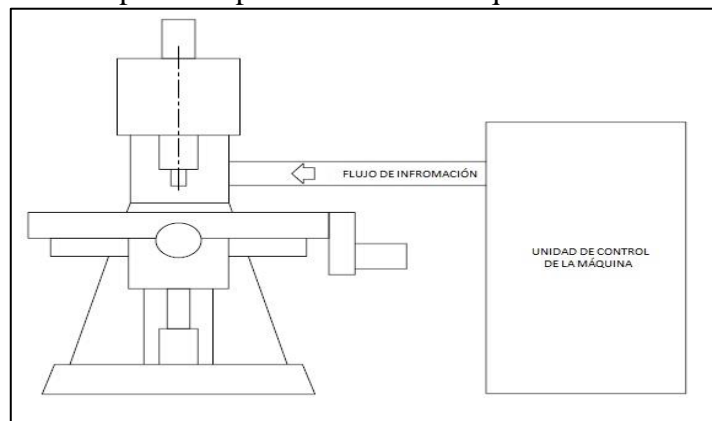
2.1 Control Numérico Computarizado.

El control numérico o control decimal numérico (CN) es un sistema de automatización de máquinas que son operadas mediante comandos programados en un medio de almacenamiento, en comparación con el mando manual mediante volantes o palancas.

Las primeras máquinas de control remoto numéricos se construyeron en los años 40 y 50, basadas en las máquinas existentes con motores descodificados cuyos números se relacionan manualmente siguiendo las instrucciones dadas en un microscopio de tarjeta perforada (CNC). (LASHERAS, 2013)

2.1.1 Generalidades. El control numérico (NC) aplicado a las máquinas herramientas surge durante la década de 1940 utilizando tarjetas perforadas que contenían parámetros y coordenadas de posición interpretadas por máquinas herramientas, para posteriormente realizar las acciones contenidas en estas; durante esos años el control numérico fue utilizado en la fabricación de elementos mecánicos para la industria aeronáutica; debido a la alta demanda de estos y a la necesidad de reducción de errores de fabricación, fue necesaria la automatización de estos procesos, utilizando equipo electrónico capaz de controlar las máquinas herramientas de esa época.

Figura 1 Principios de operación de una máquina herramienta de NC

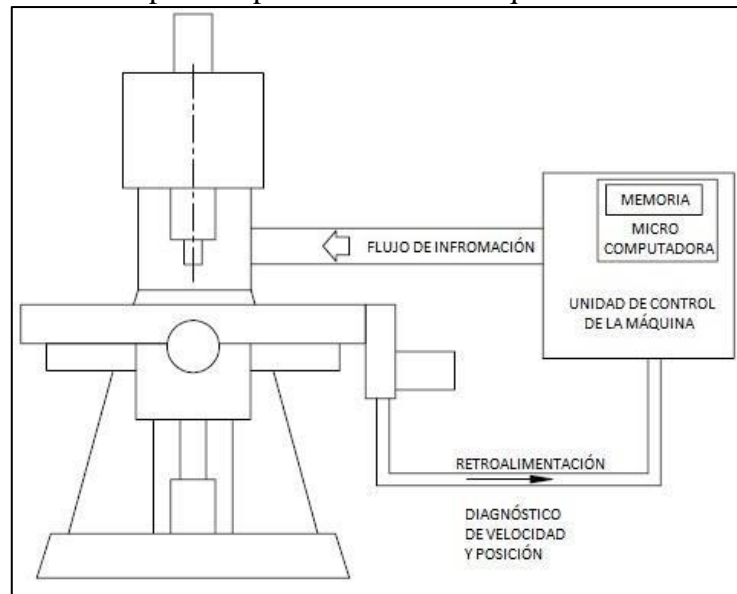


Fuente: RAO, Rajesh. CAD/CAM: principles and applications. p. 215.

Es hasta 1960 que surge el control numérico computarizado (CNC) como mejora al funcionamiento del NC, presentando mayores ventajas y mejor control sobre las máquinas herramientas. El CNC al igual que el NC basa su funcionamiento en una serie de códigos que indican a la máquina los movimientos de avance y mecanizado; los códigos misceláneos (paro, marcha, cambio de herramienta, etc.), a fin de obtener un modelo previamente diseñado; este proceso es realizado a través de sus elementos principales:

- Código programado
- Elementos de interfaz computadora-máquina herramienta
- Máquina herramienta CNC

Figura 2. Principio de operación de una máquina herramienta CNC



Fuente: RAO, Rajesh. CAD/CAM: Principles and applications. p. 216.

En la actualidad las máquinas herramientas CNC son utilizadas en un sin fin de procesos de producción debido a su versatilidad, presentando por eso grandes ventajas en la industria; entre las más importantes están:

- Reducción de tiempos de ejecución: “el tiempo entre la recepción de un diseño solicitado por el departamento de producción y la preparación para iniciar la producción en la planta, incluyendo el tiempo de planificación, diseño y fabricación de plantillas especiales, etc. Es llamado tiempo de ejecución. Con las máquinas

herramientas CNC el uso de plantillas especiales es eliminado, los movimientos de mecanizado realizados para obtener un diseño requerido son minimizados a fin de reducir el tiempo de maquinado, reduciendo así el tiempo de ejecución”. (PABLA, y otros, 1994)

- Reducción de errores de operación: “la máquina es controlada por un programa con instrucciones almacenadas en la memoria de una computadora. El programa es simulado antes de ser enviado a la máquina para evitar cualquier tipo de errores durante el trabajo. La fatiga, falta de atención y otros factores humanos no afectan la calidad del trabajo de la máquina”. (LASHERAS, 2013)
- Reducción en costos de mano de obra: “el tiempo de trabajo en una máquina herramienta CNC es considerablemente menor respecto de una máquina herramienta convencional; un solo operador puede controlar dos o más máquinas de forma simultánea, reduciendo considerablemente los costos de mano de obra. (LASHERAS, 2013)
- Reducción de inspecciones: el tiempo utilizado en la inspección de los elementos fabricados se reduce a la inspección del primer componente y si este presenta algún tipo de defectos es corregido en el programa de maquinado. Las ventajas de las máquinas herramientas CNC son diversas a pesar de esto; también presentan una serie de desventajas que hacen difícil la adquisición de este tipo de equipos siendo las más comunes las siguientes:
- Alto costo de inversión: por tratarse de un tipo de tecnología sofisticada y aplicaciones especiales en las que se requieren altos grados de precisión, el costo de adquisición de estas máquinas es elevado respecto de las máquinas herramientas convencionales.
- Personal especializado para operación: el personal operador debe ser capacitado en esta área del metal mecánica, ya que por tratarse de equipo especial, se requiere de habilidades adicionales a las de operación de máquinas herramientas convencionales.

2.1.2 *Ventajas de un sistema CNC. (AREVALO, y otros, 2012)*

- Alto grado de calidad debido a la precisión, repetitividad y ausencia de variaciones introducidas por un operador.

- Desperdicios reducidos. Son menos probables los errores debidos a la fatiga del operador, interrupciones y otros factores.
- Inspección simplificada. Una vez que la primera pieza ha pasado la inspección, se requiere una inspección mínima en las partes subsecuentes.
- Menores costos de herramientas debido a la menor necesidad de montajes y reparaciones complejas.
- Tiempo de servicio reducido.
- Las operaciones complejas de la maquinaria se realizan más fácilmente debido al control avanzado de la máquina.

2.1.3 *Desventajas de un sistema CNC. (AREVALO, y otros, 2012)*

- Las herramientas de una máquina numéricamente controlada no cortan el material a trabajar tan rápido como las máquinas convencionales.
- El control numérico no elimina la necesidad de herramientas caras. Además, hay un gasto inicial mayor.
- El control numérico no elimina los errores por completo. Los operadores todavía se pueden equivocar al presionar los botones equivocados, al realizar alineaciones erradas, y fallan al ubicar las piezas adecuadamente en una montura.
- Se necesita escoger y entrenar a programadores y a personal de mantenimiento.

2.1.4 *Sistema de control CNC.* Los sistemas de control que usualmente se conocen dentro de las máquinas CNC están implementados con un control en lazo abierto, así como mediante un control en lazo cerrado. Como bien se sabe el sistema de control en lazo abierto es más simple y muchas veces resulta más económico, sin embargo ni asegura la exactitud en trabajos en los que el desbaste sea de gran profundidad o para materiales demasiados duros, pues no existe un control adecuado del error que puede ser generado por deficiencia en la fuerza de arrastre, que limitaría su movimiento o generaría un movimiento no uniforme. (*CULTURA, 2002*)

2.2 **Programación CNC**

Los códigos G & M son el tipo de lenguaje de programación más utilizado del CNC; este

código envía diferentes tipos de órdenes que son interpretadas y realizadas por la máquina herramienta; entre estas están los diferentes movimientos que puede realizar la máquina, interpretándolos como vectores, velocidades de avance, encendido o apagado de elementos auxiliares en el mecanizado, etc.

La programación CNC puede ser realizada de forma manual o bien asistida por computadora; la programación manual es realizada directamente por el operador, introduciendo los códigos correspondientes a cada operación deseada en el diseño a trabajar; este método se realiza introduciendo los códigos uno por uno directamente en el programa de control de la máquina herramienta, siguiendo una secuencia lógica y ordenada; este tipo de programación puede tener cierto grado de error según sea la complejidad del diseño.

En la programación asistida por computadora, un programa interpreta el diseño y le asigna un vector específico que posteriormente es transformado en un lenguaje que interpreta la máquina herramienta.

Este tipo de programación tiene un alto grado de exactitud en la generación de instrucciones de maquinado, sin importar la complejidad del diseño.

La programación CNC es realizada por bloques que giran instrucciones específicas según la naturaleza del diseño; en estos bloques pueden incluirse acciones auxiliares, velocidades de avance, movimientos de mecanizado, etc.; todos independientes cada uno entre sí.

2.2.1 *Estructura de un programa CNC:* Todo programa para máquinas herramientas CNC está formado por una cantidad determinada de bloques de programación dependientes de un diseño dado; cada bloque está formado por diferentes direcciones, términos y letras que la máquina interpreta como instrucciones de trabajo. Las partes de un programa CNC son:

- **Block:** es el comando dado a la unidad de control.
- **Término:** un block está compuesto por uno o más términos. Un término está identificado por números y letras con significado específico.

- Dirección: cada letra al inicio de cada término es llamada dirección y representa un comando específico en el block del programa.

2.3 CAD/CAM

2.3.1 Tecnología CAD. Computer-aided design (CAD) es el uso de programas computacionales para crear representaciones gráficas de objetos físicos ya sea en segunda o tercera dimensión (2D o 3D).

El software CAD puede ser especializado para usos y aplicaciones específicas. CAD es ampliamente utilizado para la animación computacional y efectos especiales en películas, publicidad y productos de diferentes industrias (Siemens, 2015).

2.3.2 Tecnología CAM. Manufactura Asistida por Computadora (CAM) comúnmente se refiere al uso de aplicaciones de software computacional de control numérico (NC) para crear instrucciones detalladas (G-code) que conducen las máquinas de herramientas para manufactura de partes controladas numéricamente por computadora (CNC). Los fabricantes de diferentes industrias dependen de las capacidades de CAM para producir partes de alta calidad (*CULTURA, 2002*).

2.3.2.1 Beneficios de CAM. Los beneficios de CAM incluyen un plan de manufactura correctamente definido que genera los resultados de producción esperados. (*CULTURA, 2002*)

- Los sistemas CAM pueden maximizar la utilización de la amplia gama de equipamiento de producción.
- Los sistemas CAM pueden ayudar a la creación, verificación y optimización de programas NC para una productividad óptima de maquinado, así como automatizar la creación de documentación de producción.

2.3.3 Sistemas CAD/CAM. El Diseño y la fabricación asistida por ordenador (CAD/CAM) es una disciplina que estudia el uso de sistemas informáticos como herramienta de soporte en todos los procesos involucrados en el diseño y la fabricación de cualquier tipo de producto.

Esa disciplina se ha convertido en un requisito indispensable para la industria actual que se enfrenta a la necesidad de mejorar la calidad, disminuir los costes y acortar los tiempos de diseño y producción. (Wordpress, 2013)

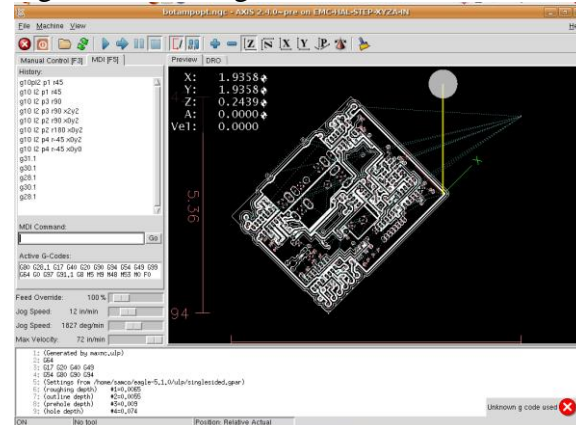
2.3.4 *Ventajas de la implementar sistemas CAD/CAM.* Las ventajas del implementar la tecnológica CAD/CAM son las siguientes: (P.F., 2012)

- Permite a los fabricantes de abaratar los costes de producción, reduciendo la mano humana de los operadores y, disminuyendo también, los posibles errores que puedan ocurrir durante el proceso.
- Los productos se diseñan más rápido
- Los costes del diseño de los productos se reducen
- Analizar la viabilidad de un producto
- Mejor adaptación a las exigencias del mercado
- Calcular el coste de la fabricación
- Mejora en general del diseño con respecto al diseño sin herramientas CAD

2.4 Software EMC2

El Enhanced Machine Controller (EMC) es un potente software de control de máquinas de control numérico basado en Linux que permite disponer de un sistema de control de movimientos para los ejes de la máquina, un intérprete inmejorable del lenguaje estándar RS274 (de códigos G), así como diversas interfaces gráficas de usuario. (GÓMEZ, 2009)

Figura 3 Interfaz gráfica del software EMC2.



Fuente: Jesús Gómez, 16 de diciembre de 2009. Control de un CNC mediante EMC2

2.5 Fresadora

La fresadora es una de las máquinas herramienta más versátil y útil, la primera fue construida en el año de 1820 por Eli Whitney. En la actualidad existen diversos tipos de fresadoras cada una con diferentes características, sin embargo, en los últimos años los centros de maquinado las han ido reemplazando.

La mayoría de las fresadoras cuentan con piezas similares entre ellas, las cuales tienen una función principal dentro de la operación de maquinado, estas piezas son: la mesa de trabajo, que es donde se sujeta el material a maquinar, el carro, es aquel que soporta la mesa de trabajo y al mismo tiempo proporciona ciertos movimientos lineales al maquinado, el cabezal es el que contiene al husillo, y el sujetador del cortador, es aquí donde se proporciona el movimiento rotacional al cortador.

Dentro de las fresadoras más comunes se encuentra la fresadora de tipo columna y codo, en donde el cortador es montado en el husillo, el cual puede ser horizontal o vertical, ya sea para fresado periférico o para fresado de careado y frontal respectivamente.

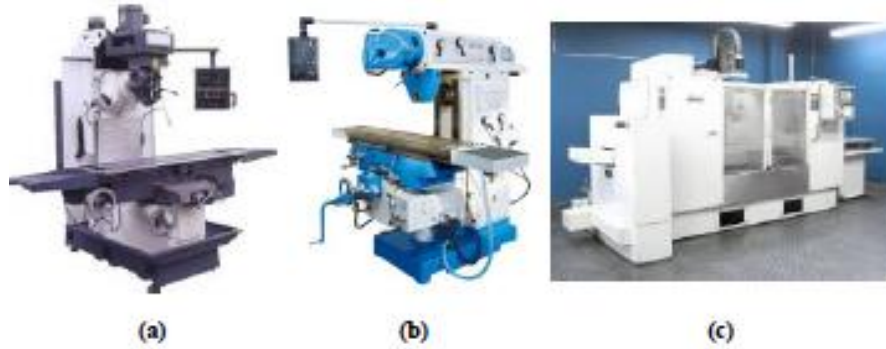
Las fresadoras de tipo bancada tienen la propiedad de ser de alta rigidez, ya que la mesa de trabajo está sujeta a una bancada, de tal forma que solo puede moverse en una sola dirección, comúnmente este tipo de fresadora es usada en trabajos de alta producción.

Las fresadoras tipo cepilladora son similares a las de tipo bancada, con la diferencia de tener diferentes cabezas y cortadores para poder realizar cortes de diferentes superficies, se utilizan para maquinar piezas de gran volumen y de mejor calidad que una cepilladora.

Las máquinas de control numérico por computadora (CNC) están reemplazando con rapidez a las fresadoras manuales, ya que son más versátiles y tienen la característica de poder realizar diferentes operaciones además del fresado, como lo son: taladrar, mandrilar y machuelear, todo esto con una precisión repetitiva (LASHERAS, 2002).

En la Figura 4 hay tres tipos de máquinas fresadoras, el centro de maquinado mostrado incorpora dos tipos de operaciones, fresado y torneado, (a) Máquina fresadora de tipo bancada. (b) Máquina fresadora de cabezal giratorio. (c) Centro de maquinado CNC.

Figura 4 Tipos de Fresadoras



Fuente: <http://www.thlmachine.com/Default.aspx?iT=1&aID=10&sLT=3&bID=66>,
(Fecha de actualización: 25 de febrero de 2016)

2.5.1 Router CNC. El router es comúnmente utilizado de forma manual para trabajos artesanales, sin embargo existe un aditamento conocido como mesa del router, la cual es utilizada para trabajos de mayor precisión, ya que al trabajar a altas revoluciones es común que la precisión disminuya debido a tres factores: al movimiento del router, al movimiento de la pieza de trabajo o a las vibraciones resultado del contacto y corte entre el material y la herramienta. La función principal de una mesa para router es fijar al router en una posición vertical, en la mayoría de las mesas comerciales el router es fijado en la parte de abajo de la mesa, dejando salir solo al cortador por un orificio en la misma, además, permite alinear el material en una sola posición y deslizarlo a lo largo de mesa para dejar que el cortador realice su función (Figura 5 (a) Mesa para router marca Craftsman. (b) Mesa para router marca Clarke modelo CRT1). Algunas mesas tienen aditamentos para poder conectar un sistema de succión mediante una aspiradora, esto para poder retirar la viruta producto del corte (ALAIN, 2011).

Figura 5 Tipos de Mesa para Router



Fuente: (a) [http:// www.craftsman.com](http://www.craftsman.com), (b)
<http://www.clarkeinternational.com/pages/clarke-home>.

Así pues, la mesa de corte puede ser considerada como precursora de un router automatizado, esto con la finalidad de poder realizar trabajos similares al de una máquina-herramienta de control numérico, en donde se desarrollan operaciones de fresado, torneado, taladrado, entre otras, pero con la particularidad de sólo realizar trabajos de fresado con materiales cuya dureza no necesite motores de gran potencia para poder ser maquinados y con un costo considerablemente bajo en comparación con las grandes máquinas-herramienta, utilizando una precisión muy cercana a la de los centros de maquinado.

El control numérico tiene sus orígenes a finales de la década de 1940 y principios de 1950 por John T. Parsons en colaboración con el Massachusetts Institute of Technology (MIT) con el propósito de ayudar a la manufactura después de la guerra y facilitar la construcción de aviones. En el año de 1952 fueron utilizadas tarjetas perforadas o cintas de aluminio para realizar los primeros programas de control numérico, con la llegada de los microprocesadores se hizo posible la conexión entre los ordenadores y las máquinas y así poderlas controlar por medio de las computadoras. Las máquinas CNC fueron construidas originalmente para maquinar metales pero con el tiempo se realizaron adecuaciones para nuevos diseños y así poder trabajar maderas, plásticos, espumas, telas y otros materiales. No importando la función de las máquinas CNC, todas ellas tienen cuatro características en común (ALAIN, 2011).

- Un programa
- Un controlador
- Una máquina herramienta
- Una estructura que la soporte

Cada una de estas características cumple con una función importante dentro del sistema general en la operación de maquinado de piezas.

Un router CNC difiere de una máquina-herramienta para trabajar metales principalmente en la cantidad de esfuerzos, cargas y vibraciones a la que está sometida cada una de ellas, por ejemplo, una fresadora puede alcanzar hasta 60,000 [RPM] con mesas de trabajo de 1.5 por 6 metros de longitud y velocidades de corte de 3000 [m/min], además de las

velocidades, la precisión y las tolerancias son mayores en las máquinas para trabajar metales.

Un Router CNC se puede definir como una herramienta automatizada de control numérico de 3 ejes utilizada para manufacturar piezas de diferentes materiales blandos, como lo son: madera, acrílico, cerámicos, entre otros. Este tipo de máquinas es utilizado en la pequeña y mediana empresa para generar piezas artesanales con acabados precisos sin tener que recurrir a las grandes máquinas comerciales. Isao Shoda afirma haber hecho las primeras máquinas router CNC en el mundo y haberlas exhibido en la feria internacional de Osaka en 1968.

Un Router CNC está constituido básicamente por 11 componentes, los cuales se pueden dividir en 3 sistemas principales que deben trabajar en conjunto, esto para asegurar su óptimo funcionamiento (ALAIN, 2011).

- Sistema mecánico y estructura del router.
 - Mesa de trabajo
 - Movimientos del router
- Sistema de accionamiento
 - Ejes de desplazamiento
 - Fijación de material
 - Fijación de la herramienta manual
- Sistema de automatización y control.
 - Controladores
- Programación de control numérico
 - Maquinaria de corte.
 - Router manual
 - Herramienta de corte
 - Parámetros de corte

Un ejemplo de un router comercial se puede observar en la Figura 6, es un router de la marca PRECIX modelo PCX-BT que utiliza un router manual Porter Cable de 3 ¼ HP de potencia como máquina de corte y tiene un área de corte de 1.22 por 1.22 metros.

Método 1: El circuito se dibuja directamente sobre la placa de cobre de forma manual usando marcadores de tinta indeleble resistente al agua; se utiliza solo en casos de circuitos electrónicos de baja complejidad. Posteriormente se procede al ataque químico usando cloruro férrico o una solución de ácido clorhídrico con agua oxigenada, este proceso dura varios minutos, es necesario mecer el recipiente constantemente y luego se realiza el taladrado manual del PCB.

Método 2: Similar al anterior pero en lugar de dibujar manualmente las pistas con marcador, se utilizan cintas plásticas adheribles y/o transferibles de pistas y sus variaciones según encapsulados de componentes: PAD, SIP, DIP o DIL, entre otros.

Método 3: Se diseña en Proteos o en cualquier programa ECAD (Electronic Computer – aided Design) de diseño electrónico de PCBs. Después de imprimirlo en papel transfer, se transfiere el dibujo al cobre con calor, en la mayoría de casos se usa una plancha doméstica. Luego se procede al ataque químico y al taladrado.

Método 4: Se diseña el circuito en un programa ECAD, se lo imprime en negativo en una lámina termoresistente. Se utiliza soluciones químicas de serigrafía como foto emulsión y pintura acrílica para cubrir la lámina de cobre de la placa, se coloca encima la lámina transparente con el dibujo del circuito y se aplica luz UV con mucho cuidado por varios minutos. Al finalizar se aplica otro químico para revelar las pistas en la placa y luego de la limpieza de la placa de circuito impreso se realiza el taladrado.

2.6.2 *La Fabricación de PCBs utilizando tecnología CNC.* Este método simplifica el proceso completo y sustituye el uso de materiales extras. Primero se diseña el circuito en programas ECAD (ElectronicComputer – AidedDesign), utilizando software especializado se genera el código que ordena a la máquina CNC. Y la máquina procede dibujar sobre la lámina de cobre las pistas y realizar el taladrado respectivo. (MITZNER, 2009)

2.6.3 *Diferencias entre los métodos de producción de las placas (PCBs).* Para realizar esta evaluación nos tomaremos como base el proceso de fabricación de acuerdo a cada método y citaremos los elementos que intervienen durante su fabricación para

evaluar que método es más eficiente. Dando una calificación a cada aspecto como en un rango del 1 al 10 tomando en consideración: Bajo=1 y Alto=10

Tabla 1 Valoración de los métodos de fabricación de circuitos (PCBs)

Uso de:	Método 1	Método 2	Método 3	Método 4	Tecnología CNC
Marcador indeleble	x		x		
Adhesivos		x			
Papel transfer			x		
Agua			x		
Plancha			x		
Recipientes	x	x	x	X	
Químicos de serigrafía				X	
Removedor de tinta	x		x		
Lamina transparente				X	
Luz ultravioleta				X	
Ataque químico	x	x	x	X	
Dinero invertido por cada placa	4	4	6	5	1
Esfuerzo invertido por cada placa	8	7	10	6	1
Tiempo invertido por cada placa	7	8	10	7	3

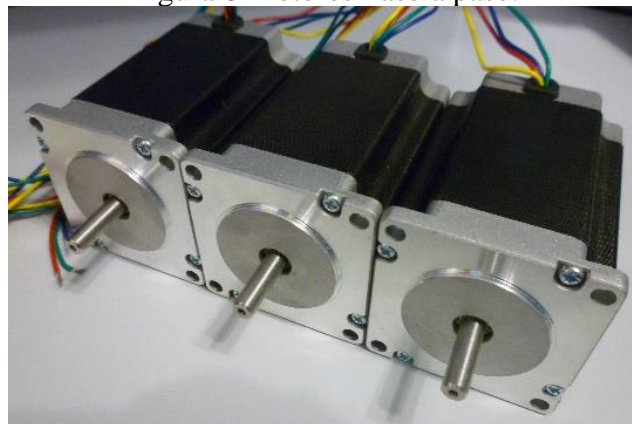
Fuente: Autores

Como se puede apreciar en la Tabla 1 el método de producción más eficiente es el que usa tecnología CNC.

2.7 Motores paso a paso.

El motor a paso es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos (Carletti, 2015).

Figura 8 Motores Paso a paso.



Fuente: AHIP CNC, 2011, Motor paso a paso

CAPITULO III

3. DISEÑO Y CÁLCULOS DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS DE LA MÁQUINA CNC.

Para iniciar con el diseño de los componentes mecánicos se toma como referencia el fin en el que se va a usar la máquina como es el ruteado de placas PCBs las cuales servirán para la recuperación de PLCs, estas placas tienen dimensiones considerablemente pequeñas para lo cual se propone lo siguiente:

3.1 Parámetros de diseño.

3.1.1 *Espacio de trabajo.* El espacio de trabajo para este proyecto se tiene un las siguientes dimensiones:

- Recorrido eje X = 300 mm.
- Recorrido eje Y = 400 mm.
- Recorrido eje Z = 50mm.

Peso del spindle y su base = 2 Kg.

3.1.2 *Velocidad de corte (Vc).* Es la velocidad lineal de la periferia de la pieza que está en contacto con herramienta de fresado. La ecuación (Ec 3.1), de la velocidad de corte, que se expresa en metros por minuto (m/min), tiene que ser elegida antes de iniciar el mecanizado y su valor adecuado depende de muchos factores, especialmente de la calidad y tipo de fresa que se utilice, de la dureza y la maquinabilidad que tenga el material que se mecanice y de la velocidad de avance empleada, la potencia de los motores y de la rigidez de la fijación de la pieza y de la herramienta.

Ecuación 3.1

$$Vc = \frac{\pi * d * N}{1000} = \frac{m}{min}$$

De donde:

$$\pi = 3.1416$$

d = Diámetro de la fresa (mm)

N = Revoluciones por minuto (R.P.M)

Como útil de corte se va a emplear una fresa piramidal, recubierta de XTIALN, cuyo distribuidor es Vinil Shop, dentro de su catálogo muestra las siguientes velocidades de corte como se indica en la Tabla 2

Tabla 2 Velocidad de corte m/min y avance mm/min

Materiales	Velocidad m/min	Velocidad Ad mm/diente	Observaciones
ALUMINIO	200/400	0,03/0,10	Petróleo o RGV -Copos suaves, adherentes
ALEAC. ALUMINIO	200/400	0,03/0,10	Emulsión de Aceite de Corte Copos más secos
LATONES	150/300	0,02/0,10	Emulsión de Aceite de Corte
BRONCES-ZINC	100/150	0,002/0,10	Emulsión de Aceite de Corte
PLASTICOS (Baquelita)	50/100	0,04/0,20	Aire
TERMOPLÁSTICOS (Acetato) (Plexi) (Pvc) (Nylon)	100/50	0,04/0,20	Aire Agua Vaporizada
ACERO-INOX	90	0,002/0,02	Emulsion de Aceite de Corte
MADERA	60/100	0,02/0,12	Aire

Siempre es mejor tener un chorro de aire bien dirigido (acción mecánica muy importante) antes que un chorro únicamente de limpieza.

Fuente: Catalogo VinilShop, Herramientas de corte y grabado, 2016

3.1.3 Avance/diente (S_z). Para prolongar la vida útil de la herramienta y garantizar un corte óptimo se debe seleccionar un avance por diente correcto.

Si el avance es bajo ocasiona un desgaste prematuro de los dientes, caso contrario con un avance excesivo se corre el riesgo que el espacio entre dientes no sea suficiente para transportar la viruta, la Tabla 2 muestra el avance/diente recomendado para distintos materiales a trabajar:

3.1.4 Velocidad de avance (s'). Muy ligada a la fresa, el material de la pieza, la profundidad de corte y la calidad superficial que se desee. Representa el desplazamiento de la herramienta respecto a la pieza, en función del avance por diente se puede calcular mediante la ecuación (Ec. 3.2): (GERLING, 1992)

Ecuación 3.2

$$s' = Sz * z * N = \frac{mm}{min}$$

De donde:

Sz = avance / diente (mm)

z = Número de dientes de la fresa.

N = R.P.M.

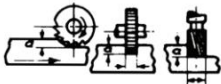
3.1.5 *Sección de viruta (Sv)*. Existe una relación entre el avance por diente de la fresa (Sz) y la profundidad de corte, como se muestra en la ecuación (Ec 3.3), también depende del tipo de fresado que se realice.

Para elegir la profundidad de fresado nos basamos en la Tabla 3

Ecuación 3.3

$$Sv = a * sz = mm^2$$

Tabla 3 Normalización de las profundidades de corte o fresado
NORMALIZACION DE LAS PROFUNDIDADES DE FRESADO

	Profundidades de fresado «a» y ancho de corte		
	Fresado en terminación y con pasada única	Fresado en desbaste	Fresado en Afinado
1. Fresas Cilíndricas.	Todo el ancho de la fresa, a = 3 mm.	Todo el ancho de la fresa, a = 5-8 mm.	Todo el ancho de la fresa, a = 1 mm.
2. Fresas Frontales.	Ancho = al diámetro de la fresa, a = 3 mm.	La mitad del diámetro de la fresa, a = 5 mm.	Igual al diámetro de la fresa, a = 1 mm.
3. Fresas Frontales de mango.	Igual al diámetro de la fresa, a = 2 mm.	La mitad del diámetro de la fresa, a = 4 mm.	Igual al diámetro de la fresa, a = 0,5 mm.
4. Fresas de disco.	a = Ancho de la fresa como máximo	a = a la mitad del ancho de la fresa	a = 5 % del ancho de la fresa
5. Fresas de forma.	a = Todo el perfil en pequeñas formas	a = 1.ª Pasada 45 % altura, 2.ª 45 %	a = 10 % de la altura de su forma

Fuente: A.L. Casillas

3.1.6 *Volumen de viruta arrancado o cantidad máxima posible (V)*. En el fresado tangencial, el volumen de viruta arrancado se expresa en cm^3 por minuto, se obtiene de la ecuación (Ec 3.4):

Ecuación 3.4

$$V = \frac{a * b * s'}{1000} = \frac{cm^3}{min}$$

Donde:

a = Profundidad de corte o fresado

b = Anchura de corte o diámetro de la fresa

s' = Velocidad de avance.

En la ecuación (3.5) está relacionada la cantidad admisible en cm³/KW. Min y la potencia de la máquina.

Ecuación 3.5

$$V = V' * P = \frac{cm^3}{min}$$

Donde:

V' = Cantidad admisible en cm³/KW. Min

P = Potencia de la máquina en KW.

Tabla 4 Cantidad admisible de viruta al fresar

Cantidad V'Admisible de virutas en cm ³ /Kw min de potencia en la máquina						
Clase de fresado	Acero sin alear 35...60 kg/mm ² de resistencia	Acero aleado 6080 kg/mm ² de resistencia	Acero aleado hasta 100 kg/mm ² de resistencia	Fundición gris semidura	Latón y bronce rojo	Metales ligeros
Fresado con fresa cilíndrica	12	10	8	22	30	60
Fresado con fresa frontal	15	12	10	28	40	75

Fuente: máquinas herramientas gerling

3.1.7 *Presión de corte.* Establece que la fuerza de corte es directamente proporcional a la sección de la viruta indeformada por una constante de proporcionalidad K_s , llamada presión de corte (Ec. 3.6).

Ecuación 3.6

$$F_c = K_s * S_v$$

Donde:

Ecuación 3.7

$$K_s = K_{s0} * e^{-z}$$

Ecuación 3.8

$$e = \left(\frac{s'}{z * N} \right) * \left(\sqrt{\frac{a}{b}} \right)$$

A_c = Área de corte o sección de viruta (S_v).

En la Tabla 5 se obtienen valores de presión específica de corte referenciales de K_{s0} y z , de acuerdo al material a trabajar.

Tabla 5 Valores de presión específica de corte

MATERIAL	k_{s0} da N/mm²	z
Cobre	78	0.3
Bronce	124	0.3
Latón	54	0.3
Plásticos	19	0.3

Fuente: Manufacturing Engineering and Technology, Ptience hall 2000

3.1.8 *Cálculos:*

Datos:

Material: Plástico (baquelita).

$D = \text{Diámetro de la fresa} = 3 \text{ mm} = b = \text{ancho de la fresa}$

$z = \text{Numero de dientes} = 2$

$V_c = \text{Velocidad de corte de acuerdo a la Tabla 2} = 100 \text{ m/min}$

$S_z = 0.2 \text{ mm}$ se escoge de la Tabla 2 por ser plástico baquelita.

$A = 2 \text{ mm}$ de acuerdo a la Tabla 3

$V' = 75 \text{ cm}^3 / \text{Kw} * \text{min}$ según la Tabla 4

Cálculo de la velocidad de corte:

$$N = \frac{V_c * 1000'}{\pi * d} = \frac{100 * 1000}{\pi * 6} = 10610,329 \text{ RPM}$$

Cálculo de la velocidad de avance:

$$s' = S_z * z * N = 0.2 * 2 * 10610,329 = 4244,132 \text{ mm}/\text{min}$$

Cálculo de la sección de la viruta:

$$S_v = a * S_z = 2 * 0,2 = 0.4 \text{ mm}^2$$

Cálculo de la cantidad máxima admisible de viruta:

$$V = \frac{a * b * s'}{1000} = \frac{2 * 3 * 4244,132}{1000} = 25,46 \text{ cm}^3 / \text{min}$$

Cálculo de la potencia del tupi.

$$P = \frac{V}{V'} = \frac{25,46}{75} = 0,339 \text{ KW}$$

$$\approx 339 W$$

En el mercado no existen Spindles de 339 W por lo que se orienta a seleccionar uno inmediato superior de 350 W, con una velocidad de superior a la calculada.

3.1.9 Cálculo de la fuerza de corte:

$$e = \left(\frac{s'}{z * N} \right) * \left(\sqrt{\frac{a}{b}} \right) = \left(\frac{4244,132}{2 * 10610,329} \right) \left(\sqrt{\frac{2}{3}} \right) = 0.16mm$$

$$k_s = K_{s0} * e^{-z} = \left(19 \frac{N}{mm^2} \right) * (0.16)^{-0.3} = 32,92 \frac{N}{mm^2}$$

$$F_c = K_s * S_v = \left(32,92 \frac{N}{mm^2} \right) * (0.4 mm^2) = 13.17N$$

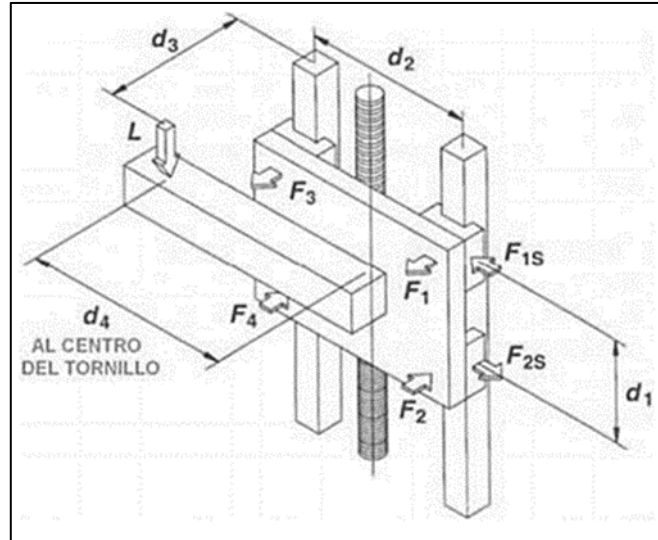
3.2 Diseño De La Máquina.

Para realizar el diseño optamos por realizarlo por secciones de acuerdo a lo los movimientos que realiza el prototipo, como son en el eje X, Y, Z, describiendo el diseño para la estructura de cada eje como se muestra a continuación.

3.2.1 *Diseño de la estructura vertical coordenada Z.* La estructura del eje Z se desplazará de tal manera que regule la altura en el material a trabajar, para su diseño se toma la siguiente consideración que detallamos a continuación de la estructura utilizada en nuestro estudio:

3.2.1.1 *Estructura vertical o Eje Z con carga vertical.* Se considera la carga que es aplicada en la misma dirección del recorrido (Figura 9), se puede usar las siguientes ecuaciones para calcular las cargas en cada bloque de las guías. Este tipo de configuración generalmente se encuentra en las aplicaciones verticales. Es importante considerar la orientación de la carga aplicada con respecto al sistema de guías, esto significa que estas ecuaciones pueden usarse aun cuando la orientación de la carga no es vertical, con tal que la carga conserve la relación con las guías (Techno, 2008).

Figura 9 Traslación vertical con carga vertical (Ecuaciones de cálculo)



Fuente: Technical Information, Techno INC. Pag 22. Techno Linear Motion Catalog

Ecuación 3.9

$$F_1 = F_3 = \frac{L(d_3)}{2(d_1)}$$

Ecuación 3.10

$$F_2 = F_4 = -\frac{L(d_3)}{2(d_1)}$$

Ecuación 3.11

$$F_{1S} = F_{3S} = \frac{L(d_4)}{2(d_2)}$$

Ecuación 3.12

$$F_{2S} = F_{4S} = -\frac{L(d_4)}{2(d_2)}$$

En este proyecto se tiene

Ecuación 3.13

$$L = W + F_c$$

Donde:

$W = 2 \text{ Kg} = (19,6 \text{ N})$ Fuerza ejercida por el Spindle o cabezal de la herramienta.

$F_c = 13,17 \text{ N} =$ Fuerza de corte

$$L = W + F_c = 19,6 \text{ N} + 13,17 \text{ N} = 32,77 \text{ N}$$

$d_1 = 30 \text{ mm}.$

$d_2 = 50 \text{ mm}.$

$d_3 = 65 \text{ mm}.$

$d_4 = 0 \text{ mm}$, porque la ubicación de la carga (L) del cabezal de la herramienta se encuentra en el centro y paralela al tornillo.

En la Figura 9 se obtiene las ecuaciones (Ec. 3.9), (Ec. 3.10), (Ec. 3.11) y (Ec. 3.12), se reemplaza los valores y se obtiene:

$$F_1 = F_3 = \frac{L}{2} \left(\frac{d_3}{d_1} \right) = \frac{32,77}{2} \left(\frac{60}{30} \right) = 32,77 \text{ N}$$

$$F_2 = F_4 = -\frac{L}{2} \left(\frac{d_3}{d_1} \right) = -\frac{32,77}{2} \left(\frac{60}{30} \right) = -32,77 \text{ N}$$

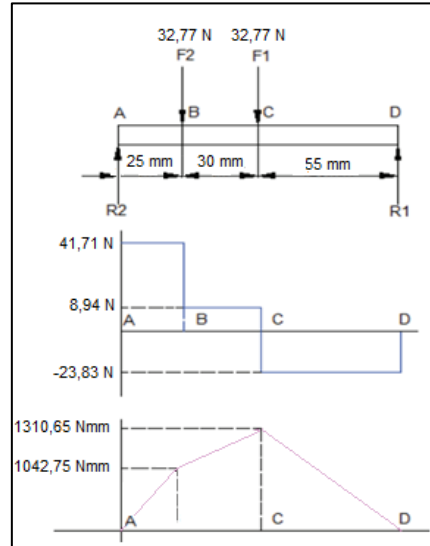
$$F_{1s} = F_{3s} = \frac{L}{2} \left(\frac{d_4}{d_2} \right) = \frac{32,77}{2} \left(\frac{0}{50} \right) = 0 \text{ N}$$

$$F_{2s} = F_{4s} = -\frac{L}{2} \left(\frac{d_4}{d_2} \right) = -\frac{32,77}{2} \left(\frac{0}{50} \right) = -0 \text{ N}$$

3.2.1.2 Flechas o ejes guías coordenada Z. Los ejes son los principales elementos en esta coordenada, con la fuerza F_1 y $F_2 = 32,77 \text{ N}$, calculas en él ítem anterior se realiza

el diseño de los mencionados dispositivos con $L1 = 25 \text{ mm}$, $L2 = 30 \text{ mm}$, $L3 = 55 \text{ mm}$, aplicando los diagramas de fuerzas y momentos flectores de la Figura 10.

Figura 10 Diagrama cuerpo libre, fuerzas y momentos flectores.



Fuente: Autores

Ecuación 3.14

$$\sum Fy = 0$$

$$R2 - F2 - F1 + R1 = 0$$

$$R2 = F2 + F1 - R1$$

$$R2 = 32.77 + 32.77 - 23.83$$

$$R2 = 41,71 \text{ N}$$

Ecuación 3.15

$$\sum MA = 0$$

$$(F2 * 25) + (F1 * 55) - (R1 * 110) = 0$$

$$R1 = \frac{(32.77 * 25) + (32.77 * 55)}{110}$$

$$R1 = 23,83 \text{ N}$$

Ecuación 3.16

$$A1 = R2 * L1$$

$$A1 = 41,71 * 25$$

$$A1 = 1042,75 \text{ Nmm}$$

Ecuación 3.17

$$A2 = (R2 - F2) * L2$$

$$A2 = (41,71 - 32,77) * 30$$

$$A2 = 268,2 \text{ Nmm}$$

Ecuación 3.18

$$A3 = (R2 - F2 - F1) * L3$$

$$A3 = (41,71 - 32,77 - 32,77) * 55$$

$$A3 = -1310,65 \text{ Nmm}$$

Ecuación 3.19

$$A3 = (R1 * L3)$$

$$A3 = (23,83 * 55)$$

$A3 = 1310,65 \text{ Nmm}$ Comprobación

- *Cálculo de flechas o ejes guías.*

Ecuación 3.20

$$\sigma_{max} = \frac{M}{S}$$

Ecuación 3.21

$$S = \frac{\pi d^3}{32}$$

Ecuación 3.22

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{max}}$$

Donde:

σ_{max} = Esfuerzo normal máximo.

M = Momento flector máximo.

S = Módulo de resistencia para una sección transversal cilíndrica.

N = Factor de seguridad ($n > 1$, valor entre: 1,5 – 2,5) (MOTT, 2009)

S_y = Resistencia a la fluencia del material.

Para el diseño se considera un factor de seguridad $n = 2$.

Para encontrar los diámetros de los ejes se analiza el tipo de material con el que están fabricados los ejes encontrando una denominación de acero fino no aleado Cf53 (material núm. 1.1213), Ck53 (material núm. 1.1210), C60 (material núm. 1.0601), equivalente a

AISI/SAE 1050 encontrado el material se localiza el valor S_y . (SKF, 2011)

Tabla 6 Propiedades mecánicas acero AISI 1050

Properties		Conditions	
		T° C	Treatment
Density (x1000 kg/m ³)	7,7 – 8,3	25	
Poisson's Ratio	0,27 – 0,30	25	
Elastic Modulus (Gpa)	190 – 210	25	
Tensile Strength (Mpa)	636		
Yield Strength (Mpa)	365,4	25	annealed at 790°C
Elongation (%)	23,7		
Reduction in Area (%)	39,9		
Hardness (HB)	187	25	annealed at 790°C
Impact Strength (J)	16.9	25	annealed at 790°C

Fuente: http://www.efunda.com/materials/alloys/carbon_steels/show_carbon.cfm?ID=AI SI_1050&prop=all&Page_Title=%20AISI%201050

S_y en las propiedades del acero Cf53 (Tabla 6) que tiene un $S_y=365,4$ se remplaza en la ecuación Ec. 3.22 se tiene:

$$\sigma_{max} = \frac{S_y}{n} = \frac{365,4}{2} = 182,7 \text{ N/mm}^2$$

Del análisis de fuerzas y diagrama de momentos flectores de la Figura 10 se tiene un $M = 1310,95 \text{ Nmm}$ o de la ecuación Ec. 3.18, aplicando la ecuación Ec. 3.20 se tiene:

$$S = \frac{M}{\sigma_{max}} = \frac{1310,65 \text{ Nmm}}{182,7 \text{ N/mm}^2} = 7,17 \text{ mm}^3$$

Mediante la ecuación Ec. 3.21, se obtiene el diámetro del eje.

$$d = \sqrt[3]{\frac{32S}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 7,17 \text{ mm}^3}{\pi}} = 4,18 \text{ mm}$$

A partir de los cálculos realizados necesitamos un eje de 4,18 mm, pero considerando que el tipo de mecanismo que se pretende implementar el por medio de rodamientos lineales,

se revisa la disponibilidad en base al catálogo SKF - UNIDADES Y RODAMIENTOS LINEALES PARA EJES PRELUBRICADOS DE FÁBRICA, en la sección de: Ejes de precisión.

Tabla 7 Ejes de precisión

Dimensiones			Masa		Par de inercia		Sección transversal		Designaciones				
d	d ₁	r _{min}	Eje macizo	Eje hueco	Eje macizo	Eje hueco	Eje macizo	Eje hueco	Ejes macizos de acero de precisión	Ejes macizos de acero inox.	Ejes macizos con acero fino endurecido al cromo	Eje hueco de acero fino	
			kg/m	cm ⁴	mm ²	Cf53/Ck53	X90CrMoV18	X46Cr13	Cf53/Ck53	C60/100Cr6			
10	—	—	0,62	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
12	4	1	0,89	0,79	0,102	—	113	—	LJM 12	LJMR 12	LJMS 12	LJM 12	
14	—	1	1,21	—	0,189	—	154	—	LJM 14	LJMR 14	LJMS 14	LJM 14	
16	7	1	1,58	1,28	0,322	0,310	201	163	LJM 16	LJMR 16	LJMS 16	LJM 16	
20	14	1,5	2,47	1,25	0,785	0,597	314	160	LJM 20	LJMR 20	LJMS 20	LJM 20	
25	16	1,5	3,86	2,35	1,92	1,64	491	305	LJM 25	LJMR 25	LJMS 25	LJM 25	
30	18	1,5	5,55	3,5	3,98	3,46	707	453	LJM 30	LJMR 30	LJMS 30	LJM 30	
40	28	2	9,86	4,99	12,6	9,96	1 260	685	LJM 40	LJMR 40	LJMS 40	LJM 40	
50	30	2	15,4	9,91	30,7	27,7	1 960	1 350	LJM 50	LJMR 50	LJMS 50	LJM 50	
60	36	2,5	22,2	14,2	63,6	57,1	2 830	1 920	LJM 60	LJMR 60	LJMS 60	LJM 60	
80	57	2,5	39,5	19,43	201	153	5 030	2 565	LJM 80	—	LJMS 80	LJM 80	

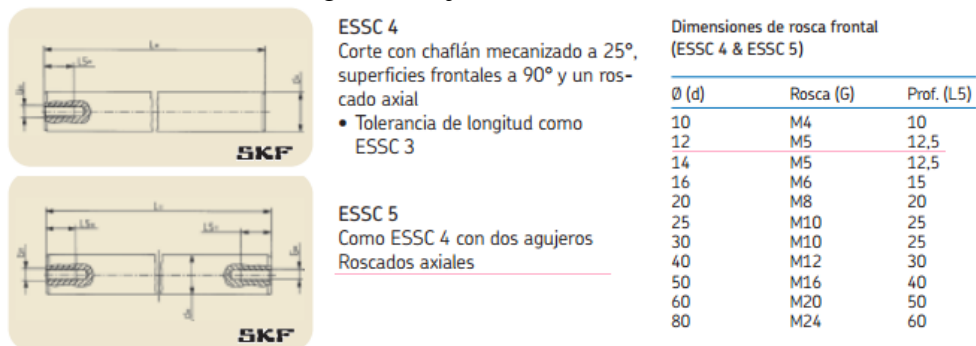
¹⁾ Ejes cortados a longitud especial con extremos en chaflán. La tolerancia de longitud de estos ejes equivale a la de categoría media LJM 20x1500 ESSC2. La designación de un eje de 20 mm de diámetro y cortado a una longitud de 1,5 m sería p.ej. LJM 20x1500 ESSC2.

SKF

Fuente: Unidades y rodamientos lineales para ejes prelubricados de fábrica skf. Pag 56

Al revisar la Tabla encontramos que no existe el rodamiento lineal para un diámetro de 4,18 mm, así que se opta por un eje de diámetro superior, seleccionando el eje 12 mm con su respectivo rodamiento LM12UU; se debe considerar que se descartó el eje de 10 mm pues no presenta la información técnica del producto, por lo tanto los ejes guías del carro vertical son de 12 mm de diámetro de tipo ESSC5 como se muestra en la Figura 11:

Figura 11 Ejes estándar ESSC.



Fuente: Unidades y rodamientos lineales para ejes prelubricados de fábrica SKF. Pag 54

Este valor nos sirve para dimensionar el elemento donde se va a sujetar y fijar los ejes

también, permite aprovechar un mayor campo de deslizamiento pues será en su totalidad del eje debido al modo de sujeción, se debe considerar que deben ser resistentes al desgaste abrasivo y adhesivo, y principalmente debe tener una estabilidad dimensional como son los ejes de acero AISI/SAE 1050 para las coordenada Z.

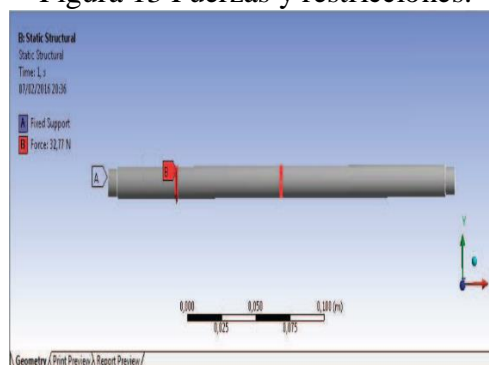
Figura 12 Flechas o ejes guías coordenada Z



Fuente: Autores

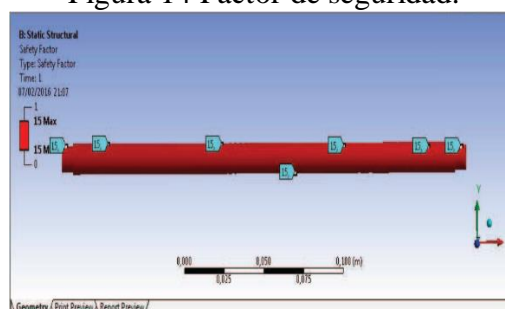
Empleando el software Ansys de elementos finitos se analiza el factor de seguridad de los ejes coordenada “Z” aplicando fuerzas y restricciones como se indica en la Figura 13, obtenemos un factor de seguridad de 15 como se aprecia en la Figura 14.

Figura 13 Fuerzas y restricciones.



Fuente: Autores

Figura 14 Factor de seguridad.



Fuente: Autores

3.2.1.3 *Cálculo del tornillo de potencia coordenada Z.* Se necesita el peso total que va a mover el tornillo y se obtiene mediante la ecuación Ec. 3.22:

Ecuación 3.23

$$F = W + F_c + W_z$$

Donde:

$W = 2 \text{ Kg} = (19,6 \text{ N})$ Fuerza ejercida por el Spindle o cabezal de la herramienta (Spindle más base).

$F_c = 13,17 \text{ N} =$ Fuerza de corte

$W_z = 1,4 \text{ Kg} = (13,72 \text{ N})$ Peso de la estructura coordenada Z.

Aplicando la Ec. 3.23 se tiene:

$$F = 19,6 \text{ N} + 13,17 \text{ N} + 13,72 \text{ N} = 46,49 \text{ N}$$

El área transversal del tornillo de potencia se calcula con la siguiente ecuación:

Ecuación 3.24

$$A = \frac{F}{\sigma}$$

Donde:

$F = 46,49 \text{ N}$ Peso o fuerza total para el cálculo del tornillo Z.

Para lograr el desplazamiento total de la máquina CNC que se utiliza para nuestro estudio se debe realizar por medio de tornillos de potencia, también llamados husillos, estos elementos son fabricados en un material especial denominado AISI/SAE 1045 y el N° Mat. 1.1213. (Sandvik, 2012).

El material AISI/SAE 1050 posee las siguientes propiedades mecánicas.

Tabla 8 Propiedades mecánicas acero AISI/SAE 1045

Properties		Conditions	
		T (°C)	Treatment
Density (×1000 kg/m ³)	7.7-8.03	25	
Poisson's Ratio	0.27-0.30	25	
Elastic Modulus (GPa)	190-210	25	
Tensile Strength (Mpa)	585	25	cold drawn, annealed (round bar (16-22 mm))
Yield Strength (Mpa)	365.4	25	
Elongation (%)	12		
Reduction in Area (%)	45		
Hardness (HB)	170	25	cold drawn, annealed (round bar (19-32 mm))

Fuente: http://www.efunda.com/materials/alloys/carbon_steels/show_carbon.cfm?ID=AI SI_1045&show_prop=all&Page_Title=AISI%201045

$\sigma = 365.4 \text{ N/mm}^2$ Esfuerzo a la fluencia (Acero AISI/SAE 1050) (Tabla 8)

Entonces:

$$A = \frac{46,49 \text{ N}}{365.4 \text{ N/mm}^2} = 0.127 \text{ mm}^2$$

El diámetro del tornillo se calcula con la siguiente ecuación:

Ecuación 3.25

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

Dónde: $A = 0,2413 \text{ mm}^2$

Aplicando la Ec. 3.25 se tiene:

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0.127 \text{ mm}^2}{\pi}}$$

$$d = 0.402 \text{ mm}$$

Para realizar una selección del tornillo analizamos la disponibilidad elementos en el Ecuador encontrando los más relevantes como son: SKF, Techno, THK, Rexroth, etc.

En la Tabla 9 seleccionamos la marca de la casa comercial para adquirir el husillo que va a mover la coordenada Z.

Tabla 9 Selección marca de la casa comercial.

ALTERNATIVAS	MATERIAL CF53	VARIEDAD DE DIAMETROS	TIPOS DE TUERCAS	FACILIDAD DE OBTENCIÓN	TIPO DE MAQUINADO	VARIEDAD DE PASO	VIDA ÚTIL	VELOCIDAD (RPM)	FORMA DE SUJECCIÓN	LONGITUDES VARIABLES	PRECIO	$\Sigma + 1$	PONDERACIÓN
SKF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,5	11,5	0,33
TECHNO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,0	12	0,35
REXROTH	1	1	1	0,5	1	1	1	1	1	1	0,5	11	0,32
SUMA											34,5	1	

Fuente: Autores

Al realizar el análisis ponderado de las alternativas, la marca Techno se destaca por proporcionar los elementos a bajos precios, distintos pasos, longitudes variables, diferentes tipos de tuercas y la facilidad de obtención

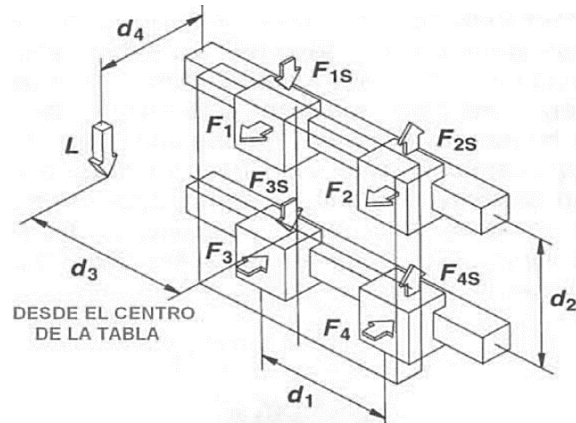
Según los cálculos efectuados el diámetro para el tornillo del eje Z es de 0,402 mm, Analizando la disponibilidad de la marca Techno se encuentra que fabrica husillos a partir de 12 mm, tomando esa alternativa para la selección con un paso 4 mm, maquinado en los extremos y con una longitud de 145 mm.

3.2.2 *Diseño de la estructura horizontal coordenada X.*

3.2.2.1 *Estructura horizontal o Eje X con carga lateral.* Cuando una carga lateral se aplica al sistema de movimiento en el eje X, las cargas en las guías o ejes cambian en forma individual como se muestra en la Figura 15. Cambiando ciertas características para el cálculo de los esfuerzos.

Cada guía tendrá como resultante una carga normal así como una carga lateral. La orientación de la carga aplicada con respecto al sistema de guías es de importante consideración. Esto significa que estas ecuaciones pueden usarse, aun cuando la orientación de la carga no es horizontal, con tal que esta conserve relación con las guías. (Techno, 2008).

Figura 15 Traslación horizontal con carga lateral (Ecuaciones de cálculo)



Fuente: Technical Information, Techno INC. Pag 22. Techno Linear Motion Catalog

Ecuación 3.26

$$F_1 = F_2 = \frac{L}{2} \left(\frac{d_4}{d_2} \right)$$

Ecuación 3.27

$$F_3 = F_4 = -\frac{L}{2} \left(\frac{d_4}{d_2} \right)$$

Ecuación 3.28

$$F_{1s} = F_{3s} = \frac{L}{4} + \frac{L}{2} \left(\frac{d_3}{d_1} \right)$$

Ecuación 3.29

$$F_{2s} = F_{4s} = \frac{L}{4} + \frac{L}{2} \left(\frac{d_3}{d_1} \right)$$

En este proyecto se tiene:

Ecuación 3.30

$$L = W + F_c + W_z + W_x$$

Donde:

$W = 2 \text{ Kg} = (19,6 \text{ N})$ Fuerza ejercida por el Spindle o cabezal de la herramienta (Spindle más base).

$F_c = 13,17 \text{ N} =$ Fuerza de corte

$W_z = 1,4 \text{ Kg} = (13,72 \text{ N})$ Peso de la estructura coordenada Z.

$W_x = 2,7 \text{ Kg} = (26,46 \text{ N})$ Fuerza ejercida por la estructura X.

$$L = W \cdot g + F_c + W_z \cdot g + W_x \cdot g$$

$$L = 19,6 \text{ N} + 13,17 \text{ N} + 13,72 \text{ N} + 26,46 \text{ N} = 72,95 \text{ N}$$

$$d_1 = 40 \text{ mm.}$$

$$d_2 = 70 \text{ mm.}$$

$$d_3 = 0 \text{ mm.}$$

$$d_4 = 104 \text{ mm.}$$

De la Figura 15 se obtiene las ecuaciones (Ec. 3.26), (Ec. 3.27), (Ec. 3.28) y (Ec.3.29), se reemplaza los valores y se obtiene:

$$F_1 = F_2 = \frac{72,95 \text{ N}}{2} \left(\frac{104}{70} \right) = 54,19 \text{ N}$$

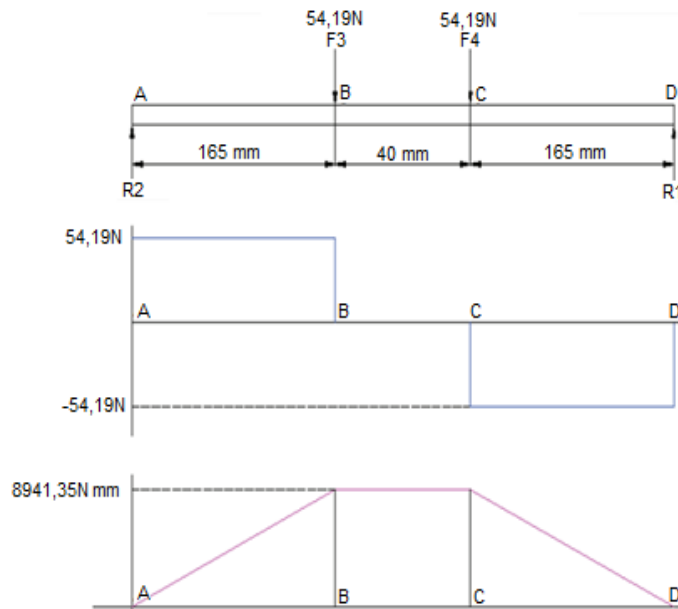
$$F_3 = F_4 = -\frac{72,95 \text{ N}}{2} \left(\frac{104}{70} \right) = -54,19 \text{ N}$$

$$F_{1s} = F_{3s} = \frac{72,95N}{4} + \frac{72,95N}{2} \left(\frac{0}{40} \right) = 18,23N$$

$$F_{2s} = F_{4s} = \frac{72,95N}{4} + \frac{72,95N}{2} \left(\frac{0}{40} \right) = 18,23N$$

3.2.2.2 Flechas o ejes guías coordenada X. Los ejes son los elementos más relevantes de esta estructura, con la fuerza F_3 y $F_4 = 54,19 N$, calculadas anteriormente, se realiza el diseño de estos ejes, $L_1 = 165 \text{ mm}$, $L_2 = 40 \text{ mm}$, $L_3 = 165 \text{ mm}$, aplicando los diagramas de fuerzas y momentos flectores de la Figura 16.

Figura 16 Diagrama cuerpo libre, fuerzas y momentos flectores.



Fuente: Autores

Ecuación 3.31

$$\sum Fy = 0$$

$$R2 - F3 - F4 + R1 = 0$$

$$R2 = F3 + F4 - R1$$

$$R2 = 54,19N + 54,19N - 54,19N$$

$$R2 = 54,19N$$

Ecuación 3.32

$$\sum MA = 0$$

$$(F3 * 165) + (F4 * (165 + 40)) - (R1 * (164 + 40 + 165)) = 0$$

$$R1 = \frac{(54,19N * 165) + (54,19N * 205)}{370}$$

$$R1 = 54,19N$$

Ecuación 3.33

$$A1 = R2 * D1$$

$$A1 = 54,19N * 165$$

$$A1 = 8941,35 \text{ Nmm}$$

Ecuación 3.34

$$A2 = (R2 - F3) * D2$$

$$A2 = (54,19N - 54,19N) * 40$$

$$A2 = 0 \text{ Nmm}$$

Ecuación 3.35

$$A3 = (R2 - F3 - F4) * D3$$

$$A3 = (54,19N - 54,19N - 54,19N) * 165$$

$$A3 = 8941,35Nmm$$

Ecuación 3.36

$$A3 = (R1 * D3)$$

$$A3 = (54,19N * 165)$$

$$A3 = 8941,75Nmm \text{ Comprobación}$$

- *Cálculo de flechas o ejes guías.*

Ecuación 3.37

$$\sigma_{max} = \frac{M}{S}$$

Ecuación 3.38

$$S = \frac{\pi d^3}{32}$$

Ecuación 3.39

$$n = \frac{Sy}{\sigma_{max}}$$

Donde:

σ_{max} = Esfuerzo normal máximo.

M = Momento flector máximo.

S = Módulo de resistencia para una sección transversal cilíndrica.

N = Factor de seguridad ($n > 1$, valor entre: 1,5 – 2,5). (MOTT, 2009)

S_y = Resistencia a la fluencia del material.

Para el diseño se considera un factor de seguridad $n = 2$.

Resistencia a la fluencia del acero DIN CF35 de Aceros Bohler este acero, $S_y = 365,4$ Mpa (Nmm^2). (Tabla: 6)

Este acero equivale a DIN 115CrV3, N° Mat 1.2210, AISI L2 o Thyrodur 2210, el S_y se reemplaza en la ecuación Ec. 3.39 se tiene:

$$\sigma_{max} = \frac{S_y}{n} = \frac{365,4}{2} = 182,7 N/mm^2$$

Del análisis de fuerzas y diagrama de momentos flectores de la Figura 16 se tiene un

$M = 8941,35$ Nmm o de la ecuación Ec. 3.35, aplicando la ecuación Ec. 3.37 se tiene:

$$S = \frac{M}{\sigma_{max}} = \frac{8941,35 Nmm}{182,7 N/mm^2} = 48,94 mm^3$$

Mediante la ecuación Ec. 3.38, se obtiene el diámetro del eje.

$$d = \sqrt[3]{\frac{32S}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 48,94 mm^3}{\pi}} = 7,93 mm$$

Para el eje anterior nos basamos al catálogo SKF para ver la disponibilidad de ejes, en la selección anterior seleccionamos un eje de 12 mm, considerando aquella selección realizaremos un sobre dimensionamiento para contrarrestar esa decisión anterior, por lo tanto los ejes guías para la coordenada “X” van a tener una medida de 16 mm, con su respectivo rodamiento lineal o LM16UU.

Tabla 10 Ejes de precisión

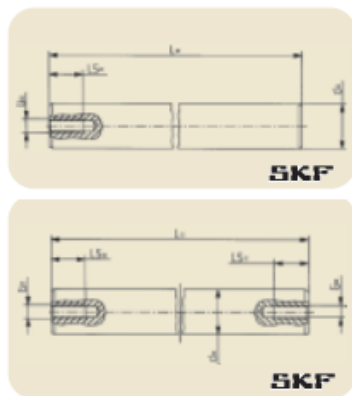
Dimensiones			Masa		Par de inercia		Sección transversal		Designaciones				
d	d ₁	r _{min}	Eje macizo	Eje hueco	Eje macizo	Eje hueco	Eje macizo	Eje hueco	Ejes macizos de acero de precisión	Ejes macizos de acero inox.	Ejes macizos con acero fino endurecido al cromo	Eje hueco de acero fino	
			kg/m		cm ⁴		mm ²		Cf53/Ck53	X90CrMoV18	X46Cr13	Cf53/Ck53	C60/100Cr6
mm													
10	—	—	0,62	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	4	1	0,89	0,79	0,102	—	113	—	LJM 12	LJMR 12	LJMS 12	LJMH 12	LJT 12
14	—	1	1,21	—	0,189	—	154	—	LJM 14	LJMR 14	LJMS 14	LJMH 14	—
16	7	1	1,58	1,28	0,322	0,310	201	163	LJM 16	LJMR 16	LJMS 16	LJMH 16	LJT 16
20	14	1,5	2,47	1,25	0,785	0,597	314	160	LJM 20	LJMR 20	LJMS 20	LJMH 20	LJT 20
25	16	1,5	3,86	2,35	1,92	1,64	491	305	LJM 25	LJMR 25	LJMS 25	LJMH 25	LJT 25
30	18	1,5	5,55	3,5	3,98	3,46	707	453	LJM 30	LJMR 30	LJMS 30	LJMH 30	LJT 30
40	28	2	9,86	4,99	12,6	9,96	1 260	685	LJM 40	LJMR 40	LJMS 40	LJMH 40	LJT 40
50	30	2	15,4	9,91	30,7	27,7	1 960	1 350	LJM 50	LJMR 50	LJMS 50	LJMH 50	LJT 50
60	36	2,5	22,2	14,2	63,6	57,1	2 830	1 920	LJM 60	LJMR 60	LJMS 60	LJMH 60	LJT 60
80	57	2,5	39,5	19,43	201	153	5 030	2 565	LJM 80	—	—	LJMH 80	LJT 80

¹⁾ Ejes cortados a longitud especial con extremos en chaflán. La tolerancia de longitud de estos ejes equivale a la de categoría media LJM 20x1500 ESSC2. La designación de un eje de 20 mm de diámetro y cortado a una longitud de 1,5 m sería p.ej. LJM 20x1500 ESSC2.

SKF

Fuente: Unidades y rodamientos lineales para ejes prelubricados de fábrica skf. Pag 56

Figura 17 Ejes estándar ESSC5



ESSC 4
Corte con chaflán mecanizado a 25°, superficies frontales a 90° y un rosado axial
• Tolerancia de longitud como ESSC 3

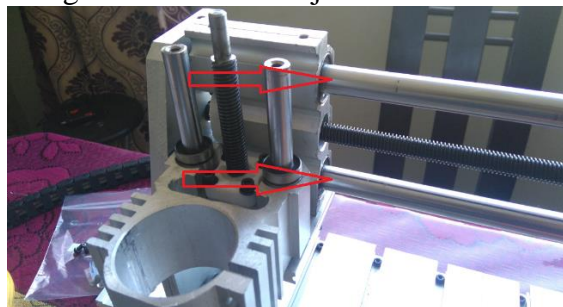
Dimensiones de rosca frontal (ESSC 4 & ESSC 5)

Ø (d)	Rosca (G)	Prof. (L5)
10	M4	10
12	M5	12,5
14	M5	12,5
16	M6	15
20	M8	20
25	M10	25
30	M10	25
40	M12	30
50	M16	40
60	M20	50
80	M24	60

ESSC 5
Como ESSC 4 con dos agujeros
Roscados axiales

Fuente: Unidades y rodamientos lineales para ejes pre-lubricados de fábrica skf. Pag 54

Figura 18 Flechas o ejes coordenada X.

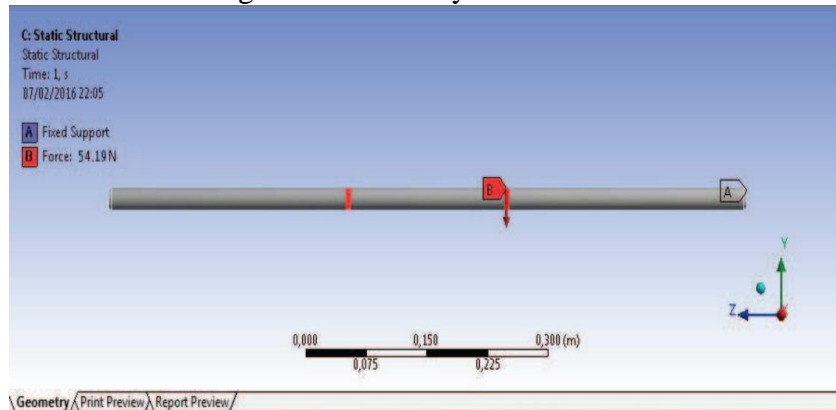


Fuente: Autores

Aplicando Ansys se analiza el factor de seguridad de los ejes de la coordenada “X” aplicando fuerzas y restricciones como se indica en la Figura 19, se obtiene un factor de

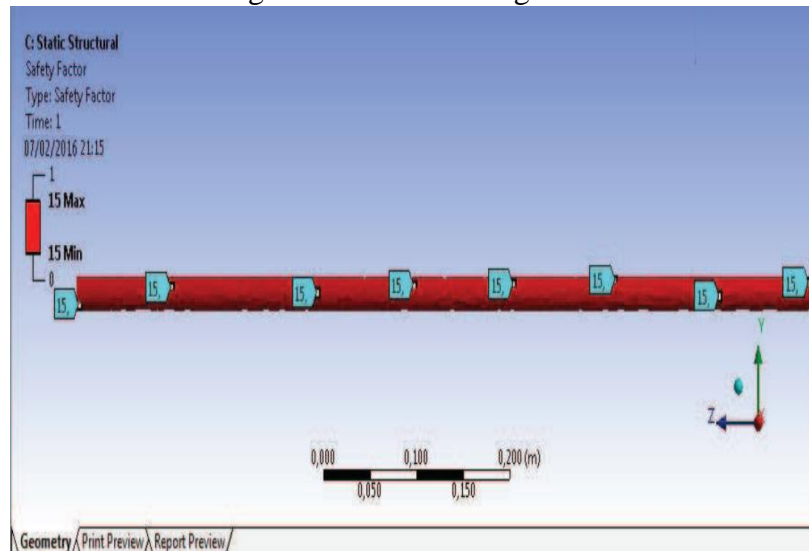
seguridad de 15 como se puede apreciar en la Figura 20.

Figura 19 Fuerzas y Restricciones



Fuente: Autores

Figura 20 Factor de Seguridad



Fuente: Autores

3.2.2.3 *Cálculo del tornillo de potencia coordenada X.* Se necesita el peso total que va a mover el tornillo y se obtiene mediante la ecuación Ec. 3.22:

Ecuación 3.40

$$F = W + Fc + Wz + Wx$$

Donde:

$W = 2 \text{ Kg} = (19,6 \text{ N})$ Fuerza ejercida por el Spindle o cabezal de la herramienta (Spindle

más base).

$F_c = 13,17 \text{ N}$ = Fuerza de corte

$W_z = 1,4 \text{ Kg} = (13,72 \text{ N})$ Peso de la estructura coordenada Z.

$W_x = 2,7 \text{ Kg} = (26,46 \text{ N})$ Fuerza ejercida por la estructura X.

Aplicando la Ec. 3.40 se tiene:

$$F = 19,6 \text{ N} + 13,17 \text{ N} + 13,72 \text{ N} + 26,46 \text{ N} = 72,93 \text{ N}$$

El área transversal del tornillo de potencia se calcula con la siguiente ecuación:

Ecuación 3.41

$$A = \frac{F}{\sigma}$$

Donde:

$F = 72,95 \text{ N}$ Peso o fuerza total para el cálculo del tornillo X.

El desplazamiento de los ejes coordenados de las máquinas CNC se realiza por medio de tornillos de potencia llamados husillos, estos elementos son fabricados en un material AISI/SAE 1045 y el N° Mat. 1.1213. (Sandvik, 2012)

Las propiedades mecánicas del material AISI/SAE 1045 se detallan en la Tabla 8.

$1 = 365.4 \text{ N/mm}^2$ Esfuerzo a la fluencia (Acero DIN CF53 o AISI/SAE 1045) (12)

Entonces:

$$A = \frac{72,95 \text{ N}}{365.4 \text{ N/mm}^2} = 0.199 \text{ mm}^2$$

El diámetro del tornillo se calcula con la siguiente ecuación:

Ecuación 3.42

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

Donde:

$$A = 0.199 \text{ mm}^2$$

Aplicando la Ec. 3.42 se tiene:

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0.199 \text{ mm}^2}{\pi}}$$

$$d = 0.5 \text{ mm}$$

De acuerdo a la Tabla 9 se seleccionó la casa comercial de donde la empresa Techno se destaca por proporcionar los elementos a bajos precios, distintos pasos, longitudes variables, diferentes tipos de tuercas y la facilidad de obtención es el que predomina entre las casas comerciales por eso se elige a dicha empresa.

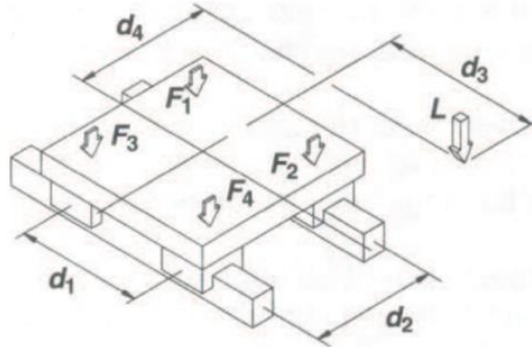
Según los cálculos efectuados el diámetro para el tornillo del eje X es de 0,5 mm, la empresa proveedora Techno fabrica husillos de 12 mm de diámetro tomando como primera alternativa un tornillo con paso milimétrico de 4 mm, maquinado en los extremos y con una longitud de 415 mm.

3.2.3 *Diseño de la estructura horizontal coordenada Y.*

3.2.3.1 *Traslación longitudinal o eje Y con carga normal.* Cuando una carga normal se aplica a un sistema horizontal de guías, las cargas en cada una de estas son encontradas usando las ecuaciones que se obtienen de acuerdo con la (Figura 21). Estas ecuaciones

también se aplican aún cuando la carga está actuando dentro de la plataforma, es importante considerar la orientación de la carga aplicada con respecto al sistema de guías. Esto significa que estas ecuaciones pueden usarse aún cuando la orientación de la carga no es horizontal, con tal que ésta conserve relación con las guías. (Techno, 2008)

Figura 21 Traslación horizontal con carga normal (Ecuaciones de cálculo)



Fuente: Technical Information, Techno INC. Pag 22. Techno Linear Motion Catalog

Ecuación 3.43

$$F_1 = \frac{L}{4} - \frac{L}{2} \left(\frac{d_3}{d_1} + \frac{d_4}{d_2} \right)$$

Ecuación 3.44

$$F_2 = \frac{L}{4} + \frac{L}{2} \left(\frac{d_3}{d_1} - \frac{d_4}{d_2} \right)$$

Ecuación 3.45

$$F_3 = \frac{L}{4} - \frac{L}{2} \left(\frac{d_3}{d_1} - \frac{d_4}{d_2} \right)$$

Ecuación 3.46

$$F_4 = \frac{L}{4} + \frac{L}{2} \left(\frac{d_3}{d_1} + \frac{d_4}{d_2} \right)$$

En este proyecto se tiene:

Ecuación 3.47

$$L = W + Fc + Wz + Wx + Wy$$

Donde:

$W = 2 \text{ Kg} = (19,6 \text{ N})$ Fuerza ejercida por el Spindle o cabezal de la herramienta (Spindle más base).

$Fc = 13,17 \text{ N} =$ Fuerza de corte

$Wz = 1,4 \text{ Kg} = (13,72 \text{ N})$ Peso de la estructura coordenada Z.

$Wx = 2,7 \text{ Kg} = (26,46 \text{ N})$ Fuerza ejercida por la estructura X.

$Wy = 4,5 \text{ Kg} (44,1 \text{ N})$ Fuerza ejercida por la estructura Y.

$$L = W * g + Fc + Wz * g + Wx * g + Wy * g$$

$$L = 19,6 \text{ N} + 13,17 \text{ N} + 13,72 \text{ N} + 26,46 \text{ N} + 44,1 = 117,05 \text{ N}$$

$$L = 117,05 \text{ N}$$

$d1 = 40 \text{ mm}.$

$d2 = 260 \text{ mm}.$

$d3 = 85 \text{ mm}.$

$d4 = 136 \text{ mm}.$

De la Figura 21 se obtiene las ecuaciones (Ec. 3.43), (Ec. 3.44), (Ec. 3.45) y (Ec.3.46), se reemplaza los valores y se obtiene:

$$F_1 = \frac{117,05 \text{ N}}{4} - \frac{117,05 \text{ N}}{2} \left(\frac{85}{40} + \frac{136}{260} \right) = 125,71 \text{ N}$$

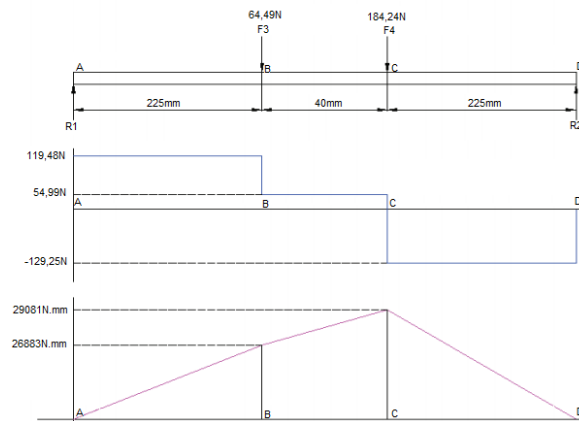
$$F_2 = \frac{117,05N}{4} + \frac{117,05N}{2} \left(\frac{85}{40} - \frac{136}{260} \right) = 123,01N$$

$$F_3 = \frac{117,05N}{4} - \frac{117,05N}{2} \left(\frac{85}{40} - \frac{136}{260} \right) = -64,49N$$

$$F_4 = \frac{117,05N}{4} + \frac{117,05N}{2} \left(\frac{85}{40} + \frac{136}{260} \right) = 184,24N$$

3.2.3.2 Flechas o ejes guías coordenada X. Los ejes son los principales elementos en esta coordenada, con la fuerza $F_3 = 64,41 \text{ N}$ y $F_4 = 184,24 \text{ N}$, valores calculados en el ítem anterior se realiza el diseño de los dispositivos mencionados con $L_1 = 225 \text{ mm}$, $L_2 = 40 \text{ mm}$, $L_3 = 225 \text{ mm}$, aplicando los diagramas de fuerzas y momentos flectores de la Figura 22.

Figura 22 Diagrama cuerpo libre, fuerzas y momentos flectores.



Fuente: Autores

Ecuación 3.48

$$\sum Fy = 0$$

$$R_2 - F_3 - F_4 + R_1 = 0$$

$$R_2 = F_3 + F_4 - R_1$$

$$R_2 = 64,49 + 184,24 - 129,25$$

$$R2 = 119,48N$$

Ecuación 3.49

$$\sum MA = 0$$

$$(F3 * 225) + (F4 * (225 + 40)) - (R1 * (225 + 40 + 225)) = 0$$

$$R1 = \frac{(64,49 * 225) + (184,24 * 265)}{490}$$

$$R1 = 129,25N$$

Ecuación 3.50

$$A1 = R2 * D1$$

$$A1 = 119,48N * 225mm$$

$$A1 = 26883Nmm$$

Ecuación 3.51

$$A2 = (R2 - F3) * D2$$

$$A2 = (119,48N - 64,49N) * 40$$

$$A2 = 2199,6Nmm$$

Ecuación 3.52

$$A3 = (R2 - F3 - F4) * D3$$

$$A3 = (119,48N - 64,49N - 184,24N) * 225$$

$$A3 = -29081,25Nmm$$

Ecuación 3.53

$$A3 = (R1 * D3)$$

$$A3 = (129,5 * 225)$$

$$A3 = 29081,25Nmm \quad \text{Comprobación}$$

- *Cálculo de flechas o ejes guías.*

Ecuación 3.54

$$\sigma_{max} = \frac{M}{S}$$

Ecuación 3.55

$$S = \frac{\pi d^3}{32}$$

Ecuación 3.56

$$n = \frac{Sy}{\sigma_{max}}$$

Donde:

σ_{max} = Esfuerzo normal máximo.

M = Momento flector máximo.

S = Módulo de resistencia para una sección transversal cilíndrica.

N = Factor de seguridad ($n > 1$, valor entre: 1,5 – 2,5). (MOTT, 2009)

S_y = Resistencia a la fluencia del material.

Para el diseño se considera un factor de seguridad $n = 2$.

Resistencia a la fluencia es la misma usada anteriormente SAE/AISI 1050, con su respectivo $S_y = 364,4 \text{ Mpa}$ (Nmm^2).

El S_y se reemplaza en la ecuación Ec. 3.56 se tiene:

$$\sigma_{max} = \frac{S_y}{n} = \frac{365,4}{2} = 182,7 \text{ N/mm}^2$$

Del análisis de fuerzas y diagrama de momentos flectores de la Figura 22 se tiene un $M = 29081,25 \text{ Nmm}$ o de la ecuación Ec. 3.55, aplicando la ecuación Ec. 3.54 se tiene:

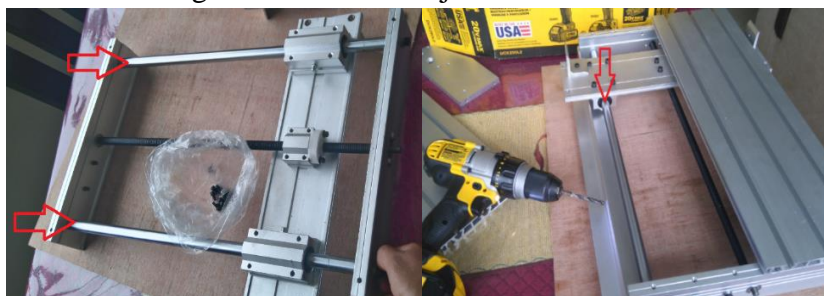
$$S = \frac{M}{\sigma_{max}} = \frac{29081,25 \text{ Nmm}}{182,7 \text{ N/mm}^2} = 159,17 \text{ mm}^3$$

Mediante la ecuación Ec. 3.52, se obtiene el diámetro del eje.

$$d = \sqrt[3]{\frac{32S}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 159,17 \text{ mm}^3}{\pi}} = 11,74 \text{ mm}$$

Al igual que se hizo anteriormente se recurre al catálogo SKF y se realiza la selección de los ejes de 16 mm para no sobre dimensionar el conjunto, cada uno con su respectivo rodamiento lineal LM16UU, principalmente debe tener una estabilidad por ese motivo la selección del acero SAE/AISI 1050, tal como se muestra en la Figura 23.

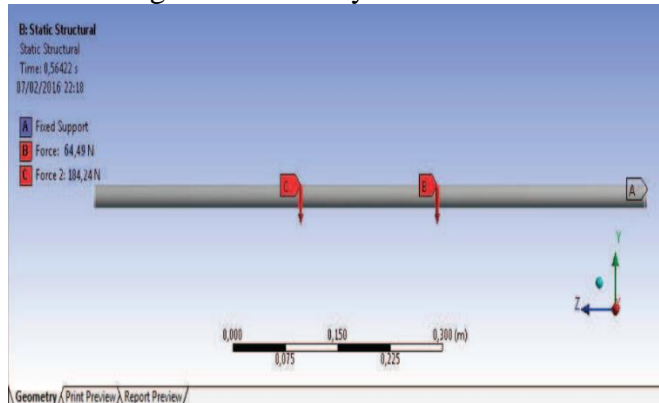
Figura 23 Flechas o ejes coordenada X.



Fuente: Autores

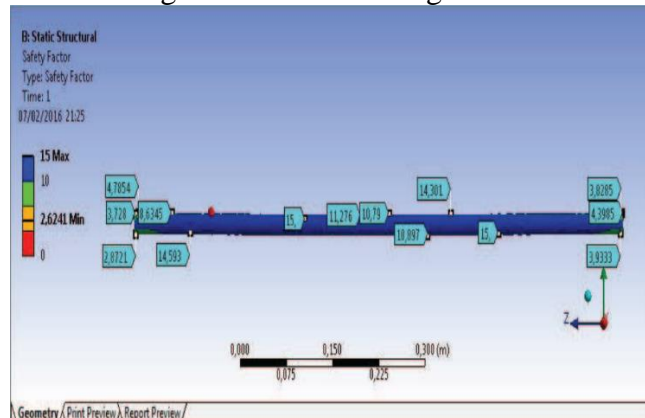
Aplicando Ansys se analiza el factor de seguridad de los ejes coordenada “Y” aplicando fuerzas y restricciones como se indica en la Figura 24, se obtiene un factor de seguridad de 2 como se puede apreciar en la Figura 25.

Figura 24 Fuerza y Restricciones.



Fuente: Autores

Figura 25 Factor de Seguridad.



Fuente: Autores

3.2.3.3 *Cálculo del tornillo de potencia coordenada Y.* Se necesita el peso total que va a mover el tornillo y se obtiene mediante la ecuación Ec. 3.57:

Ecuación 3.57

$$F = W + Fc + Wz + Wx + Wy$$

Donde:

$W = 2 \text{ Kg} = (19,6 \text{ N})$ Fuerza ejercida por el Spindle o cabezal de la herramienta (Spindle

más base).

$F_c = 13,17 \text{ N}$ = Fuerza de corte

$W_z = 1,4 \text{ Kg} = (13,72 \text{ N})$ Peso de la estructura coordenada Z.

$W_x = 2,7 \text{ Kg} = (26,46 \text{ N})$ Fuerza ejercida por la estructura X.

$W_y = 4,5 \text{ Kg} (44,1 \text{ N})$ Fuerza ejercida por la estructura Y.

Aplicando la Ec. 3.57 se tiene:

$$F = 19,6 \text{ N} + 13,17 \text{ N} + 13,72 \text{ N} + 26,46 \text{ N} + 44,1 = 117,05 \text{ N}$$

El área transversal del tornillo de potencia se calcula con la siguiente ecuación:

Ecuación 3.58

$$A = \frac{F}{\sigma}$$

Donde:

$F = 117,07 \text{ N}$ Peso o fuerza total para el cálculo del tornillo Y.

Como se mencionó anteriormente el desplazamiento de los ejes coordenados de las máquinas CNC se realiza por medio de tornillos de potencia llamados husillos fabricados en un material AISI/SAE 1045 y el N° Mat. 1.1213. (Sandvik, 2012)

Las propiedades mecánicas del material AISI/SAE 1045 se detallan en la Tabla 8.

$\sigma = 365.4 \text{ N/mm}^2$ Esfuerzo a la fluencia (Acero AISI/SAE 1045) (MOTT, 2009)

Entonces:

El diámetro del tornillo se calcula con la siguiente ecuación:

Ecuación 3.59

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

Donde:

$$A = \frac{117,05 \text{ N}}{365.4 \text{ N/mm}^2} = 0.32 \text{ mm}^2$$

Aplicando la Ec. 3.59 se tiene:

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0.32 \text{ mm}^2}{\pi}}$$

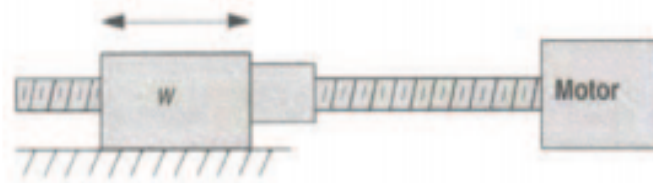
$$d = 0.638 \text{ mm}$$

De acuerdo a la Tabla 9 se seleccionó la casa comercial de donde la empresa Techno se destaca por proporcionar los elementos a bajos precios, distintos pasos, longitudes variables, diferentes tipos de tuercas y la facilidad de obtención.

Según los cálculos efectuados el diámetro para el tornillo del eje Y es de 0.98 mm, pero como anteriormente se eligió un husillo de 12 mm nos mantendremos en ese mismo rango para todos los husillos M12 con un paso de 4mm.

3.2.4 *Cálculo del torque para el tornillo de potencia coordenada X, Y y Z.* Como los husillos de las estructuras horizontales X, Y y Z solo difieren en su longitud, se realizará el análisis únicamente en la coordenada X, este eje es el que soporta mayor carga, con este análisis se dimensionará las características de los motores de las tres estructuras. El sistema de transmisión del movimiento es de manera similar al de la Figura 26 en el cual el movimiento de la carga es horizontal.

Figura 26 Transmisión de movimiento horizontal



Fuente: Techno_Isel H830 Catalog pag 30

El torque requerido por el motor para mover el sistema depende de los siguientes factores:

- Inercia dada por el peso de la plataforma o la carga en sí.
- Inercia creada por el husillo a bolas.
- Inercia del rotor del motor que acciona el sistema.
- Fuerza requerida para vencer la fricción.

Por lo tanto la inercia por el peso de la plataforma está dada por:

Ecuación 3.60

$$I_p = \left(\frac{W}{p^2}\right) \left(\frac{1}{2\pi}\right)^2$$

Donde:

W = 11,94 Kg (26,32 lb) Peso de la plataforma en libras.

P = 4 mm (6,35 hilos/pulgada) Paso del tornillo en hilos pos pulgada.

Por tanto:

$$I_p = \left(\frac{26,32}{6,35^2}\right) * 0.02533$$

$$I_p = 0,16 \text{ lb. in}^2$$

La inercia dada por el tornillo se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 3.61

$$I_T = \frac{(D^4 * L)}{36}$$

Donde:

D = 12 mm (0,47 in) Diámetro del tornillo en pulgadas.

L = 490 mm (19,3 in) Longitud roscada del tornillo en pulgadas.

Por tanto:

$$I_T = \frac{(0,47^4 * 19,03)}{36}$$

$$I_T = 0.026 \text{ lb. in}^2$$

La inercia de rotor del motor paso a paso se asume en base a las características técnicas que posee nuestro motor.

$$I_M = 0.088 \text{ lb. in}^2$$

La inercia total está dada por la sumatoria:

Ecuación 3.62

$$I_{eq} = I_P + I_T + I_M$$

Por tanto:

$$I_{eq} = 0.016 + 0.026 + 0.088$$

$$I_{eq} = 0.13 \text{ lb. in}^2$$

El torque requerido por la inercia total está dado por:

Ecuación 3.63

$$T_A = 2 * I_{eq} * \frac{\omega}{t} * \frac{\pi\theta}{180} * \frac{1}{24}$$

Donde:

ω = Pasos por segundo (sps) y está dado por:

Ecuación 3.64

$$sps = \frac{V_{Lmax} * spr * p}{60}$$

V_{Lmax} = 4000 mm/min (157,5 in.min) Velocidad lineal máxima de la plataforma.

spr = 200 Pasos por revolución (Ciclos por revolución del encoder).

p = 4 mm (6,35 hilos/pulgada) Paso del tornillo en hilos por pulgada

$$sps = \frac{157,5 * 200 * 6,35}{60}$$

$$sps = 3333,75$$

θ = 1.8 ° Angulo de desplazamiento del motor por cada pulso.

T = 0,15 seg. Tiempo de aceleración.

Por tanto:

$$T_A = 2 * 0.13 * \frac{3333,75}{0.15} * \frac{\pi * 1.8}{180} * \frac{1}{24}$$

$$T_A = 7,56 \text{ on. in}$$

El torque requerido para mover la estructura y el husillo está dado por la siguiente ecuación:

Ecuación 3.65

$$T = T_A + T_B$$

Donde:

T= Torque Total

TA= Torque para acelerar el sistema

TB= Torque para vencer la fricción

$$T = 7,56 \text{ oz. in}$$

Después de determinar el torque para el motor paso a paso, multiplicamos el torque para el factor de seguridad de 2,5 (para cargas dinámicas con incertidumbre moderada)

Torque total definitivo:

$$T = 7,56 \text{ oz. in} \times 2,5 = 18,9 \text{ oz. in}$$

$$T = 0,133 \text{ N. mm}$$

3.3 Modelado CAD

En este capítulo se detalla el modelado geométrico de todas y cada una de las partes de nuestro prototipo realizadas en Solid Works, así como los sub ensambles y el ensamble final de todo el conjunto.

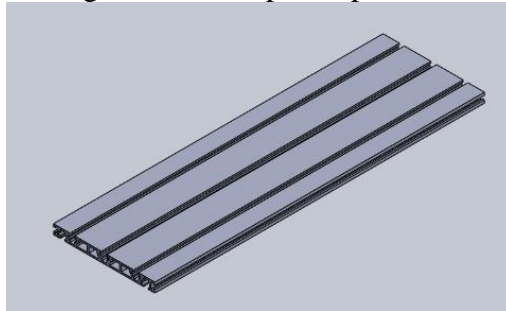
3.3.1 Modelado 3D de partes.

3.3.1.1 Mesa. Deberá contar con la geometría necesaria que permita la sujeción de la

placa del circuito impreso. La misma que fue diseñada a partir de un perfil de aluminio JM15160 que tiene las siguientes dimensiones:

Largo: 520 mm, Ancho: 160 mm y Espesor: 15mm. Y constara de dos perfiles para cubrir un área de trabajo de 320 mm de ancho

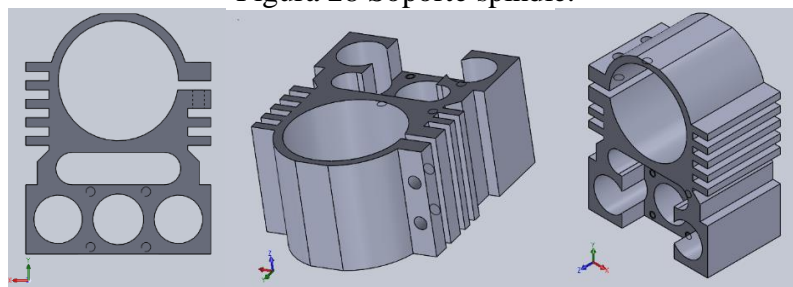
Figura 27 Mesa prototipo CNC.



Fuente: Autores

3.3.1.2 Base Soporte del Motor porta herramienta. Realizado de manera que permita sujetar el spindle que realizará el fresado y taladrado de la pistas del circuito impreso. Con ranuras a los costados y un espacio ranurado entre la base, permitirá la circulación del aire y eliminar el exceso de temperatura producido por el motor. El radio de los spindle porta herramienta es de 26 mm. El mismo tiene 2 agujeros que cruzan por el cuerpo del soporte donde se alojaran un par de rodamientos lineales que servirán de guías y un tercer agujero con ranura, el cual nos permitirá alojar el sistema de transmisión largo del eje Z.

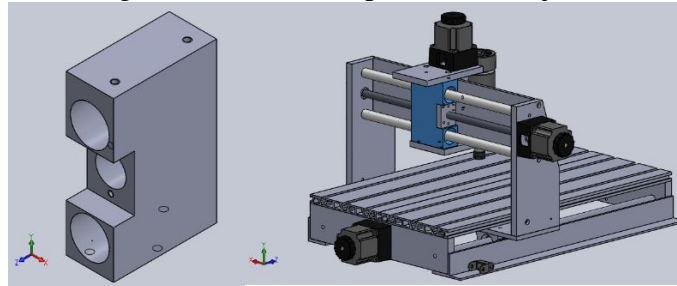
Figura 28 Soporte spindle.



Fuente: Autores

3.3.1.3 Bloque Corredera Superior. Bloque que aloja a los ejes y husillo de bolas que permiten el desplazamiento en el eje y. El destaje que se observa en la figura 29 fue realizado con el fin que soportar a la tuerca del husillo del sistema de transmisión.

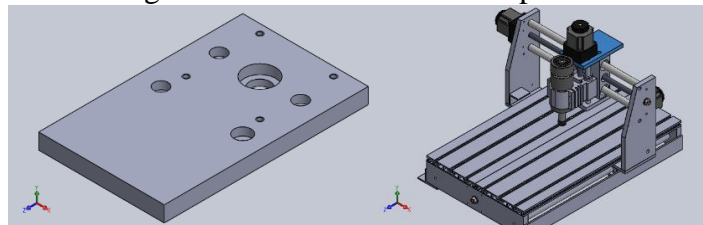
Figura 29 Carrito desplazamiento eje X.



Fuente: Autores

3.3.1.4 *Placa Base Motor Superior.* Esta placa soporta y ayuda a fijar el conjunto del eje Z, sujetándola con el bloque corredera superior y dos ejes guías del soporte porta herramienta, a su vez se empotra a la base del motor del eje Z.

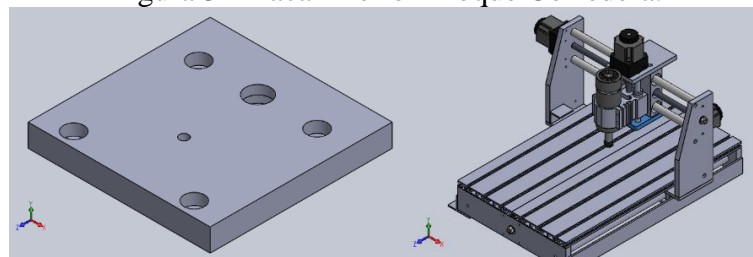
Figura 30 Placa Base Motor Superior.



Fuente: Autores

3.3.1.5 *Placa Inferior Bloque Corredera.* Placa que aloja a los ejes y el husillo de transmisión del eje Z, conjuntamente con la Placa Base Motor Superior. La misma se empotra a la base inferior del carro y a los ejes guías del soporte porta herramienta.

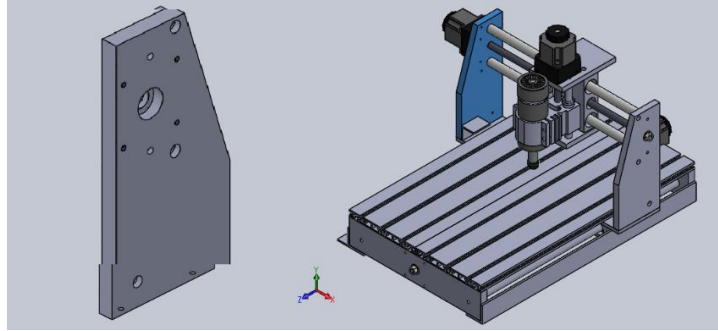
Figura 31 Placa Inferior Bloque Corredera.



Fuente: Autores

3.3.1.6 *Soporte Lateral Izquierdo.* Aloja a los ejes y husillo de transmisión del eje X, a su vez permite el empotramiento de la base del motor.

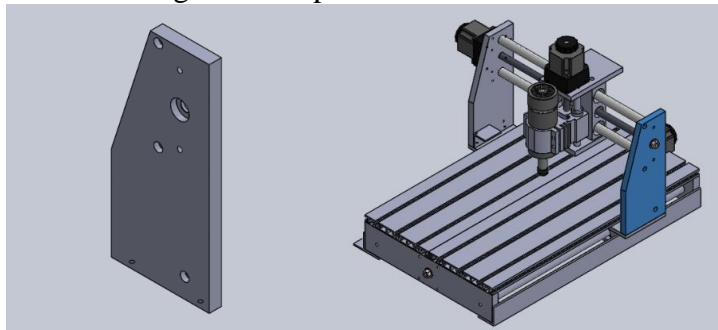
Figura 32 Soporte lateral izquierdo.



Fuente: Autores

3.3.1.7 *Soporte Lateral derecho.* Aloja a los ejes, a su vez permite el empotramiento del husillo del sistema de transmisión.

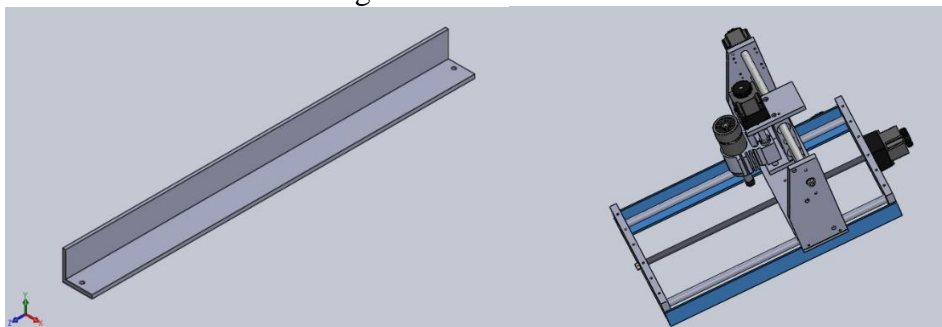
Figura 33 Soporte lateral derecho.



Fuente: Autores

3.3.1.8 *Perfiles Base Lateral.* Perfiles que sirven de base para sujetar la estructura de la mesa y fija el soporte trasero con el frontal, ayudando a mantenerlos alineados

Figura 34 Perfiles base.

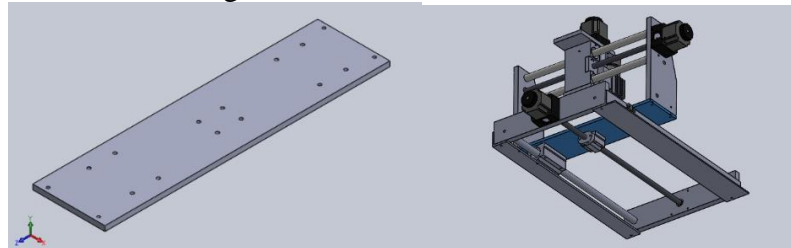


Fuente: Autores

3.3.1.9 *Placa Base Corredera.* A esta placa se empotran y fijan las bases de los rodamientos lineales para el deslizamiento a lo largo del eje Y, también se sujeta una base

lineal en la que irá incorporada un husillo de transmisión para lograr el movimiento a lo largo del eje Y, también se sujeta las placas o soportes laterales que sujetaran el sistema de transmisión del eje X como se muestra en la figura.

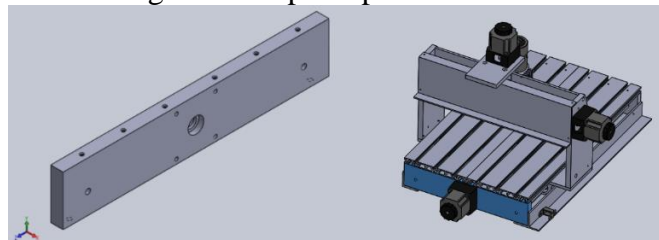
Figura 35 Placa Base Corredera.



Fuente: Autores

3.3.1.10 *Soporte frontal mesa.* Esta placa aloja los ejes y el husillo de transmisión del eje Y, también fija la estructura por medio de la sujeción de la mesa con los perfiles base laterales. Consta de perforaciones que permite la sujeción de la base del motor.

Figura 36 Soporte posterior mesa.

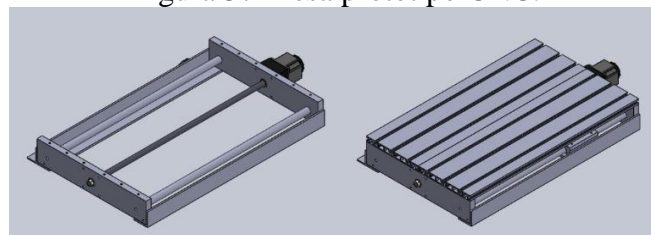


Fuente: Autores

3.3.2 *Subensambles.* Se procede a realizar los subensambles de los diferentes componentes del prototipo.

3.3.2.1 *Subensamble 1 Mesa prototipo CNC.* Esta mesa es donde se alojara las piezas que se van a mecanizar.

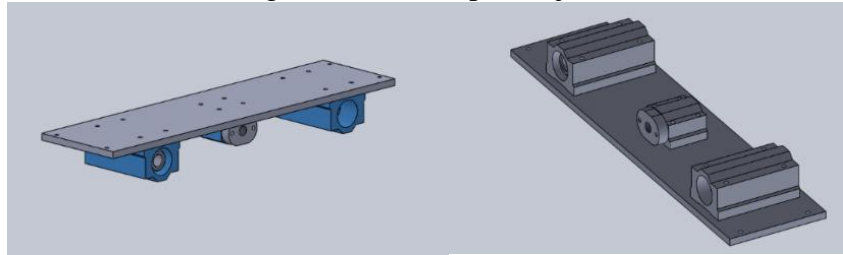
Figura 37 Mesa prototipo CNC.



Fuente: Autores

3.3.2.2 *Subensamble 2 Guía soporte eje Y.*

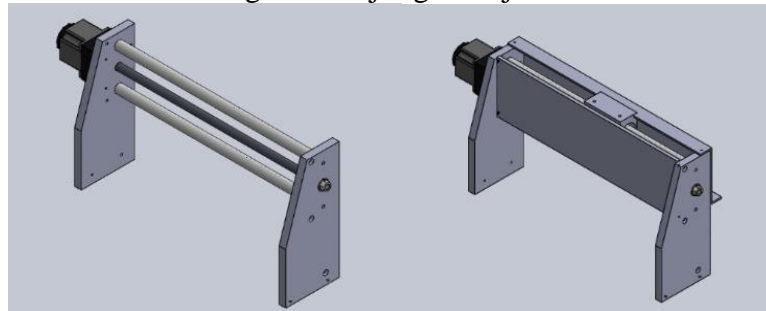
Figura 38 Guía soporte eje Y.



Fuente: Autores

3.3.2.3 *Subensamble 3: Soporte eje X, ejes guías.*

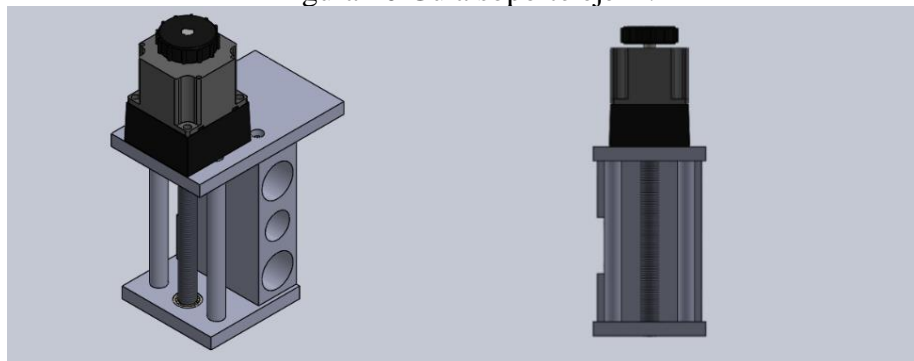
Figura 39 Ejes guías eje X.



Fuente: Autores

3.3.2.4 *Subensamble 4: Guía soporte eje X.*

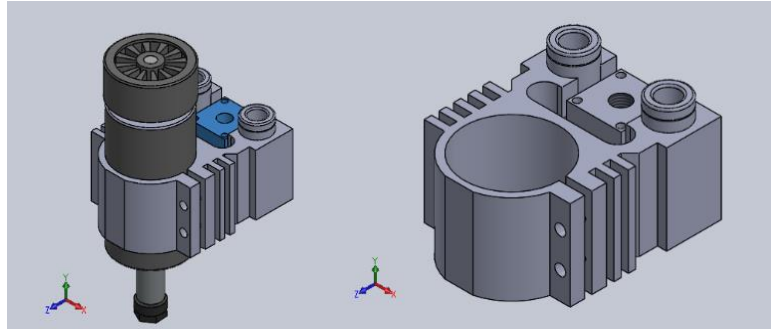
Figura 40 Guía soporte eje X.



Fuente: Autores

3.3.2.5 *Subensamble 5: Guía soporte de spindle eje Z.*

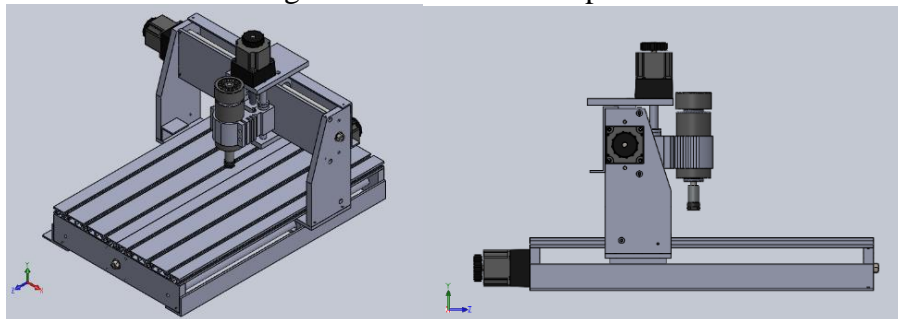
Figura 41 Guía soporte de spindle eje Z



Fuente: Autores

3.3.3 *Ensamble Completo.*

Figura 42 Ensamble Completo.



Fuente: Autores

3.4 **CAE Ingeniería asistida por computadora.**

La Ingeniería Asistida por computadora (Computer Aided Engineering o CAE) se ocupa del uso de sistemas informáticos, como Solid Works Simulation para analizar la geometría generada por las aplicaciones CAD, permitiendo simular y estudiar el comportamiento del producto para optimizar su desarrollo y consecuentes costos de fabricación, y reducir al máximo las pruebas para la obtención del producto deseado.

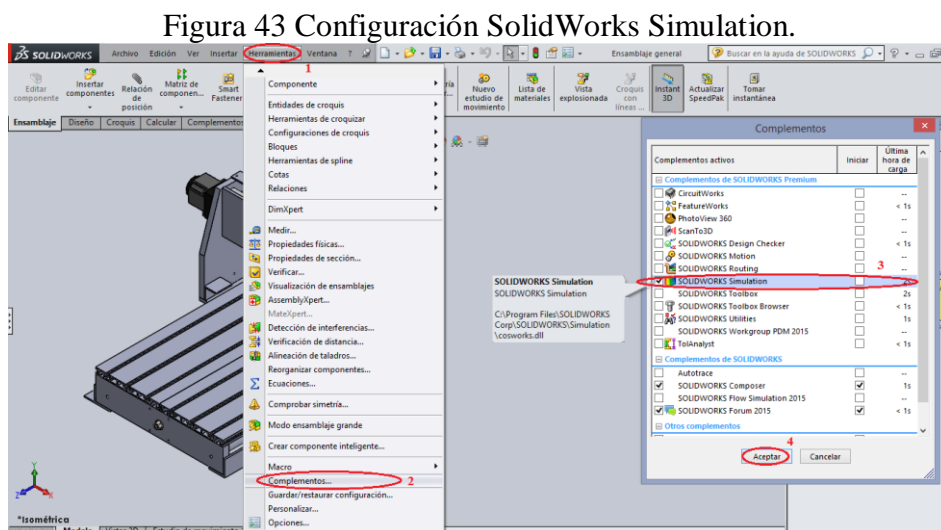
- Análisis por el método de elementos finitos (FEM, Finite Elements Method)

3.4.1 *Análisis de elementos finitos (FEM).* Una vez terminada correctamente el diseño de todas las partes del prototipo y haberlas ensamblado correctamente procedemos hacer el análisis de su comportamiento por medio de una herramienta llamada SolidWorks Simulation como se muestra a continuación, posterior a ello analizar los resultados e interpretarlos para poder optimizar el prototipo CNC.

3.4.2 Configuración SolidWorks Simulation.

3.4.2.1 Selección del menú SolidWorks Simulation.

- Haga clic en Herramientas, que se encuentra ubicada en la parte superior de la ventana
- Diríjase a Complementos. Aparece el cuadro de diálogo (Complementos).
- Seleccione las casillas de verificación situadas junto a SolidWorks Simulation. Si SolidWorks Simulation no se encuentra en la lista, necesita instalar SolidWorks Simulation.
- Haga clic en OK (Aceptar). El menú Simulation aparecerá en la barra de menús de SolidWorks.



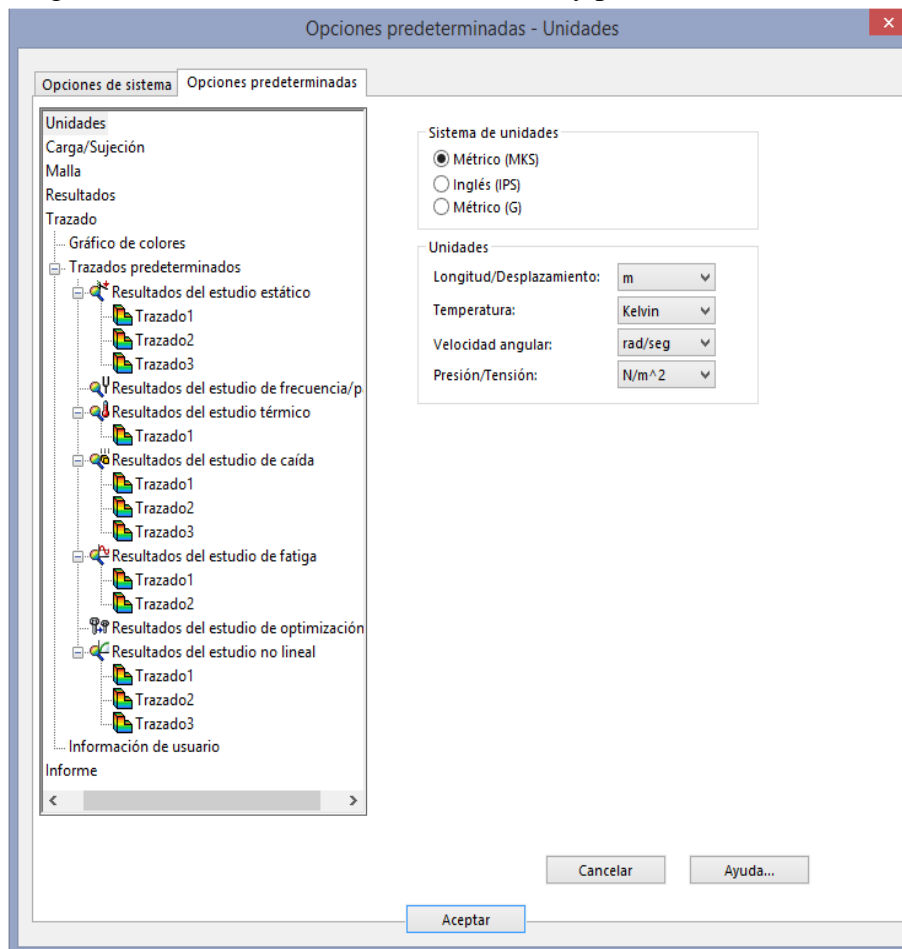
Fuente: Autores

3.4.2.2 Establecimiento de las unidades y parámetros del análisis. Antes de empezar esta lección, estableceremos las unidades y los diferentes parámetros que necesitamos para continuar con nuestro análisis.

- En la barra de menús de SolidWorks, haga clic en Simulation, Opciones.
- Haga clic en la pestaña Opciones predeterminadas.
- Seleccionamos los parámetros y modificamos el sistema de unidades a nuestros requerimientos.

- Una vez definido, haga clic en OK (Aceptar).

Figura 44 Establecimiento de las unidades y parámetros del análisis.



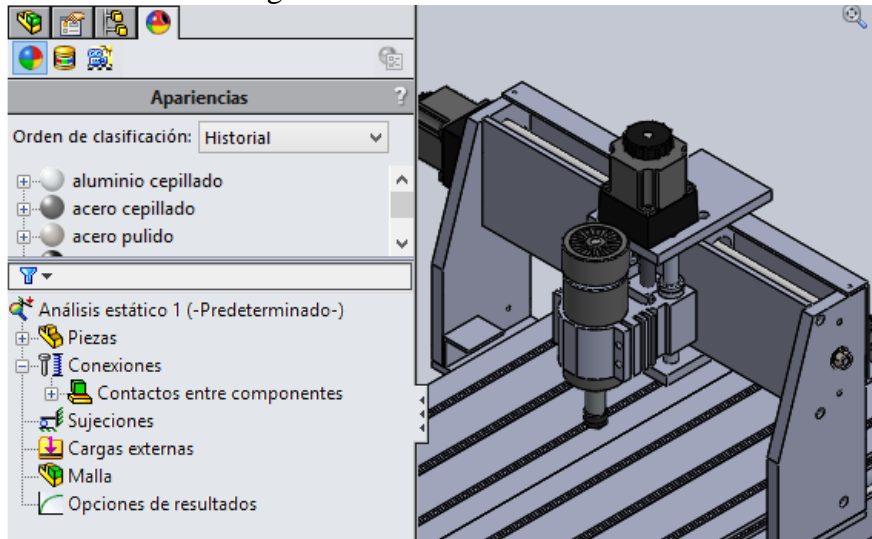
Fuente: Autores

3.5 Procedimiento de análisis.

3.5.1 Paso 1: Creación de un estudio.

- Haga clic en Asesor de estudio, en el menú principal de SolidWorks en la parte superior de la pantalla.
- Seleccionar crear nuevo estudio
- En el cuadro de dialogo seleccionar, Estudio Estático.
- Haga clic en OK (Aceptar). SolidWorks Simulation crea un árbol de estudio de Simulation situado bajo el árbol de diseño de FeatureManager.

Figura 45 Creación del estudio.

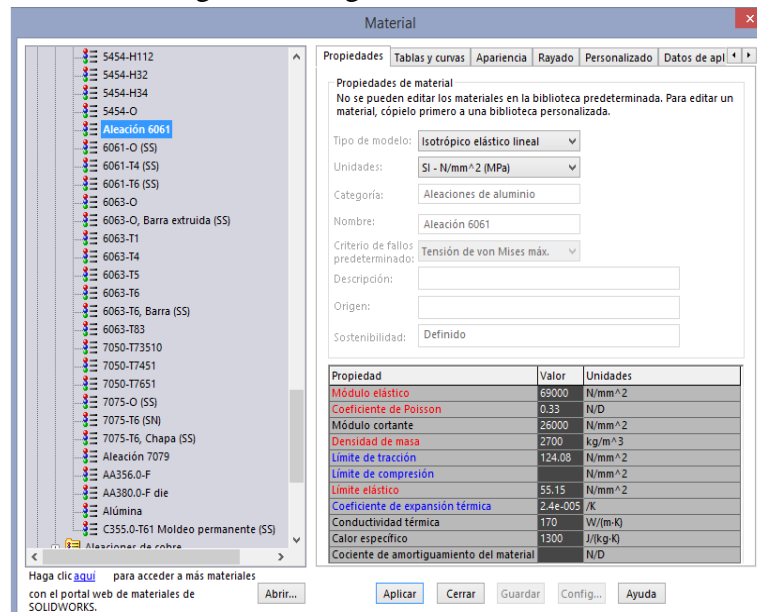


Fuente: Autores

3.5.2 Paso 2: Asignación de materiales. Todos los componentes del ensamblaje están hechos de diferentes materiales en su mayoría Aluminio aleado 6063 y 6061. Para lo cual procedemos a otorgar la característica del material a todos los componentes.

- En el árbol de SolidWorks Simulation Manager, sobre cada una de las piezas, haga clic con el botón derecho del ratón y haga clic en Apply Material, Aparece el cuadro de diálogo Material.

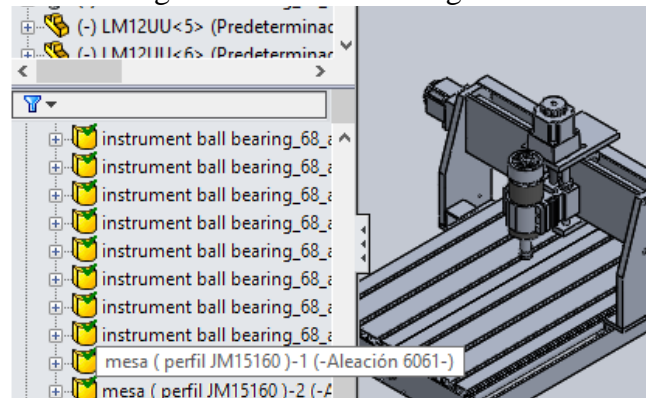
Figura 46 Asignación de materiales



Fuente: Autores

- En Select material source (Seleccionar el origen del material), haga lo siguiente:
- Seleccione From library files (Desde archivos de biblioteca).
- Seleccione SolidWorks materials (Materiales de Solidworks) como la biblioteca de materiales.
- Haga clic en el signo “más” situado al lado de la categoría de materiales y seleccione el material dependiendo del elemento.
- Haga clic en OK (Aceptar).

Figura 47 Materiales Asignados

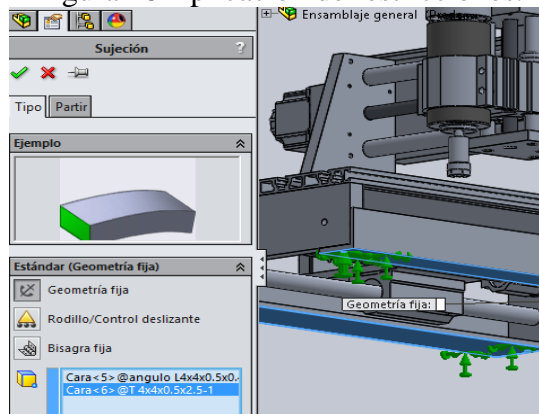


Fuente: Autores

3.5.3 Paso 3: Aplicación de restricciones. Se reparo los taladros y uniones de elementos que tenga el ensamblaje.

- Utilice las teclas de flecha para girar el ensamblaje como se muestra en la Figura 48.

Figura 48 Aplicación de restricciones.



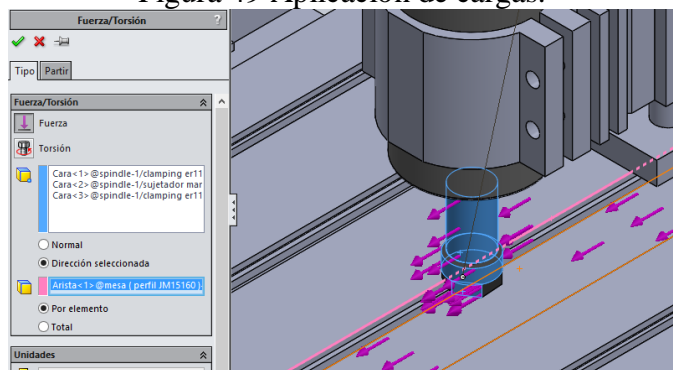
Fuente: Autores

- En el árbol de estudio de Simulation, haga clic con el botón derecho del ratón en la carpeta Fixtures (Piezas fijas) y haga clic en Fixed Geometry (Geometría fija). Aparece el PropertyManager Fixture (Piezas fijas).
- Asegúrese de que el Type (Tipo) esté establecido en Fixed Geometry (Geometría fija).
- En la zona de gráficos, asegúrese de que se seleccione las entidades correctas (Caras, aristas o vértices para pieza fija).
- Haga clic en. Se aplica la restricción Fixed (Fijo) y sus símbolos aparecen en las caras seleccionadas. El nombre de la restricción puede modificarse cuando lo desee.

3.5.4 Paso 4: Aplicación de cargas. Aplicaremos una fuerza tomando en cuenta los esfuerzos que realiza al momento de ejecutar los trabajos para lo cual fue diseñado (fresado, Taladrado).

- Haga clic en el icono Zoom, encuadre para tener una mejor visualización de las zonas en las que vamos a aplicar las fuerzas.
- En el árbol de SolidWorks Simulation Manager, haga clic con el botón derecho del ratón en la carpeta External Loads (Cargas externas) y seleccione Force (Fuerza).
- En la zona de gráficos, haga clic en las caras y aristas que desea seleccionar, para aplicar la fuerza.
- Asegúrese de que está seleccionado Normal como la dirección.
- En el cuadro Force Value (Valor de fuerza). Agregar los parámetros necesarios para nuestro análisis
- Haga clic en ok

Figura 49 Aplicación de cargas.

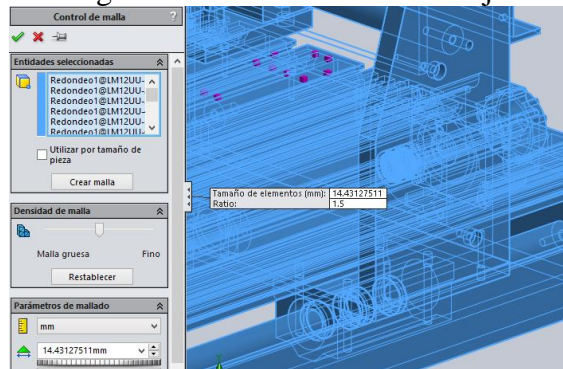


Fuente: Autores

3.5.5 Paso 5: Mallado del ensamblaje. El mallado divide el modelo en piezas más pequeñas denominadas elementos. Según las cotas geométricas del modelo, SolidWorks Simulation sugiere un tamaño de elemento predeterminado (este es 14.43127511 mm).

- En el árbol de estudio de Simulation, haga clic con el botón derecho del ratón en el icono Mesh (Malla) y seleccione Create Mesh (Crear malla). Aparece el PropertyManager Mesh (Malla).
- Expanda Mesh Parameters (Parámetros de malla) seleccionando la casilla de verificación. Asegúrese de que Standard mesh (Malla estándar) está seleccionado y Automatic transition (Transición automática) no lo está.
- Haga clic en OK (Aceptar) para comenzar el mallado.

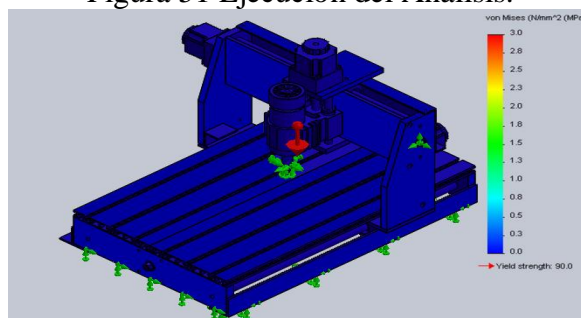
Figura 50 Mallado del ensamblaje.



Fuente: Autores

3.5.6 Paso 6: Ejecución del análisis. En el árbol de estudio de Simulation, haga clic con el botón derecho del ratón en el icono My First Study (Mi primer estudio) y haga clic en Run (Ejecutar) para iniciar el análisis. Cuando el análisis termina, SolidWorks Simulation crea automáticamente trazados de resultados predeterminados.

Figura 51 Ejecución del Análisis.



Fuente: Autores

3.5.7 Paso 7: Visualización de los resultados Tensión de von Mises.

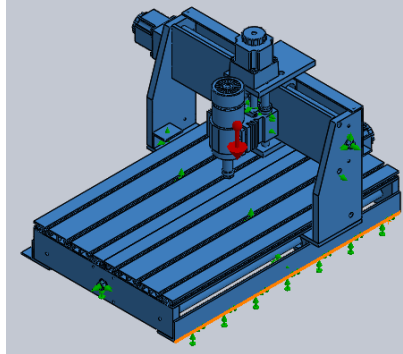
- Haga clic en el signo “más” situado junto a la carpeta Results (Resultados). Aparecen todos los iconos de los trazados predeterminados.
- Haga doble clic en Stress (-vonMises-) para mostrar el trazado de tensiones.

3.6 Resultados Del Análisis De Elementos Finitos (FEM).

3.6.1 Análisis Para Taladrado:

Fuerza de empuje $F_c=13,17$ N

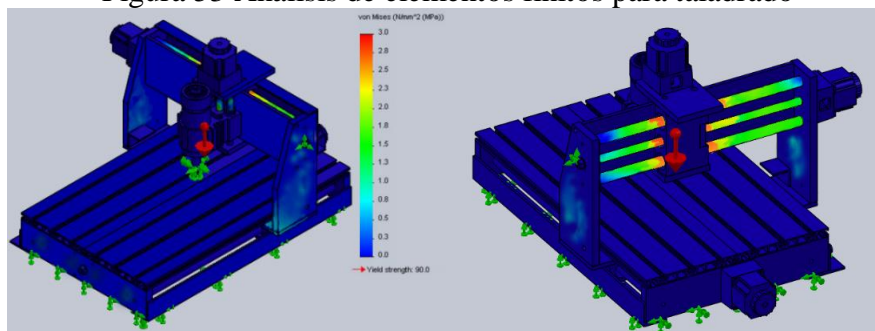
Figura 52 Aplicación Elementos Finitos.



Fuente: Autores

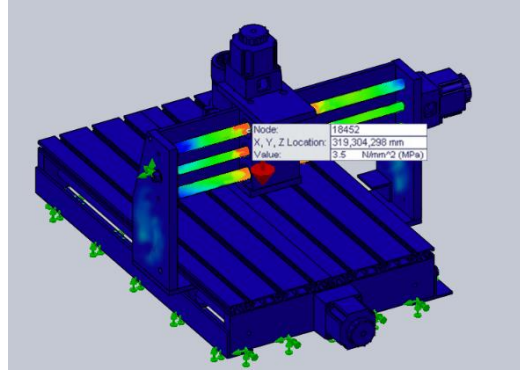
El análisis de elementos finitos se realizó para comprobar que no se sobrepasan los esfuerzos límites en las guías y en la estructura, además para determinar la deflexión máxima de los ejes. Como se observa en la figura 54 el esfuerzo mayor obtenido es de 3.5 Mpa, el cuál es menor al esfuerzo máximo igual a 84 Mpa.

Figura 53 Análisis de elementos finitos para taladrado



Fuente: Autores

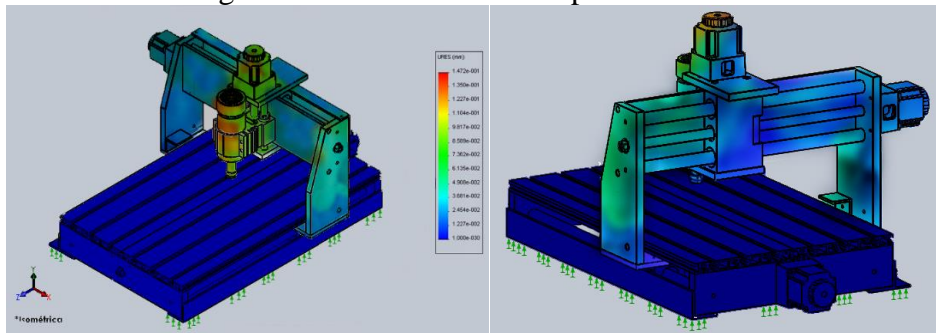
Figura 54 Análisis de elementos finitos para taladro.



Fuente: Autores

De la Figura 55 obtenemos que la deflexión máxima es de $1,47 \times 10^{-1}$ mm

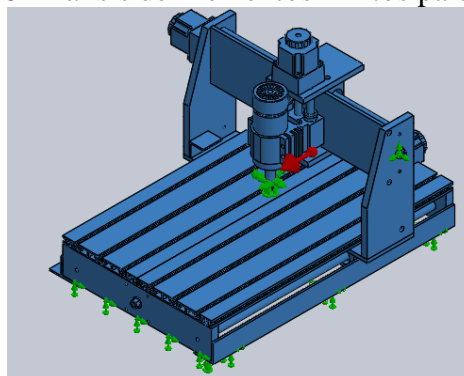
Figura 55 Deflexión máxima para taladrado.



Fuente: Autores

3.6.2 Análisis Para Fresado:

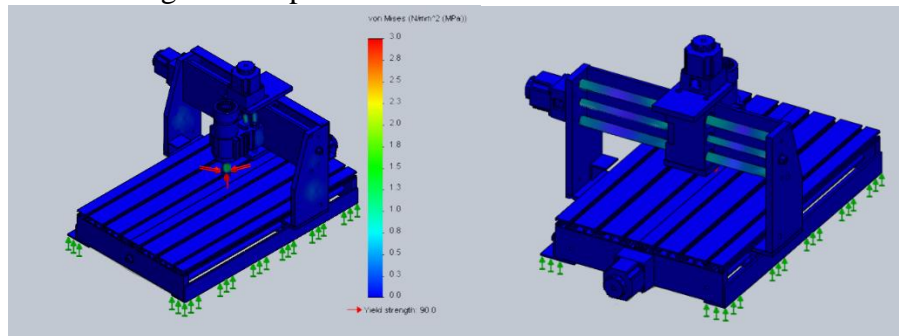
Figura 56 Análisis de Elementos Finitos para Fresado.



Fuente: Autores

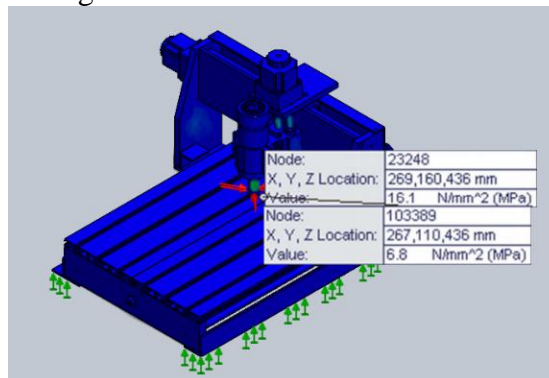
Como se observa en la Figura 57 el esfuerzo mayor obtenido es de 16 Mpa, el cuál es menor al esfuerzo máximo igual a 84 Mpa.

Figura 57 Aplicación de elementos finitos fresado.



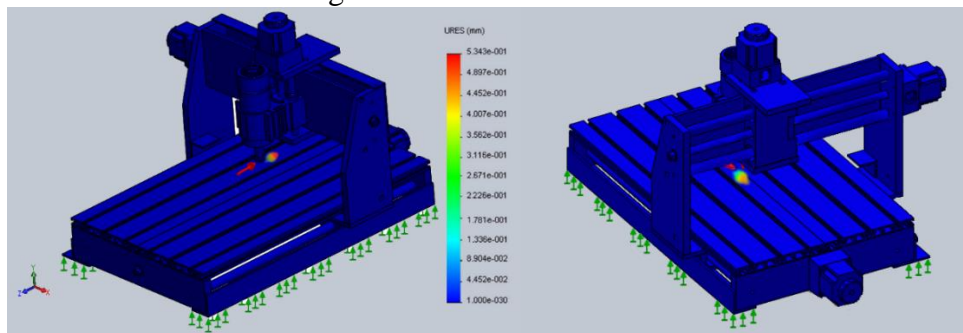
Fuente: Autores

Figura 58 Máximo esfuerzo fresado.



Fuente: Autores

Figura 59 Deflexión máxima.



Fuente: Autores

De la Figura 59 obtenemos que la deflexión máxima es de 5.34×10^{-1} mm

CAPITULO IV

4. CONSTRUCCIÓN DE PIEZAS Y ENSAMBLAJE

Después de obtener el diseño CAD de las piezas, simular el prototipo y optimizarlo, se procede a realizar la manufactura de las partes (CAM).

4.1 Construcción de Partes

La mayoría de las piezas se fabricaron con aluminio por su ligereza ($2,70 \text{ g/cm}^3$), su buen comportamiento en cuanto a la resistencia mecánica, su durabilidad y resistencia a la corrosión.

El aluminio puro prácticamente no tiene aplicación, dado que se trata de un material blando y de poca resistencia mecánica. Sin embargo, aleados con otros elementos permite aumentar su resistencia y adquirir otras cualidades que varían según la naturaleza de los aleantes utilizados. Las aleaciones de aluminio se dividen en dos grandes grupos que son forja y fundición. Dentro de las aleaciones de aluminio forjado que son tratables térmicamente, tenemos a las Aleaciones 6xxx. Los principales elementos aleantes de este grupo son magnesio y silicio y es utilizada para perfiles y estructuras en general. Las aleaciones de aluminio más comunes son: la aleación 6061 y la aleación 6063 que se utilizara para la manufactura de las partes.

Tabla 11 Propiedades Mecánicas del Aluminio 6063

ESTADO	Carga de rotura Rm N/mm ²	Límite elástico Rp 0.2 N/mm ²	Alargamiento 5,65 V So	Resistencia de la Cizalladura N/mm ²	Dureza	
					Brinell(HB)	Vickers
T4	150	90	22	-	42	-
T5	220	170	14	140	65	-

Fuente: (Broncesval.sl, 2013)

Las piezas que se muestran a continuación fueron construidas en un taller especializado con una fresadora CNC

Figura 60 Placas soporte Laterales eje X.



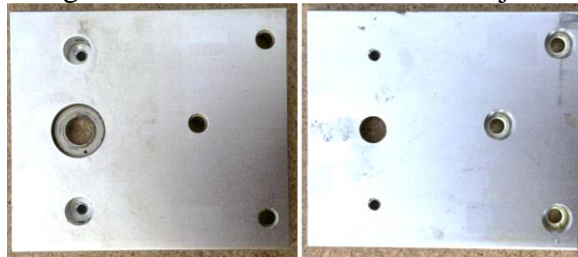
Fuente: Autores

Figura 61 Placa superior Corredera eje Z.



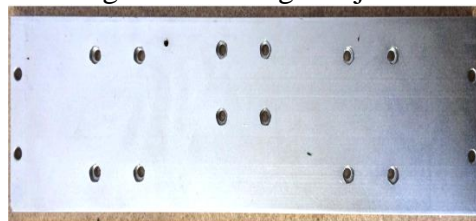
Fuente: Autores

Figura 62 Placa inferior Corredera eje Z.



Fuente: Autores

Figura 63 Base guía eje Y.



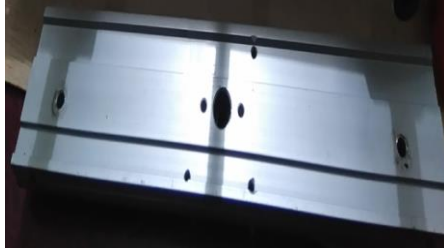
Fuente: Autores

Figura 64 Soporte frontal de la mesa.



Fuente: Autores

Figura 65 Soporte posterior de la mesa.



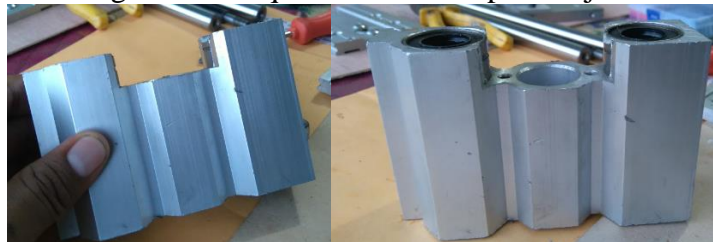
Fuente: Autores

Figura 66 Perfil L, soportes laterales de la mesa



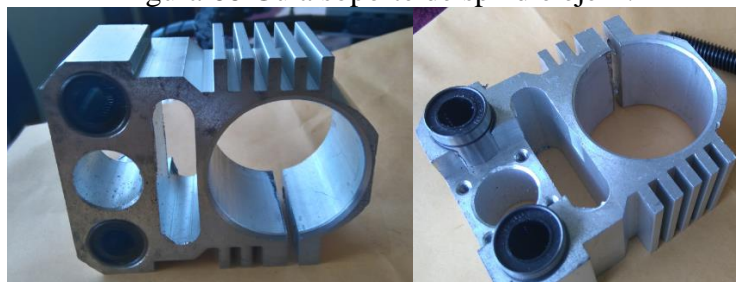
Fuente: Autores

Figura 67 Bloque Corredera Superior eje X.



Fuente: Autores

Figura 68 Guía soporte de spindle eje Z.



Fuente: Autores

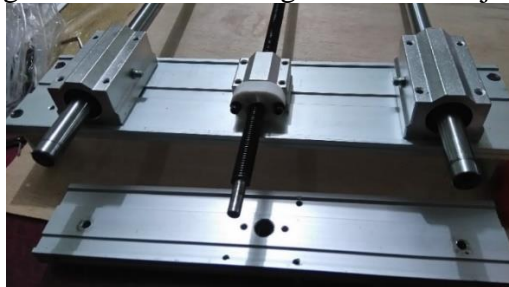
4.2 Ensamblaje.

4.2.1 *Ensamble de guías lineales Eje Y.* Se empieza atornillando los rodamientos lineales LM16UU con su respectivo SCSLM16UU sobre la placa base guía del eje Y,

posteriormente se atornilla la base SCSLM13UU en la parte central de la placa teniendo en cuenta dejar el juego necesario que nos permita centrar el conjunto, introducimos los ejes del carro Y en los rodamientos lineales procurando que queden alineados, de igual manera procedemos a integrar el husillo de transmisión en el soporte SCSLM13UU sujetando la tuerca brida, por medio de dos tornillos, (se recomienda que tenga una buena sujeción para evitar la aparición de juegos innecesarios que influyan en la precisión del mecanismo).

Posterior a ello introducimos el husillo roscado de tal manera que quede alineado con los ejes para acoplarlo a las placas bases.

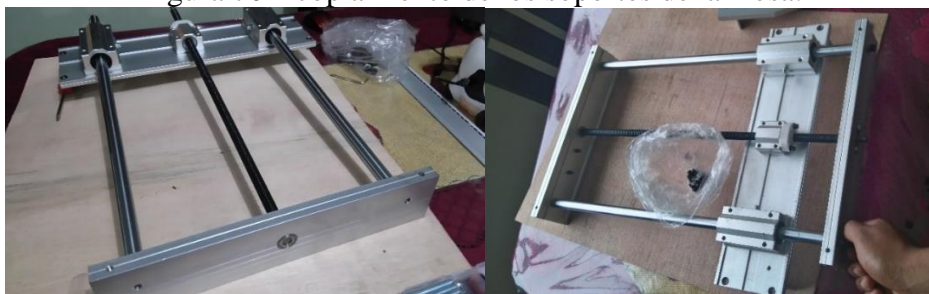
Figura 69 Ensamble de guías lineales Eje Y.



Fuente: Autores

4.2.2 *Ensamble de la mesa base.* Una vez armado las guías procedemos al armado de la mesa, incrustando en rodamiento radial 698zz en el alojamiento de las placas base que sirven de soporte frontal y posterior. Posterior a ello colocaremos el sistema de guías lineales incrustando el husillo en los rodamientos, los que permitirán el giro del mismo, de igual manera apegamos los ejes a la placa base y la sujetamos al costado por medio de tornillos teniendo en cuenta dejar un juego igual al de las guías. Repetimos este mismo procedimiento con la placa posterior.

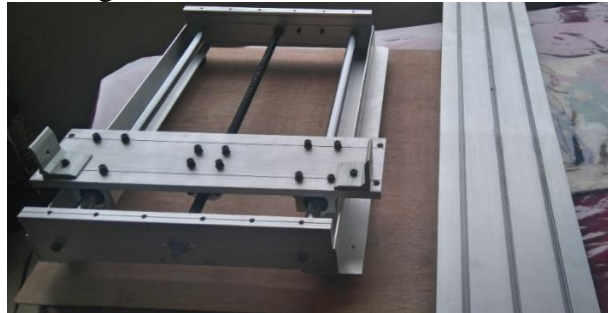
Figura 70 Acoplamiento de los soportes de la mesa.



Fuente: Autores

Después de haber sujetado las placas procedemos a colocar los perfiles L en la parte inferior de las placas base por medio de tornillos en la parte inferior y a los costados. Habiendo realizado eso procedemos a ajustar los tornillos que dejamos con juego, teniendo en cuenta de ajustarlos alternadamente hasta que quede fija la estructura y comprobando que la base soporte del eje y, se deslice por toda la trayectoria de los ejes que sirven de soporte.

Figura 71 Estructura base de la mesa.



Fuente: Autores

Teniendo sujeto el conjunto procedemos a cortar dos piezas del perfil JM15160. Con la misma medida del largo total de la estructura. Colocamos los perfiles en la parte superior de la estructura de una manera alineada entre ellas logrando cubrir toda la superficie y la sujetamos por medio de tornillos solo en los soportes bases frontal y posterior de la estructura para tener movimiento libre de todo el tren del eje Y.

Figura 72 Procedimiento de la sujeción de la mesa base.



Fuente: Autores

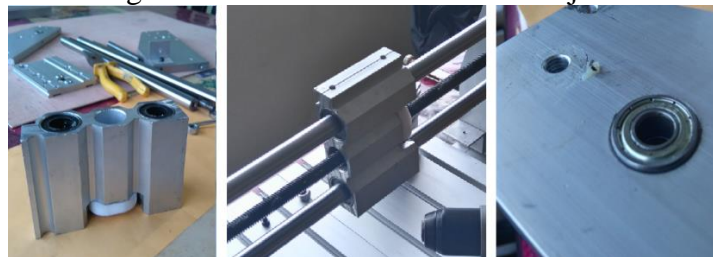
4.2.3 *Ensamble estructura eje X.*

Para ensamblarla estructura del eje X procedemos de igual manera que el eje Y. incrustamos un par de rodamientos lineales LM16UU en los agujeros extremos del bloque corredera del eje X para el alojamiento de los ejes guías, luego insertamos la tuerca brida

en el agujero central de la corredera y la sujetamos fijamente por medio de pernos, eh incrustamos en husillo roscado en la tuerca brida atravesando todo el bloque de igual manera incrustamos los ejes guías comprobando que quede alineados.

Posterior a ello preparamos las placas laterales y Colocamos los rodamientos SKF – 608 en los alojamientos situados en la parte superior de las placas guía para soporte del husillo roscado del eje X.

Figura 73 Proceso de ensamble del eje X.



Fuente: Autores

Después sujetamos las placas laterales a la placa guía del eje Y, dejando los tornillos flojos para poder manipular y centrar el sistema guía, incrustamos el husillo en los rodamientos teniendo en cuenta la ubicación del eje de sujeción para el motor paso a paso y sujetamos los ejes a las placas laterales por medio de tornillos y arandelas de presión para mantener fijo todo el sistema, y procedemos a ajustar fijamente los tornillos de las placas con la base alternadamente.

Figura 74 Sujeción del eje X a la mesa.



Fuente: Autores

4.2.4 *Ensamble de la estructura eje Z.* Una vez sujeta la estructura del eje X a la mesa base, procederemos a ensamblar el sistema del eje Z sobre el bloque corredera del eje X. para lo cual procedemos a fijar los rodamientos sobre la placa inferior de la corredera del eje Z, luego sujetamos la placa al bloque corredera del eje X, por la parte

inferior con tornillos allen para tener un soporte.

En soporte del Spindle colocamos los rodamientos lineales LM12UU para el deslizamiento uniforme del soporte, incrustamos la tuerca brida en el agujero central y lo sujetamos fijamente por los tornillos allen de manera que se mantenga fija, después incrustamos el husillo roscado hasta que lo atraviese completamente para incrustar el extremo en el rodamiento que servirá de soporte para el tornillo y sujetamos los ejes guías a la placa inferior de la corredera del eje Z, con tornillos allen dejándolos flojos para poder centrarlos.

Figura 75 Ensamble del sistema eje Z.

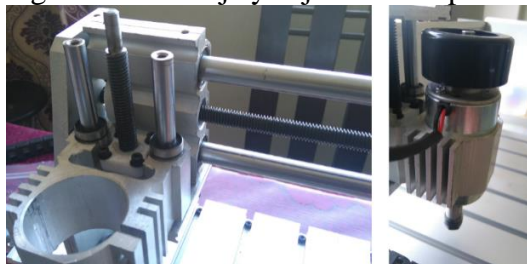


Fuente: Autores

Una vez colocado los ejes procedemos a montar el soporte del spindle sobre ellos, deslizando el soporte, y centrando el tornillo en el rodamiento de la placa inferior, luego colocamos la placa superior con su respectivo rodamiento, sujetándolos la placa contra el bloque corredera del eje X y centrando los ejes para sujetarlos con tornillos Allen procedemos a comprobar su deslizamiento y ajustamos alternadamente todos los tornillos

Por ultimo colocamos el spindle en el soporte. Y lo aseguramos con los tornillos allen en la parte frontal para evitar que gire debido al esfuerzo del trabajo durante el corte con el útil.

Figura 76 Montaje y sujeción del spindle.



Fuente: Autores

4.2.5 Montaje del sistema de control. Una vez armada toda la estructura procederemos a integrar el sistema de control para lo cual colocaremos motores paso a paso, en cada uno de los extremos de los husillos para dar movimiento en los ejes X, Y, Z.

Para montar los motores lo primero que realizaremos es instalar un sistema de alimentación para los mismos colocando el cableado de los motores y el spindle, para lo cual usaremos cable recubierto, a un extremo le instalamos enchufes tipo aviaador de 15A 250V que nos permitirá una conexión rápida a la fuente de alimentación que contiene los drivers. Y al otro extremo colocaremos un socket de 4 pines para conectar los motores y uno de 2 pines para el spindle.

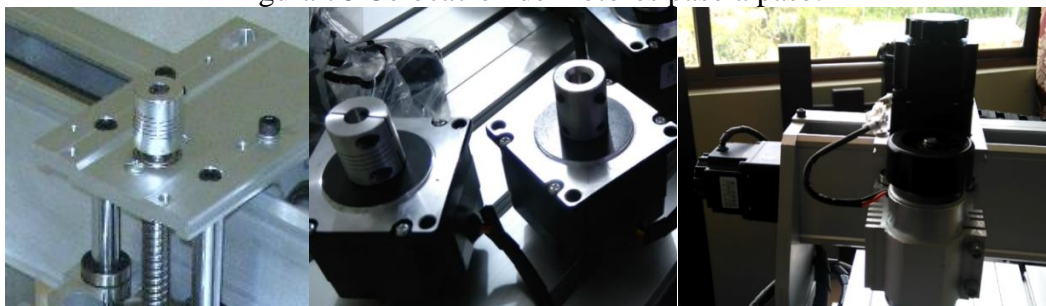
Figura 77 Proceso de cableado.



Fuente: Autores

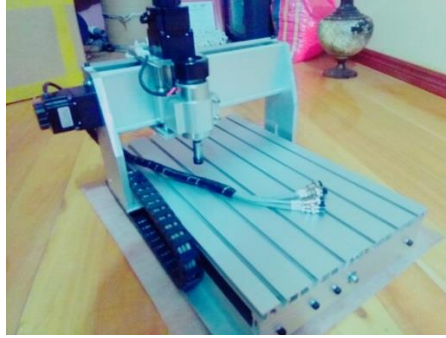
Sujetamos los ejes de todos los husillos por medio de un acople flexible para motores mena Eixo: 8 mm x 6,35 mm y apretamos los espárragos a un extremo del acople con la ayuda de una llave allen, colocamos el soporte del motor eh insertamos el eje del motor al otro extremo del acople ara centrar, una vez realizado eso procedemos a sujetar el motor junto a la base por medio de tornillos allen.

Figura 78 Colocación de motores pasó a paso.



Fuente: Autores

Figura 79 Ensamble final prototipo CNC.



Fuente: Autores

CAPITULO V

5. SISTEMA DE CONTROL.

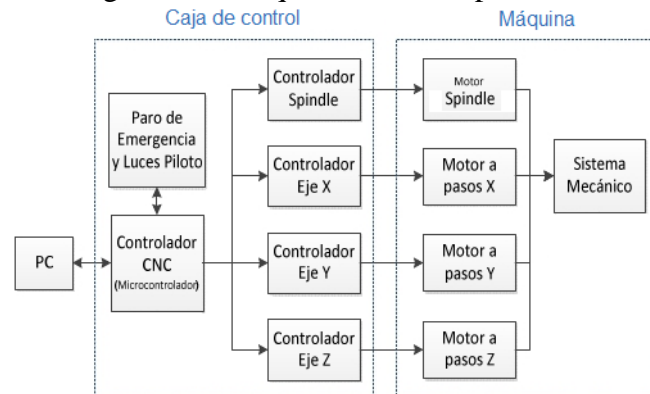
Se debe realizar el desarrollo del sistema de control para el movimiento de la máquina, siguiendo los parámetros y características estipuladas anteriormente.

Por tanto, se seleccionarán los componentes, se desarrollaran los algoritmos de control y se realizará la simulación para la verificación de funcionamiento.

5.1 Diagrama del sistema.

El sistema consta de varios componentes, el componente principal es el controlador CNC, este realiza las operaciones principales e interpreta las señales enviadas por el ordenador para el control de posicionamiento numérico, velocidades, entradas y salidas digitales, todo eso mientras la máquina se encuentra en funcionamiento.

Figura 80 Diagrama de bloques de los componentes del sistema.



Fuente: Autores

En la caja de control, mediante un software se controla la velocidad y posición de cada eje en lazo abierto, el software lee los datos de un código G y los comunica al micro controlador para que se los logre ejecutar.

5.2 Selección del Componentes del sistema.

Todos los componentes deben ser seleccionados a partir de las características

especificadas en el capítulo 3 y los valores dimensionados anteriormente en el capítulo 4.

5.2.1 Motores para ejes X, Y, Z.

5.2.1.1 Parámetros de selección. Para realizar una selección óptima de los elementos se tomó en consideración diferentes parámetros específicos que poseen los motores paso a paso como son:

Por el Tipo de motor a pasos:

- Reluctancia variable: Rotores dentados de hierro dulce, y su estator con bobinas.
- Imán permanente: Rotor magnetizado, y su estator con bobinas.
- Híbridos: Construcción combinada, utilizando reluctancia variable y rotor magnetizado, logrando un alto rendimiento.

Por Conexión:

- Unipolar: La corriente circula en un sólo sentido. Permite operar con tensiones altas y corrientes bajas.
- Bipolar paralelo: La corriente circula dependiendo de la tensión aplicada.
- Bipolar serie: Es igual al anterior sólo cambia la conexión.

Ángulo de paso:

La precisión del sistema se estableció como 0.1 mm, y esta se obtiene a partir del paso del husillo de bolas y del ángulo de paso:

precisión: 0.1 mm

paso: 5 mm

$$\text{Mínimo desplazamiento angular} = \frac{360}{\frac{5}{0.1}} = 7.2^\circ$$

- Torque de retención (Holding torque): El valor mínimo de este parámetro se calculó en la sección 3.2.4.
- Corriente Nominal: Es un parámetro que depende del torque; a mayor torque mayor corriente nominal del motor.
- Manufactura: Especificación Nema para motores.

5.2.1.2 Selección del Motor. En vista de los parámetros tomados en cuenta para la selección del motor, se seleccionó un motor con las mejores características a un precio conveniente.

Tabla 12 Especificaciones del motor seleccionado

Parámetro	Descripción
Modelo	57HD401
Tipo	Hibrido – Bipolar
Rated current	0.6 A
Nominal current	2 A
Holding torque	1 N.m
Detent torque	50 mN.m
Step angle	1,8° (200 pasos/Rev)
Resistance per phase	12 Ω
Manufactura	Mena 23
Inductance per phase	43 mH
Rotor inertia	260
Motor mass	0,6 kg

Fuente: http://richalight.en.alibaba.com/product/534825938-213245117/57HD_Hybrid_Stepper_Motor_stepping_motor.html

Figura 81 Motor a Pasos DCNC-NEMA 23.



Fuente: http://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-611713445-motor-paso-a-paso-nema-23-22-nm-bipolar-de-alto-rendimiento-_JM

5.2.2 *Tarjeta controladora de motor a pasos.*

5.2.2.1 *Parámetros de selección.* En el mercado existe una gran diversidad de tarjetas controladoras para motores a pasos, cada controlador posee diferentes características, como las que mencionaremos a continuación.

- **Voltaje de alimentación:** El controlador debe tener un rango de alimentación que permita operar con varias fuentes.
- **Control de corriente:** El controlador debe controlar la corriente de las bobinas para garantizar un buen torque a altas velocidades.
- **Microstepping:** Control para alcanzar ángulos de pasos menores al de fabricación. El controlador debe permitir obtener al menos 0.9° , con el objetivo de incrementar en gran manera la precisión de movimiento.
- **Máxima frecuencia de operación:** Debido a que el avance de un paso se obtiene en un flanco ascendente o descendente de una señal digital, la frecuencia limita la velocidad que se puede alcanzar, por tanto, se debe escoger un controlador que incluya el siguiente valor de frecuencia en su rango de operación:

Datos:

Velocidad de avance máxima = 4000 mm/min

$Paso = 4 \text{ mm}$

$Microstepping = 2$

$Pasos \text{ por revolución} = 200 * 2 = 400 \text{ p/rev}$

Resultados:

$$Velocidad \text{ angular} = \frac{4000}{4} = 1000 \text{ rpm} = 16.66 \frac{rev}{s}$$

- $Frecuencia = 16,66 * 400 = 6,66 \text{ kHz}$
- Amortiguación de resonancia: En ciertas frecuencias de operación el motor entra en la zona resonancia. Esta característica presenta mejor desempeño en el motor.
- Protecciones eléctricas
- Protecciones de temperatura
- Conexión a protecciones analógicas
- Opto acopladores: Aíslan eléctricamente la señal de entrada del controlador.
- Puerto de conexión: recomendable que sea de conexión directa al ordenador sin necesidad de interfaces terceras.
- Software: Es importante que la tarjeta controladora interactúe con EMC2.
- Numero de ejes

5.2.2.2 *Selección de la tarjeta controladora.* Existen varias opciones en lo que se refiere a tarjetas controladoras de motores a pasos (ver Tabla 13), su costo varía dependiendo las funciones y parámetros que realizan, para realizar la selección nos centraremos a los parámetros citados anteriormente, dependiendo los requerimientos de

nuestro sistema en particular.

Tabla 13 Comparativa de controladores para motores a pasos

Parámetros	Sw-DB002	BEST TECHNOLOGY PCI	XHC MK4	M542H	JP-382A
Voltaje de alimentación	13-24 V	5- 24 V	6-24 V	20-100 V	12-36v
Control de corriente	Si (Dipswitch)	Si (Vref)	Si (Dipswitch)	SI (Dipswitch)	Si (Dipswitch)
Microstepping	Si. Hasta 25600	Si. Hasta 10	Si. Hasta 25600	Si. Hasta 51200	Si. Hasta 51200
Frecuencia máxima	200kHz	300kHz	2000kHz	100kHz	35kHz
Tecnología	Anti-Resonancia	Anti-Resonancia	Anti-Resonancia	Anti-Resonancia	Anti-Resonancia
Protecciones eléctricas	Si	Si	Si	No	Si
Protección de temperatura	Si	Si	Si	No	Si
Conexión a protecciones analógicas	Si	No	Si	Si	Si
Opto acopladores	Si	Si	Si	Si	Si
Puerto de conexión	puerto paralelo DB25	Puerto paralelo	USB.	USB/puerto paralelo	puerto paralelo DB25
Software	Mach3/Kcam 4	UG,MASTER CAM,CASM ATE,Art CAM	Mach3	MACH3, EMC2, KCAM4	MACH3, EMC2
Numero de ejes.	3 ejes	3 ejes	4 ejes	4 ejes	3 ejes
Información extra.	Necesita drivers externos	Drivers incluidos	Drivers incluidos	Necesita drives externos	Drivers incluidos

Fuente: Autores

Para el presente proyecto se seleccionó la tarjeta de control JP-382A (ver Tabla 14) que nos brinda una interacción entre la tarjeta y el software EMC2, y su proximidad a la frecuencia requerida calculada anteriormente de un mínimo de 6,66 kHz tomando como aceptable su valor de 35kHz para evitar conflictos por rangos de frecuencia elevada, sumado a ello el nivel de voltaje que son los indicados para nuestros motores paso a paso.

Tabla 14 Características de la tarjeta controladora JP-382A

Característica	Descripción
Torque	Alto torque bajo condiciones de alta velocidad
Corriente	Configuración de corriente hasta 8 valores
Tecnología	Tecnología patentada - Control de corriente 3-state
Detención	Reducción automática de corriente durante detención
Microstepping	15 valores de resolución
Operación	Doble modo de operación - PUL/DIR y CW/CCW
Protecciones	Corto-circuito, sobre-voltaje y sobre-temperatura
Dimensiones	Pequeñas
Precio	70\$ aproximadamente incluido envío

Fuente: (Stepper card Motor Driver, 2016)

Figura 82 Tarjeta controladora JP-382.



Fuente: Autores

Con el motor y controlador seleccionado, se puede alcanzar una precisión de 0.01mm en los ejes X, Y y Z

$$\text{precisión} = \frac{\text{paso tornillo}}{\frac{\text{pasos}}{\text{rev}} \text{ del motor}} = \frac{4 \text{ mm}}{400}$$

presición: 0.1 mm

5.2.3 Spindle. Para la selección del Spindle portaherramientas tomaremos en cuenta los resultados de los cálculos realizados en el capítulo 3, estos resultados también se utilizarán para la selección del controlador.

Datos encontrados anteriormente:

- Potencia mínima: 339 W.
- Velocidad angular máxima: 10610,329 rpm.

Tomando en consideración la potencia mínima requerida de 339 W localizamos un Spindle que se aproxime a su valor encontrando seleccionando un Spindle con una potencia de 350 W pues el rango en que varían su potencia es de 50W.

Tabla 15 Especificaciones del Motor Portaherramientas

Parámetro	Descripción
Voltaje	24V -36V DC
Tensión de trabajo	350W
Velocidad de rotación	3000 a 12000 rpm
Resistencia de aislamiento	> 2 MΩ
Rigidez dieléctrica	400 V
Torque nominal	300 Nm
Axis pinza Longitud	48mm
Diámetro	52mm
Diámetro del eje recoger titular	16mm
Parámetro	Descripción
Longitud del motor	175mm
Repetibilidad	0.01-0.05mm
Colector de la herramienta	ER11 recoger: 3.175mm
Descentramiento	menor a 0,01mm
Precio	100\$ aprox.

Fuente. <http://es.aliexpress.com/item/DC-12-48-CNC-350W-Spindle-Motor-Mount-Bracket-24V-36V>

Figura 83 Spindle.



Fuente: Autores

5.2.3.1 Controlador Motor Portaherramientas. La mejor manera de regular la velocidad de un motor, es mediante la modulación por ancho de pulsos también conocida por sus siglas en inglés (PWM). Ideal en motores DC que alcanzan altas revoluciones por minuto, Esto se logra utilizando un microprocesador como el Z80, o un microcontrolador (por ejemplo, un PIC 16F877A, 16F1827, 18F4550, etc. Dependiendo de la casa fabricante de los controladores PWM.

En esta parte no es necesario realizar una extensa selección, puesto que el proveedor del Spindle nos recomienda la tarjeta PWM, la cual funciona con el tipo de Spindle adquirido.

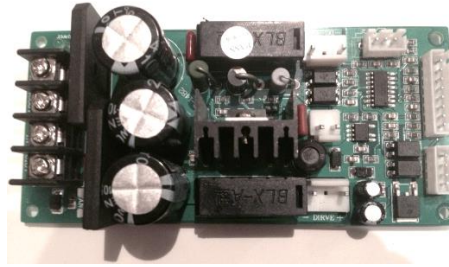
El controlador es un JP1482 tal como observamos en la Figura 16, el cual posee las siguientes características que se utilizarán para nuestro estudio en el presente trabajo de titulación:

Tabla 16 Especificaciones del controlador JP1482 para Spindle

Parámetro	Descripción
Alimentación	18V-36V AC
Corriente máxima	10A
Entrada PWM	5-18VDC
Disipador	Incluido
Protección	Corriente- fusible
PWM Duty Cycle	10% -100%.
PWM Frequency	13 KHz.
Precio	50\$ aprox.

Fuente: <https://bleughbleugh.wordpress.com/2015/08/11/jp-1482-spindle-board/>

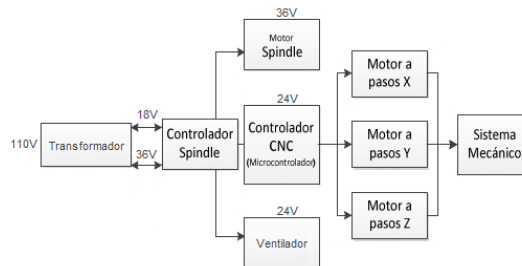
Figura 84: Controlador de velocidad del motor portaherramientas.



Fuente: Autores

5.2.4 Selección de la fuente de alimentación. Para realizar la selección de la fuente de alimentación debemos tomar en cuenta los voltajes de nuestros elementos que van a ser instalados y ordenarlos dependiendo de su conexión y alimentación a cada uno de los componentes, tal como se muestra en la Figura 85, el elemento que alimenta a todo el sistema es el PWM o controlador Spindle.

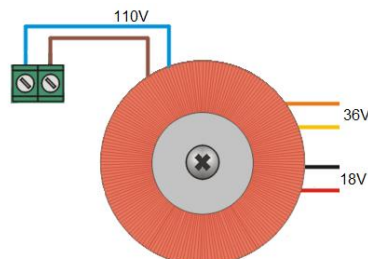
Figura 85: Secuencia de alimentación sistema electrónico.



Fuente: Autores

EL controlador de Spindle (PWM) se alimenta con dos tensiones en AC de 36V y 18V para poder funcionar y distribuir el voltaje a los diferentes componentes, tomando en cuenta esa consideración, se selecciona un Transformador Toroidal de la marca Velleman que nos permite tener dos voltajes al mismo tiempo, ingresando una tensión de 110V con dos salidas independientes de 36V y 18V respectivamente como se muestra en la figura.

Figura 86: Transformador Toroidal.



Fuente: Autores

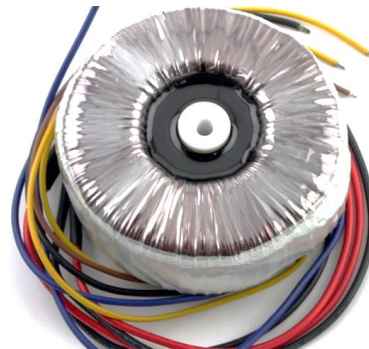
El transformador que se utilizara en la selección para nuestro estudio posee las siguientes especificaciones:

Tabla 17: Características transformador 100V – 36V- 18V

Tensión: 2 x 36V – 18V
Corriente: 2 x 3.13A
Regulación: 6%
Peso: 2.70kg
Ø: 130mm máx.
Altura: 56mm máx.
Tornillo de fijación: M8 x 60mm
Tuerca: M8
Arandela de metal: Ø92mm
Arandela de goma: Ø96mm
Conexiones: cables de 200mm de PVC, 10mm apantallados y estañados
Primario: 1672 18AWG negro - negro : 1 x 110V
Secundario: *rojo - amarillo / *azul - gris (* = arranque)
Tensión primaria: 110V / 50Hz
Aislamiento primario-secundario: 500Vdc
Aislamiento secundario-secundario: 500Vdc
Categoría de aislamiento: clase A, 105°C

Fuente: <http://www.velleman.eu/products/list/?id=343848>

Figura 87: Transformador Toroidal 110v a 36V – 18V.



Fuente: Autores

5.2.5 *Caja de control e interconexión.* La caja de control permite montar la fuente de alimentación en conjunto a las tarjetas controladoras del proyecto para realizar las interconexiones necesarias y mantener todos los circuitos y cables en buen estado.

Además, permite montar una sección para realizar las conexiones de los componentes de la máquina fácilmente, al igual incorporar los elementos que nos permitan encender y controlar el Spindle del CNC, al igual el incorporar un botón de paro de emergencia en caso de inconvenientes.

5.2.5.1 *Diseño de la caja de control.* La caja de control consiste en una caja metálica que contenga de una manera distribuida todos los elementos que conforman nuestro sistema de control electrónico, En la parte posterior irá todos los elementos que conforman los elementos de entrada y salida como son:

- Conector IEC C14 con porta fusible para la entrada de alimentación a 110v
- Salida de conexión para el puerto paralelo
- Salida de conexión MIC334 hembra para la alimentación y control de los ejes X, Y, Z.
- Salida de conexión MIC332 hembra para la alimentación del spindle.
- Salida de aire para ventilación de los componentes.

Mientras que en la parte frontal se ubicara los elementos que serán manipulados directamente por un operario como son:

- Botón de encendido de la caja de control
- Botón de encendido del Spindle
- Botón de paro de emergencia (STOP).
- Perilla de control de velocidad del Spindle.

En la Figura 88 muestra un conector MIC334 para la caja de control. Además, se utiliza un conector igual para el Spindle y la referencia o conexión a tierra.

Figura 88 Socket MIC334.



Fuente: <http://www.tme.eu/en/katalog/?art=MIC334>

Los cables de la máquina fresadora van soldados a conectores hembra MIC324, para acoplarse rápidamente a los conectores instalados en el panel de conexiones. Estos conectores incluyen un seguro contra la tensión en los cables y una rosca de seguridad para mantener la conexión firmemente en el panel de conexiones.

En la Figura 89 se puede observar un conector MIC324 para los cables del motor y Spindle.

Figura 89 Conector MIC324 para cables de la máquina fresadora.



Fuente. <http://www.tme.eu/en/katalog/?art=MIC324>

En la Figura 90 se muestra el conector IEC C14 para panel, utilizado para proveer la alimentación proveniente de la línea eléctrica de 110 VAC a la caja de control. Este conector viene con un alojamiento para fusibles el cual nos va a servir de protección para nuestra caja de control.

Figura 90 Conector IEC C14 con porta fusible.

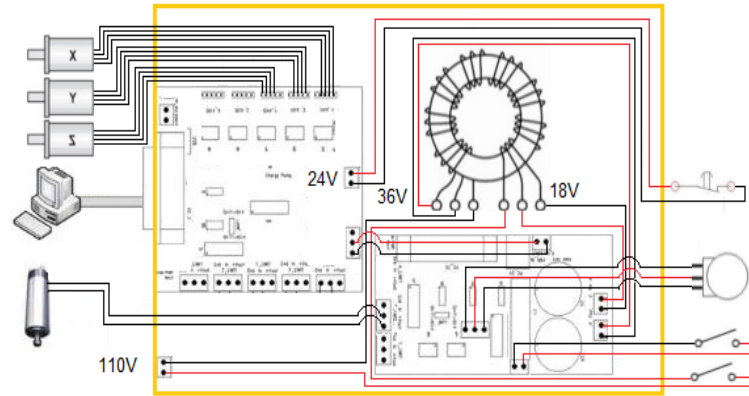


Fuente: <http://www.shoptronica.com/conectores-enchufes-clavijas-de-luz/2036-base-enchufe-iec-c14-macho-con-porta-fusible.html>

5.2.6 *Interconexión de las tarjetas controladoras.* En la Figura 91 se muestra el croquis del montaje de las placas controladoras en el interior de la caja de control orientando a la parte posterior todas las conexiones que van orientadas directamente al

prototipo CNC y los componentes de control a la parte frontal para la manipulación directa del operario.

Figura 91 Montaje de placas controladoras.



Fuente: Autores

CAPITULO VI

6. DESCRIPCIÓN DE SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE PCB

Para fomentar el uso del software indicado primero se debe tomar en consideración, el fin para cual fue construido el prototipo: La construcción de placas PCB aplicables para la recuperación de PLCs.

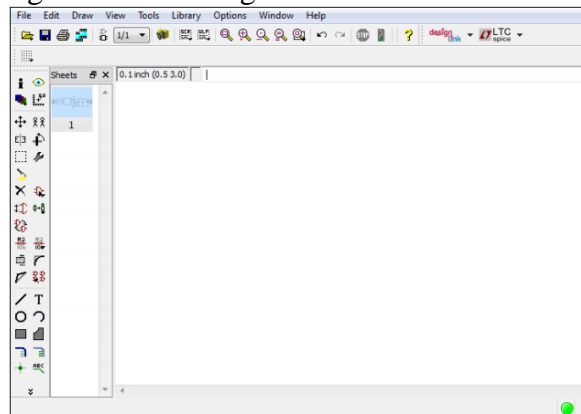
Para realizar el diseño de las tarjetas PCB el software debe tener como mínimo las siguientes características:

- Permitir el diseño de PCB.
- Exportar códigos G.
- Cumplir con normas de diseño.

6.1 Software CadSoft EAGLE.

CadSoft EAGLE (cuyas siglas en inglés son Easy Applicable Graphical Layout Editor es un software de diseño de circuitos impresos el cual posee un auto-enrutador, el software posee una gran variedad de elementos para el diseño electrónico dispuesto en una gran variada cantidad de bibliotecas y además una de sus mayores ventajas se debe a que es un programa con licencia gratuita. En la Figura 92 se tiene la interfaz gráfica del software CadSoft EAGLE.

Figura 92 Interfaz gráfica de CadSoft EAGLE.



Fuente: Autores

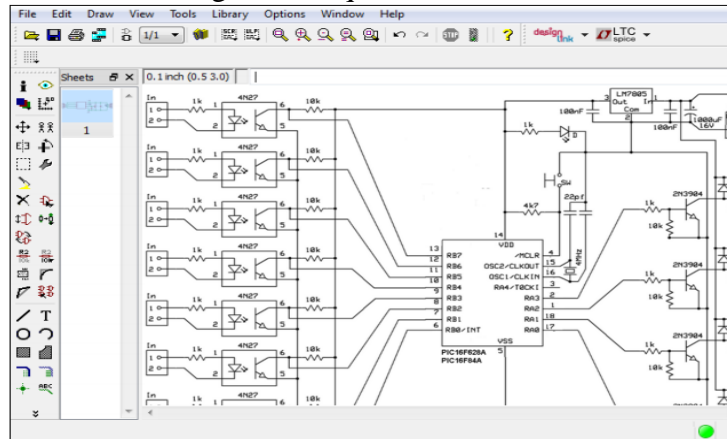
Finalmente, en EAGLE es posible agregar programas escritos por el usuario, denominados ULPs (User Language Programs). Estos programas son escritos en un lenguaje parecido a C, que permiten añadir funciones personalizadas a EAGLE, tales como abrir y exportar archivos desconocidos para el programa. Al igual que con las librerías de componentes, las ULPs de EAGLE son distribuidas por la red en forma gratuita, permitiendo a los usuarios de EAGLE mejorar su experiencia personal con el software.

6.1.1 *Diseño de placas de circuitos impresos PCB.* Para fomentar la aplicabilidad del prototipo a la recuperación de PLC, se realiza un diseño básico de un circuito PLC, tomando como base un PIC 16F84A o PIC 16F628 por tratarse de un controlador lógico y poder programarse, si bien no está diseñado para tener ISCP (programación en circuito). Cumple con las funciones de un PLC como tener 8 entradas aisladas óptimamente mediante optoacopladores 4N27 y 4 salidas mecánicas mediante relé.

El circuito cuenta con una fuente regulada a 5V para el microcontrolador, no obstante la entrada debe ser de 12V ya que esta alimenta los relés. Pero podría mejorarse mediante un regulador de 12V aunque no es necesario.

Una vez definido el tipo de circuito en el CadSoft EAGLE nos dirigimos al editor de diagramas esquemáticos, donde es posible colocar componentes y conectarlos a través de cables o etiquetas para representar las conexiones eléctricas del circuito que se pretende realizar.

Figura 93 Editor de diagramas esquemáticos de EAGLE, Circuito PLC.

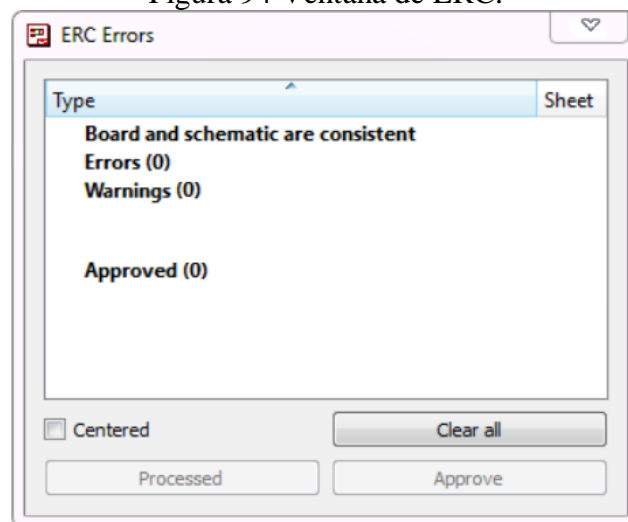


Fuente: Autores

El editor de esquemáticos permite añadir todos los componentes necesarios para desarrollar la placa de circuito impreso. Además, si es necesario utilizar componentes que no estén en las librerías de EAGLE.

Ayudados de la herramienta o comando llamado Electrical Rule Check (ERC), encontramos los posibles errores eléctricos en el diagrama esquemático. La herramienta nos permite realizar un chequeo de consistencia, para determinar que todas las conexiones eléctricas del diagrama esquemático estén presentes en el diseño mostrando una ventana con aviso de errores que deben ser tomadas en cuenta para corregirlas antes de la producción del circuito impreso.

Figura 94 Ventana de ERC.



Fuente: Autores

En la Figura 94 se muestra la ventana de ERC para el diagrama esquemático de la figura (Editor de diagramas esquemáticos de EAGLE, Circuito PLC) En este caso, la herramienta no indica ningún error eléctrico en el diagrama y podemos continuar con el diseño.

A partir del diagrama esquemático es posible crear el diagrama de circuito impreso. Para esto debe seleccionarse la opción:

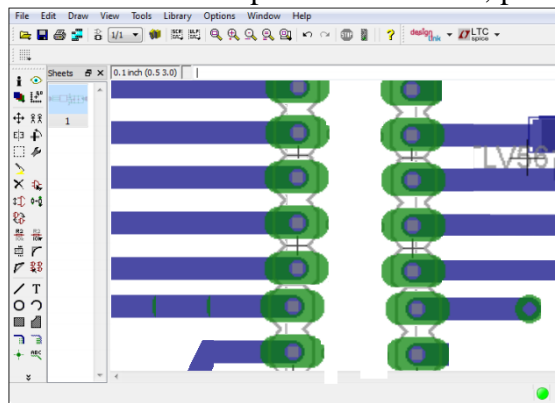
File -> Switch to board

Ubicados en la ventana de edición del circuito esquemático creándose automáticamente.

Una vez creado el diagrama de circuito impreso se posicionan los componentes y se dibujan las pistas que conforman las conexiones eléctricas en la placa de circuito impreso.

En la Figura 95 se muestra la ventana de edición de circuitos impresos de EAGLE, Del lado izquierdo de la figura se observan todas las herramientas disponibles para el diseño del circuito impreso. Nuevamente, resulta extremadamente útil asignar teclas rápidas a los comandos ejecutados por las herramientas.

Figura 95 Editor de circuitos impresos de EAGLE, pistas del circuito.



Fuente: Autores

Las pistas que unen a los componentes son conectadas a terminales especiales llamadas pads, que son los puntos del circuito donde va un pin del componente electrónico y además debe hacerse un agujero para que pase el pin del componente de un lado de la placa de circuito impreso al otro.

Para inspeccionar las configuraciones de las pistas se utiliza la herramienta Design Rule Check (DRC) que permite revisar de acuerdo con un archivo de configuración si el diseño cumple especificaciones de tamaños de pistas, separación entre dichas pistas, pads y vías, distancias entre estas hacia la placa de circuito impreso.

Ésta es una función muy útil para configurar las especificaciones de producción para la placa de circuito impreso. En el caso de la fabricación a través de la máquina fresadora, la herramienta determina si es posible realizar la placa de circuito impreso, o de lo contrario, si se viola alguna de las restricciones impuestas en el proceso de fabricación.

En la Figura 96, Se puede apreciar la ventana Design Rule Check (DRC) que nos permite

configurar las pistas de nuestro circuito PCB la cual tiene la siguiente configuración por pestañas:

Layers:

- Copper 1 = 0,035 mm
- Copper 2 = 0,035 mm

Clearance:

- Todos los campos = 13 mil

Distance:

- Copper / dimension = 30 mil
- Drill / hole = 8 mil

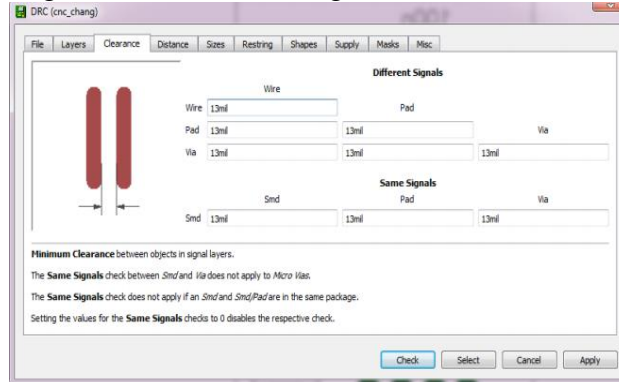
Sizes:

- Minimum width = 10 mil
- Minimum drill = 31 mil

Restring:

- Pads top min = 21 mil
- Pads top % = 25
- Pads top max = 30 mil
- Pads bottom min = 21 mil
- Pads bottom % = 30
- Pads bottom max = 30 mil
- Vias outer min = 21 mil
- Vias outer % = 25
- Vias outer max = 30 mil

Figura 96: Ventana Design Rule Check (DRC).



Fuente: Autores

6.1.1.1 Generación de código G. Para generar el archivo de código G que va a ser el que dé instrucciones a nuestra máquina para mecanizar, se parte del diseño del circuito, se utiliza un ULP de EAGLE que realiza dicha tarea, llamado pcb-gcode.

El ULP obtiene a partir del diseño del circuito impreso y de la configuración utilizada el código G para fresar o cortar alrededor de las pistas de los circuitos en la placa de cobre.

El ULP pcb-gcode permite crear los archivos para barrenado de la placa de circuito impreso, archivos de corte para cortar la placa de circuito impreso y grabar texto en la superficie de la placa, el programa es gratuito y altamente configurable para obtener resultados óptimos.

El ULP puede ser descargado de la página oficial de su autor como se muestra en la Figura 6.6. Las instrucciones de instalación se encuentran dentro del archivo con el programa y el resto de la documentación.

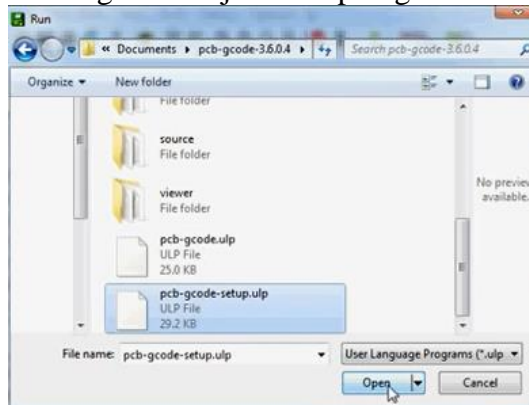
Figura 97: Página oficial pcbgcode.



Fuente: <http://pcbgcode.org/list.php?12>

Una vez instalado el ULP pcb-gcode se puede abrir la ventana de configuración del programa dirigiéndose a la barra de menú hacemos click en File, y seleccionamos Run, y se nos desplegara una ventana en la cual podremos buscar y seleccionar el archivo con nombre: pcb-gcode-setup. Tal como se muestra en la Figura 98.

Figura 98 Ejecución pcb-gcode.

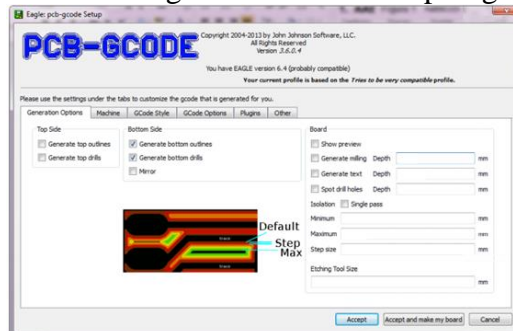


Fuente: Autores

Una vez ejecutado el programa se nos despliega una ventana de configuración que permite seleccionar distintas opciones y formas de generar el código G para el ruteado de la placa de circuito impreso.

Es necesario realizar esa configuración al menos una vez, ya que las opciones de generación son específicas para cada máquina herramienta. En esta ventana es posible configurar los archivos que se desean generar, los valores utilizados para separación de las pistas en la generación, tamaño de las herramientas, brocas disponibles para barrenado, distancias por defecto, velocidades de corte, y opciones y estilos del código G generado.

Figura 99 Ventana de configuración de la ULP pcb-gcode de EAGLE.



Fuente: Autores

Cuando la placa PCB posee dos caras el archivo de código G generado para la cara posterior de la placa utilizara coordenadas negativas, es decir, el diseño de circuito impreso original es reflejado en el eje X. Esto es para que al fresar la placa y darle vuelta coincida con el diseño realizado.

6.1.1.2 *Configuración de ULP pcb-gcode.* La configuración utilizada en la ULP pcb-gcode para la generación de archivos de código G para nuestra placa PCB. Se la menciona a continuación con los nombres de los campos y los valores correspondientes a cada uno.

Generation options:

- Generate bottom outlines = Casilla marcada
- Generate bottom drills = Casilla marcada
- Isolation single pass = Casilla marcada
- Isolation mínimo = 0,1 mm
- Isolation máximo = 0,4 mm
- Isolation step size = 0,3 mm
- Etching tool size = 0,1 mm

Machine:

- Units = Milimeters
- Spindle spin up time = 4 segundos
- Feed rates XY = 85 mm/min
- Feed rates Z = 60 mm/min
- Z High = 5 mm
- Z Up = 2 mm
- Z Down = -0,1 mm
- Drill depth = -1 mm
- Drill dwell = 3
- Tool change position X = 0 mm
- Tool change position X 0 mm
- Tool change position Z 10 mm

- Epsilon 0,00635 mm
- Drill rack file default.drl

GCode Style GCode:

- Style generic

GCode Options:

- NC file comments = Casillas desmarcadas
- Use user gcode = Casilla desmarcada
- Debug flag = Casilla desmarcada
- Do tool change with zero step = Casilla desmarcada
- Use line numbers = Casilla desmarcada
- Use simple drill code = Casilla marcada
- Campos de File naming = Valores por defecto

El campo Isolation single pass, controla si el programa genera una sola trayectoria de corte para las pistas del circuito impreso. Si esta casilla se encuentra desmarcada el programa genera varias trayectorias de corte con el objetivo de separar más los cortes de las pistas entre sí y minimizar la posibilidad de corto circuito, para esto toma las configuraciones de Isolation minimum, Isolation maximum y Isolation step size. El campo Etching tool size corresponde una fresa en V de 30° de grabado.

El campo Z Down controla la profundidad de fresado del circuito impreso. Todo el código G generado para fresado del circuito está basado en la suposición de que la altura $Z = 0$ en el programa de control numérico corresponde a la superficie de la placa de cobre virgen. Por lo tanto, una altura $Z = -0,1$ corresponde a todos los puntos con una profundidad de 0,1 mm sobre la placa de cobre.

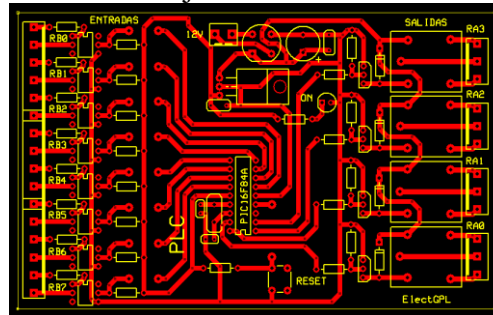
Las configuraciones de Drill rack file y GCode Style, son archivos de configuración que utiliza el programa de generación de código G para informarse de las brocas disponibles para el barrenado y el estilo del código G generado.

El archivo default es cargado en la ventana de configuración del ULP pcb-gcode. El archivo generic debe ser copiado en el directorio de instalación del ULP pcb-gcode para que la configuración tome efecto.

El tamaño de la herramienta se configura en el campo Etching tool size, y corresponde al diámetro de la herramienta de corte que es utilizado por el programa para generar el espaciamiento de las pistas que conforman los circuitos impresos. La de medida de 0,1 mm corresponde a la profundidad de fresado.

Cuando todos los valores están configurados de acuerdo a nuestras necesidades generamos el código haciendo click en el boto: accept and make my board, automáticamente se genera el código de nuestra tarjeta PCB, cabe recalcar que si activamos la casilla de preview, lograremos tener una pre visualización de nuestra tarjeta PCB la Figura 100.

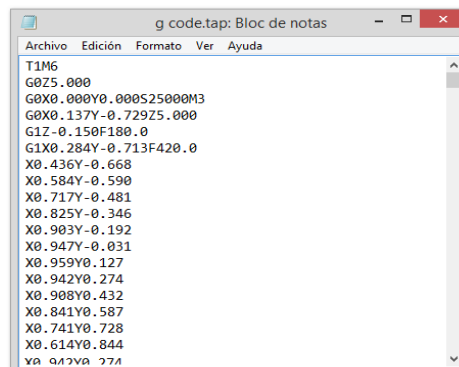
Figura 100 Pre-visualización tarjeta PCB del circuito PLC con PIC 16F84A



Fuente: Autores

Una vez obtenido el archivo de códigos G con extensión tap, visualizamos la lista de códigos que lleva nuestro diseño, abriendo el archivo con un Bloc de Notas.

Figura 101 Visualización de lista de códigos.



Fuente: Autores

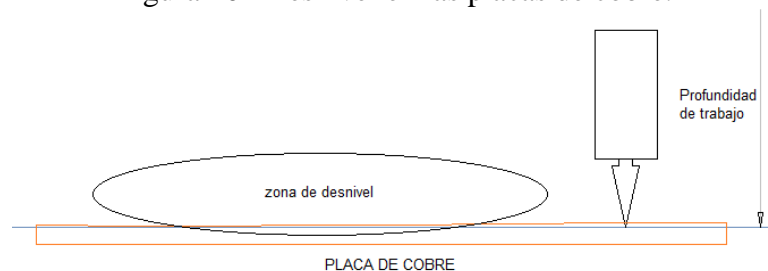
6.2 Software de medición y corrección de alturas

El ruteo de placas PCB consiste en que la herramienta de corte se mueva a lo largo de la placa para cortar las pistas y separarlas entre sí, según indique el código G generado a partir del diseño del circuito impreso.

Utilizando las coordenadas cartesianas de la máquina CNC, esto es equivalente a que la herramienta se desplace sobre la superficie de un plano, donde Z corresponde a la coordenada de altura de la herramienta de corte con respecto a la placa de cobre.

La distancia entre la superficie de cobre y el plano de fresado es generalmente muy pequeña con valores de decenas de milímetros. Esto hace que al fijar la placa a la máquina, se genere pequeños desniveles en la superficie de la placa de cobre con respecto a la altura uniforme de trabajo tal como se muestra en la Figura 102.

Figura 102 Desnivel en las placas de cobre.



Fuente: Autores

Estos desniveles provocan que la superficie de la placa no sea paralela a los planos formados por el desplazamiento de la herramienta. En otras palabras, la placa de cobre puede presentar una superficie irregular, no representa precisamente una única profundidad de fresado.

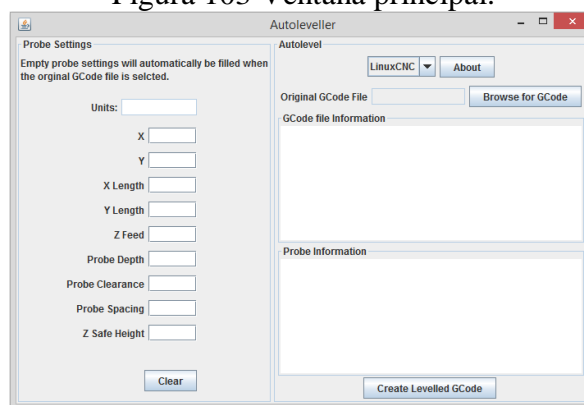
Esto provoca que en el fresado de circuitos impresos, ciertas regiones sobre la placa no sean alcanzadas por la herramienta cuando esta baja, y por lo tanto las pistas dibujadas sobre la placa no son realmente cortadas.

También puede darse el caso contrario, donde la profundidad de fresado excede la profundidad necesaria y se corta demasiado de la placa de cobre. Esto es claramente un

problema, ya que requiere ajustar manualmente el código G sobre ciertas trayectorias para asegurarse que la herramienta corte a la profundidad justa para ello es necesario la implementación de un software para eliminar este inconveniente.

6.2.1 Autoleveller. El software Autoleveller cuya ventana se lo muestra en la figura 103, es utilizado para transformar casi cualquier secuencia de comandos GCode, es fácil de usar. Sólo tiene que introducir un archivo GCode, cambiar algunas opciones de configuración de sondeo y de salida de otro archivo GCode.

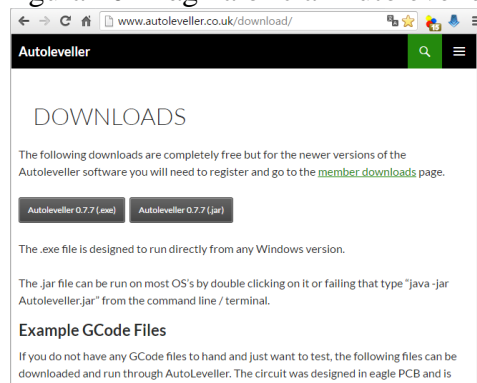
Figura 103 Ventana principal.



Fuente: Autores, Autoleveller

La versión que se usó para modificar el archivo GCode de nuestra PCB que se generó con anterioridad, está escrito en Java que lo hace independiente de cualquier sistema operativo, se lo obtiene gratuitamente de su página oficial como muestra la Figura 104, haciendo que sea una adecuada elección pues no necesita instalación puede ejecutarse con facilidad en nuestra plataforma de Linux CNC (EMC2).

Figura 104 Página oficial Autoleveller.



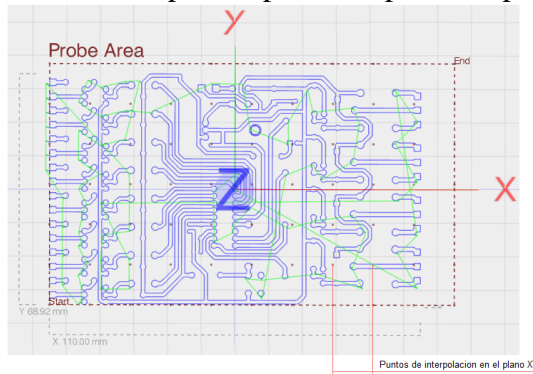
Fuente: <http://www.autoleveller.co.uk/download/>

La principal ventaja del Autoleveller es que no está ligado a ningún software en especial, su licencia es libre y no necesita registro alguno, el programa lee de un archivo GCode y no importa el programa que se use para la creación del archivo.

6.2.1.1 Funcionamiento del Autoleveller. El autoleveller tiene como función corregir las irregularidades en la altura del eje Z, para lo cual usa el método de interpolación bilineal es una extensión de las interpolaciones lineales para funciones de dos variables.

En la Figura 105, se ilustra el funcionamiento del método. Realizar dos interpolaciones lineales en una dirección, y una interpolación más en la otra dirección con los cuatro puntos conocidos, esto resulta en una interpolación lineal a lo largo del plano X, Y.

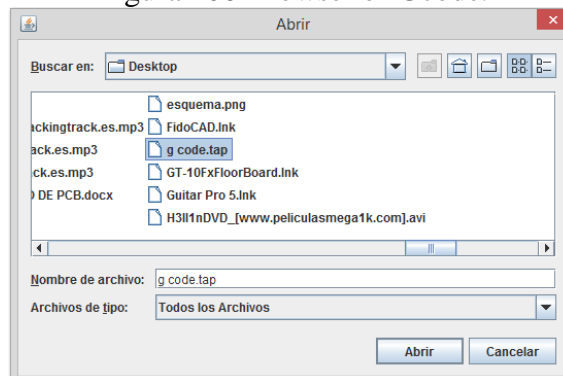
Figura 105 Área de prueba para interpolación plano XY.



Fuente: Autores

6.2.1.2 Modificación del Código G. Para corregir nuestro código generado ejecutamos el Autoleveller, y ejecutamos el Browse for Gcode, seleccionamos el nombre del archivo con el código G a corregir como se indica en la Figura 106.

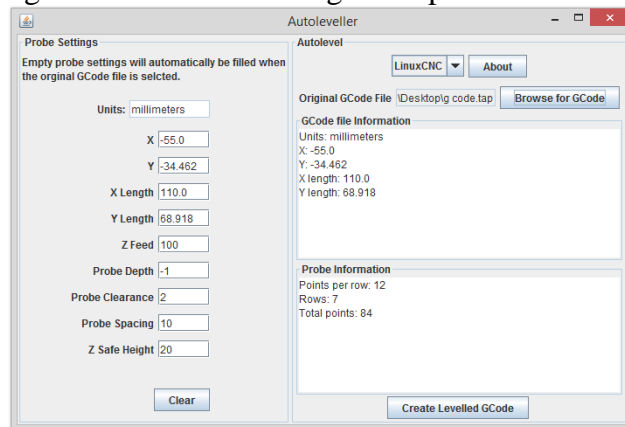
Figura 106 Browse for Gcode.



Fuente: Autores, Autoleveller

El programa toma los argumentos a partir de las líneas de comandos que contiene nuestro actual código G y automáticamente genera una lista de puntos para realizar mediciones. También definirá el área especificada para que los valores contenga a todos los puntos del archivo de código G, y seleccionaremos los parámetros sugeridos por el programa para generar nuestro nuevo código G como se indica en la Figura 107, ya que si modificamos los parámetros y no hacemos que los puntos coincidan dentro del área de sondeo se producirá un error en la corrección del código G.

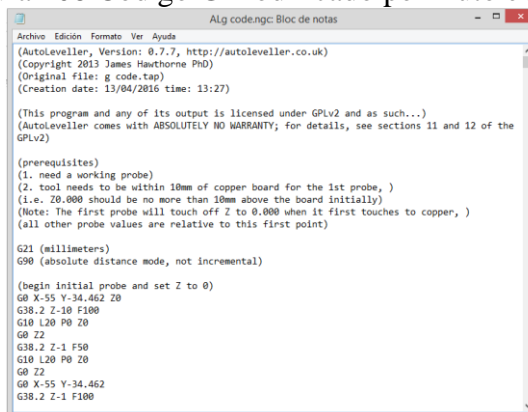
Figura 107 Parámetros sugeridos por Autoleveller.



Fuente: Autores, Autoleveller

Para visualizar el nuevo código generado realizaremos el mismo paso que el código anterior, con el Blog de notas abrimos el código y notaremos que ha cambiado como se indica en la Figura 108, debemos tener en consideración este paso por que en la parte inicial del nuevo código vendrá las sugerencias de auto nivelado para poder realizar la interpolación de puntos en la máquina CNC.

Figura 108 Código G modificado por Autoleveller.



Fuente: Autores, Autoleveller

6.3 Software para control de la máquina CNC

Para el control de la máquina fresadora existen varios programas de control que permiten posicionar la máquina, cargar archivos de código G e interpretarlos, para proveer al usuario una interfaz de control que permita conocer el estado de la máquina en todo momento

El programa utilizado es un software libre y de código abierto, es decir, que el software puede ser utilizado, copiado, estudiado, modificado y redistribuido libremente, ya que es posible acceder al código fuente de los programas. Esto es bastante útil para conocer cómo funciona el programa y agregar funcionalidad especial a un proyecto.

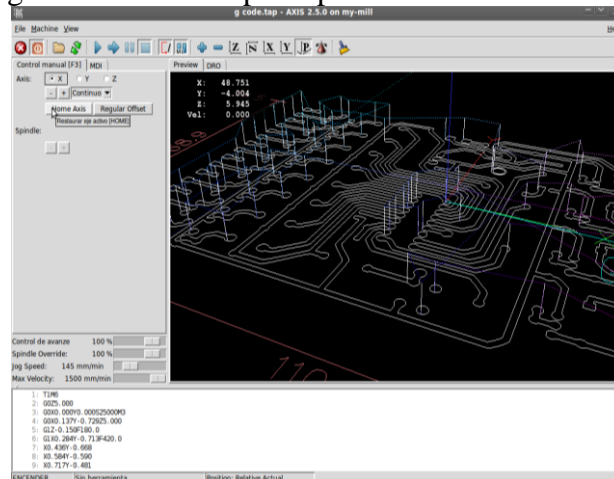
6.3.1 *Linux CNC EMC2.* Linux CNC es un sistema de software libre para el control computarizado de máquinas herramienta como fresadoras, tornos y cortadoras de plasma. Está liberado bajo una licencia GNU GPLv2. Linux CNC está conformado por el programa EMC2 (Enhanced Machine Control, en la versión 2.5.xx) que incluye varias interfaces gráficas, un intérprete de código G de acuerdo con el estándar RS-274, un sistema de planeamiento de movimientos en tiempo real y operación de electrónica de bajo nivel como sensores y controladores de motores. Es pre compilado y distribuido como una versión especial de Ubuntu.

6.3.1.1 *Capacidades del software.* En la Figura 109, se puede observar la ventana principal del programa de control de la máquina fresadora, llamado AXIS2.5.0 (EMC2). En esta ventana es posible realizar las siguientes operaciones:

- Visualizar las trayectorias y la ubicación de la punta de la herramienta.
- La pestaña de DRO (Digital read out) permite conocer la ubicación de la herramienta de acuerdo al sistema de coordenadas cartesianas.
- Los controles manuales permiten controlar cada eje independientemente, activar o desactivar la herramienta rotativa, llevar cualquier eje a la 123 posición de home. Además es posible modificar la velocidad de rotación de la herramienta.
- La parte inferior de la ventana muestra una vista del código G a ser ejecutado por la máquina.

- Los iconos de acceso rápido en la parte superior de la ventana permiten apagar y encender la máquina, y reanudar o pausar la ejecución de código G.
- Es posible cargar archivos de código G utilizando la opción de File -> Open como se observa en la Figura 109. Ventana principal de Linux CNC EMC2

Figura 109 Ventana principal de Linux CNC EMC2.



Fuente: Autores, Linux CNC (EMC2)

6.3.1.2 Requerimientos. Para que Linux CNC EMC2 funcione correctamente para controlar la máquina fresadora deben cumplirse los siguientes requerimientos de hardware:

- Se requiere una arquitectura de computadora x86.
- Un tamaño recomendado de memoria RAM de 512 MB.
- Un procesador mínimo Pentium II de 400 MHz como mínimo, sin embargo el desempeño de sistemas con motores paso a paso puede verse afectado, se recomienda utilizar procesadores más nuevos y rápidos.
- Un mínimo de 4 GB de disco duro para la instalación de EMC2.
- La tarjeta madre debe poseer un puerto paralelo con un conector DB-25.

Los requerimientos de hardware para correr EMC2 son relativamente bajos para los estándares de hoy en día, sin embargo existen problemas de incompatibilidad con computadoras portátiles, y algunas tarjetas de video integradas en computadoras que provocan un mal desempeño del sistema de tiempo real implementado por EMC2 para el control de la electrónica de la máquina herramienta.

6.3.1.3 Configuración de la interfaz de control por puerto paralelo. Para utilizar EMC2 con la interfaz de control por puerto paralelo DB-25, es necesario configurar el programa para que utilice la disposición de pines en la tarjeta de control. Por simplicidad, no se muestra el proceso de instalación de EMC2 puesto que se instala automáticamente con el sistema operativo de Linux Ubutu.

Para configurar la máquina por primera vez es necesario crear un nuevo perfil de la máquina, para lograr esto desplegamos el menú de aplicaciones, seleccionamos Linux CNC y buscamos y seleccionamos la pestaña Linux CNC stepper, para desplegar la ventana de aviso que se muestra en la Figura 110.

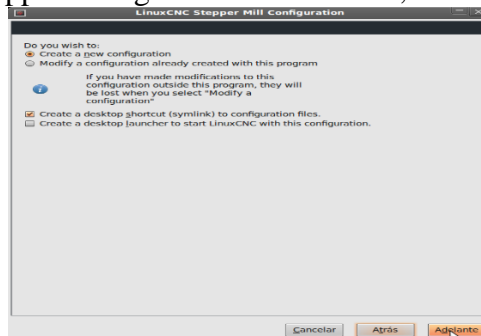
Figura 110 Ventana de aviso stepper configuration Linux CNC.



Fuente: Autores, Linux CNC (EMC2)

En esta ventana muestra la información antes de empezar a personalizar la máquina, se continúa haciendo click en el botón Adelante, para continuar a la siguiente página como indica en la Figura 111, donde seleccionaremos: crear una nueva configuración, y crear un acceso directo al escritorio para poder acceder a nuestra máquina de manera rápida.

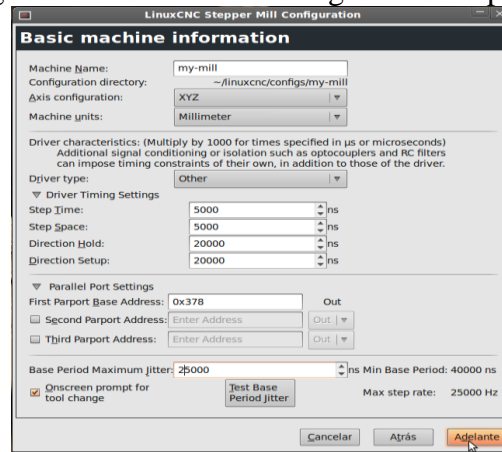
Figura 111 Stepper configuration Linux CNC, nueva configuración.



Fuente: Autores, Linux CNC (EMC2)

En la Figura 112. Se muestra la ventana de configuración de perfil para la máquina CNC. En esta ventana se configura la información esencial acerca de la máquina, del puerto paralelo, y de los controladores de motores.

Figura 112 Ventana de configuración de perfil.



Fuente: Autores, Linux CNC (EMC2)

La configuración utilizada para completar los campos se detalla a continuación.

Máquina:

- Machine name = My mill
- Axis configuration = XYZ
- Machine units = mm

Driver:

- Driver type = Other
- Step time = 5000 ns
- Step space = 5000 ns
- Direction hold = 20000 ns
- Direction setup = 20000 ns

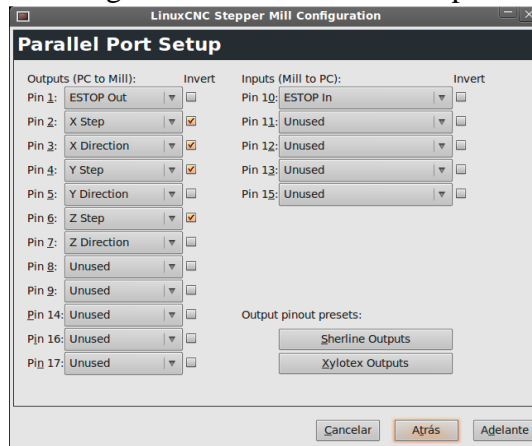
Puerto paralelo:

- First parport base address = 0x378

- Base period maximum jitter = 25000

En esta ventana se muestra, donde debe seleccionarse la función de cada pin del puerto paralelo, asignando una característica a cada pin que este en uso, y descartando los pines que no estén en uso por el momento, seleccionamos la casilla invert dependiendo si que queremos invertir el valor de la característica asignada al pin correspondiente.

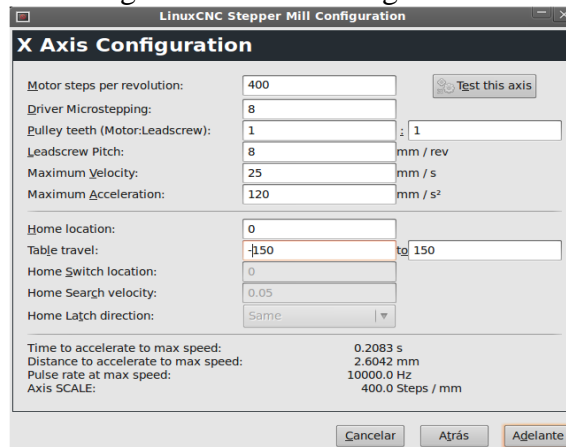
Figura 113 Parallel Port Setup.



Fuente: Autores, Linux CNC (EMC2)

En la siguiente ventana se refieren a la configuración individual de cada eje de la máquina CNC. En la Figura 114, se observa la ventana de configuración del eje X, que es igual para las otras ventanas de configuración de los ejes Y y Z. En esta ventana se configura toda la información con la mecánica del eje, el número de pasos por vuelta, máxima velocidad de desplazamiento, máxima aceleración y recorrido del eje en la máquina CNC.

Figura 114 Axis Configuration.



Fuente: Autores, Linux CNC (EMC2)

En la Tabla 18, se muestra la configuración de los tres ejes de la máquina fresadora. El campo motor steps per revolution es el número de pasos completos que necesita el motor para dar una vuelta, el valor asignado corresponde al motor paso a paso utilizado para la máquina fresadora. De forma independiente se configura el campo driver microstepping para indicar que se está utilizando una secuencia de medio paso en el controlador motor.

Tabla 18 Parámetros de configuración individual para los ejes

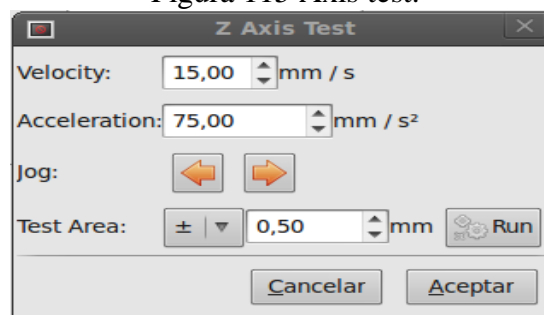
Parámetro	Eje X	Eje Y	Eje Z
Motor steps per revolution	400	400	400
Driver microstepping	8	8	8
Pulley teeth	1:1	1:1	1:1
Leadscrew Pitch	8	8	8
Máximum velocity	25	25	15
Máximum aceleration	120	120	75
Home location	0	0	0
Table travel	-150 to 150	-200 to 200	-10 to 25

Fuente: Autores

Se debe tener en cuenta los valores para el parámetro de Table travel, este parámetro nos indica el área de trabajo que disponemos en la máquina CNC valores deben ser menores al área de trabajo física de nuestra máquina CNC para cada uno de los ejes X, Y, Z.

Utilizando la opción de Test this axis, en las ventanas de configuración de los tres ejes es posible realizar un test de comunicación entre la máquina y el software, por medio de una ventana ver Figura 115, nos da la posibilidad de modificar ciertos parámetros esto nos permite examinar si la configuración realizada anteriormente es adecuada, caso contrario será necesario volver a corregir la configuración del puerto paralelo.

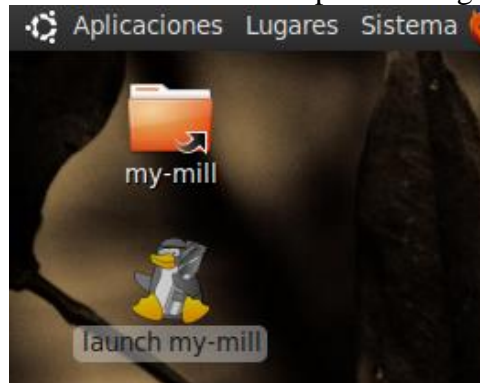
Figura 115 Axis test.



Fuente: Autores, Linux CNC (EMC2)

Una vez configurados los tres ejes de la máquina, el programa de configuración guarda el perfil creado en modo de acceso directo en el escritorio del ordenador como se indica en la Figura 116. Y con esto ya es posible abrir la ventana de principal de Linux CNC EMC2, para poder usar el software con nuestra máquina CNC.

Figura 116 Acceso directo a perfil configurado.



Fuente: Autores, Linux CNC (EMC2)

CAPITULO VII

7. PRUEBAS Y RESULTADOS

Para evaluar si la máquina CNC cumple con las especificaciones planteadas, en este capítulo se presentan las pruebas realizadas y sus resultados. Se realiza varias pruebas para comprobar el funcionamiento de la máquina CNC.

Partiendo desde el funcionamiento mecánico, hasta el resultado obtenido bajo el programa LINUX CNC EMC2 en la elaboración del PCB se logra obtener los resultados completos que se requieren en el estudio para la elaboración del trabajo de titulación.

7.1 Pruebas de la estructura mecánica

Para garantizar una estructura CNC óptima, las pruebas del sistema mecánico fueron realizadas durante el ensamblaje de las piezas que conforman nuestro CNC, hasta completar la construcción de la máquina.

Durante el ensamble de base, se empieza comprobando que se encuentre centrada y escuadrada siendo sujeta por medio de pernos allen para su fijación, durante el proceso se le somete a estiramientos manuales para comprobar que la estructura sea suficientemente rígida mostrando resultados satisfactorios.

Al momento de culminar con el montaje de todos los elementos del eje Y sobre la base principal, se procede a realizar una prueba de desplazamiento de todo el conjunto sobre los ejes guías, impulsando la estructura del eje Y de manera manual para detectar si existe trabas o interferencias por causa de un mal alineamiento a lo largo de los ejes, obteniendo un desplazamiento suave y uniforme, de igual manera se procede a realizar la prueba de manera mecánica, simulando el impulso del motor sobre el husillo por medio un taladro como se indica en la Figura 117, sujetando al mandril al eje del husillo se hace girar el mismo a una velocidad similar a la que giraría el motor paso a paso, durante esa prueba se logra notar un desplazamiento muy satisfactorio dando por aprobada la prueba del sistema mecánico en el eje Y.

Figura 117 Pruebas de desplazamiento del eje Y.



Fuente: Autores

De igual manera se realiza con la estructura del eje X, se la sujeta por medio de pernos allen para la fijación del sistema de desplazamiento a las placas laterales, y se procede a desplazar la estructura de manera manual para detectar atascamiento o interferencias a lo largo de los ejes, llegando a obtener un desplazamiento suave y uniforme, de igual manera se procede a realizar la prueba de manera mecánica como con el eje anterior, simulando el impulso del motor sobre el husillo por medio un taladro como se indica en la Figura 118, sujetando al mandril al eje del husillo, durante esa prueba se lograr notar un desplazamiento muy satisfactorio, de igual manera al momento de detener el husillo notamos que el carro del eje, se detiene inmediatamente dando por aprobada la prueba sobre el eje X.

Figura 118 Pruebas de desplazamiento del eje X.



Fuente: Autores

Por último se realiza la prueba con la estructura del eje Z, se fija el sistema de desplazamiento a las placas superior eh inferior, y se procede a desplazar la estructura de manera manual a lo largo de los ejes, obteniendo un desplazamiento suave y uniforme, debido a la longitud corta que poseen los ejes, sólo se realiza la prueba manual por ende se da por aceptado que el eje Z posee un desplazamiento muy satisfactorio dando por

aprobada la prueba sobre el eje Z.

Por último se comprueba el comportamiento de la estructura mecánica, al haber incorporado todos los elementos se considera las fuerzas que se presentan en ese momento y puedan afectar el desplazamiento, como el peso de las estructuras, X, Z afectaría el desplazamiento en el eje Y, y el peso de Z sobre el eje X, Siendo prácticamente nulo el efecto sobre estos elementos dejando como hecho que fue adecuada la selección de aquel sistema de desplazamiento para la estructura mecánica de nuestra máquina CNC.

De esta manera se realizó las pruebas del sistema mecánico de la máquina, en cada montaje o ensamblaje de un conjunto de partes, se realiza las pruebas necesarias para verificar el trabajo que va a realizar cada una de las estructuras.

La única desventaja que posee nuestra máquina CNC, es que el cambio de herramienta se lo realiza de forma manual.

7.2 Pruebas del sistema eléctrico

Con sistema eléctrico nos referimos al sistema de alimentación a los diferentes dispositivos electrónicos, los cuales constan con elementos de protección (fusibles), por todas las líneas de alimentación empezando desde la entrada del voltaje principal de 110v.

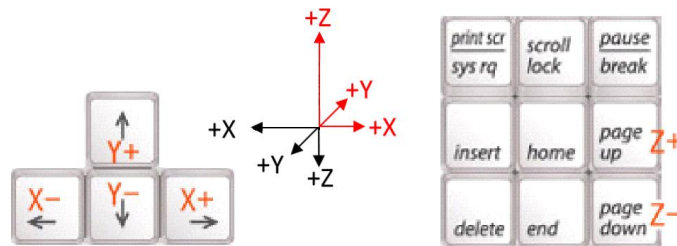
La prueba que se realiza al sistema eléctrico se lleva a cabo con la ayuda de un multímetro, para medir continuidad en los elementos de protección mucho antes de energizar todo el sistema, notando que las conexiones se encuentran apropiadas se procede a la alimentación de la caja de control para realizar mediciones de voltaje en las entradas y salidas de cada elemento para verificar si está aportando el voltaje apropiado para nuestra red, dando buenos resultados en continuidad y voltajes entregados por el transformador Toroidal.

7.3 Pruebas de controladores – Microstepping

Las pruebas de los controladores de nuestra máquina CNC se realizaron durante la configuración de la máquina CNC con el programa LINUX CNC EMC2,

La configuración de la máquina nos permite realizar las pruebas de comunicación entre el software CNC y la máquina, asignando parámetros a el puerto de comunicación de la tarjeta controladora, que junto a la configuración propia del software nos permita realizar desplazamientos por medio del teclado del ordenador, con solo presionar las teclas del cursor para los desplazamientos a través del plano X, Y y las teclas de salto de página para el desplazamiento del eje Z como se indica en la Figura 119.

Figura 119 Teclas para el desplazamiento de los ejes.



Fuente: Autores

Logrando un excelente rendimiento a nivel de software y comunicación entre la máquina con el ordenador, teniendo desplazamientos exactos en las direcciones especificadas, ya sea de manera manual con el teclado del ordenador, o al momento de la interpretación del código G por el software.

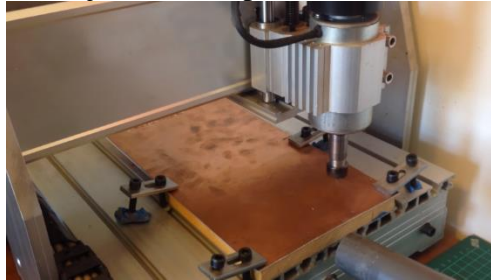
7.4 Prueba de funcionamiento

7.4.1 Elaboración de la placa PCB. Después de haber obtenido el código G respectivo de nuestro diseño de circuito PCB, y haber concluido con las pruebas de comunicación y funcionamiento de la máquina CNC, se procede a realizar el maquinado de nuestro circuito PLC en una placa cobre, para ello debemos proseguir de la siguiente manera.

7.4.1.1 Sujeción del material. Para sujetar las placas se lo ha realizado por medio de galgas y tornillos para impedir el movimiento de la placa al momento del mecanizado, apoyados de los canales que posee la mesa de la máquina CNC incrustamos en su interior una tuerca cuadrada de mismo ancho del canal para permitir el desplazamiento y posicionar las galgas, una vez posicionada la placa de cobre en el centro de la máquina CNC, se procede ajustar los tornillos allen para ayudados del principio de la palanca fije

la placa de cobre a la mesa por todos sus extremos, tomando en cuenta la altura de los tornillos con respecto al útil de corte, se recomienda colocar una base de madera que compense la altura de la placa, con el fin de que el porta herramientas no tope con las galgas de sujeción como se muestra en la Figura 120.

Figura 120 Sujeción de la placa de cobre a mecanizar.



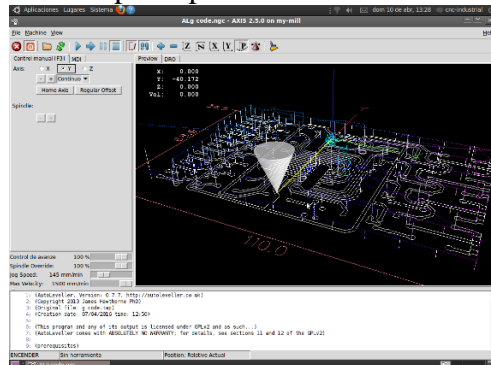
Fuente: Autores

7.4.2 *Proceso de maquinado del material con el software Linux CNC EMC2.*

7.4.2.1 *Lectura del Código G.* Una vez que se ha configurado la máquina y sujetado el material para mecanizarlo nos centramos en la ventana principal del software

Linux CNC EMC2, nos dirigimos a la barra de menú y desplegamos la opción File/Open y abrimos nuestro archivo que contiene el código G modificado por Autoleveller y automáticamente se nos cargara el archivo con una previsualización de nuestro diseño como se muestra en la Figura 121, también se puede visualizar la lista de los códigos en la parte inferior de la ventana donde se visualiza un mensaje inicial con las recomendaciones dadas por Autoleveller para realizar el auto nivelado a momento de ejecutar la lectura del código.

Figura 121 Ventana principal del software Linux CNC EMC2.



Fuente: Autores

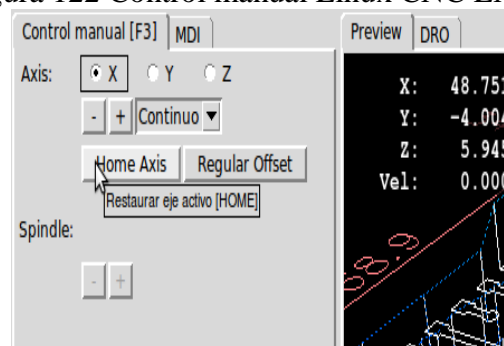
7.4.2.2 Definición de los puntos de origen. Antes de empezar nuestro trabajo es recomendable definir el punto de origen de la máquina al igual que el punto del origen de la pieza para eso el programa, internamente lo que hace es sumar a todas las cotas del código G, la distancia entre el origen de coordenadas máquina y el nuevo origen de coordenadas pieza.

De esta forma siempre tendremos la misma referencia (origen máquina) y podremos de forma muy sencilla colocar nuestra área de trabajo donde más nos convenga.

Siempre que arrancamos el programa, los orígenes en X, Y y Z vienen sin la posición “home”, lo que significa que no tiene definido el origen máquina y por lo tanto no va a dejar ejecutar ningún código para solucionar eso, lo primero que tendremos que hacer es definir el origen máquina.

Tendremos que desplazar nuestra máquina CNC, con el teclado del computador hasta el punto que nosotros queremos que sea el origen máquina. En ese punto, me voy a la opción del menú “Machine / Homing” y marco para cada eje la posición actual de la fresa como punto origen máquina, también podemos usar el control manual que aparece en la interfaz del software como se muestra en la Figura 122, presionando el botón Home Axis pues cumplirá la misma función. Al definir todos los puntos en los ejes X, Y, Z, esa ubicación será el origen de mi volumen de trabajo, y el LinuxCNC entenderá que más allá de esos límites, la fresadora no se puede mover. Esto también es útil para no pasarnos y llevar el movimiento más allá de los límites físicos de la máquina.

Figura 122 Control manual Linux CNC EMC2.



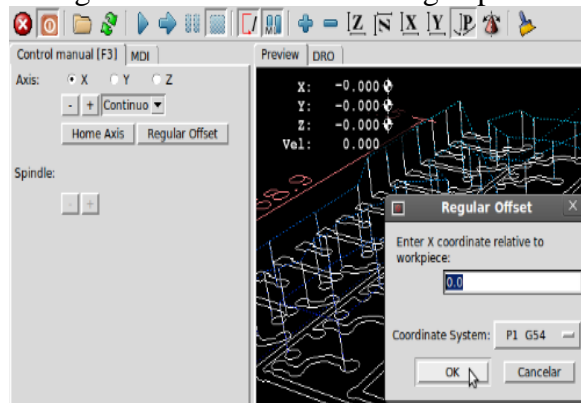
Fuente: Autores

Una vez definido el origen de la máquina, tenemos que definir el origen pieza. Para eso

en nuestro volumen de trabajo, tendremos que definirle donde estará el origen pieza. Para colocaremos la herramienta en punta sobre la esquina donde yo quiero que se mecanice la placa PCB. Una vez con la fresa en esa posición. La coordenada que me marca el LinuxCNC es la distancia que comentaba antes, y es la distancia que sumara a cada coordenada del programa, esta acción la realiza el software automáticamente.

Una vez realizado el desplazamiento se realiza la transferencia de orígenes, en la misma ventana del software, en la pestaña de control manual selecciono la opción de “regular offset” marcando cada eje, y notaremos que los valores para el eje X,Y,Z, de esta forma veremos que las coordenadas que me marca la pantalla han cambiado todas a 0 como se indica en la Figura 123, con lo cual ahora este en mi origen pieza y coincide con el origen de mi máquina y cuando ejecute el programa del código G, se ejecutara todo en referencia a ese origen.

Figura 123 Definición del origen pieza.



Fuente: Autores

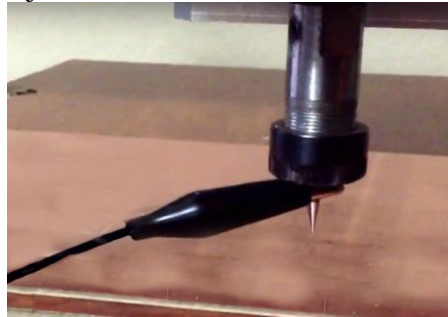
El definir el origen es fundamental, pues siempre que queramos mecanizar diferentes diseños de tarjetas PCB debemos modificar nuestro punto de origen con respecto a la Pieza.

7.5 Manufactura de la placa PCB

7.5.1 Escaneo con Autoleveller. Una vez puesto a punto la máquina y el software, antes continuar se procede a realizar un escaneo de la superficie a trabajar, con el fin de corregir las alturas del eje Z en el área destinada para nuestro circuito PCB , para lo cual se procede a conectar una sonda en la parte posterior de la caja de control, la que consta

de dos extremos en la cual un extremo irá sobre la superficie de la placa de cobre y el otro extremo en el útil de corte, de tal manera que al bajar el eje Z se realice un contacto con entre la placa de cobre energizada por el un extremo de la sonda y el útil de corte energizada por otro extremo como se indica en la Figura 124, cumpliendo una función similar a un E-stop, cerrando el circuito para que el Software identifique la altura inicial sobre la va a trabajar la función de Autoleveller, una vez realizado este procesamiento de identificación de altura se proceda a correr el programa que contiene el código G haciendo click en el icono de Play/Run en la ventana principal del software, y automáticamente el programa empezara a escanear usando el principio explicado en el capítulo 6 corrigiendo la altura del área que sea necesaria para trabajar.

Figura 124 Sujeción del extremo de la sonda al útil de corte.



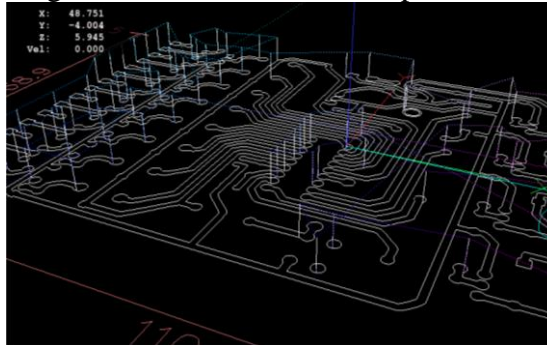
Fuente: Autores

Cabe recalcar que para realizar el auto nivelado de las alturas se es necesario que la herramienta se encuentre dentro de un valor de 10 mm con respecto a la placa de cobre para el primer sondeo, Es decir Z0.000 no debe ser mayor de 10 mm por encima de la placa inicialmente, así que no importa si se la altura está fuera de Z a 0.000 de la máquina al momento de realizar el primer toque con la placa de cobre, pues todos los demás valores de la sonda son en relación con este primer punto generado al primer contacto.

7.5.2 *Ruteado de la Placa PCB.* Una vez terminado el escaneo, la máquina CNC se detendrá automáticamente, para poder retirar los extremos de la sonda sin ningún problema, una vez retirada nos dirigimos a la ventada principal del software Linux CNC EMC2, en el cual aparece un aviso solicitando que confirmemos el retiro de la sonda para poder continuar, presionamos OK, y la máquina automáticamente irá procesando todos los códigos que conforman nuestro circuito PCB, eh irá mostrando como avanza el proceso de ruteo en tiempo real, por medio de la ventana de previsualización, mostrando

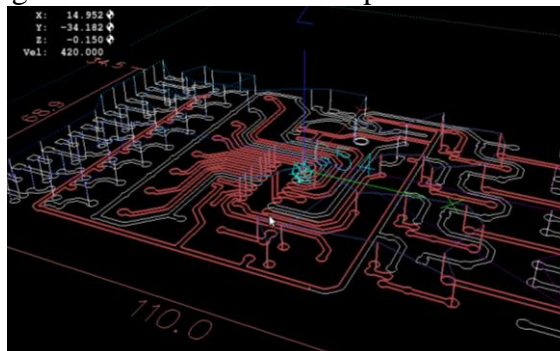
el diseño base en líneas blancas como se indica en la Figura 125, diferenciándolo del proceso de ruteo o mecanizado se lo muestra en líneas color rojizo como se muestra en la Figura 126.

Figura 125 Diseño base de la placa PCB.



Fuente: Autores

Figura 126 Visualización del proceso de Ruteo.



Fuente: Autores

La previsualización es una gran ventaja pues nos permite controlar como avanza el proceso directamente desde el ordenador, desde el inicio del proceso, hasta terminar la placa por completo.

Figura 127 Proceso de Ruteo de pistas sobre la placa de cobre 1.



Fuente: Autores

Figura 128 Proceso de Ruteo de pistas sobre la placa de cobre 2.



Fuente: Autores

Figura 129 Proceso de Ruteo de pistas sobre la placa de cobre 3.

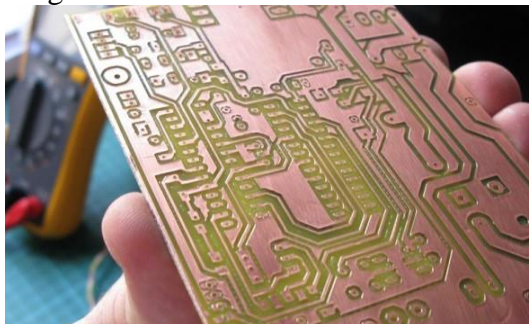


Fuente: Autores

7.6 Resultados

Luego de culminar la lectura de los códigos de nuestra tarjeta PCB con el Linux CNC EMC2 y a la vez el ruteo de las pistas en la placa de cobre se obtiene el producto mecanizado como se muestra la Figura 130.

Figura 130 Placa de cobre mecanizada.



Fuente: Autores.

Se obtiene un producto de calidad aceptable con pistas claramente establecidas, aunque

para obtener una tarjeta PCB, con mayor calidad es necesario realizar el pulido de las rebabas producidas por el proceso de ruteo, en la superficie de cobre.

Se procede a realizar el lijado de la superficie que fue mecanizada con una lija de grano fino como la numero 2000, hasta conseguir eliminar en su totalidad las rebabas generadas en los filos de las pistas de cobre, para posterior realizar la integración de los componentes electrónicos para obtener un producto final totalmente funcional como se muestra en la Figura 131.

Figura 131 Componentes integrados sobre la tarjeta PCB elaborada.



Fuente: Autores.

CAPITULO VIII

8. COSTOS

En este capítulo se presentan los costos de materia prima para la fabricación de piezas, el costo de componentes electrónicos y mecánicos, herramientas necesarias para el desarrollo del proyecto y el detalle de gastos de fletes y envíos de los componentes.

8.1 Costos directos de fabricación

Los costos directos de fabricación incluyen:

- Materia Prima para la fabricación de Piezas
- Elementos
- Costos de Mano de Obra y Maquinado.

8.2 Costo materia prima para la fabricación de piezas

En la Tabla 19 se detalla los costos de los materiales requeridos.

Tabla 19 Costos Materia Prima

Costos Materia Prima					
Materiales para la fabricación de Piezas.					
Material	Valor	Cant.	Sub.	IVA	Total
Plancha Aluminio espesor 12 mm	25,00	1,00	25,00	3,00	28,00
Perfil de Aluminio espesor 10 mm	22,00	1,00	22,00	2,64	24,64
Perfil de Aluminio espesor 15 mm	35,00	1,00	35,00	4,20	39,20
Perfil de Aluminio espesor 4 mm	11,00	1,00	11,00	1,32	12,32
Perfil para mesa JM15160	120,00	1,00	120,00	14,40	134,40
Perfil L altura 40 mm x 40 mm espesor 5 mm x 4 mm	6,00	1,00	6,00	0,72	6,72
Perfil T altura 40 mm x 40 mm espesor 5 mm x 4 mm	8,00	1,00	8,00	0,96	8,96
Total					254,24

Fuente: Autores

8.3 Costos de elementos

En la Tabla 20 y Tabla 21 detallan los documentos mecánicos y electrónicos necesarios

Tabla 20 Costos Sistema Mecánico

Sistema Mecánico					
Detalle de Costos Componentes Sistema Mecánico					
Elementos	Valor	Cant.	Subtotal	IVA	Total
Spindle	100,00	1,00	100,00	12,00	112,00
Husillo M12	32,00	1,00	32,00	3,84	35,84
Eje 16 mm de diámetro 450 mm	28,00	1,00	28,00	3,36	31,36
Eje 12mm de diámetro 150 mm	23,00	1,00	23,00	2,76	25,76
Cojinetes 698zz	14,00	8,00	112,00	13,44	125,44
Cojinetes SKF 608	14,00	6,00	84,00	10,08	94,08
Acople flexible 8 x 8 mm	6,50	1,00	6,50	0,78	7,28
Rodamiento lineal LM12UU	17,00	4,00	68,00	8,16	76,16
Rodamiento lineal LM16UU	8,35	8,00	66,80	8,02	74,82
Alojamientos scs LM13UU	25,32	1,00	25,32	3,04	28,36
Alojamientos scs LM16UU	23,58	2,00	47,16	5,66	52,82
Motor paso a paso NEMA 23 con soporte	54,00	3,00	162,00	19,44	181,44
Pernos Allen M4	0,11	30,00	3,30	0,40	3,70
Pernos Allen M5	0,15	15,00	2,25	0,27	2,52
Sujetador de Spindle	35,00	1,00	35,00	4,20	39,20
Total					890,77

Fuente: Autores

Tabla 21 Costos Sistema Electrónico

Sistema Electrónico					
Detalle de Costos Sistema Electrónico					
Detalle	Valor	Unidades	Subtotal	IVA	Total
Transformador toroidal	80,00	1,00	80,00	9,60	89,60
Ventilador	9,00	1,00	9,00	1,08	10,08
Borneras	0,80	15,00	12,00	1,44	13,44
Plub MIC334 hembra	6,25	3,00	18,75	2,25	21,00
Plub MIC332 hembra	5,25	1,00	5,25	0,63	5,88
Conector MIC334	6,50	1,00	6,50	0,78	7,28
Conector MIC332	5,35	1,00	5,35	0,64	5,99
Interruptor rojo con luz piloto	1,50	1,00	1,50	0,18	1,68
Interruptor verde con luz piloto	1,50	1,00	1,50	0,18	1,68
Potenciómetro	2,50	1,00	2,50	0,30	2,80
Botón de paro	5,50	1,00	5,50	0,66	6,16
Cable de alimentación IS-14	9,00	1,00	9,00	1,08	10,08
Conector de alimentación IC-14	5,00	1,00	5,00	0,60	5,60
Cable Serial DB25	4,50	1,00	4,50	0,54	5,04
Puerto paralelo DB25	3,20	1,00	3,20	0,38	3,58
Controlador JP-382 ^a	70,00	1,00	70,00	8,40	78,40

Controlador JP-1482	50,00	1,00	50,00	6,00	56,00
Gabinete	25,00	1,00	25,00	3,00	28,00
metros cable #18 1m	0,50	1,00	0,50	0,06	0,56
metros cable #24 1m	0,50	1,00	0,50	0,06	0,56
Cable IEC 53RVV 4 cables, 6m	10,98	1,00	10,98	1,32	12,30
Cable IEC 53RVV 2 cables, 2m	4,50	1,00	4,50	0,54	5,04
Cadena porta cables 10x15, 1m	6,80	1,00	6,80	0,82	7,62
Cadena porta cables 10x20, 1m	10,30	1,00	10,30	1,24	11,54
Espiral para cables 1m	0,80	1,00	0,80	0,10	0,90
Total					390,80

Fuente: Autores

8.4 Costo de mano de obra y maquinado

En la Tabla 22 se detalla los costos de mano de obra y maquinado de piezas.

Tabla 22 Costos Mano de Obra

Costos Mano de Obra			
Costo Maquinado			
Detalle	Valor	IVA	Total
Maquinado Piezas	50	6	56
Maquinado Piezas Aluminio	250	30	280
Total			336

Fuente: Autores

8.5 Gastos

En la Tabla 23 se detalla los gastos de Fletes y envíos así como de desaduanización.

Tabla 23 Gastos

Gastos		
Gastos Envío		
Detalle	Costo	Total
Fletes y Envíos	45,00	45,00
Nacionalización Componentes Electrónicos	117,24	117,24
Nacionalización Componentes Mecánicos	267,23	267,23
Total		429,47

Fuente: Autores

8.6 Costo total del proyecto

Finalmente en la Tabla 24 se detalla el costo total del proyecto.

Tabla 24 Costo Total del Proyecto

Costo Total del Proyecto	
Detalle	VALOR TOTAL
Costos Directos de Fabricación	1871,81
Gastos Envío	429,47
Costo Total del Proyecto	2301,28

Fuente: Autores

CAPITULO IX

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 CONCLUSIONES

- Con el objetivo principal del proyecto que consistió en diseño y construcción de una máquina CNC, que cumpliera con todos los requerimientos necesarios para la elaboración circuitos impresos PCB, se puede decir en términos generales que este fue cumplido satisfactoriamente, ya que los resultados obtenidos durante las pruebas de funcionamiento y desempeño durante la elaboración de la tarjeta PCB, fueron muy satisfactorios dando a notar que el diseño es adecuado para la elaboración de cualquier tipo de PCB.
- Para el desarrollo del proyecto se recopiló y analizó información que ayude a una determinación de los diferentes parámetros que debería poseer nuestro prototipo CNC, llegando a la conclusión que, se debe considerar preliminarmente el tipo de trabajo que va a realizar y el modo en que lo va a realizar, basados en esos principios fue posible determinar que los parámetros más representativos del proyecto son: espacio de trabajo, velocidad de corte, avance, etc... Parámetros que fueron calculados en el capítulo 3, con el fin de conocer las limitaciones del sistema y lograr una integración adecuada entre los diferentes elementos que conforman la máquina CNC, para lograr una adecuada respuesta mecánica durante el funcionamiento.
- Se logró diseñar y construir una estructura de tres ejes de posicionamiento, apoyada de un sistema de control CNC, que nos permite controlar individualmente a cada eje de máquina, para posicionar un útil de corte a lo largo de una superficie de trabajo como la baquelita de cobre y por medio del proceso de fresado y taladrado obtener nuestra tarjeta PCB o circuito impreso.
- Se realizó un diseño de la placa PCB, con un circuito PLC básico mediante un software editor de diagramas gráficos de fácil aplicación como es el CadSoft EAGLE, si bien es cierto se puede usar cualquier software de diseño CAD, se ha concluido que el software EAGLE es el más idóneo para realizar diseños PCB, pues

posee una gran biblioteca de componentes electrónicos y una licencia gratuita que provee una variedad de herramientas que nos sirven de soporte para realizar un diseño adecuado de nuestros PCB.

- Se determinó que para la generación de los algoritmos de trabajo para la elaboración de tarjetas PCB, puede ser obtenido con cualquier programa que sea capaz de generar códigos G, pero para evitar conflictos de compatibilidad de formatos entre software y garantizar una óptima calidad de acabado de las tarjetas PCB se debe usar un software específicamente orientado para generación de códigos para circuitos impresos como es el caso de PCB-Gcode, una herramienta propia de CadSoft EAGLE, software en el que se diseñó la nuestra tarjeta PCB.
- Se logró determinar el óptimo funcionamiento de la máquina CNC por medio de pruebas, durante todo el proceso de construcción y ensamble de la máquina CNC, concluyendo que, se debe tener un extremo cuidado en la alineación de los ejes guías, que sirven de soporte para los ejes X,Y,Z, pues si no se pone atención a este detalle se presentarían interferencias durante el deslizamiento de los elementos móviles del equipo, también cabe recalcar que el sistema no es totalmente automatizado, pues el único inconveniente que se presenta es al momento de realizar el cambio de la herramienta obligatoriamente debe ser manual.
- Se realizó una guía describiendo el proceso de elaboración de las placas PCB, con el fin de fomentar el uso seguro y adecuado de la máquina CNC, fomentando un proceso de tipo estandarizado, en el cual se pretende desarrollar la destreza adecuada de la persona que este encargada de operar la máquina CNC.

9.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con la investigación sobre los sistemas CNC para ir fomentando el desarrollo íntegro de la tecnología del control numérico para en el futuro ir complementando con información relevante como la detección automática del cero pieza, y la implementación de un sistema automático de cambio de herramientas para eliminar el sistema actual que es de forma manual.
- Cuando realiza el diseño de una máquina CNC, se debe tomar en consideración los requerimientos finales de la misma, conocer las limitaciones del sistema mecánico,

y realizar una selección adecuada de cada componente, teniendo presente la disponibilidad del mercado proveedor para cada componente, con el fin de tener un abastecimiento inmediato a elementos de reposición en caso de fallos o imprevistos presentados a lo largo de la vida útil de la máquina.

- Cuando se realiza un diseño de PCB, se recomienda hacer uso de un software que sea específicamente dedicado a la creación de circuitos electrónicos y tenga la capacidad de generar códigos G o códigos de mecanizado, con el fin de eliminar los errores producidos al momento de generar el código en un software alterno.
- Antes de usar u operar la máquina por primera vez, es indispensable que el operario sea supervisado de manera directa, desde la calibración hasta la puesta en marcha de la máquina, también se debe poseer conocimientos básicos acerca del CAD-CAM y conocer las funciones y limitaciones de la máquina CNC,
- Cada vez que se vaya a usar la máquina CNC para la elaboración de un nuevo modelo de PCB, se recomienda realizar la configuración de un nuevo perfil de máquina en el software Linux CNC EMC2, especialmente cuando se trata de diseños PCB que requieran un área de trabajo mayor en el plano XY.
- Se recomienda realizar nuevos cálculos y ensayos para observar el comportamiento de la estructura CNC, con el fin de analizar la viabilidad de poder maquinar otros tipos de materiales como: metales ferrosos y no ferrosos.
- Se recomienda analizar la posibilidad de ampliar los campos de aplicación de este prototipo, para desarrollar destrezas suficientes en el manejo del control numérico en diferentes áreas donde la manufactura a partir del modelado 3D es importante, áreas como la electrónica, mecánica, textil, maderera; mediante la generación de códigos de manufactura provenientes de paquetes tales como: ArtCam, solid work, mechanical desktop, bobcadcam, etc.

BIBLIOGRAFÍA

ALAIN, Albert. *Understanding CNC Routers*. 1ª ed. Canadá: FP Innovations Forintek Division, 2011, pág. 102.

AMPLETOS. *Fabricación de circuitos impresos PCBs*. [En línea] 11 de Marzo de 2011. [Consulta: 2015 de Septiembre de 22.]. Disponible en: <http://esbuzz.net/trends/video/fabricaci%EF%BF%BDn-de-circuitos-impresos-con-el-m-BDtodo-de-planchado>.

AREVALO, Danilo & HERMOSA, Diana. *Diseño y construcción de una máquina CNC, que realiza el ruteo de pistas (Tesis inédita)*. Latacunga: Ingeniería Electrónica, 2012.

Co, THL Machine Tools. *THL Machine Tools Co.* [En línea] 2015. [Consulta: 25 de Febrero de 2016.]. Disponible en: <http://www.thlmachine.com/Default.aspx?iT=1&aID=10&sLT=3&bID=66>.

CULTURA, Madrid. *Manual de Mecánica Industria –Máquinas y Control Numérico*. Madrid, España: Cultural S.A, 2002, pág. 22

Efunda. *Acero al carbono AISI 1050*. Efunda. [En línea] 2016. [Consulta: 22 de Febrero de 2016.]. Disponible en: http://www.efunda.com/materials/alloys/carbon_steels/show_carbon.cfm?ID=AISI_1050&prop=all&Page_Title=AISI%201050.

GERLING, Heinrich. *Maquina Herramientas. 1 Rededor De Las Maquina-Herramientas*. 2ª ed. Barcelona, España: REVERTÉ S.A., 1992, pág 11-12.

GÓMEZ, Jesús. *Control de un CNC mediante EMC2*. Hobremecatronico. [En línea] 16 de Diciembre de 2009. [Consulta: 22 de Septiembre de 2015.] Disponible en: <http://hobremecatronico.es/2009/12/control-de-un-cnc-mediante-emc2/>

LASHERAS, José María. *Tecnología mecánica y metrotecnia*. Octavio & Félez. [En línea] 13 de Abril de 2013. [Consulta: 15 de Enero de 2016.]. Disponible en: <http://www.aa.com.mx/CONTROL%20NUMERICO.pdf>

MÉXICO, PRECIX. *Router CNC de la empresa mexicana PRECIX modelo PCX-BT.* Precix.com. [En línea] 2009. [Consulta: 25 de Febrero de 2016.]. Disponible en: <http://precix.com.mx/>.

MITZNER, Kraig. *Circuito impreso.* Newnes. [En línea] 2009. [Consulta: 22 de Septiembre de 2015.]. Disponible en: http://umh2300.edu.umh.es/wp-content/uploads/sites/201/2013/02/Tema-1_ppt.pdf

MOTT, Robert. *Resistencia de materiales Aplicada.* 5^{ta} ed. Dayton: PEARSON, 2009, pág: 239-439

P.F., Enrique. *Sites Google.* [En línea] 13 de Junio de 2012. [Consulta: 22 de Septiembre de 2015.]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/stigestionydesarrollo/recuperacion/desarrollo-1/recuperacion-tema-4---desarrollo/safdsadsa>.

PABLA, B.S. & ADITHAN, M. *CNC Machine.* 1^a ed. s.l.: New Age International, 1994. pág. 5.

Power, Clarke Tools. *Clarke Tools Power Products.* [En línea] 2015. [Consulta: 25 de Febrero de 2016.]. Disponible en: <http://www.clarkeinternational.com/pages/clarke-ome>.

RAO, Rajesh. *Principles And Applications. CAD/CAM.* 2^a ed. s.l.: Tata McGraw-Hill Education, 2004, pág. 216.

Sandvik. *Lista referencia materiales Sandvik.* [En línea] 2012. [Consulta: 22 de Febrero de 2016.]. Disponible en: http://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/catalogues/es-es/turning/TURN_J.pdf.

Siemens. *Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.* [En línea] 2015. [Consulta: 22 de Septiembre de 2015.]. Disponible en: http://www.plm.automation.siemens.com/es_sa/plm/cad.shtml.

SKF. *Catalogo De Unidades y Rodamientos Lineales Para Ejes.* s.l. : SKF, 2011, pág 54.

Techno. *Techno Linear Motion Catalog*. Canda : Techno INC., 2008. pág. 22.

Eduardo J. Carletti. *Motores paso a paso*. Robots Argentina [En línea] 2015. [Consulta: 22 de Septiembre de 2015.]. Disponible en: http://robots-argentina.com.ar/MotorPP_basico.htm

Wordpress. *Wordpress*. [En línea] Febrero de 2013. [Consulta: 22 de Septiembre de 2015.]. Disponible en: <https://lenguajedeingenieria.files.wordpress.com/2013/02/introduccion-al-cadcam.pdf>.