



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL
Y REDES INDUSTRIALES

**“ESTUDIO, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA
HERRAMIENTA DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO, CASO
PRÁCTICO PROTOTIPO DE FRESADORA PARA MADERA.”**

TESIS DE GRADO

**Previa la obtención del título de
INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES INDUSTRIALES**

Presentado por

**ANDREA MAGALI LLERENA PINTAG
MARIO ORLANDO CORONEL HERNANDEZ**

RIOBAMBA-ECUADOR

2014

Manifestamos el debido agradecimiento, a nuestros maestros, en especial al Ing. Franklin Moreno e Ing. Jorge Luis Paucar, por su compromiso y respaldo, quienes con sencillez, sinceridad y responsabilidad, supieron guiarnos e impartir sus conocimientos que de una u otra forma colaboraron para la culminación del presente trabajo de grado.

A mi madre María, por brindarme su amor y comprensión en las buenas y en las malas, a mi hermana Mayra por sus consejos que me ayudaron a ser una mejor persona y a mi sobrino Sebastián, por ser esa personita que iluminó mi vida con su amor y cariño. A todas y cada una de las personas; familiares y amigos por su apoyo incondicional en el transcurso de mi carrera para ampliar mis conocimientos y estar más cerca de mis metas profesionales, Esto fue posible primero con la ayuda de Dios, gracias por otorgarme la sabiduría y la salud para lograrlo.....Dios los bendiga!

Andrea

A Dios por brindarme la oportunidad de tener una familia, que me apoyó en los buenos y malos momentos de mi etapa estudiantil. En especial a mis padres Darío y Mariana por brindarme todo el amor, comprensión y respaldo para culminar una meta más en mi vida. A todos y cada uno de mis profesores o segundos padres que con sus conocimientos aportaron en mi formación profesional.

Mario

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Ing. Iván Menes

**DECANO DE LA FACULTAD
DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

.....

Ing. Alberto Arellano

**DIRECTOR DE LA ESCUELA DE
INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN
CONTROL Y REDES INDUSTRIALES**

.....

Ing. Franklin Moreno

DIRECTOR DE TESIS

.....

Ing. Jorge Paucar

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....

Ing. Eduardo Tenelanda

**DIRECTOR DPTO
DOCUMENTACIÓN**

.....

NOTA DE LA TESIS

.....

“Nosotros; **Andrea Magali Llerena Pintag** y **Mario Orlando Coronel Hernández**,
somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta tesis y el
patrimonio intelectual de la misma pertenece a la ESCUELA SUPERIOR
POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

.....

Andrea Magali Llerena Pintag

.....

Mario Orlando Coronel Hernández

AUTORES

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

X^2:	Ji-Cuadrado
ΔV:	Caída de tensión del conductor
Ac:	Área de Corte
ae:	Profundidad de pasada radial
ap:	Profundidad de pasada axial
C:	Número de decimales de la FE
CNC:	Control Numérico Computarizado
CAD:	Diseño asistido por computador
CAM:	Manufactura asistida por computador
Cote:	Constante de Proporcionalidad
D:	Diámetro de la fresa
e:	Espesor de viruta
F:	Asigna Velocidad de corte
Fc:	Fuerza de corte específica
FE:	Frecuencia Esperada
fn:	Avance por revolución
FO:	Frecuencia Observada
f_z:	Avance por diente
G:	Función preparatoria
Gl:	Grados de libertad
H₀:	Hipótesis Nula

H_A: Hipótesis Alternativa

i: Corriente que circula por el conductor

I: Localización de X en el punto centro de la curva

J: Localización de Y en el punto centro de la curva

K: Localización de Z en el punto centro de la curva

K_{s0}: Presión de corte específica

K_t: Número de Categoría

L: Longitud del cable conductor

M: Función Miscelánea

MHCNC: Máquina Herramienta de Control Numérico Computarizado

N₀: Número de Bloque

N: Velocidad de rotación

NP: Número de pasos

p: Proporción muestral o probabilidad

PAP: Paso a Paso

Paso: Paso del tornillo sin fin

ppu: Pasos por unidad de los ejes.

Pc: Potencia neta

Q: Velocidad de arranque de viruta

S: Velocidad del husillo

Sec: Sección del conductor

T: Torque o momento

Vc: Velocidad de corte

- V_f :** Velocidad de avance
- X :** Coordenada X
- Y :** Coordenada Y
- Z :** Coordenada Z
- z :** Número de dientes de la fresa
- Z_c :** Factor de Corrección
- α** Angulo de paso.
- ρ :** Resistividad del conductor
- σ :** Nivel de Significación o nivel de riesgo

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	
AGRADECIMIENTO	
DEDICATORIA	
FIRMAS	
HOJA DE RESPONSABILIDAD	
INDICE DE ABREVIATURAS	
INDICE GENERAL	
INDICE DE FIGURAS	
INDICE DE TABLAS	
INDICE DE ANEXOS	
INTRODUCCIÓN	
CAPÍTULO I	
1. MARCO REFERENCIAL.....	24
1.1 ANTECEDENTES.....	24
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	25
1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	26
1.3.1 General.....	26
1.3.2 Específicos.....	28
1.4 HIPÓTESIS.....	26
CAPÍTULO II	
2. ESTUDIO DEL MHCNC.....	27
2.1 MÁQUINAS HERRAMIENTAS CNC.....	27
2.1.1 Introducción.....	27
2.1.2 Desarrollo Histórico del Cnc.....	29

2.1.3 Definición del Control Numérico.....	31
2.1.3.1 Elementos Básicos del Control Numérico.....	31
2.1.3.2 Aplicaciones del Control Numérico.....	31
2.1.3.3 Ventajas del Control Numérico Computarizado.....	32
2.1.3.4 Desventajas del Control Numérico Computarizado.....	32
2.1.3.5 Ámbito de aplicación del Control Numérico.....	33
2.1.4 Comparación de utilización entre máquinas convencionales y CNC.....	33
2.1.5 Fresadora.....	34
2.1.6 Ejes de la fresadora.....	35
2.1.7 Cinemática de la Fresadora.....	36
2.1.8 Clases de Fresadoras.....	37
2.1.9 Partes Mecánicas.....	39
2.1.10 Tipos básicos de Fresado.....	40
2.1.11 Fresas.....	41
2.1.12 Tipos de fresas.....	42
2.1.13 Operaciones del fresado.....	46
2.1.14 Parámetros del Fresado.....	46
2.2 ESTRUCTURA Y SISTEMAS DE CONTROL.....	48
2.2.1 Sistemas de Control.....	49
2.2.1.1 Lazo Abierto.....	49
2.2.1.2 Lazo Cerrado.....	49
2.2.2 Tipos de Control Según su Función.....	50
2.2.2.1 Control Punto a Punto.....	50
2.2.2.2 Control Paraxial.....	50
2.2.2.3 Control Continuo.....	51

2.2.2.4 Interpolación Lineal.....	52
2.2.2.5 Interpolación Circular.....	52
2.2.3 Precisión, Repetibilidad y Resolución.....	53
2.2.4 Programación en el Cnc.....	54
2.2.4.1 Programación de Control Numérico.....	54
2.2.4.2 Estructura de un Programa CNC.....	55
2.3 ACTUADORES.....	57
2.3.1 Motores paso a paso.....	57
2.3.1.2 Partes de los Motores PAP.....	57
2.3.1.3 Parámetros de los Motores Paso A Paso.....	59
2.3.2 Servomotor Industrial.....	60
2.3.2.1 Funcionamiento.....	61
2.3.2.2 Características.....	61
2.4 DRIVERS.....	61
2.5 INTERFACE DE COMUNICACIÓN.....	62
2.5.1 Puerto Paralelo.....	62
2.5.1.1 Los registros del puerto paralelo.....	63
2.6 FUENTE DE ALIMENTACIÓN.....	64
2.6.1 Tipos de fuentes de alimentación.....	65
2.7 SENSORES DE CONTACTO.....	66
CAPÍTULO III	
3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO.....	67
3.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE MATERIALES.....	67
3.1.1 Materiales para la Implementación.....	67
3.1.1.1 Hierro (Fe).....	68

3.1.1.2 Aluminio Compuesto.....	68
3.1.2 Sistema de Transmisión.....	69
3.1.2.1 Tornillo sin fin.....	69
3.1.3 ACOPLER Y BOCINES.....	69
3.1.3.1 Nylon PA 66.....	69
3.1.4 Ejes de Desplazamiento.....	70
3.1.4.1 Varilla de acero inoxidable.....	70
3.1.4.2 Rodamientos.....	70
3.1.5 Sistema de Sujeción.....	71
3.1.5.1 Sujeción por perno y tuerca tipo mariposa.....	71
3.2 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO.....	71
3.2.1 Especificaciones del Prototipo.....	72
3.2.2 Cálculos Previos al Proceso de Fresado.....	73
3.2.3 Diseño de la Base y Mesa.....	76
3.2.4. Diseño del sistema de movimiento del eje Y.....	78
3.2.4.1 Guías de desplazamiento del eje Y.....	81
3.2.4.2 Tornillo sin fin y Husillo del Eje Y.....	83
3.2.4.3 Acople del motor PAP del eje Y.....	86
3.2.5. Diseño del sistema de movimiento del eje X.....	86
3.2.5.1 Guías de desplazamiento del eje X.....	87
3.2.5.2 Tornillo sin fin y Husillo del eje X.....	88
3.2.5.3 Acople del motor PAP del eje X.....	91
3.2.6. Diseño del sistema mecánico eje Z para el movimiento de la herramienta.....	92
3.2.6.1 Guías de desplazamiento del eje Z.....	93
3.2.6.2 Tornillo sin fin y Husillo del eje Z.....	94
3.2.6.3 Acople del motor PAP del eje Z.....	97

3.2.7 Diseño del soporte para la Herramienta de Fresado.....	98
3.2.8 Diseño del sistema Portacables.....	100
3.2.9 Diseño de la base del tablero de control.....	101
3.2.10 Diseño del mecanismo de sujeción de piezas.....	102
3.3. DIMENSIONAMIENTO DE ACTUADORES ELÉCTRICOS.....	103
3.4. SELECCIÓN DE MOTORES A PASOS PARA LOS EJES X, Y, Z.....	105
3.5. SELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA DE FRESAR.....	107
CAPÍTULO IV	
4. SISTEMA DE CONTROL DEL PROTOTIPO.....	108
4.1 SISTEMA DE CONTROL.....	108
4.2 SOFTWARE CAD/CAM.....	108
4.2.1 Software CAD.....	108
4.2.2 Software CAM.....	109
4.3. MACH3MILL.....	110
4.3.1 Configuración de Mach3Mill.....	112
4.3.2 Configuración de Puertos y pines.....	112
4.3.3 Configuración de motores PAP.....	117
4.3.4 Ingresar un Programa de Código G en Mach3Mill.....	119
4.4 TARJETA CONTROLADORA Y DRIVES.....	121
4.4.1 Arduino Uno y Pololu A4988.....	121
4.4.2 Toshiba TB6560AHQ.....	123
4.5 DISEÑO DEL TABLERO DE CONTROL Y POTENCIA.....	127
4.5.1 Fuente de Alimentación.....	131
4.5.2 Circuito para el accionamiento de los Limit Switch.....	132
4.5.3 Conductores.....	134

CAPÍTULO V

5. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	136
5.1 PRUEBAS MECÁNICAS.....	136
5.2 PRUEBAS ELÉCTRICAS.....	138
5.3 PRUEBAS ELECTRÓNICAS.....	139
5.4 PRUEBAS DE SOFTWARE.....	139
5.4.1 Prueba de Funcionamiento - Limit Switch.....	140
5.4.2 Prueba de Funcionamiento - Herramienta de Fresado.....	141
5.4.3 Prueba de Funcionamiento Ejes X, Y y Z.....	141
5.4.4 Prueba de calibración de Parámetros ‘Motor Tunning’.....	142
5.5 PRUEBAS DE MECANIZADO DE MATERIAL.....	143
5.5.1 Diseño en AUTOCAD.....	143
5.5.2 Importación del archivo a LazyCAM y Mach3Mill.....	144
5.5.3 Mecanizado en el material.....	145
5.6 VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS.....	148
5.7 CÁLCULO DE LA RESOLUCIÓN Y PRESICIÓN DEL PROTOTIPO.....	148

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

RESUMEN

SUMARY

ANEXOS

REFERENCIA

BIBLIOGRAFIA

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II.1: Ámbito de aplicación del CN.....	33
Figura II.2: Fresadora Manual.....	35
Figura II.3: Desplazamientos de los ejes de la fresadora.....	36
Figura II.4: Máquinas Fresadoras: Vertical (izq.), Paralela (centro), Planear.....	38
Figura II.5: Fresadora CNC.....	38
Figura II.6: Partes de la fresadora.....	39
Figura II.7: Fresado frontal.....	40
Figura II.8: Fresado cilíndrico.....	40
Figura II.9: Oposición (Izq.) y Concordancia (Der.).....	41
Figura II.10: Avance Axial.....	41
Figura II.11: Fresas para madera y cortes que realizan.....	45
Figura II.12: Parámetros de corte.....	47
Figura II.13: Fuerza de corte (F_c).....	48
Figura II.14: Sistema de control de lazo abierto.....	49
Figura II.15: Sistema de control de lazo cerrado.....	49
Figura II.16: Control punto a punto.....	50
Figura II.17: Control paraxial.....	51
Figura II.18: Control interpolación.....	51
Figura II.19: Interpolación Lineal.....	52
Figura II.20: Interpolación Circular.....	52
Figura II.21: Flujo de Procesamiento del CNC.....	54
Figura II.22: Estructura del bloque de programación CNC.....	56
Figura II.23: Fases del Programa CNC.....	56
Figura II.24: Motor PAP.....	57
Figura II.25: Partes del motor PAP.....	58
Figura II.26: Motor PAP unipolar.....	58
Figura II.27: Motor PAP bipolar.....	59
Figura II.28: Servomotor.....	60
Figura II.29: Driver para Motor PAP.....	62
Figura II.30: Puerto Paralelo.....	62

Figura II.31: Registros del puerto paralelo.....	63
Figura II.32: Fuente de poder.....	64
Figura II.33: Fuente de alimentación lineal.....	65
Figura II.34: Fuente de alimentación conmutada.....	65
Figura II.35: Sensor de Contacto (Limit Switch).....	66
Figura III.1: Hierro negro.....	68
Figura III.2: Aluminio compuesto.....	68
Figura III.3: Tornillo sin fin.....	69
Figura III.4: Nylon PA 66.....	70
Figura III.5: Varilla lisa de acero inoxidable.....	70
Figura III.6: Rodamientos.....	71
Figura III.7: Sistema de sujeción.....	71
Figura III.8: Diseño Mecánico.....	72
Figura III.9: Fresa tipo Vástago.....	73
Figura III.10: Base Soporte del prototipo de fresadora CNC.....	76
Figura III.11: Mesa Ranurada.....	78
Figura III.12: Parantes de Aluminio Compuesto.....	79
Figura III.13: Ajuste de Rodamientos.....	79
Figura III.14: Sistema de desplazamiento longitudinal.....	79
Figura III.15: Ejes de Acero Inoxidable.....	80
Figura III.16: Construcción de los Bocines –Eje Y.....	81
Figura III.17: Pieza para acople de bocines y parantes–EjeY.....	82
Figura III.18: Rosca tipo ACME.....	83
Figura III.19: Tornillo de Bolas.....	84
Figura III.20: Soportes del tornillo sin fin–Eje Y.....	84
Figura III.21: Sistema de acople del Tornillo sin fin y el Motor PAP.....	85
Figura III.22: Base Principal – Eje X.....	86
Figura III.23: Sistema de Desplazamiento – Eje X.....	87
Figura III.24: Husillo y Tornillo Sin fin.....	88
Figura III.25: Bocines – Eje X.....	89
Figura III.26: Soportes de los ejes del tornillo sin fin - Eje X.....	90
Figura III.27: Sistema de acople del Tornillo sin fin y el Motor PAP.....	91

Figura III.28: Base Principal – Eje Z.....	92
Figura III.29. Sistema de Desplazamiento – Eje Z.....	93
Figura III.30. Husillo y Tornillo Sin fin.....	94
Figura III.31: Elaboración de Bocines – Eje Z.....	95
Figura III.32: Soportes de los ejes del tornillo sin fin - Eje Z.....	96
Figura III.33: Sistema de acople del Tornillo sin fin y el Motor PAP.....	97
Figura III.34: Proceso de armado del Portaherramienta.....	98
Figura III.35: Portaherramienta.....	99
Figura III.36: Portaherramienta acoplado a la base principal del eje Z.....	99
Figura III.37: Acople de ejes con el Portaherramienta.....	100
Figura III.38: Sistema Portacables en X y Y.....	100
Figura III.39: Base del Tablero de control.....	101
Figura III.40: Sistema de sujeción.....	102
Figura III.41: Herramienta de fresado Dremel.....	107
Figura IV.1: AutoCAD, Software CAD.....	109
Figura IV.2: Software Mach3Mill.....	110
Figura IV.3: Ventana MDI de Mach3Mill.....	111
Figura IV.4: Ventana de Diagnostico de Mach3Mill.....	111
Figura IV.5: Unidades nativas de Mach3Mill.....	112
Figura IV.6: Configuración de pines y puertos.....	112
Figura IV.7: Configuración de salidas Mach3Mill.....	114
Figura IV.8: Configuración de los Limits Switch Mach3Mill.....	115
Figura IV.9: Configuración del botón de paro Mach3Mill.....	115
Figura IV.10: Configuración de las señales de salida.....	116
Figura IV.11: Configuración de Spindle Setup y las Salidas de relé.....	116
Figura IV.12: Configuración de teclas para control manual.....	117
Figura IV.13: Ventana Axis Selection.....	117
Figura IV.14: Distancia del eje seleccionado a calibrar.....	118
Figura IV.15: Distancia real recorrida por el eje.....	118
Figura IV.16: Cálculo real de Mach3.....	118
Figura IV.17: Ventana Motor Tuning.....	119
Figura IV.18: Archivo *.dxf.....	120

Figura IV.19: Entorno de LazyCam.....	120
Figura IV.20: Abrir el archivo *.dxf desde LazyCam.....	121
Figura IV.21: Generación del Código G en LazyCam.....	121
Figura IV.22: Partes que componen la tarjeta Arduino Uno.....	122
Figura IV.23: Pines del Driver Pololu A4988.....	123
Figura IV.24: Diagrama de control con Arduino Uno y A4988.....	124
Figura IV.25: Tarjeta TB6560AHQ de 4 ejes.....	125
Figura IV.26: Dip Switch.....	127
Figura IV.27: Fuente de poder RDY-240-24.....	131
Figura IV.28: Diagrama Unifilar del Tablero de Control del Prototipo.....	132
Figura IV.29: Conector DB9 de la tarjeta TB6560AHQ.....	132
Figura IV.30: Diagrama de los sensores de contacta de acople al conector DB9 de la tarjeta TB6560AHQ.....	133
Figura IV.32: Colocación de los Limit switch.....	134
Figura IV.33: Tablero de Control del Prototipo de Fresadora CNC.....	135
Figura V.1: Sistema Mecánico del Prototipo de Fresadora CNC.....	138
Figura V.2: Tablero de Control con AC.....	139
Figura V.3: Prueba de Funcionamiento de la Herramienta de Fresado.....	141
Figura V.4: Control para Prueba de Funcionamiento de los ejes X, Y y Z.....	142
Figura V.5: Pruebas para Calibración de Parámetros.....	142
Figura V.6: Diseño *.dxf en AutoCAD.....	144
Figura V.7: Configuración de la herramienta de corte en LazyCam.....	144
Figura V.8: Código G editado en Bloc de Notas.....	145
Figura V.9: Mach3Mill durante el proceso de Mecanizado.....	145
Figura V.10: Mecanizado del diseño en MDF.....	146
Figura V.11: Resultado del mecanizado.....	146
Figura V.12: Diseño en piezas.....	147
Figura V.13: Resultado final del Diseño.....	147

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla II.1: Comparación MH Convencional y MHCNC.....	34
Tabla II.2: Usos y selección de fresas.....	42
Tabla II.3: Pasos Estándares.....	59
Tabla II.4: Configuración del puerto paralelo estándar.....	63
Tabla III.1: Especificaciones de la Fresadora CNC.....	72
Tabla III.2: Valores de presión específica de corte K_s0	73
Tabla III.3: Lista de materiales de la Base – Soporte.....	77
Tabla III.4: Lista de materiales de la mesa.....	78
Tabla III.5: Lista de materiales de los Parantes.....	80
Tabla III.6: Lista de materiales de los ejes guías –Eje Y.....	81
Tabla III.7: Lista de materiales de los bocines – Eje Y.....	82
Tabla III.8: Lista de materiales de Soporte de Ejes y Parantes – Eje Y.....	82
Tabla III.9: Materiales para el Tornillo sin fin y Husillo – Eje Y.....	84
Tabla III.10: Lista de materiales de Soporte Tornillo sin fin– Eje Y.....	85
Tabla III.11: Lista de materiales de Soporte y Acople Motor PAP – Eje Y.....	86
Tabla III.12: Lista de materiales de la Base Principal – Eje X.....	87
Tabla III.13: Lista de Materiales del Sistema de Desplazamiento - Eje X.....	88
Tabla III.14: Materiales para el Tornillo sin fin y Husillo – Eje X.....	88
Tabla III.15: Materiales para Bocines – Eje X.....	89
Tabla III.16: Materiales para soporte del Tornillo sin Fin- Eje X.....	90
Tabla III.17: Lista de materiales de Soporte y Acople Motor PAP – Eje X.....	91
Tabla III.18: Lista de materiales para la base principal – Eje Z.....	93
Tabla III.19: Lista de Materiales del Sistema de Desplazamiento - Eje Z.....	94
Tabla III.20: Materiales para el Tornillo sin fin y Husillo – Eje Z.....	95
Tabla III.21: Materiales para Bocines – Eje Y.....	96
Tabla III.22: Materiales para soporte del Tornillo sin Fin- Eje Z.....	97
Tabla III.23: Lista de materiales de Soporte y Acople Motor PAP – Eje Z.....	98
Tabla III.24: Lista de materiales para el sistema Portacables.....	101
Tabla III.25: Lista de materiales para la Base del Tablero de Control.....	102

Tabla III.26: Análisis del peso del eje Z.....	103
Tabla III.27: Análisis del peso del eje Y.....	103
Tabla III.28: Análisis del peso del eje X.....	104
Tabla III.29: Especificaciones Técnicas motor PAP de los ejes X y Y.....	105
Tabla III.30: Especificaciones Físicas motor PAP de los ejes X y Y.....	106
Tabla III.31: Especificaciones Técnicas del motor PAP del eje Z.....	106
Tabla III.32: Especificaciones Físicas del motor PAP del eje Z.....	107
Tabla III.33: Especificaciones de la herramienta Dremel.....	107
Tabla IV.1: Especificaciones Técnicas de TB6560AHQ.....	126
Tabla IV.2: Configuración de DIP switch.....	127
Tabla IV.3: Voltajes de Alimentación para motores PAP.....	128
Tabla IV.4: Especificaciones de la Fuente de poder RDY-240-24.....	131
Tabla IV.5: Señales de entrada del conector DB9.....	133

INDICE DE ANEXOS

ANEXO I. Diseño Mecánico

ANEXO II. Códigos G y M

ANEXO III. Datasheet TB6560AHQ

ANEXO IV. Elementos para validación de Hipótesis Alternativa

ANEXO V. Fotos

INTRODUCCIÓN

En las Pymes madereras se ha identificado la necesidad de ofrecer, una máquina fresadora para todo tipo de madera y sus derivados, de tal forma que ofrezca versatilidad, agilidad para obtener una mejora en los procesos de tallado y grabado, para dar respuesta a la demanda de productos, en un mundo en el que cada día se debe lograr reducción de costos, alta velocidad de producción de excelente calidad y con el menor esfuerzo físico.

Hoy en día los manufactureros que trabajan con madera, lo realizan artesanalmente, empleando como herramientas principales para el tallado y grabado; cuchillas desbastadoras, bolígrafos para grabado, escofinas, gubias, etc., operados con sus manos. La elaboración de una pieza en madera, empleando estas herramientas es imprecisa y llevan mucho tiempo su manufactura, y mucho más cuando la producción es en serie.

A nivel internacional se han desarrollado varias máquinas fresadoras de Control Numérico Computarizado, que realizan el trabajo de tallado y grabado en madera, pero su costo es elevado, lo que resulta complicada su adquisición.

Por todo lo anterior el diseño de una máquina para el tallado y grabado en madera y la pequeña empresa maderera, hace necesario el desarrollo de una fresadora que pueda incrementar la productividad de las mismas sin necesidad de invertir grandes cantidades de dinero para este propósito. Por ello se diseñó e implementó un prototipo de fresadora cnc para madera siguiendo los procedimientos y pasos de un proceso de diseño moderno, de fácil manejo y a bajo costo.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 ANTECEDENTES

Los inicios del CN fueron en la revolución industrial, con el surgimiento de las máquinas de vapor y las máquinas eléctricas; con un desarrollo posterior de la computadora se comienza a usar esta en las máquinas herramientas. Los primeros controles numéricos tenían un gran volumen de lógica cableada, y su programación era muy compleja.

En los años sesenta surge el control numérico por computador, el control era programado en la memoria del mismo y la forma de modificar el programa es más sencilla, es decir el desarrollo del control numérico fue a la par con el desarrollo de los ordenadores.

En nuestro país, como en muchos otros en vías de desarrollo, tenemos una amplia industria metalmecánica en la que se emplean las máquinas convencionales tales como tornos, fresadoras y prensas las cuales carecen de flexibilidad y requieren de un considerable personal especializado, mismas que están expuestas a cambios rápidos en la industria como la implementación de la tecnología de automatización en máquinas herramientas con control numérico computarizado.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Con el desarrollo de nuevos materiales y la automatización, los procesos de manufactura se vuelven cada vez más complejos. Es importante que los ingenieros estemos capacitados, para conocer las diferentes formas en las cuales los materiales pueden procesarse y el efecto de los procesos en sus propiedades.

Por esta razón es interesante que aquellos que de alguna forma intervienen en las decisiones y acciones que afectan el proceso productivo, adquieran un conocimiento sobre los equipos que la tecnología actual pone a disposición de la Automatización Integrada. El Control Numérico Computarizado es uno de estos equipos, y por lo tanto es un equipo que vale la pena conocer.

Es por ello que el prototipo de la fresadora de control numérico computarizado tiene la finalidad de aportar con la difusión de información y como alternativa tecnológica de punta, contribuyendo así a evitar el desperdicio de recursos, de igual forma contribuirá a un ahorro económico bastante considerable, al no adquirir costosas máquinas extranjeras, sino empezar a construirlas en nuestro país.

1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.3.1 General

- Estudiar, Diseñar e Implementar una Máquina-Herramienta de Control Numérico Computarizado, caso práctico prototipo de fresadora para madera.

1.3.2 Específicos

- Estudiar el funcionamiento de una Máquina Herramienta.
- Conocer la importancia del Control Numérico Computarizado como una alternativa de automatización.
- Diseñar el modelo de la Máquina Herramienta.
- Analizar, estudiar y seleccionar los controladores adecuados para los motores.
- Implementar el prototipo de la MHCNC.

1.4 HIPÓTESIS

Es posible controlar una máquina herramienta desde una pc utilizando el control numérico.

CAPÍTULO II

2. ESTUDIO DEL MHCNC

2.1 MÁQUINAS HERRAMIENTAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO

2.1.1 INTRODUCCIÓN

La base del desarrollo tecnológico son las máquinas herramientas, que al pasar de los años siguen y seguirán gobernando el desarrollo de la industria. Gracias a la utilización de dichas máquinas, en la producción es indiscutible e inmensa, pues aumentan y aceleran los procedimientos, perfeccionan los trabajos, abaratan las cosas,

horran esfuerzos al hombre, facilitan el comercio, extienden el consumo, satisfacen muchas necesidades y promueven el bienestar universal.

La Máquina Herramienta es utilizada para dar forma a materiales macizos, por ser máquinas estacionarias tienen poca o nula movilidad.

El desbastado es por eliminación de una parte del material mediante el arranque de viruta. Entre las principales máquinas convencionales tenemos las siguientes:

- Torno
- Taladros
- Pulidora
- Fresadora

Una máquina herramienta convencional dotada con elementos sofisticados, es una MHCN, la misma que para su funcionamiento necesita de un plano, un programa que represente dicho plano, que son leídos por el ordenador y esta a su vez transmite las señales a los actuadores para que realicen el trabajo, obteniendo como resultado una pieza prácticamente automatizada.

El control numérico computarizado en las máquinas herramientas es de vital importancia, no solamente porque revolucionaron la industria, sino por su complejo mecanismo formado de partes mecánicas, eléctricas, electrónicas y sobre todo a su capacidad de elaboración de piezas de calidad.

Con el pasar de los años, las máquinas herramientas han simplificado su tamaño, su mecanismo de control. Por lo tanto son la base de la industria moderna.

2.1.2 DESARROLLO HISTORICO DEL CNC

En los años setenta, las máquinas eran operadas a mano, pero gracias al desarrollo de la electricidad y del vapor, se pudo comenzar a automatizar las máquinas.

- 1808 Joseph M. Jacquard usó una hoja de metal perforada para controlar agujas en máquinas tejedoras.
- 1818 Eli Whitney construyó la primera máquina de fresar con el fin de agilizar la construcción de fusiles en el estado de Connecticut.
- 1830, la empresa Gay & Silver construyó una fresadora que incorporaba el mecanismo de regulación vertical y un soporte para el husillo portaherramientas.
- 1848 Frederick. W. Howe fabricó para la empresa Robbins & Lawrence la primera fresadora universal que incorporaba un dispositivo de copiado de perfiles.
- 1857 se dió a conocer la fresadora Lincoln, que incorporaba un carnero cilíndrico regulable en sentido vertical.
- 1853 Brown & Sharpe fabricó la primera fresadora universal equipada con plato divisor que permitía la fabricación de engranajes rectos y helicoidales.
- 1874 Pierre Philippe Huré diseñó una máquina de doble husillo, vertical y horizontal que se posicionaban mediante giro manual.
- 1894 el francés R. Huré diseñó un cabezal universal con el que se pueden realizar diferentes mecanizados con variadas posiciones de la herramienta.

Son cuatro las generaciones de máquinas de control numérico tomando como base el desarrollo de la electrónica.

- a) Válvulas electrónicas y relés (Años 50).
- b) Transistores (Años 60).
- c) Circuitos integrados (1965).
- d) Microprocesadores (1975).

En los años sesentas surge el control numérico por computador, los programas se realizaban en la memoria del ordenador y eran fácilmente modificados. El inconveniente era el inmenso tamaño de los ordenadores de esa época, pues necesitaban de una habitación para el ordenador central. Al pasar a los setentas los ordenadores disminuyeron su tamaño por lo que fueron cada vez más utilizados en las máquinas herramienta.

En los CNC la lógica cableada de los años sesentas, con su desarrollo fue reemplazado por el software controlador, es así que surge la necesidad de generar un método de programación. A medida que se desarrolló el CNC, fue disminuyendo la presencia del trabajador en procesos como corte por láser, los que en la actualidad es casi imposible realizar sin el control numérico.

En operaciones de taladrado y fresado era suficiente el lenguaje APT, no así para operaciones de mecanizado. El desarrollo de los microprocesadores en las computadoras permitió un gran desarrollo CNC, pues apareció la interpolación lineal y circular.

2.1.3 DEFINICIÓN DE CONTROL NUMÉRICO.

El control numérico se puede definir como un método para controlar con precisión la operación de una máquina herramienta mediante una serie de instrucciones codificadas, formadas por números y letras del alfabeto. Estas instrucciones se convierten en pulsos eléctricos que controlan el funcionamiento de motores para llevar a cabo el maquinado sobre una pieza de trabajo.

2.1.3.1 Elementos Básicos del Control Numérico.

Para la realización de un trabajo de mecanizado basado en control numérico, es necesario tomar en cuenta lo siguiente:

- **El programa.-** Abarca la información para el mecanizado de la pieza.
- **El control numérico.-** Interpreta los bloques de instrucciones del programa y las transforma en pulsos de corriente, las mismas que accionan los actuadores.
- **La máquina.-** Ejecuta el trabajo en sí.

2.1.3.2 Aplicaciones del Control Numérico.

El CNC se puede aplicar en cualquier tipo de máquina herramienta, entre estos se nombra:

- Tornos
- Taladros de Mesa
- Fresadoras
- Soldadoras
- Máquinas de corte
- Prensas

- Máquinas trazadoras
- Dobladoras, etc.

2.1.3.3 Ventajas del Control Numérico Computarizado

Las ventajas del control numérico computarizado, son diversas ya que se controla los movimientos tanto de la máquina como de la herramienta, además de variar las velocidades de mecanizado, solamente con crear o modificar la programación en el ordenador. [1]

- Disminución en tiempo de mecanizado, de inspección
- Disminución de piezas defectuosas y mejora de la calidad.
- Mayor precisión en las piezas
- Mejora de calidad de los lotes.
- Flexibilidad en la producción.
- Cambios de velocidad programables.
- Mejora en la extracción de viruta
- Posibilidad de posesionar el carro móvil en cualquier lugar de su recorrido.

2.1.3.4 Desventajas del Control Numérico Computarizado

- Mayor riesgo de averías, por la mala operación.
- Costo elevado de la Máquina Herramienta.
- Costos de mantenimiento más elevados.
- Personal de operación más calificado.

2.1.3.5 Ámbito de aplicación del Control Numérico

Según la cantidad de piezas a fabricar, se puede emplear tanto máquinas convencionales, así como máquinas especiales y máquinas con control numérico.

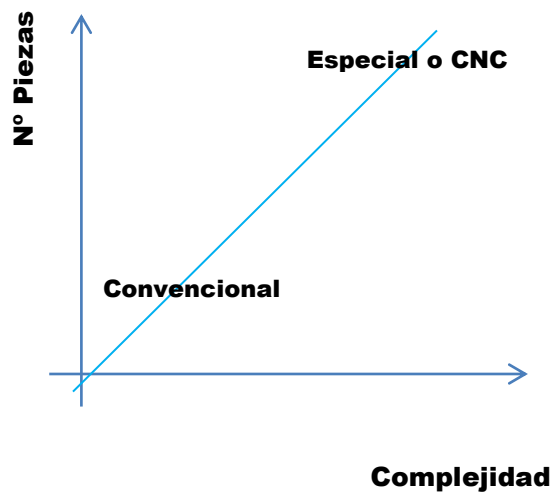


Figura II.1: Ámbito de aplicación del CN

Fuente: Autores

La utilización de las máquinas CNC, es la más apropiada cuando se requiere una producción de piezas en serie, como por ejemplo en las grandes industrias, mientras que cuando se necesita del mecanizado de cantidades pequeñas de piezas es más factible el empleo de las máquinas convencionales, por los costos que genera el uso de la máquina cnc.

2.1.4 COMPARACIÓN DE UTILIZACIÓN ENTRE MÁQUINAS CONVENCIONALES Y CNC

En la siguiente tabla se hace una comparación entre los dos sistemas de mecanizado.

Tabla II.1: Comparación MH Convencional y MHCNC

Fuente: (Teruel Cruz, 2004)

MÁQUINA HERRAMIENTA CONVENCIONAL	MÁQUINA HERRAMIENTA CNC
Un operario sólo puede manejar una sola máquina	Un operario puede operar varias máquinas
Es necesario consultar constantemente el plano	No es necesario consulta apenas el plano.
Se necesita una amplia experiencia	No es necesario una amplia experiencia
El operador tiene el control de profundidad, avance, etc.	El programa tiene todo el control de los parámetros de corte
Mecanizados imposibles de realizar.	Posibilidad de realizar prácticamente cualquier mecanizado

2.1.5 FRESADORA

La utilización de máquinas fresadoras ha sido de vital importancia en el trabajo industrial, puesto que permite fabricar piezas de mejor acabado tanto en calidad y presentación así como en precisión.

La fresadora es una “máquina provista de fresas que sirve para labrar metales”. [2]

Una fresadora es utilizada para dar formas complicadas a piezas de diferentes materiales. Las fresadoras pueden efectuar diversos tipos de operaciones para el mecanizado de piezas.



Figura II.2: Fresadora Manual

Fuente: <http://www.ferrovicmar.com/herramientas-electricas.asp>

2.1.6 EJES DE LA FRESADORA

Las MHCN disponen de diferentes órganos de movimiento lineal (generalmente ejes), para poder programar el movimiento de dichos elementos se les asigna una letra, que será la que después se utilizará en la programación. Esta asignación de letras está normalizada y no puede ser cambiada en ningún caso. Los signos “+” y “-” no tienen un sentido matemático sino de dirección [3].

En las fresadoras, la pieza a mecanizar se coloca sobre la mesa, la misma que se traslada en tres ejes, longitudinal, transversal y vertical.

- **Longitudinal.-** Llamado eje Y, debido a que su desplazamiento lo realiza a lo largo de la máquina.
- **Transversal.-** Llamado eje X. Éste eje se desplaza en forma transversal a la máquina.
- **Vertical.-** Es llamado eje Z, éste desplaza la herramienta verticalmente dando la profundidad de corte a la pieza.

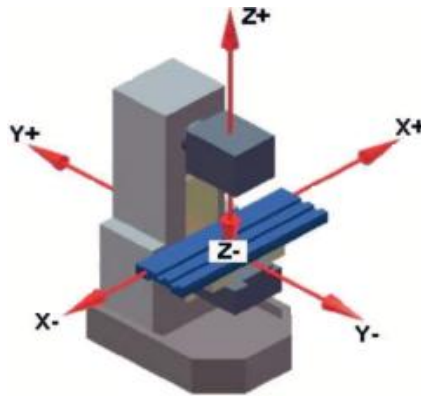


Figura II.3: Desplazamientos de los ejes de la fresadora.

Fuente: (Teruel Cruz, 2004)

La mesa puede desplazarse en forma automática o manual, y gracias a la caja de engranajes puede moverse a numerosas velocidades.

2.1.7 CINEMÁTICA DE LA FRESADORA [4]

La cadena cinemática de la fresadora estudia los movimientos de ésta y se distinguen dos tipos.

- **Movimiento de rotación.-** El movimiento de rotación se le da al eje principal de la máquina, como las herramientas van caladas en este eje, son las revoluciones a las que podemos hacerlas girar. La máquina lleva una caja de cambios con una gama de velocidades no muy alta, generalmente comprendida entre 50 y 150 r.p.m.
- **Movimiento de Traslación.-** Son los movimientos de los carros de la máquina, comprende los motores que generan dicho movimiento para trabajar con avances automáticos. Incorpora una caja con estos avances, los cuales podemos seleccionar por medio del cambio manual.

- **Caja de Cambios.-** Llamada también caja de velocidades. Es la caja que contiene los trenes de engranajes y haciendo ensamblar unos con otros, se consiguen las distintas revoluciones a dar al eje de la máquina, esta lleva la herramienta con la cual se está trabajando. El cambio de revoluciones se realiza mediante palancas.
- **Caja de Avances.-** Es la caja de cambios donde se seleccionan los distintos avances de los carros con el fin de desplazarlos de forma automática, consiguiendo así las velocidades de corte adecuadas al material a trabajar. Es una de las partes más importantes de la máquina, pues cuanto más amplia sea la gama de velocidades podremos ajustar mejor la velocidad de corte.

2.1.8 CLASES DE FRESADORAS

Existe una clasificación de las fresadoras de acuerdo con el posicionamiento de la mesa como del husillo:

- **Fresadoras Horizontales**

Se las utiliza cuando el mecanizado que se requiere es cilíndrico

- **Fresadoras Verticales**

Se emplean cuando el fresado requerido es frontal.

- **Fresadoras Universales**

Se emplea en la mayoría de trabajos de mecanizado, debido a la facilidad de la mesa para girar hacia la derecha e izquierda, por ejemplo el fresado de ranuras en espiral.

- **Máquinas de fresar Especiales**

Entre las fresadoras especiales podemos nombrar las siguientes: la fresadora paralela que es utilizada para trabajar piezas pesadas, la fresadora de planear empleada para trabajos en serie y las máquinas de fresar roscas empleadas para fresar roscas.

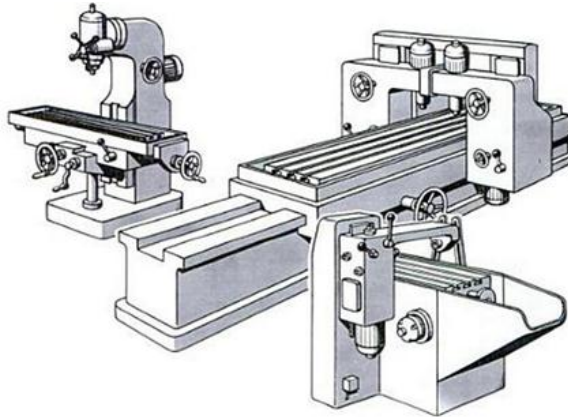


Figura II.4: Máquinas Fresadoras: Vertical (izq.), Paralela (centro), Planear (der.)

Fuente: (Gerling, 2006)

- **Fresadora CNC**

Una fresadora cnc es una máquina herramienta de fabricación por arranque de viruta, que mediante la utilización de programas de Control Numérico y programas CAD/CAM enviadas desde un ordenador se puede producir piezas más rápidas y con mayor exactitud.



Figura II.5: Fresadora CNC

Fuente: <http://www.logismarket.com.ar/difra-cnc>

2.1.9 PARTES MECÁNICAS

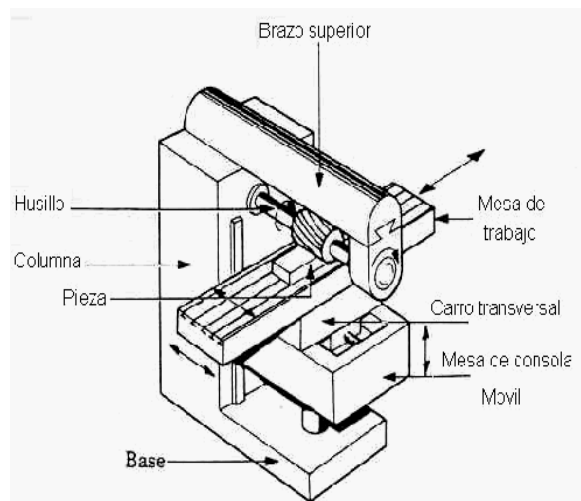


Figura II.6: Partes de la fresadora

Fuente: (Falk, 2000)

1. **Base.-** Soporte de toda la fresadora.
2. **Columna.-** Es la parte más grande de la máquina y está montada en la base, es el apoyo de la mesa y del cabezal.
3. **Cabezal.-** Esta parte es conocida como aparato vertical, que soportar la herramienta utilizada para el mecanizado.
4. **Carro Longitudinal.-** Se desplaza longitudinalmente.
5. **Carro Transversal.-** Este carro sostiene la mesa y la desplaza transversalmente.
6. **Carro Vertical.-** Es la estructura más rígida de la fresadora, esta abarca el motor de accionamiento de la herramienta y la caja de cambios para las velocidades de desplazamiento transversal, vertical y horizontal.
7. **Accionadores manuales de carros.-** Sirve para mover las mesas manualmente de izquierda a derecha, de arriba hacia abajo y de atrás hacia adelante y viceversa.
8. **Husillo.-** Lugar de montaje de herramientas de corte (Fresas).

2.1.10 TIPOS BASICOS DE FRESADO

Existen dos tipos básicos del Fresado:

a) Fresado Frontal

En el fresado frontal el avance de la fresa es perpendicular al eje de giro y la profundidad de corte es en dirección axial.

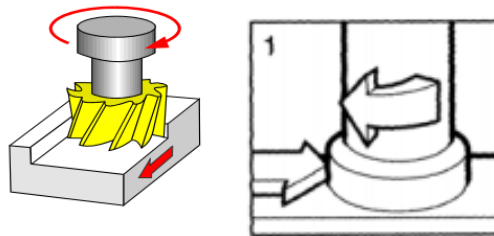


Figura II.7: Fresado frontal

Fuente: <http://www.esacademic.com/pictures/eswiki/77/Movimientos>

b) Fresado Periférico o Cilíndrico

En el fresado cilíndrico el avance de la fresa es perpendicular al eje de giro y la dirección de corte es radial.

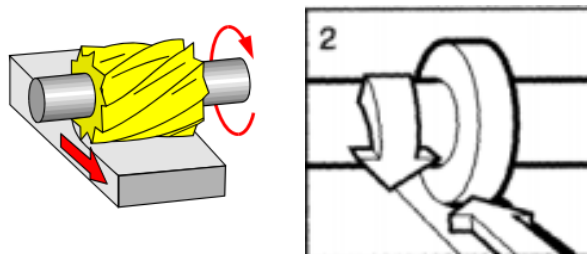


Figura II.8: Fresado cilíndrico

Fuente: <http://www.esacademic.com/pictures/eswiki/77/Movimientos>

Tipos de Fresado Cilíndrico.

Fresado en oposición o normal.- La trayectoria de la fresa es opuesta a la dirección de avance de la fresa. Arrancan viruta en contra del movimiento.

Fresado en concordancia.- La trayectoria de la fresa es igual a la dirección de avance de la fresa. Arrancan viruta a favor del movimiento.

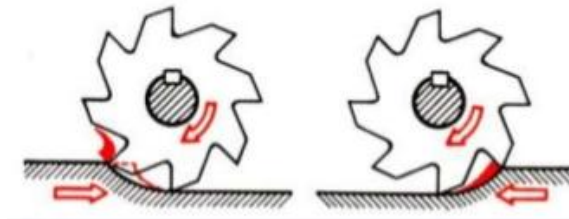


Figura II.9: Oposición (Izq.) y Concordancia (Der.)

Fuente: <http://www.tecnologia-informatica.es/wp-content/uploads/2012/09/fresado.png>

Avance Axial

El avance axial se da tanto en avance y profundidad de corte simultáneamente en dirección axial.

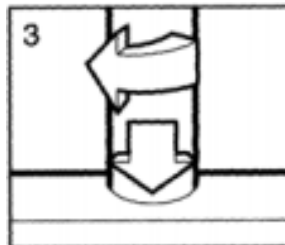


Figura II.10: Avance Axial

Fuente: <http://www.esacademic.com/pictures/eswiki/77/Movimientos>

Para realizar los procesos de mecanizado existe una amplia variedad de fresas.

2.1.11 FRESAS

Las fresas generalmente se asemejan a las brocas empleadas en los taladros, su forma es alargada y están construidas de acero. Su función principal es arrancar viruta de la pieza en forma giratoria y progresiva.

2.1.12 TIPOS DE FRESAS

Para cada operación de mecanizado con fresadora, existe una variedad de fresas, empleadas para metal, otras para madera, incluso existen fresas para plásticos.

Debido al gran número de fresas se detalla a continuación una tabla, con todas las clasificaciones de las fresas, características, aplicaciones, esquema y algunos ejemplos.

Tabla II.2: Usos y selección de fresas

Fuente: (DE MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS, 2012)





TIPOS FRESAS	CARACTERÍSTICAS	APLICACIONES	ESQUEMA	EJEMPLOS
CILÍNDRICAS PERIFÉRICAS (Dientes solo en la periferia)	Con dentado recto (corte brusco)	Uso en la fresadora horizontal		Fresado en superficies planas <ul style="list-style-type: none"> • Superficies de apoyo de materiales • Superficie de deslizamiento para rieles • Superficie de guías, correderas, etc.
	Con dentado helicoidal El espaciado entre dientes varía según la dureza del material a fresar (Blando=mayor espaciado, Duro=menor espaciado)	<ul style="list-style-type: none"> • Planeado • Desbaste • Afinado 		
	Acopladas Montaje de dos fresas con dentado helicoidal de sentido opuesto (permite el equilibrio de las fuerzas axiales)	<ul style="list-style-type: none"> • Desbaste • Rebajado de superficies • Ranurado Profundo 		
CILÍNDRICAS FRONTALES SIN VÁSTAGO (Dientes en la periferia y cara lateral)		Uso en la fresadora horizontal y vertical para fresado en escuadra <ul style="list-style-type: none"> • Rebajado en ángulo recto 		








Tabla II.2: Usos y selección de fresas				Continuación
Fuente: (DE MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS, 2012)				
DE DISCO (Poca longitud de corte a su diámetro)	Con dentado recto	<ul style="list-style-type: none"> Ranurado plano 		<ul style="list-style-type: none"> Fresado de Tornillos Fresado de Chaveteros planos y profundos Curvas Arcos circulares
	Con dentado cruzado o alterno	<ul style="list-style-type: none"> Ranurado profundo 		
	Con dentado en cruz	<ul style="list-style-type: none"> Chaveteros profundos 		
	Acopladas ajustables Montaje de dos fresas de disco, rectas o en cruz, una sobre otra;	<ul style="list-style-type: none"> Ranurado profundo con longitudes ajustables 		
	Sierras circulares	<ul style="list-style-type: none"> Corte de piezas Ranurado estrecho (Cabezas de tornillos) 		
ANGULARES SIN VÁSTAGO (Dos filos principales que forman un ángulo entre sí)	Frontales	<ul style="list-style-type: none"> Mecanizado de guías en ángulo a 45, 50, 55 y 60 grados 		Obtención de <ul style="list-style-type: none"> Guías prismáticas, en ángulo Reglas de acero para taller, de 3 y 4 aristas, con sección rectangular.
	Prismáticas	<ul style="list-style-type: none"> Mecanizado de guías prismáticas en ángulo de 45, 60 y 90 grados 		













Tabla II.2: Usos y selección de fresas					
Fuente: (DE MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS, 2012)					Continuación
FRESAS CON VÁSTAGO (Cilíndrico o cónico)	Cilíndricos	De bola o punta esférica	<ul style="list-style-type: none"> Copiado Matrices Fresado de contornos 		Fresado de <ul style="list-style-type: none"> Piezas hexagonales Chaveteros y orificios rasgados Tuercas Ejes de chavetas Ruedas dentadas
		De punta plana	<ul style="list-style-type: none"> Acabado Desbaste 		
		Para ranuras T	<ul style="list-style-type: none"> Ranurado 		
		Para ranuras Woodruff			
	Cónicas		<ul style="list-style-type: none"> Avellanado preciso de orificios 		
	Angulares	Cola de milano (Forma trapezoidal)	<ul style="list-style-type: none"> Ranurado y ensamble a cola de milano 		
DE PERFIL CONSTANTE (Con o sin vástago) Dejan la geometría del diente en la pieza a mecanizar	Destaladas	Convexas	<ul style="list-style-type: none"> Ranurado semicircular con radios de 1 a 20 mm. 		Fresado de <ul style="list-style-type: none"> Superficies sinuosas Curvas Arcos Ranuras Perfiles de todo tipo
		Cóncavas	<ul style="list-style-type: none"> Obtención de superficies semicirculares con radios de 0.5 a 20 mm 		
	De módulo (Fresas de disco)		Tallado de <ul style="list-style-type: none"> Engranajes Ruedas dentadas Piñones de cadena Cremalleras Tornillos sin fin 		
	Múltiples		<ul style="list-style-type: none"> Roscado Mordazas 		

Tabla II.2: Usos y selección de fresas			
Fuente: (DE MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS, 2012)		Continuación	
COMPUESTAS (Tren de Fresas)	Montaje de dos o más fresas de distinto tipo (reúnen las propiedades de las fresas de perfil constante a un costo mucho menor)		Fresado de perfiles de todo tipo
FRESAS MADRE (Con o sin vástago)	Mecanizan al mismo tiempo todos los dientes de un engranaje, con una gran ventaja sobre las fresas de módulo, que lo hace diente por diente	Ídem fresas de módulo 	Fresado por generación <ul style="list-style-type: none"> • Obtención de engranajes en serie con el numero deseado de dientes, perfiles y ángulos de hélice

Existen muchísimos tipos de fresas diseñadas especialmente para trabajar en madera, según su forma y su tamaño.

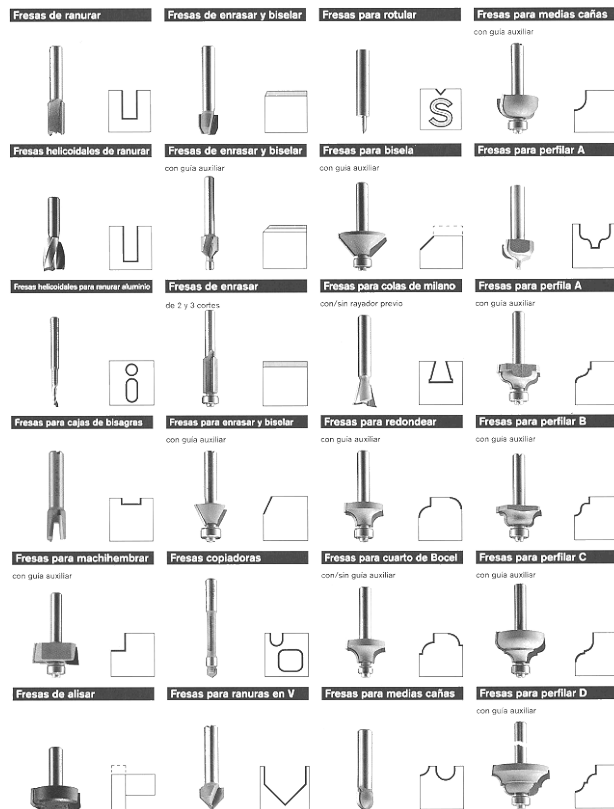


Figura II.11: Fresas para madera y cortes que realizan

Fuente: <http://www.bricotodo.com/fresar.htm>

2.1.13 OPERACIONES DEL FRESADO

En este tipo de máquina herramienta, se puede realizar múltiples operaciones de fresado como por ejemplo:

- **Planeado.** Como su nombre lo indica, permite conseguir un fresado plano.
- **Corte.** Permite conseguir cortes deseados en los fresados finales.
- **Ranurado recto.** En este fresado se emplea las fresas cilíndricas, dependiendo del ancho de la ranura que se desea mecanizar.
- **Fresado de cavidades.** Este fresado sigue un orden: primero se realiza la perforación de la cavidad y segundo mecaniza con la fresa deseada, para obtener la pieza final.
- **Fresado en rampa y el taladrado.** Para estos fresados es necesario de las máquinas fresadoras CNC, debido a su amplia gama de fresas intercambiables.

Debido a que en estas operaciones se requiere de eficacia y precisión, es necesario usar parámetros de mecanizado, para obtener un producto de calidad.

2.1.14 PARAMETROS DEL FRESADO [5]

En el proceso de mecanizado se emplean los siguientes parámetros:

- Selección de la máquina herramienta y de las fresas a utilizar.
- Conocer qué tipo de fresado se desea realizar.
- Elección de los parámetros de corte:

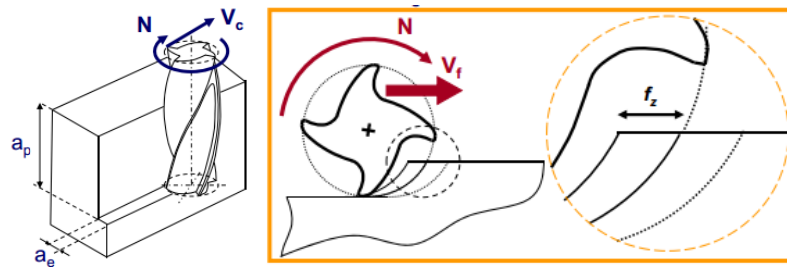


Figura II.12: Parámetros de corte

Fuente: (Escuela Técnica Superior de Ingeniería, 2014)

Velocidad de avance.- Distancia recorrida por la herramienta en sentido contrario a la pieza por unidad de tiempo.

$$V_f = f_z \cdot N \cdot z \quad (mm/min) \quad (Ec. 2.1)$$

Velocidad de corte.- Velocidad adyacente con la que los dientes de corte mecanizan la pieza.

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1000} \quad (m/min) \quad (Ec. 2.2)$$

Velocidad de rotación de la herramienta.- Velocidad angular de la herramienta de fresado en el husillo.

$$N = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad (rpm) \quad (Ec. 2.3)$$

Avance por diente.- Distancia que recorre la herramienta mientras un diente en concreto está implicado en el corte.

$$f_z = \frac{V_f}{N \cdot z} \quad (mm/diente) \quad (Ec. 2.4)$$

Avance por revolución.- Distancia que se mueve la herramienta durante la rotación.

$$f_n = \frac{V_f}{N} \quad (mm/rev) \quad (Ec. 2.5)$$

Velocidad de arranque de viruta

$$Q = \frac{a_p \cdot a_e \cdot V_f}{1000} \quad (cm^3/min) \quad (Ec. 2.6)$$

Espesor de Viruta

$$e = \left(\frac{V_f}{Z \cdot N} \right) \sqrt{\frac{a_p}{D}} \quad \left(\frac{mm}{rev} \right) \quad (Ec. 2.7)$$

Fuerza de Corte

$$F_c = K \cdot A_c \quad (N) \quad (Ec. 2.8)$$

Potencia neta

$$P_c = F_c \cdot V_c(t) \quad (W) \quad (Ec. 2.9)$$

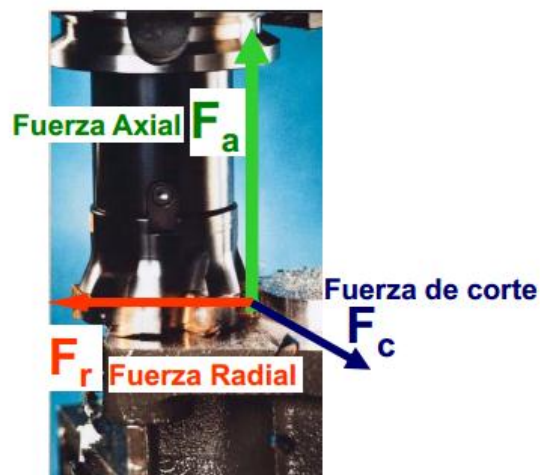


Figura II.13: Fuerza de corte (F_c)

Fuente: (Escuela Técnica Superior de Ingeniería, 2014)

2.2 ESTRUCTURA Y SISTEMAS DE CONTROL.

En las máquinas CNC, se debe tomar en cuenta el tipo de máquina herramienta y el tipo de control que se debe emplear.

2.2.1 SISTEMAS DE CONTROL

Los sistemas de control, se aplican esencialmente para las máquinas. Un sistema de control está definido como un conjunto de componentes que pueden regular su propia conducta o la de otro sistema con el fin de lograr un funcionamiento establecido, de modo que se reduzcan las probabilidades de fallos y se obtengan los resultados buscados [6].

2.2.1.1 Lazo abierto

El control de lazo abierto es aquel sistema en el que la señal de entrada se ejecuta directamente, teniendo como salida una señal independiente de la entrada, es decir que la información circula en una sola dirección, por lo tanto es un sistema no realimentado.

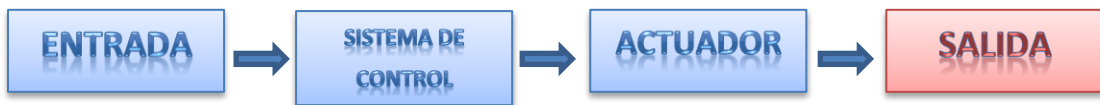


Figura II.14: Sistema de control de lazo abierto.

Fuente: Autores

2.2.1.2 Lazo cerrado

El control de lazo cerrado es aquel sistema cuyo control depende de la señal de salida, es decir que la señal de salida se envía al sistema de control para corregir un error y hacer más eficiente el funcionamiento, por lo tanto es un sistema realimentado.



Figura II.15: Sistema de control de lazo cerrado

Fuente: Autores

El control en lazo cerrado es recomendable cuando se requiera un desbastado con mayor fuerza de arrastre, es decir en un proceso más lento.

2.2.2 TIPOS DE CONTROL SEGÚN SUS FUNCIÓN

Según las funciones que realiza se nombra a continuación los siguientes tipos.

- Control punto a punto
- Control paraxial
- Control continuo

2.2.2.1 Control punto a punto

Es el más simple de los controles, en este se define los puntos donde tiene que trabajar la máquina herramienta, sin importar la trayectoria que siga para llegar a estos. El control punto a punto es empleado en trabajos de taladrado y soldadura por puntos.



Figura II.16: Control punto a punto

Fuente: http://1.bp.blogspot.com/_zmc-_f0r22M

2.2.2.2 Control paraxial

A diferencia del control punto a punto, en este tipo de control se puede controlar en forma precisa, la posición de la herramienta, la velocidad de trabajo y la trayectoria que sigue, durante el mecanizado de piezas, dependiendo de la dirección de cualquiera de los ejes.



Figura II.17: Control paraxial

Fuente: http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/controlnumericocnc

2.2.2.3 Control continuo

El control continuo llamado también control interpolar, es mucho más preciso que los controles anteriores y permite controlar los movimientos a distintas trayectorias y con diferentes velocidades de los tres ejes que forman parte de la máquina herramienta, es el control ideal para mecanizado 3D.



Figura II.18: Control interpolador

Fuente: http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/controlnumericocnc

Los ejes de la máquina herramienta basan sus desplazamientos en la interpolación lineal y circular. La interpolación es un método matemático a partir del cual se encuentra nuevos puntos a partir de otros puntos conocidos con anterioridad.

2.2.2.4 Interpolación Lineal

La interpolación lineal realiza un movimiento lineal calculando la posición intermedia entre dos puntos, siguiendo así un segmento rectilíneo. A medida que avanza el recorrido se corrigen los errores de desvío si existen, en cualquiera de los ejes. Es decir, la herramienta se mueve en línea recta desde que inicia hasta que termina, ya sea en los tres ejes o solamente en dos de ellos.

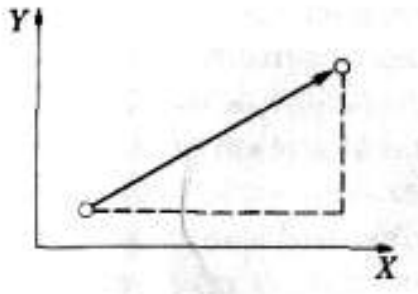


Figura II.19: Interpolación Lineal

Fuente: http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/mecanizadodematerialescnc

2.2.2.5 Interpolación Circular

En la interpolación circular se realiza un movimiento circular, se calcula puntos intermedios entre dos puntos inicial y final siguiendo esencialmente la trayectoria de arco circular. A medida que avanza el recorrido se corrigen los errores de desvío que no sea circular, en cualquiera de los ejes.

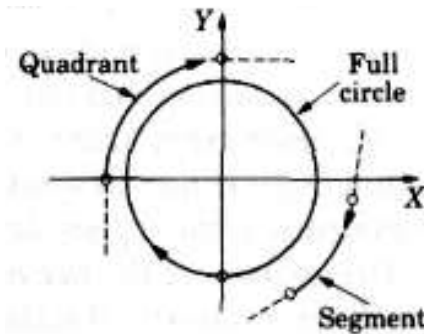


Figura II.20: Interpolación Circular

Fuente: http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/mecanizadodematerialescnc

2.2.3 PRECISIÓN, REPETIBILIDAD Y RESOLUCIÓN

Precisión

“Cualidad que caracteriza la aptitud de un instrumento de medida para dar indicaciones próximas al valor verdadero de la magnitud medida, teniendo en cuenta tanto los errores sistemáticos como los errores aleatorios” [7].

Las máquinas herramientas modernas CNC, son capaces de producir maquinados que tienen un precisión con tolerancias de hasta 0.0025 a 0.005mm.

Repetibilidad

Se considera como: “El grado de concordancia entre los resultados de mediciones de la misma magnitud, obtenidos con el mismo método, por el mismo operario, con los mismos instrumentos, en el mismo lugar y a intervalos de tiempo suficientemente cortos” [7].

Las máquinas herramientas CNC por tener las características de precisión y repetición tienen precios excesivamente altos.

Resolución

La resolución se refiere “Al valor mínimo en que está dividida la escala o valor del último dígito significativo que muestran los sistemas digitales” [7].

2.2.4 PROGRAMACIÓN CNC

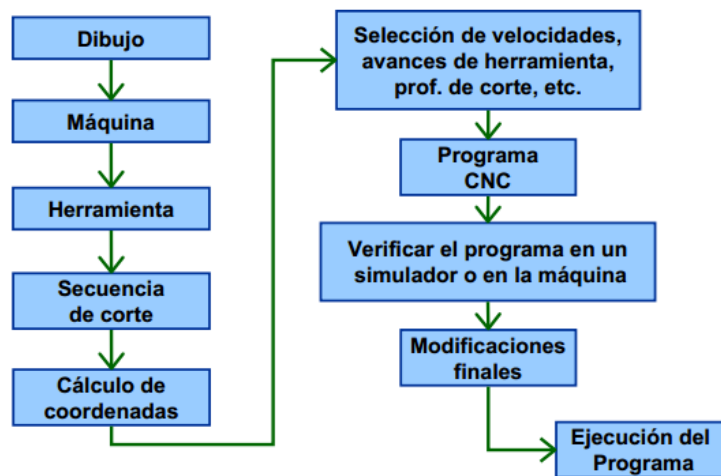


Figura II.21: Flujo de Procesamiento del CNC

Fuente: (Ing. Jiménez, 2003)

2.2.4.1 Programación de control numérico

El código G es un lenguaje de programación CNC mediante el cual se dice que hacer a las máquinas herramientas como son: fresadoras, tornos, cortadoras, impresoras 3D, etc.

Un ejemplo de código G es:

```
N10 G90 G21
```

```
N15 G01 X2.5 Y3 F30
```

Esto traducido significa que en la línea 15 del programa, realice un corte con un avance de 30 mm/min en el eje X 2.5 mm y en el eje Y 3mm.

Un programa es un código de instrucciones secuenciales necesarias para el mecanizado y a ser ejecutado por la máquina CNC.

Para la programación se puede emplear dos métodos: manual y automática.

En la programación manual, el programa lo ingresa manualmente el operario de la máquina en forma de códigos, ya sea G, M, F, S y T. (**ANEXO 2**)

- **Códigos G:** Significa geometría de la trayectoria de la herramienta. El código G lleva a letra G seguida por números desde el 0 al 99.
- **Códigos M:** Su significado es Misceláneos se utilizan para funciones auxiliares como prender la herramienta. Este código lleva la letra M seguida por números desde el 0 al 99.
- **Código S:** Significa velocidad, mediante el cual se programa la velocidad de la herramienta en rpm. Este código lleva la letra S seguida del valor de las revoluciones.
- **Código F:** Significa alimentación de mecanizado, es decir la velocidad de movimiento de los ejes de la máquina. Este código lleva la letra F seguida del valor del avance de mecanizado.
- **Código T:** Significa herramienta de trabajo, permite seleccionar con que herramienta se va a trabajar. Este código lleva la letra T seguida del número de la herramienta.

Mientras que en la programación automática, el ordenador envía la información digital a la máquina. Este método se conoce como CAD/CAM, Programación Asistida por Computador.

2.2.4.4. Estructura de un Programa CNC

Un programa por lo general tiene cuatro secciones de programación, para desarrollarlas en orden secuencial y cada línea o bloque consta de la numeración respectiva (N05) que va de 5 en 5 o según el criterio del programador, seguido de los códigos

mencionados en la sección 2.2.4.3, no necesariamente deben estar presentes todos los ítems.

Formato:

G02 X_ Y_ Z_ I_ J_ K_ R_ F_;

Figura II.22: Estructura del bloque de programación CNC

Fuente: Autores

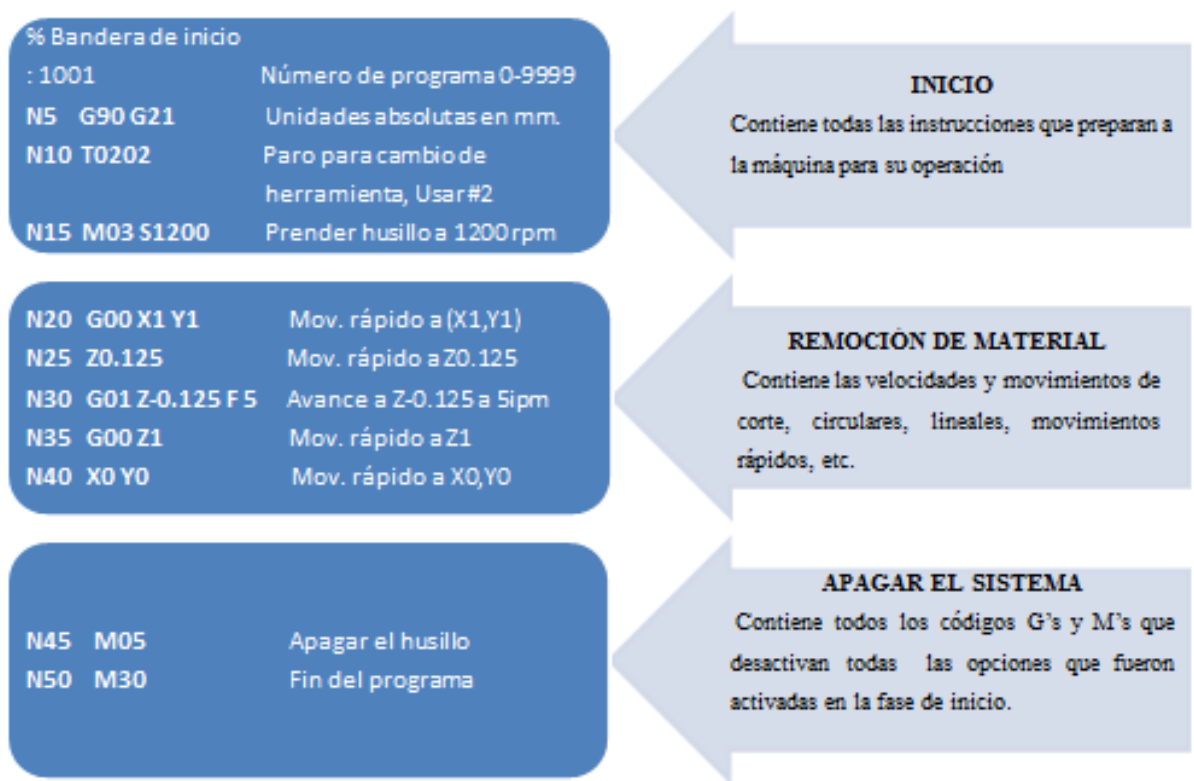


Figura II.23: Fases del Programa CNC

Fuente: Autores

Dentro del programa ciertos códigos G permanecen activos mientras otro código G lo sobrescriba y reciben el nombre de comandos modales.

2.3 ACTUADORES (Motores Eléctricos)

Son dispositivos que transforman la energía eléctrica en energía mecánica; sirven para generar el movimiento de diversos mecanismos y equipos que son usados en varias áreas como industria, electrodomésticos, etc. En los sistemas de control se usan Motores paso a paso y Servomotores Industriales.

2.3.1 Motor paso a paso.

Es un dispositivo electrónico y mecánico a la vez, que permite avanzar cierto número de grados dependiendo de pulsos eléctricos provenientes de controladores, se mueve un paso por cada pulso.



Figura II.24: Motor PAP

Fuente: http://mla-s2-p.mlstatic.com/motor-paso-a-paso-nema34-46nm-460ncm-637oz-in-ideal-cnc-13555-MLA3372352492_112012-F.jpg

Este paso va desde 1.8° requiriendo de 200 pasos hasta los 90° requiriendo 4 pasos, completando así los 360° .

2.3.1.2 Partes de los Motores PAP

Los motores paso a paso están formados por un rotor formado de imanes permanentes y de un estator de bobinas excitadoras.

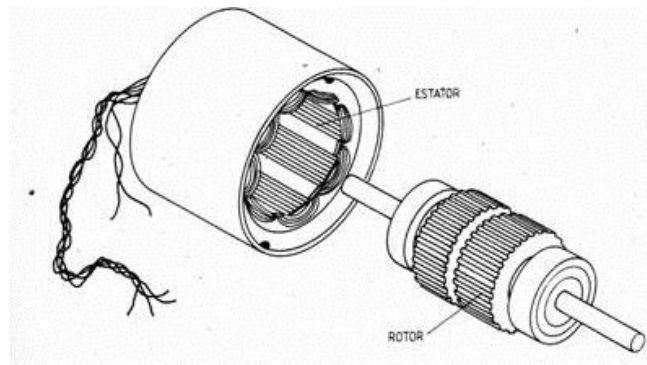


Figura II.25: Partes del motor PAP

Fuente: <https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn>

Los motores paso a paso se clasifican a su vez en unipolares y bipolares.

UNIPOLARES.- Disponen de 4 bobinas, en las cuales la corriente que circula lo realiza en el mismo sentido. Están formados por 6 cables:

- 2 para cada una de las bobinas Ay B.
- 1 común para cada una de las bobinas

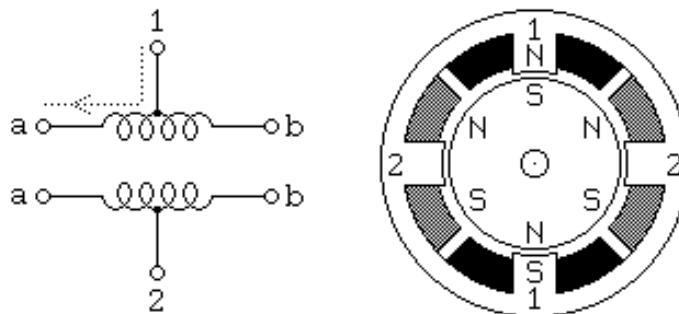


Figura II.26: Motor PAP unipolar

Fuente: <http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/lased/2002-03/MotoresPasoPaso/tipos.htm>

BIPOLARES.- Disponen de 2 bobinas, en las cuales la corriente que circula cambia de sentido dependiendo de la tensión, es por ello que su control es más complicado. Están formados de 4 cables: 2 para cada bobina.

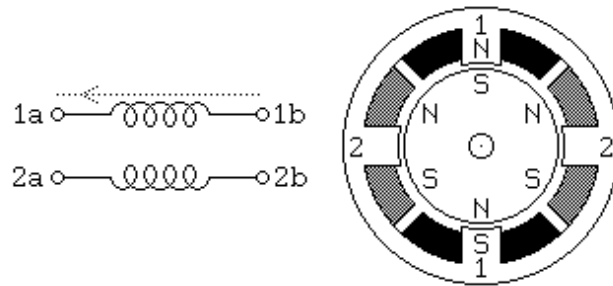


Figura II.27: Motor PAP bipolar

Fuente: <http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/lсед/2002-03/MotoresPasoaPaso/tipos.htm>

2.3.1.3 Parámetros de los Motores Paso A Paso [8]

- **Par dinámico de trabajo.-** Es el momento máximo que el motor es capaz de desarrollar sin perder pasos.
- **Par de mantenimiento:** Es el par mayor que el par dinámico y funciona como freno para conservar el rotor en una posición estable.
- **Par de detención**
- **Ángulo de paso:** Se define como el avance angular que se produce en el motor por cada impulso de excitación. Se mide en grados, siendo los pasos estándares más importantes los siguientes:

Tabla II.3: Pasos Estándares

Fuente: (Ramos, 2003)

GRADOS POR IMPULSO DE EXCITACIÓN	Nº DE PASOS POR VUELTA
0,72°	500
1,8°	200
3,75°	96
7,5°	48
15°	24

- **Nº de pasos por vuelta:** Cantidad de pasos que necesita el rotor para realizar una revolución; $Np = 360/\alpha$
- **Frecuencia de paso máximo:** Número de pasos por segundo que es capaz de recibir el motor en buen funcionamiento.
- **Momento de inercia del rotor**

2.3.2 Servomotor Industrial.

Es un motor que puede ser controlado en su velocidad de funcionamiento y en la posición dentro de un rango de operación para ejecutar la actividad requerida. Este control es realizado mediante un dispositivo llamado encoder, que mediante una señal electrónicamente codificada, indica las acciones de velocidad y movimiento a ejecutar [9].

Un Servomotor industrial, podría definirse como un motor de corriente continua con la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición.



Figura II.28: Servomotor

Fuente: http://www.galilmc.com/images/products/servo-motor_big.jpg

2.3.2.1 Funcionamiento

El funcionamiento de un servomotor se lo realiza mediante pulsos eléctricos a través de un circuito de control para determinar el ángulo de posición de un motor, “el servomotor espera recibir un pulso cada 20 milisegundos (0.02 segundos). La longitud del pulso determinará los giros del motor; un pulso de 1.5ms., por ejemplo hará que el motor vaya a una posición de 90°. Si el pulso es menor a 1.5ms., entonces el motor se acercará a 0°. Si el pulso es mayor a 1.5ms., el eje se moverá acercándose a los 180°” [9].

2.3.2.2 Características [10]

- Motor síncrono con rotor de imanes permanentes
- Potencias pequeñas con pares de hasta 70 mm.
- Velocidades de hasta 6000rpm
- Trabaja con un amplificador que controla su funcionamiento
- Gran precisión de posicionado.
- Estabilidad de velocidad
- Alta estabilidad de par
- Repetitividad del movimiento
- Elevada respuesta dinámica

2.4 DRIVERS

Los drivers o también llamados controladores, son circuitos electrónicos formados por transistores bipolares, Mosfets, etc., que reciben las señales lógicas de control desde el computador como entrada, y señales de potencia como salidas para así proporcionar la

corriente necesaria a la tensión de trabajo requerida para la alimentación de los bobinados de los motores. Éstas tienen que responder con rapidez a las excitaciones. Es decir, son interruptores de potencia que conmutan según el control.

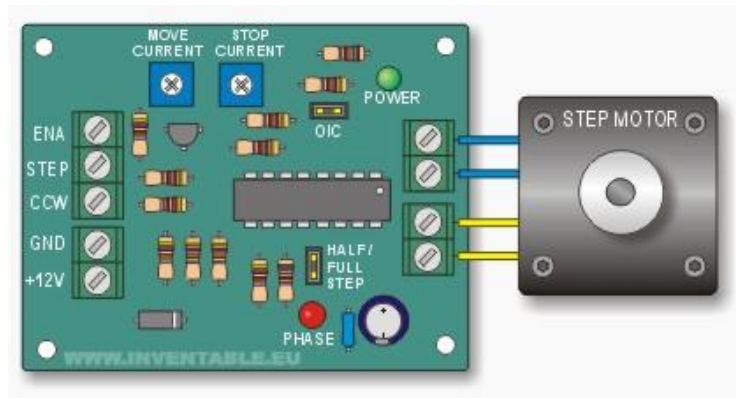


Figura II.29: Driver para Motor PAP

Fuente: <http://www.inventable.eu/2010/12/08/driver-para-motor-paso-a-paso/>

2.5 INTERFACE DE COMUNICACIÓN

2.5.1 PUERTO PARALELO

El puerto paralelo es aquel puerto que tiene 25 terminales, distribuidos en forma paralela y permite el envío de datos en grupos de 8 Bits [11].



Figura II.30: Puerto Paralelo

Fuente: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c5/Centronics.jpg>

La siguiente tabla describe la función de cada pin del conector 1284 tipo A:

Tabla II.4: Configuración del puerto paralelo estándar.

Fuente: (Universidad del Azuay, s.f)

PIN	E/S	POLARIDAD ACTIVA	DESCRIPCIÓN
1	Salida	0	Estroboscópica
2-9	Salida	-	Datos
10	Entrada	0	Reconocimiento
11	Entrada	0	Ocupado
12	Entrada	1	Error de falta de papel
13	Entrada	1	Selección de Impresora
14	Salida	0	Alimentación Automática
15	Entrada	0	Línea Error
16	Salida	0	Inicialización de la Impresora
17	Salida	0	Seleccionar entrada
18-25	-	-	Tierra

2.5.1.1 Los registros del puerto paralelo

Los registros de puerto paralelo son tres: Registro de datos, Registro de estado y Registro de control [12].

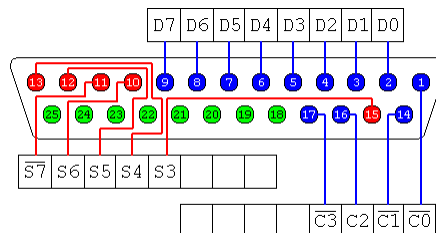


Figura II.31: Registros del puerto paralelo

Fuente: <https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images>

El registro de datos

Este registro pone el dato a ser enviado a la impresora en una instrucción de salida.

El registro de estado

Este registro muestra el estado actual de la impresora, es decir es un registro de lectura.

El registro de control

Este registro controla la transferencia de información.

2.6 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

La mayoría de dispositivos electrónicos necesitan de VCC para su operación. La fuente de donde se obtiene esta energía es la red eléctrica de 110 VCA, y para convertirla en voltaje continuo es necesario un convertidor llamado fuente de alimentación.

La fuente de alimentación es un aparato electrónico que transforma la electricidad, convirtiendo la tensión alterna en una tensión continua.



Figura II.32: Fuente de poder

Fuente: <http://www.forosdeelectronica.com/proyectos/imagenes/fuentevariable/fig1.jpg>

Las tensiones de la fuente sirven para:

- 12 V.- Motores y para transformar a otros niveles de tensión.

- 5 V.- Procesos de datos, algunos motores de ventilación y alimentación en general (USB).
- 3.3 V.- Procesamiento de datos.

2.6.1 Tipos de fuentes de alimentación

Existen fuentes de alimentación: conmutadas y lineales.

Fuentes lineales.- Pueden llegar a ser más complejas sin embargo su regulación de tensión es poco eficiente.



Figura II.33: Fuente de alimentación lineal

Fuente: http://mlm-s2-p.mlstatic.com/fuente-de-poder-para-camaras-cctv-24v-2-a-3801-MLM74486708_2123-O.jpg

Fuente conmutada.- Transforman energía eléctrica mediante transistores, conmutándolos activamente a altas frecuencias.



Figura II.34: Fuente de alimentación conmutada

Fuente: <http://www.online-electronica.com/catalog/images/SPS2040G.jpg>

2.7 SENSORES DE CONTACTO

Son interruptores que constan de una pieza móvil y una fija llamada NA, normalmente abierto, o NC, normalmente cerrado.

Estos sensores de proximidad también llamados finales de carrera, son empleados para detectar el final del recorrido o la posición límite de componentes mecánicos. Su uso es muy diverso, en máquinas que tengan un movimiento rectilíneo o sigan una trayectoria fija.



Figura II.35: Sensor de Contacto (Limit Switch)

Fuente: <http://www.jualarduino.com/wp-content/uploads/2013/08/limit-switch-cnc-howto.jpg>

CAPÍTULO III

3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO

3.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE MATERIALES

La selección previa de los materiales a emplear en la implementación del prototipo de fresadora CNC, es de vital importancia para obtener un trabajo de calidad y para aprovechar por mayor tiempo la vida de la máquina

3.1.1 MATERIALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN

Para la implementación del prototipo se tomó los siguientes materiales: Hierro negro tanto en láminas como en ángulos y aluminio compuesto.

3.1.1.1 Hierro (Fe)

Es un elemento químico metálico maleable y tenaz, tiene un color gris azulado, magnético y oxidable, se emplea ampliamente en la industria metalmeccánica ya que se encuentra en abundancia en la naturaleza.



Figura III.1: Hierro negro

Fuente: http://i1098.photobucket.com/albums/g371/chacalextreme/Tercer%20avance/Photo_011306_006.jpg

3.1.1.2 Aluminio Compuesto

El aluminio compuesto, es un material que está elaborado con dos láminas de aluminio de diversos espesores, adheridos a través de un proceso de calor y presión, en ambas caras a un panel de polietileno.

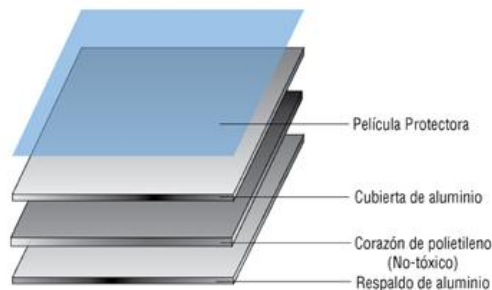


Figura III.2: Aluminio compuesto

Fuente: <http://www.napresa.com.mx/Portals/0/Imagenes/nalubond-panel-de-aluminio-compuesto-estructura.jpg>

3.1.2 SISTEMA DE TRANSMICION

Para el desplazamiento de los ejes X, Y y Z, vamos a emplear el sistema de transmisión de potencia que utiliza el tornillo sin fin.

3.1.2.1 Tornillo sin fin

El tornillo sin fin es un tipo de varilla totalmente roscada formada de acero y zinc; y encarga de engranar en una tuerca de bolas, para poder convertir un movimiento circular en movimiento lineal.



Figura III.3: Tornillo sin fin

Fuente: http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/tornillos-sin-fin-39984-2303625.jpg

3.1.3 ACOPLER Y BOCINES

Los acoples entre los motores y el tornillo sin fin, así como los bocines para el desplazamiento de los ejes guías, serán diseñados e implementados con Nylon.

3.1.3.1 Nylon PA 66

El nylon (PA) es un polímero sintético semicristalino, poseen varias propiedades mecánicas: rigidez y tenacidad elevada, excelentes características de deslizamiento y resistencia al desgaste, absorción de humedad, superando el rendimiento de metales y otros materiales. Existen varias versiones diferentes de Nylon siendo el PA 66 uno de los más conocidos con mayor dureza y tenacidad.



Figura III.4: Nylon PA 66

Fuente: <http://www.plasticbages.com/imatges/mecnylon.jpg>

3.1.4 EJES DE DESPLAZAMIENTO

Como técnica de desplazamiento de los ejes guías se utilizará varillas de acero inoxidable colocadas en paralelo al eje principal formado por el tornillo sin fin. Como elemento de apoyo y para evitar el rozamiento se empleará rodamientos.

3.1.4.1 Varilla de acero inoxidable

El acero inoxidable es una combinación de acero con un porcentaje de 10 % a 12 % de cromo. Es resistente a la corrosión.



Figura III.5: Varilla lisa de acero inoxidable

Fuente: http://www.phywe-es.com/images/02036_01.jpg

3.1.4.2 Rodamientos

Un rodamiento es un elemento mecánico cuya función es reducir la fricción de las piezas en contacto por medio de rodadura, pues le sirve de apoyo y facilita su desplazamiento, dando mayor durabilidad y vida útil a las piezas rotacionales.



Figura III.6: Rodamientos

Fuente: http://www.prorodcali.com/img_producto/rodamientos_bolas_a_rotula.jpg

3.1.5 SISTEMA DE SUJECIÓN

3.1.5.1 Sujeción por perno y tuerca tipo mariposa

Existe una gran variedad de sistemas de sujeción, como el sistema perno y tuerca tipo mariposa. Se escoge este tipo de sistema debido a que el diseño de la mesa de la fresadora CNC será ranurada y el material a mecanizar debe estar fijo, se sujetará por los bordes del material evitando así el contacto con la herramienta de fresado.



Figura III.7: Sistema de sujeción

Fuente: <http://de.opitec.com/opitec-web/articleNumber/300054>

3.2 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO

Para el diseño mecánico, se ha utilizado el software SolidWorks 2012, ya que cuenta con herramientas avanzadas para el diseño y ensamble de piezas. El diseño mecánico está basado en especificaciones previas de los tesisistas y en las necesidades del operario.

Los materiales que se pueden fresar con el prototipo de fresadora CNC son derivados de madera.

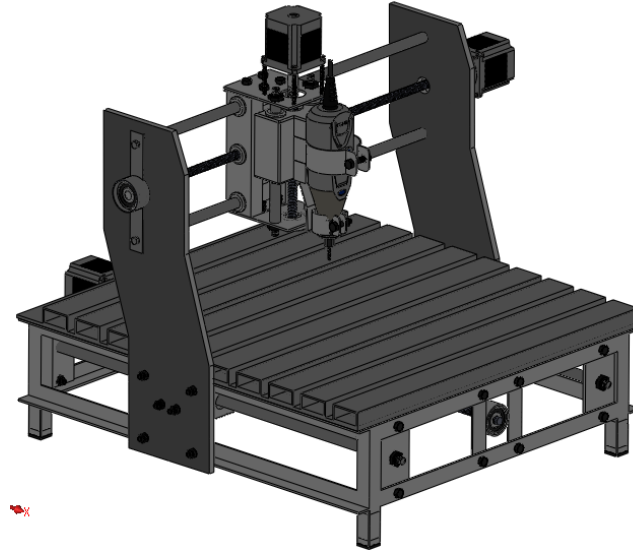


Figura III.8: Diseño Mecánico

Fuente: Autores

3.2.1 Especificaciones del Prototipo

Tabla III.1: Especificaciones de la Fresadora CNC

Fuente: Autores

ESPECIFICACIONES	
Ejes	3 (X,Y,Z)
Dimensiones de la mesa	542mm
Desplazamiento Eje Y	380mm
Desplazamiento Eje X	150mm
Desplazamiento Eje Z	35mm
Velocidad de la Herramienta	15000 rpm

Tomando en cuenta que el proceso a realizar es el Fresado, y el material a utilizar es la madera y sus derivados, se tomará los parámetros para materiales ligeros:

Tabla III.2: Valores de presión específica de corte K_{s0} para materiales de uso más frecuente

Fuente: (Kalpakjian & Schmid, 2002)

MATERIALES	Cote _{s0} DA N/MM ²	Zc (FACTOR DE CORRECCIÓN)
Cobre	78	0.3
Bronce	124	0.3
Latón	54	0.3
Plásticos	19	0.3

3.2.2 Cálculos Previos al Proceso de Fresado

Para la manufactura de piezas, se tomará las fórmulas de parámetros del fresado nombrados en la sección 2.1.14 *Parámetros del fresado* y como ejemplo se tomara una fresa de vástago y los siguientes datos iniciales.



Figura III.9: Fresa tipo Vástago

Fuente: http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/fresas-frontales-2-dientes-aluminio-9243-3449487.jpg

Datos:

$$D=3\text{mm}$$

$$Z=2 \text{ Dientes}$$

$$N=5000\text{rpm}$$

$$f_z=1.5\text{mm/diente}$$

$$a_p=1\text{mm}$$

Velocidad de Avance

$$V_f = f_z \cdot N \cdot Z \quad (\text{mm/min})$$

$$V_f = 1.5mm \cdot 5000rpm \cdot 2$$

$$V_f = \mathbf{15000mm/min}$$

Velocidad de Corte

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1000} \quad (m/min)$$

$$V_c = \frac{\pi \cdot 3mm \cdot 5000rpm}{1000}$$

$$V_c = \mathbf{47.12m/min}$$

En función del tiempo la velocidad de corte, queda expresada de la siguiente manera:

$$V_c = 47.12 \frac{m}{min} \times \frac{1 min}{60 s}$$

$$V_c = \mathbf{0.78 m/s}$$

Avance por revolución.- Distancia que se mueve la herramienta durante la rotación.

$$f_n = \frac{V_f}{N} \quad \left(\frac{mm}{rev} \right)$$

$$f_n = \frac{15000 mm/min}{5000 rpm}$$

$$f_n = \mathbf{3mm/rev}$$

Velocidad de arranque de viruta

$$Q = \frac{a_p \cdot a_e \cdot V_f}{1000} \quad (cm^3/min)$$

$$Q = \frac{1mm \cdot 1.5mm \cdot 15000 mm/min}{1000}$$

$$Q = \mathbf{7.5 cm^3/min}$$

Espeor de Viruta

$$e = \left(\frac{V_f}{Z \cdot N} \right) \sqrt{\frac{a_p}{D}} \left(\frac{mm}{rev} \right)$$

$$e = \left(\frac{15000rpm}{2.3mm} \right) \sqrt{\frac{1mm}{3mm}}$$

$$e = 0.86mm/rev$$

Fuerza de Corte

$$Fc = Cote \cdot Ac (N)$$

Cote: Constante de proporcionalidad, cuyo valor se obtiene con los valores de presión específica de corte de la Tabla III.2, reemplazados en la Ec. 3.1.

$$Cote = K_{s0} \cdot e^{-Zc} \quad (Ec. 3.1)$$

$$Cote = 19 N/mm^2 \cdot \frac{0.86mm}{rev}^{-0.3}$$

$$Cote = 19.88 N/mm^2$$

Ac: Área de Corte, cuyo valor se obtiene con la Ec. 3.2.

$$Ac = \frac{f_n \cdot D}{2} (mm^2/rev) \quad (Ec. 3.2)$$

$$Ac = \frac{\frac{3mm}{rev} \cdot 3mm}{2} = 4.5 mm^2/rev$$

Con los valores de la constante de proporcionalidad (K) y el área de corte (Ac), reemplazamos en la Formula de la Fuerza de corte:

$$Fc = Cote \cdot Ac (N)$$

$$F_c = 19.88N/mm^2 \cdot 4.5 mm^2/rev$$

$$F_c = 89.46 N$$

Potencia neta

$$P_c = F_c \cdot V_c(t) (W)$$

$$P_c = 89.46 N \cdot 0.78m/s$$

$$P_c = 69.77 W$$

Con estos cálculos, podemos configurar el software con los parámetros necesarios para el fresado de piezas en madera y sus derivados.

3.2.3 Diseño de la Base y Mesa

El diseño de la Base no solamente sirve de soporte al prototipo, sino también tiene una especie de carriles, que facilitaran el desplazamiento longitudinal del eje Y. Esta base es fija por lo tanto los materiales en su mayoría ángulos de metal se encuentra soldados.

Los planos se muestran en el **ANEXO I**.



Figura III.10: Base Soporte del prototipo de fresadora CNC

Fuente: Autores

Materiales Utilizados

Tabla III.3: Lista de materiales de la Base - Soporte

Fuente: Autores

BASE - SOPORTE	
CANTIDAD	MATERIAL
4	Ángulos de metal Dimensiones: 20x20x550mm Espesor: 3mm
4	Ángulos de metal Dimensiones: 20x20x450mm Espesor: 3mm
4	Ángulos de metal Dimensiones: 20x20x60mm Espesor: 3mm
4	Tubos Cuadrados metálicos Dimensiones: 20x20x40mm
4	Bases cuadradas de caucho Dimensiones: 20x20x20mm

La mesa es la superficie sobre la cual se montará el material, es por ello que el diseño se lo realizó tomando en cuenta que el elemento a fresar tiene las dimensiones del formato A3 (297x420mm), y debe estar sujeto mediante el sistema de sujeción, para evitar el movimiento del material y por consiguiente errores en el mecanizado.

El diseño será una mesa ranurada, montada sobre una estructura mecánica formada por: tubo cuadrado de metal y ángulos metálicos fijamente soldados.

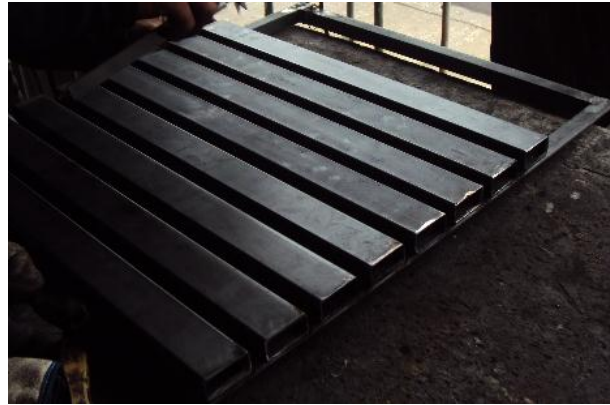


Figura III.11: Mesa Ranurada

Fuente: Autores

Materiales Utilizados

Tabla III.4: Lista de materiales de la mesa

Fuente: Autores

MESA	
CANTIDAD	MATERIAL
2	Ángulos de metal Dimensiones: 20x20x478mm Espesor: 3mm
2	Ángulos de metal Dimensiones: 20x20x543mm Espesor: 3mm
10	Tubo Cuadrado Metálico Dimensiones: 40x20x478mm

3.2.4. Diseño del sistema de movimiento del eje Y.

Para el sistema de desplazamiento longitudinal o eje Y, se utilizó 2 parantes de aluminio compuesto colocados uno a cada lado de la base-soporte, sobre los cuales se diseñó el sistema de deslizamiento basado en rodamientos, sujetos a dichos parantes, mediante pernos y sus respectivas tuercas, este sistema es desmontable en caso de requerir una calibración o un mantenimiento.



Figura III.12: Parantes de Aluminio Compuesto

Fuente: Autores



Figura III.13: Ajuste de Rodamientos

Fuente: Autores

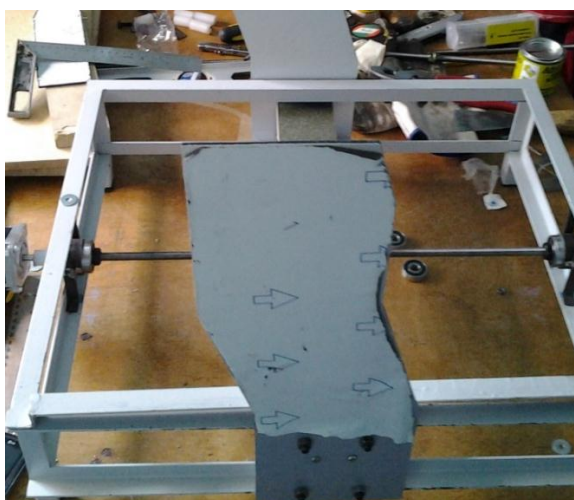


Figura III.14: Sistema de desplazamiento longitudinal

Fuente: Autores

Tabla III.5: Lista de materiales de los Parantes.

Fuente: Autores

PARANTES	
CANTIDAD	MATERIAL
2	Placas de Aluminio Compuesto Dimensiones: 413x130 Espesor: 5mm
8	Rodamientos Diámetro Externo:19mm Diámetro Interno:7mm
12	Pernos milimétricos y Tuercas Dimensiones: 7mm x 1”

Para la sujeción de los parantes se diseñó una pieza para el soporte de ejes y parantes con una platina metálica y pernos con sus respectivas tuercas, el diseño se detalla en el punto 3.2.4.1.

3.2.4.1 Guías de desplazamiento del eje Y

Como mecanismo principal para el desplazamiento longitudinal en el eje Y, se utilizó dos ejes de acero inoxidable sujetos a la base soporte mediante placas de metálicas con pernos y sus respectivas tuercas, para sacar la rosca externa se utilizó el torno para desbastar el material y darle forma con una tarraja de 5/16” (pulgadas).



Figura III.15: Ejes de Acero Inoxidable

Fuente: Autores

Materiales Utilizados

Tabla III.6: Lista de materiales de los ejes guías –Eje Y

Fuente: Autores

SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO - EJE Y	
CANTIDAD	MATERIAL
2	Varillas de Acero Inoxidable Dimensiones: ½ “ x 570mm
2	Tuercas Dimensiones: 5/16”
4	Platina Metálica Dimensiones: 50x100mm Espesor: 4mm
8	Pernos y Tuercas Dimensiones: 1/4” x 1/2”

Con la ayuda del torno se elaboró los bocines de Nylon, necesarios para el deslizamiento de los ejes de acero inoxidable.



Figura III.16: Construcción de los Bocines.

Fuente: Autores

Materiales Utilizados

Tabla III.7: Lista de materiales de los bocines – Eje Y

Fuente: Autores

BOCINES – EJE Y	
CANTIDAD	MATERIAL
2	Nylon PA 66 Dimensiones: 1” x 460mm
2	Binchas Diámetro Interno: 16mm

Los bocines se alojan en una pieza diseñada para el acople de los parantes así como del tornillo sin fin, como se observa en la figura III.17.



Figura III.17: Pieza para acople de bocines y parantes.

Fuente: Autores

Materiales Utilizados

Tabla III.8: Lista de materiales de Soporte de Ejes y Parantes – Eje Y

Fuente: Autores

SOPORTE DE EJES Y PARANTES	
CANTIDAD	MATERIAL
1	Platina Metálica Dimensiones: 38x540mm Espesor: 3mm
2	Platina Metálica Dimensiones: 38x240mm Espesor: 3mm
1	Platina Metálica

	Dimensiones: 38x215mm Espesor: 4mm
2	Tubo Cuadrado metálico Dimensiones: 40x45x38mm Espesor: 2mm
1	Tubo Metálico Dimensión: 1"
8	Pernos y Tuercas Dimensiones: 1/4" x 1/2"

3.2.4.2 Tornillo sin fin y Husillo del Eje Y

El tornillo sin fin se ha seleccionado, por la existencia en el mercado y por su exactitud en el desplazamiento por ser milimétrico. Los parámetros que definen al tornillo sin fin son: diámetro 10mm, paso de 1.5mm, rosca ACME y es de acero. Este tornillo es utilizado para los 3 ejes X, Y y Z.

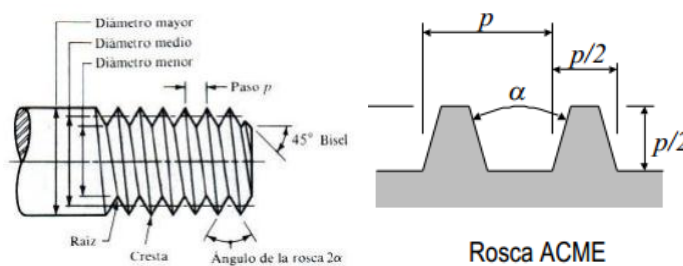


Figura III.18: Rosca tipo ACME

Fuente: Autores

El husillo para convertir el movimiento rotacional en lineal se construyó con Nylon PA66, se procedió a sacar una rosca interna mediante un machuelo de 10mm.



Figura III.19. Tornillo de Bolas

Fuente: Autores

Materiales Utilizados

Tabla III.9: Materiales para el Tornillo sin fin y Husillo – Eje Y

Fuente: Autores

TORNILLO SIN FIN Y HUSILLO – EJE Y	
CANTIDAD	MATERIAL
1	Varilla Roscada Dimensiones: 10x590mm Paso: 1.5mm
1	Nylon PA 66 Dimensiones: 1” x 380mm

Soportes para el tornillo sin fin

Como soporte del tornillo sin fin, se diseñó las piezas con platina y tubo metálico, sujetándose a la base-soporte con pernos

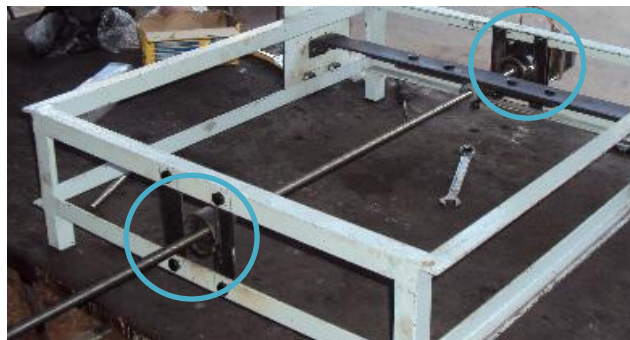


Figura III.20. Soportes del tornillo sin fin

Fuente: Autores

Materiales Utilizados

Tabla III.10: Lista de materiales de Soporte Tornillo sin fin– Eje Y

Fuente: Autores

SOPORTE DEL TORNILLO SIN FIN– EJE Y	
CANTIDAD	MATERIAL
4	Platina Metálica Dimensiones: 20x100mm Espesor: 2mm
2	Tubo Metálico Dimensiones: 1 ½” x 20mm
2	Rodamientos Diámetro Externo: 35mm Diámetro Interno: 10mm
8	Pernos y Tuercas Dimensiones: ¼” x 1/2”

3.2.4.3 Acople del motor PAP del eje Y

El sistema de ensamblaje del motor PAP con el tornillo sin fin, se lo realizó mediante un acople flexible construido de Nylon PA 66, se empleó prisioneros de ¼” como elemento de ajuste entre los extremos del tornillo sin fin y el eje propio de motor PAP.



Figura III.21: Sistema de acople del Tornillo sin fin y el Motor PAP

Fuente: Autores

Materiales Utilizados

Tabla III.11: Lista de materiales de Soporte y Acople Motor PAP – Eje Y

Fuente: Autores

SOPORTE Y ACOPLE MOTOR PAP - EJE Y	
CANTIDAD	MATERIAL
1	Nylon PA 66 Dimensiones: 17x 38mm
2	Prisioneros de 1/4"
1	Platina Metálica Dimensiones: 60x64mm Espesor: 2mm
2	Ángulos Metálicos Dimensiones: 20 x20x77mm
4	Pernos Dimensiones: 4mm x 2"
12	Tuercas Dimensiones: 4mm

3.2.5. Diseño del sistema de movimiento del eje X.



Figura III.22: Base Principal – Eje X

Fuente: Autores

El eje X esta formado de los ejes lisos, los bocines, una pieza formada por tubos cuadrados de metal y platinas, ademas del tornillo sin fin

Materiales Utilizados

Tabla III.12: Lista de materiales de la Base Principal – Eje X

Fuente: Autores

BASE PRINCIPAL – EJE X	
CANTIDAD	MATERIAL
2	Tubo Cuadrado metálico Dimensiones: 40x20x150mm Espesor: 2mm
2	Platina Metálica Dimensiones: 104x80mm Espesor: 2mm

3.2.5.1 Guías de desplazamiento del eje X

Para el sistema de desplazamiento transversal o eje X, se montó sobre los 2 parantes de aluminio compuesto los ejes de acero inoxidable, a los cuales se les sacó una rosca externa con la ayuda del torno para desbastar el material y darle forma con una tarraja de 5/16"; sujetos mediante tuercas a los parantes.



Figura III.23: Sistema de Desplazamiento – Eje X

Fuente: Autores

Materiales Utilizados

Tabla III.13: Lista de Materiales del Sistema de Desplazamiento - Eje X

Fuente: Autores

SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO - EJE X	
CANTIDAD	MATERIAL
2	Varillas de Acero Inoxidable Dimensiones: ½ “ x 520mm
2	Tuercas Dimensiones: 5/16”

3.2.5.2 Tornillo sin fin y Husillo

El tornillo sin fin al igual que el eje Y es milimétrico de acero, diámetro 10mm, paso de 1.5mm, rosca ACME y su longitud es 530mm. El husillo es de Nylon PA66 con una rosca interna compatible con el tornillo sin fin de 10mm.

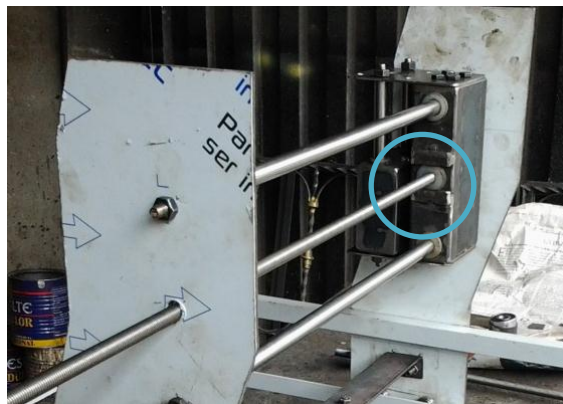


Figura III.24: Husillo y Tornillo Sin fin

Fuente: Autores

Materiales Utilizados

Tabla III.14: Materiales para el Tornillo sin fin y Husillo – Eje X

Fuente: Autores

TORNILLO SIN FIN Y HUSILLO – EJE X	
CANTIDAD	MATERIAL
1	Varilla Roscada

	Dimensiones: 10x530mm Paso: 1.5mm
1	Nylon PA 66 Dimensiones: 1" x 88mm
1	Bincha Dimensión: 16mm

Con la ayuda del torno se elaboró los bocines de Nylon, necesarios para el deslizamiento de los ejes de acero inoxidable.



Figura III.25: Bocines – Eje X

Fuente: Autores

Materiales Utilizados

Tabla III.15: Materiales para Bocines – Eje X

Fuente: Autores

BOCINES – EJE X	
CANTIDAD	MATERIAL
2	Nylon PA 66 Dimensiones: 1" x 88mm
2	Binchas Diámetro Interno: 16mm

Soportes para el tornillo sin fin

Como soporte del tornillo sin fin, se diseñó las piezas con platina y tubo metálico, sujetándose a la base-soporte con pernos



Figura III.26: Soportes de los ejes del tornillo sin fin - Eje X

Fuente: Autores

Materiales Utilizados

Tabla III.16: Materiales para soporte del Tornillo sin Fin- Eje X

Fuente: Autores

SOPORTE DEL TORNILLO SIN FIN- EJE X	
CANTIDAD	MATERIAL
2	Platina Metálica Dimensiones: 20x100mm Espesor: 2mm
1	Tubo Metálico Dimensiones: 1 ½" x 20mm
1	Rodamiento Diámetro Externo: 35mm Diámetro Interno: 10mm
2	Pernos y Tuercas Dimensiones: 5/16"
2	Ángulos Metálicos Dimensiones: 20x100mm

	Espesor: 2mm
1	Platina Metálica Dimensiones: 68x65mm Espesor: 2mm
2	Ángulos Metálicos Dimensiones: 45x14x65mm Espesor: 2mm

3.2.5.3 Acople del motor PAP del eje X

El sistema de ensamblaje del motor PAP con el tornillo sin fin, se lo realizó mediante un acople flexible construido de Nylon PA 66, se empleó prisioneros de ¼” como elemento de ajuste entre los extremos del tornillo sin fin y el eje propio de motor PAP.

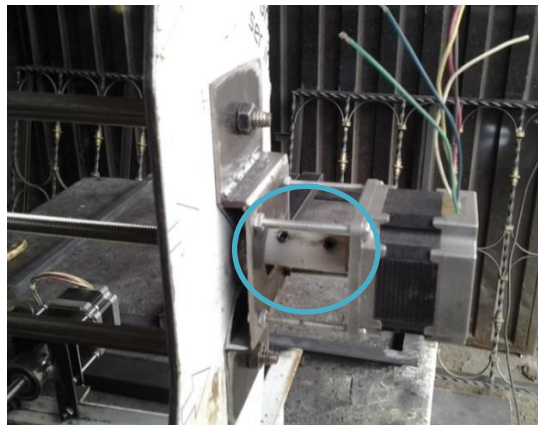


Figura III.27: Sistema de acople del Tornillo sin fin y el Motor PAP

Fuente: Autores

Materiales Utilizados

Tabla III.17: Lista de materiales de Soporte y Acople Motor PAP – Eje X

Fuente: Autores

SOPORTE Y ACOPLA MOTOR PAP - EJE X	
CANTIDAD	MATERIAL
1	Nylon PA 66

	Dimensiones: 17x 38mm
2	Prisioneros Dimensiones: 1/4"
1	Platina Metálica Dimensiones: 60x64mm Espesor: 2mm
2	Ángulos Metálicos Dimensiones: 20 x20x77mm
4	Pernos Dimensiones: 4mm x 2"
12	Tuercas Dimensiones: 4mm

3.2.6. Diseño del sistema mecánico del eje Z para el movimiento de la herramienta

El eje Z esta formado de los ejes lisos, el tornillo sin fin, los bocines de Nylon, una pieza formada por tubos cuadrados de metal y platinas como se obseva en la figura III.27, en esta pieza se diseñó orificios con la ayuda de una fresadora vertical, que atraviesan la estructura en los cuales se alojaràn los bocines. En esta base principal, se armarà el sistema portaherramienta de fresado, que se detalla en la secciòn 3.2.7.



Figura III.28: Base Principal – Eje Z

Fuente: Autores

Materiales Utilizados

Tabla III.18: Lista de materiales para la base principal – Eje Z

Fuente: Autores

BASE PRINCIPAL – EJE Z	
CANTIDAD	MATERIAL
2	Tubo Cuadrado metálico Dimensiones: 40x20x90mm Espesor: 2mm
2	Platina Metálica Dimensiones: 40x80mm Espesor: 2mm

3.2.6.1 Guías de desplazamiento del eje Z

Para el sistema de desplazamiento vertical o eje Z, se montó sobre la base principal del eje X, pudiendo desplazarse verticalmente una distancia de 35mm. Este eje está formado de los ejes de acero inoxidable, a los cuales se les sacó una rosca externa con la ayuda del torno para desbastar el material y darle forma con una tarraja de 5/16"; sujetos mediante tuercas a las platinas superior e inferior del eje X. El sistema de deslizamiento se realiza de igual forma que los ejes X y Y, con bocines.

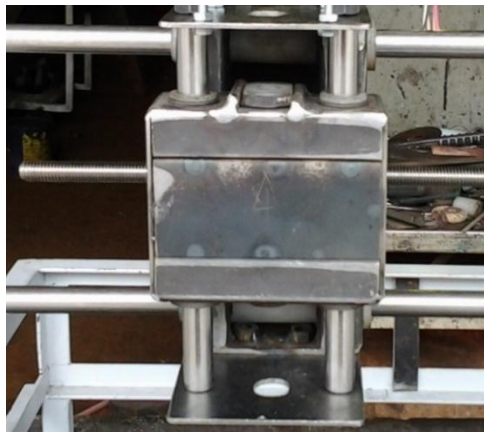


Figura III.29. Sistema de Desplazamiento – Eje Z

Fuente: Autores

Materiales Utilizados

Tabla III.19: Lista de Materiales del Sistema de Desplazamiento - Eje Z

Fuente: Autores

SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO - EJE Z	
CANTIDAD	MATERIAL
2	Varillas de Acero Inoxidable Dimensiones: ½ “ x 180mm
2	Tuercas Dimensiones: 5/16”

3.2.6.2 Tornillo sin fin y Husillo

El tornillo sin fin al igual que los ejes anteriores es milimétrico de acero, diámetro 10mm, paso de 1.5mm, rosca ACME y su longitud es 200mm. El husillo es de Nylon PA66 con una rosca interna compatible con el tornillo sin fin de 10mm.

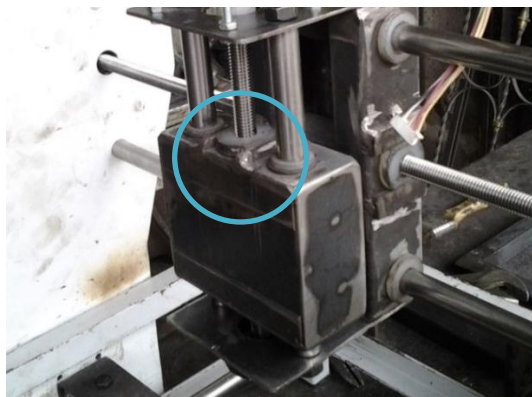


Figura III.30. Husillo y Tornillo Sin fin

Fuente: Autores

Materiales Utilizados

Tabla III.20: Materiales para el Tornillo sin fin y Husillo – Eje Z

Fuente: Autores

TORNILLO SIN FIN Y HUSILLO – EJE Z	
CANTIDAD	MATERIAL
1	Varilla Roscada Dimensiones: 10x200mm Paso: 1.5mm
1	Nylon PA 66 Dimensiones: 1” x 88mm
2	Binchas Diámetro Interno: 16mm

Con la ayuda del torno se elaboró los bocines de Nylon, necesarios para el deslizamiento de los ejes de acero inoxidable.



Figura III.31: Elaboración de Bocines – Eje Z

Fuente: Autores

Materiales Utilizados

Tabla III.21: Materiales para Bocines – Eje Z

Fuente: Autores

BOCINES – EJE Z	
CANTIDAD	MATERIAL
2	Nylon PA 66 Dimensiones: 1” x 88mm
2	Binchas Diámetro Interno: 16mm

Soportes para el tornillo sin fin

Como soporte del tornillo sin fin, se diseñó las piezas con platina metálica de hierro y tubo metálico circular, sujetándose a la base del eje X con pernos. Este diseño se observa en la figura III.32.



Figura III.32: Soportes de los ejes del tornillo sin fin - Eje Z

Fuente: Autores

Materiales Utilizados

Tabla III.22: Materiales para soporte del Tornillo sin Fin- Eje Z

Fuente: Autores

SOPORTE DEL TORNILLO SIN FIN- EJE Z	
CANTIDAD	MATERIAL
2	Platina Metálica Dimensiones: 30x20mm Espesor: 2mm
1	Tubo Metálico Dimensiones: 1 ½" x 20mm
1	Rodamiento Diámetro Externo: 35mm Diámetro Interno: 10mm
2	Pernos y Tuercas Dimensiones: 5/16"

3.2.6.3 Acople del motor PAP del eje Z

El sistema de ensamblaje del motor PAP con el tornillo sin fin, se lo realizó mediante un acople flexible construido de Nylon PA 66, se empleó prisioneros de ¼" como elemento de ajuste entre los extremos del tornillo sin fin y el eje propio de motor PAP.



Figura III.33: Sistema de acople del Tornillo sin fin y el Motor PAP

Fuente: Autores

Materiales Utilizados

Tabla III.23: Lista de materiales de Soporte y Acople Motor PAP – Eje Z

Fuente: Autores

SOPORTE Y ACOPLE MOTOR PAP - EJE Z	
CANTIDAD	MATERIAL
1	Nylon PA 66 Dimensiones: 17x 38mm
2	Prisioneros de 1/4"
4	Pernos Dimensiones: 4mm x 2"
12	Tuercas Dimensiones: 4mm

3.2.7 Diseño del soporte para la Herramienta de Fresado

La altura de la herramienta de fresado depende principalmente del movimiento vertical, para lo cual se consideró el diseño del portaherramienta, sobre la base del eje Z.

El portaherramienta, esta compuesto de un tubo cuadrado cuyos extremos se encuentran cerrados con platinas metálicas, a este se encuentra soldado un tubo metálico circular, una platina que desciende verticalmente hasta unirse con otro tubo metálico pequeño.



Figura III.34: Proceso de armado del Portaherramienta

Fuente: Autores

La herramienta de fresado se coloca sobre el portaherramienta ajustándose mediante pernos y su respectivas tuercas.



Figura III.35: Portaherramienta

Fuente: Autores

Listo el portaherramienta se procede al acople del mismo con la base principal del eje Z, como lo muestra la figura III.36.



Figura III.36: Portaherramienta acoplado a la base principal del eje Z

Fuente: Autores

En la figura III.37, se muestra el acople del portaherramienta, junto con las bases principales de los ejes X y Z.



Figura III.37: Acople de ejes con el Portaherramienta

Fuente: Autores

3.2.8 Diseño del sistema Portacables



Figura III.38: Sistema Portacables en X y Y.

Fuente: Autores

El mayor problema del prototipo CNC, es la gran cantidad de conductores eléctricos tanto de los actuadores como de los limit switch existentes esparcidos por diversos lugares. Es por ello que se diseñó un sistema Portacables, encargado de guiar los cables por una sección de la máquina, de forma que facilite el desplazamiento mecánico y por

lo tanto el trabajo de manufactura. Este sistema consta de una riel metálica acoplada a los ejes X y Y.

Materiales Utilizados

Tabla III.24: Lista de materiales para el sistema Portacables

Fuente: Autores

SISTEMA PORTACABLES	
CANTIDAD	MATERIAL
1	Riel Metálica Dimensiones: 17x 38mm
4	Pernos y Tuercas Dimensiones: 3/16" x 1/2"

3.2.9 Diseño de la base del tablero de control



Figura III.39: Base del Tablero de control

Fuente: Autores

La base para el tablero de control se diseñó con una inclinación de 40°, debido a que los conductores de los motores y de los Limit switch, así como el cable del puerto paralelo ingresan por la parte inferior del tablero según el diseño estandarizado del mismo.

Materiales Utilizados

Tabla III.25: Lista de materiales para la Base del Tablero de Control

Fuente: Autores

BASE DEL TABLERO DE CONTROL	
CANTIDAD	MATERIAL
2	Ángulos Metálicos Dimensiones: 20x20x400mm
3	Ángulos Metálicos Dimensiones: 20x20x300mm
2	Ángulos Metálicos Dimensiones: 20x20x200mm
2	Tubos Cuadrados Dimensiones: 40x20x80mm

3.2.10 Diseño del mecanismo de sujeción de piezas

Para sujetar el material para el desbaste, se empleó pernos 5/16" x 4" y tuercas tipo mariposa, las cuales se acoplan en las ranuras de la mesa, este mecanismo es móvil debido a las distintas dimensiones del material utilizado.



Figura III.40: Perno y Tuerca mariposa

Fuente: Autores

3.3. DIMENSIONAMIENTO DE ACTUADORES ELÉCTRICOS

Los actuadores seleccionados para el movimiento de los ejes son motores paso a paso, por su facilidad de control en lazo abierto y a su precisión en el movimiento. Para calcular el torque requerido por cada uno de los motores es necesario realizar un análisis del peso del prototipo de fresadora CNC. Para ello se debe hacer el análisis por separado de cada eje.

Tabla III.26: Análisis del peso del eje Z

Fuente: Autores

EJE Z		
COMPONENTES	MASA	FUERZA
Herramienta de fresado		
Portaherramienta		
Placa Base del eje	1.602kg	15.71N
Husillo		
Bocines		

Tabla III.27: Análisis del peso del eje X

Fuente: Autores

EJE X		
COMPONENTES	MASA	FUERZA
Eje Z		
Tornillo sin fin		
Guías de desplazamiento		
Placa Base del eje		
Soporte del tornillo sin fin		
Husillo	4.6401Kg	45.5N
Bocines		
Motor Z		
Soporte Motor Z		

Tabla III.28: Análisis del peso del eje Y

Fuente: Autores

EJE Y		
COMPONENTES	MASA	FUERZA
Eje X		
Tornillo sin fin		
Guías de desplazamiento		
Parantes		
Soporte de parantes y ejes		
Husillo	8.273Kg	81.16N
Bocines		
Motor Y		
Soporte Motor Y		
Sistema Portacables		

Para el cálculo del torque requerido por cada motor, empleamos la ecuación 3.3 que corresponde a la fórmula del Torque o momento de fuerza que resulta de multiplicar la fuerza requerida por el motor por una distancia.

$$T = Fuerza \times Distancia \quad (Ec. 3.3)$$

Eje Z

$$T = 15.71 \text{ N} \times 0.01\text{m}$$

$$T = 0.15 \text{ Nm}$$

Eje X

$$T = 45.5 \text{ N} \times 0.01\text{m}$$

$$T = 0.455 \text{ Nm}$$

Eje Y

$$T = 81.16 \text{ N} \times 0.01\text{m}$$

$$T = 0.8116 \text{ Nm}$$

Los resultados obtenidos, son un valor aproximado del torque requerido. Según estos valores procedemos la selección de los motores paso a paso.

3.4. SELECCIÓN DE MOTORES A PASOS PARA LOS EJES X, Y, Z

Un sistema de control en lazo abierto implica la utilización de motores paso a paso, como ya conocemos pueden ser de imán permanente unipolares o bipolares. Los motores paso a paso empleados son los siguientes:

- **Motores para ejes X y Y**

Tabla III.29: Especificaciones Técnicas motor PAP de los ejes X y Y

Fuente: Autores

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Serie	Nema 23
Modelo	AX0501878/B5311101A
Tipo	Unipolar de imán permanente
Angulo de paso	1.8° (+/- 5%)
Pasos por revolución	200
Fases	4
Voltaje Nominal	1.75 VDC
Corriente de Fase	2 Amperios por fase
Resistencia de Fase	0.875 Ω +/- 10%
Torque de Mantenimiento	0.83 [N.m], 8.49 [Kg.cm], 118 [onz-in]

Tabla III.30: Especificaciones Físicas motor PAP de los ejes X y Y

Fuente: Autores

ESPECIFICACIONES FÍSICAS	
Longitud	56mm
Anchura/Altura	60mm
Diámetro del Eje	6mm
Longitud Total	80mm
Peso	0.70 Kg

- **Motor para el eje Z**

Tabla III.31: Especificaciones Técnicas del motor PAP del eje Z

Fuente: (Shinano Kenshi, 2013)

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Serie	Nema 23
Modelo	STP-57D210
Tipo	Unipolar de imán permanente
Angulo de paso	1.8° (+/- 5%)
Pasos por revolución	200
Fases	4
Voltaje Nominal	2.4 VDC
Corriente de Fase	1.5 Amperios por fase
Resistencia de Fase	1,6 Ω +/- 10%
Torque de Mantenimiento	0.62 [N.m], 6.4 [Kg.cm], 88.87 [onz-in]

Tabla III.32: Especificaciones Físicas del motor PAP del eje Z

Fuente: Autores

ESPECIFICACIONES FÍSICAS	
Longitud de cuerpo	49mm
Anchura/ Altura	56mm
Diámetro del Eje	6mm
Longitud Total	80mm
Peso	0.60 Kg

3.5. SELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA DE FRESAR

La máquina herramienta de fresar se ha seleccionado por la potencia de funcionamiento, además de su presencia en el mercado.



Figura III.41: Herramienta de fresado Dremel

Fuente: Autores

La Herramienta rotativa Dremel tiene las siguientes características:

Tabla III.33: Especificaciones de la herramienta Dremel

Fuente: Autores

Serie	3000
Velocidad	Variables (5000-32000) rpm
Amperaje	1.2 A
Voltaje	120 AC
Frecuencia	50-60 Hz
Peso	20 onz

CAPÍTULO IV

4. SISTEMA DE CONTROL DEL PROTOTIPO

4.1 SISTEMA DE CONTROL

En el prototipo de fresadora para madera se empleará el control en lazo abierto, debido a que no es necesaria una mayor fuerza de arrastre de viruta.

4.2 SOFTWARE CAD/CAM

4.2.1 Software CAD (Diseño Asistido por Computador)

Entre los programas empleados para el diseño de bosquejos antes de ser enviados a la manufactura se encuentran AutoCAD, SolidWorks, Proteus, entre otros programas de diseño gráficos, a estos se denominan programas CAD.



Figura IV.1: AutoCAD, Software CAD

Fuente: AutoCAD 2012

De estos programas se ha seleccionado AutoCAD, debido a sus varias prestaciones, y a su compatibilidad con el software CAM

4.2.2 Software CAM

Los programas CAM, se encargan de generar el código G, es decir instrucciones para llevar a cabo el movimiento de los actuadores. Dentro de los programas CAM (Manufactura asistida por computador), se encuentran ArtSoft con Mach3Mill y LazyCam, Bob Cad/Cam, MasterCam, SolidCam, entre otros.

Estos programas son adaptables a los requerimientos del usuario: simulación en tiempo real, edición del código G, la selección de herramientas, movimiento de los ejes, velocidades de manufactura, etc. El inconveniente es su compatibilidad con las tarjetas controladoras.

Debido a que Mach3Mill, tiene mayor compatibilidad con las tarjetas controladoras existentes en el mercado, se ha seleccionado a este como software controlador y al programa LazyCam como software CAM.

4.3. MACH3MILL

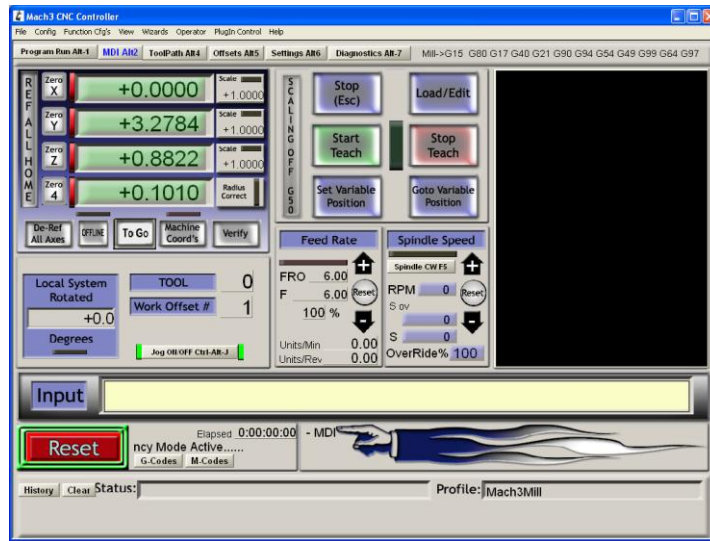


Figura IV.2: Software Mach3Mill

Fuente: Artsoft

Para la instalación de Mach3Mill, es necesario un computador con un procesador de 1Ghz, 512Mb de memoria RAM, y disponibilidad de un puerto paralelo.

El entorno de mach3mill es amigable con el usuario, a más de las barras de menú desplegadas, se encuentran: el visualizador de Código G en el extremo superior izquierdo, seguida del control de los ejes X, Y, Z y el visualizador de simulación en tiempo real. En la parte inferior se encuentran los botones para el control y edición de programas, el encendido, pausa y apagado del proceso de manufactura, además la configuración de herramienta (Tool Information), velocidad de avance (Feed Rate) y control de la herramienta (Spindle Speed) y finalmente una sección de error.

Mach3Mill cuenta con varias ventanas de control a estas se puede acceder desde la parte superior del entorno de mach3Mill o mediante la combinación de teclas Alt+ (1...7). En

la figura IV.3 se muestra la segunda ventana (MDI) y es utilizada para ingresar líneas individuales de códigos G en forma manual en el campo Input.

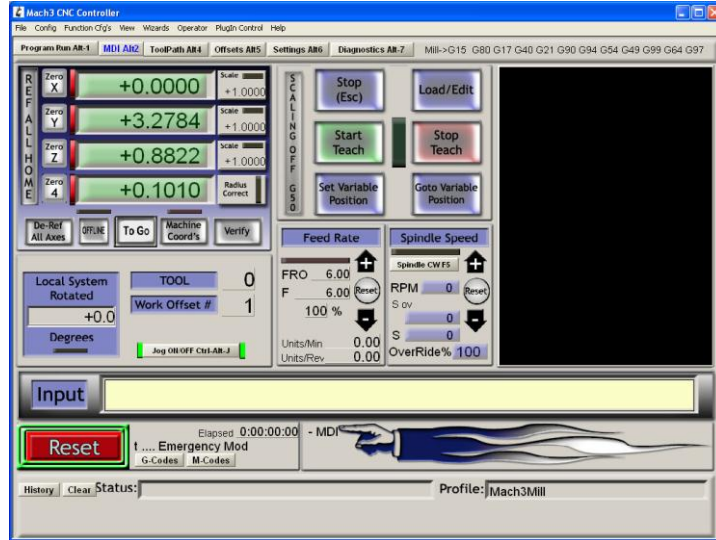


Figura IV.3: Ventana MDI de Mach3Mill

Fuente: Artsoft

La figura IV.4 presenta la ventana de diagnóstico (Diagnostic). Esta muestra el estado general de la máquina, el curso del programa, la posición de los ejes X, Y y Z, el estado de las entradas y salidas, etc.

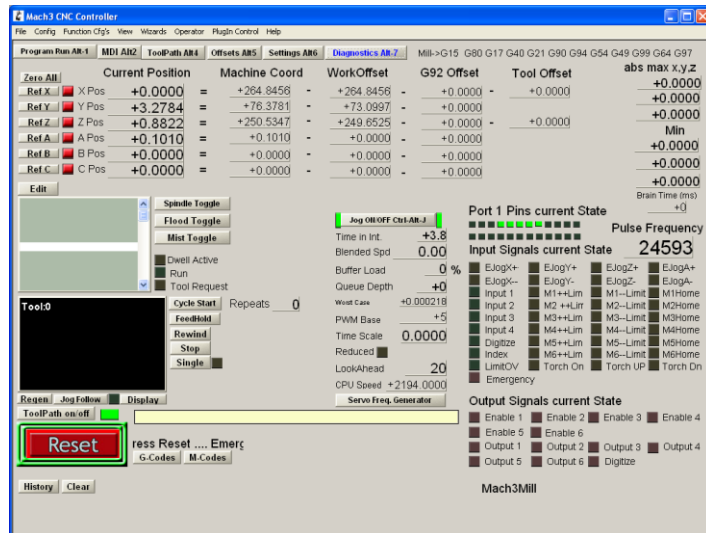


Figura IV.4: Ventana de Diagnóstico de Mach3Mill

Fuente: Artsoft

4.3.1 Configuración de Mach3Mill

Para poder realizar las pruebas de funcionamiento del prototipo de fresadora CNC, es necesario configurar las unidades nativas, para ello se accede al menú Config - Select Native, como se muestra en la figura IV.5, la opción seleccionada es mm.

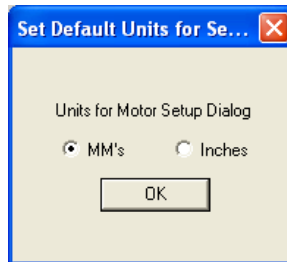


Figura IV.5: Unidades nativas de Mach3Mill

Fuente: Artsoft

4.3.2 Configuración de Puertos y pines

Para configurarlos, se accede al menú “Config – Ports and Pins”.

- **Port setup and Axis selection**

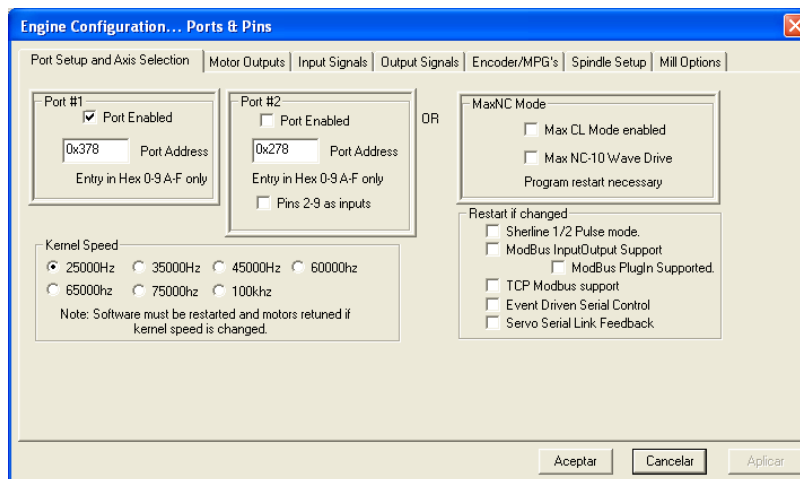


Figura IV.6: Configuración de pines y puertos

Fuente: Artsoft

En la pestaña Port setup and Axis selection se activa el Port#1 y el Port address con 0x378, la que es utilizada para escritura, la frecuencia para la transmisión de pulsos de paso hacia la tarjeta controladora, es decir la velocidad de procesamiento, que para nuestro caso es 25000Hz, pues el procesador del computador es de 1GHz.

- **Motor Outputs**

La siguiente pestaña Motor Outputs como muestra la figura IV.7 permite habilitar el número de ejes que tiene la fresadora CNC (Enable), mediante la designación de los pines del puerto paralelo para las señales de dirección activando Dir Low Active y de paso activando Step Low Active, además de Step port y Dir port, que es el número de puerto por el cual son enviadas las señales (Port#1).

Para la fresadora CNC la configuración es:

- a) En el eje X se utiliza el pin 1 para el Dir (Señal de Dirección) y el pin 16 para Step (Señal de Paso).
- b) En el eje Y se utiliza el pin 7 para el Dir (Señal de Dirección) y el pin 14 para Step (Señal de Paso).
- c) En el eje Z se utiliza el pin 6 para el Dir (Señal de Dirección) y el pin 3 para Step (Señal de Paso).

Step: Es la señal que envía los pasos necesarios para recorrer una distancia.

Dir: Es la señal de dirección en sentido horario si hay un '0' lógico y anti horario si es un '1' lógico o viceversa.

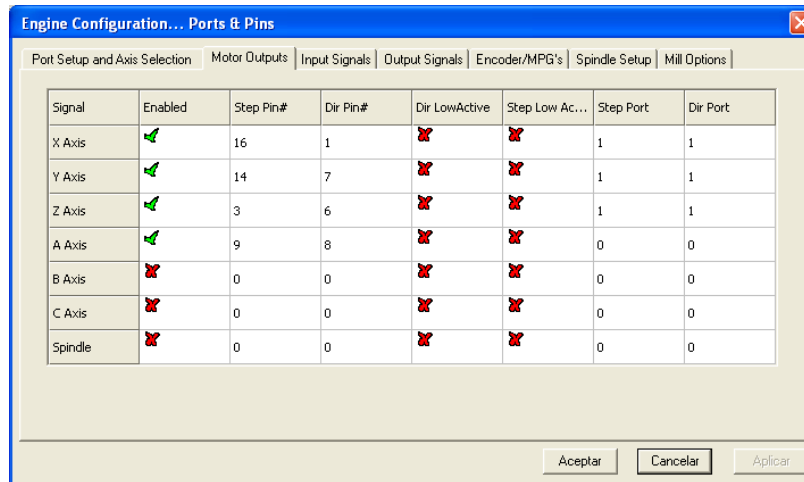


Figura IV.7: Configuración de salidas Mach3Mill

Fuente: Artsoft

Esta configuración se realiza con los datos de la tarjeta controladora.

- **Input Signals**

La tercera pestaña permite configurar las señales de entrada como son el pulso de paro de emergencia, los sensores de límite o limit switch, como se observa en la figura IV.8.

La configuración para la fresadora CNC es:

- El límite máximo del eje X llamado X++, conectado al pin 10.
- El límite mínimo del eje X llamado X--, conectado al pin 10.
- El límite máximo del eje Y llamado Y++, conectado al pin 11.
- El límite mínimo del eje Y llamado Y--, conectado al pin 11.
- El límite máximo del eje Z llamado Z++, conectado al pin 12.
- El límite mínimo del eje Z llamado Z--, conectado al pin 12.

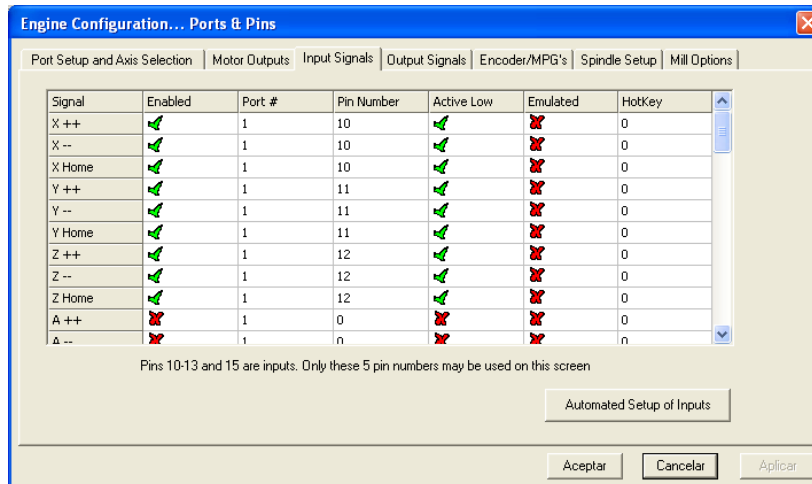


Figura IV.8: Configuración de los Limits Switch Mach3Mill

Fuente: Artsoft

- Parada de emergencia llamada EStop, conectada al pin 13.

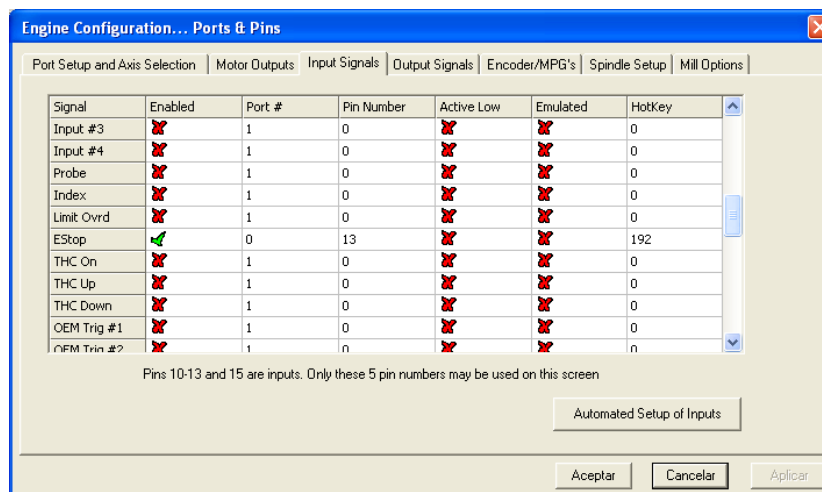


Figura IV.9: Configuración del botón de paro Mach3Mill

Fuente: Artsoft

- **Output Signals**

La pestaña de señales de salida, como su nombre lo indica, permite configurar las señales de salida de relé para la activación y desactivación de la herramienta de fresado, como se muestra en la figura IV.9.

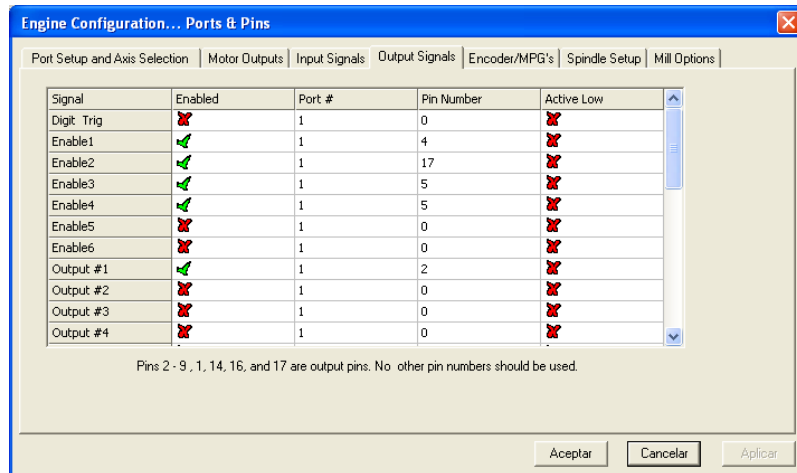


Figura IV.10: Configuración de las señales de salida

Fuente: Artsoft

- **Spindle Setup**

Esta pestaña se la observa en la figura IV.11, luego de configurar la pestaña Outputs signals, en la pestaña spindle setup se debe habilitar las salidas de relé en la opción Relay Controls localizada en el extremo superior izquierdo, el número designado a la señal de salida que activa la herramienta de fresado que en el caso de la fresadora CNC a la que está conectado el relé es Output #1.

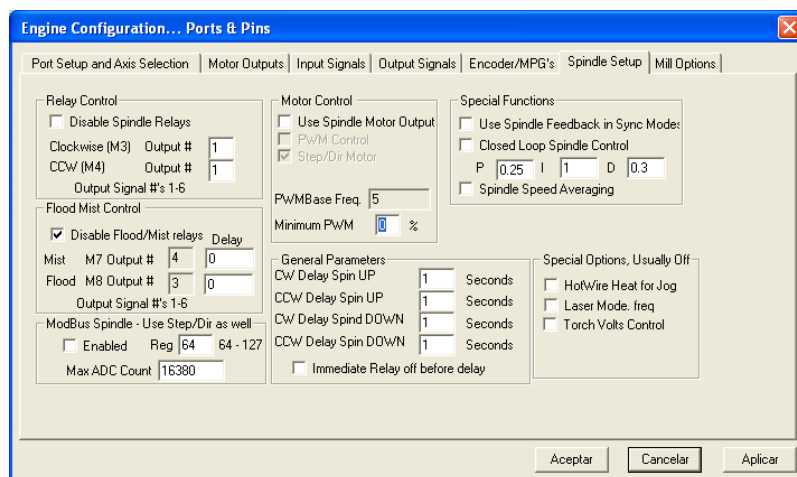


Figura IV.11: Configuración de Spindle Setup y las Salidas de relé

Fuente: Artsoft

Al finalizar la configuración de las señales de entrada y salida, procedemos a configurar las teclas para el control manual de los ejes X, Y y Z, desde la opción ‘System Hotkeys’ desde el menú Config.

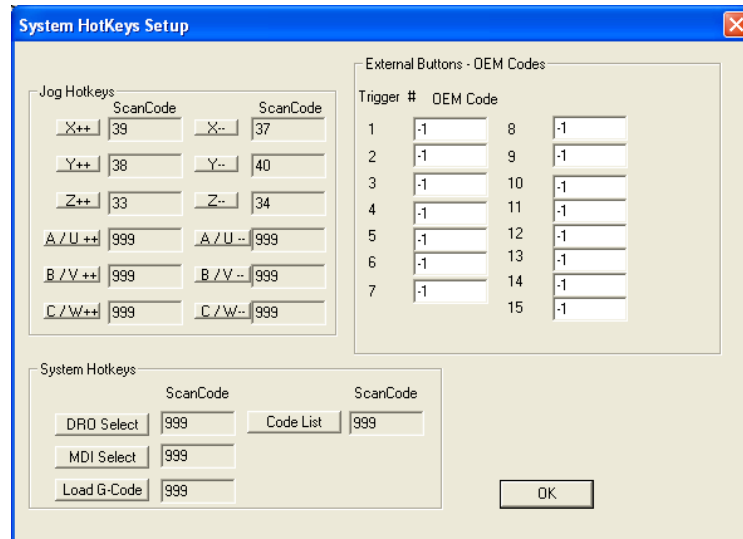


Figura IV.12: Configuración de teclas para control manual

Fuente: Artsoft

4.3.3 Configuración de motores PAP

La configuración se realiza a cada uno de los ejes, los pasos por unidad, la velocidad en mm/min, la aceleración en mm/s². Para realizar la configuración se debe colocar los ejes X, Y y Z en el origen. Se selecciona la opción ‘Settings’ de Mach3Mill y la opción ‘Set per Unit’. Se abre la ventana ‘Axis Selection’, con los ejes a ser calibrados.



Figura IV.13: Ventana Axis Selection

Fuente: Artsoft

Seleccionado el eje, el siguiente paso es contestar la pregunta que aparece en la ventana, con una distancia mucho menor a la distancia máxima que recorre el eje a calibrar.

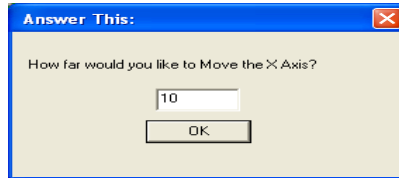


Figura IV.14: Distancia del eje seleccionado a calibrar

Fuente: Artsoft

Seguidamente el eje se mueve y al finalizar el movimiento medimos el valor exacto recorrido, este valor obtenido se ingresa en la ventana mostrada inmediatamente al fin del recorrido, como se muestra en la figura IV.15.

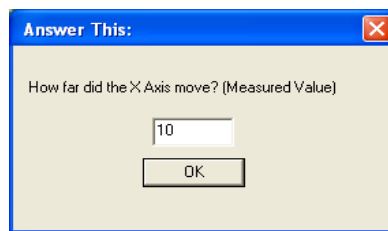


Figura IV.15: Distancia real recorrida por el eje

Fuente: Artsoft

Pulsando Ok, automáticamente Mach3Mill calcula el valor exacto de los pasos por unidad, velocidad y aceleración como lo indica la figura IV.16, si aceptamos, los parámetros serán actualizados por Mach3Mill. Este procedimiento se realiza para los ejes restantes de igual forma.

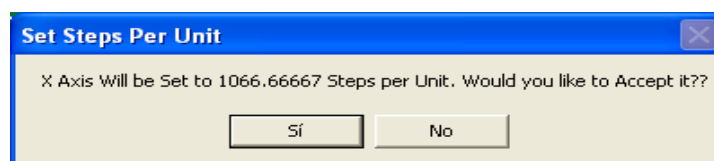


Figura IV.16: Cálculo real de Mach3

Fuente: Artsoft

Para revisar los datos calculados por Mach3Mill se accede a la ventana de configuración de los motores, accediendo al menú ‘Config - Motor Tuning’.

Desde la ventana mostrada en la figura IV.17 también se puede cambiar los datos en forma manual tanto los pasos por unidad, la velocidad como de aceleración, siempre y cuando se pulse Ok cada vez que se configure cualquiera de los valores, esto se realiza con el fin de no perder la configuración.

La configuración de la Figura IV.17 es igual para los ejes X, Y y Z, debido a que los tres ejes utilizan para su desplazamiento un tornillo sin fin similar (10mm).

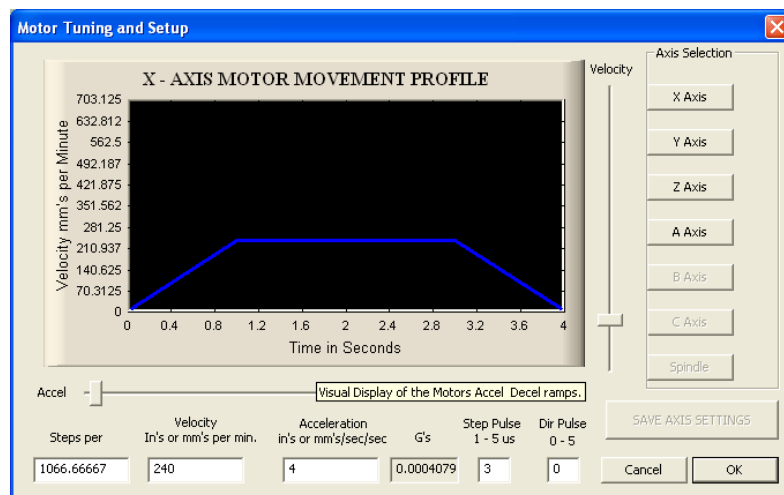


Figura IV.17: Ventana Motor Tuning

Fuente: Artsoft

4.3.4 Ingresar un Programa de Código G en Mach3Mill

Para llevar a cabo un trabajo de manufactura, se debe realizar un enlace CAD/CAM, para lo cual se debe iniciar con un diseño en el programa CAD, seguido del programa generador de código G CAM y el software Controlador CNC para finalmente pasar a los actuadores.

1. En AutoCAD 2012 se diseña la piezas en 2 o 3 dimensiones, el archivo se guarda con una extensión *.dxf.

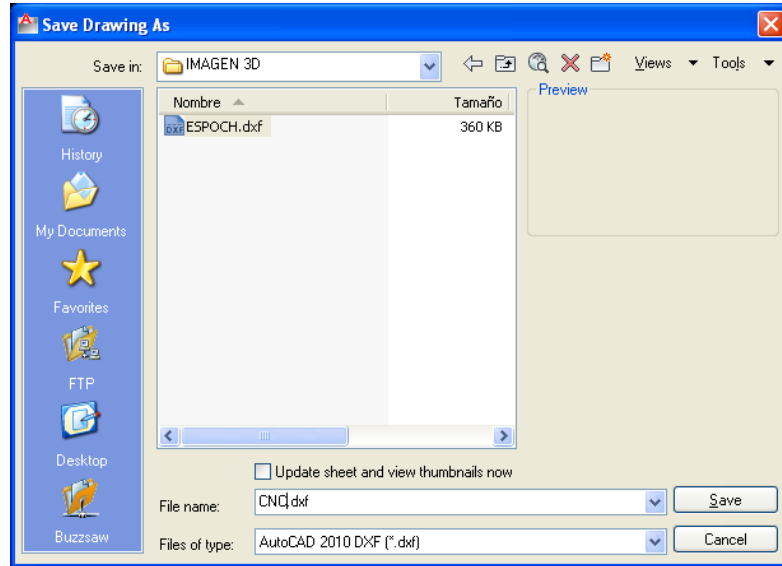


Figura IV.18: Archivo *.dxf

Fuente: Artsoft

2. Se importa dicho archivo *.dxf al software LazyCam, el mismo que permite configurar la velocidad y profundidad, así como establecer las herramientas de fresado.

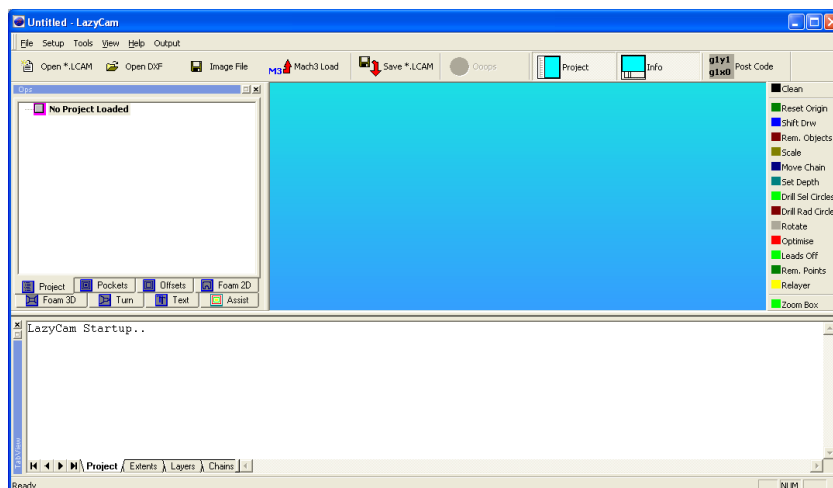


Figura IV.19: Entorno de LazyCam

Fuente: Artsoft

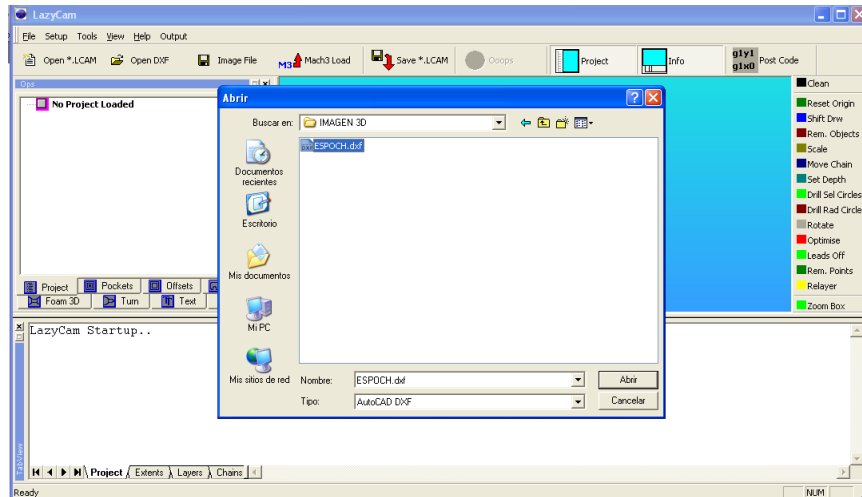


Figura IV.20: Abrir el archivo *.dxf desde LazyCam

Fuente: Artsoft

3. Accedemos a la opción “Post Code” para generar el código G, aparece nuevamente la pantalla “Posting Options” aceptamos en el botón OK, e inmediatamente se carga en Mach3Mill.

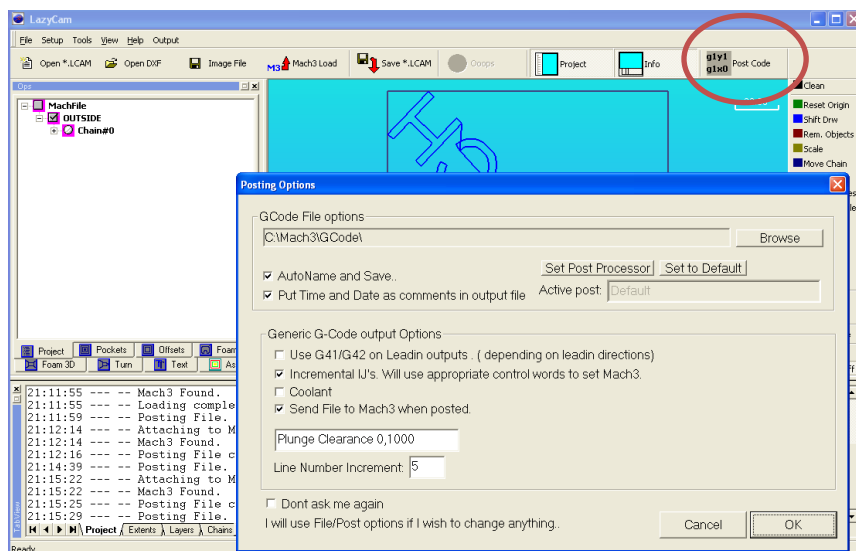


Figura IV.21: Generación del Código G en LazyCam.

Fuente: Artsoft

Una vez que hemos diseñado el prototipo de fresadora CNC y seleccionado el software CAD/CAM, procedemos a la selección de la tarjeta controladora y drives respectivos.

4.4 TARJETA CONTROLADORA Y DRIVES

Para diseñar una tarjeta electrónica con los requerimientos de nuestra fresadora CNC, es necesario tener el esquema previo, y para su construcción importar elementos electrónicos debido a la falta de estos en nuestro país, lo que conlleva a gastos considerables e inversión de tiempo en su implementación.

Es por ello que se recomienda el uso de tarjetas electrónicas ya existentes en el mercado, mismas que cumplen con los requerimientos de nuestra Fresadora y a precios accesibles. Entre las tarjetas empleadas para el control numérico computarizado se tiene: Arduino, RK USB6560T4V3, TB6560, etc.

4.4.1 Arduino Uno y Pololu A4988

a) Arduino Uno

La tarjeta de adquisición de datos Arduino, incluye un microprocesador Atmega 8, posee entradas y salidas analógicas/digitales, su característica es que posee un puerto USB, mediante el cual se puede programar al microprocesador desde cualquier ordenador.

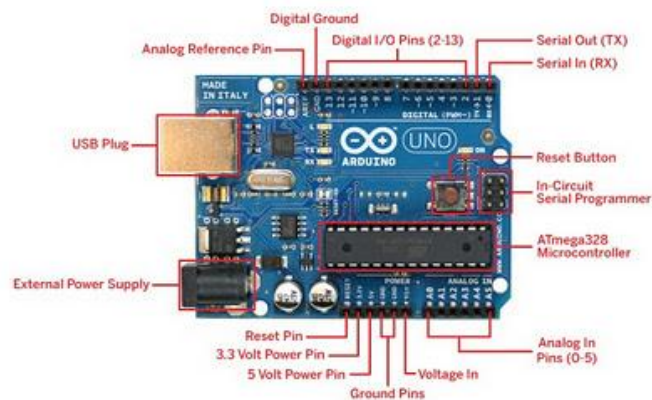


Figura IV.22: Partes que componen la tarjeta Arduino Uno

Fuente: http://arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoUno_r2_front450px.jpg

Características de Arduino UNO

- Microcontrolador Atmega 328 de 2KB de SRAM, 1KB de EEPROM y Memoria Flash de 32KB.
- 14 Entradas/Salidas digitales (6 de las cuales se puede emplear como salidas PWM).
- El voltaje de alimentación es de 5V.
- Corriente DC de cada pin digital de entrada/salida es 40mA.
- 1 Oscilador de cristal de 16MHz

Cada uno de los 14 pines digitales se puede utilizar como una entrada o salida, utilizando las funciones `pinMode`, `digitalWrite`, y `digitalRead`. Operan a 5 voltios. Cada pin puede proporcionar o recibir un máximo de 40 mA y tiene una resistencia pull-up de 20-50 kOhms. Además, algunos pines se han especializado en funciones como: De serie: 0 (RX) y 1 (TX). Se utiliza para recibir (RX) y de transmitir (TX) señales TTL [13].

b) Pololu A4988

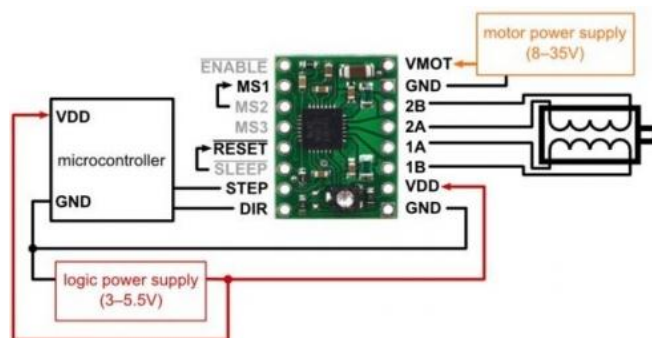


Figura IV.23: Pines del Driver Pololu A4988

Fuente: <http://b.pololu-files.com/picture/OJ3360.600.png?d94ef1356fab28463db67ff0619afadf>

El driver A4988 es una placa para controlar micropasos de motores PAP bipolares. Este driver cuenta con un límite de corriente ajustable. El rango de operación es 8 a 35 V y puede entregar hasta aproximadamente 1A sin disipador de calor, sin embargo con un adecuado sistema de refrigeración puede entregar 2A por fase.

El chip A4988 tiene una interfaz de control de pasos y dirección, cinco resoluciones diferentes: paso completo, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16 de paso. Debido a su control de corriente, se puede ajustar la corriente de salida con un potenciómetro, permitiendo usar voltajes superiores a la tensión nominal del motor PAP para el logro de mayores pasos.

Por ser un driver totalmente compatible con el controlador Arduino uno, es una buena opción para el control CNC, con motores PAP nema 17, y su diagrama de control se muestra en la figura IV.24.

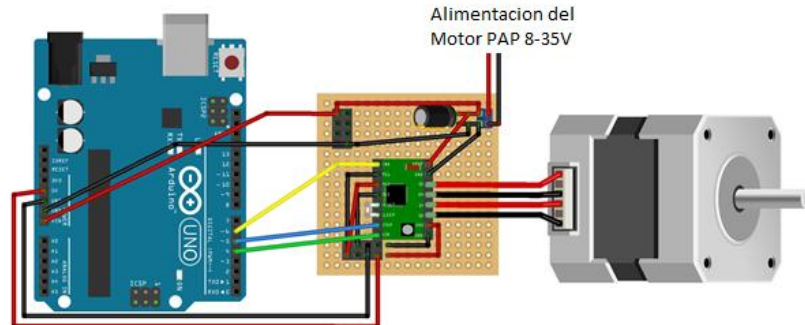


Figura IV.24: Diagrama de control con Arduino Uno y A4988.

Fuente: <http://fritzing.org/projects/a4988-single-stepper-test/>

4.4.2 Toshiba TB6560AHQ.

TB6560AHQ es una tarjeta de alta potencia, cuya corriente aplicada a las bobinas de los motores PAP es 3.5A máximo. Esta tarjeta tiene incorporada en su circuito los drives necesarios para el control de los motores paso a paso.

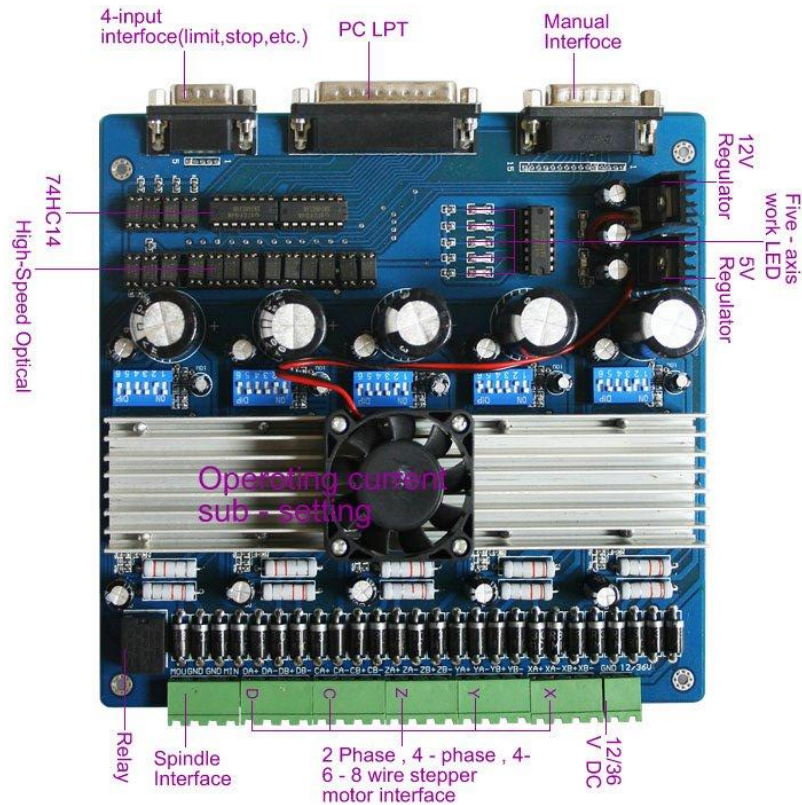


Figura IV.25: Tarjeta TB6560AHQ de 4 ejes

Fuente: (HY-TB4DV-M 4 Axis Driver, 2011)

Características de Tarjeta TB6560AHQ

- Tiene el chip Toshiba TB6560AHQ de alta potencia.
- Tiene resoluciones para el ajuste micropaso desde 1 hasta 1/16, dando como resultado mayor precisión y un funcionamiento más suave.
- Configuración ajustable de la corriente, para diversos motores PAP se pueden ajustar para cada eje: el 25%, 50 %, 75 %, 100 % de la corriente total.
- Protección completa para la PC en caso de sobrecarga de corriente y exceso de temperatura.
- Incluye en su circuito salidas de relé máxima de 7.5A y 36V para el accionamiento de la herramienta de fresado.

- Entradas para el uso de sensores de límite para los ejes X, Y y Z, además del paro de emergencia.
- Posee una arquitectura universal, es decir es compatible para la mayoría de programas CAM, como: MACH3, KCAM4, EMC2, etc.
- Tiene un diseño profesional que cuenta con procesamiento de señales con anti-jamming, es decir diseñado para evitar la interferencia de comunicación.
- Existen modelos para diferente número de ejes: 3, 4, 5, 6.
- El tráfico de datos tanto de ingreso como de salida por el puerto paralelo esta ópticamente aislado por una combinación de inversores 74HC14 y PC817.

La tarjeta de control principal se ha seleccionado según los requerimientos de nuestra Fresadora CNC, por la compatibilidad con el Software Mach3Mill, para el control de motores PAP de 2.5A, es por ello que para el control del prototipo de fresadora CNC es con la tarjeta Toshiba TB6560AHQ.

Tabla IV.1: Especificaciones Técnicas de TB6560AHQ

Fuente: (HY-TB4DV-M 4 Axis Driver, 2011)

ESPECIFICACIONES TB6560AHQ	
Voltaje de Alimentación	12-36 VDC
Corriente de Salida	0.5-3.5Amp
Motores Aceptados	Nema17, Nema23, Nema34.
Peso	725gramos
Dimensiones	175mm x170mm
Temperatura de Operación	-20° a 65° Celsius
Enfriamiento	Disipador y Ventilación Forzada.
Puerto Paralelo	8 Bits

Configuración de la tarjeta TB6560AHQ.

- 1. Dips Settings.-** La tarjeta TB6560AHQ dispone de 4 dip switch; mostrados en la figura IV.26, utilizados para configurar la salida de corriente, el modo de decaimiento y la configuración de micropasos, para cada uno de los ejes.

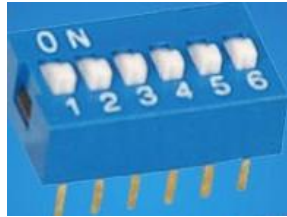


Figura IV.26: Dip Switch

Fuente: <http://www.voltix.com.mx/opencvoltix/image/cache/data/Productos/DIP-6P-500x500.jpg>

Tabla IV.2: Configuración de DIP switch

Fuente: (HY-TB4DV-M 4 Axis Driver, 2011)

CONFIGURACIÓN – DIP SWITCH								
MODO								
CORRIENTE	1	2	DECAIMIENTO	3	4	MICROPASOS	5	6
100%	ON	ON	Rápido	ON	ON	1	ON	ON
75%	ON	OFF	25%	ON	OFF	½	ON	OFF
50%	OFF	ON	50%	OFF	ON	1/8	OFF	OFF
25%	OFF	OFF	Lento	OFF	OFF	1/16	OFF	ON

2. Voltaje de Alimentación

Los motores PAP a emplearse en el prototipo de fresadora CNC son Nema 23, por lo tanto la tensión necesaria para evitar daños en los motores, se la selecciona de la tabla IV.3.

Tabla IV.3: Voltajes de Alimentación para motores PAP

Fuente: Autores

TIPO DE MOTOR PAP	VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN
Nema 17	12-16V
Nema 23	16-24V
Nema 34	24-36V

4.5 DISEÑO DEL TABLERO DE CONTROL Y POTENCIA

Al finalizar con la selección de la tarjeta controladora se procede a implementar el tablero de control principal. Se diseñó tomando en cuenta que el control debe estar aislado del sistema de fresado para lo cual se tomó los siguientes materiales para la implementación:

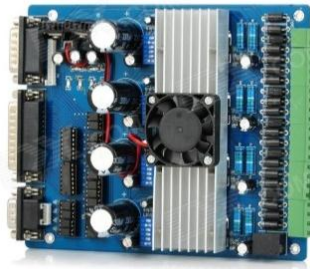
1. Gabinete Metálico 40x30x20mm



2. Fuente de alimentación 24VCD-10Amp.



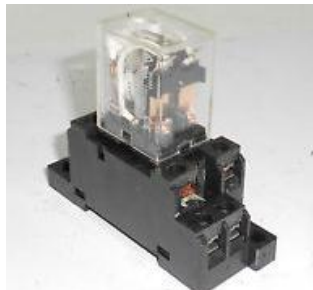
3. Tarjeta controladora Toshiba TB6560AHQ de 4 ejes.



4. Fusibles



5. Relé de 24VDC



6. Placa Electrónica de los limit switch



7. Pulsador Paro de emergencia (NO)



8. Selector 2 posiciones (ON/OFF)



9. Luces piloto (Rojo, Amarillo, Verde)



La conexión eléctrica es de 110VAC, consta de un enchufe industrial y cable concéntrico 2x14 AWG, que soportan la tensión de la red eléctrica y la corriente que consumirá el circuito.

El tablero de control cuenta con elementos de protección contra cortocircuitos para evitar daños en la tarjeta, con fusibles que cortan el paso de corriente cuando ésta es superior al valor nominal de corriente evitando daños, el fusible recomendado es de 10A.

4.5.1 Fuente de Alimentación

Para la selección de la fuente de alimentación, es necesario conocer el voltaje y amperaje consumido por los motores PAP, así como de la herramienta de fresado y la tarjeta controladora CNC, para lo cual aplicamos la fórmula 4.1.

$$I_{Total} = I_x + I_y + I_z + I_A + I_{Herramienta} \quad (\text{Ecu. 4.1})$$

$$I_{Total} = (2 + 2 + 1.5 + 2.8 + 1.2)A$$

$$I_{Total} = 9.5 A$$

La fuente de poder lineal, 240W power supply, modelo RDY-240-24 cumple con los requerimientos necesarios para el control del prototipo de fresadora CNC.



Figura IV.27: Fuente de poder RDY-240-24

Fuente: <http://www.novatera-electronic.com/images/psin15024.jpg>

Tabla IV.4: Especificaciones de la Fuente de poder RDY-240-24

Fuente: Autores

ESPECIFICACIONES - RDY-240-24	
Voltaje de Entrada	100V-120V/200V-220V
Corriente de Consumo	1.3A
Tensión de Salida	24VDC
Corriente de Salida	10A

Tamaño	20x 11 x 5 cm
Material	Caja de metal/base de aluminio
Temperatura de trabajo	0 - 40°C
Tipos de Protección	Sobre corriente y Sobre voltaje

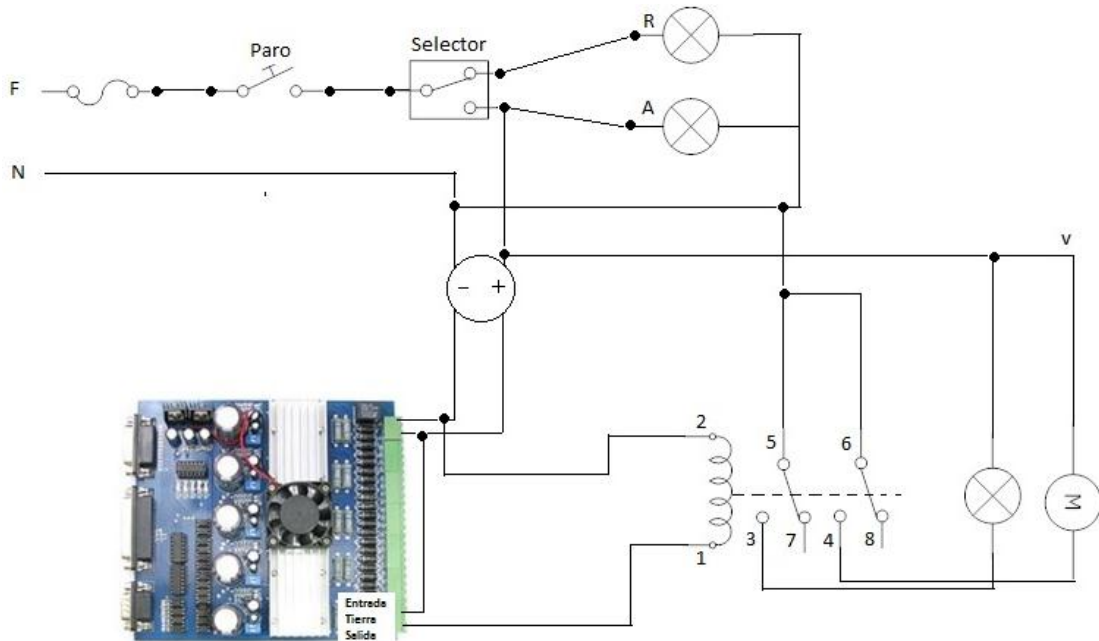


Figura IV.28: Diagrama Unifilar del Tablero de Control del Prototipo

Fuente: Autores

4.5.2 Circuito para el accionamiento de los Limit Switch

La tarjeta TB6560AHQ dispone de un conector DB9, como su nombre lo indica está formado de 9 pines para el ingreso de señales de los limit switch y el pulso de paro de emergencia.

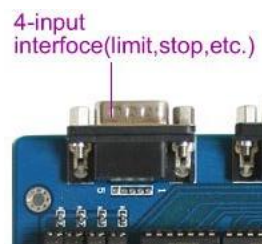


Figura IV.29: Conector DB9 de la tarjeta TB6560AHQ

Fuente: Autores

Tabla IV.5: Señales de entrada del conector DB9

Fuente: (HY-TB4DV-M 4 Axis Driver, 2011)

PINES DEL CONECTOR DB9								
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
X Limit	Y Limit	Z Limit	STOP	Empty	GND	GND	GND	GND

La figura IV.30 muestra el diagrama de conexión de los sensores de contacto o limit switch, para evitar el descarrilamiento de los ejes X, Y y Z del prototipo de fresadora CNC, como se observa se utilizó los contactos NC.

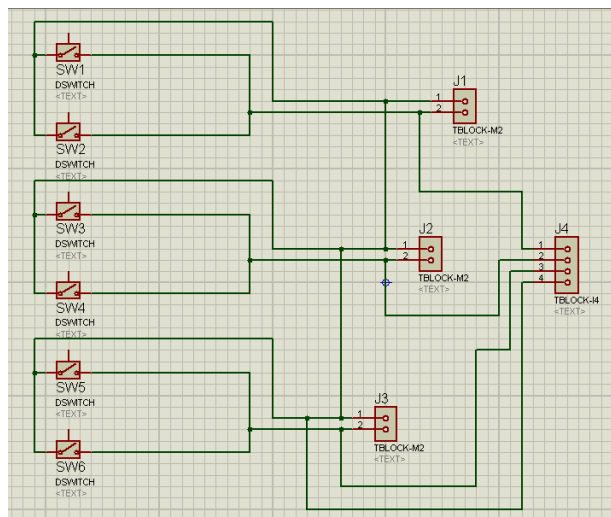


Figura IV.30: Diagrama de los sensores de contacto

Fuente: Autores

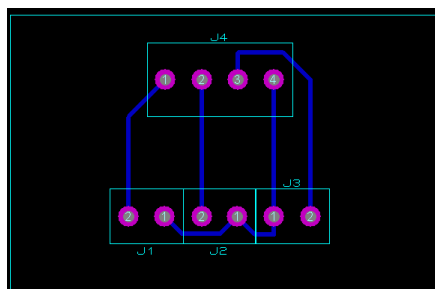


Figura IV.31: Placa de acople al conector DB9 de la tarjeta TB6560AHQ

Fuente: Autores



Figura IV.32: Colocación de los Limit switch

Fuente: Autores

4.5.3 Conductores

Los conductores adecuados para los motores PAP son aquellos cuya caída de tensión sea mínima, es decir menos del 3%.

A partir de la caída de tensión, se puede calcular el valor de la sección, para un conductor de resistencia R_L es:

$$\Delta V = R_L \cdot i = \rho \cdot \frac{L}{Sec} \cdot i \quad (\text{Ecu. 4.2})$$

$$Sec = \frac{\rho \cdot L \cdot i}{\Delta V} \quad (\text{Ecu. 4.3})$$

Como lo indica la ecuación 4.3 la sección del conductor es inversamente proporcional a la caída de tensión, es decir que para tener una menor caída de tensión es necesario aumentar el calibre del conductor.

Para el cálculo del conductor de los motores PAP empleados en el prototipo de fresadora es necesario conocer los siguientes datos:

Cable de cobre AWG #14

$$\rho = 0.0171 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$$

$$L = 5\text{m}$$

$$i = 2.5 \text{ A}$$

$$\text{Sec} = 2.08\text{mm}^2$$

$$\Delta V = \rho \cdot \frac{L}{\text{Sec}} \cdot i \text{ (V)}$$

$$\Delta V = 0.0171 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m} \cdot \frac{5}{2.08\text{mm}^2} \cdot 2.5\text{A}$$

$$\Delta V = 0.1\text{V}$$

La caída de tensión es menor al 3% del voltaje de alimentación, es decir 0.1 es menor a 0.6, lo que garantiza que el conductor AWG #14 es el adecuado para la alimentación de los motores PAP de los ejes X, Y y Z.

Para el cableado interno del Tablero de control se emplea el conductor AWG #18, debido a que la distancia de conexión a la alimentación es mínima, por lo tanto la caída de tensión de igual forma es mínima.

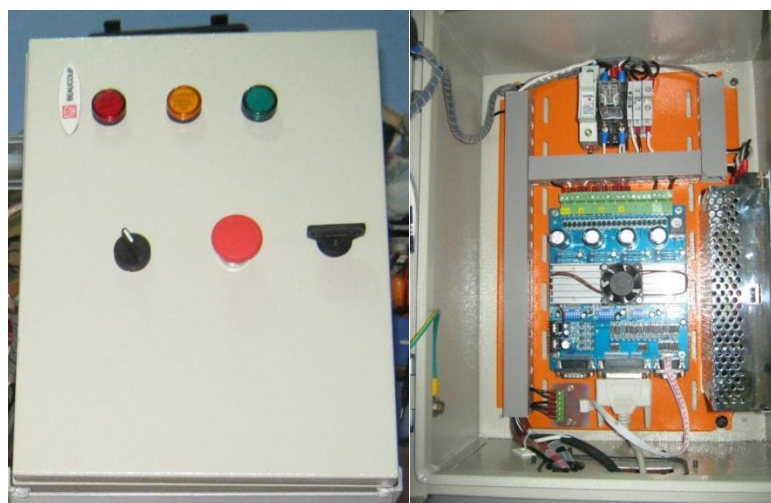


Figura IV.33: Tablero de Control del Prototipo de Fresadora CNC

Fuente: Autores

CAPÍTULO V

5. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al concluir con el diseño e implementación del sistema mecánico y electrónico, se procede a realizar las respectivas pruebas de funcionamiento mecánico, eléctrico y electrónico, así como del software de control.

5.1 PRUEBAS MECÁNICAS

Para garantizar el correcto funcionamiento de los ejes X, Y y Z, durante el proceso de mecanizado se debe asegurar que la estructura mecánica brinde la movilidad adecuada, para ello se fue realizando paulatinamente la calibración a medida que se fueron construyendo las piezas mecánicas, como se detalla en el capítulo 3.

Primero se realizaron las pruebas manuales de tracción en el eje Z con los ejes guías lisos de diámetro 1/2", a continuación acoplando el husillo y el tornillo sin fin de

diámetro 10mm comprobando que el traslado sea rápido y suave, de manera que no existan atascamientos durante su recorrido.

El movimiento de ejes es suave y estable, por lo que se procede a verificar que el portaherramienta este acoplado y fijo a la base del eje Z. Se repite la prueba manual teniendo como resultado un movimiento aceptable del eje Z.

A continuación se realizaron las pruebas manuales de tracción en el eje X con los ejes guías lisos de diámetro 1/2", a continuación acoplado el husillo y el tornillo sin fin de diámetro 10mm, comprobándose que el eje es manejable antes y después de acoplar el eje Z.

Por último se realizaron las pruebas manuales de tracción en los ejes guías lisos de diámetro 1/2" del eje Y, verificando un buen desplazamiento. A continuación se acopló el tornillo sin fin de diámetro 10mm, y por ser más largo el recorrido de eje Y, es indispensable que la calibración se realice las veces necesarias hasta lograr el movimiento deseado y finalmente con todas las estructuras móviles comprobando que el traslado sea rápido y suave, de manera que no existan atascamientos durante el mecanizado del material.

Para finalizar, se realizó la prueba de nivel de la mesa ranurada respecto a la herramienta de fresado, con el fin de comprobar que sea correcta la calibración de nivel tanto horizontal y vertical.



Figura V.1: Sistema Mecánico del Prototipo de Fresadora CNC

Fuente: Autores

El resultado es una estructura mecánica con una escasez de atascamientos durante el recorrido de sus ejes.

5.2 PRUEBAS ELÉCTRICAS

Los elementos que conforman el sistema eléctrico del prototipo son: la red eléctrica, los elementos de protección térmica y de mando; y la alimentación a los actuadores eléctricos. El selector, las luces piloto y el pulsador de paro de emergencia deben estar en buenas condiciones; las instalaciones deben estar ajustadas fuertemente para evitar puntos calientes y futuros inconvenientes.

Armado totalmente el prototipo mecánico está listo para alimentarse con la red eléctrica, y la siguiente prueba a realizar es la eléctrica. Para realizar la prueba, se procedió a energizar el tablero de control y comprobar la continuidad eléctrica de los elementos y conductores.

El resultado fue satisfactorio, lo que asegura el buen funcionamiento eléctrico.

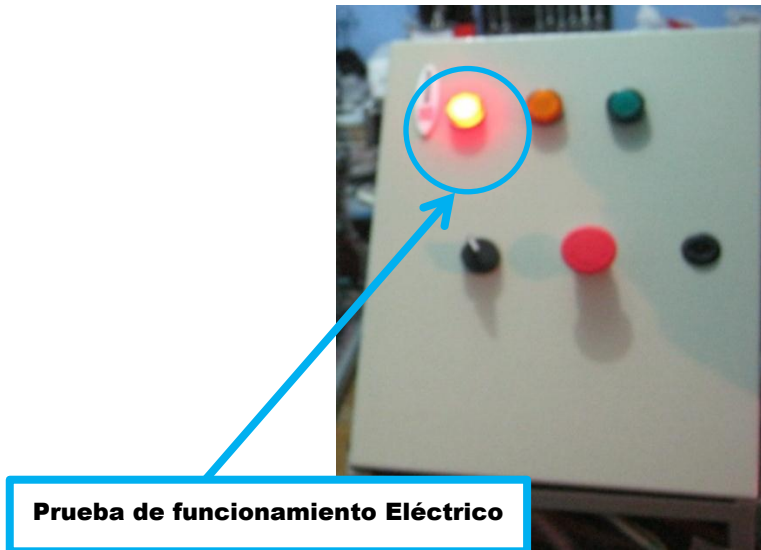


Figura V.2: Tablero de Control con AC

Fuente: Autores

5.3 PRUEBAS ELECTRÓNICAS

En el tablero de control se encuentra la tarjeta controladora, que es el principal elemento de control. En las pruebas electrónicas lo que se hace es comprobar que exista la comunicación entre la Pc y la tarjeta controladora; y ésta a su vez con los actuadores eléctricos.

Para comprobar el funcionamiento, basta con energizarla con la fuente de poder de 24V, una vez realizado esto se observa que el ventilador se encienda al igual que el Led de paso de alimentación a la tarjeta.

El resultado es el esperado, se encendió el Led al igual que el ventilador, indicando el funcionamiento de la tarjeta controladora.

5.4 PRUEBAS DE SOFTWARE

Son dos las fases de prueba de software que se llevaron a cabo.

1. En la primera fase, se comprobó que los requisitos de la computadora son los necesarios para soportar los programas CAD y CAM durante en el mecanizado del material.

La prueba se realizó haciendo la comparación de las características de la PC seleccionada con los requerimientos de los Software. El procesador de la Pc es 2Ghz, la memoria RAM tiene 512MB, la memoria del Disco duro 100GB; en cambio los requerimientos de AutoCAD, LazyCam y Mach3Mill son: Una velocidad de procesamiento de 1.5Ghz, Memoria RAM de 256 MB, espacio de 512 MB de disco duro.

Con la comparación se verificó que la PC seleccionada es la apropiada, ya que está sobredimensionada y no tendrá inconvenientes de ejecución de programas CAD/CAM.

2. Para la segunda fase se encendió el sistema de control y se procedió a ejecutar el software Mach3Mill, a la pantalla 'Diagnostic Alt+7'. Las pruebas a realizar son: el funcionamiento de los Limit Switch, el Funcionamiento de la herramienta de fresado, y el funcionamiento y calibración de parámetros de los Ejes X, Y y Z.

5.4.1 Prueba de Funcionamiento - Limit Switch

El funcionamiento se comprobó pulsando cada uno de los Limit Switch y verificando el cambio de estado de los indicadores luminosos en la pantalla Diagnostic del Mach3Mill, como se observa en la figura IV.4.

Los resultados fueron satisfactorios, pues los Limit Switch se activaron inmediatamente lo que certifica que el prototipo de fresadora CNC permanecerá dentro de los límites de fresado, es decir libre de descarrilamientos.

5.4.2 Prueba de Funcionamiento - Herramienta de Fresado

Esta prueba se realizó en la pantalla principal de Mach3Mill en la sección Spindle Speed, dando click en la opción ‘Spindle CW FS’, se deberá activar inmediatamente la herramienta de Fresado esto se comprueba si se enciende el indicador luminoso, pulsando nuevamente esta opción deberá desactivarse la herramienta de fresado y por lo tanto el indicador luminoso de igual forma.

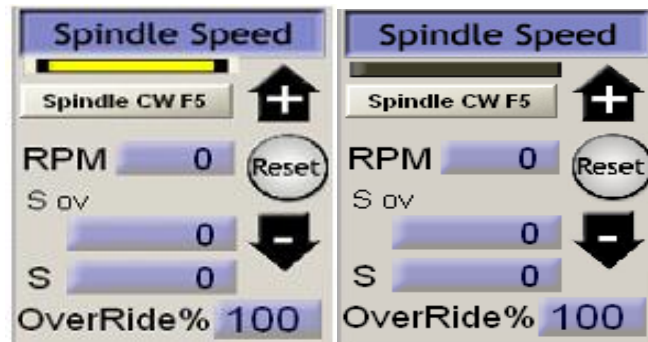


Figura V.3: Prueba de Funcionamiento de la Herramienta de Fresado

Fuente: ArtSoft

El resultado fue satisfactorio, pues el control automático para la activación y desactivación de la herramienta de fresado funcionó correctamente.

5.4.3 Prueba de Funcionamiento Ejes X, Y y Z.

Para comprobar el funcionamiento de los ejes, se empleó el control de movimiento de ejes de Mach3Mill. Este control aparece pulsando la tecla Tab, opción ‘Button Jog’. Se procedió a activar cada uno de los ejes en avance y retroceso.



Figura V.4: Control para Prueba de Funcionamiento de los ejes X, Y y Z.

Fuente: ArtSoft

El resultado obtenido fue satisfactorio ya que se comprobó el control total de los ejes desde el software Mach3Mill, comprobamos además que el software es adecuado para el control CNC y que existe una comunicación inmediata con el prototipo de fresadora CNC.

5.4.4 Prueba de calibración de Parámetros ‘Motor Tuning’

Las pruebas de calibración de los pasos por unidad se observan en la sección 4.3.2. Se realizó la prueba permitiendo el recorrido exacto de cada uno de los ejes dependiendo de la programa de código G.

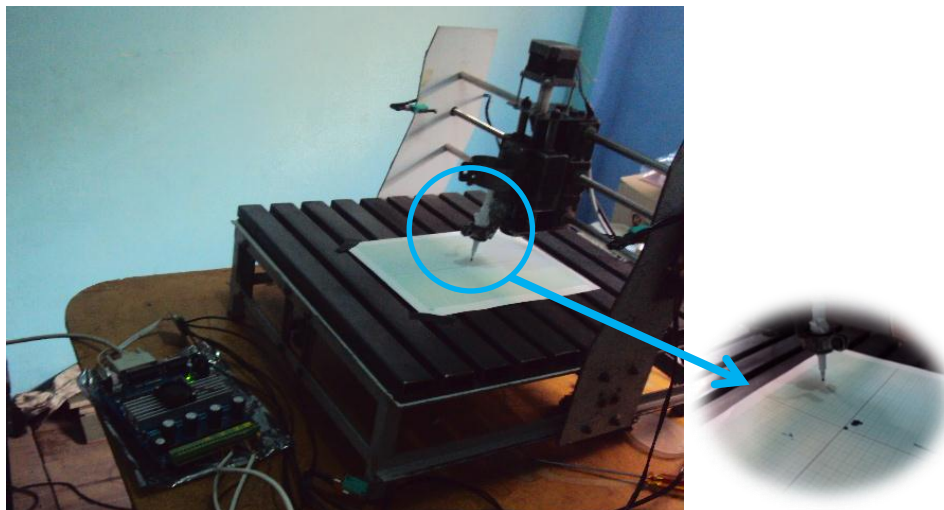


Figura V.5: Pruebas para Calibración de Parámetros

Fuente: Autores

Para comprobar si la calibración de pasos por unidad, velocidad y aceleración de los ejes son las adecuadas, se reemplaza la herramienta de fresado por un marcador (para evitar daños si la calibración no es la más apropiada) de manera que simule la herramienta, se coloca además una hoja en la mesa de trabajo como se observa en la figura V.5, a continuación se envía manualmente líneas de código G desde la pantalla MDI de Mach3Mill opción Input. Después de ejecutado el código, se verifica la distancia recorrida mediante un calibrador y se comprueba que la distancia calibrada en los ejes X, Y y Z es la correcta. Los Pasos por unidad para los ejes X, Y y Z son los mismos 1066.6667 pasos, esto según lo indica la sección 4.3.3. Para las pruebas de velocidad y aceleración, se configuró un valor aproximado de 240 mm/min y $4\text{mm}^2/\text{min}$.

El resultado fue satisfactorio, ya que los ejes del prototipo de fresadora CNC están calibrados a la perfección, lo que garantiza un buen trabajo de mecanizado.

5.5 PRUEBAS DE MECANIZADO DE MATERIAL

Para la prueba de mecanizado de material, se inicia con un diseño previo en AutoCAD 2012, para seguir con la generación de código G en LazyCam y finalmente cargar el Programa de Código G en Mach3Mill y su envío posterior a los Actuadores.

5.5.1 Diseño en AUTOCAD

En la figura V.6 se muestra el diseño, cuya imagen corresponde a una silla mecedora. Este diseño se guarda con la extensión DXF.

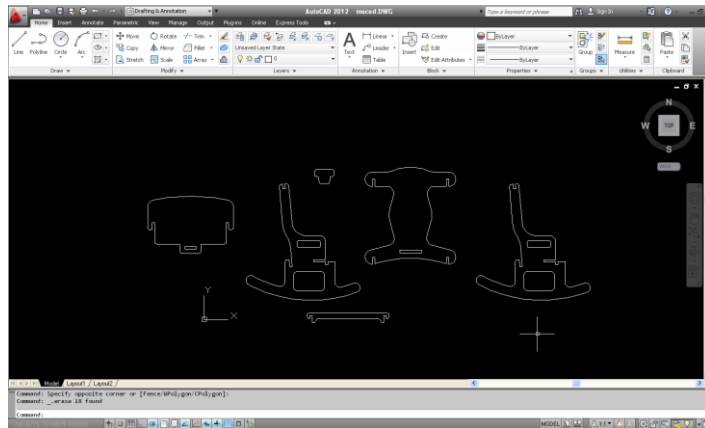


Figura V.6: Diseño *.dxf en AutoCAD

Fuente: AutoCAD 2012

5.5.2 Importación del archivo a LazyCAM y Mach3Mill

Los pasos para cargar el archivo se muestra en la sección 4.3.4. El siguiente paso es cambiar la escala del gráfico, dependiendo del espacio de trabajo del prototipo de fresadora CNC, a continuación se configura el tipo de herramienta a utilizar y la profundidad de corte según las características de la fresa a emplear y el material a desbastar, como se observa en la figura V.7.

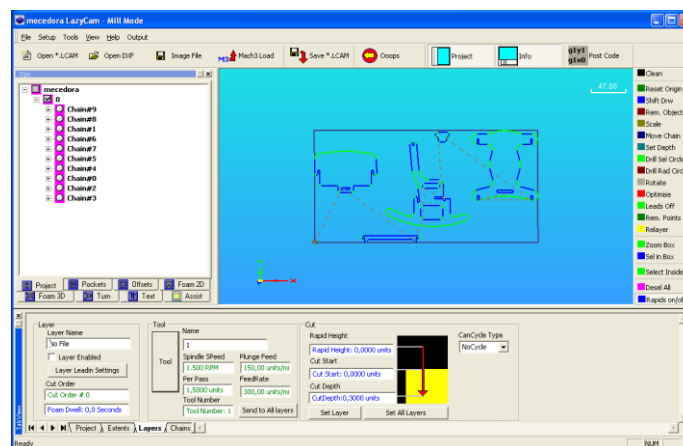
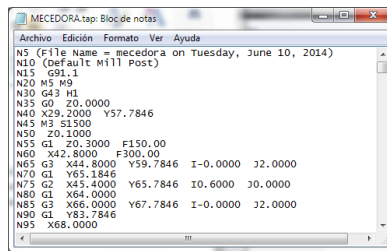


Figura V.7: Configuración de la herramienta de corte en LazyCam.

Fuente: Artsoft

Listas las configuraciones y cambios necesarios del diseño, se procede a generar el código G, accediendo a la opción Post Code, e inmediatamente se carga en Mach3Mill. Una vez cargado el código se lo revisa con la ayuda del Bloc de Notas desde el control Edit G-Code; si se hace alguna modificación se debe guardar el archivo con la extensión *.tap.



```
MECEDORA.tap: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
N5 (File Name = mecedora on Tuesday, June 10, 2014)
N10 (Default M111 Post)
N15 G91.1
N20 M5 M9
N30 G43 H1
N35 G0 Z0.0000
N40 X29.2000 Y57.7846
N45 M3 S1500
N50 Z0.1000
N55 G1 Z0.3000 F150.00
N60 X42.8000 F300.00
N65 G3 X44.8000 Y59.7846 I-0.0000 J2.0000
N70 G1 Y65.1846
N75 G2 X45.4000 Y65.7846 I0.6000 J0.0000
N80 G1 X64.0000
N85 G3 X66.0000 Y67.7846 I-0.0000 J2.0000
N90 G1 Y83.7846
N95 X68.0000
```

Figura V.8: Código G editado en Bloc de Notas.

Fuente: Bloc de Notas- Windows

5.5.3 Mecanizado en el material

Comprobado el código G se activa el control Cycle Start para dar inicio al proceso de mecanizado, si se desea pausar el programa existe el control Feed Hold y Stop para detener el funcionamiento. En el extremo derecho de la pantalla se muestra visualizador en tiempo real del mecanizado del material.

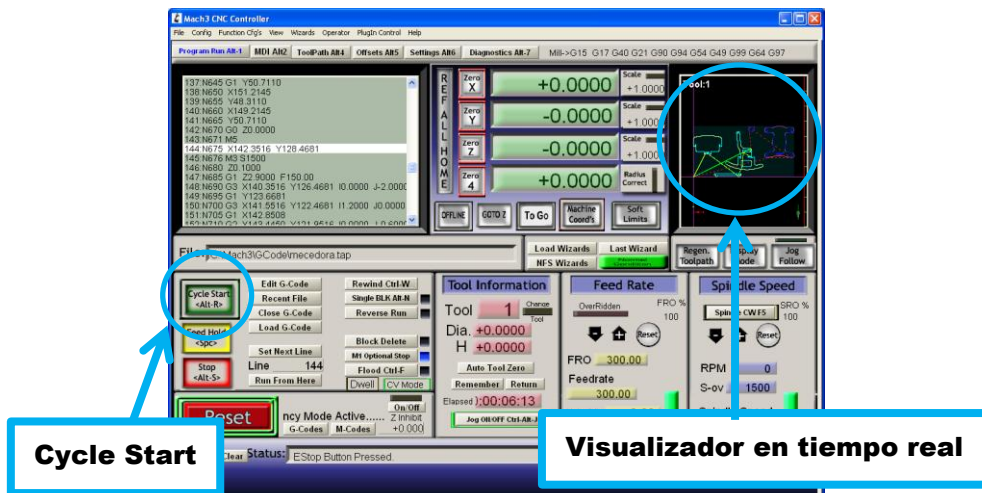


Figura V.9: Mach3Mill durante el proceso de Mecanizado

Fuente: Artsoft



Figura V.10: Mecanizado del diseño en MDF.

Fuente: Autores

El proceso de mecanizado del diseño de la silla mecedora, durò 8 minutos, en la figura V.11 se muestra el resultado despues del mecanizado y en la Figura V.12 las piezas listas para armar.

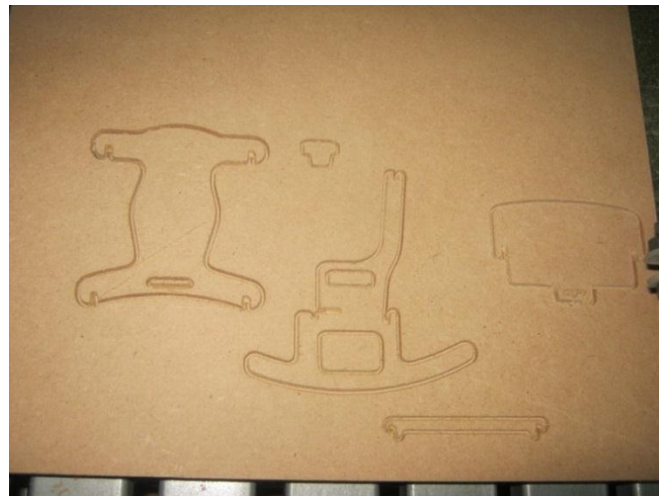


Figura V.11: Resultado del mecanizado

Fuente: Autores



Figura V.12: Diseño en piezas

Fuente: Autores



Figura V.13: Resultado final del Diseño.

Fuente: Autores

Los resultados que se obtuvieron son:

- El software Mach3Mill funciona a la perfección en el envío del código G, además se comprobó el buen funcionamiento de los sistemas mecánico, eléctrico y electrónico.

- En la figura V.13 se muestra el mecanizado final del diseño con unos acabados aceptables y se comprobó que se puede mecanizar una variedad de diseños CAD.

5.6 VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

La hipótesis se ha validado, con la realización de las pruebas de funcionamiento de la máquina herramienta mediante el control numérico desde la Pc, “Es posible controlar una máquina herramienta desde una pc utilizando el control numérico”.

5.7 CÁLCULO DE LA RESOLUCIÓN Y PRECISIÓN DEL PROTOTIPO MHCNC

El cálculo de la resolución para los tres ejes es la misma, ya que utilizan el tornillo sin fin con las siguientes características: paso 1.5mm y diámetro 10mm.

$$Resolución = \frac{Paso}{ppu} \quad (Ecu. 5.4)$$

$$Resolución = \frac{1.5mm}{1066.67} = 0.0014mm$$

$$Precisión = Resolución \pm Juego \quad (Ecu. 5.5)$$

La precisión; es igual que la resolución, debido a que los ejes utilizan una tuerca que simula el husillo de bolas, por lo tanto el juego de los tornillos es 0.

La resolución y precisión es 1,4 centésimas.

CONCLUSIONES

- El diseño Mecánico corresponde a un esquema moderno y se caracteriza por la rapidez en el movimiento con un buen funcionamiento.
- Se utilizó motores paso a paso debido al flexible manejo del control con precisión y al torque para el movimiento de estructuras.
- El uso de programas CAD/CAM contribuye en el diseño y manufactura haciendo posible materializar los diseños.
- El software Mach3Mill se usó por sus múltiples prestaciones y compatibilidad con la tarjeta controladora TB6560AHQ.
- La calibración de parámetros de fresado es importante para llevar a cabo un mecanizado de calidad.
- Los drivers Pololu A4988 controlados por la tarjeta Arduino tienen una capacidad máxima de corriente de 1.5A, siendo adecuados para motores Nema17.
- La tarjeta controladora TB6560AHQ de Toshiba, se utilizó por satisfacer los requerimientos de corriente para los motores paso a paso Nema 23 y por el control On/Off de la herramienta de fresado.
- Cada uno de los códigos “G” y “M” tienen una función determinada ya establecida para la maquina cnc.
- Los conductores empleados cumplen con la norma de caída de tensión menor al 3%.

- El prototipo de fresadora CNC se usa para el mecanizado en pequeña escala, y para ser utilizada en la industria debe ser ampliando el diseño mecánico, eléctrico y electrónico.
- Es posible diseñar e implementar una MHCNC como alternativa tecnológica de mecanizado de madera.
- Los materiales utilizados en el desbaste van de acuerdo a la capacidad del sistema mecánico y al tipo de herramienta utilizada.
- Las fresas se seleccionan según el espesor y el tipo de material.
- Es posible controlar una máquina Herramienta de fresado desde un computador utilizando el Control Numérico Computarizado.

RECOMENDACIONES

- Utilizar correctamente los códigos para no tener problemas en el mecanizado o daños en la máquina
- Para la selección de motores paso a paso es recomendable escoger motores cuyo torque sea el doble del valor calculado.
- Los acoples entre el eje del motor PAP y tornillo sin fin se recomienda construirlos con un material flexible, como el Nylon PA66.
- Evitar golpear los ejes guías de desplazamiento, para evitar la fricción.
- Los ejes de desplazamiento y el tornillo sin fin deben estar libres de residuos de viruta, para evitar atascamientos.
- Verificar que las instalaciones eléctricas y electrónicas estén en buenas condiciones, antes de realizar cualquier trabajo de mecanizado.
- Utilizar un gabinete que cumpla con las normas ISO, para mantener los elementos de control aislados de la viruta provocada por el desbaste de material.
- Parametrizar la velocidad de la herramienta al máximo para obtener un mejor acabado.
- Para tener una menor caída de tensión es necesario aumentar el calibre del conductor.
- Implementar un sistema de extracción de viruta.

RESUMEN

Se diseñó e implementó un prototipo de máquina herramienta de control numérico computarizado (MHCNC), para el fresado de madera destinado a la pequeña empresa maderera.

Para su diseño se empleó SolidWorks 2012 ya que facilita el diseño y ensamblaje de piezas; en su construcción se utilizó platinas, ángulos metálicos y planchas de aluminio compuesto; para el sistema de desplazamiento, se usó varillas lisas, tornillo sin fin y rodamientos.

El control automático del fresado, se realizó con la tarjeta TB6560AHQ, que ofrece en su circuito: drives de motores paso a paso (PAP), control On/Off del husillo y además cuenta con un puerto paralelo para la comunicación con la Pc.

Con los programas: AutoCAD y Mach3Mill se facilitó el diseño y generación de código G (Control Numérico) para el control automático.

Con las pruebas eléctricas, electrónicas y de software realizadas durante el mecanizado de piezas, el prototipo de fresadora obtuvo una resolución y exactitud de 0.0014mm.

En conclusión, el MHCNC diseñado y construido, puede mecanizar todo tipo de derivados de madera de varios mm de espesor.

Por ser un prototipo a pequeña escala, el espacio de trabajo tiene dimensiones de formato A3.

Palabras Claves: /MÁQUINAS HERRAMIENTAS/ CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO/ DESARROLLO DE PROTOTIPOS/ FRESADORAS (PROTOTIPO)/ PROCESO DE FRESADO/.

SUMMARY

It designed and implemented a prototype machine tool of computer numerical control (MHCNC) for wood milling addressed to wooden small business.

At the development of the design used SolidWorks 2012 that allows the design and assembly of parts. In its construction used plates, metal angles, aluminum composite sheets and for its displacement system used smooth rods, worm and bearings.

The automatic control of milling made with the card TB6560AHQ which contains driver's circuits for stepper motors (SM), control On / Off in the spindle, beside the automatic control contains a parallel port to communicate with the computer.

The AutoCAD and Mach3Mill programs facilitated the design and generation code G (Numerical Control) for the automatic control.

Through the application of electrical and software testing developed during the operation of its parts, the prototype of the milling machine got a correctness of 0.0014mm.

In conclusion the MHCNC can operate with all materials that are made of wood which contain different mm of size.

It is a small scale prototype which area to work has a size of A3 format.

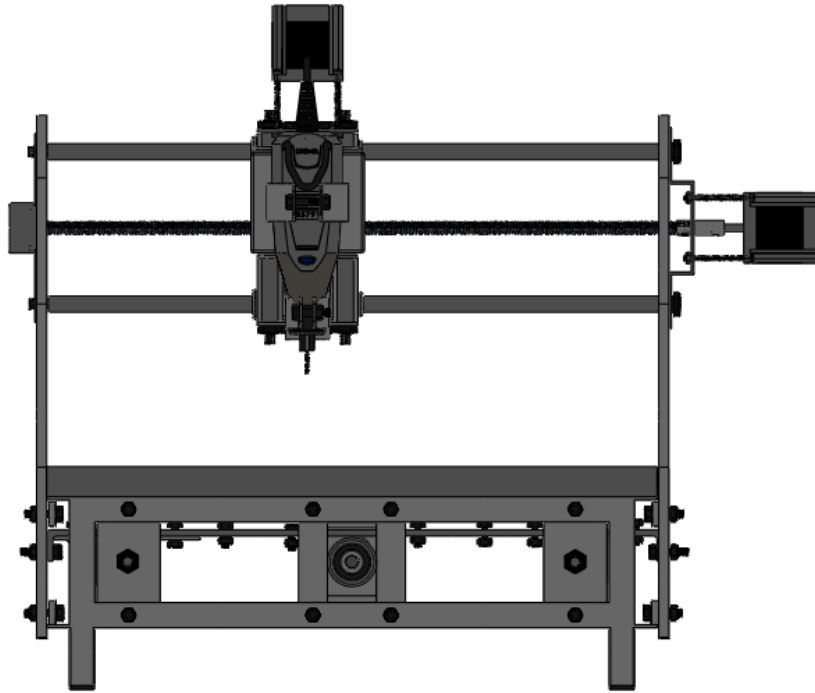
Key Words: /MACHINE TOOL/ COMPUTER NUMERICAL CONTROL/
DEVELOPMENT OF PROTOTYPES/ MILLING (PROTOTYPE)/ MILLING
PROCESS/.

ANEXOS

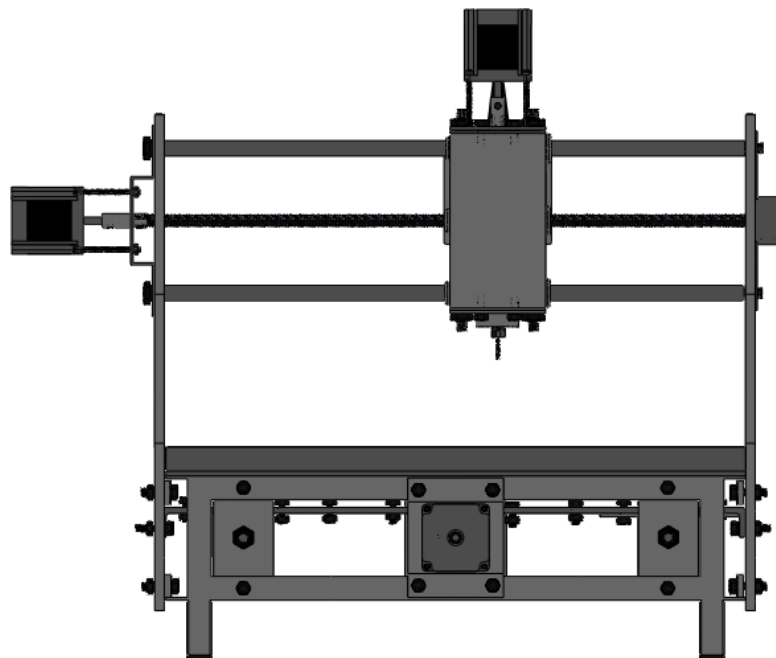
ANEXO I

DISEÑO MECÁNICO

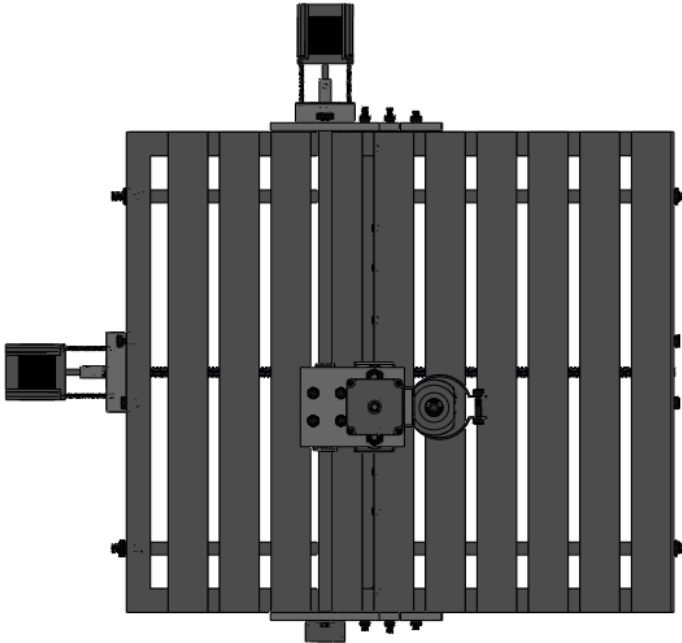
1. VISTA FRONTAL



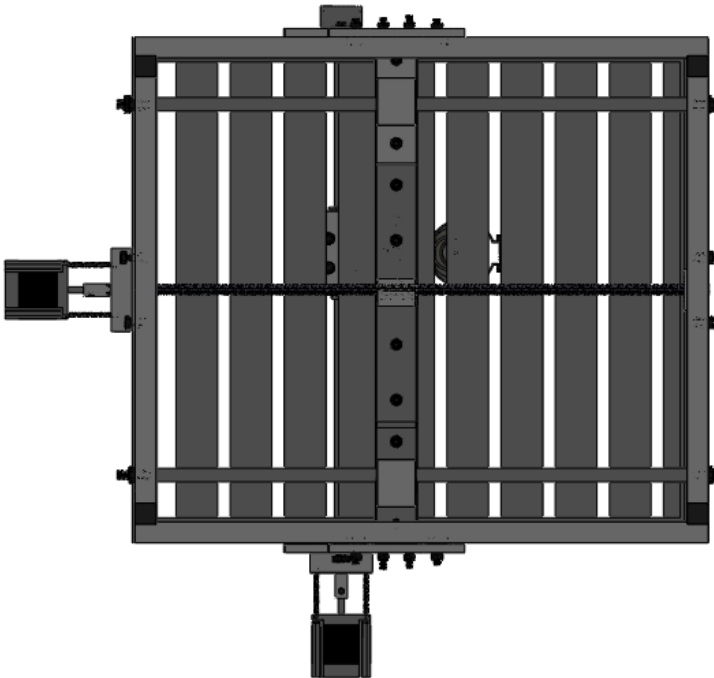
2. VISTA POSTERIOR



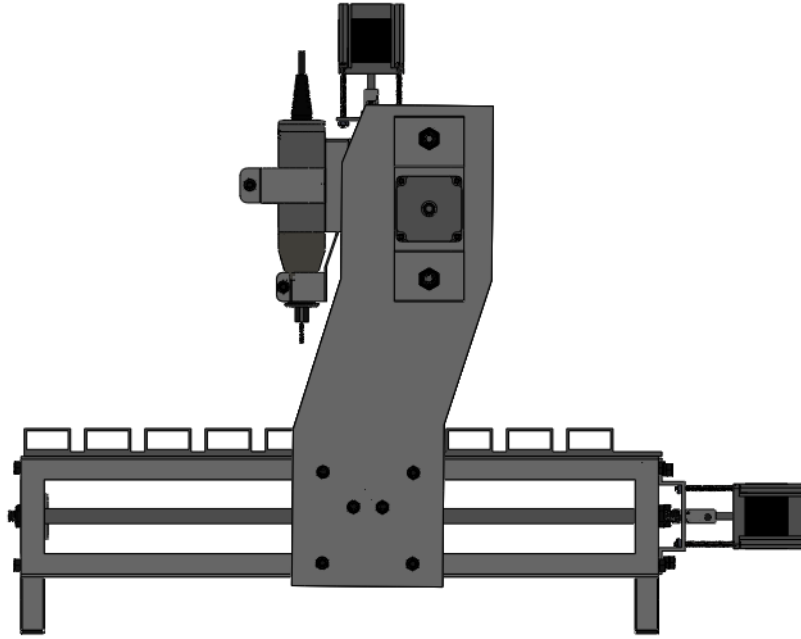
3. VISTA SUPERIOR



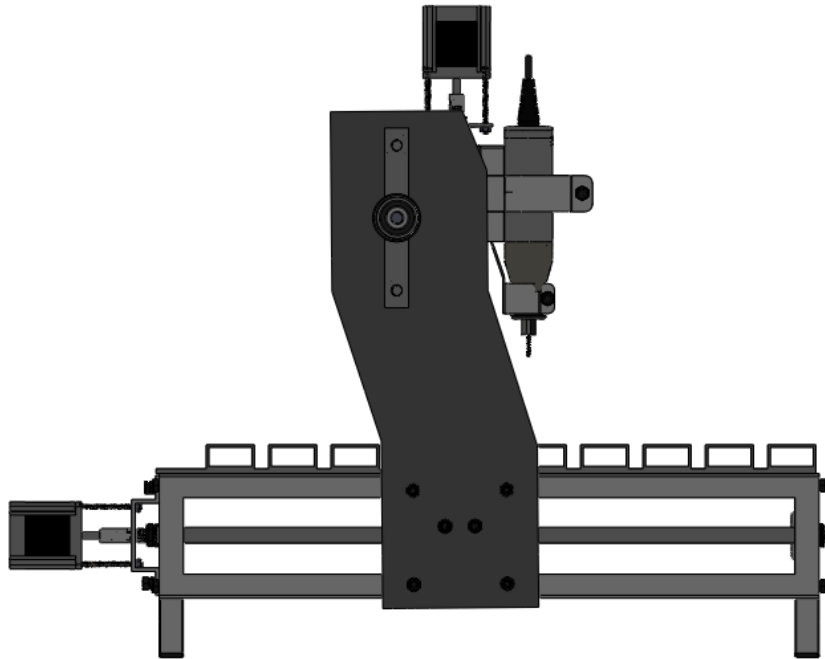
4. VISTA INFERIOR



5. VISTA LATERAL DERECHA



6. VISTA LATERAL IZQUIERDA



ANEXO II
CÓDIGOS G Y M

CÓDIGOS G

G-CODE	FUNCTIONS	G-CODE	FUNCTIONS
G0	Avance Rápido	G53	Moverse en la máquina en coordenadas absolutas
G1	Interpolación Lineal	G54-G59	Selección del sistema 1 de coordenadas de trabajo 1 a 6
G2	Interpolación circular horaria	G61	Modo de parada exacta
G3	Interpolación circular anti-horaria	G64	Modo de Velocidad constante
G4	Temporización	G73	Ciclo fijo de taladrado retroceso
G10	Colocar en el origen del programa	G80	Cancelar modo de ciclo fijo
G12	Circular horario	G81	Ciclo fijo de taladrado
G13	Circular antihorario	G82	Ciclo fijo perforación con temporización
G15	Movimiento en coordenadas polares en G0 y G1	G83	Ciclo de taladrado profundo
G16	Cancelar movimiento en coordenadas polares en G0 y G1	G84	Ciclo de roscado con mano
G17	Plano XY seleccionado	G85	Ciclo fijo de escarificado
G18	Plano XZ seleccionado	G86	Parada del cabezal, salida rápida
G19	Plano YZ seleccionado	G87	Ciclo de prerforado sencillo
G20	Entrada de datos en pulgadas	G88	Taladrado con tiempo de espera en el fondo
G21	Entrada de datos en milímetros	G89	Profundidad del agujero en el ciclo de perforado
G28	Ir a posición de referencia cero	G90	Programación en Coordenadas absolutas
G30	Regresar al segundo punto de referencia	G91	Programación en Coordenadas incrementales
G28.1	Ejes de referencia	G92	Establecer coordenadas y parámetros de compensación
G31	Sonda Recta	G92.1	Restablecer la compensación de parámetros G92
G40	Cancelar compensación en el corte	G92.2	Compensación, dejando intactos los parámetros G92
G41	Compensación en el corte a la izquierda	G92.3	Recordar G92 a partir de parámetros
G42	Compensación en el corte a la derecha	G93	Coordenadas Polares
G43	Compensación en la longitud de la herramienta	G94	F en mm/min
G49	Cancelar compensación en la longitud de la herramienta	G95	F en mm/rev
G50	Cancelar la escala	G98	Vuelta al plano de seguridad
G51	Escala	G99	Vuelta al plano de referencia

CÓDIGOS M

M-CODE	FUNCTIONS
M0	Parada del Programa
M1	Parada condicional del programa
M2	Final del programa
M3	Arranque del husillo en sentido horario
M4	Arranque del husillo en sentido antihorario de herramienta
M5	Parada del husillo
M6	Cambo de herramienta
M7	Refrigerante de niebla
M8	Refrigerante por inmersión
M9	Apagado de todos los refrigerantes
M30	Final del programa con reseteo de variables.
M47	Repetición del programa desde la primera línea
M48	Activar la velocidad de avance y el reemplazo de alimentación
M49	Desactivar la velocidad de avance y el reemplazo de alimentación
M98	Llamar a subrutina
M99	Volver desde la subrutina

ANEXO III

DATASHEET TB6560AHQ

TOSHIBA BiCD Integrated Circuit Silicon Monolithic

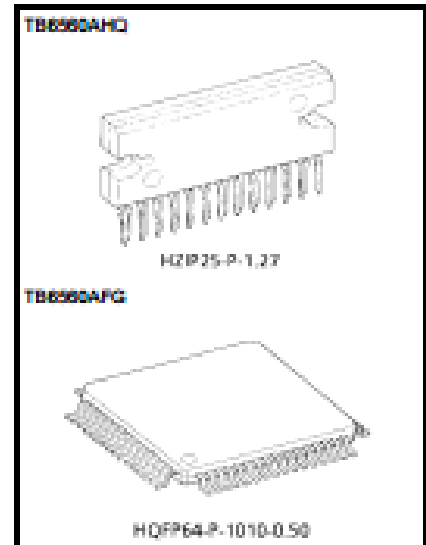
TB6560AHQ, TB6560AFG

PWM Chopper-Type Bipolar Driver IC for Stepping Motor Control

The TB6560AHQ/AFG is a PWM chopper-type stepping motor driver IC designed for sinusoidal-input microstep control of bipolar stepping motors. The TB6560AHQ/AFG can be used in applications that require 2-phase, 1-2-phase, 2W1-2-phase and 4W1-2-phase excitation modes. The TB6560AHQ/AFG is capable of low-vibration, high-performance forward and reverse driving of a two-phase bipolar stepping motor using only a clock signal.

Features

- Single-chip motor driver for sinusoidal microstep control of stepping motors
- High output withstand voltage due to the use of BiCD process:
 - Ron (upper and lower sum) =
 - TB6560AHQ: 0.6 Ω (typ.)
 - TB6560AFG: 0.7 Ω (typ.)
- Forward and reverse rotation
- Selectable phase excitation modes (2, 1-2, 2W1-2 and 4W1-2)
- High output withstand voltage: V_{DS} = 40 V
- High output current: I_{OUT} = TB6560AHQ: 3.5 A (peak)
 TB6560AFG: 2.5 A (peak)
- Packages: HZIP25-P-1.27
 HQFP64-P-1010-0.50
- Internal pull-down resistors on inputs: 100 kΩ (typ.)
- Output monitor pin: M_O current (I_{MO}) (max) = 1 mA
- Reset and enable pins
- Thermal shutdown (TSD)



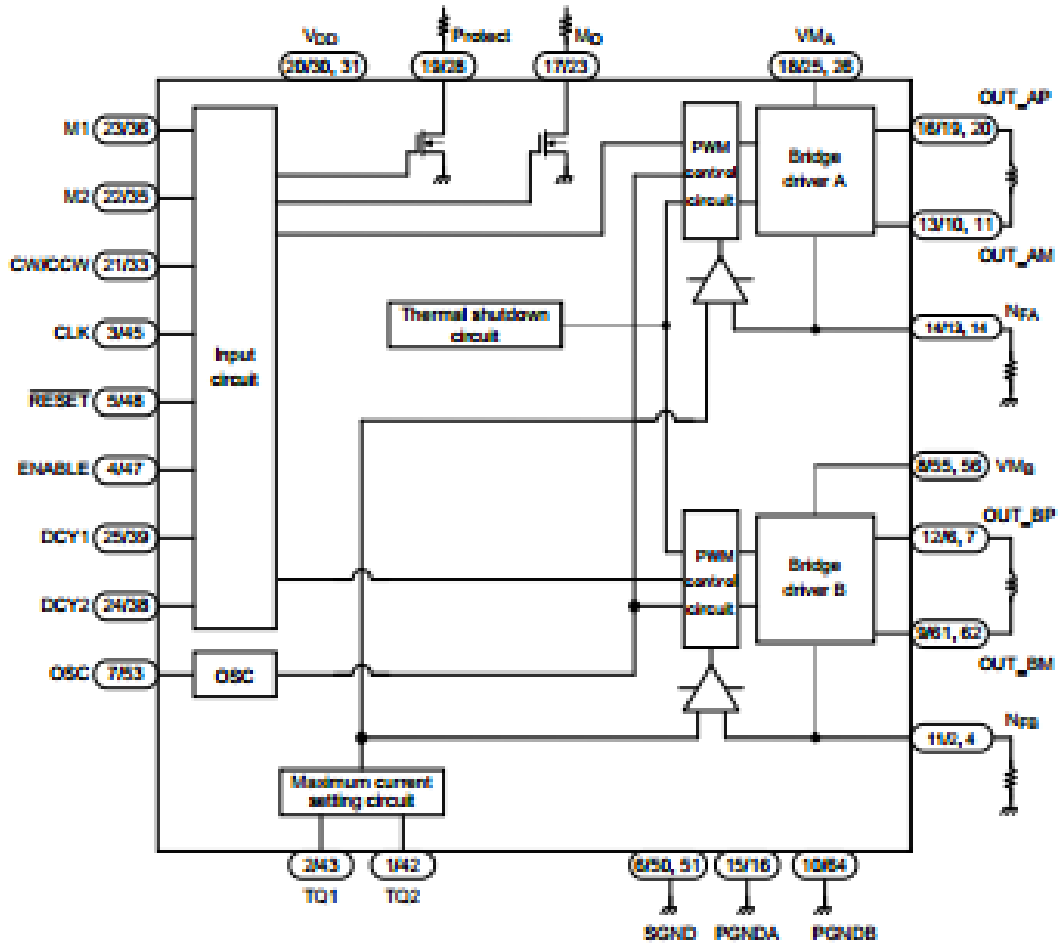
Weight
 HZIP25-P-1.27: 9.86 g (typ.)
 HQFP64-P-1010-0.50: 0.26 g (typ.)

***Solderability**

1. Use of Sn-37Pb solder bath
 - *solder bath temperature = 230°C
 - *dipping time = 5 seconds
 - *number of times = once
 - *use of R-type flux
2. Use of Sn-3.0Ag-0.5Cu solder bath
 - *solder bath temperature = 245°C
 - *dipping time = 5 seconds
 - *the number of times = once
 - *use of R-type flux

*: These ICs are highly sensitive to electrostatic discharge. When handling them, ensure that the environment is protected against electrostatic discharge. Ensure also that the ambient temperature and relative humidity are maintained at reasonable level.

Block Diagram



TB6560AHQ/TB6560AFG

Pin Functions

Pin No.		IO	Symbol	Functional Description	Remarks
TB6560AHQ	TB6560AFG				
1	42	Input	TQ2	Torque setting input (current setting)	Internal pull-down resistor
2	43	Input	TQ1	Torque setting input (current setting)	Internal pull-down resistor
3	45	Input	CLK	Clock input for microstepping	Internal pull-down resistor
4	47	Input	ENABLE	H: Enable; L: All outputs OFF	Internal pull-down resistor
5	48	Input	<u>RESET</u>	L: Reset (The outputs are reset to their initial states.)	Internal pull-down resistor
6	50/51	—	SGND	Signal ground (for control block)	(Note 1)
7	53	—	O5C	A CR oscillation circuit is connected to this pin. Performs output chopping.	
8	55/56	Input	VM _B	Motor power supply pin (for phase-B driver)	(Note 1)
9	61/62	Output	OUT _{BM}	OUT _B output	(Note 1)
10	64 (*)	—	PGND _B	Power ground	
11	24 (*)	—	N _B	Connection pin for a B-channel current sensing resistor Two pins of the TB6560AFG should be short-circuited.	(Note 1)
12	67	Output	OUT _{BP}	OUT _B output	(Note 1)
13	10/11	Output	OUT _{AM}	OUT _A output	(Note 1)
14	13/14 (*)	—	N _A	Connection pin for an A-channel current sensing resistor Two pins of the TB6560AFG should be short-circuited.	(Note 1)
15	16	—	PGND _A	Power ground	
16	19/20	Output	OUT _{AP}	OUT _A output	(Note 1)
17	23	Output	M ₀	Initial state sensing output. This pin is enabled in the initial state.	Open drain
18	25/26	Input	VM _A	Motor power supply pin (for phase-A driver)	(Note 1)
19	28	Output	Protect	When TSD is activated: High; when in normal state: High-Z.	Open drain
20	30/31	Input	V _{DD}	Power supply pin for control block	(Note 1)
21	33	Input	CRWCCW	Rotation direction select input. L: Clockwise; H: Counterclockwise	Internal pull-down resistor
22	35	Input	M ₂	Excitation mode setting input	Internal pull-down resistor
23	36	Input	M ₁	Excitation mode setting input	Internal pull-down resistor
24	38	Input	DCY2	Current decay mode setting input	Internal pull-down resistor
25	39	Input	DCY1	Current decay mode setting input	Internal pull-down resistor

(*): The pin assignment of the TB6560AFG is different from that of the TB6560FG.

TB6560AHQ: There is no no-connect (NC) pin.

TB6560AFG: Except the above pins, all pins are NC. The pin numbers of NC pins are: 1, 3, 5, 8, 9, 12, 15, 17, 18, 21, 22, 24, 27, 29, 32, 34, 37, 40, 41, 44, 46, 49, 52, 54, 57, 58, 59, 60, and 63.

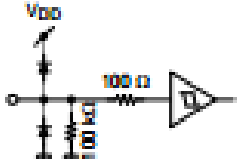

Applying a voltage to NC pins does not cause any problem since they are not connected inside the IC.

All control input pins have an internal pull-down resistor of 100 kΩ (typ.)

Note 1: As for the TB6560AFG, two pins that have the same functionality should be short-circuited at a location as close to the TB6560AFG as possible.

(The electrical characteristics provided in this document are measured when those pins are handled in this manner.)

Equivalent Circuits

Input Pins (M1, M2, CLK, CWCCW, TO1, TO2, ENABLE, RESET, DCY1, DCY2)	Output Pins (M ₀ , Protect)
	

ANEXO IV

ELEMENTOS PARA VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

ALTERNATIVA

ENCUESTA

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES INDUSTRIALES

1.- ¿Cree usted que es necesario el empleo de nuevas tecnologías en el proceso de fresado de madera y sus derivados?

SI..... NO.....

2.- ¿Estaría dispuesto a invertir en la adquisición de una máquina CNC, que mejore su producción?

SI..... NO.....

3.- ¿Estaría ud. en la capacidad de operar una MHCNC?

SI..... NO.....

4.- En caso de responder no a la pregunta 3. ¿Accedería a recibir una capacitación del funcionamiento de la MHCNC?

SI..... NO.....

5.- ¿Cómo calificaría del 1 al 10 la idea de construir MHCNC que mejoren el proceso de grabado y tallado en madera, en nuestro medio?

Excelente..... (9-10)

Buena..... (7-8)

Regular..... (4-6)

Malo..... (1-3)

Gracias

Tabulación de Datos

Se realizó una encuesta para conocer si existe demanda para la MHCNC como una hipótesis alternativa.

La población corresponde a manufactureros de material didáctico en madera, carpinteros, teniendo como muestra una población $M=10$.

Tabla I: Tabulación de datos encuestados

Fuente: Autores

	SI		NO	
	RESPUESTAS	PORCENTAJE	RESPUESTAS	PORCENTAJE
Pregunta 1	10	100%	0	0%
Pregunta 2	10	100%	0	0%
Pregunta 3	6	60%	4	40%
Pregunta 4	10	100%	0	0%

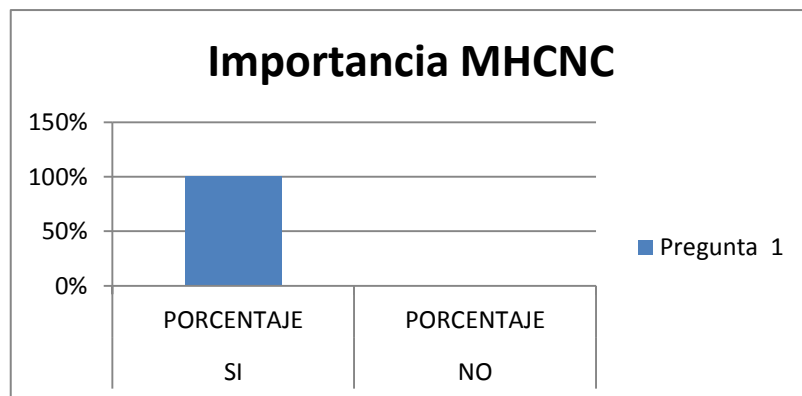


Figura I: Gráfico estadístico de la pregunta 1

Fuente: Autores

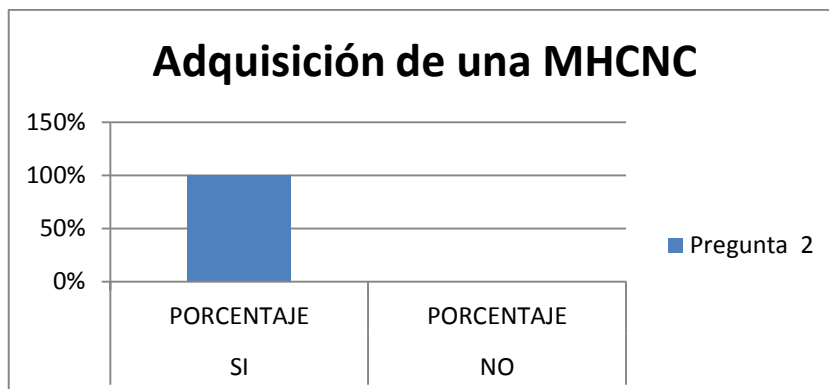


Figura II: Gráfico estadístico de la pregunta 2

Fuente: Autores

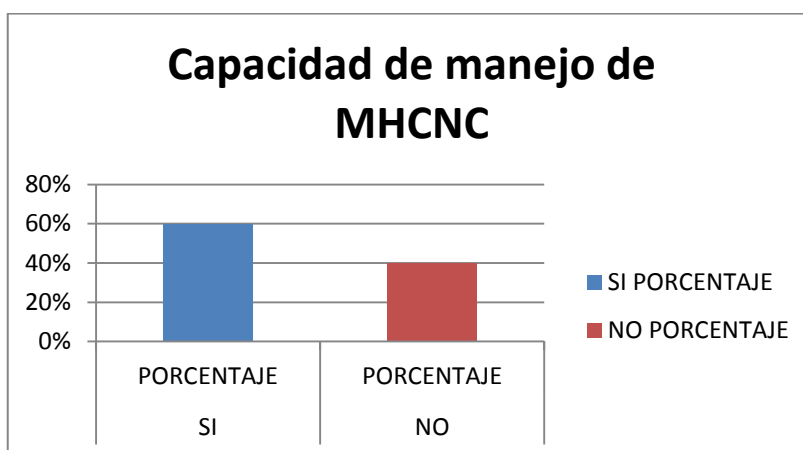


Figura III: Gráfico estadístico de la pregunta 3

Fuente: Autores

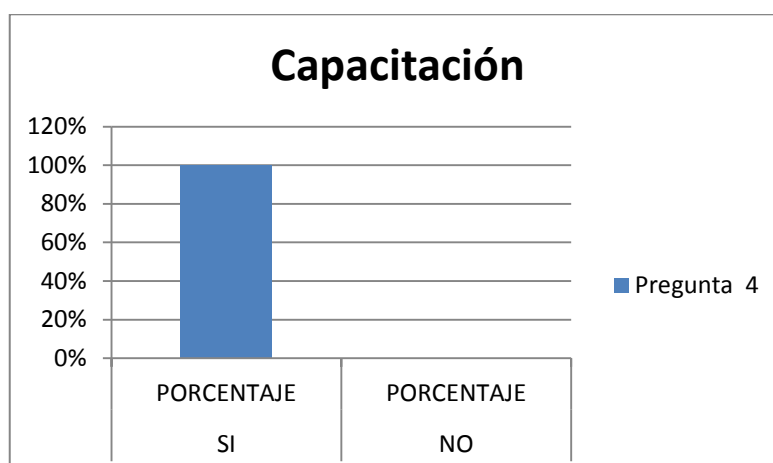


Figura IV: Gráfico estadístico de la pregunta 4

Fuente: Autores

Para validar la hipótesis alternativa, se toman los siguientes datos:

Tabla II: Tabulación de datos para la validación

Fuente: Autores

CALIFICACIÓN	RESPUESTAS	PORCENTAJE
Excelente	7	70,00%
Buena	2	20,00%
Regular	1	10,00%
Mala	0	0,00%
Total	10	100,00%



Figura V: Gráfico estadístico de Tabulación

Fuente: Autores

Chi-Cuadrado

Para la validación de la hipótesis de la presente tesis se utiliza el método estadístico Ji-Cuadrado (Chi Cuadrado). Este estadístico es utilizado en variables cualitativas. El estadístico Chi-Cuadrado, con la prueba de bondad de ajuste (Estudia a un único grupo en la investigación), se define por la Ecuación 5.1, y se usa para comparar las frecuencias observadas con las frecuencias esperadas.

$$X^2 = \sum_{i=1}^{gl} \frac{(FO - FE)^2}{FE} \quad (\text{Ecu. I})$$

Prueba de Bondad de ajuste de Hipótesis

1. Plantear la Hipótesis

H₀: No es posible diseñar e implementar una MHCNC, como alternativa tecnológica para los procesos de manufactura.

H_A: Es posible diseñar e implementar una MHCNC, como alternativa tecnológica para los procesos de manufactura.

2. El nivel de significación a emplear es el 5%, por ser la presente tesis un proyecto de investigación de consumo.

$$\sigma = 0.05$$

3. Calculamos la frecuencia esperada

$$FE = p * FO_{TOTAL} \quad (Ecu. II)$$

$$p = \text{Probabilidad} = \frac{1}{4}$$

$$FO_{TOTAL} = 10$$

$$FE = \frac{1}{4} * 10$$

$$FE = 2.5$$

σ: Nivel de Significación o nivel de riesgo

p: Proporción muestral

4. Para realizar este contraste se disponen los datos en una tabla de frecuencias.

Tabla III: Contraste de FE y FO

Fuente: Autores

CALIFICACIÓN	EXCELENTE	BUENA	REGULAR	MALA
FO	7	2	1	0
FE	2.5	2.5	2.5	2.5

5. Los grados de libertad para la prueba de bondad de la presente tesis son:

$$Gl = (kt - 1) - c \quad (Ecu. III)$$

Gl: Grados de libertad

C: Número de decimales de la FE

Observando la tabla V., se tiene que $K=4$ y $C=1$, con los cuales calculamos los grados de libertad.

$$Gl = (kt - 1) - c$$

$$Gl = (4 - 1) - 1$$

$$Gl = 2$$

Con $Gl=2$ y $\sigma = 0.05$, obtenemos de la tabla de valores críticos del chi-cuadrado.

$$X^2_{Tabla} = 5.99$$

Y procedemos a encontrar el $X^2_{Calculado}$

$$X^2_{Calculado} = \sum_{i=1}^{Gl} \frac{(FO - FE)^2}{FE}$$

$$X^2_{Calculado} = \frac{(7 - 2.5)^2}{2.5} + \frac{(2 - 2.5)^2}{2.5} + \frac{(1 - 2.5)^2}{2.5} + \frac{(0 - 2.5)^2}{2.5}$$

$$X^2_{Calculado} = 8.1 + 0.1 + 0.9 + 2.5$$

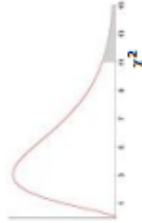
$$X^2_{Calculado} = 11.6$$

Decisión: Debido a que $X^2_{Calculado} = 11.6$ es mayor que $X^2_{Tabla} = 5.991$, se rechaza la H_0 (Nula) y se acepta la hipótesis H_A (Alternativa), por lo tanto se concluye que: “Es posible diseñar e implementar una MHCNC, como alternativa tecnológica para los procesos de manufactura”.

TABLA DE VALORES CRITICOS DEL CHI-CUADRADO

Tabla D.7: VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN JI CUADRADA

Cátedra: Probabilidad y Estadística
Facultad Regional Mendoza
UTN



g.d.l	0,001	0,005	0,01	0,02	0,025	0,03	0,04	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	g.d.l
1	10,828	7,879	6,635	5,412	5,024	4,709	4,218	3,841	2,706	2,072	1,642	1,333	1,074	0,873	0,708	1
2	13,816	10,597	9,210	7,824	7,378	7,013	6,438	5,991	4,605	3,794	3,219	2,773	2,408	2,100	1,833	2
3	16,266	12,838	11,345	9,837	9,348	8,947	8,311	7,815	6,215	5,317	4,642	4,108	3,665	3,283	2,946	3
4	18,467	14,860	13,277	11,668	11,143	10,712	10,026	9,488	7,779	6,745	5,989	5,385	4,878	4,438	4,045	4
5	20,515	16,750	15,086	13,388	12,833	12,375	11,644	11,070	9,236	8,115	7,289	6,626	6,064	5,573	5,132	5
6	22,458	18,548	16,812	15,033	14,449	13,968	13,198	12,592	10,645	9,446	8,588	7,841	7,231	6,695	6,211	6
7	24,322	20,278	18,475	16,622	16,013	15,509	14,703	14,067	12,017	10,748	9,803	9,037	8,383	7,806	7,283	7
8	26,124	21,955	20,090	18,168	17,535	17,010	16,171	15,507	13,362	12,027	11,030	10,219	9,524	8,909	8,351	8
9	27,877	23,589	21,666	19,679	19,023	18,480	17,608	16,919	14,684	13,242	12,242	11,389	10,656	10,006	9,414	9
10	29,588	25,188	23,209	21,161	20,483	19,922	19,021	18,307	15,987	14,534	13,442	12,549	11,781	11,097	10,473	10
11	31,264	26,757	24,725	22,618	21,920	21,342	20,412	19,675	17,275	15,767	14,631	13,701	12,899	12,184	11,530	11
12	32,909	28,300	26,217	24,054	23,337	22,742	21,785	21,026	18,549	16,989	15,812	14,845	14,011	13,266	12,584	12
13	34,528	29,819	27,688	25,472	24,736	24,125	23,142	22,362	19,812	18,202	16,985	15,984	15,119	14,345	13,636	13
14	36,123	31,319	29,141	26,873	26,119	25,493	24,485	23,685	21,064	19,406	18,151	17,117	16,222	15,421	14,685	14
15	37,697	32,801	30,578	28,259	27,488	26,848	25,816	24,996	22,307	20,603	19,311	18,245	17,322	16,494	15,733	15
16	39,252	34,267	32,000	29,633	28,845	28,191	27,136	26,296	23,542	21,793	20,465	19,369	18,418	17,565	16,780	16
17	40,790	35,718	33,409	30,995	30,191	29,523	28,445	27,587	24,769	22,977	21,615	20,489	19,511	18,633	17,824	17
18	42,312	37,156	34,805	32,346	31,526	30,845	29,745	28,869	25,989	24,155	22,760	21,605	20,601	19,699	18,868	18
19	43,820	38,582	36,191	33,687	32,852	32,158	31,037	30,144	27,204	25,329	23,900	22,718	21,689	20,764	19,910	19
20	45,315	39,997	37,566	35,020	34,170	33,462	32,321	31,410	28,412	26,498	25,038	23,828	22,775	21,826	20,951	20
21	46,797	41,401	38,932	36,343	35,479	34,759	33,597	32,671	29,615	27,662	26,171	24,935	23,858	22,888	21,991	21
22	48,268	42,796	40,289	37,659	36,781	36,049	34,867	33,924	30,813	28,822	27,301	26,039	24,939	23,947	23,031	22
23	49,728	44,181	41,638	38,968	38,076	37,332	36,131	35,172	32,007	29,979	28,439	27,141	26,018	25,006	24,069	23
24	51,179	45,559	42,980	40,270	39,364	38,609	37,389	36,415	33,196	31,132	29,553	28,241	27,096	26,063	25,106	24
25	52,620	46,928	44,314	41,566	40,646	39,860	38,642	37,652	34,382	32,282	30,675	29,339	28,172	27,118	26,143	25
26	54,052	48,290	45,642	42,856	41,923	41,146	39,889	38,885	35,653	33,429	31,795	30,435	29,246	28,173	27,179	26
27	55,476	49,645	46,963	44,140	43,195	42,407	41,132	40,113	36,781	34,574	32,912	31,528	30,319	29,227	28,214	27
28	56,892	50,993	48,278	45,419	44,461	43,662	42,370	41,337	37,916	35,715	34,027	32,620	31,391	30,279	29,249	28
29	58,301	52,336	49,588	46,693	45,722	44,913	43,604	42,557	39,087	36,854	35,139	33,711	32,461	31,331	30,283	29
30	59,703	53,672	50,892	47,962	46,979	46,160	44,834	43,773	40,256	37,990	36,259	34,800	33,530	32,382	31,316	30
31	61,098	55,003	52,191	49,226	48,232	47,402	46,059	44,985	41,422	39,124	37,359	35,887	34,598	33,431	32,349	31
32	62,487	56,328	53,486	50,487	49,480	48,641	47,282	46,194	42,585	40,256	38,466	36,973	35,665	34,480	33,381	32
33	63,870	57,648	54,776	51,743	50,725	49,876	48,500	47,400	43,745	41,386	39,572	38,058	36,731	35,529	34,413	33
34	65,247	58,964	56,061	52,995	51,966	51,107	49,716	48,602	44,903	42,514	40,676	39,141	37,795	36,576	35,444	34
35	66,619	60,275	57,342	54,244	53,203	52,335	50,928	49,802	46,059	43,640	41,778	40,223	38,859	37,623	36,475	35
40	73,402	66,766	63,691	60,436	59,342	58,428	56,946	55,758	51,805	49,244	47,269	45,616	44,165	42,848	41,622	40
60	99,607	91,952	88,379	84,580	83,298	82,225	80,459	79,082	74,397	71,341	68,972	66,927	65,227	63,628	62,135	60
80	124,839	116,321	112,329	108,069	106,629	105,422	103,459	101,879	96,578	93,106	90,405	88,130	86,120	84,284	82,566	80
90	137,208	128,299	124,116	119,648	118,336	117,166	115,000	113,145	107,565	103,904	101,054	98,650	96,524	94,581	92,761	90
100	149,449	140,169	135,807	131,142	129,561	128,237	126,079	124,342	118,498	114,657	110,659	109,141	106,906	104,862	102,946	100
120	173,617	163,648	158,950	153,918	152,211	150,780	148,447	146,567	140,233	136,062	132,806	130,055	127,616	125,383	123,289	120
140	197,451	186,847	181,840	176,471	174,648	173,118	170,624	168,613	161,827	157,352	153,854	150,894	148,269	145,863	143,604	140

ANEXO V

FOTOS





REFERENCIAS

- [1] Tec-Magazine, I. T. (2010). *Principios de Control Numérico*. Recuperado de <http://itstepeaca.edu.mx/e-magazine/vol1,%20num%201/CNC1.pdf>
- [2] Fresadora. (2001). *Diccionario de la lengua española* (22ed.). Recuperado de <http://www.wordreference.com/definicion/la%20fresa>
- [3] Teruel Cruz, F. (2004). *En control numérico y programación: Sistemas de fabricación de máquinas automatizadas*. 2da. ed. Barcelona, España: Marcombo.Pp 1-3.
- [4] Gómez Millan, S. (2012). *Fabricación por Arranque de Viruta*. Madrid, España: Parainfo S.A. pp. 250-294.
- [5] Fresado (s.f.). *Sandvik Coromant*. Recuperado de <http://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/pages/default.aspx> 31/01/2014

- [6] Leyva, J. (2009). *Introducción al sistema de control de procesos: presión, caudal, temperatura y nivel*. (Tesis Ing. Mecánico Electricista). Universidad Veracruzana. Xalapa, Mexico.
- [7] Ginjaume, A. & Torres, F. (2005). *Realización de proyectos y piezas en las máquinas herramientas*. Madrid, España: Paraninfo. 265 p.
- [8] Ramos, J. C. (2003). *Parámetros de Motores PAP*. Recuperado de <http://www.iesleonardo.info/ele/pro/CURSO%202002-2003/Juan%20Carlos%20de%20Pedro%20Ramos/motores%20paso%20a%20paso.htm>
- [9] Sepulveda, C. (2012). Servomotores. *Metalactual*. (Edición 25.). Recuperado de http://www.metalactual.com/revista/25/maquinaria_servo.pdf
- [10] Arnesto, J. & Vigo, U. (2007). *Servomotores*. Recuperado de http://tv.uvigo.es/uploads/material/Video/1709/ISAD_Tema7_2.pdf
- [11] *Puerto Paralelo*. (s.f.). Centro Integrado Politecnico ETI Tudela. Puerto Paralelo. <http://www.etitudela.com/fpm/comind/downloads/elpuertoparalelo.pdf>
- [12] Larrosa, F. (2000). *Conexión y Programación del puerto paralelo*. Recuperado de <http://mimosa.pntic.mec.es/~flarrosa/puerto.pdf>
- [13] Características técnicas del Arduino Uno. (2013). Recuperado de <http://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/ralvgon/files/2013/05/Caracter%20C3%ADsticas-Arduino.pdf>

BIBLIOGRAFIA

- Falk, D. (2000). *Metalotecnia Fundamental*. Barcelona, España: Revertè. 353 p.
- Gerling, H. (2006). *Alrededor de las Máquinas- Herramienta*. 3ra ed. Barcelona, España: Revertè S.A. 273 p.
- Kalpakjian, S. & Schmid, S. (2002). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. 4ta. ed. Mexico: Prentice Hall. pp. 601-851.
- Gómez Millan, S. (2012). *Fabricación por Arranque de Viruta*. Madrid, España: Parainfo S.A. pp. 250-294
- Gómez Millan, S. (2010). *Procedimientos de Mecanizado*. 2da. ed. Madrid, España: Parainfo S.A. 410 p.
- Higuera García, A. & Castillo García, F. (2007). *CIM, el computador en la automatización de la producción*. Madrid, España: Universidad de Castilla-La Mancha. 270 p.

- Boon, G. & Mercado, A. (s.f.). *Automatización Flexible en la Industria: Difusión y Producción de Máquinas-Herramienta de Control Numérico en América Latina*. Mexico. Limusa. 244 p.
- Jimenez, R. (2003). Facultad de Ingeniería - Universidad de Buenos Aires. *U4-Control Numerico por Computadora*. Recuperado de <http://materias.fi.uba.ar/7565/U4-control-numerico-por-computadora.pdf>.
- Escuela Tecnica Superior de Ingeniería. (s.f.). Mecanizado or Arranque De Viruta. *Modulo III*. Recuperado de http://www.ehu.es/manufacturing/docencia/723_ca.pdf.
- *El Hardware del puerto paralelo*. (s.f.). Universidad del Azuay. Recuperado de http://www.uazuay.edu.ec/estudios/sistemas/teleproceso/apuntes_1/puerto_paralelo.htm
- Shinano Kenshi. (2013). Motor Paso a Paso. *Full line catalog*. Recuperado de http://www.shinano.in/motors/ABV_Full-line_Catalog.pdf
- *HY-TB4DV-M 4 Axis Driver*. (2011). Recuperdo de <http://www.bergfiles.com/i/bf3a172579h17i0>
- Control Numérico-CNC. (2001). El Prisma. Biblioteca Virtual. Recuperado de http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/controlnumericocnc/default19.asp.