



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

EXTENSIÓN LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE
TORNO FRESADOR DE CONTROL NUMÉRICO
COMPUTARIZADO PARA EL LABORATORIO CNC DE LA
ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA.”**

WALTER DAVID NÚÑEZ BALLADARES

ANDRÉS MARCELO GORDÓN GARCÉS

Tesis presentada como requisito previo a la obtención del título de:

“INGENIERO MECATRÓNICO”

2013

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

NOSOTROS, NÚÑEZ BALLADARES WALTER DAVID
GORDÓN GARCÉS ANDRÉS MARCELO

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado **denominado “Diseño e implementación de un prototipo de torno fresador de control numérico computarizado para el Laboratorio CNC de la ESPE Extensión Latacunga.”** ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Marzo del 2013.

GORDÓN GARCÉS ANDRÉS MARCELO

NÚÑEZ BALLADARES WALTER DAVID

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICADO

ING. FAUSTO ACUÑA (DIRECTOR)

ING. HÉCTOR TERÁN (CODIRECTOR)

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado **“Diseño e Implementación de un prototipo de torno fresador de control numérico computarizado para el Laboratorio CNC de la ESPE Extensión Latacunga.”** realizado por los señores: GORDÓN GARCÉS ANDRÉS MARCELO y NÚÑEZ BALLADARES WALTER DAVID; ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Latacunga, Marzo del 2013.

ING. FAUSTO ACUÑA

DIRECTOR

ING. HÉCTOR TERÁN

CODIRECTOR

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

NOSOTROS, NÚÑEZ BALLADARES WALTER DAVID

GORDÓN GARCÉS ANDRÉS MARCELO

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “**Diseño e Implementación de un prototipo de torno fresador de control numérico computarizado para el Laboratorio CNC de la ESPE Extensión Latacunga.**” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Marzo del 2013.

GORDÓN GARCÉS ANDRÉS MARCELO

NÚÑEZ BALLADARES WALTER DAVID

DEDICATORIA

A mis padres José Y Yolita por su infinito amor, paciencia y comprensión; quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Es por ellos que soy lo que soy ahora. Los amo con mi vida.

Andrés Gordón

La concepción de este proyecto está dedicada a mis padres Walter y Martha; a mi hermana Lore, pilares fundamentales en mi vida. Su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar.

Walter David Núñez

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a los docentes de la Escuela Politécnica del Ejército Extensión Latacunga, por los conocimientos impartidos, especialmente a los Ingenieros Fausto Acuña y Héctor Terán, por sus aportes en la finalización de este trabajo. A nuestros amigos y personas que colaboraron en la realización de esta tesis.

GRACIAS.

ÍNDICE

PORTADA.....	i
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	ii
CERTIFICACIÓN.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE.....	vii
RESUMEN.....	xxi
ABSTRACT.....	xxii
PRESENTACIÓN.....	xxiii
CAPÍTULO I.....	1
GENERALIDADES	1
1.1 SISTEMAS CAD/CAM.	1
1.2 CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO (CNC).	2
1.2.1. Aplicaciones del control numérico computarizado.....	2
1.2.2. Códigos G.	3
1.3 TORNO - FRESADOR DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO.	4
1.3.1. Introducción.....	4

1.3.2.	Principio de funcionamiento.	5
1.3.3.	Herramientas de torneado y fresado.	5
a.	Herramientas de torneado.	5
b.	Herramientas de fresado.	6
1.3.4.	Operaciones del Torno-Fresadora.	7
a.	Cilindrado.....	7
b.	Refrentado.	7
c.	Ranurado.	8
d.	Fresado.....	9
e.	Aplanado/Planeado.....	9
1.3.5.	Parámetros de corte del torneado.	10
1.4	PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.	13
1.4.1.	Parámetros del aluminio.....	13
1.4.2.	Propiedades mecánicas de los aceros.....	14
1.5	SISTEMAS DE CONTROL.	15
1.5.1.	Sistema de control de lazo abierto.	16
1.5.2.	Sistema de control de lazo cerrado.	16
1.5.3.	Precisión, repetitividad y resolución.	17
1.6	ACTUADORES, ELEMENTOS DE CONTROL Y PROTECCIÓN.	18
1.6.1.	Motores eléctricos.	18
a.	Motores paso a paso.	20
b.	Servomotor.	20
1.6.2.	Sensores.	21
a.	Sensores de Proximidad.....	21

b. Sensores de Posicionamiento Angular.	23
1.7 NORMAS DE SEGURIDAD PARA EL TRABAJO CON MÁQUINAS HERRAMIENTAS.	26
1.7.1. Recomendaciones generales.	26
1.7.2. Seguridad antes del mecanizado.	27
1.7.3. Seguridad durante el mecanizado.	27
CAPÍTULO II.	29
DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO DEL PROTOTIPO DE TORNO FRESADOR CNC.	29
2.1 DISEÑO DEL PROTOTIPO DE TORNO - FRESADOR CNC.	29
2.2 PARÁMETROS DE DISEÑO MECÁNICO.	30
2.2.1. Diseño del sistema mecánico para el movimiento del eje Y.	33
2.2.2. Diseño del sistema mecánico para el movimiento del eje X.	36
2.2.3. Diseño del sistema mecánico para el movimiento del eje Z.	41
2.3 CÁLCULO DEL TORQUE PARA LAS ESTRUCTURAS.	42
2.4 SELECCIÓN DE LOS MOTORES PARA LOS EJES X, Y, Z.	46
2.5 SELECCIÓN DEL MOTOR PARA EL MANDRIL O EJE A.	47
2.6 DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS HUSILLOS DE BOLAS.	47
2.6.1. Diseño del husillo de bolas para el eje Z.	47
2.6.2. Diseño del husillo de bolas para los ejes Y, X.	49
2.6.3. Selección del husillo de bolas para los ejes Z.	51
2.6.4. Selección del husillo de bolas para los ejes X, Y.	51
2.7 SELECCIÓN DE ACOPLER FLEXIBLES.	52
2.8 DISEÑO Y SELECCIÓN DE GUÍAS.	52
2.9 DISEÑO DE LOS PORTAHERRAMIENTAS.	53

CAPÍTULO III.....	55
DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA CONTROL DEL PROTOTIPO DE TORNO FRESADOR CNC.	55
3.1 PARÁMETROS DE DISEÑO Y SELECCIÓN PARA EL SISTEMA DE CONTROL DEL PROTOTIPO DE TORNO FRESADOR CNC.....	55
3.1.1. Diseño del software.....	57
3.1.2. Selección del software.	58
➤ Mach3.....	58
3.1.3. Diseño de las tarjetas controladoras.	59
3.1.4. Selección de la tarjeta principal.....	60
3.1.5. Selección de la tarjeta de control para los ejes X, Y, Z.	63
3.1.6. Selección del la tarjeta de control para el eje A.....	68
3.1.7. Control para el mandril.	71
CAPÍTULO IV.....	72
IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA.....	72
4.1 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO.....	72
4.1.1. Implementación de la estructura de los ejes.	72
a. Implementación de la estructura del eje Z.	72
b. Implementación de la estructura del eje X.....	73
c. Implementación de la estructura del eje Y.	74
d. Implementación del mandril o eje A.....	74
4.1.2. Implementación del sistema mecánico de movimiento a la estructura principal.	75
4.1.3. Implementación de los portaherramientas.	75
a. Implementación del portaherramientas Torno-Fresadora.....	75
b. Implementación del portaherramientas Fresadora 4 ejes.....	76

4.2	IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL.....	76
4.2.1.	Finales de carrera e Interruptores de interferencia.....	76
4.2.2.	Caja principal de control para el sistema automático del Torno Fresador CNC.....	78
4.2.3.	Configuración del Mach3.....	78
a.	Configuración de unidades nativas.....	79
b.	Configuración de puertos y pines.....	80
c.	Sintonización de motores (Motor Tuning).....	84
d.	Configuración de la referencia de operación (HOMES).....	89
4.2.4.	Controles del programa Mach3.....	90
4.2.5.	Ingresar un programa de código G en Mach3.....	92
4.2.6.	Interfaz de comunicación hacia el sistema de control.....	93
4.3	PRUEBAS DEL SISTEMA MECÁNICO Y DE CONTROL.....	94
4.3.1.	Calibración de las tarjetas de control de los motores.....	94
4.3.2.	Desplazamiento de los carros a lo largo de las coordenadas X, Y, Z, A.....	94
4.3.3.	Encendido del mandril y del husillo.....	95
4.4	ENLACE CAD/CAM.....	96
4.5	PRUEBAS DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DEL PROTOTIPO TORNO-FRESADORA.....	98
4.5.1.	Cero absolutos o referencia de la máquina.....	98
4.5.2.	Mecanizado como Torno-Fresadora.....	98
a.	Referencia de la pieza para torneado y fresado.....	99
b.	Mecanizado de la pieza para torneado y fresado.....	100
4.5.3.	Mecanizado como Fresadora de 4 ejes.....	101
a.	Referencia de la pieza para fresado.....	101

b. Mecanizado de la pieza para fresado 4 ejes.....	102
4.6 MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	103
4.7 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	103
4.7.1. Cálculo de la resolución de la máquina.....	103
4.7.2. Cálculo de la precisión de la máquina.....	103
4.7.3. Pruebas de precisión y resolución en torneado.....	103
4.7.4. Pruebas de precisión y resolución en el Fresado.....	109
4.8 ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO.....	110
4.9 VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	111
CAPÍTULO V.....	113
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	113
5.1 CONCLUSIONES:.....	113
5.2 RECOMENDACIONES:.....	114
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	116
GLOSARIO.....	120
ANEXOS.....	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Valores de presión específica de corte para materiales blandos.	12
Tabla 1.2. Propiedades mecánicas y aplicaciones típicas de.	14
Tabla 2.1. Valores de presión específica de corte para materiales blandos.	32
Tabla 2.2. Parámetros de diseño.	33
Tabla 2.3. Tipos de motores QuickSilver Controls.	47
Tabla 3.1. Características de las tarjetas PC-2-Route modelo M2 y M2 OEM.	60
Tabla 3.2. Conexiones de la tarjeta Combo Board.	63
Tabla 4.1. Distribución de pines del adaptador.	93
Tabla 4.2. Muestras del cilindrado.	105
Tabla 4.3. Muestras del ranurado sinusoidal.	108
Tabla 4.4. Muestras de la posición en el ciclo de taladrado.	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Sistemas CAD.....	1
Figura 1.2: Sistemas CAM.	2
Figura 1.3: Torno-Fresadora CNC ⁵	4
Figura 1.4: Herramientas para torneado	6
Figura 1.5: Herramientas para fresado.	6
Figura 1.6: Cilindrado.....	7
Figura 1.7: Refrentado.....	8
Figura 1.8: Ranurado.	8
Figura 1.9: Fresado ⁹	9
Figura 1.10: Aplanado.....	10
Figura 1.11: Sistema de control de lazo abierto.....	16
Figura 1.12: Sistemas de control de lazo cerrado.....	17
Figura 1.13: Precisión y resolución	18
Figura 1.14: Tipos de motores	19
Figura 1.15: Motores paso a paso.	20
Figura 1.16: Servomotor.	21
Figura 1.17: Sensor capacitivo.....	22
Figura 1.18: Sensor inductivo.	22
Figura 1.19: Sensor de contacto.	23
Figura 1.20: Sensor infrarrojo.	23
Figura 1.21: Potenciómetro angular.....	24
Figura 1.22: Encoder incremental.	25

Figura 1.23: Encoder absoluto.	25
Figura 1.24: Protección personal.	27
Figura 2.1: Torno – Fresador didáctico IRON HAND CH-350LMA.	29
Figura 2.2: Estructura inicial del torno IRON HAND CH-350LMA.	30
Figura 2.3: Sistema de dextrógiro.	30
Figura 2.4: Mecanismo de movimiento del eje Y.	33
Figura 2.5: Pieza de la guía posterior con canales de lubricación.	34
Figura 2.6: Diagrama de cuerpo libre, fuerzas y momentos para el soporte de la guía frontal.	35
Figura 2.7: Escala de tensiones según el criterio de Von Mises.	36
Figura 2.8: Mecanismo de movimiento del eje X.	37
Figura 2.9: Traslación horizontal con carga normal.	38
Figura 2.10: Diagrama de cuerpo libre, fuerzas y momentos para los ejes guías.	39
Figura 2.11: Escala de tensiones según el criterio de Von Mises.	40
Figura 2.12: Mecanismo de movimiento para el eje Z.	41
Figura 2.13: Mesa transversal de aluminio con piezas de bronce fosfórico.	42
Figura 2.14: Fuerzas e inercias de la mesa de mecanizado.	42
Figura 2.15: Diagrama de cuerpo libre, fuerzas y momentos para el husillo de bolas.	48
Figura 2.16: Diagrama de cuerpo libre, fuerzas y momentos para el husillo de bolas.	50
Figura 2.17: Acoplamiento flexible de mordazas.	52
Figura 2.18: Guías de bronce fosfórico.	53

Figura 2.19: Portaherramientas 1 para el trabajo como torno y como fresadora.....	53
Figura 2.20: Portaherramientas 2 para el trabajo como fresadora de 4 ejes.	54
Figura 3.1: Esquema general del control.	55
Figura 3.2: Diagrama de flujo del controlador.	56
Figura 3.3: Diagrama de flujo del software.....	57
Figura 3.4: Diagrama de bloque de las tarjetas controladoras.....	59
Figura 3.5: pc-2-route modelo m2 rev. 1.8.....	61
Figura 3.6: PC-2-Route all in one modelo M2 OEM (a. JP2, b. JP1).	61
Figura 3.7: Vista superior de la tarjeta Combo Board.	62
Figura 3.8: Tarjeta National Instruments.....	64
Figura 3.9: Tarjeta Gecko Drive G202.	64
Figura 3.10: Selección para administrar la corriente.....	67
Figura 3.11: Gecko Driver G340.	68
Figura 3.12: Lugares de calibración.....	69
Figura 3.13: Curva de calibración.	71
Figura 4.1: Implementación del diseño mecánico.....	72
Figura 4.2: Montaje de la estructura del eje Z.....	73
Figura 4.3: Implementación de la estructura del eje X.	73
Figura 4.4: Implementación de la estructura del eje Y.	74
Figura 4.5: Implementación del mandril.	74
Figura 4.6: Implementación del sistema mecánico.	75
Figura 4.7: Implementación del portaherramientas Torno-Fresadora.....	76
Figura 4.8: Implementación del portaherramientas Fresadora 4 ejes.	76

Figura 4.9: Switch limitador de carrera.	77
Figura 4.10: Sensores para el Home.	77
Figura 4.11: Caja de control, parte externa e interior.....	78
Figura 4.12: Perfil de Torno Fresadora y Fresadora 4 ejes.....	79
Figura 4.13: Opciones de configuración.	79
Figura 4.14: Selección del sistema de unidades.....	80
Figura 4.15: Configuración de puertos y ejes.....	80
Figura 4.16: Configuración de salidas a los ejes en el Mach3.	81
Figura 4.17: Configuración de los Switch en el Mach3.	82
Figura 4.18: Configuración del paro emergencia en el Mach3.....	82
Figura 4.19: Configuración de las salidas a relé en el Mach3.....	83
Figura 4.20: Configuración de salidas a relé y spindle en el Mach3.	83
Figura 4.21: Sintonización de los motores para los ejes X, Y, Z.	86
Figura 4.22: Sintonización del motor para el eje A.....	88
Figura 4.23: Sintonización del motor para el mandril.	89
Figura 4.24: Configuración de la referencia de operación.....	89
Figura 4.25: Controles de la pantalla principal.	90
Figura 4.26: Pantalla de visualización de códigos G.....	90
Figura 4.27: Pantalla de posición de la herramienta.	91
Figura 4.28: Forma de ingresar códigos G.....	92
Figura 4.29: Forma de ingresar un programa de códigos G.	92
Figura 4.30: Controles de avance.	95
Figura 4.31: Encendido del mandril.	95
Figura 4.32: Encendido del husillo.	96
Figura 4.33: CAD en SolidWorks.	96

Figura 4.34: CAM en Mastercam.	97
Figura 4.35: Códigos G.	97
Figura 4.36: Punto de referencia o cero absoluto.	98
Figura 4.37: Diseño de la pieza de torneado y fresado en SolidWorks....	99
Figura 4.38: Cero pieza para torneado y fresado.....	99
Figura 4.39: Mecanizado en Torno-Fresadora.....	100
Figura 4.40: Pieza de torneado y fresado.	100
Figura 4.41: Diseño de la pieza de fresado en SolidWorks.	101
Figura 4.42: Cero pieza para el fresado.....	101
Figura 4.43: Mecanizado en Fresadora 4 ejes.....	102
Figura 4.44: Pieza de fresado.....	102
Figura 4.45: Toma de muestras del cilindrado.....	104
Figura 4.46: Medición en 0°-180°.....	105
Figura 4.47: Medición en 45°-225°.....	106
Figura 4.48: Medición en 90°-270°.....	106
Figura 4.49: Medición en 135°-315°.....	107
Figura 4.50: Dimensiones del ranurado sinusoidal.	107
Figura 4.51: Ranurado sinusoidal.	108
Figura 4.52: Muestreo del ranurado sinusoidal.....	109
Figura 4.53: Ciclo de taladrado.....	109
Figura 4.54: Torno y Fresadora CNC (GSK).....	111

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A PLANOS MECÁNICOS

ANEXO A-1 ESTRUCTURA DEL TORNO FRESADOR

ANEXO A-2 ESTRUCTURA DEL EJE Y

ANEXO A-3 GUÍA FRONTAL

ANEXO A-4 SOPORTE GUÍA FRONTAL

ANEXO A-5 GUÍA POSTERIOR

ANEXO A-6 BARRAR DESLIZADORA

ANEXO A-7 HUSILLO DE BOLAS DEL EJE Y

ANEXO A-8 SOPORTE DEL MOTOR

ANEXO A-9 ESTRUCTURA DEL EJE X

ANEXO A-10 MESA TRANSVERSAL ALUMINIO

ANEXO A-11 EJE GUIA MESA TRANSVERSAL

ANEXO A-12 SEGURO DE LOS EJES GUIAS

ANEXO A-13 DESLIZADOR TRANSVERSAL

ANEXO A-14 SUJETADOR CIRCULAR TRANSVERSAL

ANEXO A-15 SOPORTE DEL MOTOR EJE X

ANEXO A-16 HUSILLO DE BOLAS DEL EJE X

ANEXO A-17 ESTRUCTURA DEL EJE Z

ANEXO A-18 BASE BANCADA

ANEXO A-19 MESA DE LA BANCADA

ANEXO A-20 SOPORTE DEL RODAMIENTO UNO

ANEXO A-21 SOPORTE DEL RODAMIENTO DOS

ANEXO A-22 HUSILLO DE BOLAS DEL EJE Z

ANEXO A-23 TUERCA DEL EJE Z

ANEXO A-24 SOPORTE 1 TURCA DEL EJE Z

ANEXO A-25 SOPORTE 2 TUERCA DEL EJE Z

ANEXO A-26 SOPORTE INFERIOR MESA TRANSVERSAL

ANEXO A-27 PLACA DELA MESA TRANSVERSAL

ANEXO A-28 TUERCAS EJES X, Y

ANEXO A-29 PORTAHERRAMIENTAS 1

ANEXO A-30 PORTAHERRAMIENTAS 2

ANEXO A-31 GUÍAS DEL EJE Y MESA TRANSVERSAL

ANEXO A-32 ACOPLÉ FLEXIBLE DE MORDAZAS

ANEXO B MEDIDAS DE HUSILLO DE BOLAS SKF

ANEXO C CARACTERISTICAS TÉCNICAS DEL SERVOMOTOR

ANEXO D ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS GEKODRIVERS

ANEXO D-1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL G202

ANEXO D-2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL G340

ANEXO E PLANO DE CONTROL Y POTENCIA

ANEXO F MANUAL DE OPERACIÓN

RESUMEN

La automatización de procesos en las máquinas herramienta de control numérico computarizadas (CNC) ha ganado protagonismo en la industria, las cuales brindan optimización de tiempo, espacio, exactitud y disminución de errores en su trabajo final.

La presente tesis consiste en el **“Diseño e Implementación de un prototipo de torno fresador de control numérico computarizado para el Laboratorio CNC de la ESPE Extensión Latacunga.”** es un módulo de mecanizado didáctico, el cual va a ser un apoyo para estudiantes, docentes y técnicos relacionados con el área de automatización, debido a que éste proyecto involucra nuevas e innovadoras tecnologías.

El prototipo propuesto, para el Laboratorio CNC, trata del mecanizado de piezas que contengan fresado y torneado a la vez, sin emplear las dos máquinas por separado, no necesitara de las habilidades manuales del operario, esto ayudará en gran manera a mejorar el tema de la seguridad industrial en el Laboratorio CNC.

La interfaz Hombre-Máquina (HMI) es un software de PC, Mach3 siendo el que interpreta los códigos G y controla la máquina, se comunica por medio de un puerto paralelo a la tarjeta principal, está a la vez con cada driver para controlar la posición y velocidad de los motores de cada eje.

Así, se obtiene un prototipo torno fresadora de control numérico computarizado que combina técnicas de CAM y CAD, para la obtención de piezas complejas, cuya máquina puede ser escalada a nivel industrial de manera óptima y adecuado, con ello se puede reducir el tiempo de proceso de manufactura.

ABSTRACT

Automation process on machining tools with computerized numerical control (CNC) has gained prominence in the industry, which provides the optimization of time, space, accuracy and reduction of errors in his final work.

The present research consists in the "Design and Implementation of a turning milling prototype with computerized numerical control for CNC's Laboratory of ESPE Latacunga.", which is a didactic machining module, in order to be a support for students, teachers and technical related with automation area, because of this project involves new and innovative technologies.

The proposed prototype, for CNC's Laboratory, discusses about the machining of pieces with milling and turning operations at the same time, without using two separate machines, also it doesn't need the skills of an operator; this will help greatly to improve the issues of security at CNC Industrial Laboratory.

The Human Machine Interface (HMI) is PC software, Mach3 which interprets G codes and controls the machine, it communicates with a parallel port to the main board, and this simultaneously works with each driver in order to control position and speed of the motors of each axis.

So, is obtained a prototype of turning and milling with computerized numeric control that combines CAD and CAM techniques for obtaining complex pieces, this machine can be scaled to industrial level optimally and appropriate, with this it can reduce the processing time of manufacturing.

PRESENTACIÓN

En el presente proyecto se desarrolla un prototipo de torno fresador de control numérico computarizado, el cual permite mecanizar diferentes tipos de piezas a pequeña escala en el Laboratorio CNC de la ESPE Extensión Latacunga.

El Capítulo I contiene información referente a máquinas de control numérico computarizado, es decir los recursos y materiales existentes que se disponen para realizar la parte mecánica y la de control; información necesaria para el desarrollo del proyecto.

El Capítulo II detalla el diseño y la selección de los elementos mecánicos de un prototipo torno fresadora conjuntamente con la selección de los actuadores de cada eje, para un adecuado funcionamiento en el mecanizado.

El Capítulo III detalla el diseño del control del prototipo, donde se determinan sus parámetros y la selección de los elementos de control para cumplir las funciones determinadas.

En el Capítulo IV se procede con la implementación de los sistemas mecánicos y de control, para proceder a realizar pruebas de funcionamiento, además se muestra la resolución y precisión de la máquina.

Las conclusiones y recomendaciones del proyecto se detallan en el Capítulo V, las cuales permitirán realizar proyectos futuros a gran escala.

Se incluye anexos y referencias bibliográficas para profundizar en el tema.

CAPÍTULO I GENERALIDADES

1.1 SISTEMAS CAD/CAM¹.

CAD/CAM, es un proceso en el cual se utilizan los ordenadores o computadoras para mejorar la fabricación, desarrollo y diseño de los productos. Estos pueden fabricarse más rápido, con mayor precisión y a menor precio, con la aplicación adecuada de tecnología informática.

Para diseñar C.A.D. (Diseño Asistido por Computador), se puede definir como el uso de sistemas informáticos en la creación, modificación, análisis u optimización de un producto y para la fabricación se emplea C.A.M. (Manufactura Asistida por Computador), es el uso de sistemas informáticos para la planificación, gestión y control de las operaciones de una planta de fabricación mediante una interfaz directa o indirecta entre el sistema informático y los recursos de fabricación.

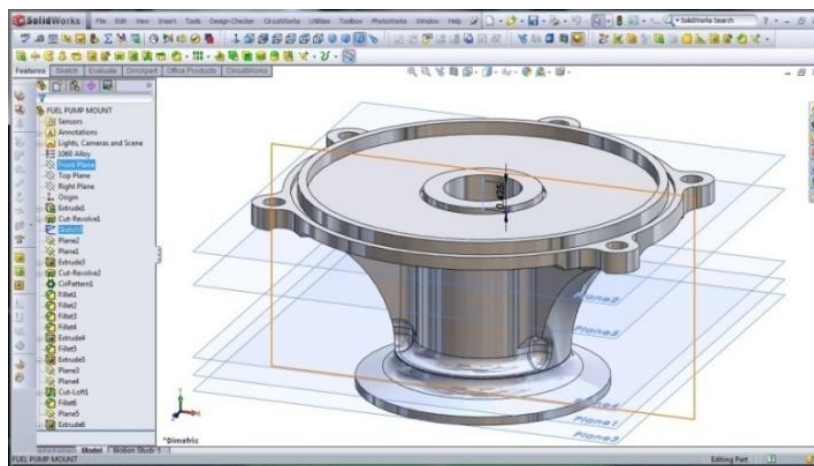


Figura 1.1: SistemasCAD².

¹http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/mecatronica/docs_curso/Anexos/TUTORIALcnc/DOCUMENTOS/TEORIA/INTRODUCCION%20AL%20CAD-CAM/01%20Introduccion%20CAD%20CAM.pdf

²<http://krisbunda.com/blog/index.php/2011/09/19/3d-cad-modeling-a-high-performance-engine-part-how-to/>

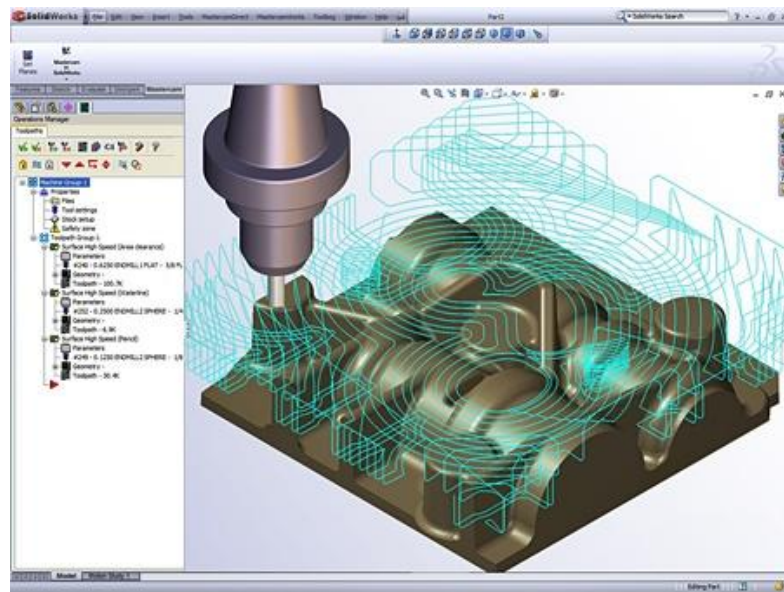


Figura 1.2: Sistemas CAM³.

1.2 CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO (CNC)⁴.

El control numérico computarizado (CNC) es una tecnología que controla los movimientos de una máquina por medio de un programa preparado que contiene datos codificados alfanuméricos. CNC puede controlar los movimientos de la pieza de trabajo o herramienta, los parámetros de entrada, tales como profundidad de corte, la velocidad, encendido y apagado del husillo, etc.

1.2.1. Aplicaciones del control numérico computarizado.

El sistema CNC se utiliza en máquinas-herramienta para torno, fresadora, taladradora, laser, máquina dobladora, etc. Se han desarrollado centro de torneado y centro de mecanizado que cambian las herramientas de corte automáticamente bajo el control CNC. Incluyen máquinas CNC de soldadura (por arco y resistencia),

³<http://www.milimetrik.com/egitim.asp?kurs=solidworks-icin-mastercam-kursu>

⁴<http://wings.buffalo.edu/academic/departament/eng/mae/courses/460-564/Course-Notes/CNC%20notes.pdf>

Finalmente, el uso del CNC incide favorablemente en los costos de producción al propiciar la baja de costos de fabricación de muchas máquinas, manteniendo o mejorando su calidad.

1.2.2. Códigos G.

Las funciones preparatorias, también conocidas como Códigos G, son las más importantes en la programación CNC, ya que controlan el modo en que la máquina va a realizar un trazado, o el modo en que va a desplazarse sobre la superficie de la pieza que está trabajando. Los caracteres más usados comúnmente, regidos bajo la norma DIN 66024 y 66025 son, entre otros, los siguientes:

N: es la dirección correspondiente al número de bloque o secuencia. Esta dirección va seguida normalmente de un número de tres o cuatro cifras.

X, Y, Z: son las direcciones correspondientes a las cotas según los ejes X, Y, Z de la máquina herramienta. Dichas cotas se pueden programar en forma absoluta o relativa, es decir, con respecto al cero pieza o con respecto a la última cota respectivamente.

G: es la dirección correspondiente a las funciones preparatorias. Se utilizan para informar al control de las características de las funciones de mecanizado, como por ejemplo, forma de la trayectoria, tipo de corrección de herramienta, parada temporizada, ciclos automáticos, programación absoluta y relativa, etc. La función G va seguida de un número de dos cifras que permite programar hasta 100 funciones preparatorias diferentes.

M: es la dirección correspondiente a las funciones auxiliares o complementarias. Se usan para indicar a la máquina herramienta que se deben realizar operaciones tales como parada programada, rotación del husillo a derecha o izquierda. La dirección M va seguida de un número de

dos cifras que permite programar hasta 100 funciones auxiliares diferentes.

1.3 TORNO - FRESADOR DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO⁵.

1.3.1. Introducción.

Un Torno-Fresadora de Control Numérico Computarizado o Torno-Fresadora CNC se refiere a una máquina de tipo torno y fresadora que cumpla las dos operaciones mediante un software de computadora que utiliza datos alfanuméricos, siguiendo los ejes cartesianos X, Y, Z.

Se utiliza para producir en cantidades y con precisión porque la computadora que lleva incorporado controla la ejecución de la pieza.



Figura 1.3: Torno-Fresadora CNC⁵.

⁵<http://www.slideshare.net/erreprieto/curso-fundamental-de-torno-cnc>
Mikell P. Groover. Fundamentos de Manufactura Moderna: Materiales, Procesos Y Sistemas. Páginas 598 – 619.
http://www.cimco.com/docs/cimco_cnc-calc/v6/es/#MillingOperationsToolbar

1.3.2. Principio de funcionamiento.

Los ejes X, Y, Z, A pueden desplazarse simultáneamente en forma intercalada, dando como resultado mecanizados de piezas sencillas o complejas, permitiendo realizar mecanizados de precisión con la facilidad que representa cambiar de un modelo de pieza a otro mediante la inserción del programa correspondiente y de la forma que opere ya sea como torno o fresadora. El equipo de control numérico se controla mediante un programa que utiliza números, letras y otros símbolos, por ejemplo, los llamados códigos G (movimientos y ciclos fijos) y M (funciones auxiliares), están codificados en un formato apropiado para definir un programa de instrucciones para desarrollar una tarea concreta. Cuando la tarea en cuestión varía se cambia el programa de instrucciones. La máquina opera a velocidades de corte y avance muy superiores a los tornos y fresadoras convencionales por lo que se utilizan herramientas de metal duro o de cerámica para disminuir la fatiga de materiales.

1.3.3. Herramientas de torneado y fresado.

La máquina Torno-Fresadora requiere de herramientas para el torneado y fresado como se detallan.

a. Herramientas de torneado.

Las herramientas de torneado se diferencian en dos factores, el material del que están constituidas y el tipo de operación que realizan. Según el material constituyente, las herramientas pueden ser de acero rápido, metal duro soldado o plaquitas de metal duro (widia) intercambiables.

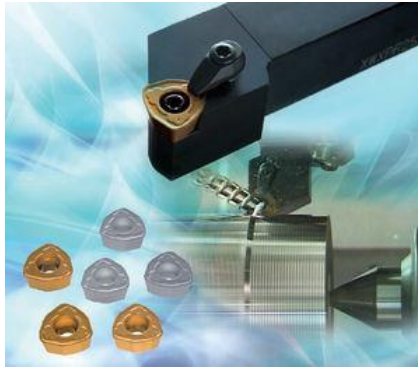


Figura 1.4: Herramientas para torneado⁶

b. Herramientas de fresado.

Las herramientas de corte más utilizadas en una fresadora se denominan fresas, aunque también pueden utilizarse otras herramientas para realizar operaciones diferentes al fresado, como brocas para taladrar o escariadores. Las fresas son herramientas de corte de forma, material y dimensiones muy variadas de acuerdo con el tipo de fresado que se quiera realizar. Una fresa está determinada por su diámetro, su forma, material constituyente, números de labios o dientes que tenga y el sistema de sujeción a la máquina.



Figura 1.5: Herramientas para fresado.

⁶<http://www.directindustry.de/prod/tungaloy/wendeplattenbohrer-5647-554216.html>

1.3.4. Operaciones del Torno-Fresadora⁷.

La máquina es capaz de realizar operaciones de torno y fresadora entre ellas tenemos:

a. Cilindrado.

Esta operación consiste en el mecanizado exterior o interior al que se someten las piezas que tienen mecanizados cilíndricos. Para poder efectuar esta operación, con el carro transversal se regula la profundidad de pasada, y con el carro paralelo se regula la longitud del cilindro. El carro paralelo avanza de forma automática de acuerdo al avance de trabajo deseado.



Figura 1.6: Cilindrado.

b. Refrentado.

La operación de refrentado consiste en un mecanizado frontal y perpendicular al eje de las piezas que se realiza para producir un buen acoplamiento en el montaje posterior de las piezas torneadas. Esta operación también es conocida como fronteado.

⁷<http://maquinasyherramientas-torno.blogspot.com/2010/05/operaciones-de-torneado.html>

[http://www.dormertools.com/sandvik/2531/internet/s003592.nsf/Alldocs/Product*2DMachiningSolutions*2DPDF*2ATH*2DPDFes/\\$file/8Fresado.pdf](http://www.dormertools.com/sandvik/2531/internet/s003592.nsf/Alldocs/Product*2DMachiningSolutions*2DPDF*2ATH*2DPDFes/$file/8Fresado.pdf)

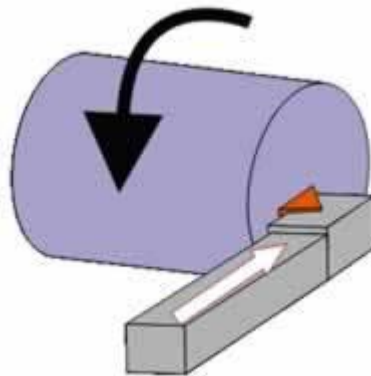


Figura 1.7: Refrentado⁸.

c. Ranurado.

El ranurado consiste en mecanizar unas ranuras cilíndricas de anchura y profundidad variable en las piezas que se tornean, las cuales tienen muchas utilidades diferentes. Por ejemplo para salida de rosca, para arandelas de presión, para canales de las poleas, etc. En este caso la herramienta tiene ya conformado el ancho de la ranura y actuando con el carro transversal se le da la profundidad deseada.



Figura 1.8: Ranurado⁹.

⁸ <http://arukasi.wordpress.com/category/tornos/principales-operaciones-de-un-torno/>

⁹ http://www.luistorresrubio.com/fresado_cnc.html

d. Fresado.

El fresado es la operación de mecanizado que más se utiliza en una Fresadora. Se utiliza una fresa, una herramienta cilíndrica parecida a una broca pero generalmente sin punta cónica. Esta herramienta elimina material por la superficie cilíndrica, ideal para realizar mecanizados en superficies planas y para realizar un agujero de casi cualquier forma en una pieza de partida.

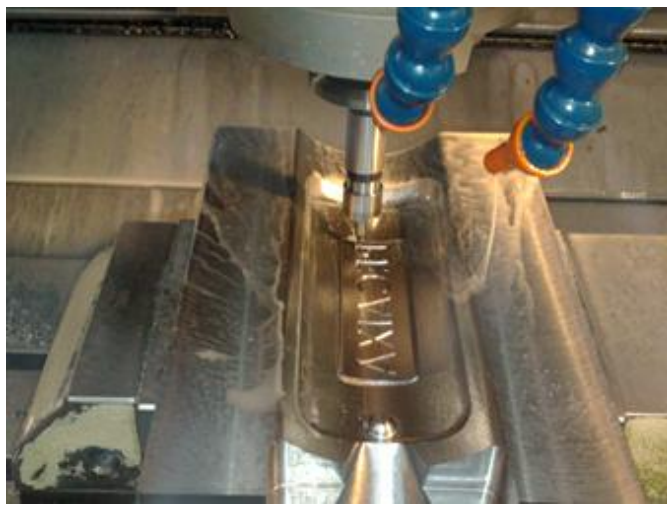


Figura 1.9: Fresado⁹.

e. Aplanado/Planeado.

Es la creación de una cara totalmente plana. La fresa avanza durante toda la cara a aplanar, eliminando material. Dependiendo de la dirección del eje de la fresa el aplanado tiene diferentes nombres. Si el eje de la fresa está en una dirección paralela a la cara a planear, estamos hablando de un Planeado Periférico. Si el eje de la fresa está en una dirección perpendicular a la cara a planear, estamos hablando de un Planeado Frontal, pues se utilizan los filos del frente de la fresa.

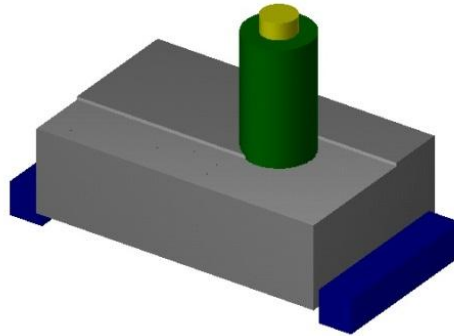


Figura 1.10: Aplanado.

1.3.5. Parámetros de corte del torneado¹⁰.

Los parámetros de corte fundamentales que hay que considerar en el proceso de torneado son los siguientes:

- Elección del tipo de herramienta más adecuado.
- Sistema de fijación de la pieza.
- Velocidad de corte (V_c) expresada en metros/minuto.
- Diámetro exterior del torneado.
- Revoluciones por minuto (rpm) del cabezal del torno.
- Avance en mm/rev, de la herramienta.
- Avance en mm/min de la herramienta.
- Profundidad de pasada.
- Fuerzas de corte.
- Tipo de tornos y accesorios adecuados.

A partir de la determinación de la **velocidad de corte** se puede determinar las revoluciones por minuto que tendrá el cabezal del torno, con la siguiente fórmula:

$$V_c \left(\frac{n}{min} \right) = \frac{RPM * \pi * D_c (mm)}{1000 (mm/m)}$$

¹⁰ http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/tron_p_b/capitulo2.pdf

De la formula anterior podemos despejar el parámetro(**rpm**), para poder determinar la velocidad de rotación de la pieza.

El **avance o velocidad de avance** en el torneado es la velocidad relativa entre la pieza y la herramienta, es decir la velocidad con la que progresa el corte. El avance de la herramienta de corte es un factor muy importante en el proceso de torneado y se calcula con la siguiente fórmula:

$$F \left(\frac{mm}{min} \right) = N(rpm) * F \left(\frac{mm}{rev} \right)$$

El **tiempo de torneado** se obtiene por medio de la siguiente fórmula:

$$T(\text{minutos}) = \frac{\text{Longitud de pasada (mm)}}{F(\text{mm/min})}$$

La **fuerza de corte** es un parámetro necesario para poder calcular la potencia necesaria para efectuar un determinado mecanizado.

Los tres métodos más usados en el estudio de las fuerzas de corte son:

- Corte Ortogonal.
- Presión de Corte.
- Corte Oblicuo.

El método de **presión de corte** establece que la fuerza de corte es directamente proporcional a la sección de la viruta dada por una constante de proporcionalidad K_s , llamada “Presión de Corte”, como da la siguiente ecuación:

$$F_C = K_S * A_C$$

La presión de corte o fuerza de corte específica está muy relacionada con el espesor de la viruta a_c . Se parte de la relación de la presión específica

K_{S0} , que corresponde al valor de K_S cuando la sección de la viruta es la unidad. Así que F_C puede establecerse de la forma:

$$F_C = (K_{S0})(b^y)(a_c^x)$$

Donde b representa el ancho de corte, a_c representa el espesor de la viruta no deformada y X e Y son exponentes menores que la unidad, dependientes del material de la pieza. Relacionando esta expresión con la ya citada:

$$F_C = K_S * A_C$$

Se llega a:

$$K_S = K_{S0} * b^{y-1} * a_c^{x-1}$$

En la práctica se puede aproximar el valor del exponente Y a la unidad, por lo que llamando $Z=1-X$ se tiene:

$$K_S = K_{S0} * a_c^{-z}$$

Tomando en cuenta el ángulo de entrada $k_r(7^\circ)$ obtenemos:

$$F_C = k_{S0} * f^{1-z} * (\text{sen}kr)^{-z} * a$$

Los valores k_{S0} y z son valores obtenidos experimentalmente y podemos recurrir a ellos por medio de tablas, como se muestra a continuación para materiales de uso frecuente.

Tabla 1.1. Valores de presión específica de corte para materiales blandos¹¹.

MATERIAL	$K_S(N/mm^2)$	Z
Aluminio	100	0.3
Cobre	78	0.3

¹¹KALPAKJIAN Serope, Manufacturing Engineering and Technology, Prentice Hall, 2000, página.532.

Latón	54	0.3
Plástico	19	0.3

1.4 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.

1.4.1. Parámetros del aluminio¹².

Se deben conocer los principales parámetros del material más duro a mecanizar, que en este caso es el aluminio:

Velocidades de corte:

$$V_{Cmáx} = 93 \left(\frac{m}{min} \right) \rightarrow \text{Acabado}$$

$$V_{Cmin} = 18 \left(\frac{m}{min} \right) \rightarrow \text{Roscado}$$

Avances:

$$S_{min} = 0.25 \rightarrow \text{Acabado}$$

$$S_{máx} = 0.75 \rightarrow \text{Desbastado}$$

Esfuerzo del Material:

$$\sigma = 1000 \text{ psi} \rightarrow (6.89 \text{ N/mm}^2)$$

Profundidad de corte (a)¹³:

$$a = 0.8 \text{ mm.}$$

Angulo óptimo de entrada de la herramienta¹⁴:

$$K_r = 10^0 \rightarrow \text{Para herramienta de acero rápido}$$

¹²<http://www.aprendizaje.com.mx/curso/proceso2/practicastorno-desarrollo/capi8.htm>

¹³<http://es.scribd.com/doc/8262436/22/PROFUNDIDAD-DE-CORTE>

¹⁴<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/2833/6/41774-6.pdf>

1.4.2. Propiedades mecánicas de los aceros.

Los aceros al carbono simples muy bajos en carbono tienen una relativamente baja, pero su ductilidad es muy alta. Se usan para fabricar material en láminas destinadas a aplicaciones en diferentes industrias.

A medida que el contenido de carbono aumenta en los aceros al carbono simples, estos se vuelven más resistentes pero menos dúctiles. Los aceros con contenido mediano de carbono (1020-1040) tienen aplicación en ejes y engranajes.

Los aceros inoxidables se utilizan principalmente por su excelente resistencia a la corrosión en muchos medios.

Tabla 1.2. Propiedades mecánicas y aplicaciones típicas de¹⁵.

PROPIEDADES MECÁNICAS DE ACEROS AL CARBONO SIMPLES					
Aleación Número AISI-SAE	Composición Química (% en peso)	Estado	Límite Elástico S_y (MPa)	Alarga miento	Aplicaciones Típicas
1010	0.10 C, 0.40 Mn	Lam. Caliente Lam. Frio	179-310 159-262	28-47 30-45	Lámina y tira para trefilado; alambre, varilla, clavos y tornillos; varilla de refuerzo para concreto.
1020	0.20 C, 0.45 Mn	Lam. Tosco Recocido	331 297	36 36	Planchas y secciones estructurales de acero; ejes, engranajes.
1040	0.40 C, 0.45 Mn	Lam. Tosco Recocido Revenido	414 352 593	25 30 20	Ejes, pernos, tubos, con alta resistencia a la tensión, engranajes.

¹⁵SMITH William F., Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales, McGraw Hill, Tercera Edición, página. 439.

1060	0.60 C, 0.65 Mn	Laminad o Recocido Revenido	483 483 780	17 22 13	Alambre para resortes, troqueles de forjar, ruedas de ferrocarril.
PROPIEDADES MECÁNICAS DE ACEROS INOXIDABLES					
Aleación Número AISI-SAE	Composición Química (% en peso)	Estado	Límite Elástico S_y (MPa)	Alarga miento %	Aplicaciones Típicas
410	12,5 Cr., 0,15 C	Recocido Q & T↑	276	30	Termotratables de uso general; piezas de máquinas, ejes, válvulas.

1.5 SISTEMAS DE CONTROL¹⁶.

Los sistemas de control, se aplican en esencia para las máquinas y las organizaciones.

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 predeterminado, de modo que se reduzcan las probabilidades de fallos y se obtengan los resultados buscados.

Estos sistemas se usan típicamente en sustituir un trabajador pasivo que controla una determinado sistema (ya sea eléctrico, mecánico, etc.) con una posibilidad nula o casi nula de error.

Los sistemas de control deben conseguir los siguientes objetivos:

- Ser estables y robustos frente a perturbaciones y errores en los modelos.

¹⁶<http://gama.fime.uanl.mx/~agarcia/materias/ingco/apclas/01%20-%20Introduccion%20a%20los%20Sistemas%20de%20Control.pdf>

- Ser eficiente según un criterio preestablecido evitando comportamientos bruscos e irreales.

1.5.1. Sistema de control de lazo abierto.

Es aquel sistema en que solo actúa el proceso sobre la señal de entrada y da como resultado una señal de salida independiente a la señal de entrada. Esto significa que no hay retroalimentación hacia el controlador para que éste pueda ajustar la acción de control. Es decir, la señal de salida no se convierte en señal de entrada para el controlador.

Estos sistemas se caracterizan por:

- Ser sencillos y de fácil concepto.
- Nada asegura su estabilidad ante una perturbación.
- La salida no se compara con la entrada.
- Ser afectado por las perturbaciones. Éstas pueden ser tangibles o intangibles.
- La precisión depende de la previa calibración del sistema.

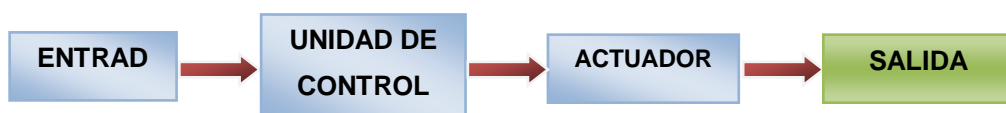


Figura 1.11: Sistema de control de lazo abierto.

1.5.2. Sistema de control de lazo cerrado.

Son los sistemas en los que la acción de control está en función de la señal de salida. Los sistemas de circuito cerrado usan la retroalimentación desde un resultado final para ajustar la acción de control en consecuencia. El control en lazo cerrado es imprescindible cuando se da alguna de las siguientes circunstancias:

- Cuando un proceso no es posible de regular por el hombre.

- Una producción a gran escala que exige grandes instalaciones y el hombre no es capaz de manejar.
- Vigilar un proceso es especialmente difícil en algunos casos y requiere una atención que el hombre puede perder fácilmente por cansancio o despiste, con los consiguientes riesgos que ello pueda ocasionar al trabajador y al proceso.

Sus características son:

- Ser complejos, pero amplios en cantidad de parámetros.
- La salida se compara con la entrada y le afecta para el control del sistema.
- Su propiedad de retroalimentación.
- Ser más estable a perturbaciones y variaciones internas.

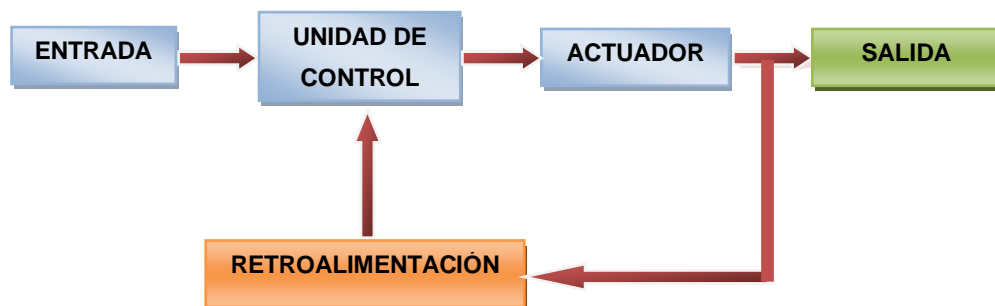


Figura 1.12: Sistemas de control de lazo cerrado

1.5.3. Precisión, repetitividad y resolución¹⁷.

Se denomina **precisión** a la capacidad de una máquina o instrumento de dar el mismo resultado en mediciones diferentes realizadas en las mismas condiciones. Esta cualidad debe evaluarse a corto plazo. La precisión refleja la proximidad de distintas medidas entre sí, y es función exclusiva de los errores accidentales.

¹⁷<http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor>
<http://es.wikipedia.org/wiki/Precisi%C3%B3n>
<http://fundemexico.org/p/document.php?ndf=538>

Repetitividad es la variación de las mediciones obtenidas con un instrumento de medición, utilizado varias veces por un evaluador mientras mide la misma característica de la misma parte.

La **resolución** es el menor cambio en la magnitud de entrada que se aprecia en la magnitud de salida. Sin embargo, la precisión es el máximo error esperado en la medida.

La resolución puede ser de menor valor que la precisión. Por ejemplo, si al medir una distancia la resolución es de 0,01 mm, pero la precisión es de 1 mm, entonces pueden apreciarse variaciones en la distancia medida de 0,01 mm, pero no puede asegurarse que haya un error de medición menor a 1 mm.

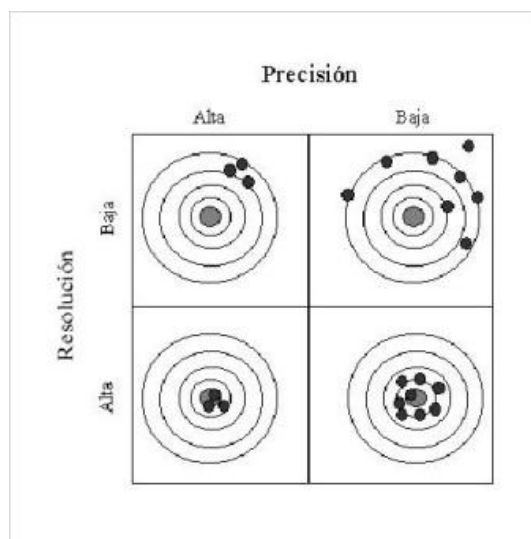


Figura 1.13: Precisión y resolución

1.6 ACTUADORES, ELEMENTOS DE CONTROL Y PROTECCIÓN.

1.6.1. Motores eléctricos¹⁸.

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de campos electromagnéticos

¹⁸<http://www.bolanosdj.com.ar/MOTORES/MOTORES.PDF>

variables. Algunos de los motores eléctricos son reversibles, pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores.

Son muy utilizados en instalaciones industriales, comerciales y particulares. Pueden funcionar conectados a una red de suministro eléctrico o a baterías. Así, en automóviles se están empezando a utilizar en vehículos híbridos para aprovechar las ventajas de ambos.



Figura 1.14: Tipos de motores

Los motores de corriente continua se clasifican según la forma como estén conectados, en:

- Motor serie.
- Motor compound.
- Motor shunt.
- Motor eléctrico sin escobillas.

Además de los anteriores, existen otros tipos que son utilizados en electrónica:

- Motor paso a paso
- Servomotor
- Motor sin núcleo

a. Motores paso a paso¹⁹.

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos; por lo que se pueden mover un paso a la vez por cada pulso que se aplique.

Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8°, es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360°.

Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres.



Figura 1.15: Motores paso a paso.

b. Servomotor²⁰.

Un servomotor (también llamado servo) es un dispositivo similar a un motor de corriente continua que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición.

Un servomotor es un motor eléctrico que consta con la capacidad de ser controlado, tanto en velocidad como en posición.

¹⁹<http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm>

²⁰<http://www.todorobot.com.ar/documentos/servomotor.pdf>



Figura 1.16: Servomotor.

1.6.2. Sensores.

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.

Los sensores más utilizados dentro de automatización y control CNC son los siguientes:

- Sensores de Proximidad.
- Sensores Analógicos.
- Sensores de Posición Angular.

a. Sensores de Proximidad²¹.

El sensor de proximidad es un transductor que detecta objetos o señales que se encuentran cerca del elemento sensor. Existen varios tipos de sensores de proximidad según el principio físico que utilizan.

Entre los sensores de proximidad se encuentran:

Sensor Capacitivo: Los sensores capacitivos detectan objetos metálicos, o no metálicos, midiendo el cambio en la capacitancia, la cual depende de la constante dieléctrica del material a detectar, su masa, tamaño, y distancia hasta la superficie sensible del detector.

²¹<http://sensoresdeproximidad.galeon.com/>



Figura 1.17: Sensor capacitivo.

Sensor Inductivo: Los sensores inductivos de proximidad han sido diseñados para trabajar generando un campo magnético y detectando las pérdidas de corriente de dicho campo generada al introducirse en él los objetos de detección férricos y no férricos. Al aproximarse un objeto "metálico" o no metálico, se inducen corrientes de histéresis en el objeto. Debido a ello hay una pérdida de energía y una menor amplitud de oscilación.

El circuito sensor reconoce entonces un cambio específico de amplitud y genera una señal que conmuta la salida de estado sólido o la posición "ON" y "OFF".



Figura 1.18: Sensor inductivo.

Sensor de contacto: El sensor de contacto (también conocido como "interruptor de límite") o LimitSwicht, son dispositivos eléctricos, neumáticos o mecánicos situados al final del recorrido de un elemento móvil, como por ejemplo una cinta transportadora, con el objetivo de enviar señales que puedan modificar el estado de un circuito. Internamente pueden contener interruptores normalmente abiertos (NA),

cerrados (NC) o conmutadores dependiendo de la operación que cumplan al ser accionados.



Figura 1.19: Sensor de contacto.

Sensor Infrarrojo: El receptor de rayos infrarrojos suele ser un fototransistor o un fotodiodo. El circuito de salida utiliza la señal del receptor para amplificarla y adaptarla a una salida que el sistema pueda entender. La señal enviada por el emisor puede ser codificada para distinguirla de otra y así identificar varios sensores a la vez esto es muy utilizado en la robótica en casos en que se necesita tener más de un emisor infrarrojo y solo se quiera tener un receptor.

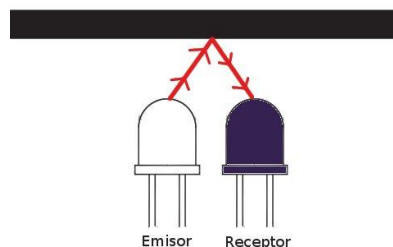


Figura 1.20: Sensor infrarrojo.

b. Sensores de Posicionamiento Angular²².

Dentro de los sensores de posicionamiento angular tenemos los potenciómetros y encoders.

²²http://www.fing.edu.uy/iimpi/academica/grado/instindustrial/teorico/080310-Sensores-parte_V.posici%C3%B3n.pdf

Un **potenciómetro**, es un transductor de posición angular, de tipo absoluto y con salida de tipo analógico.

Consiste en una resistencia de hilo bobinado o en una pista de material conductor, distribuida a lo largo de un soporte en forma de arco y un cursor solidario a un eje de salida, que puede deslizar sobre dicho conductor.

El movimiento del eje arrastra el cursor provocando cambios de resistencia entre éste y cualquiera de los extremos.

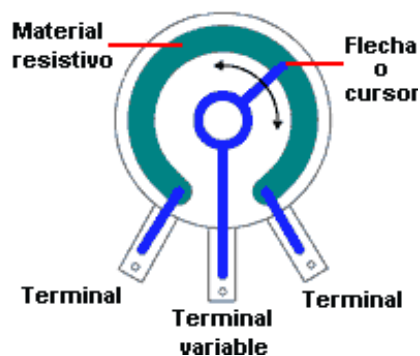


Figura 1.21: Potenciómetro angular.

Un **encoders** un dispositivo formado por un rotor con uno o varios grupos de bandas opacas y translúcidas alternadas y por una serie de captadores ópticos alojados en el estator, que detectan la presencia o no de banda opaca frente a ellos.

Existen dos tipos de encoders: incrementales y absolutos.

Los **encoders incrementales** suelen tener un par de bandas de marcas transparentes y opacas repartidas a lo largo de un disco rotórico y separadas por un paso p .

En el estator, se suelen disponer de dos pares de emisor-receptor óptico (salida de dos canales) decalados un número entero de pasos más $\frac{1}{4}$.

Al girar el rotor, cada par óptico genera una señal cuadrada. El decalaje de $\frac{1}{4}$ de división de los captadores hace que las señales cuadradas de salida tengan entre sí un desfase de $\frac{1}{4}$ de período cuando el rotor gira en un sentido, y $\frac{3}{4}$ de período cuando gira en sentido contrario, lo cual se utiliza para discriminar el sentido de giro.

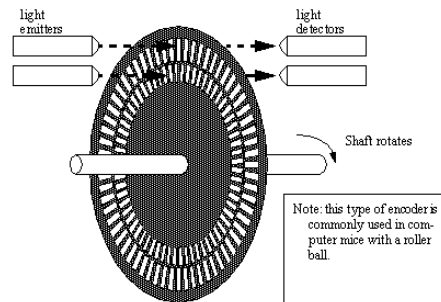


Figura 1.22: Encoder incremental.

Los **encoders absolutos** disponen de varias bandas dispuestas en forma de coronas circulares concéntricas, con zonas opacas y transparentes dispuestas de tal forma que en sentido radial el rotor queda dividido en una serie de sectores, con combinaciones de opacos y transparentes que siguen un código Gray o binario reflejado.

El estator, dispone de un captador para cada corona del rotor, dispuestos en forma radial. El conjunto de informaciones binarias obtenidas de los captadores es único para cada posición del rotor y representa en código Gray su posición absoluta.

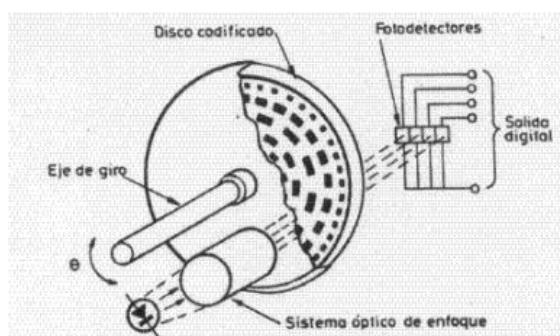


Figura 1.23: Encoder absoluto.

1.7 NORMAS DE SEGURIDAD PARA EL TRABAJO CON MÁQUINAS HERRAMIENTAS²³.

1.7.1. Recomendaciones generales.

Se debe asegurar que los interruptores que encienden a las máquinas, no sean accionados involuntariamente; ya que producen accidentes.

Debe ser protegido por cubiertas los engranajes, correas de transmisión, poleas, cadenas, etc.

Todas las operaciones de comprobación, se deben realizarse con la máquina parada.

Peligros comunes:

- Puntos de rozamiento
- Puntos calientes
- Superficies rotativas de máquinas
- Maquinaria automática
- Joya y ropas sueltas.

Protección personal:

- Los trabajadores deben utilizar anteojos de seguridad.
- Las virutas producidas durante el mecanizado nunca deben retirarse con la mano, ya que se pueden producir cortes; se deben retirar con un cepillo o brocha estando la máquina parada.
- Se debe llevar la ropa de trabajo bien ajustada. Las mangas deben llevarse ceñidas a la muñeca.
- Se debe usar calzado de seguridad que proteja contra cortes y pinchazos, así como contra caídas de piezas pesadas.

²³ http://tecnica1.dnsalias.org/samples/seguridad/Seguridad_con_maquinas.pdf

- Es muy peligroso trabajar llevando anillos, relojes, pulseras, cadenas en el cuello, bufandas.



Figura 1.24: Protección personal.

1.7.2. Seguridad antes del mecanizado.

Antes de poner en marcha la máquina para comenzar el trabajo de mecanizado:

- Que el dispositivo de sujeción de piezas, esté fuertemente anclado a la mesa de la máquina.
- Que la pieza a trabajar esté correcta y firmemente sujeta al dispositivo de sujeción.
- Que las carcasas de protección de las poleas, engranajes, cadenas y ejes, estén en su sitio y bien fijadas.
- No remover barreras protectoras de máquinas.
- Que los dispositivos de seguridad se encuentren en su sitio y correctamente instalados.

1.7.3. Seguridad durante el mecanizado.

Durante el mecanizado, se deben mantener las manos alejadas de la herramienta que gira o se mueve.

Todas las operaciones de comprobación, ajuste, etc., deben realizarse con la máquina parada, especialmente las siguientes:

- Alejarse o abandonar el puesto de trabajo.
- Sujetar la pieza a trabajar.
- Medir y calibrar.
- Comprobar el acabado.
- Limpiar y engrasar.
- Ajusta protecciones.
- Dirigir el chorro de líquido refrigerante, etc.

CAPÍTULO II

DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO DEL PROTOTIPO DE TORNO FRESADOR CNC.

2.1 DISEÑO DEL PROTOTIPO DE TORNO - FRESADOR CNC.

En nuestro medio existen diversos tipos de Tornos y Fresadoras que incorporan ciertas particularidades, por tanto se iniciara de un prototipo que incorpore los dos procesos (Torno - Fresadora), el mismo que permita aplicar las funciones y movimientos propios de una máquina mixta, para lo cual se partirá de la máquina IRON HAND CH-350LMA que se observa en la siguiente figura:



Figura 2.1: Torno – Fresador didáctico IRON HAND CH-350LMA.²⁴

Con la ayuda del Software SolidWorks, se procede a realizar el diseño mecánico del prototipo de torno IRON HAND CH-350LMA, cuya estructura es la inicial que se observa en la Figura 2.1.

²⁴ http://www.chunghsiwh.com/product/16235_pic.html

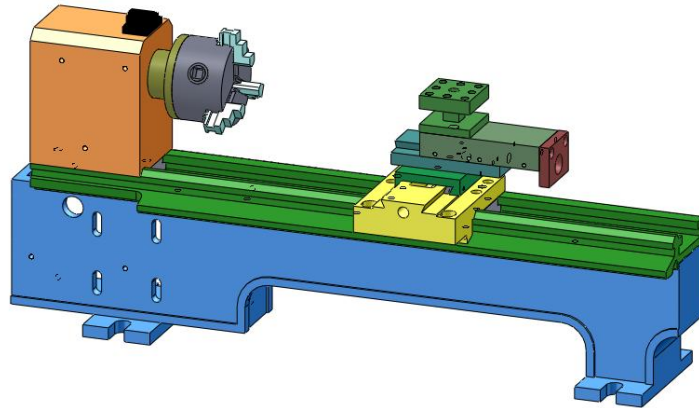


Figura 2.2: Estructura inicial del torno IRON HAND CH-350LMA.

En la estructura inicial del prototipo Torno-Fresador existen dos ejes (Ejes X, Z), para obtener el prototipo deseado se debe implementar dos ejes más mediante el sistema de dextrógiro como se observa en la Figura 2.3.

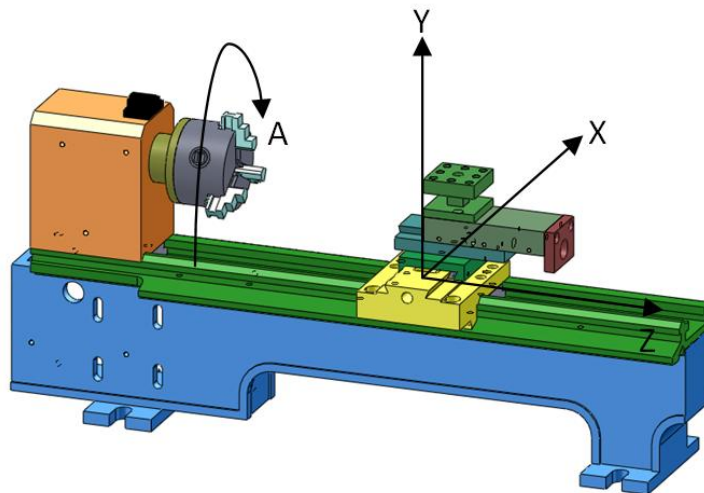


Figura 2.3: Sistema de dextrógiro.

2.2 PARÁMETROS DE DISEÑO MECÁNICO.

Dentro de los parámetros de diseño mecánico se especifica dos modos de operación que tendrá la máquina, al igual que sus respectivos recorridos de acuerdo con el tamaño y la necesidad de desplazamiento de cada eje:

TORNO-FRESADORA: En donde la máquina puede trabajar como torno o fresadora. Los recorridos de los ejes son:

Torno:

- Recorrido en el eje X: 110 mm.
- Recorrido en el eje Z: 241 mm.

Fresadora:

- Recorrido en el eje X: 110 mm.
- Recorrido en el eje Y: 63 mm.
- Recorrido en el eje Z: 241 mm.
- Recorrido en el eje A: 360°.

FRESADORA 4 EJES: En donde la máquina puede mecanizar piezas 3D complejas con la ayuda de sus 4 ejes. Los recorridos de los ejes son:

- Recorrido en el eje X: 241mm.
- Recorrido en el eje Y: 63 mm.
- Recorrido en el eje Z: 110mm.
- Recorrido en el eje A: 360°.

Con la velocidad de corte de aluminio (Sección 1.4.1), se asume la velocidad lineal de 2500mm/min.

Los parámetros que intervienen en el diseño mecánico del prototipo son las fuerzas de corte (F_C), la potencia de corte (P_C) y los pesos que soportan las estructuras de los ejes (F_A).

Los materiales que se podrán mecanizar en el prototipo de torno – fresador IRON HAND CH-350LMA, serán materiales blandos, la mayor fuerza de corte se produce en el torneado por esta razón se realiza el cálculo para este proceso.

En la tabla 2.1 se detallan los valores de presión específica de corte (K_S).

Tabla 2.1. Valores de presión específica de corte para materiales blandos²⁵.

MATERIAL	$K_S(N/mm^2)$	Z
Aluminio	100	0.3
Cobre	78	0.3
Latón	54	0.3
Plástico	19	0.3

El material de mayor dureza a mecanizar es aluminio, por ello es importante conocer sus principales parámetros citados en la Sección 1.4.1(Parámetros del Aluminio).

Se encuentra la fuerza y la potencia de corte necesaria para realizar el diseño del prototipo tomando en cuenta la Sección 1.3.5.

$$F_C = k_S * f^{1-z} * (\text{sen } kr)^{-z} * a [N] \text{ Ec. 2.1}$$

Donde la presión específica de corte (k_S) es 100 N/mm², el avance de corte (f) es 0.75 mm y la profundidad de corte (a) es 0.8 mm.

$$F_C = 100 * 0.75^{1-0.3} * (\text{sen } 10)^{-0.3} * 0.8$$

$$F_C = 110.59 [N] \approx 111 [N]$$

La potencia de corte es:

$$P_C = F_c * V_c [W] \text{ Ec. 2.2}$$

$$P_C = 111 N * 2500 \text{ mm/min}$$

$$P_C = 111 N * 0.42 \text{ m/seg}$$

²⁵KALPAKJIAN Serope, Manufacturing Engineering and Technology, Prentice Hall, 2000, página.532.

$$P_c = 46.62[W] \cong 47[W]$$

Los valores obtenidos se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 2.2. Parámetros de diseño.

Velocidad de corte ($V_{c \max}$)	Avance(S_{\max})	Potencia de corte($P_{c \max}$)	Presión específica de corte($K_{s \max}$)	Profundidad de corte (a)
2500mm/min	0.75mm/rev	47 W	100 N/mm ²	0.8mm

2.2.1. Diseño del sistema mecánico para el movimiento del eje Y.

Para la implementación del eje Y, se parte del diseño original del carro longitudinal (Figura 2.2); al cual se lo debe colocar en la dirección del eje Y del sistema de dextrógiro indicado en la Figura 2.3.

En la Figura 2.4 se observa el diseño mecánico del movimiento del eje Y (ANEXO A-2), en el que se implementa el sistema de lubricación en las guías de deslizamiento²⁶.

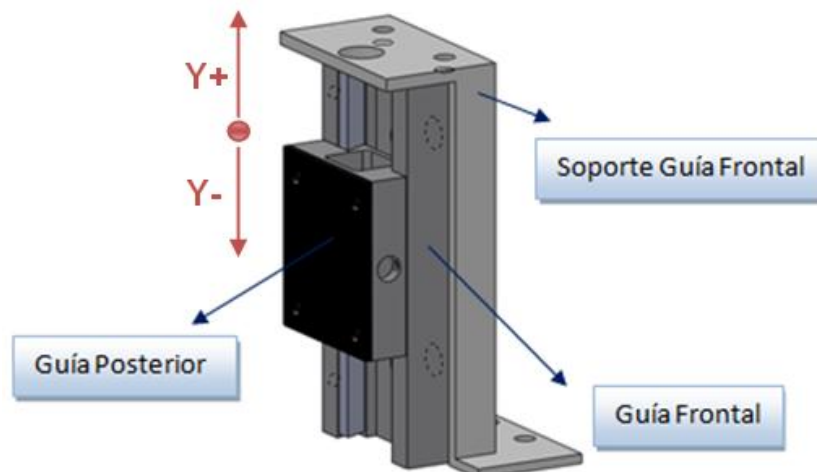


Figura 2.4: Mecanismo de movimiento del eje Y.

²⁶ Helmi A. Youssef and Hassan El-Horfy. Machining Technology: Machine Tools and Operations. Pag22.

Se presenta la Pieza de la Guía Posterior, en donde se encuentran los canales realizados para la lubricación con aceite.

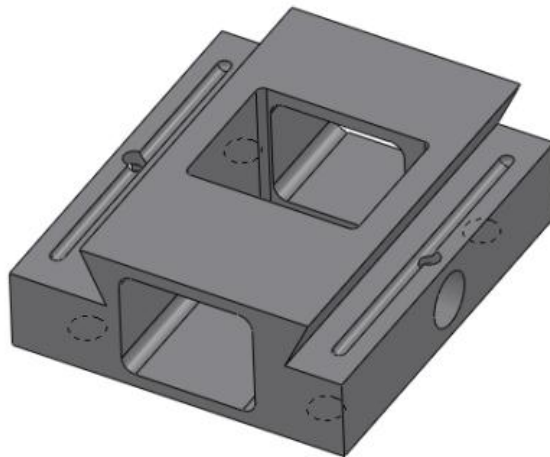


Figura 2.5: Pieza de la guía posterior con canales de lubricación.

Para el diseño del Soporte de la Guía Frontal, se utilizó acero al carbono simple de aleación en AISI - SAE 1020 ($S_y = 331MPa$), de acuerdo a la aplicación detallada en la Tabla 1.2 de la Sección 1.4.2, además este tipo de acero se lo puede encontrar fácilmente en el país debido a su amplia comercialización.

Si se considera un factor de seguridad²⁷ $N = 3$, el esfuerzo de diseño máximo es:

$$\sigma' < \sigma_d = \frac{S_y}{N} \text{ Ec. 2.3}$$

$$\sigma_d = 331MPa/3$$

$$\sigma_d = 110.33 MPa$$

²⁷MOTT Robert L., Diseño de Elementos de Máquinas, Prentice Hall, Cuarta Edición, página 185.

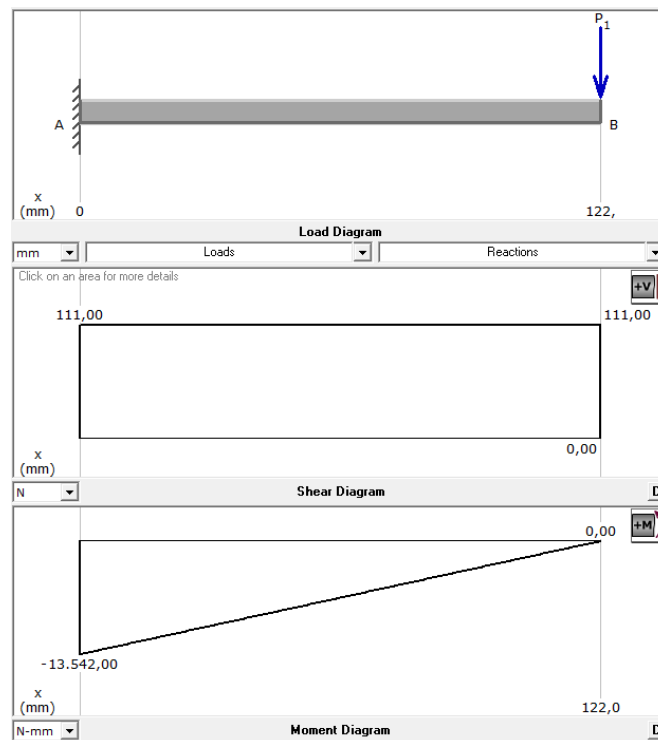


Figura 2.6: Diagrama de cuerpo libre, fuerzas y momentos para el soporte de la guía frontal.

El análisis de fuerzas y el diagrama de momentos realizado en el software MDSolids (Figura 2.6), se tiene que $M = 13542 \text{ N}\cdot\text{mm}$, por tanto el valor del módulo de la sección transversal está dado por:

$$S = \frac{M}{\sigma_A} \quad \text{Ec. 2.4}$$

$$S = 13542 \text{ Nmm} / 110.33 \text{ MPa} = 122.74 \text{ mm}^3$$

El espesor de la placa para el soporte es de²⁸:

$$H = \sqrt{\frac{6S}{B}} \quad \text{Ec. 2.5}$$

²⁸MOTT Robert L., Diseño de Elementos de Máquinas, Prentice Hall, Cuarta Edición, Apéndice 1, página A-1.

$$H = \sqrt{\frac{6(122.74\text{mm}^3)}{64}} = 3.39 \text{ mm}$$

De este modo se selecciona el espesor de 4 mm para el Soporte de la Guía Frontal. A continuación se presenta el estudio de tensiones en SolidWorks:

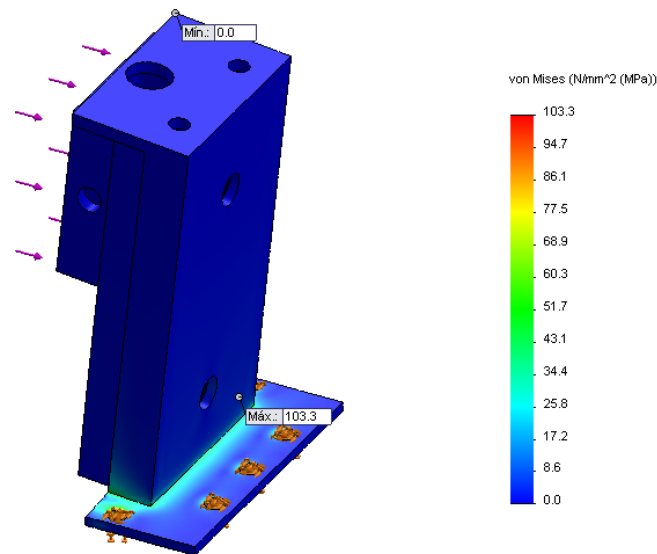


Figura 2.7: Escala de tensiones según el criterio de Von Mises.

En la Figura 2.7, se observa la escala de Von Mises, donde el esfuerzo máximo es de 103.3 MPa y el esfuerzo de diseño es igual a 110.33 MPa cumpliendo con la Ecuación 2.3:

$$\sigma' < \sigma_d$$

$$103.3 \text{ MPa} < 110.33 \text{ MPa}$$

2.2.2. Diseño del sistema mecánico para el movimiento del eje X.

Para el movimiento del eje X, se necesita extender la mesa transversal debido al pandeo que se genera sobre la misma por el peso del eje Y; para lo cual se implementa en el diseño una mesa transversal de

aluminio; debido a que es un material liviano, resistente a los impactos y a la corrosión, cumpliendo el recorrido de 110 mm.

El deslizamiento es por el mecanismo de bocines y guías. El diseño mecánico del movimiento del eje X (ANEXO A-9) es el siguiente:

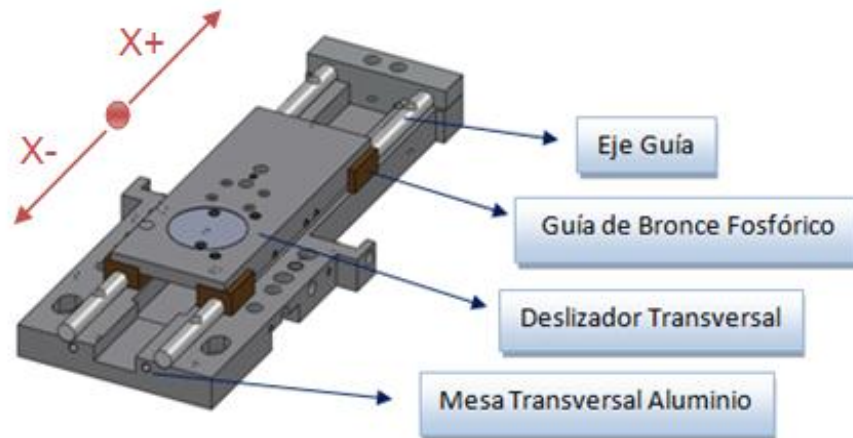


Figura 2.8: Mecanismo de movimiento del eje X.

Cuando una fuerza se aplica a un sistema de guías, en cada apoyo se encuentra diferentes fuerzas que se determinan usando las siguientes ecuaciones²⁹ de acuerdo a la Figura 2.9.

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

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

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

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

Ec. 2.6

²⁹Mechanics of materials, Prentice Hall, Hibbeler R. C. 2005, sixth edition, Pág. 102.

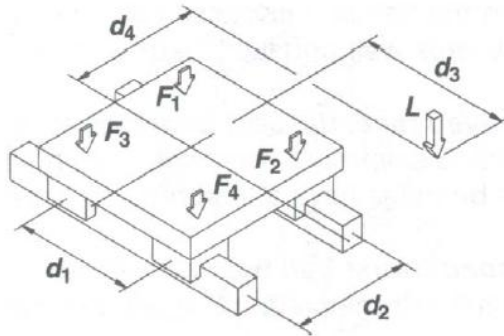


Figura 2.9: Traslación horizontal con carga normal.

Para este caso se tiene que:

L_x = Fuerza resultante de la sumatoria del peso de la estructura del eje “Y” y de la fuerza de corte.

W_y = Es el peso de la estructura del eje “Y” y un peso externo de 49 N.

Donde: $L_x = W_y + F_c = (m_{estructura} * g) + (m_{externa} * g) + F_c$

$$L_x = (4kg * 9.8m/s^2) + (5.5kg * 9.8m/s^2) + 111 N = 204.1 N$$

Entonces utilizando las Ecuaciones 2.6:

$$F_1 = \frac{204.1}{4} - \frac{204.1}{2} \left(\frac{29}{135} + \frac{12.85}{55.7} \right) = 5.56 N$$

$$F_2 = \frac{204.1}{4} + \frac{204.1}{2} \left(\frac{29}{135} - \frac{12.85}{55.7} \right) = 49.4 N$$

$$F_3 = \frac{204.1}{4} - \frac{204.1}{2} \left(\frac{29}{135} - \frac{12.85}{55.7} \right) = 52.64 N$$

$$F_4 = \frac{204.1}{4} + \frac{204.1}{2} \left(\frac{29}{135} + \frac{12.85}{55.7} \right) = 96.49 N$$

Tomando en cuenta que la estructura tiene dos ejes guías de iguales características, se considera que las fuerzas mayores son F3 y F4 para realizar el análisis de esfuerzos. Entonces para el diseño se escoge los

ejes guías, el momento flector máximo de la estructura (Figura 2.8) correspondiente a la estructura horizontal del “X”.

Si se considera un factor de seguridad³⁰ $N = 3$; el material del eje es AISI-SAE 410 ($S_y = 276 \text{ MPa}$), de acuerdo a la aplicación detallada en la Tabla 1.2 de la Sección 1.4.2, además este tipo de acero se lo puede encontrar fácilmente en el país debido a su amplia comercialización.

De la Ecuación 2.3 el esfuerzo de diseño máximo es:

$$\sigma' < \sigma_d = \frac{S_y}{N}; \quad \sigma_d = 276 \text{ MPa} / 3 = 92 \text{ MPa}$$

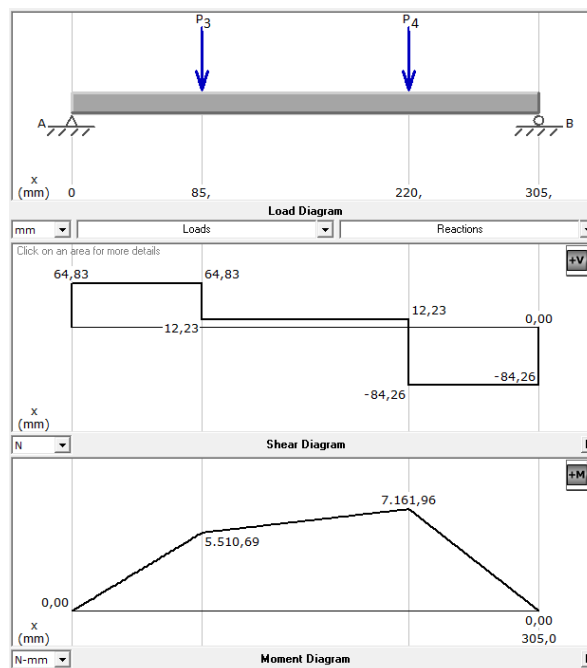


Figura 2.10: Diagrama de cuerpo libre, fuerzas y momentos para los ejes guías.

El análisis de fuerzas y el diagrama de momentos realizado en el software MDSolids (Figura 2.10) se tiene que $M = 7161.96 \text{ N-mm}$, por tanto el valor del módulo de la sección transversal está dado por:

³⁰MOTT Robert L., Diseño de Elementos de Máquinas, Prentice Hall, Cuarta Edición, página 185.

$$S = M/\sigma_A$$

$$S = 7161.96 \text{ Nmm}/92 \text{ MPa}$$

$$S = 77.85 \text{ mm}^3$$

El diámetro del eje deberá ser³¹:

$$D = \sqrt[3]{\frac{32S}{\pi}} \quad \text{Ec. 2.7}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{32(77.85\text{mm}^3)}{\pi}}$$

$$D = 9.25 \text{ mm}$$

De esta forma se selecciona los ejes guías de la coordenada “X”, de un diámetro de 10 mm.

A continuación se presenta el estudio de tensiones en SolidWorks:

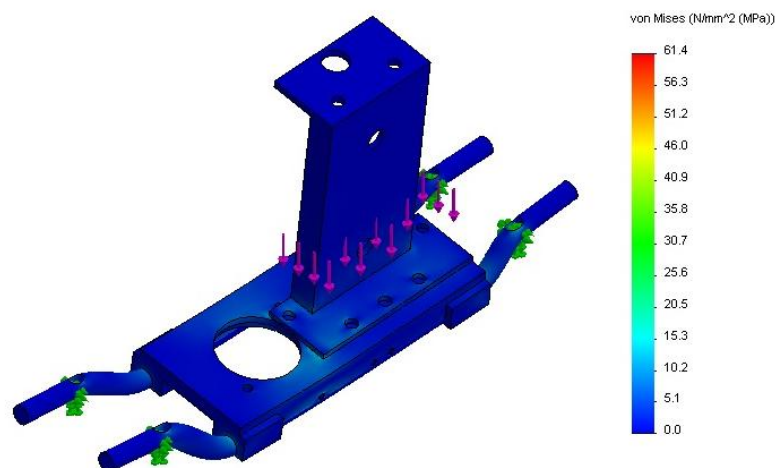


Figura 2.11: Escala de tensiones según el criterio de Von Mises.

³¹MOTT Robert L., Diseño de Elementos de Máquinas, Prentice Hall, Cuarta Edición, Apéndice 1, página A-1.

En la Figura 2.11, se observa la escala de Von Mises, donde el esfuerzo máximo es de 61.4 MPa y el esfuerzo de diseño es igual a 92 MPa cumpliendo con la Ecuación 2.3:

$$\sigma' < \sigma_d$$

$$61.4 \text{ MPa} < 92 \text{ MPa}$$

2.2.3. Diseño del sistema mecánico para el movimiento del eje Z.

El eje Z se compone del mismo mecanismo de movimiento inicial, a excepción de la Mesa Transversal de Aluminio como se observa en la Figura 2.12, que debe soportar la siguiente fuerza (L_Z):

L_Z = Fuerza resultante de la sumatoria del peso de la estructura del eje Y, la estructura del eje X y de la fuerza de corte, que actúa sobre el eje Z.

W_y = Es el peso de la estructura del eje Y y un peso externo de 49 N.

W_x = Es el peso de la estructura del eje X.

$$L_Z = W_y + W_x + F_c$$

$$L_Z = (m_{estructura} + m_{externa}) * g + (m_{estructura}) * g + F_c$$

$$L_Z = (4kg + 5.5kg) * \left(\frac{9.8m}{s^2}\right) + (5kg) * \left(\frac{9.8m}{s^2}\right) + 111 \text{ N} = 253.1 \text{ N}$$

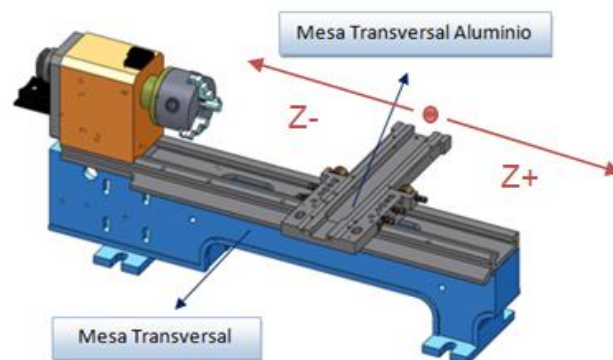


Figura 2.12: Mecanismo de movimiento para el eje Z.

En la Figura 2.13 se observa que la Mesa Transversal de Aluminio también constará de dos Guías y dos bocines de Bronce Fosfórico, se utiliza este material para aprovechar sus propiedades de deslizamiento y resistencia de desgaste a la corrosión.

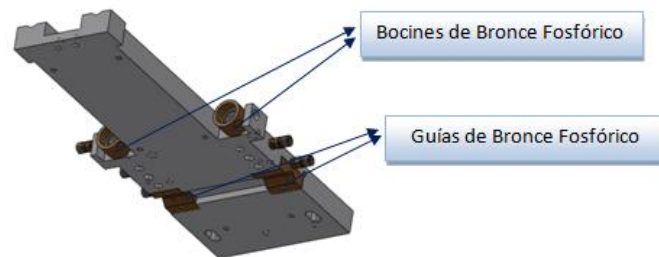


Figura 2.13: Mesa transversal de aluminio con piezas de bronce fosfórico.

Las dimensiones del mecanismo del eje Z se detallan en el ANEXO A-17.

2.3 CÁLCULO DEL TORQUE PARA LAS ESTRUCTURAS³².

Se realiza el cálculo del torque únicamente para el Eje Z, debido a que es el que mayor carga tiene en avance y también soporta todo el peso de los Ejes X, Y; tomando en cuenta esto y el consumo de la fuerza de corte se determina las características de los motores.

La distribución de fuerzas e inercias sobre una mesa de mecanizado se observan en la siguiente figura:

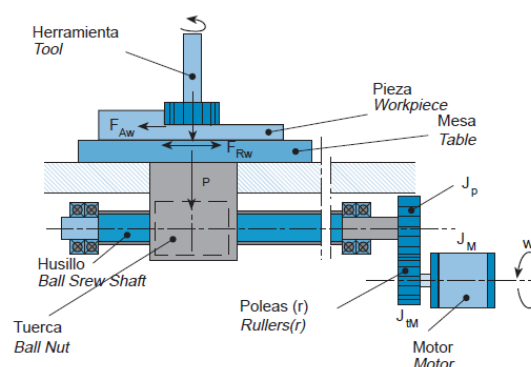


Figura 2.14: Fuerzas e inercias de la mesa de mecanizado.

³²Korta. Catalogo técnico husillo a bolas. Cálculos de diseño. Par e inercia. Pag58.

El torque total (T_{tot}) que debe proporcionar el motor para el movimiento del husillo, viene dado por:

$$T_{tot} = r * T_E + T_D \quad Ec. 2.8$$

Donde: T_E = Par Estático (Nm)

T_D = Par Dinámico (Nm)

r = Relación de Poleas

El torque estático (T_E) se calcula por la siguiente ecuación:

$$T_E = T_{pr} + T_L + T_{rod} \quad Ec. 2.9$$

Donde: T_{pr} = 0 (Par de precarga en husillos de bolas)

T_L = Par que deberá soportar el motor debido a la carga.

T_{rod} = 34.32×10^{-3} N-m (Par de fricción rodamientos de apoyo)

El Par que soporta el motor T_L está dado por:

$$T_L = \frac{F_A * P_h * 10^{-3}}{2\pi * n_p} \quad Ec. 2.10$$

Donde: F_A = Carga axial soportada por el husillo (N)

P_h = 5 mm (Paso del husillo de bolas)

n_p = Eficiencia práctica

Se debe encontrar el valor de la carga axial F_A con la ecuación:

$$F_A = F_L + u_s(F_V + F_P) \quad Ec. 2.11$$

Donde: F_L = Carga en dirección del eje del husillo soportada por la mesa (Fuerza de Corte)

F_V = Carga vertical soportada por la mesa (peso estructural)

F_P = Carga en la dirección perpendicular al movimiento soportada por la mesa.

$u_s = 0.3$ (Coeficiente de rozamiento de las guías de bronce fosfórico sobre aluminio)³³.

$$F_A = 111 N + 0.3(142.1 N + 111 N) = 186.93 N$$

Para encontrar la eficiencia práctica n_p , sabiendo que maquinas CNC el rendimiento es 90%:

$$n_p = n_t * 0.9 \quad \text{Ec. 2.12}$$

La eficiencia teórica n_t viene dada por:

$$n_t = \frac{1}{1 + \frac{\pi d_0}{P_h} * u_c} \quad \text{Ec. 2.13}$$

Donde: d_0 = Diámetro nominal el eje del husillo.

$u_c = 0.006$ (Coeficiente de fricción del husillo).

$$n_t = \frac{1}{1 + \frac{\pi(16)}{5} * 0.006} = 0.943$$

La eficiencia práctica se obtiene con la Ecuación 2.12:

$$n_p = 0.943 * 0.9 = 0.849$$

Se encuentra el valor de T_L con la Ecuación 2.10:

$$T_L = \frac{(186.93 N)(5 mm) 10^{-3}}{2\pi(0.849)} = 0.175 Nm$$

³³http://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html

Con los valores obtenidos se calcula el torque estático T_E con la Ecuación 2.9:

$$T_E = 0 + 0.175 Nm + 34.32 \times 10^{-3} Nm = 0.2095 Nm$$

Ahora se procede a calcular el torque dinámico con la ecuación:

$$T_D = \bar{\omega} * J_S \text{ Ec. 2.14}$$

Donde: $\bar{\omega}$ = Aceleración angular motor

J_S = Inercia total de la estructura

La inercia total J_S se calcula mediante la sumatoria de las inercias del motor, husillo, reductor y de la mesa:

$$J_S = J_{MOTOR} + r(J_{HUSILLO} + J_{REDUCTOR} + J_{MESA}) \text{ Ec. 2.15}$$

La inercia del husillo de bolas se obtiene por:

$$J_{HUSILLO} = (\pi * L * \rho * d^4) \div 32 \quad \text{Ec. 2.16}$$

Donde: L = Longitud del husillo de bolas (0.449m)

ρ = Densidad del material del husillo de bolas (7700kg/m³)

d = Diámetro del husillo de bolas (0.016m)

$$\begin{aligned} J_{HUSILLO} &= (\pi(0.449m) * (7700kg/m^3) * (0.016m)^4) \div 32 \\ &= 2.224 \times 10^{-5} Kg m^2 \end{aligned}$$

La inercia de la mesa viene dada por:

$$J_{MESA} = \frac{m \left(\frac{P_h}{2\pi} \right)^2 * 10^{-6}}{n_p} \quad \text{Ec. 2.17}$$

Donde: m = Masa del husillo de bolas (0.52Kg)

$$J_{MESA} = \frac{(0.52Kg) \left(\frac{5mm}{2\pi}\right)^2 * 10^{-6}}{0.849} = 3.878 \times 10^{-7} Kg m^2$$

La inercia del motor³⁴ es: $J_{MOTOR} = 2.5 \times 10^{-5} Kg m^2$. Se calcula la inercia total J_s de la estructura con la Ecuación 2.15:

$$J_s = 2.5 \times 10^{-5} Kg m^2 + 1(2.224 \times 10^{-5} Kg m^2 + 0 + 3.878 \times 10^{-7} Kg m^2)$$

$$J_s = 4.76278 \times 10^{-5} Kg m^2$$

El torque dinámico (T_D) se obtiene con la Ecuación 2.14:

$$T_D = \left(2513.27 \frac{rad}{seg^2}\right) \left(4.76278 \times 10^{-5} \frac{Kg}{m^2}\right) = 0.1197 Nm$$

Por último con la Ecuación 2.8 se obtiene el torque total (T_{tot}):

$$T_{tot} = 1(0.2095 Nm) + 0.1197 Nm = 0.329 Nm$$

Aplicando un factor de seguridad³⁵ $N=2$ tenemos:

$$T_{MOTOR} = T_{tot} * N = 0.329 Nm * 2 = \mathbf{0.658 Nm}$$

Se calcula solo el torque del eje Z, ya que en él se ejerce mayor carga y avance. Con este valor se selecciona los motores para mover las estructuras de los ejes X, Y, Z.

2.4 SELECCIÓN DE LOS MOTORES PARA LOS EJES X, Y, Z.

De acuerdo a la Sección 2.3 se procede a seleccionar los motores para los ejes, entre ellos se tiene las marcas de: QuickSilverControls, Tolomatic, Technosoft, Rotalink. Se opta por la marca QuickSilverControls debido a su alta calidad, confiabilidad y variedad ya que ofrece motores de diferente tamaño de acuerdo al torque y los pulsos por revolución como se observa en la siguiente tabla:

³⁴http://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.htm.

³⁵http://www.winsmith.com/se_encore/Appendix/Service_Factors.pdf.

Manual del sistema SureStep. Selección del Sistema SureStep. Apéndice A-6.

Tabla 2.3. Tipos de motores QuickSilverControls.

Motores QuickSilverControls		
Tipo (Tamaño)	Counts/Rev	Torque
Nema 11 Frame	4000	0.077 N-m
Nema 17 Frame	8000	0.353 N-m
Nema 23 Frame	8000	2.683 N-m
Nema 24 Frame	8000	2.33 N-m
Nema 34 Frame	16000	22.6 N-m

De acuerdo al cálculo el torque realizado en la Sección 2.3, se selecciona los motores de tipo Nema 23 de la serie QCI-A23-3, en el ANEXO C se observa sus características.

2.5 SELECCIÓN DEL MOTOR PARA EL MANDRIL O EJE A.

En base a la potencia de corte en la Tabla 2.2, se procese de a la selección del motor del mandril; considerando este parámetro se compara con la placa de datos del motor DC CHUG HSIWCO.LTDA., original del mandril del torno (IRON HAND CH-350LMA) de 500 W, 4000 RPM, con un reductor de velocidad de 17/25; por esto se mantendrá este motor acoplado a un encoder ya que cumple las características deseadas.

2.6 DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS HUSILLOS DE BOLAS.

2.6.1. Diseño del husillo de bolas para el eje Z.

Para el del husillo del eje Z, se utiliza la fuerza calculada en la Sección 2.2.3, $L_z = 253.1$ N.

Si se considera un factor de seguridad³⁶ $N = 3$, el material del husillo es AISI SAE-410 ($S_y = 276 \text{ MPa}$), de acuerdo a la aplicación detallada en la Tabla 1.2 de la Sección 1.4.2.

De la Ecuación 2.3 el esfuerzo de diseño máximo será:

$$\sigma_d = S_y / N$$

$$\sigma_d = 276 \text{ MPa} / 3 = 92 \text{ MPa}$$

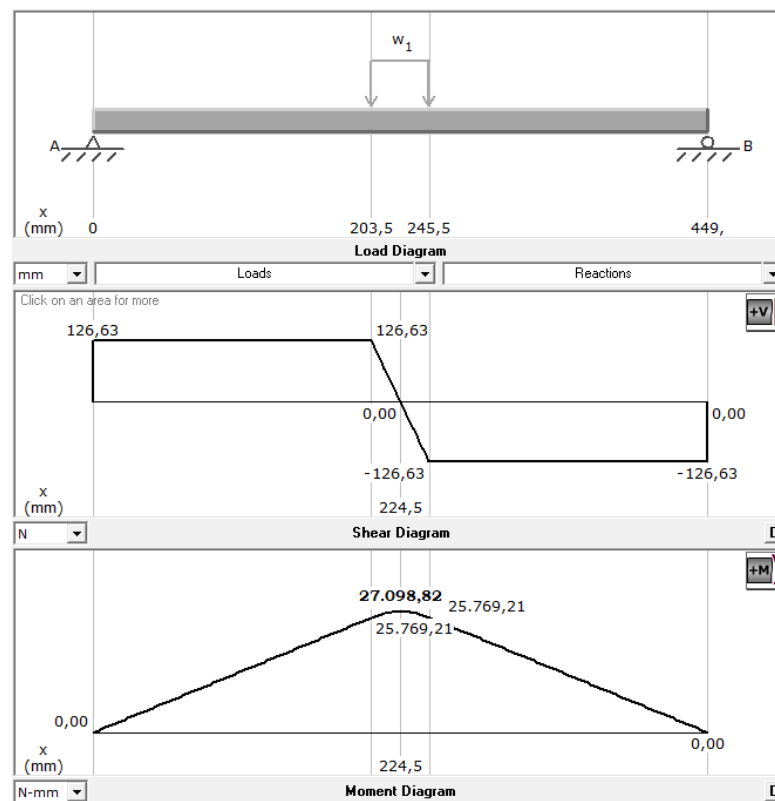


Figura 2.15: Diagrama de cuerpo libre, fuerzas y momentos para el husillo de bolas.

El análisis de fuerzas y el diagrama de momentos realizado en el software MDSolids (Figura 2.15) se tiene que $M = 27098,82 \text{ N-mm}$, por tanto el valor del módulo de la sección transversal está dado por:

³⁶MOTT Robert L., Diseño de Elementos de Máquinas, Prentice Hall, Cuarta Edición, página 185.

$$S = M/\sigma_A$$

$$S = 27098.82 \text{ Nmm}/92 \text{ MPa} = 294.6 \text{ mm}^3$$

El diámetro del husillo de bolas debe ser:

$$D = \sqrt[3]{\frac{32S}{\pi}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{32(294.6\text{mm}^3)}{\pi}} = 14,42 \text{ mm}$$

De esta forma se selecciona el Husillo de Bolas para el Eje Z de un diámetro de 16 mm.

El paso del husillo está dado por la siguiente ecuación:

$$p = \frac{V_L(\text{mm}/\text{min})}{\text{RPM}} \quad \text{Ec. 2.7}$$

Donde:

rpm= Velocidad de rotación a la que debe girar el tornillo

Se determino en la Sección 2.4 un motor de 500 RPM.

VL= Velocidad lineal a la que se mueve la plataformaes 2500 mm/min determinada en la Sección 2.2.

$$p = \frac{2500(\text{mm}/\text{min})}{500\text{rev}/\text{min}} = 5 \text{ mm}/\text{rev}$$

2.6.2. Diseño del husillo de bolas para los ejes Y, X.

Para el diseño se centró en el eje X, debido a que soporta mayor carga y se utilizó la fuerza calculada en la sección 2.2.2, $L_x = 204.1 \text{ N}$.

Si se considera un factor de seguridad³⁷ $N = 3$, el material del husillo es AISI SAE-410 ($S_y = 276 \text{ MPa}$), de acuerdo a la aplicación detallada en la Tabla 1.2 de la Sección 1.4.2.

De la Ecuación 2.3 el esfuerzo de diseño máximo será:

$$\sigma_d = S_y / N$$

$$\sigma_d = 276 \text{ MPa} / 3 = 92 \text{ MPa}$$

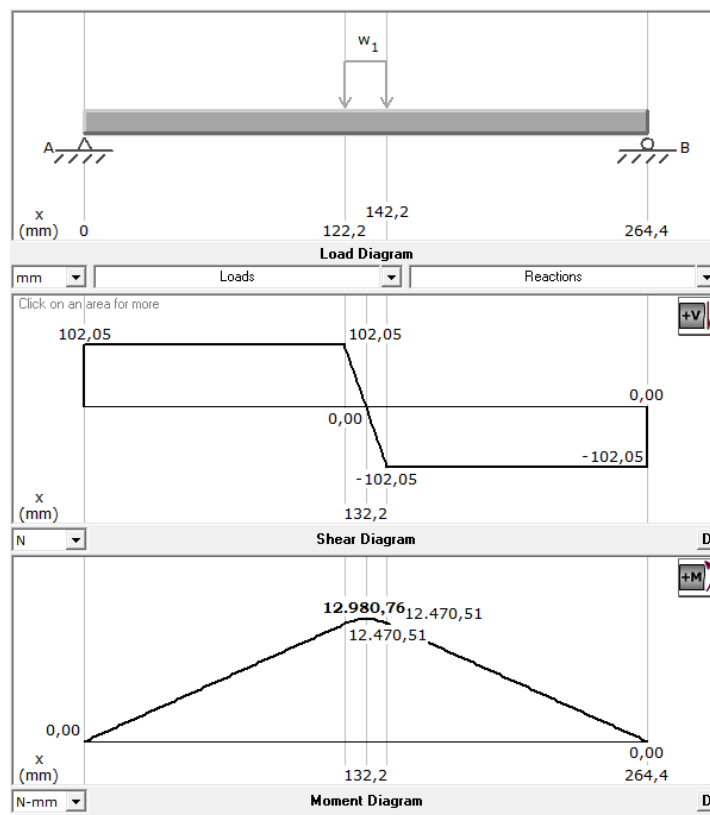


Figura 2.16: Diagrama de cuerpo libre, fuerzas y momentos para el husillo de bolas.

El análisis de fuerzas y el diagrama de momentos realizado en el software MDSolids (Figura 2.16) se tiene que $M = 27098,82 \text{ N-mm}$, por tanto el valor del módulo de la sección transversal está dado por:

³⁷MOTT Robert L., Diseño de Elementos de Máquinas, Prentice Hall, Cuarta Edición, página 185.

$$S = M/\sigma_A$$

$$S = 12980.76 \text{ Nmm}/92 \text{ MPa} = 141.1 \text{ mm}^3$$

El diámetro del husillo de bolas debe ser:

$$D = \sqrt[3]{\frac{32S}{\pi}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{32(141.1 \text{ mm}^3)}{\pi}} = 11.29 \text{ mm}$$

De esta forma se selecciona el Husillo de Bolas para los ejes Y, X de un diámetro de 14 mm, con un paso de 5 mm.

2.6.3. Selección del husillo de bolas para los ejes Z.

Existen diferentes empresas que fabrican husillos de bolas con diámetros y pasos estándar, como por ejemplo: SKF, Atlanta, ISEL, LTK, Misumi. Los husillos de bolas para el eje Z se seleccionan de la casa comercial SKF debido a su calidad, variedad y comercialización de productos (Hoja de Datos SKF, PDF) de acuerdo al ANEXO B.

En la Tabla que se indica en el ANEXO B se selecciona un husillo de bolas de 16 mm de diámetro con un paso de 5 mm para el eje Z.

2.6.4. Selección del husillo de bolas para los ejes X, Y.

De las fábricas de husillos de bolas: SKF, Atlanta, ISEL, LTK, Misumi. No cumplen con el diámetro, el paso requerido y con el espacio de sujeción de tuerca para el proyecto por esta razón se construyó el husillo de bolas con su respectiva tuerca para los ejes.

En los Anexo A-7, A-16 y A-28 se detallan sus dimensiones.

2.7 SELECCIÓN DE ACOPLES FLEXIBLES.

El acople flexible se aplica para conectar el eje del motor con el husillo de bolas; existen diferentes empresas que fabrican acoples flexibles como: Siemens, Lovejoy, Mayr, Tsubakiy KTR; de acuerdo a la aplicación deseada del prototipo se determina construir ya que en las diferentes fabricas el costo es elevado.

En el Anexo A-32 se detallan la dimensiones del acople flexible de mordazas³⁸ (Figura 2.17).

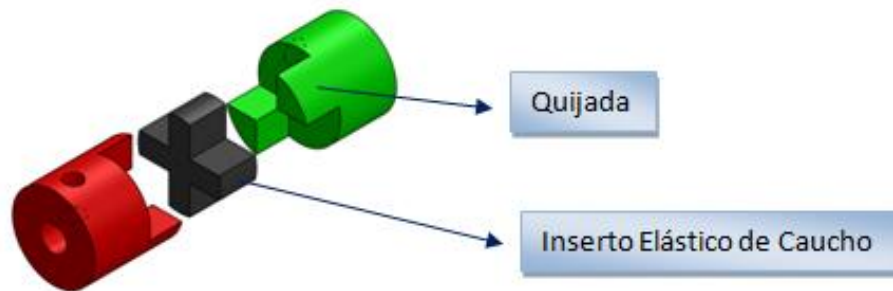


Figura 2.17: Acoplamiento flexible de mordazas.

2.8 DISEÑO Y SELECCIÓN DE GUÍAS.

Existen diferentes fabricantes guías como HLDB; pero debido a que el diseño del prototipo es único no existe guías que se ajusten a las dimensiones deseadas, por esto se construye las guías para los mecanismos del eje Z (Sección 2.2.3) y eje X (Sección 2.2.2).

En el ANEXO A-31 se detallan las dimensiones de las guías y el material seleccionados bronce fosfórico para aprovechar sus propiedades de deslizamiento y resistencia de desgaste a la corrosión.

En la Figura 2.18 se muestran las guías de bronce fosfórico.

³⁸<http://www.lovejoy-inc.com/>

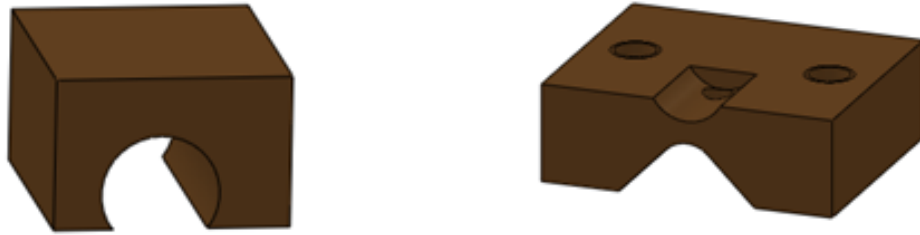


Figura 2.18: Guías de bronce fosfórico.

2.9 DISEÑO DE LOS PORTAHERRAMIENTAS.

Se diseñó dos tipos de portaherramientas debido a que trabaja como Torno-Fresadora y Fresadora 4 ejes. El primer portaherramientas (Figura 2.19), permite realizar operaciones de torneado y de fresado.

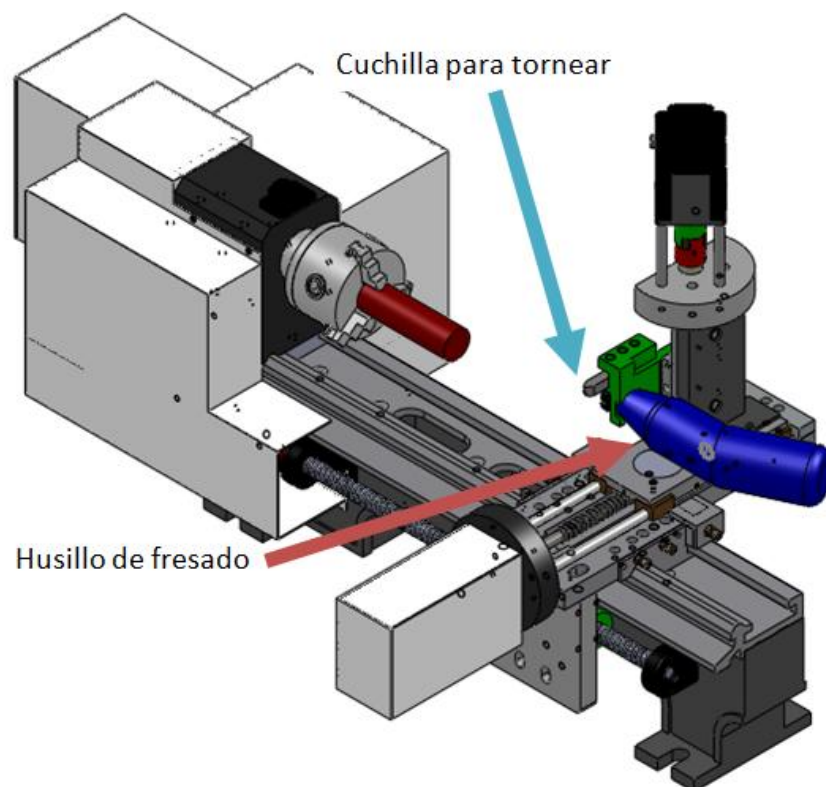


Figura 2.19: Portaherramientas 1 para el trabajo como torno y como fresadora.

El segundo portaherramientas como se observa en la Figura 2.20, permite mecanizar piezas como fresadora, utilizando los 4 ejes conjuntamente.

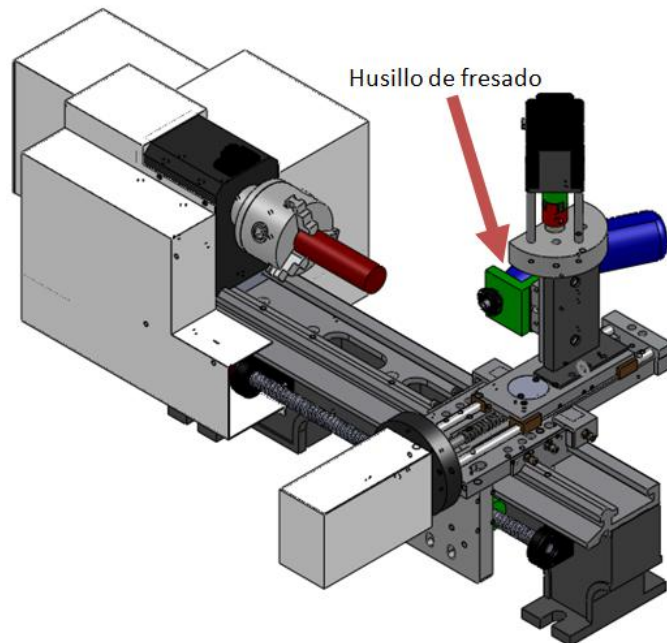


Figura 2.20: Portaherramientas 2 para el trabajo como fresadora de 4 ejes.

En el ANEXO A-29 y el ANEXO A-30 se detallan las dimensiones de los portaherramientas.

CAPÍTULO III

DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA CONTROL DEL PROTOTIPO DE TORNO FRESADOR CNC.

En el presente capítulo se describe el diseño y la selección del sistema de control del prototipo de torno fresadora capaz de realizar los dos modos de operación. La Figura 3.1 muestra el esquema general del control.



Figura 3.1: Esquema general del control.

3.1 PARÁMETROS DE DISEÑO Y SELECCIÓN PARA EL SISTEMA DE CONTROL DEL PROTOTIPO DE TORNO FRESADOR CNC.

Para el diseño sistema de control del prototipo se consideran los parámetros para los dos modos a operar: como Torno-Fresadora y como Fresadora; en cada uno de ellos se debe tomar en cuenta el número de ejes a controlar para que cumplan las funciones específicas.

En la Figura 3.2 se observa el diagrama de flujo del controlador para el prototipo de torno fresadora.

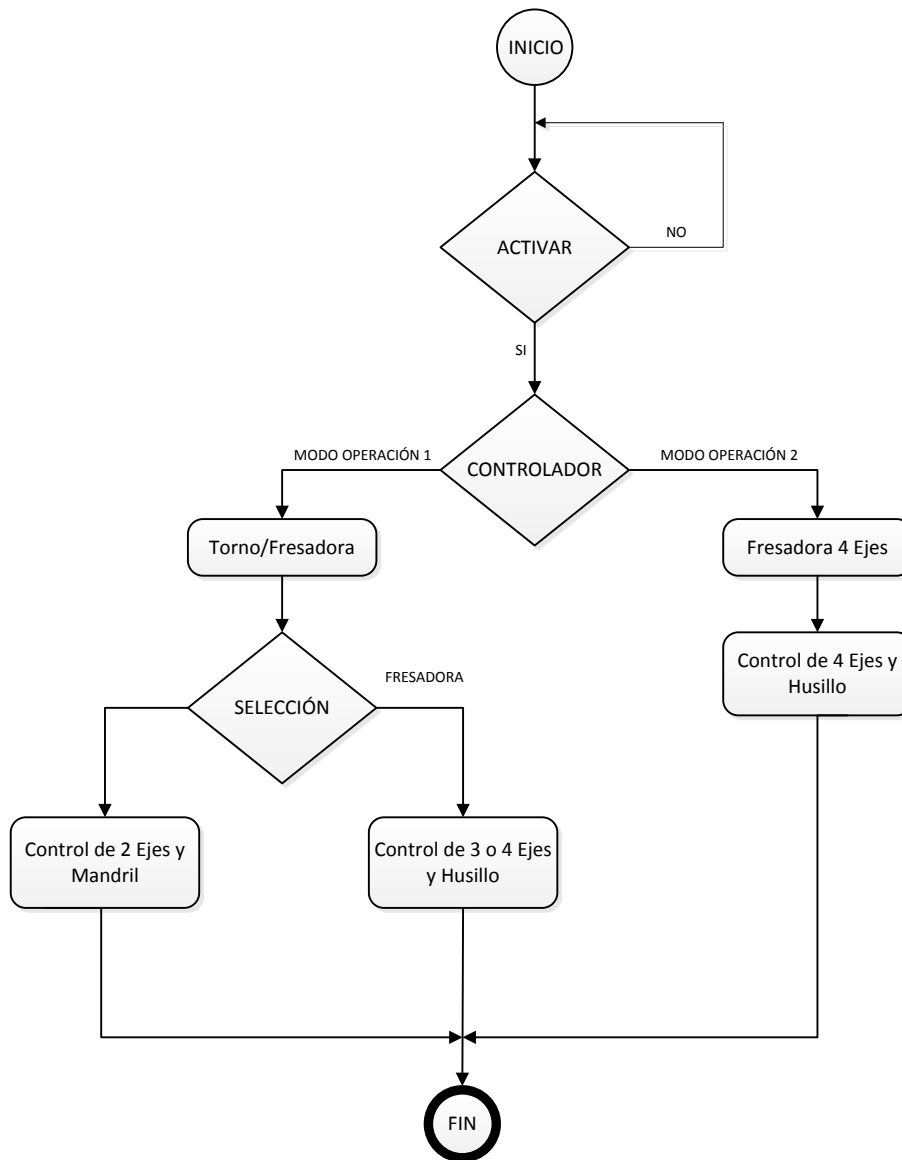


Figura 3.2: Diagrama de flujo del controlador.

El controlador tiene que satisfacer las necesidades del diagrama de flujo el cual puede ser software o hardware, para la aplicación deseada se opta por software con una tarjeta principal debido al bajo costo con relación al hardware.

3.1.1. Diseño del software.

El diseño del software tiene que ser amigable y eficaz al usuario, ya que él debe comunicarse con la tarjeta principal de control para controlar toda la máquina en forma manual o en forma automática para los dos modos de operación: como Torno-Fresadora y como Fresadora; a continuación se observa el diagrama de flujo del software.

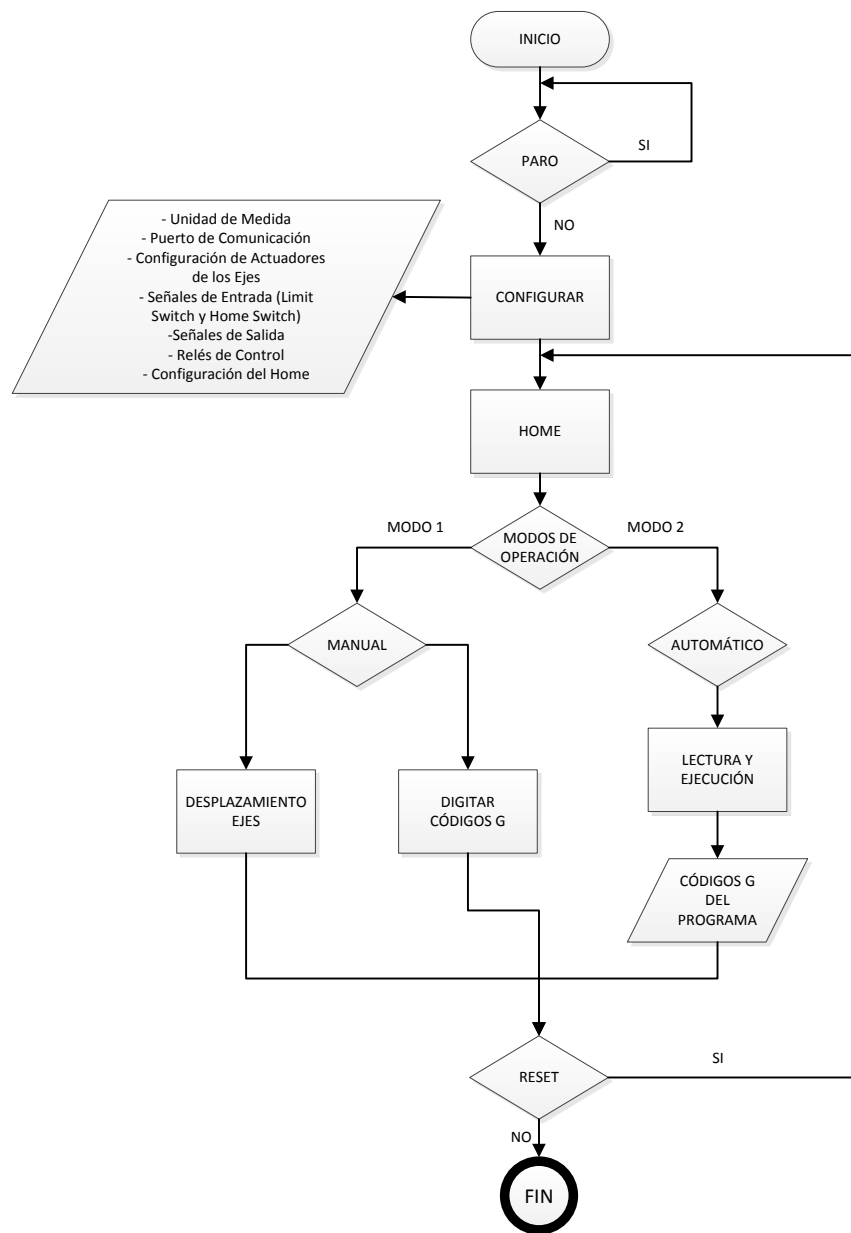


Figura 3.3: Diagrama de flujo del software.

3.1.2. Selección del software.

Hay distintos software que controla máquinas CNC, entre ellas tenemos: KCAM, DeskCNC, Mach, DesKAM; se selecciona Mach por tener una licencia gratuito (versión estudiantil) y permite controlar los movimientos en los ejes X, Y, Z, A y velocidades del husillo o del mandril. Entre Mach hay varias versiones entre ellas Mach2 y Mach3, las más actuales.

El Mach2, es un software para máquinas CNC que puede ser utilizado en fresadoras, tornos, máquinas cortadoras por plasma; para fresadoras se tiene un archivo Mach2mill, para el torno se emplea un archivo Mach2turn y para el plasma emplean un archivo THC300M2

El Mach3 es un software para máquinas CNC que puede ser utilizado en fresadoras, tornos, y se está incorporando para máquinas cortadoras por plasma; para fresadoras se tiene un archivo Mach3mill, para el torno se emplea un archivo Mach3turn y para el plasma emplean un archivo THC300M3, la versión es actualizada.

En base a las ventajas y desventajas de los dos software; se emplea el Mach3 para la automatización de torno fresadora.

➤ Mach3.

Es un programa para máquinas CNC que permite controlar los movimientos de los ejes X, Y, Z, A y controlar la velocidad del mandril o el husillo mediante códigos G. Este programa puede trabajar como torno o fresadora, en donde se ingresa los códigos G para el maquinado de la pieza; luego se envía los datos hacia las tarjetas y posteriormente hacia los actuadores.

Una vez diseñado y seleccionado el software de control se procede al diseño y selección de las tarjetas controladoras.

3.1.3. Diseño de las tarjetas controladoras.

La tarjeta principal debe comunicarse con el software Mach3 de una forma paralela debe cumplir los requerimientos del software detallado en la Sección 3.1.1.

El diseño de la tarjeta debe tener el control para los ejes X, Y, Z; los actuadores de estos ejes son motores paso a paso seleccionados en la Sección 2.4, el sistema de control de estos es de lazo abierto; y para el eje A el sistema de control es de lazo cerrado; encendido del mandril y del husillo. En la Figura 3.4 se describe el diagrama de bloque de las tarjetas controladoras.

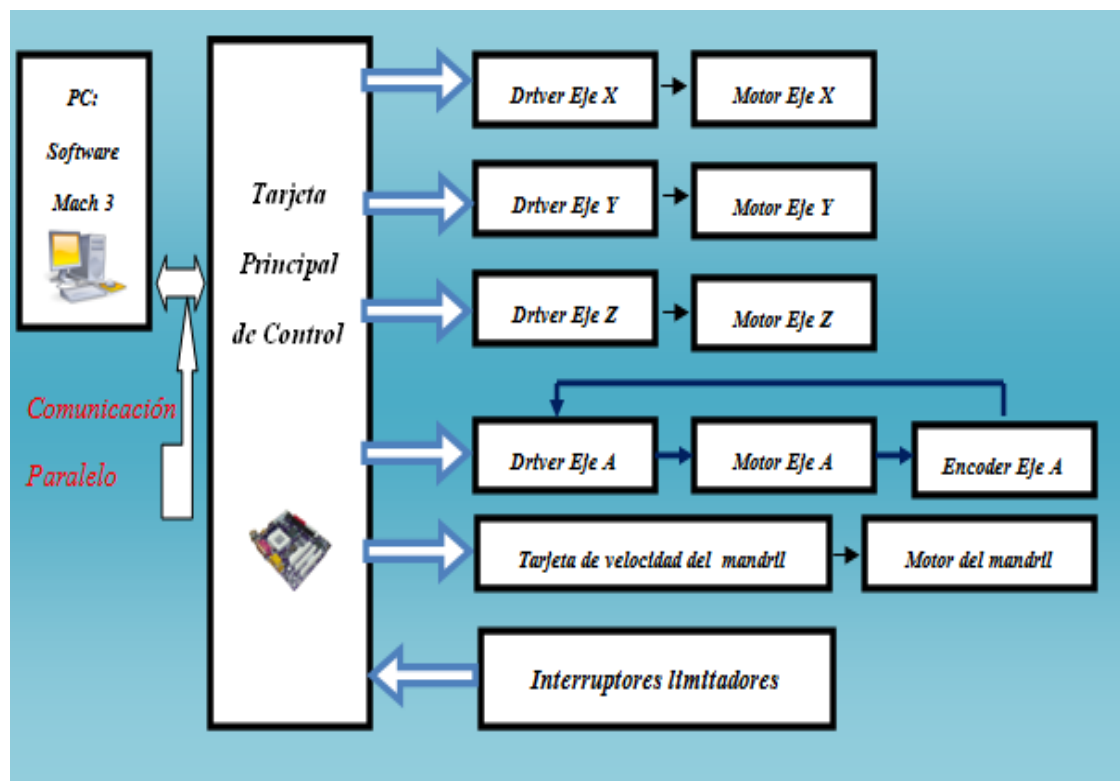


Figura 3.4: Diagrama de bloque de las tarjetas controladoras.

Como se puede apreciar en la Figura 3.4 se tiene cuatro sistemas de lazo abierto para los motores a paso de los ejes X, Y, Z y un control de lazo cerrado para el eje A; control de velocidad para el mandril y el husillo con una señal de 0 a 10Vdc.

3.1.4. Selección de la tarjeta principal.

Se comercializan diferentes tarjetas electrónicas de las marcas: Comboboard, Adaptec, ITT&T, Toshiba; que cumplen con las funciones que se requiere para este control, de excelentes características y costos moderados; lo cual hace que sean accesibles para este proyecto. Por esta razón es recomendable hacer uso de tarjetas ya fabricadas, en lugar de utilizar tarjetas diseñadas propiamente que involucrarían mayor tiempo en su construcción.

La tarjeta principal debe ser compatible con el software de control a emplearse (Mach3 que se detallará en la Sección 3.1.2). En la Tabla 3.1, se detallan las tarjetas compatibles con el software.

Tabla 3.1. Características de las tarjetas PC-2-Route modelo M2 y M2 OEM

CARACTERISTICAS	PC-2-Route Modelo M2 Rev. 1.8	PC-2-Route all in one Modelo M2 OEM
COMUNICACIÓN	Puerto paralelo	Puerto paralelo
SOFTWARE COMPATIBLE	Mach2 y Mach3	Mach3 OEM
EJES DE CONTROL - PARA COORDENADAS	X – Y – Z – A	X – Y – Z – A
CONTROL DE LIMIT SWITCH - PARA COORDENADAS	X – Y – Z – A	X – Y – Z – A
CONTROL DE HOME SWITCH - PARA COORDENADAS	X – Y – Z – A	X – Y – Z – A
CONTROL DE VELOCIDAD DE LA HERRAMIENTA PRINCIPAL	-----	SPINDLE CONTROL
CONTROL DE BOMBA DE REFRIGERANTE	-----	RELE DE CONTROL
DESCRIPCION	Figura 3.5	Figura 3.6



Figura 3.5: pc-2-route modelo m2 rev. 1.8.

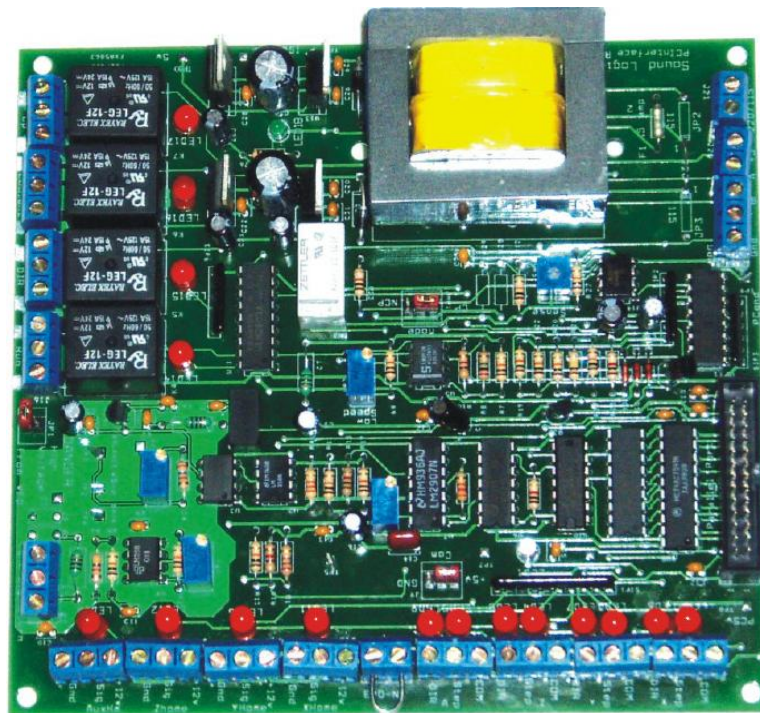


Figura 3.6: PC-2-Route all in one modelo M2 OEM (a. JP2, b. JP1).

Estas dos tarjetas tiene las misma características, su funcionamiento es similar, la diferencia radica en que la primera no tiene relés que son

utilizados para el control de velocidad de la herramienta principal y otras opciones; para el control del torno-fresadora del proyecto se requiere de la tarjeta PC-2-Route all in one Modelo M2 OEM (Combo Board) que dispone del control de velocidad para el mandril.

Funcionamiento de la PC-2-Route all in one modelo M2 OEM con PC Puerto paralelo, tarjeta Combo Board para Mach2 y Mach3.

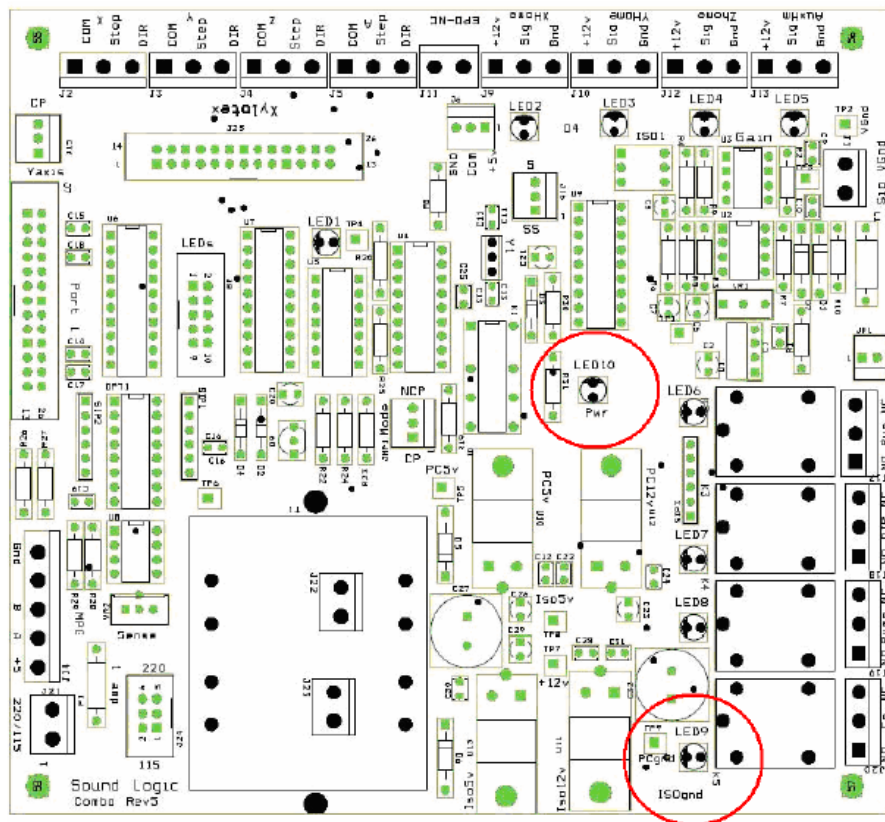


Figura 3.7: Vista superior de la tarjeta Combo Board.

En la Figura 3.7 se indica la vista superior de la tarjeta Combo Board; los elementos de verificación del funcionamiento de la tarjeta son los LED9 y LED10; de los cuales el LED9 habilita el funcionamiento general de la tarjeta siempre y cuando esté encendido, y esto se logra siempre que los LimitSwitch, Home Switch y EStop no estén activos; y el LED10 se encenderá siempre que la tarjeta esté energizada. La tarjeta tiene diferentes conexiones detalladas en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Conexiones de la tarjeta Combo Board.

BORNERA	TERMINAL	CONEXIÓN
J2 a J5	COM, Step, Dir	Señales para los driver X, Y, Z y A
J6	GND, COM, +5	Para los Gecko drive debe unirse COM y +5
J7	Puerto Paralelo	Conexión con el puerto paralelo
J9 a J13 Limit/Home Inputs	+12V, Sig, Gnd	Conexiones en Paralelo entre los Limit Y Home Switch
J16	S, COM, SS	Conectar entre S y COM para habilitar a los relés
J17 a J20	NC, Run, NO	Salidas a relés
J21	220/110	Entrada alimentación VAC
J24	1,2,3,4,COM	Conectar 1 con COM y 2 con COM en paralelo para Habilitar 110VAC
TP3 y TP9	(+) y (-)	Conectar al voltímetro para fijar la señal de salida J1

3.1.5. Selección de la tarjeta de control para los ejes X, Y, Z.

El sistema de control para los ejes X, Y, Z es de lazo abierto (Sección 1.5.1); este sistema es utilizado por los motores de tipo Nema 23 de la serie QCI-A23-3 que fueron seleccionados en la Sección 2.4.

Existen diversas tarjetas en lo que se refiere al control de motores paso a paso entre ellas se encuentran las siguientes:

1. Las tarjetas proporcionadas por la National Instruments, donde se ofrece tres familias principales de controladores para movimientos, incluyendo las de la serie de bajo costo NI733x, la serie de rango medio NI734x y la serie de alto rendimiento NI735x. El controlador de la serie de bajo costo NI733x ofrece control de motores paso a paso a cuatro ejes y la mayoría de las funciones básicas que se necesitan para una gran

variedad de aplicaciones, incluyendo movimientos simples y punto a punto de múltiples ejes (Figura3.8.).

El precio oscila entre los \$3000 a \$4000 dólares dependiendo de la familia que utilice, no son compatibles con la tarjeta principal y tampoco con el software de control que se va a utilizar, por lo que no es adecuada para el proyecto.



Figura 3.8: Tarjeta National Instruments.

2.La Tarjeta Gecko Drive G202 (Figura 3.9), es capaz de controlar motores paso a paso, tiene un rango de operación para la corriente del motor que oscila desde 1 a 7 amperios, las especificaciones técnicas se detallan en el ANEXO D-1.



Figura 3.9: Tarjeta Gecko Drive G202.

Esta tarjeta se encuentra disponible en el mercado internacional a un costo accesible, por lo cual resulta adecuada para la implementación del proyecto. Es la encargada de recibir y procesar la información que envía la tarjeta principal, para luego enviar pulsos o señales de control hacia los motores paso a paso.

La G202 está protegida contra cortocircuitos de los bobinados del motor, es decir de un bobinado del motor a otro bobinado y del bobinado a tierra. La G202 también está protegida contra fallas en las conexiones o mala distribución de las fases en los motores; esto normalmente ocurre cuando los bobinados de un motor se conectan incorrectamente, para la configuración en serie o paralelo; además no está protegida contra cortocircuitos entre un bobinado y el positivo de la fuente.

No existe ninguna protección contra la polaridad de la fuente invertida, contra voltajes que excedan los 80 Vdc y del límite máximo de temperatura. También se recomienda no conectar o desconectar el motor mientras la G202 se encuentra encendida; un led indicador muestra si la tarjeta controladora está encendida o no.

Cuando una condición de cortocircuito es encontrada, la G202 entra en protección (shutdown), apagando las bobinas de salida. Las salidas de la G202 permanecen en shutdown hasta que la fuente sea apagada y descargada, entonces se enciende nuevamente. En caso de que se active dicha protección, se debe verificar las conexiones eléctricas y los cables de alimentación al motor.

La identificación de los terminales de la tarjeta controladora G202 que van hacia las bobinas del motor paso a paso, se describen a continuación:

Terminal 1 → Tierra o GND de la fuente de alimentación de Vdc.

Terminal 2 → Voltaje de alimentación en un rango de 24 a 80 Vdc.

La elección de la fuente de voltaje depende de la alta velocidad de funcionamiento que requiere el motor, con lo cual la fuente debe tener un nivel de voltaje no menos de 4 veces ni más de 25 veces el voltaje nominal del motor. Si se encuentra menor a 4 veces del voltaje nominal del actuador, este no se moverá suavemente o se atascará; si se encuentra sobre las 25 veces del voltaje nominal, el actuador se calentará provocando daños en el mismo.

Terminal 3 → Al inicio de un bobinado del motor (bobina A).

Terminal 4 → Al final del bobinado del motor (bobina B).

Terminal 5 → Al inicio del otro bobinado (bobina C).

Terminal 6 → Al final del otro bobinado (bobina D).

Estos terminales se conectarán a las bobinas del motor dependiendo del tipo; estos pueden ser de 4, 6, u 8 cables, al estar conectados en serie o paralelo dependiendo de la velocidad que se requiera.

Terminal 7 → No se usa este terminal.

Terminal 8 → Al terminal de dirección DIR desde la tarjeta principal.

Terminal 9 → Al terminal de paso STEP desde la tarjeta principal.

Terminal 10 → Se conecta a +5 Vdc del paso / dirección.

Terminal 11 → Se conecta al inicio de la resistencia R.

Terminal 12 → Se conecta al final de la resistencia R.

La resistencia (R) que se coloca entre los terminales (11) y (12), se calcula con la Ecuación 3.1 en función de la corriente que consume el motor.

$$R = \frac{(47 * I)}{(7 - I)} k\Omega \quad \text{Ec. 3.1}$$

La tarjeta G202, posee selectores para administrar la corriente dependiendo del motor (Figura 3.10).

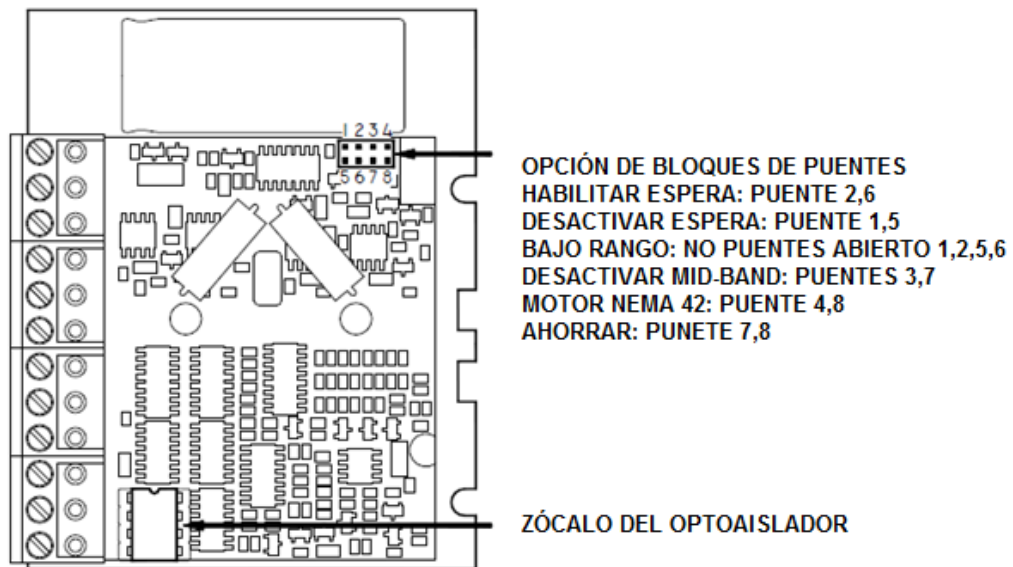


Figura 3.10: Selección para administrar la corriente.

1. Reducción de la corriente automáticamente. (Auto currentreduction), reduce la corriente del motor al 33% del valor nominal cuando el motor se detiene, si se habilita esta opción la reducción se realiza un segundo después de enviar el último pulso de paso.
2. Rango de reducción de la corriente. (Reduce currentrange), la G202 puede operar sobre un rango de corriente reducida (0.3Aa 2 A), se emplea para motores que tengan corrientes menores a 1A, donde la reducción de corriente automática no está disponible.
3. Motor Nema 42, esta opción se utiliza cuando se tiene un motor con un tamaño Nema 42.
4. Deshabilitar compensación MID-BAND (MID-BAND CompensationDisable), algunos pulsos de paso generados son desiguales. Si el período de pulso-a-pulso varía por más de 30%, el controlador puede tener problemas cuando cuenta ese pulso de paso.

Esta opción deshabilita el circuito de compensación MID-BAND, haciendo al controlador insensible a este tipo de restricción.

3.1.6. Selección de la tarjeta de control para el eje A.

En el sistema de control para el eje A, es de lazo cerrado (Sección 1.5.2); este sistema es utilizado por los motores DC acoplados a un Encoder (servomotores) ya que con ello se puede controlar la posición y la velocidad del motor.

Existen diversas tarjetas en lo que se refiere al control de servomotores entre ellas se encuentran: Robox, Uirrobot, AMS, GeckoDriver; se utiliza la familia GeckoDriver ya que en la Sección 3.15 se detallan las ventajas de utilizar esta marca, y en su gran variedad tiene tarjetas para servomotores como es la G340.

El Gecko Drive G340 (Figura 3.11), es capaz de controlar exclusivamente servomotores, mediante la retroalimentación del encoder en señal de cuadratura TTL, tiene un rango de operación de la corriente del motor que oscila desde 0 a 20 amperios, un control PID analógico de amortiguación y ganancia regulable mediante potenciómetros, las especificaciones técnicas se detallan en el ANEXO D-2.



Figura 3.11: GeckoDriver G340.

Esta tarjeta se encuentra disponible en el mercado internacional a un costo accesible, por lo cual resulta adecuado para la implementación del

proyecto. Es la encargada de recibir y procesar la información que envía la tarjeta principal y el encoder, para luego enviar pulsos o señales de control hacia el servomotor.

Para calibrar la tarjeta G340 de acuerdo al servomotor y a la forma cómo va a recibir la información; se realiza algunas acciones, para lo cual se basa en la Figura 3.12.

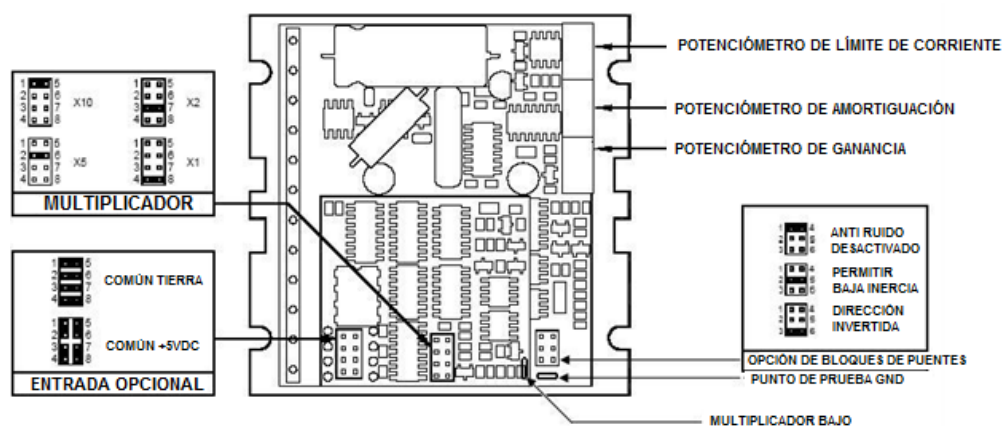


Figura 3.12: Lugares de calibración.

Encabezado Multiplicador (MultiplierHeader): tiene cuatro opciones de multiplicación: 1, 2, 4, y 10 pulsos por cada entrada de pulsos de paso, con esto podemos variar los conteos del encoder; por ejemplo si seleccionamos X4 entonces el motor debería moverse 4 conteos del encoder por cada pulso de paso que se envíe hacia la G340.

Entrada Opcional: se coloca en común cuando se tiene solo la tierra del puerto paralelo disponible, y en voltaje común cuando el controlador es manejado por medio de transistores de colector abierto, recibiendo señales TTL estándar desde la tarjeta principal.

En lo que se refiere a la alimentación de la G340, debe estar entre los rangos de 18 a 80 Vdc, sobrepasándose en 5 V el rango de voltaje del motor, es decir el voltaje del motor más 5V adicionales.

El controlador proporciona una fuente de 5 Vdc para el encoder con una corriente inferior a 50 mA, pero cuando el encoder requiere más corriente de la que proporciona el controlador, se debe colocar una fuente adicional y además conectar una resistencia de 470 entre los terminales 6 y 7.

Las conexiones de los terminales de la Gecko 340 se describen a continuación:

Terminal 1 → Tierra de la fuente de alimentación de Vdc.

Terminal 2 → Voltaje de alimentación de 18 a 80 Vdc.

Terminal 3 → Terminal negativo de la armadura del servomotor.

Terminal 4 → Terminal positivo de la armadura del servomotor.

Terminal 5 → No tiene conexión.

Terminal 6 → Cable de tierra del encoder.

Terminal 7 → Cable de +Vdc del encoder.

Terminal 8 → Cable de señal de pulsos del canal A del encoder.

Terminal 9 → Cable de señal de pulsos del canal B del encoder.

En los terminales 10, 11, y 12 se conecta las señales que envía o provienen de la tarjeta principal, estas señales son DIR, STEP, y +5Vdc respectivamente.

Para calibrar el límite de corriente de funcionamiento del servomotor; se realiza por medio del potenciómetro que se encuentra en la parte superior de la tarjeta (Figura 3.12, Potenciómetro de Límite de Corriente), dependiendo de las características del servomotor.

De la misma manera para calibrar la ganancia (amplitud de onda antes de la etapa de transición estable) y la amortiguación (número de ciclos necesarios para estabilización del sistema), se lo realiza maniobrando los

potenciómetros respectivos (Figura 3.12, Potenciómetro de Amortiguación y Potenciómetro de Ganancia), para dicha calibración se emplea un osciloscopio colocando un canal en el punto de prueba y el otro en la entrada de los pulsos de dirección (DIR), hasta obtener una curva críticamente amortiguada, endonde el servomotor trabaja en óptimas condiciones; si en el osciloscopio se obtiene una curvasobreamortiguada se debe disminuir el amortiguamiento e incrementar la ganancia; en cambio si se tiene una curva subamortiguada, se disminuye la ganancia y se incrementa el amortiguamiento, dichas curvas se observan en la Figura 3.13.

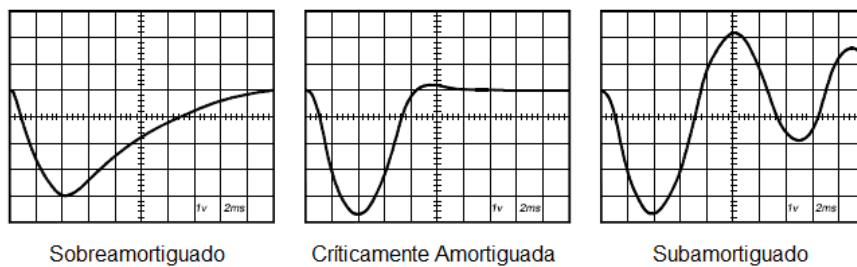


Figura 3.13: Curva de calibración.

3.1.7. Control para el mandril.

El control para el mandril es un sistema de lazo abierto como se observo en la Sección 1.5.1, la unidad de entrada es la tarjeta principal que posee un control de velocidad para el mandril a la cual ingresan incrementos de velocidad del Mach3; estos incrementos se convierten en señales de 0 a 5V ó de 0 a 10V analógicos DC; que se utilizan para controlar con PWM la velocidad del Motor DC.

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA.

4.1 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO.

Una vez terminado el diseño y la selección del sistema mecánico como se puede observar en la Figura 4.1, se procede a realizar el montaje o implementación de sus partes.

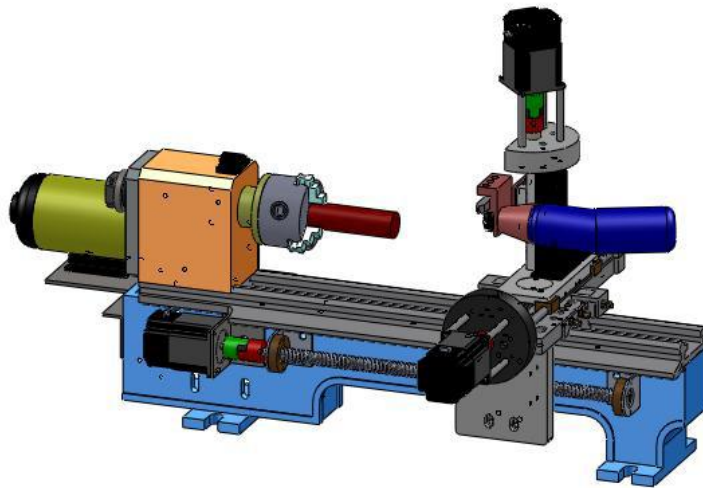


Figura 4.1: Implementación del diseño mecánico.

4.1.1. Implementación de la estructura de los ejes.

a. Implementación de la estructura del eje Z.

El Carro principal va montado en la bancada prismática por medio de las guías deslizantes y bocines de Bronce Fosfórico, como se describió en la Sección 2.2.3; el movimiento se realiza con el husillo de bolas con su respectiva tuerca acoplada al carro principal, el husillo se encuentra

situado en la bancada por medio de dos soportes de rodamientos y unidos al motor por el acople flexible, como se observa en la Figura 4.2.

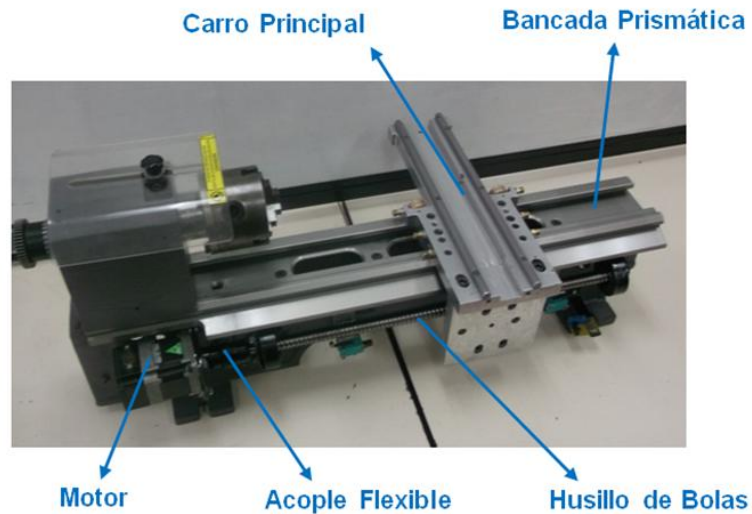


Figura 4.2: Montaje de la estructura del eje Z.

b. Implementación de la estructura del eje X.

El mecanismo de la estructura del eje X consta de guías de deslizamiento, como se describió en la Sección 2.2.2; el movimiento se realiza con el husillo de bolas con su respectiva tuerca acoplada al carro transversal, el motor es unido por el acople flexible al husillo, como se observa en la Figura 4.3.

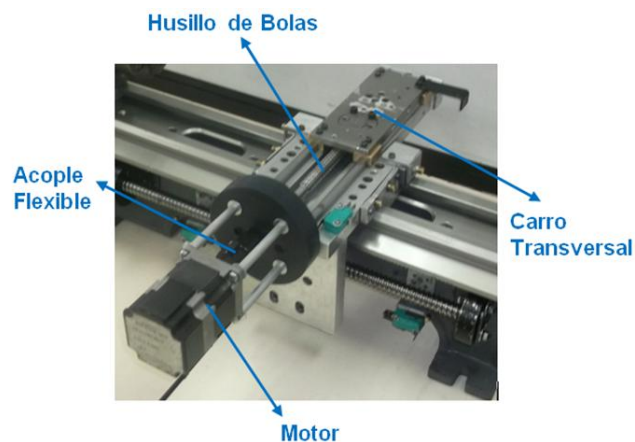


Figura 4.3: Implementación de la estructura del eje X.

c. Implementación de la estructura del eje Y.

El mecanismo de la estructura del eje Y, se observa en la Figura 4.4, consta del sistema mecánico descrito en la sección 2.2.1.; en donde el husillo de bolas permite realizar el movimiento, está unido al motor por medio del acople flexible.

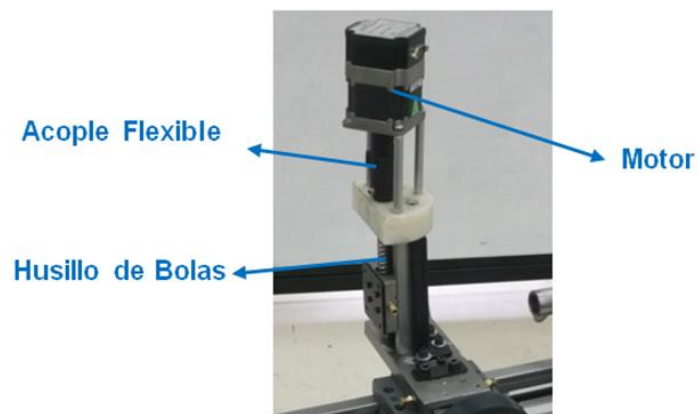


Figura 4.4: Implementación de la estructura del eje Y.

d. Implementación del mandril o eje A.

El mandril o eje A va montado en la base principal o bancada del torno como se muestra en la Figura 4.5. En la parte posterior del torno fresador se encuentra el motor DC CHUG HSIWCO.LTDA.y acoplado el encoder, el cual transmite el movimiento al mandril por medio de una banda sincrónica.

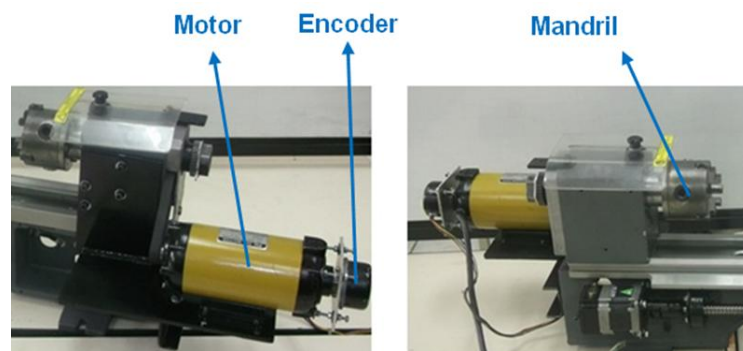


Figura 4.5: Implementación del mandril.

4.1.2. Implementación del sistema mecánico de movimiento a la estructura principal.

Todo el sistema mecánico de movimiento está acoplado a la bancada; la cual está sujeta a la mesa principal mediante 4 pernos y tuercas M10, se implementa una carcasa de aluminio al prototipo como protección. En la Figura 4.6 podemos apreciar toda la implementación mecánica.



Figura 4.6: Implementación del sistema mecánico.

4.1.3. Implementación de los portaherramientas.

Se puede implementar en el prototipo dos portaherramientas, pero solo una a la vez para poder operar como Torno-Fresadora o Fresadora 4 ejes.

a. Implementación del portaherramientas Torno-Fresadora.

Este portaherramientas se sujeta a la guía frontal mediante 4 pernos M5, al mismo se acopla un motor monofásico el cual trabajara como husillo para fresar, y también se sujeta una cuchilla HSS para torneear. En la Figura 4.7 se observa la implementación del portaherramientas.



Figura 4.7: Implementación del portaherramientas Torno-Fresadora.

b. Implementación del portaherramientas Fresadora 4 ejes.

Este portaherramientas se sujeta a la guía frontal mediante 4 pernos M5, al mismo se acopla un motor monofásico el cual trabajara como husillo para fresar como se puede observar en la Figura 4.8.

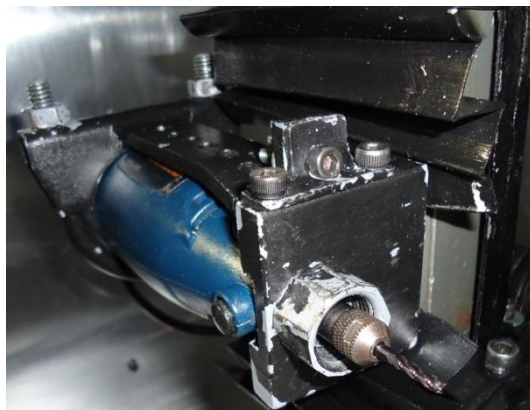


Figura 4.8: Implementación del portaherramientas Fresadora 4 ejes.

4.2 IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL.

4.2.1. Finales de carrera e Interruptores de interferencia.

Los límites de recorrido en las coordenadas X, Y, Z están controlados mediante switches limitadores de carrera (Figura 4.9), de los cuales se

usan los contactos normalmente abiertos, los mismo que envían una señal a la tarjeta principal para que detengan el programa, una vez que las plataformas salen de los límites de trabajo.



Figura 4.9: Switch limitador de carrera.

El punto de referencia conocido como Home de la máquina es de vital importancia para la posición inicial de la herramienta, por lo tanto en las estructuras de los ejes X,Y, Z,A se implementó sensores ópticos, los cuales tienen una excelente sensibilidad, lo que permite que la punta de la herramienta se ubique en el punto de coordenadas cero de donde iniciará su trabajo; estos sensores envían señal a la tarjeta del home, la cual es encargada de recibir y enviar una señal a la tarjeta principal, una vez que el sensor detecta la posición de la plataforma en las coordenada cero de los ejes X,Y, Z, A se detiene el movimiento de los servomotores y permite encerrar la posición de la herramienta en el punto de referencia o Home de la máquina. En la Figura 4.10 se observa los sensores ópticos del Home de las ejes X,Y, Z, A.

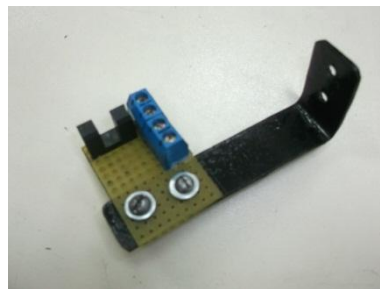


Figura 4.10: Sensores para el Home.

4.2.2. Caja principal de control para el sistema automático del Torno Fresador CNC.

En la caja principal en la parte interior (Figura 4.11) se implementa los siguientes elementos: Transformadores (1), fuentes de alimentación de 36VDC-17A (2) y de 12-5VDC (3), cuatro tarjetas controladoras para los motores (4), tarjeta para la interface de home (5), tarjeta principal (6), un adaptador DB25 hembra para la interface de la PC con la tarjeta principal (7), Tarjeta de variador de velocidad del mandril (8), Fusibles (9), Relés de 110VAC (10), pulsador de paro de emergencia (11), selector on/off para la tarjeta interface de home (12), selector de modos de operación (13), luces pilotos (14), un breaker de encendido (15).

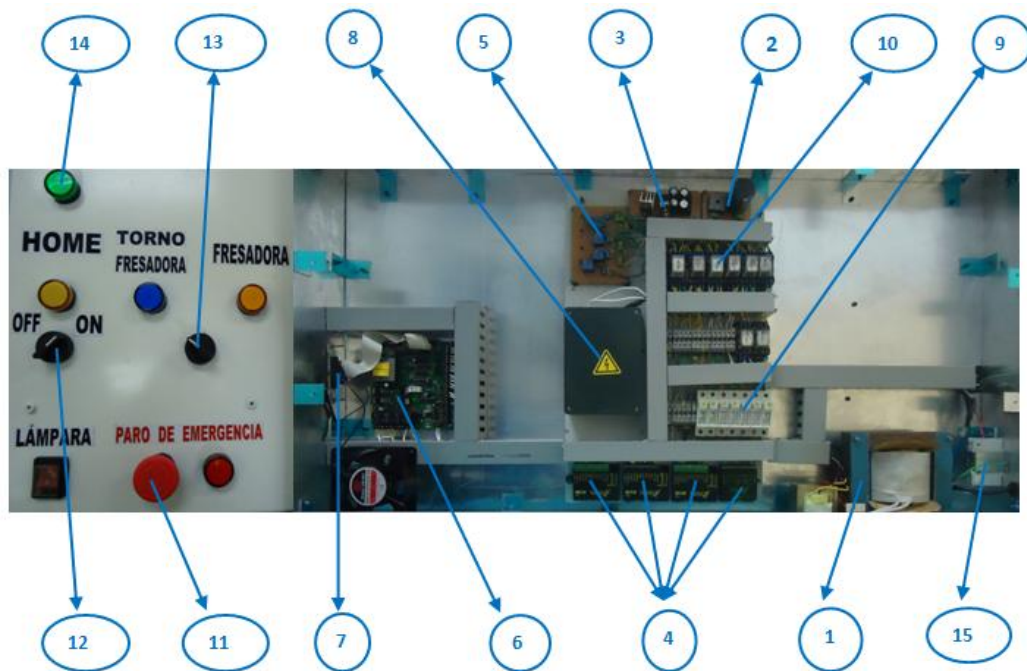


Figura 4.11: Caja de control, parte externa e interior.

4.2.3. Configuración del Mach3.

Al momento de ejecutar el icono de Mach3; se crea dos nuevos perfiles llamados Torno Fresadora y Fresadora 4 ejes como se observa en la Figura 4.12.

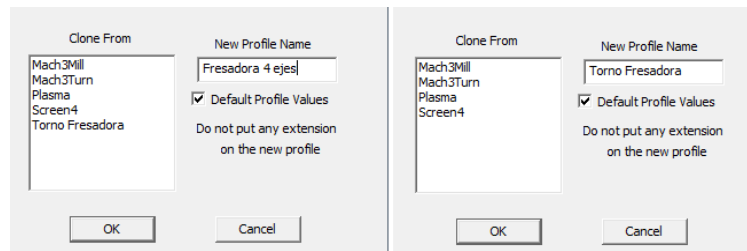


Figura 4.12: Perfil de Torno Fresadora y Fresadora 4 ejes.

La configuración de los dos perfiles es el mismo y se muestra a continuación:

En la barra de menú se encuentra la opción de configuración, donde se ingresa los parámetros adecuados para que el software y hardware funcionen correctamente, en esta opción se encuentra 20 puntos que deben ser configurados, como por ejemplo el sistema de medida (unidades), motores, encoders y demás elementos (Figura 4.13).

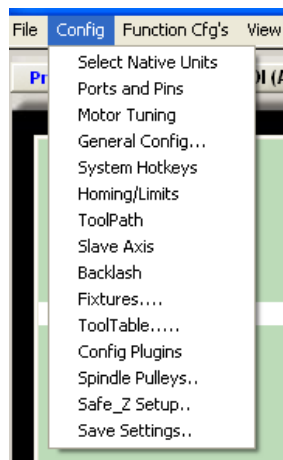


Figura 4.13: Opciones de configuración.

a. Configuración de unidades nativas.

Las unidades de trabajo de Mach3 se configuran en la barra de menú Config>SelectNativeUnits, aquí se selecciona el sistema de unidades en el cual se desea trabajar; puede ser el sistema métrico o el sistema inglés (Figura 4.14).

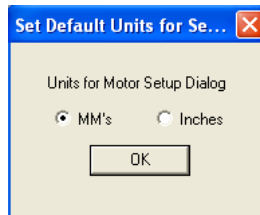


Figura 4.14: Selección del sistema de unidades.

Esto depende en que unidades se va a trabajar e influirá en la creación de los códigos G;G20 es para Sistema Inglés y G21 para Sistema Métrico; se selecciona la opción MM's(milímetros) y se confirma al dar un clic en el opción OK.

b. Configuración de puertos y pines.

La configuración de puertos y pines se realiza al ingresar en el menú Config>Ports and Pins, en el cual se encuentra un cuadro principal que contiene las siguientes pestañas.

En **Port Setup And Axis Selection (Configuración del Puerto y Selección de los Ejes)** como se indica en la Figura 4.15; se configura el puerto a utilizar, por defecto está activado Port#1, con la dirección 0x378.

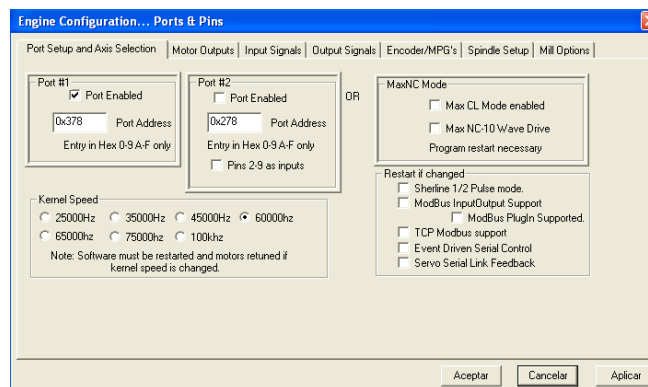


Figura 4.15: Configuración de puertos y ejes.

Si se usa un solo puerto paralelo se debe colocar la dirección en hexadecimal, de emplearse un segundo puerto paralelo se debe ingresar la segunda dirección en hexadecimal.

Además se especifica la frecuencia de trabajo; el Mach3 trabaja con frecuencias de 25,000 Hz (pulsos por segundo), 35,000 Hz, 45,000 Hz 60,000Hz, 65,000Hz, 75,000Hz y 100,000Hz, esto dependerá de la velocidad del procesador que se utilice; se trabaja con una frecuencia de 25,000 Hz cuando se tiene un procesador inferior a 1GHz; con 35,000 Hz para un procesador inferior a 2 GHz; con 45,000 Hz para un procesador inferior a 3 GHz; con 60000 Hz para un procesador inferior a 4 GHz; debido a que el procesador de la PC seleccionada para el Torno Fresador CNC es de 3.4 GHz, se escoge una velocidad de 60000 Hz.

En **Motor Outputs(Salidas de Motores)** como se indica en la Figura 4.16; se habilita el número de ejes a manejar (Enabled); se seleccionan los pines del puerto paralelo para direccionar las señales de paso (Step Pin#) y dirección (Dir Pin#); se selecciona el estado de dichas señales (DirLowActive&StepLowActive) y el número del puerto por el cual son enviados (Step Port &Dir Port).

Esta configuración se realiza tomando en cuenta los datos de la tarjeta interfaz Combo Board que se mostraron en la Tabla 3.2 de la Sección 3.1.4; los cuales se indican ya configurados en la Figura 4.16

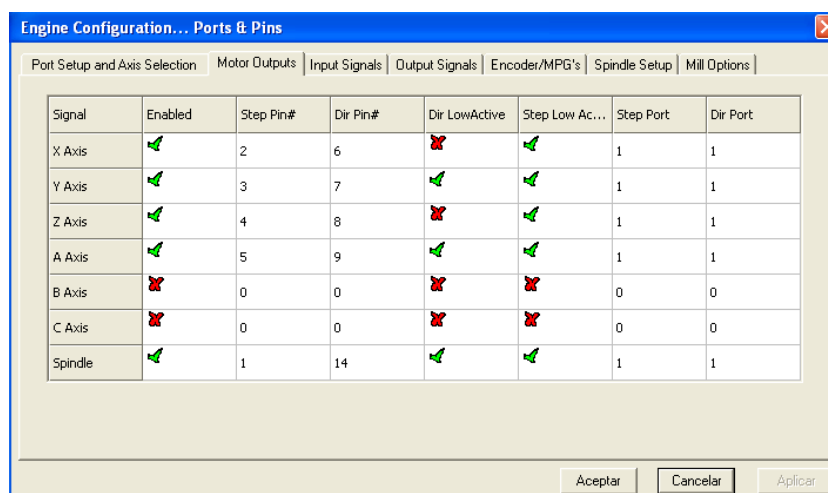


Figura 4.16: Configuración de salidas a los ejes en el Mach3.

En el caso de corregir las direcciones de los movimientos de los carros X, Y, Z o A; se puede interactuar con los estados altos y bajos de la opción DirLowActive.

En **Input Signals (Señales de Entrada)** como se indica en las Figuras 4.17 y 4.18; se detallan las configuraciones de los pines por los cuales se recibirán las señales de los LimitSwitch (X++, X--,Y++,Y--,Z++,Z--), Home Switch y el paro de emergencia (EStop); la forma de configuración de estas señales se toman de la Tabla 3.2 de la Sección 3.1.4.

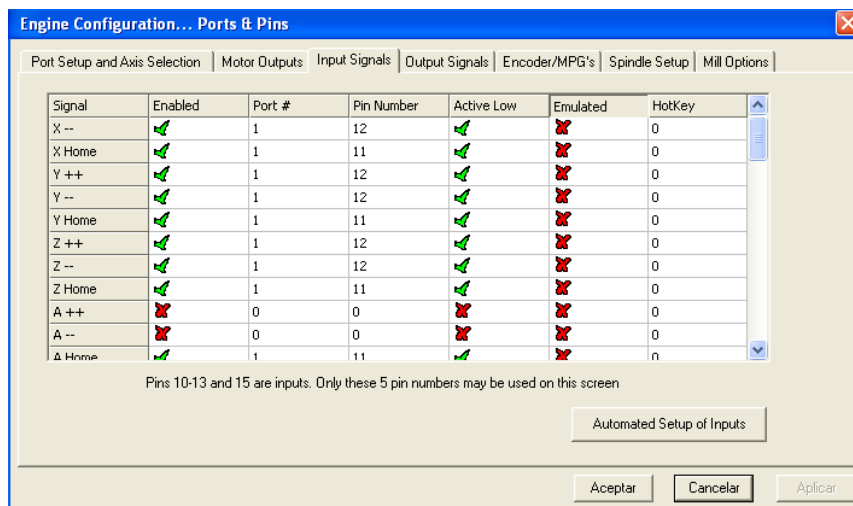


Figura 4.17: Configuración de los Switch en el Mach3.

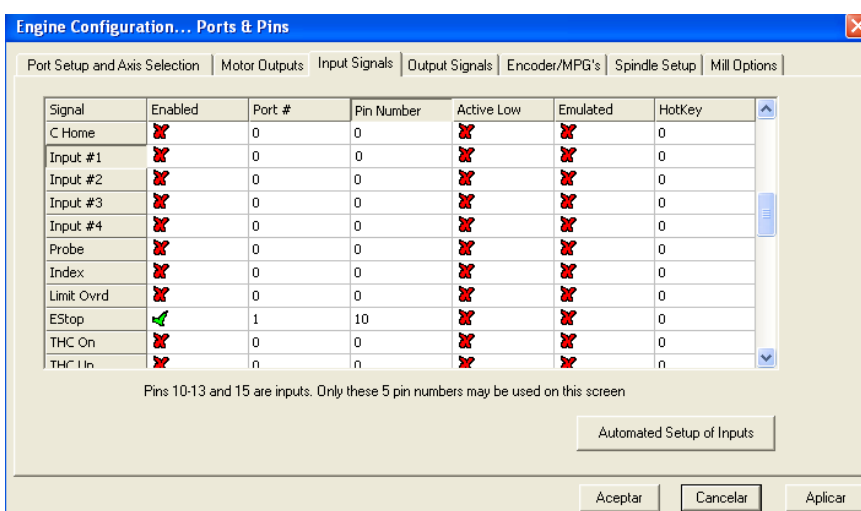


Figura 4.18: Configuración del paro emergencia en el Mach3.

En **Outputs Signals (Señales de salida)** como se indica en la Figura 4.19; en ésta se configuran las salidas a relé; esta configuración se toma de la Tabla 3.2 de la Sección 3.1.4.

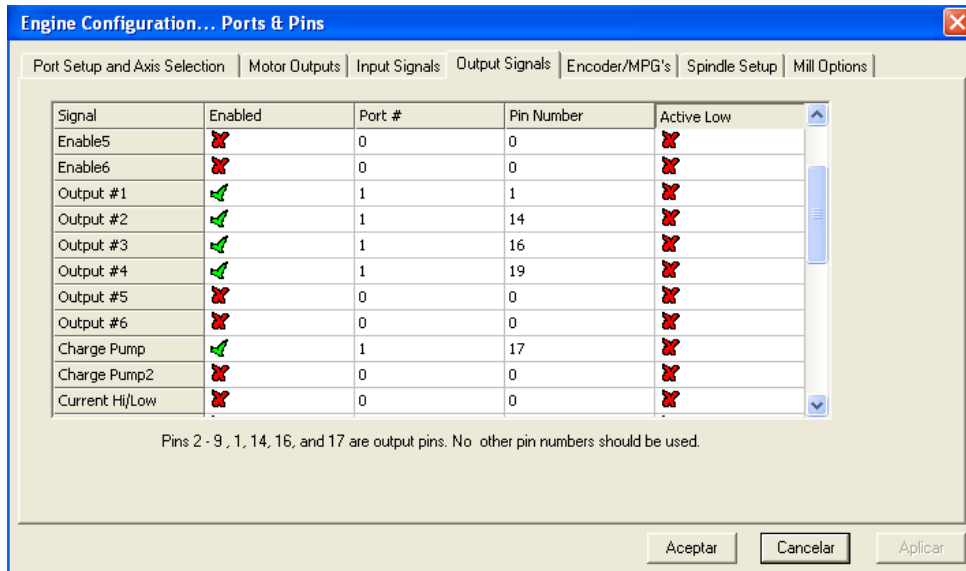


Figura4.19: Configuración de las salidas a relé en el Mach3.

En **SpindleSetup (Configuración del Husillo)** como se indica en la Figura 4.20; simplemente se habilitan las salidas a los relés.

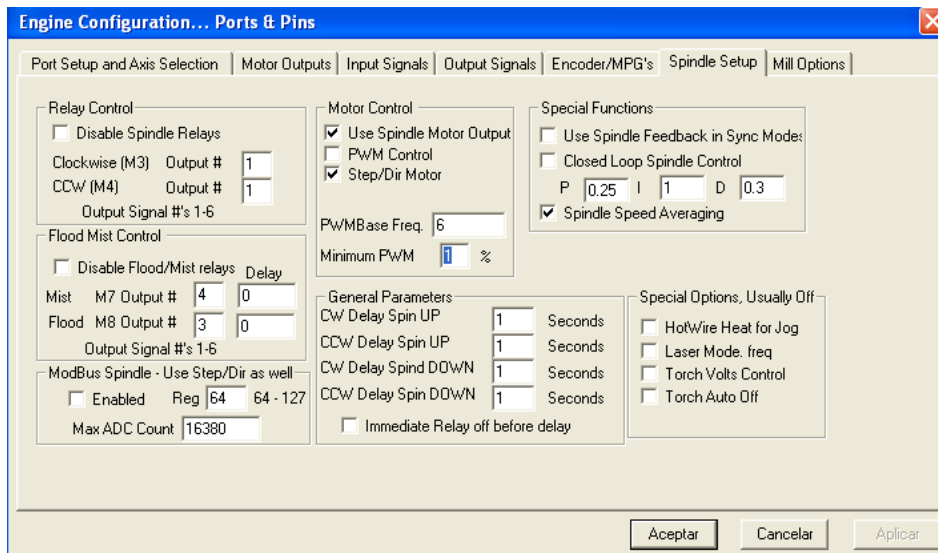


Figura 4.20: Configuración de salidas a relé y spindle en el Mach3.

c. Sintonización de motores (Motor Tuning).

En la sintonización de motores; debemos ingresar los parámetros de velocidad, aceleración y el número de pasos por unidad de Mach3 en los diferentes ejes; los datos de velocidad, aceleración y desaceleración se pueden calcular de acuerdo a las masas de las partes, momentos de inercia del motor y tornillos, fuerzas de fricción y de torque disponible; pero el software recomienda colocar los valores realizando pruebas de funcionamiento de arranque y frenado, para obtener un sonido confortable; no es un método científico pero da buenos resultados, para los datos del número de pasos por unidad de Mach3, se calcula en función de la unidad mecánica, las propiedades del motor a pasos o del encoder del servomotor de la siguiente manera:

Pasos por unidad Mach3 = Pasos por rev. Mach3 * Rev. del motor por unidad.

Donde:

Pasos por rev. Mach3 = Pasos por rev.del motor.

Pasos por rev.del motor difieren del tipo de motor a emplearse, un motor a pasos usualmente da 200 pasos completos por revolución, gracias a la tarjeta se tiene 10 micro pasos por pasos completos, entonces se tiene 2000 pasos por revolución, en cambio para el servomotor depende del número de CPR o ciclos por revolución que genera el encoder; para el servomotor se tienen un encoder de 240 CPR, este dato se multiplica por 4 dando un resultado de 960 pasos por rev.del motor.

Para tornillos en milímetros.

Rev. del motor por unidad = (rev. tornillo por unidad x Ns)/Nm.

La relación de este dato debe ser 1 o inferior a 1 cuando se trata de milímetros y cuando se trata de pulgadas debe ser superior a 1.

Donde:

Rev. tornillo por unidad = $1 / \text{paso efectivo del tornillo}$.

Ns = Número de dientes del engranaje que se encuentra acoplado al tornillo.

Nm = Número de dientes del engranaje que se encuentra acoplado al eje del motor.

Paso efectivo del tornillo = La distancia que mueve el eje por una rev.tornillo.

Cuando se tiene un tornillo con múltiples entradas, se debe multiplicar el paso efectivo por el número de entradas.

Para tornillo en pulgadas son las mismas ecuaciones, la diferencia radica que se emplean los hilos por pulgada (hpp), esto ingresa en el paso efectivo del tornillo de la siguiente manera:

Paso efectivo del tornillo = $1/\text{hpp}$

De igual manera si se tiene múltiples entradas en el tornillo, se debe multiplicar el número de entradas por el paso efectivo.

Sintonización para los ejes X, Y, Z:

Datos:

Paso efectivo del tornillo: 5mm

Los datos Ns y Nm no se da porque es un acoplamiento directo.

Rev. Tornillo por unidad= $1/\text{paso efectivo del tornillo}$.

Rev. Tornillo por unidad= $1/5 = 0.2$

Rev. Del motor por unidad= $(\text{revs del tornillo por unidad} \times N_s)/N_m$

Rev. Del motor por unidad= 0.2 = 0.2

Los ejes X, Y, Z se maneja mediante motores a pasos, se selecciona los datos que son para estos actuadores, por lo tanto se tiene:

Pasos por rev. Mach3 = Pasos por rev.del motor.

Pasos por rev. Mach3 = 2000 pasos por rev. Mach3

Pasos por unidad Mach3 = Pasos por rev. Mach3 x Revs. del motor por unidad.

Pasos por unidad Mach3 = 2000 x 0.2 = 400 pasos por unidad Mach3

Una vez obtenido estos valores se ingresan en el cuadro de diálogo de Motor Tuning, como se aprecia en la Figura 4.21.

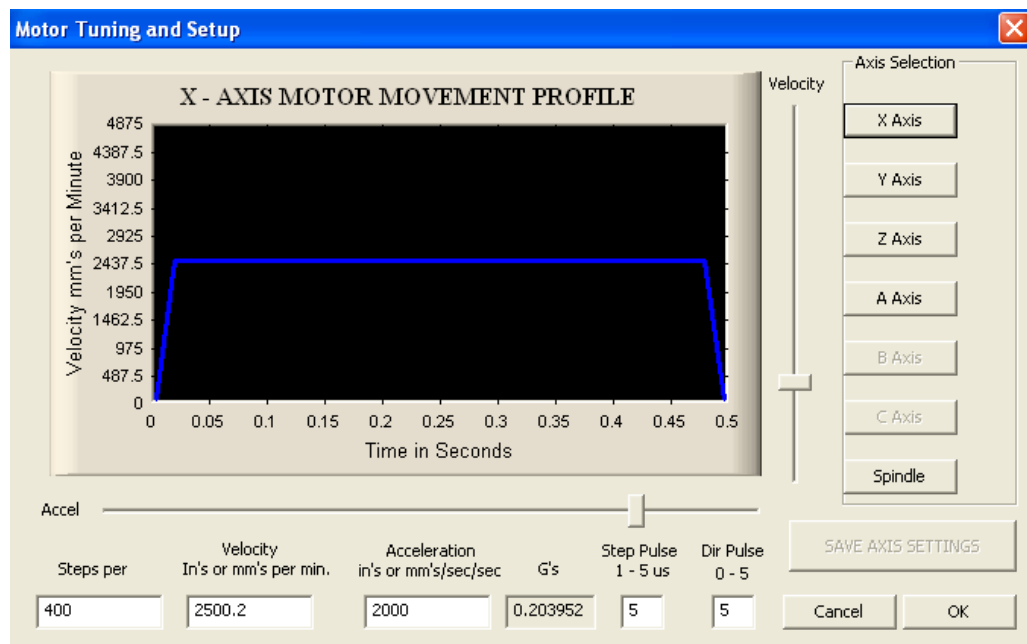


Figura 4.21: Sintonización de los motores para los ejes X, Y, Z.

Cada vez que se realice un cambio de configuración en cualquier eje, siempre debe pulsar el botón de Save Axis Tuning para guardar los cambios realizados.

Sintonización para el eje A:

Datos:

Paso efectivo del tornillo: 360

Ns= 25 dientes

Nm = 17 dientes

CPR= 240

Rev. tornillo por unidad = 1 / paso efectivo del tornillo.

Rev. tornillo por unidad = 1 / 360

Rev. motor por unidad = (rev. del tornillo por unidad x Ns)/Nm.

Rev. motor por unidad = ((1/360) x 25) / 17 = 0.0040849673202614

Como el eje A se maneja mediante servomotor, se acoge los datos que son para dichos actuador, por lo tanto se tiene:

Pasos por rev. Mach3 = Pasos por rev.del motor.

Pasos por rev. Mach3 = 960 pasos por rev. Mach3

Pasos por unidad Mach3 = Pasos por rev. Mach3 x Rev. del motor por unidad.

Pasos por unidad Mach3 = 960 x 0.0040849673202614 = 3.92156862745098 pasos por unidad Mach3.

Una vez obtenido estos valores se ingresan en el cuadro de diálogo de Motor Tuning, como se aprecia en laFigura 4.22.

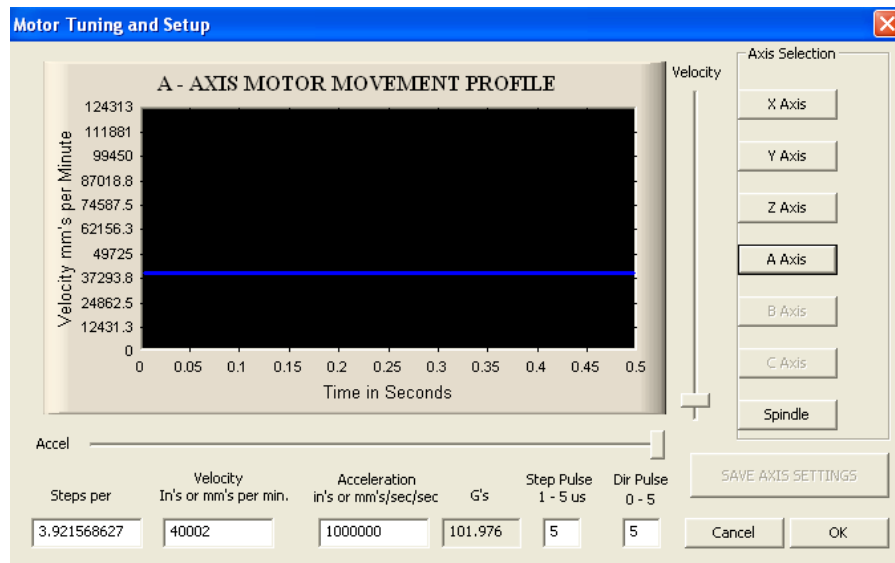


Figura 4.22: Sintonización del motor para el eje A.

Sintonización Para el Mandril.

Datos:

Ns = 25 dientes

Nm= 17 dientes

Incremento por unidad= 1000 pasos por revolución

Para encontrar la máxima velocidad debemos tomar en cuenta la relación de la transmisión por banda.

Max. Velocidad del motor= 4000 rpm

Max. Velocidad del mandril= $(Nm/Ns) \cdot \text{Velocidad del motor}$

Max. Velocidad del mandril= $(17/25) \cdot (4000 \text{ rpm})$

Max. Velocidad del mandril= 2720 rpm

En la ventana de "Motor Tuning"; en la opción Spindle, se ingresan estos valores. Como se observa en la Figura 3.43.

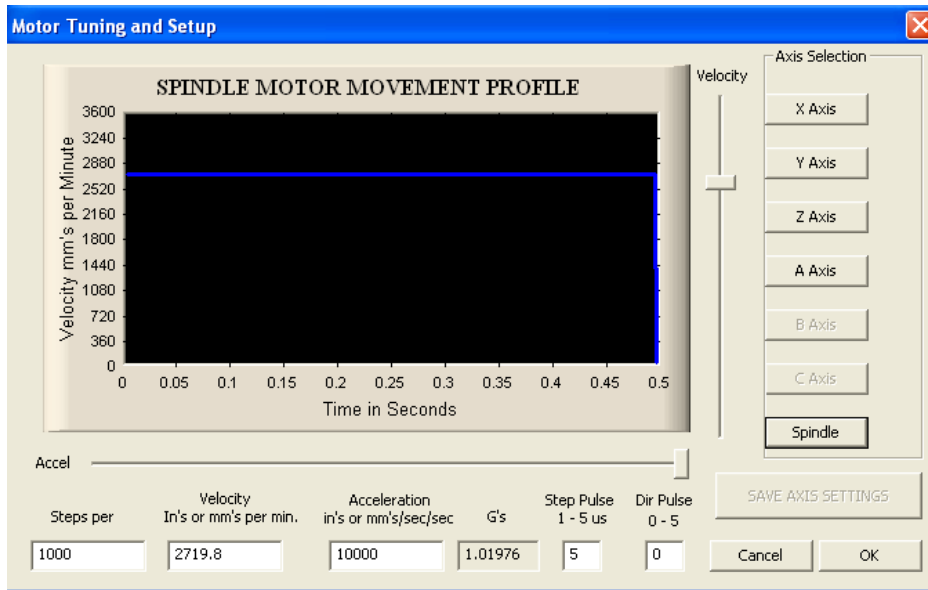


Figura 4.23: Sintonización del motor para el mandril.

d. Configuración de la referencia de operación (HOMES).

Para la configuración de la referencia de operación de trabajo se debe ingresar al cuadro de dialogo de configuración de Home/SoftLimits como se observa en la Figura 4.24, donde permite definir lo que suceda cuando se manda al home, esta se realiza con un Switch de home definido, la dirección depende de los cuadros HOME NEG CHECK.



Figura 4.24: Configuración de la referencia de operación.

4.2.4. Controles del programa Mach3.

Aquí se detalla los controles que posee la pantalla principal del programa para el control de la máquina (Figura 4.25).

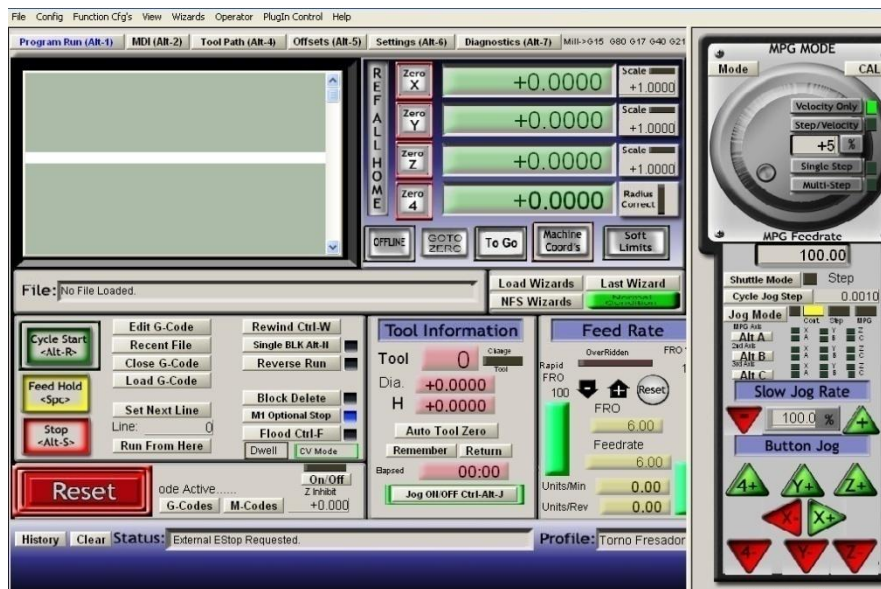


Figura 4.25: Controles de la pantalla principal.

En la pantalla de visualización de los códigos G; se observa la líneas de programación de las coordenadas o distancias que deben desplazarse (Figura 4.26).

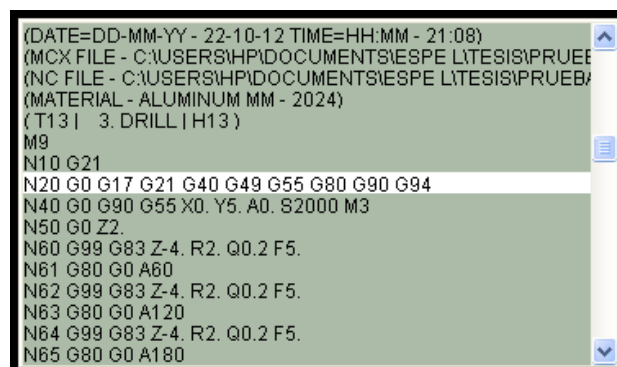


Figura 4.26: Pantalla de visualización de códigos G.

En la pantalla de posición de la herramienta, muestra la posición o distancia que se desplaza cada eje al momento de ejecutar un código G,

además se puede hacer cero todos los ejes al momento de llegar al punto de referencia o Home (Figura 4.27).



Figura 4.27: Pantalla de posición de la herramienta.

Como se puede apreciar en la Figura 4.25, la pantalla posee algunos controles que se detallan a continuación:

Cycle: Este botón sirve para comenzar a ejecutar el programa.

Stop: Con este se detiene el control de los ejes rápidamente.

Rewind: Nos permite rebobinar el actual programa.

Zero X: Coloca a cero solo el eje X.

Zero Y: Coloca a cero solo el eje Y.

Zero Z: Coloca a cero solo el eje Z.

Zero A: Coloca a cero solo el eje A.

Reset: Este permite apagar o parar al programa.

Load: Aquí el operario puede cargar un programa desde una dirección específica.

Recent: Abre todos los archivos usados recientemente.

Unload: Limpia la pantalla de códigos G del programa que este cargando en ese momento.

Se tiene la opción **MDI Line** (entrada de datos manualmente), donde se puede ingresar los códigos y ser ejecutados manualmente mediante el teclado, esta función se emplea cuando existe alguna anomalía en el programa o parada de emergencia, entonces se ingresa el código a fin de retornar al punto de origen; también se emplea para realizar pruebas (Figura 4.28).

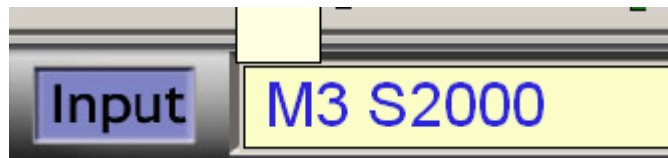


Figura 4.28: Forma de ingresar códigos G.

4.2.5. Ingresar un programa de código G en Mach3.

Para ingresar un programa de códigos G en Mach3, se realiza por el menú File>Load G-Code y se selecciona el archivo que se va a mecanizar (Figura 4.29).

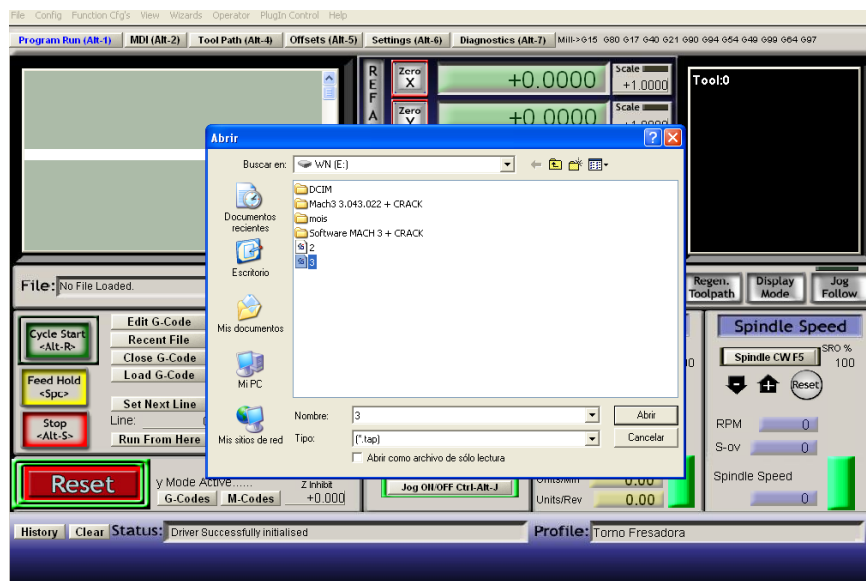


Figura 4.29: Forma de ingresar un programa de códigos G.

4.2.6. Interfaz de comunicación hacia el sistema de control.

Es necesario especificar la interfaz de comunicación que se maneja entre la PC y la tarjeta principal.

La comunicación entre la PC y la tarjeta principal es paralela, por aquí se envían los datos hacia los actuadores y se recibe las señales de los Limit y Home Switchs.

Se utiliza la comunicación paralela porque el software Mach3 emplea esta interfaz y además porque es muy fácil enviar señales TTL de 0 ó 5 Voltios “0L” o “1L”.

Se realiza por medio de un cable, que tiene una longitud de 305mm (12in.), con dos conectores DB25 machos en sus extremos, que se conectan entre el puerto de la impresora de la PC y la tarjeta principal, a través de un adaptador en el cual uno de sus extremos tiene un conector DB25 hembra, que se conecta al cable de la interfaz y el otro tiene un conector DB26 que se conecta a la tarjeta principal. La distribución de pines del adaptador se presenta en la Tabla 3.3.

Tabla 4.1. Distribución de pines del adaptador.

Pin1	Salida 1
Pin2	Pasos para el eje X
Pin3	Pasos para el eje Y
Pin4	Pasos para el eje Z
Pin5	Pasos para el eje A
Pin6	Dirección para el eje X
Pin7	Dirección para el eje Y
Pin8	Dirección para el eje Z
Pin9	Dirección para el eje A
Pin10	Parada o Estop.
Pin11	Home X

Pin12	Home Y
Pin13	Home Z
Pin14	Salida 2
Pin15	Home A
Pin16	Salida 3
Pin17	Salida 4 pin para cargar bomba
Pin18 a 26	PC GND.

4.3 PRUEBAS DEL SISTEMA MECÁNICO Y DE CONTROL.

Finalizando la implementación del sistema mecánico y de control queda efectuar las pruebas de funcionamiento en las coordenadas X, Y,Z, A; así como la calibración de los carros y el movimiento de los mismos a través de los motores, observando que los mecanismos no tengan atascamientos y sin ruidos extraños. Estas pruebas se las realizará con la ayuda de Mach3.

4.3.1. Calibración de las tarjetas de control de los motores

Determinado la distribución de terminales en los motores y verificadas las conexiones de alimentación, como se muestra en el plano eléctrico (ANEXO E), se calibra las variables de corriente, amortiguación y ganancia, girando los potenciómetros hasta encontrar las condiciones óptimas de operación.

4.3.2. Desplazamiento de los carros a lo largo de las coordenadas X, Y, Z, A.

La verificación del movimiento de los ejes X, Y, Z, A; para esto, en la pantalla principal del programa Mach3, se presiona la tecla TAB para mostrar los Controles de Avance como se observa en la Figura 4.30, en donde podemos hacer clic en los botones X+, X-, Y+, Y-, Z+, Z-, A+, A-, para comprobar que los ejes se mueven de manera correcta en la dirección seleccionada.

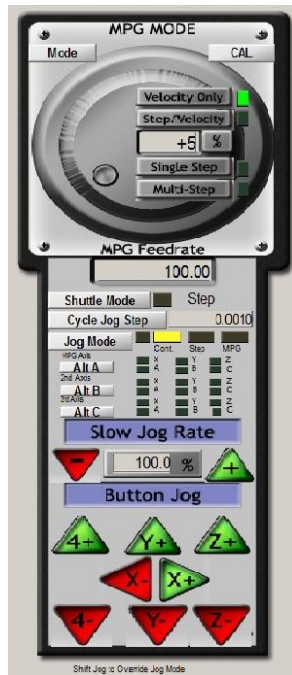


Figura 4.30: Controles de avance.

4.3.3. Encendido del mandril y del husillo.

Una vez que se ha configurado los parámetros necesarios para encender el mandril, se verifica la alimentación de la máquina, se procede a realizar el encendido del mandril (Figura 4.31) tomando en cuenta las precauciones necesarias para el arranque del mismo.



Figura 4.31: Encendido del mandril.

Se procede a configurar los parámetros necesarios para encender el husillo y se realiza el encendido del husillo (Figura 4.32) tomando en cuenta las precauciones necesarias para el arranque del mismo.

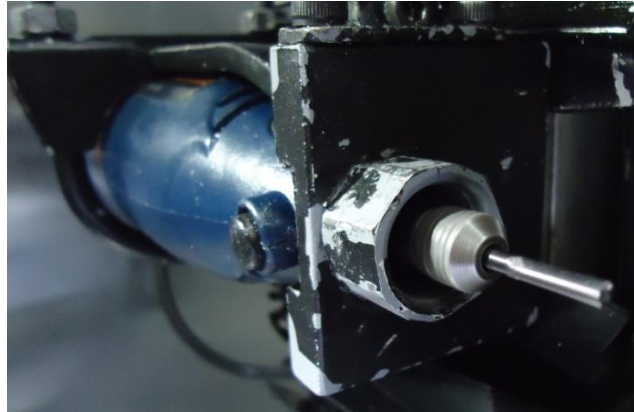


Figura 4.32: Encendido del husillo.

4.4 ENLACE CAD/CAM.

Para el diseño asistido por computadora (CAD) se realiza en el software SolidWorks tanto para piezas realizadas en torno como para piezas realizadas en fresadora; se observa en la Figura 4.33.

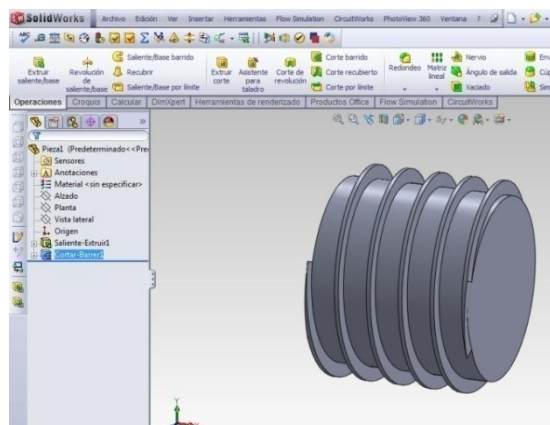


Figura 4.33: CAD en SolidWorks.

Una vez obtenido el sólido se procede a exportar a Mastercam el cual es un software muy útil para realizar CAM (manufactura asistida por computadora); permite mecanizar como torno o fresadora, configurando

previamente las velocidades de avance y del husillo, además se puede simular el mecanizado (Figura 4.34).

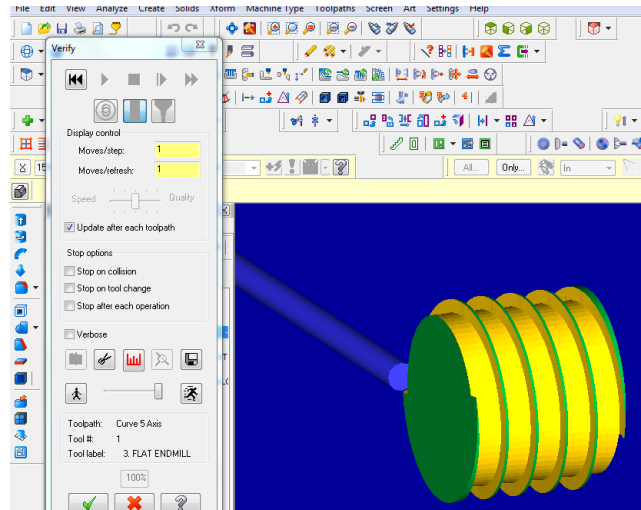


Figura 4.34: CAM en Mastercam.

Finalmente Mastercam permite generar los códigos G como se observa en la Figura 4.35.

```
Mastercam X Editor - [C:\USERS\HP\DESKTOP\HUSILLO_PRUEBA2.NC]
File Edit View NC Functions Bookmarks Project Compare Communications Tools Window Help
New... Open Recent Save Print...
Mark All Tool Changes Next Tool Goto Previous Tool

Project Explorer
O2534 (HUSILLO_PRUEBA2)
(DATE=DD-MM-YY - 20-11-12 TIME=HH:MM - 12:42)
(MCX FILE - C:\USERS\HP\DOCUMENTS\ESPE L\TESIS\PRUEBAS\FRESADORA 4EJES\HUSILLO_PRUEBA2.MCX)
(NC FILE - C:\USERS\HP\DESKTOP\HUSILLO_PRUEBA2.NC)
(MATERIAL - ALUMINUM MM - 2024)
( T1 | 3. FLAT ENDMILL | H1 )
N10 G21
N20 G0 G17 G40 G49 G80 G90
N30 T1 M6
N40 G0 G90 G54 X0. Y0. A90. S2000 M3
N50 G43 H1 Z14.5
N60 Z14.2
N70 G1 Z12.5 F5.
N80 X-.058 A95.201 F343.3
N90 X-.116 A100.403
N100 X-.173 A105.605
N110 X-.231 A110.806
N120 X-.289 A116.008
N130 X-.347 A121.209
N140 X-.405 A126.411
N150 X-.462 A131.613
N160 X-.52 A136.814
N170 X-.578 A142.016
N180 X-.636 A147.218
N190 X-.694 A152.419
N200 X-.751 A157.621
N210 X-.809 A162.823
N220 X-.867 A168.024
N230 X-.925 A173.226
N240 X-.983 A178.428
N250 X-1.04 A183.629
N260 X-1.098 A188.831
```

Figura 4.35: Códigos G.

4.5 PRUEBAS DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DEL PROTOTIPO TORNO-FRESADORA.

4.5.1. Cero absolutos o referencia de la máquina.

La máquina para mecanizar necesita de un punto de referencia, se realiza en el Mach3 con la referencia de cada eje, los cuales se van a trasladar hasta los sensores ópticos, en donde las coordenadas son cero. En la Figura 4.36 se puede observar el punto de referencia donde los carros se posicionan y esperan la orden de inicio.



Figura 4.36: Punto de referencia o cero absoluto.

4.5.2. Mecanizado como Torno-Fresadora

Para realizar una explicación detallada de pruebas de mecanizado, se diseñó una pieza que contenga torneado y fresado como se observa en la Figura 4.37 el diseño de la pieza en Solidworks.

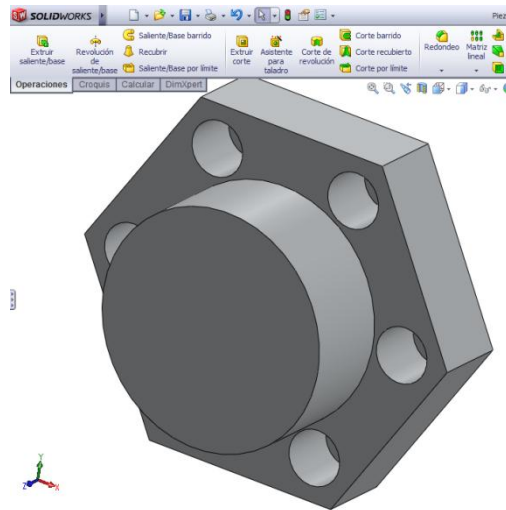


Figura 4.37: Diseño de la pieza de torneado y fresado en SolidWorks.

a. Referencia de la pieza para torneado y fresado.

El software Mach3 debe tener una referencia de la máquina respecto al inicio de maquinado de la pieza denominado cero pieza. Para llegar a esta posición se debe mover manualmente del home hasta llegar al cero pieza de torneado guardándolo como sistema 1 de coordenadas de trabajo (G54), luego posicionar en el home y manualmente trasladar hasta el cero pieza de fresado guardándolo como sistema 2 de coordenadas de trabajo (G55). La Figura 4.38 muestra el cero pieza para torneado y fresado.

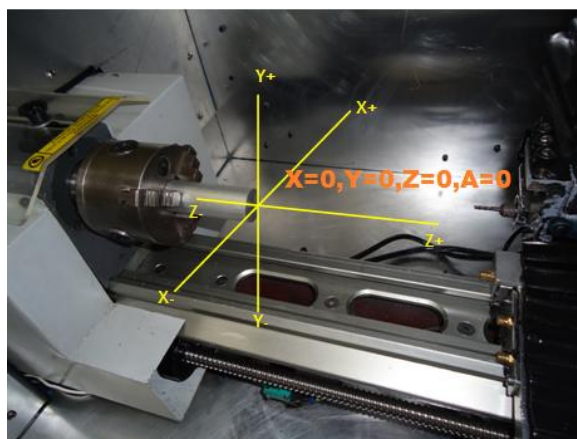


Figura 4.38: Cero pieza para torneado y fresado.

b. Mecanizado de la pieza para torneado y fresado.

Previamente se realiza el diseño y el mecanizado en programas como se describió en la Sección 4.4, donde se obtiene los códigos G, para ingresar a Mach3 (Sección 4.2.5). Se procede a correr el programa y observar que durante el mecanizado tanto el sistema mecánico de los movimientos de los carros, los sistemas de control y software funcione adecuadamente. En la Figura 4.39 se muestra el mecanizado en Torno-Fresadora.



Figura 4.39: Mecanizado en Torno-Fresadora.

Una vez terminado el mecanizado obtenemos la pieza como se observa en la Figura 4.40.



Figura 4.40: Pieza de torneado y fresado.

4.5.3. Mecanizado como Fresadora de 4 ejes.

En pruebas de mecanizado como Fresadora 4 ejes, se diseñó una pieza que contenga el mecanizado en 4 ejes como se observa en la Figura 4.41 el diseño de la pieza en Solidworks.

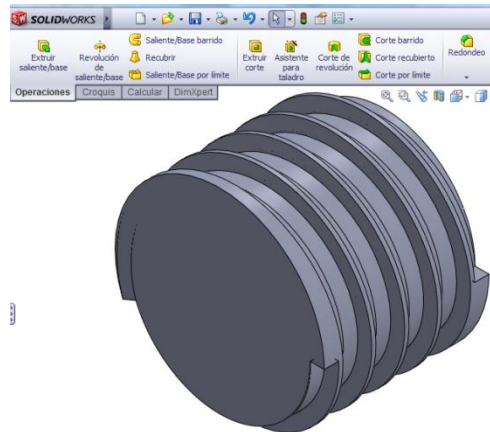


Figura 4.41: Diseño de la pieza de fresado en SolidWorks.

a. Referencia de la pieza para fresado.

Se parte del home de la máquina, para mover manualmente hasta el cero pieza del fresado de 4 ejes guardándolo como sistema 3 de coordenadas de trabajo (G56). La Figura 4.42 muestra el cero pieza para fresado de 4 ejes.

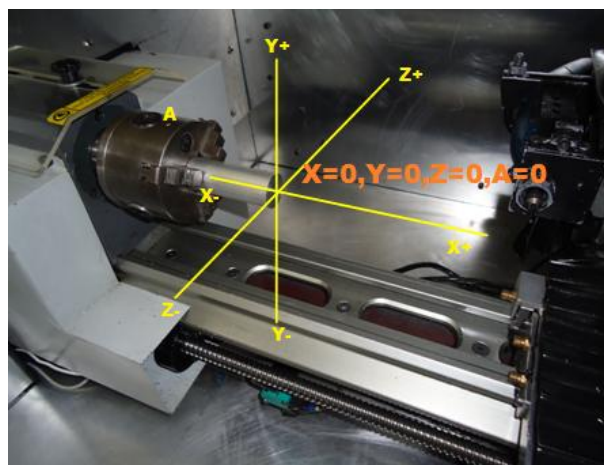


Figura 4.42: Cero pieza para el fresado.

b. Mecanizado de la pieza para fresado 4 ejes.

Previamente se realiza el diseño y el mecanizado en programas como se describió en la Sección 4.4, donde se obtiene los códigos G, para ingresar a Mach3 (Sección 4.2.5). Se procede a correr el programa, en la Figura 4.43 se muestra el mecanizado en Fresadora 4 ejes.



Figura 4.43: Mecanizado en Fresadora 4 ejes.

Una vez terminado el mecanizado obtenemos la pieza como se observa en la Figura 4.44.



Figura 4.44: Pieza de fresado.

4.6 MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.

Ver los detalles de la operación y mantenimiento del Torno Automático Mediante Control Numérico Computarizado CNC en el ANEXO F.

4.7 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

4.7.1. Cálculo de la resolución de la máquina.

El cálculo de la resolución ³⁹ del prototipo Torno-Fresadora independientemente por cada eje se calcula con la siguiente ecuación:

$$R = \frac{p}{ppu} \text{ Ec. 4.1}$$

En donde:

$p(\text{mm})=$ Paso del tornillo acoplado en el respectivo carro X, Y, Z.

$ppu=$ Pasos por unidad por cada eje.

Datos obtenidos en la Sección 4.2.3.c, para los ejes X, Y y Z la resolución es:

$$R = \frac{5}{400} = 0.0125\text{mm}$$

4.7.2. Cálculo de la precisión de la máquina.

La precisión para cada uno de los ejes X, Y y Z se calcula con la siguiente expresión:

$$P = R \pm J \text{ Ec. 4.2}$$

En donde:

$R=$ Resolución obtenido por cada eje, la cual fue calculada en la Sección 4.5.1.

³⁹<http://cnczone.com/forums/showthread.php?t=27419>

J= Juego característico de los tornillos acoplados en cada una de las estructuras móviles del prototipo Torno-Fresadora.

En los Carros X, Y y Z se encuentran instalados husillos a bolas, el juego en cada uno de estos es cero dadas las características de construcción y funcionamiento de los husillos a bolas, entonces $J_x = J_y = J_z = \pm 0$.

Según estas condiciones y dado que el juego en cada uno de los ejes es cero, entonces la resolución es igual a la precisión, eso quiere decir que los ejes tienen una precisión de 0.0125 mm aproximadamente.

4.7.3. Pruebas de precisión y resolución en torneado.

Se procede a realizar un cilindrado de un eje de aluminio de 25.4mm a 21.5mm de diámetro por una longitud de 100mm para poder determinar sus variaciones se toma varios puntos de muestreo.

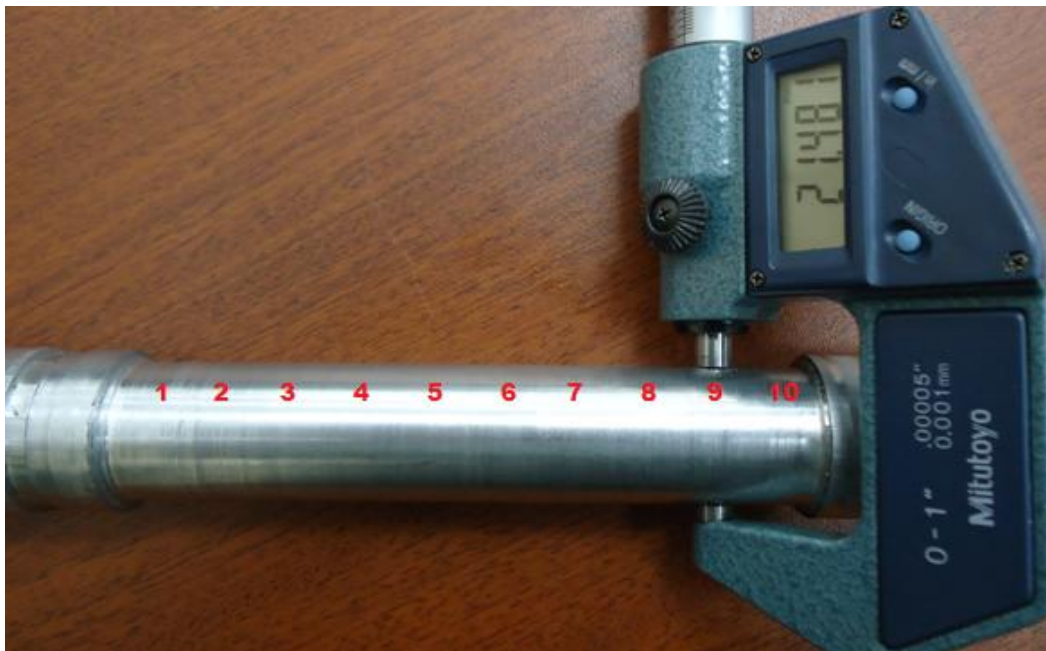


Figura 4.45: Toma de muestras del cilindrado.

La toma de muestras se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 4.2. Muestras del cilindrado.

CILINDRADO				
No. Muestras	Medidas tomadas			
	0°-180°	45°-225°	90°-270°	135°-315°
1	21,430	21,476	21,474	21,440
2	21,461	21,486	21,499	21,501
3	21,491	21,510	21,507	21,523
4	21,499	21,512	21,512	21,503
5	21,511	21,490	21,525	21,478
6	21,501	21,504	21,507	21,509
7	21,485	21,463	21,479	21,497
8	21,484	21,450	21,469	21,486
9	21,476	21,430	21,483	21,478
10	21,441	21,517	21,461	21,452
Promedio	21,478	21,484	21,492	21,487
Promedio Total	21,485			

Con los datos de la Tabla 4.2 se realiza los siguientes gráficos estadísticos.

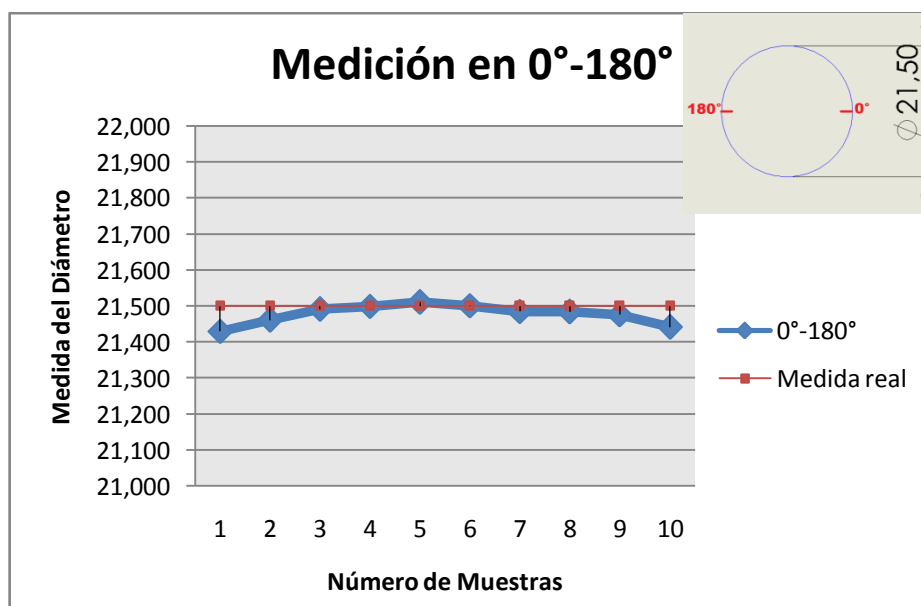


Figura 4.46: Medición en 0°-180°.

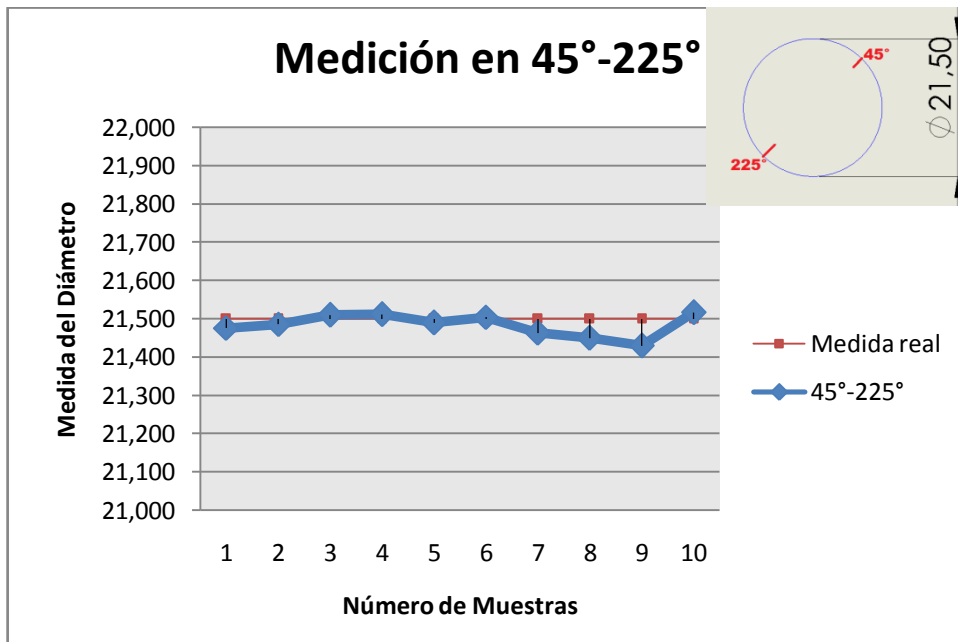


Figura 4.47: Medición en 45°-225°.

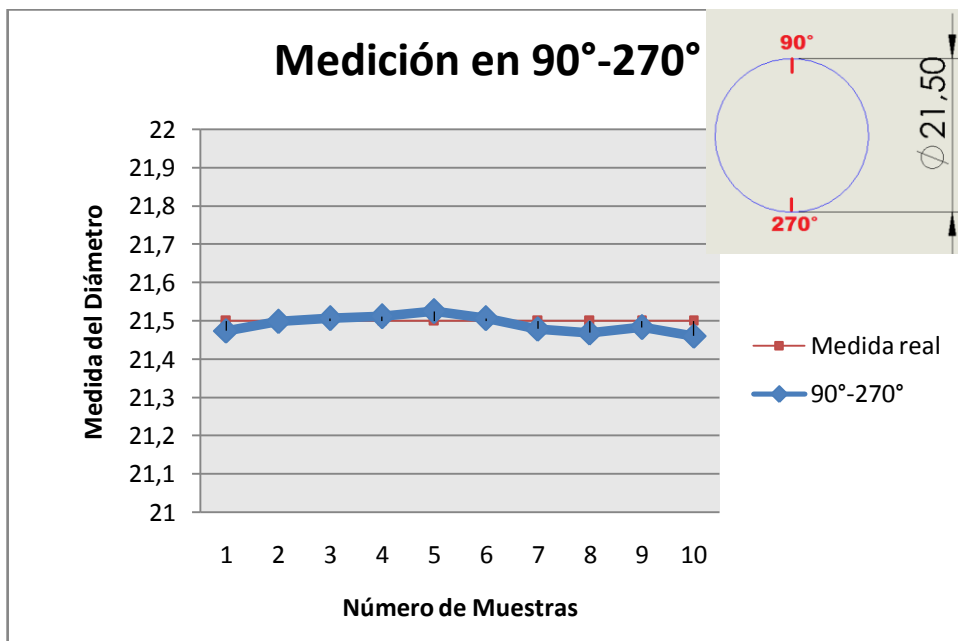


Figura 4.48: Medición en 90°-270°.

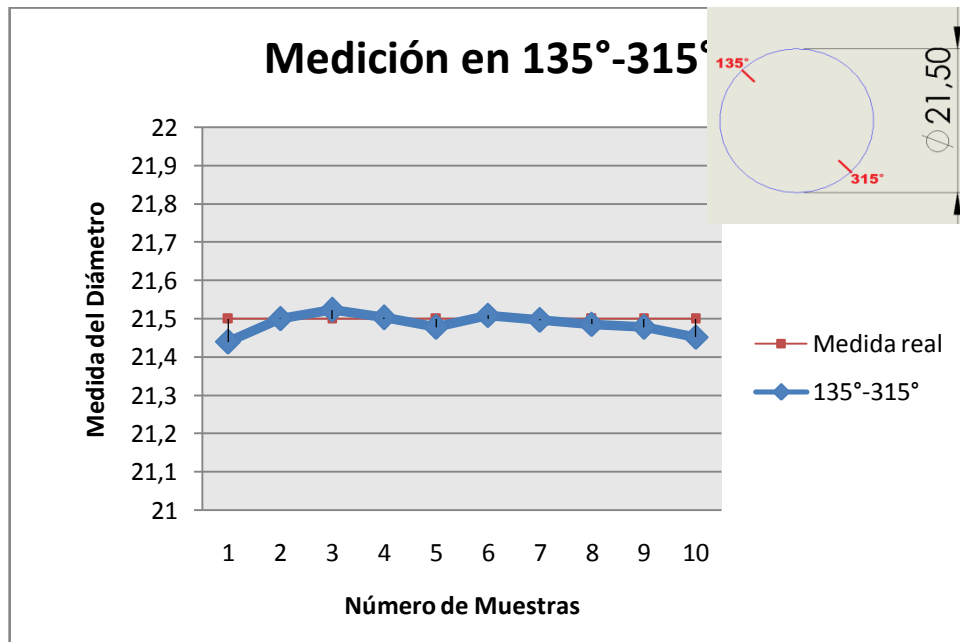


Figura 4.49: Medición en 135°-315°.

En las graficas se observa que al comparar la medida real con las medidas de muestro hay una variación mínima por lo que se determina que la resolución y precisión de la maquina está dentro de los parámetros de diseño.

Para un mayor análisis se realiza un ranuradosinusoidal; con las dimensiones que se observa en la Figura 4.49.

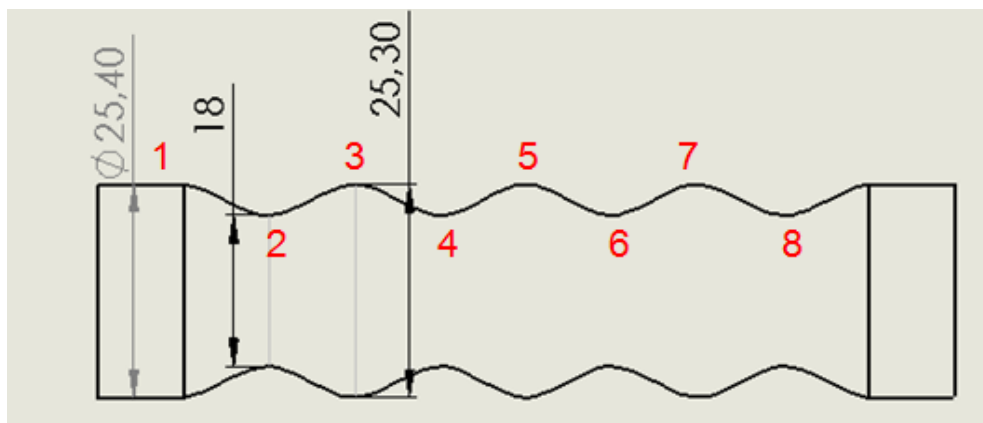


Figura 4.50: Dimensiones del ranurado sinusoidal.

Como se observa en la Figura 4.50 se determina varios puntos de muestreo para el producto final.



Figura 4.51: Ranurado sinusoidal.

Las dimensiones de las muestras se observa en la siguiente tabla:

Tabla 4.3. Muestras del ranuradosinusoidal.

RANURADO SINUSOIDAL EN TORNEADO			
No. Muestras	Medidas	Medidas Tomadas	Resolución
1	25,400	25,400	0,000
2	18,000	18,040	0,040
3	25,300	25,320	0,020
4	18,000	18,160	0,160
5	25,300	25,350	0,050
6	18,000	18,190	0,190
7	25,300	25,300	0,000
8	18,000	18,020	0,020

Con los datos de la Tabla 4.3 se realiza el siguiente gráfico estadístico.

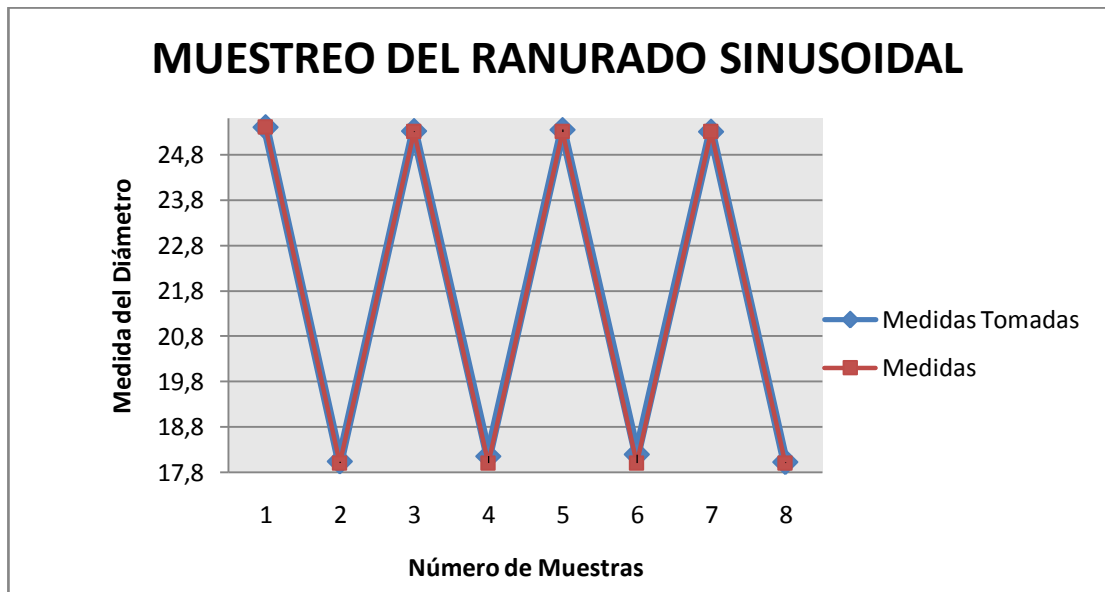


Figura 4.52: Muestreo del ranurado sinusoidal.

Se observa en la Figura 4.52 que el valor de las medidas tomadas se mantiene al valor de las medidas deseadas.

4.7.4. Pruebas de precisión y resolución en el Fresado.

Se procede a realizar un ciclo de taladrado para verificar las posiciones de los ejes (Figura 4.51).

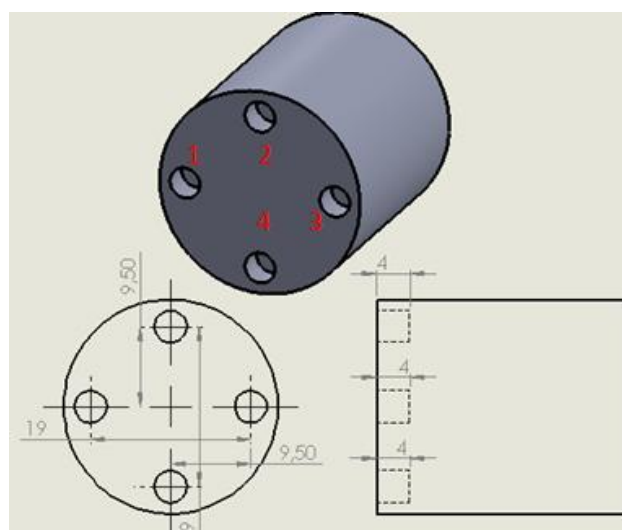


Figura 4.53: Ciclo de taladrado.

Se toma diferentes medidas como se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 4.4. Muestras de la posición en el ciclo de taladrado.

MUESTRAS DE CICLO DE TALADRADO												
Taladrado	Medidas			Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	-9,5	0	4	-9,515	0	4,08	-9,514	0	4,02	-9,512	0	4,05
2	0	9,5	4	0	9,486	4,10	0	9,496	4,06	0	9,497	3,99
3	9,5	0	4	-9,505	0	3,95	-9,501	0	3,94	-9,488	0	3,95
4	0	-9,5	4	0	9,497	4,05	0	9,487	4,05	0	9,504	4,01

Con las pruebas realizadas se llego a determinar una precisión real de 0.014mm y una resolución real de 0.015mm.

4.8 ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO

La máquina ha sido implementada satisfactoriamente cumpliendo su funcionamiento en el Laboratorio CNC; por lo cual se hace necesario cuantificar su valor económico para identificar la inversión realizada por la ESPE Extensión Latacunga.

Para la implementación de la proyecto se realizo el consumo de materiales eléctricos, electrónicos, dispositivos de control, materiales mecánicos, procesos de maquinado que se detallan en la siguiente tabla.

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	P.UNIT	TOTAL
1	Torno-Fresador Manual	1	2000	2000
2	Husillos a bolas	3	150	450
3	Servomotores	4	400	1600
4	Servo Drivers	4	250	1000
5	Tarjeta lectora de códigos G	1	400	400
6	Fuente de CC	1	280	280
7	Material Eléctrico	1	300	300

8	Material Mecánicos	1	500	500
5	Carcasa y Mesa	1	250	250
			Total	\$6780

Con todos las inversiones anteriormente mencionados se realizouna inversión total de 6780 USD para el proyecto.

Máquinas semejantes al proyecto están a un costode \$ 24000 USD, como se puede observar en la siguiente figura.



Figura 4.54: Torno y Fresadora CNC (GSK)⁴⁰.

Al comparar el valor de maquinas semejantes con el valor del proyecto, se determinar que el costo es mucho menor; por ello se puede realizar la máquina a nivel industrial.

4.9 VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS.

La hipótesis planteada para el proyecto es:

¿Se podría diseñar e implementar un prototipo de torno-fresador de control numérico computarizado para el Laboratorio CNC de la ESPE Extensión Latacunga?

⁴⁰<http://guayaquil.olx.com.ec/torno-y-fresadora-cnc-iid-464926507>

Se pudo diseñar e implementar el prototipo de torno-fresadora de control numérico computarizado con la ayuda del Laboratorio CNC de la ESPE extensión Latacunga; este proyecto será útil para prácticas del mismo laboratorio ya que es de investigación científica.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 CONCLUSIONES:

- El diseño e implementación de un prototipo de Torno Fresador CNC, es un proyecto que posee un gran nivel de investigación ya que se recopiló información sobre el funcionamiento y operación de Tornos y Fresadoras con el fin de implementar una máquina mixta Torno-Fresador.
- La máquina tiene la posibilidad de ser escalada a nivel industrial para poder contribuir a la generación de trabajo y la producción de mejores recursos en diferentes empresas a nivel nacional.
- Para el diseño del sistema mecánico se utilizó el software SolidWorks, el cual permite realizar un análisis de esfuerzos tanto estático como dinámico, con el fin de conocer las diferentes fallas que tenga el diseño y corregirlas de manera que satisfaga las necesidades y parámetros planteados.
- Con la implementación de este sistema automático de Torno Fresador CNC, los docentes y estudiantes de las diferentes carreras de la ESPEL, pueden hacer uso de la máquina en el Laboratorio CNC, para prácticas relacionadas con las asignaturas de FMS y CAD/CAM, con el fin de que puedan lograr una mayor comprensión acerca de estos temas.
- El diseño y construcción de piezas y repuestos de maquinaria por medio de un Torno Fresador CNC, garantiza la elaboración individual o en serie de las mismas con un alto grado de precisión y exactitud, disminuyendo el tiempo de mecanizado y el desperdicio de materia prima como sucede con las máquinas herramienta

convencionales, además de tener dos máquinas como son Torno y Fresadora implementadas en una sola.

- El control de la máquina se lo realizó mediante software (Mach3), el mismo que trabaja conjuntamente con una tarjeta principal (Combo Board); debido a su bajo costo para satisfacer las necesidades del diseño del prototipo de Torno Fresador CNC, obteniendo a la final un HMI.
- Al realizar las pruebas como Torno Fresador, se puede notar que es una máquina eficiente, ya que con los recursos utilizados trabaja de manera similar a prototipos de máquinas importadas desde el exterior.
- La utilización de programas tales como SolidWorks (CAD) y Mastercam (CAM), hacen que el manejo del prototipo de Torno-Fresador sea común y por consiguiente accesible para la mayoría de estudiantes y docentes que conocen acerca de estos programas.

5.2 RECOMENDACIONES:

- Se recomienda implementar en proyectos relacionados un cambio de herramientas.
- En proyectos a gran escala se recomienda utilizar un controlador que sea hardware ya que en software se puede producir interferencia en la comunicación.
- Antes de operar la máquina se deben conocer sus características técnicas, tales como: recorridos de los ejes, velocidades máximas tanto del mandril como del husillo, materiales que se pueden mecanizar, etc., para lo cual se recomienda leer primero el manual de operación del mismo que se encuentra en el ANEXO F.
- Se recomienda seguir las normas de seguridad tanto para la máquina como para el operario, antes, durante y después del

mecanizado, ya que la máquina aunque es un prototipo puede causar lesiones por quemaduras o corte, además ayuda al operario para que se acostumbre al momento de utilizar una máquina a nivel industrial.

- Verificar de forma regular los parámetros de configuración o calibración del Torno Fresador dentro del software Mach3, con el fin de arreglar algún tipo de desconfiguración que se haya dado, además para obtener los mejores resultados de mecanizado posibles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Universidad Nacional de Colombia. Introducción al CAD/CAM. Extraído el 10 de julio del 2012 desde, http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/mecatronica/docs_curso/Anexos/TUTORIALcnc/DOCUMENTOS/TEORIA/INTRODUCCION%20AL%20CAD-CAM/01%20Introduccion%20CAD%20CAM.pdf
- Designer Rants. 3D CAD: Modeling a High Performance Engine Part. Extraído el 10 de julio del 2012 desde, <http://krisbunda.com/blog/index.php/2011/09/19/3d-cad-modeling-a-high-performance-engine-part-how-to/>
- Milimetrik. MastercamKursuMüfredat.Extraído el 10 de julio del 2012 desde, <http://www.milimetrik.com/egitim.asp?kurs=solidworks-icin-mastercam-kursu>
- Prieto R. (2009).SENATI. Introducción al torno CNC. Extraído el 12 de julio del 2012 desde, <http://www.slideshare.net/erreprieto/curso-fundamental-de-torno-cnc>
- Mikell P. Groover. Fundamentos de Manufactura Moderna: Materiales, Procesos Y Sistemas. Páginas 598 – 619.
- CIMCO Documentation. Operaciones de fresado. Extraído el 12 de julio del 2012 desde, http://www.cimco.com/docs/cimco_cnc-calc/v6/es/#MillingOperationsToolbar
- DirectIndustry. Extraído el 12 de julio del 2012 desde, <http://www.directindustry.de/prod/tungaloy/wendeplattenbohrer-5647-554216.html>
- Villalba D. (2010). Operación de torneado. Extraído el 12 de julio del 2012 desde, <http://maquinasyherramientas-torno.blogspot.com/2010/05/operaciones-de-torneado.html>
- Arukasi. Principales operaciones de un torno. Extraído el 12 de julio del 2012 desde,

<http://arukasi.wordpress.com/category/tornos/principales-operaciones-de-un-torno/>

- Torres L. Mecanizados de torno y fresadora. Extraído el 12 de julio del 2012 desde, http://www.luistorresrubio.com/fresado_cnc.html
- DORMER. Fresado. Extraído el 12 de julio del 2012 desde, [http://www.dormertools.com/sandvik/2531/internet/s003592.nsf/AllDocs/Product*2DMachiningSolutions*2DPDF*2ATH*2DPDFes/\\$file/8Fresado.pdf](http://www.dormertools.com/sandvik/2531/internet/s003592.nsf/AllDocs/Product*2DMachiningSolutions*2DPDF*2ATH*2DPDFes/$file/8Fresado.pdf)
- University at Buffalo (New York). Computer Numerical (CNC). Extraído el 15 de noviembre del 2012 desde, <http://wings.buffalo.edu/academic/department/eng/mae/courses/460-564/Course-Notes/CNC%20notes.pdf>
- Pantoja. Diseño de un dinamómetro para medir fuerzas de corte, para el maquinado de acero inoxidable austenítico 304, utilizando galgas extensométricas, para el torno Hardinge, Cobra, CNC de la Universidad de las Américas Puebla (capítulo 2). Fuerza de corte. Extraído el 22 de octubre del 2012 desde, http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/tron_p_b/capitulo2.pdf
- KALPAKJIAN Serope, Manufacturing Engineering and Technology, Prentice Hall, 2000, página.532.
- Helmi A. Youssef and Hassan El-Horfy. Machining Technology: Machine Tools and Operations. Pag22.
- Korta. Catalogo técnico husillo a bolas. Cálculos de diseño. Par e inercia. Pag58.
- Ingeniería de Sistemas Educativos. Velocidades de avance y de corte del torno. Extraído el 25 de octubre del 2012 desde, <http://www.aprendizaje.com.mx/curso/proceso2/practicas/tor-no-desarrollo/capi8.htm>
- Hernanadez. Teoría de corte procesos de corte relacionados con la fabricación de piezas mecánicas mediante el cizallamiento del metal. Extraído el

26 de octubre del 2012

desde, <http://es.scribd.com/doc/8262436/22/PROFUNDIDAD-DE-CORTE>

- Universitat Politècnica de Catalunya (Bacelonatech). Estudio de la implantación de una unidad productiva dedicada a la fabricación de conjuntos soldados de aluminio. Extraído el 29 de octubre del 2012 desde, <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/2833/6/41774-6.pdf>
- SMITH William F., Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales, McGraw Hill, Tercera Edición, página. 439.
- Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Introducción a los sistemas de control. Extraído el 15 de agosto del 2012 desde, <http://gama.fime.uanl.mx/~agarcia/materias/ingco/apclas/01%20-%20Introduccion%20a%20los%20Sistemas%20de%20Control.pdf>
- Sensor. Extraído el 15 de agosto del 2012 desde, <http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor>
- Precisión. Extraído el 15 de agosto del 2012 desde, <http://es.wikipedia.org/wiki/Precisi%C3%B3n>
- Academia Mexicana de la Lengua. Repetitividad y reproducibilidad en ingeniería industrial. Extraído el 15 de agosto del 2012 desde, <http://fundeumexico.org/p/document.php?ndf=538>
- Bolaños D. Motores Eléctricos. Extraído el 18 de agosto del 2012 desde, <http://www.bolanosdj.com.ar/MOTORES/MOTORES.PDF>
- TodoRobot (2010). Tutorial sobre Motores Paso a Paso. Extraído el 20 de agosto del 2012 desde, <http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/steppe-r-tutorial.htm>
- TodoRobot (2010). Tutorial sobre Motores Paso a Paso. Extraído el 20 de agosto del 2012 desde, <http://www.todorobot.com.ar/documentos/servomotor.pdf>

- Sensores de proximidad. Extraído el 21 de agosto del 2012 desde, <http://sensoresdeproximidad.galeon.com/>
- Alvear P. Control inteligente de temperatura de un departamento prototipo por ventilación natural. Sensores de posicionamiento. Extraído el 21 de agosto del 2012 desde, http://www.fing.edu.uy/iimpi/academica/grado/instindustrial/teorico/080310-Sensores-parte_V.posici%C3%B3n.pdf
- Escuela de Educación Técnica N°1 de Vicente López. Normas básicas para el uso de utilización de máquinas de mecanizado. Extraído el 25 de agosto del 2012 desde, http://tecnica1.dnsalias.org/samples/seguridad/Seguridad_con_maquinas.pdf
- The Engineering ToolBox. Friction and Coefficients of Friction.Extraído el 8 de noviembre del 2011 desde, http://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html
- SE ENCORE. Unique, Powerful Performance. Service Factor Section. Extraído el 8 de noviembre del 2011 desde,http://www.winsmith.com/se_encore/Appendix/Service_Factors.pdf
- Lovejoy. Acoples flexibles de mordaza. Extraído el 5 de marzo del 2012 desde,<http://www.lovejoy-inc.com/>
- KALPAKJIAN Serope, Manufacturing Engineering and Technology, Prentice Hall, 2000, página.532.
- MOTT Robert L., Diseño de Elementos de Máquinas, Prentice Hall, Cuarta Edición, página 185, Apéndice 1, pagina A-1.
- Mechanics of materials, Prentice Hall, Hibbeler R. C. 2005, sixth edition, Pág. 102.
- SMITH William F., Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales, McGraw Hill, Tercera Edición, página. 468.

- Torno y fresadora CNC-Guayaquil-equipos de software. Extraído el 2 de febrero del 2013 desde <http://guayaquil.olx.com.ec/torno-y-fresadora-cnc-iid-464926507>

GLOSARIO

A

ASTM: American Society for Testing and Materials. Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.

A36: El acero A36, tiene una densidad de 7850 kg/m³. El acero A36 en barras, planchas y perfiles estructurales con espesores menores de 8 plg (203,2 mm).

G

Geckodrive: Controlador de velocidad y posición de motores a paso o servomotores.

H

Hardware: Todos los elementos físicos del computador ó PLC.

S

Sistema Dextrogiro: que cumpla la regla de la mano derecha.

Software: Conjunto de programas que ejecuta un computador o PLC.

SKF: SvenskaKullagerfabriken AB.

ANEXOS