



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

EXTENSIÓN LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**“CONVERSIÓN DE UN TORNO CONVENCIONAL A UNO
POR CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO PARA EL
LABORATORIO CNC DE LA ESPE EXTENSIÓN
LATACUNGA.”**

ALVARO FERNANDO MENA LÓPEZ

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

“INGENIERO EN MECATRÓNICA”

2013

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
EXTENSIÓN LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

YO, ALVARO FERNANDO MENA LÓPEZ

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado **“Conversión de un torno convencional a uno por 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, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Diciembre del 2013.

ALVARO FERNANDO MENA LÓPEZ

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
EXTENSIÓN LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICADO

ING. FAUSTO ACUÑA (DIRECTOR)

ING. WILSON TRÁVEZ (CODIRECTOR)

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado “**Conversión de un torno convencional a uno por control numérico computarizado para el Laboratorio CNC de la ESPE Extensión Latacunga.**”, realizado por el señor: ALVARO FERNANDO MENA LÓPEZ; ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE

Latacunga, Diciembre del 2013.

ING. FAUSTO ACUÑA

DIRECTOR

ING. WILSON TRÁVEZ

CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
EXTENSIÓN LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

YO, ALVARO FERNANDO MENA LÓPEZ

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “**Conversión de un torno convencional a uno por 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, Diciembre del 2013.

ALVARO FERNANDO MENA LÓPEZ

DEDICATORIA

A mi padre Fernando y mi madre Jessy; a mis hermanas Ali y Cony; a mis tios: Pepe y Marietha; a mis abuelitos Samuel y Piedad; y a mi primo Oscar; 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 quien soy ahora, los amo con todo mi ser.

Alvaro Fernando Mena López

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme dado la vida, y darme la dicha de disfrutar de la misma.

A mis padres, hermanas y a todos mis familiares; pilares fundamentales en mi formación personal y académica, a ustedes me debo, y no me alcanzará la vida para retribuirles el apoyo y confianza que han depositado en mí.

A mis amigos y amigas; por todas las experiencias compartidas, y por ese inmenso cariño que me han brindado.

A los docentes de la ESPE Extensión Latacunga y más personas que colaboraron en el desarrollo de este proyecto.

De manera especial agradezco a los ingenieros Fausto Acuña y Wilson Trávez, quienes con sus enseñanzas ayudaron a resolver las tantas inquietudes que se iban presentando a lo largo del desarrollo de este trabajo, y con esto se pudo llevar a un feliz término esta tesis.

MUCHAS GRACIAS.

Alvaro Fernando Mena López

ÍNDICE

PORTADA.....	i
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	ii
CERTIFICACIÓN.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE.....	vii
RESUMEN.....	xxvi
ABSTRACT.....	xxvii
PRESENTACIÓN.....	xxviii
CAPÍTULO I	1
GENERALIDADES	1
1.1 TORNO CONVENCIONAL.....	1
1.2 SISTEMAS CAD/CAM/CAE.	2
1.3 CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO (CNC).	4
1.3.1. Códigos G.	5
1.3.2. Aplicaciones del control numérico computarizado.	6
1.4 TORNO DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO.....	7
1.4.1. Introducción.....	7
1.4.2. Funcionamiento.....	7

1.4.3. Herramientas de corte para torneado	9
1.4.4. Operaciones del Torneado	9
a. Cilindrado.....	9
b. Refrentado	9
c. Roscado	10
d. Tronzado.....	10
e. Taladrado.....	10
f. Moleteado	10
1.4.5. Parámetros de corte del torneado.	10
1.5 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.....	13
1.5.1. Parámetros del acero templado.....	13
1.5.2. Propiedades mecánicas de los aceros.	14
1.6 HUSILLOS DE BOLAS.....	15
1.7 TRANSMISIÓN FLEXIBLE.....	16
1.8 SISTEMAS DE CONTROL.....	17
1.8.1. Sistema de control de lazo abierto.....	17
1.8.2. Sistema de control de lazo cerrado.	18
1.8.3. Precisión, exactitud y resolución.....	19
a. Precisión.....	19
b. Exactitud.....	20
c. Resolución.....	20
1.9 ACTUADORES Y ELEMENTOS DE CONTROL.....	21
1.9.1. Controlador CNC.....	21
1.9.2. Motores eléctricos.	22
a. Motores de corriente alterna (AC)	22

b.	Servomotor.	23
1.9.3.	Sensores.	25
a.	Sensores de proximidad.	25
b.	Sensor de contacto:	25
c.	Sensores de posicionamiento angular (Encoder).	26
1.9.4.	Variadores de frecuencia.	28
1.10	NORMAS DE SEGURIDAD PARA EL TRABAJO MÁQUINAS CON HERRAMIENTA.	30
1.10.1	Protección personal.	30
1.10.2	Durante el torneado.	30
1.10.3	Seguridad y conservación del torno.	31
CAPÍTULO II	33
DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS MECÁNICOS DEL TORNO CNC	33
2.1	DISEÑO DEL TORNO CNC.	33
2.2	PARÁMETROS DE DISEÑO MECÁNICO.	34
2.2.1.	Comprobación de la potencia del motor del cabezal.	36
2.2.2.	Especificación del sistema mecánico de movimiento.	37
a.	Sistema de movimiento para el eje X.	37
b.	Sistema de movimiento para el eje Z.	37
2.2.3.	Cálculo de cargas estáticas aplicadas a los ejes de movimiento.	38
a.	Cálculo de cargas estáticas para el eje transversal.	38
b.	Cálculo de cargas estáticas para el eje longitudinal.	39

2.3	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN PARA EL MOVIMIENTO LINEAL DE EJES TRASNVERSAL Y LOGITUDINAL	40
2.3.1.	Guías de movimiento lineal.	40
2.3.2.	Transmisión de movimiento	41
2.4	CÁLCULO DE LOS HUSILLOS DE BOLAS.	42
2.4.1.	Cálculo del husillo de bolas para el mecanismo del eje X.	42
2.4.2.	Cálculo del husillo de bolas para el mecanismo del eje Z.	44
2.5	SELECCIÓN DEL HUSILLO DE BOLAS Y TUERCAS PARA LOS EJES X, Z.	47
2.6	CÁLCULO DEL TORQUE PARA LAS ESTRUCTURAS.	48
2.6.1.	Cálculo del torque para las estructuras de los ejes X.	49
2.6.2.	Cálculo del torque para la estructura del je Z.....	53
2.7	SELECCIÓN DE MOTORES PARA LOS EJES X, Z.....	56
2.8	SELECCIÓN DE LOS ACOPLER FLEXIBLES	59
2.8.1.	Seleccion del acople flexible para el eje X.	59
2.8.2.	Seleccion del acople flexible para el eje Z.	60
2.9	DISEÑO DEL SISTEMA DE TRASMISIÓN AUTOMÁTICO/MANUAL	61
2.9.1.	Diseño del mecanismo para el trabajo en modo CNC del eje	61
a.	Diseño y construcción del soporte para el servomotor.	61
b.	Diseño y construcción de bocines para deslizamiento.	64
c.	Diseño y construccióndebases de desplazamiento del servomotor.	65
d.	Mecanismo de embraguepara el eje x.	66

2.9.2. Diseño del mecanismo para el trabajo en modo CNC del eje Z.....	67
a. Selección de caja reductora.....	67
b. Diseño y construcción de estructura para servomotor del eje Z.....	68
c. Diseño y construcción de soporte de tuerca y eslabones de sujeción.....	69
d. Mecanismo de embrague para el eje Z.....	71
CAPÍTULO III	73
DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO DEL CONTROL DEL TORNO CNC.	73
3.1 MODO DE OPERACIÓN.....	73
3.1.1 Selección eléctrica de funcionamiento.....	73
3.1.2 Parámetros del modo de operación.....	73
3.2 DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA MÁQUINA CNC	75
3.2.1. Parámetros de diseño de la unidad de control de movimiento del torno CNC.....	75
3.2.2. Diseño del software de control.....	76
3.2.3. Diseño del hardware de control.	78
3.3 SELECCIÓN DEL CONTROLADOR.....	79
3.3.1. GSK 980TDa.....	81
3.3.2. Características de controlador GSK980TDa	82
3.3.3. Señales I/O del controlador GSK 980TDa	83
3.4 ESPECIFICACIÓN DE LOS DRIVERS DE CONTROL DE LOS SERVOMOTORES.....	84

3.4.1. GSK DA98B	84
3.4.2. Características del servodrive GSK DA98B	85
3.5 SELECCIÓN DE SISTEMA DE CONTROL PARA EL MOTOR TRIFÁSICO DEL CABEZAL.....	86
3.5.1. Selección de drive de control para motor trifásico principal	86
3.5.2. Selección del encoder para el control de de velocidad giro del cabezal.....	88
3.6 DISEÑO DEL TABLERO DE CONTROL Y POTENCIA DEL TORNO CNC	89
3.6.1. Tensión trifásica 220V.	89
3.6.2. Fusibles de protección.....	89
3.6.3. Brakers de protección de drives de motores.....	89
3.6.4. Contactores de para arranque de motores.	90
3.6.5. Relés eléctricos.	90
3.6.6. Fuente de alimentación.	90
CAPÍTULO IV	91
IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA.....	91
4.1 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO.....	91
4.1.1. Implementación de la estructura de los ejes.	91
a. Implementación de la estructura del eje Z.....	91
b. Implementación de la estructura del eje X.	93
c. Implementación del encoder.	95
4.1.2. Implementación del sistema mecánico de movimiento a la estructura principal.....	96
4.2 IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL.....	96

4.2.1. Parametrización del Controlador 980TDa.....	96
4.2.2. Diagrama de conexión del GSK980TD al servo drive DA98B	101
4.2.3. Diagrama de conexión del GSK980TD al encoder del cabezal	102
4.2.4. Diagrama de conexión del GSK980TD al MPG	103
4.2.5. Diagrama de conexión del GSK980TD a la entrada análoga de voltaje (AVI).....	103
4.2.6. Diagrama de conexión del GSK980TD a la PC	104
4.2.7. Definición de interfaz estándar y expansión I/O.....	104
a. Input XS40.....	104
b. Output XS39	105
4.2.8. Finales de carrera, paros de emergencia e Interruptores de referencia.....	105
4.2.9. Controles y modos de funcionamiento del controlador GSK980TDa.	107
a. Pantallas de Visualización	108
b. Panel de programación	109
c. Panel de control.....	110
d. Modos de funcionamiento del torno CNC.....	113
4.2.10 Descargar un programa de código G en el controlador.....	114
4.2.11 Tablero de control para el sistema automático del torno CNC.....	115
4.2.12 Parametrización del Servodrive.	115
a. Relación de transmisión eléctrica para eje X.....	116
b. Relación de transmisión eléctrica para eje Z.....	117

4.2.13	Parametrización del Variador de Frecuencia DELTA VFD-B para el control de giro del cabezal.	118
4.3	PRUEBAS DEL SISTEMA MECÁNICO Y DE CONTROL DEL TORNO.	119
4.3.1	Desplazamiento de los carros a lo largo de las coordenadas X, Z.....	120
a.	Modo Jog	120
b.	Modo MPG.....	120
4.3.2	Encendido del cabezal.....	121
4.4	ENLACE CAD/CAM.	121
4.5	PRUEBAS DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DEL TORNO CNC	123
4.5.1.	Cero absolutos o referencia de la máquina.....	123
4.5.2.	Mecanizado del torno CNC.....	124
a.	Referencia de la pieza para torneado.	125
b.	Mecanizado de la pieza para torneado.	125
4.6	MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.	126
4.7	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.	126
4.7.1.	Resolución de la máquina.	126
4.7.2.	Cálculo de la precisión de la máquina.	127
4.7.3.	Pruebas de precisión y resolución en torneado.	127
a.	Velocidades de corte :	133
b.	Velocidad de avance máxima:	133
c.	Avances máximo:.....	134
4.7.5.	Análisis de corriente y potencia eléctrica consumida.	135
4.7.6.	Pruebas de repetibilidad.	137

4.8 ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO.....	139
4.9 VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS.	140
CAPÍTULO V	141
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	141
5.1 CONCLUSIONES:	141
5.2 RECOMENDACIONES:	142
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	144
GLOSARIO	147

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Valores de presión específica de corte.....	12
Tabla 1.2. Propiedades mecánicas y aplicaciones típicas de aceros al carbono simple	14
Tabla 2.1. Características estándar de selección de los husillos de bolas.	47
Tabla 2.2. Características estándar de selección servomotores.	57
Tabla 2.3. Características de selección acoples flexibles.....	59
Tabla 2.4. Características estándar de selección de caja reductora	67
Tabla 3.1. Características básicas de los controladores GSK 980TDa y FANUC Serie 0i Modelo D	80
Tabla 3.2. Conexiones del controlador GSK 980TDa.....	83
Tabla 3.3. Características estándar de los variadores de frecuencia Siemens y Delta VDF-B	86
Tabla 4.1. Parametrización de los bits de parámetros del controlador 980TDa	97
Tabla 4.2. Datos de parámetros del controlador 980TDa.....	99
Tabla 4.3. Especificación de pines de la entrada XS40 del controlador.....	104
Tabla 4.4. Especificación de pines de la salida XS39 del controlador...	105
Tabla 4.5. Menú de visualización de pantalla principal.	108
Tabla 4.6. Descripción de funcionamiento de teclas del panel de programación.....	109
Tabla 4.7. Descripción de funcionamiento de teclas del panel de control.....	110
Tabla 4.8. Parametrización de drive DA98B.	117

Tabla 4.9. Parametrización del drive VFD-B.	118
Tabla 4.10. Resolución promedio en tornos CNC	126
Tabla 4.11. Muestras del cilindrado.	128
Tabla 4.12. Muestras de ranurado sinusoidal.	131
Tabla 4.13. Cálculo de fuerzas de corte.....	134
Tabla 4.14. Corriente medida en variador de frecuencia al mecanizar acero.....	135
Tabla 4.15. Potencia consumida por profundidad de pasada.....	136
Tabla 4.16. Tabla de repetibilidad en cilindrado.....	138
Tabla 4.17. Valores de elementos utilizados.....	139

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Partes del torno convencional.....	2
Figura 1.2: Sistemas CAD.	3
Figura 1.3: Sistemas CAM.	4
Figura 1.4: Sistemas CAE.....	4
Figura 1.5: Torno CNC.....	7
Figura 1.6: Esquema de funcionamiento del torno CNC	8
Figura 1.7: Herramientas para torneado	9
Figura 1.8: Operaciones de torneado.....	10
Figura 1.9: Husillo de bolas	15
Figura 1.10: Acoples flexibles	17
Figura 1.11: Sistema de control de lazo abierto.	18
Figura 1.12: Sistemas de control de lazo cerrado	19
Figura 1.13: Precisión y resolución	20
Figura 1.14: Controlador CNC	21
Figura 1.15: Servomotor.	24
Figura 1.16: Sensor de contacto.	26
Figura 1.17: Encoder incremental.	27
Figura 1.18: Encoder absoluto.	27
Figura 1.19: Variador de frecuencia.....	28
Figura 2.1: Torno PINACHO SP 200Rx1000	33
Figura 2.2: Estructura inicial del torno PINACHO SP 200Rx1000.....	34
Figura 2.3: Gráfica de fuerza de corte.....	35
Figura 2.4: Mecanismo del carro transversal eje X	37
Figura 2.5: Sistema de movimiento para eje Z.....	38

Figura 2.6: Fuerza resultante del peso de la estructura del eje X.....	38
Figura 2.7: Fuerza resultante del peso de la estructura del eje Z.....	39
Figura 2.8: Guías prismáticas de movimiento lineal	40
Figura 2.9: Mecanismo piñón - cremallera	41
Figura 2.10: Diagrama de carga distribuida aplicada al husillo de bolas.....	42
Figura 2.11: Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante del husillo de bolas	43
Figura 2.12: Husillo de bolas y la tuerca para eje X	44
Figura 2.13: Diagrama de carga distribuida aplicada al husillo de bolas.....	45
Figura 2.14: Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante del husillo de bolas	46
Figura 2.15: Husillo de bolas y la tuerca para eje Z	47
Figura 2.16: Fuerzas e inercias de la mesa de mecanizado.	48
Figura 2.17: Acoplamiento flexible de mordazas L-70.....	60
Figura 2.18: Acoplamiento flexible de mordazas L-75.....	60
Figura 2.19: Soporte del servomotor para el eje X.	61
Figura 2.20: Análisis de fuerza del soporte del servomotor para eje X....	62
Figura 2.21: Diagrama de cuerpo libre, fuerzas y momentos para el soporte para el servomotor	63
Figura 2.22: Escala de tensiones según el criterio de Von Mises.....	64
Figura 2.23: Guías de bronce fosfórico.....	65
Figura 2.24: Carro de desplazamiento del servomotor.....	65
Figura 2.25: Separación del acople flexible.	66
Figura 2.26: Carro de desplazamiento del servomotor.....	66

Figura 2.27: Caja reductora 20:1	68
Figura 2.28: Estructura de soporte para eje Z.....	69
Figura 2.29: Soporte de tuerca y eslabones de sujeción.....	69
Figura 2.30: Análisis de fuerza del soporte del servomotor para eje Z.	70
Figura 2.31: Escala de tensiones según el criterio de Von Mises.....	71
Figura 2.32: Acople o desacople mecánico para eje Z.....	72
Figura 2.33: Mecanismo de eje Z.....	72
Figura 3.1: Diagrama de flujo de funcionamiento general del torno.	74
Figura 3.2: Esquema general de funcionamiento del torno CNC.....	75
Figura 3.3: Diagrama de flujo del software.....	77
Figura 3.4: Diseño del hardware de control.....	78
Figura 3.5: Controlador GSK 980TDa.....	82
Figura 3.6: Controlador GSK 980TDa.....	83
Figura 3.7: Servodrives GSK DA98B.....	85
Figura 3.8: Drive Delta VFD-B.....	87
Figura 3.9: Encoder Delta EH-5.....	88
Figura 4.1: Implementación del diseño mecánico.	91
Figura 4.2: Montaje de la estructura del eje Z.....	92
Figura 4.3: Deslizamiento de eje Z como torno CNC.....	93
Figura 4.4: Deslizamiento de eje Z como torno convencional	93
Figura 4.5: Implementación de la estructura del eje X.....	94
Figura 4.6: Servomotor acoplado al husillo de bolas.....	94
Figura 4.7: Servomotor acoplado al husillo de bolas.....	95
Figura 4.8: Implementación del encoder.....	95
Figura 4.9: Implementación del sistema mecánico.....	96

Figura 4.10. Diagrama de conexión de GSK980TDa al servodrive DA98B.....	102
Figura 4.11: Diagrama de conexión de GSK980TD al encoder.....	103
Figura 4.12: Diagrama de conexión del GSK980TD al MPG.....	103
Figura 4.13: Diagrama de conexión del GSK980TD al AVI.....	104
Figura 4.14: Diagrama de conexión del GSK980TD a la PC.....	104
Figura 4.15: Switch limitador de carrera.....	105
Figura 4.16: Conexión de los límites de carrera paros de emergencia.	106
Figura 4.17: Conexión de los sensores home.	107
Figura 4.18: Sensores para el home.	107
Figura 4.19: Controles de la pantalla principal.	108
Figura 4.20: Forma de descargar un programa de códigos G.....	114
Figura 4.21: Forma de descargar un programa de códigos G.....	114
Figura 4.22: Tablero de control, parte externa e interior.	115
Figura 4.23: Controles de avance.	120
Figura 4.24: Control de avance.....	120
Figura 4.25: Encendido del cabezal.....	121
Figura 4.26: CAD en SolidWorks.	122
Figura 4.27: CAM en Mastercam.	122
Figura 4.28: Códigos G.....	123
Figura 4.29: Punto de referencia o cero absoluto.	124
Figura 4.30: Diseño de la pieza de torneado en SolidWorks.....	124
Figura 4.31: Cero pieza del torneado.....	125
Figura 4.32: Mecanizado en Torno.	126

Figura 4.33: Toma de muestra de cilindrado.....	128
Figura 4.34: Medición en 0°-180°.....	129
Figura 4.35: Medición en 45°- 225°.....	129
Figura 4.36: Medición en 90°- 270°.....	130
Figura 4.37: Medición en 135°- 315°.....	130
Figura 4.38: Dimensiones de ranurado sinusoidal.	131
Figura 4.39: Ranurado sinusoidal.	131
Figura 4.40: Muestreo de ranurado sinusoidal.....	132
Figura 4.41: Dimensiones de pieza de pruebas de penetración.....	133
Figura 4.42: Muestreo fueras de corte.	134
Figura 4.43: Muestreo de corriente consumida.	135
Figura 4.44: Muestreo de potencia consumida	136
Figura 4.45: Pieza de pruebas de penetración.....	137
Figura 4.46: Posición de repetibilidad	137
Figura 4.47: Códigos de posicionamiento en la zona de seguridad	138
Figura 4.48: Muestreo de repetibilidad.....	138

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE TORNO PINACHO SP 200R*100.

ANEXO B CARACTERISTICAS DEL MOTOR TRIFASICO DEL CABEZAL.

ANEXO C PLANOS MECÁNICOS.

ANEXO C-1 ESTRUCTURA DEL TORNO CNC/MANUAL.

ANEXO C-2 ESTRUCTURA DEL EJE X.

ANEXO C-3 ESTRUCTURA SOPORTE ALUMINIO EJE X.

ANEXO C-4 SOPORTE DE RODAMIENTO.

ANEXO C-5 HUSILLO DE BOLAS EJE X.

ANEXO C-6 TUERCA DE HUSILLO EJE X.

ANEXO C-7 BASE DE DESLIZAMIENTO DELANTERA.

ANEXO C-8 BASE DE DESLIZAMIENTO POSTERIOR

ANEXO C-9 BASE FIJA DELANTERA

ANEXO C-10 BASE FIJA POSTERIOR

ANEXO C-11 GUÍAS DE SUJECCIÓN DE SERVOMOTOR

ANEXO C-12 PALANCA DE SEPARACIÓN DE SERVOMOTOR

ANEXO C-13 BOCINES DESLIZADORES

ANEXO C-14 MODIFICACIÓN CARRO TRANSVERSAL

ANEXO C-15 GUÍAS DE DESLIZAMIENTO DE SERVOMOTOR

ANEXO C-16 ACOPLES FLEXIBLES DE MORDAZA EJE X

ANEXO C-17 SOPORTES PARA ESTRUCTURA DE ALUMINO

ANEXO C-18 ESTRUCTURA DEL EJE Z

ANEXO C-19 MODIFICACIÓN EN EL DELANTAL DEL TORNO

ANEXO C-20 HUSILLO DE BOLAS EJE Z

ANEXO C-21 TUERCA DEL HUSILLO EJE Z

ANEXO C-22 ESTRUCTURA BASE PARA TUERCA EJE Z

ANEXO C-23 ESLABONES SUJETADORES

ANEXO C-24 ESTRUCTURA SOPORTE SERVOMOTOR - CAJA
REDUCTORA

ANEXO C-25 ACOPLES FLEXIBLES L-70 EJE Z

ANEXO C-26 ACOPLES FLEXIBLES L-75 EJE Z

ANEXO C-27 SOPORTE FIJO

ANEXO D MEDIDAS DE HUSILLO DE BOLAS SKF

ANEXO E ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE SERVOMOTOR GSK
80SJT- M24C

ANEXO F ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE ACOPLES
FLEXIBLES

ANEXO G DIMENSIONES Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS CAJA
REDUCTORA

ANEXO H MODIFICACIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL/POTENCIA
DEL CONVENCIONAL

ANEXO H-1 MODIFICACIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL
CONVENCIONAL

ANEXO H-2 MODIFICACIÓN DEL CIRCUITO DE POTENCIA
CONVENCIONAL

- ANEXO I ESPECIFICACIONES TÉCNICAS CONTROLADOR GSK
980TDA
- ANEXO J ESPECIFICACIONES TÉCNICAS SERVODRIVE DA98B
- ANEXO K ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE DRIVE DELTA VFD-B
- ANEXO L ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE ENCODER DELTA
EH-5
- ANEXO M PLANO DE CONTROL DEL TORNO CNC
- ANEXO N PLANO DE POTENCIA DEL TORNO CNC
- ANEXO O MANUAL DE OPERACIÓN

RESUMEN

La automatización de máquinas herramientas a máquinas de control numérico computarizadas (CNC), ha ganado protagonismo en la industria, ya que en nuestro medio se están incorporando equipos sofisticados con ciertas particularidades las cuales brindan optimización de tiempo, espacio, exactitud y disminución de errores en su trabajo final.

La presente tesis radica en la **“Conversión de un torno convencional a uno por control numérico computarizado para el Laboratorio CNC de la ESPE Extensión Latacunga.”**, el cual es una máquina herramienta, que servirá de apoyo para docentes, técnicos y estudiantes relacionados con el área de automatización, debido a que éste proyecto involucra nuevas e innovadoras tecnologías.

El proyecto propuesto, trata de adaptar en una sola máquina las propiedades mecánicas y de control de un torno convencional y uno de control numérico computarizado; para el mecanizado de piezas en revolución sencillas o complejas respectivamente, dicho dispositivo necesitará de las habilidades manuales del operario para torneado convencional o de conocimiento de programación CNC, para ejecutarla como torno CNC.

Como máquina CNC, la interfaz hombre - máquina (HMI) es un controlador, en cual viene integrado un PLC, el que interpreta los códigos G y controla al torno, y este a la vez mediante los puertos de comunicación, emite señales de voltaje a los controladores de cada uno de los servomotores para verificar la posición y velocidad, de esta manera, se obtiene un torno de control numérico computarizado CNC, que combina técnicas de CAM y CAD, para la obtención de piezas complejas, con ello se puede reducir el tiempo de proceso de manufactura en fabricación en serie de productos.

ABSTRACT

The automation of machine tools to computerized numerically controlled machines (CNC), won prominence in the industry, since in our environment are being incorporated sophisticated equipment with certain particularities which provide optimization of time, space, accuracy and reduction of errors in his final work.

This thesis lies in the "Conversion of a conventional lathe one CNC computerized laboratory Extension ESPE CNC Latacunga.", which is a machine tool, which will serve as a support for teachers, technicians and students related to the area of automation, because this project involves new and innovative technologies.

The proposed project, is adapted in a single machine the mechanical properties and control of a conventional lathe and a computerized numerical control; for the machining of simple or complex parts in revolution respectively, that element will need skills operator manuals for turning conventional or knowledge of CNC programming, to run it as a CNC.

As a machine CNC, interface man - machine (HMI) is a controller, in which is integrated a PLC, which interprets the G codes and controls the machine, and this at the same time using communication ports, emits voltage signals to the controllers of each servo motors to verify position and speed, in this way, gets a lathe of computerized numerical control that combines techniques from CAM and CAD, for the production of complex parts, this can reduce processing time of manufacturing in manufacturing series of products.

PRESENTACIÓN

En el presente proyecto, se desarrolla la conversión de un torno convencional a uno por control numérico computarizado, el cual permite mecanizar diferentes tipos de piezas de revolución en cantidades y con precisión, mediante un controlador que utiliza datos alfa-numéricos, en el Laboratorio CNC de la ESPE Extensión Latacunga.

El Capítulo I contiene información relativo 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 define el diseño y la selección de los elementos mecánicos del torno conjuntamente con la selección de los actuadores de cada eje, para un adecuado funcionamiento en el mecanizado.

El Capítulo III detalla el diseño y selección de los sistemas de control eléctrico del torno CNC, 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, parametrización de elementos de control, para proceder a realizar pruebas de funcionamiento, además se muestra la resolución y precisión de la máquina.

En el Capítulo V se muestran las conclusiones y recomendaciones del proyecto, las cuales permitirán realizar proyectos futuros sin ningún tipo de dificultad.

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

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 TORNO CONVENCIONAL¹

Se denomina torno a un conjunto de máquinas herramientas que permiten mecanizar piezas de forma geométrica de revolución. Estas máquinas herramienta operan haciendo girar la pieza a mecanizar (sujeta en el cabezal o fijada entre los puntos de centraje) mientras una o varias herramientas de corte son empujadas en un movimiento regulado de avance contra la superficie de la pieza, cortando la viruta de acuerdo con las condiciones tecnológicas de mecanizado adecuadas. Desde el inicio de la revolución industrial, el torno se ha convertido en una máquina básica en el proceso industrial de mecanizado.

Partes del Torno

- **Bancada:** sirve de soporte para las otras unidades del torno. En su parte superior lleva unas guías por las que se desplaza el cabezal móvil o contrapunto y el carro principal, ver fig. 1.1.
- **Caja Norton:** contiene los engranajes o poleas que impulsan la pieza de trabajo y las unidades de avance. Incluye el motor, el husillo, el selector de velocidad, el selector de unidad de avance y el selector de sentido de avance. Además sirve para soporte y rotación de la pieza de trabajo que se apoya en el husillo, ver fig. 1.1.
- **Contrapunto:** el contrapunto es el elemento que se utiliza para servir de apoyo y poder colocar las piezas que son torneadas entre puntos, así como otros elementos tales como portabrocas o brocas para hacer taladros en el centro de los ejes. Este contrapunto puede moverse y fijarse en diversas posiciones a lo largo de la bancada, ver fig. 1.1.

¹<http://victoria1.blogia.com/2009/042802-8.2.-torno-y-sus-partes.php>

- **Carros portaherramientas:** Consta del **carro principal y delantal**, que produce los movimientos de avance y profundidad de pasada y del **carro transversal**, que se desliza transversalmente sobre el carro principal. En los tornos paralelos hay además un carro superior orientable, formado a su vez por tres piezas: la base, el charriot y el porta herramientas. Su base está apoyada sobre una plataforma giratoria para orientarlo en cualquier dirección, ver fig. 1.1.
- **Cabezal giratorio o husillo:** Su función consiste en sujetar la pieza a maquinar, hay varios tipos como el chuck independiente de 4 mordazas o el universal mayormente empleado en el taller mecánico al igual hay chuck magnéticos y de seis mordazas, ver fig. 1.1.

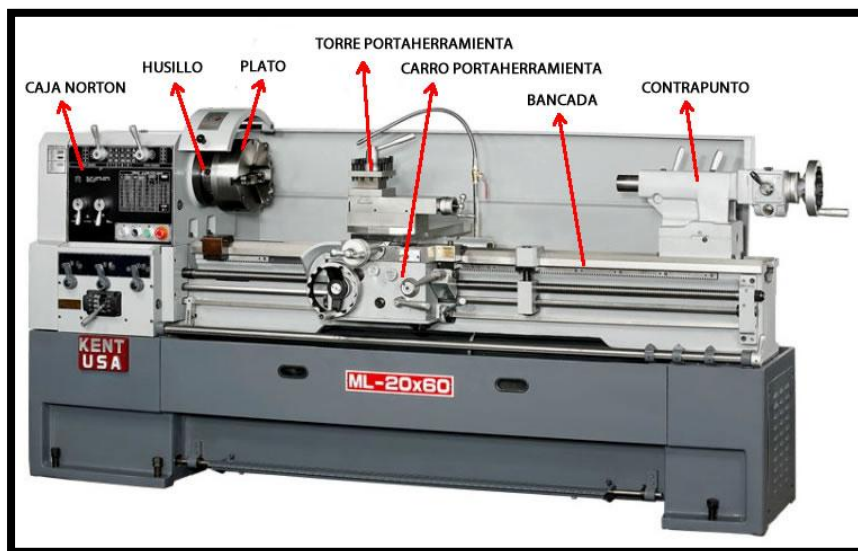


Figura 1.1: Partes del torno convencional.

1.2 SISTEMAS CAD/CAM/CAE².

CAD/CAM/CAE, son procesos 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.

²<http://es.scribd.com/doc/12750150/CONCEPTOS-FUNDAMENTALES-CADCAMCAE>

³<http://acimsa.edu.ve/sitio/mecanizado/mastercam-x4/mastercam-v-9-torno>

Para el diseño está el 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, ver figura: 1.2.

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, ver figura: 1.3.

Y por último está el CAE (Ingeniería asistida por computador) se encarga de evaluar el comportamiento del proyecto diseñado en una situación real: al exponerlo a deformaciones, vibraciones, esfuerzos, etc. Se dice que el CAE es un proceso integrado que incluye todas las funciones de la ingeniería que van desde el diseño propiamente dicho hasta la fabricación, ver figura: 1.4.

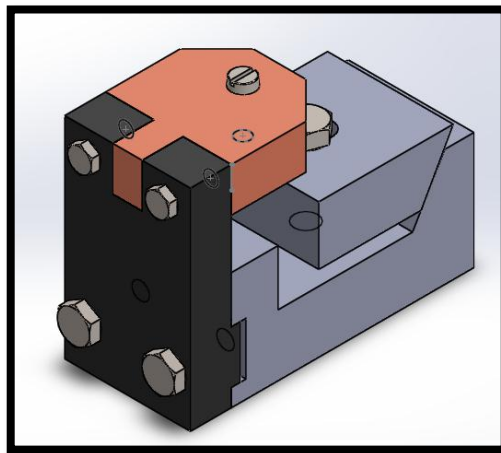


Figura 1.2: Sistemas CAD.

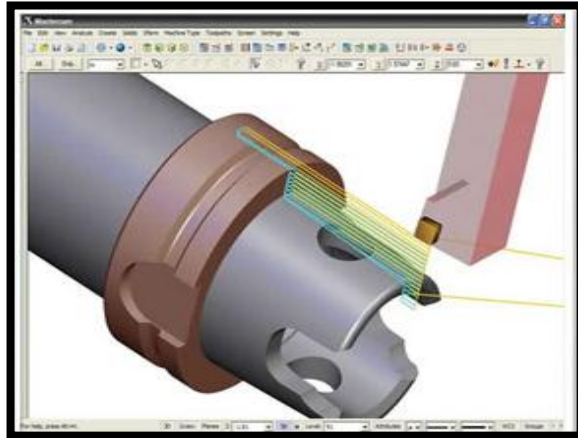


Figura 1.3: Sistemas CAM³.

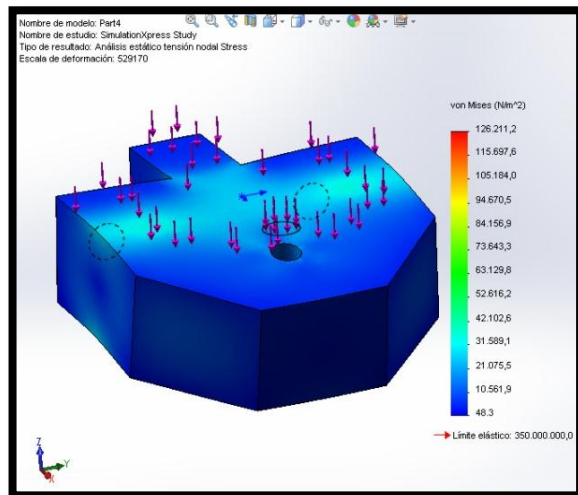


Figura 1.4: Sistemas CAE.

1.3 CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO (CNC)⁴.

Una máquina CNC, a diferencia de una máquina convencional o manual, una computadora controla la posición y velocidad de los motores que accionan los ejes de la máquina. Gracias a esto, puede hacer movimientos que no se pueden lograr manualmente como círculos, líneas diagonales y figuras complejas tridimensionales.

³<http://acimsa.edu.ve/sitio/mecanizado/mastercam-x4/mastercam-v-9-torno>

⁴<http://www.frvt.utn.edu.ar/cadcam-info.asp>

Las máquinas CNC son capaces de mover la herramienta al mismo tiempo en los diferentes ejes para ejecutar trayectorias tridimensionales como las que se requieren para el maquinado de complejos moldes y troqueles.

En una máquina CNC una computadora controla el movimiento de la mesa, el carro y el husillo. Una vez programada la máquina, ésta ejecuta todas las operaciones por sí sola, sin necesidad de que el operador esté manejándola. Esto permite aprovechar mejor el tiempo del personal para que sea más productivo.

1.3.1. 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.

1.3.2. Aplicaciones del control numérico computarizado.

El sistemas CNC es de amplia gama de aplicación en máquinas herramientas como por ejemplo: tornos, fresadoras, taladradoras, láseres, cortadoras, máquinas dobladoras, etc.

Las máquinas herramientas de Control Numérico (CNC) tiene docenas de aplicaciones en los negocios y manufactureras. Son usadas en cada en todo tipo de aplicaciones desde máquinas de bordado hasta brazos robóticos en las plantas de ensamblaje.

Se programa una máquina CNC generando códigos G y M que la máquina entienda.

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, así como también los tiempos de producción disminuyen abrumadoramente.

1.4 TORNO DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO⁵.

1.4.1. Introducción.

El torno CNC (figura 1.5) es un tipo de máquina herramienta que realiza procesos de mecanizado mediante un software de computadora que utiliza datos alfanuméricos (Códigos G), siguiendo los ejes cartesianos X, Z.



Figura 1.5: Torno CNC⁶

1.4.2. Funcionamiento.

El sistema CNC de la máquina herramienta está compuesto de funciones de control numérico computarizado (CNC), servomotores, accesorios de transmisión de movimiento de los servomotores, entre otros.

De acuerdo al proceso de maquinado a seguir, el usuario edita los programas y los ingresa en el controlador, el cual se encarga de convertir esta información en señales de salidas como instrucciones de movimiento para los servomotores y los acoples flexibles, que transmiten los movimientos hacia la máquina. Las instrucciones de control lógico dentro

⁵<http://www.metalactual.com/revista/12/maquinariatornoscnc.pdf>

⁶http://www.lacasadeltonero.com/index.php?manufacturers_id=12

de un programa, que sirve para controlar funciones como activación/desactivación de rotación del husillo, selección de la herramienta, encendido/apagado del refrigerante y lubricante, son determinados por el CNC, para los sistemas de control eléctrico son empleados con un PLC con características de alta confiabilidad, compactas y convenientes. De aquí se puede decir que los principales sistemas de una máquina herramienta CNC (figura 1.6), son:

- Sistema de control de movimiento.
- Sistema de servomotores.
- Máquina herramienta.

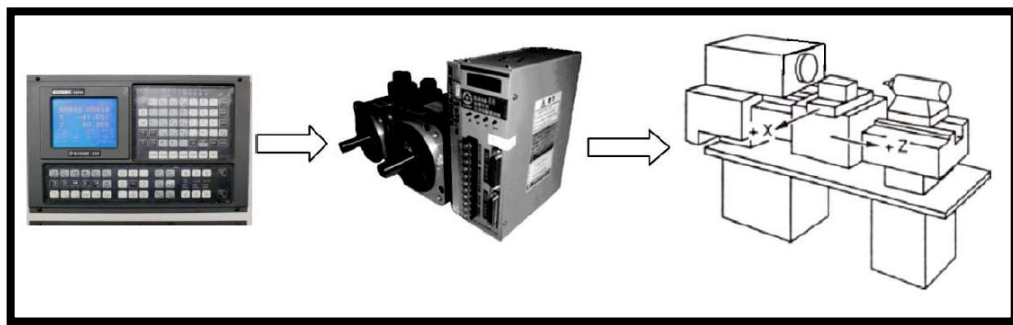


Figura 1.6: Esquema de funcionamiento del torno CNC

Los ejes X, Z, 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.

El equipo de control numérico se maneja 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 convencionales por lo que se utilizan herramientas de metal duro o de cerámica para disminuir la fatiga de materiales.

1.4.3. Herramientas de corte para torneado

Las herramientas de torneado (figura 1.7) 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.
- Según su operación las herramientas pueden ser: de tronzado, moleteado, refrentado, roscado, torneado interior.



Figura 1.7: Herramientas para torneado⁷

1.4.4. Operaciones del torneado⁸

La máquina es capaz de realizar operaciones de torno entre ellas se tiene:

- a. **Cilindrado** (a) permite una geometría cilíndrica tanto en exteriores como interiores.
- b. **Refrentado** (b) permite la obtención de superficies planas perpendiculares al eje de rotación de la máquina.

⁷<http://www.directindustry.de/prod/tungaloy/wendeplattenbohrer-5647-554216.html>

⁸http://www.cimco.com/docs/cimco_cnc-calc/v6/es/#TurningOperationsToolbar

- c. **Roscado** (c) esta operación permite la obtención de roscas: tornillos en el caso de exterior y tuercas en el caso de interior.
- d. **Tronzado** (d) permite cortar o tronzar piezas perpendiculares al eje de rotación al eje.
- e. **Taladrado** (e) permite la obtención de taladros coaxiales con el eje de rotación de la pieza.
- f. **Moletado** (f) permite el marcado de la superficie cilíndrica de la pieza a fin de facilitar la rotación manual de la misma.

Todas las operaciones de torneado expuestas se indican en la figura 1.8.

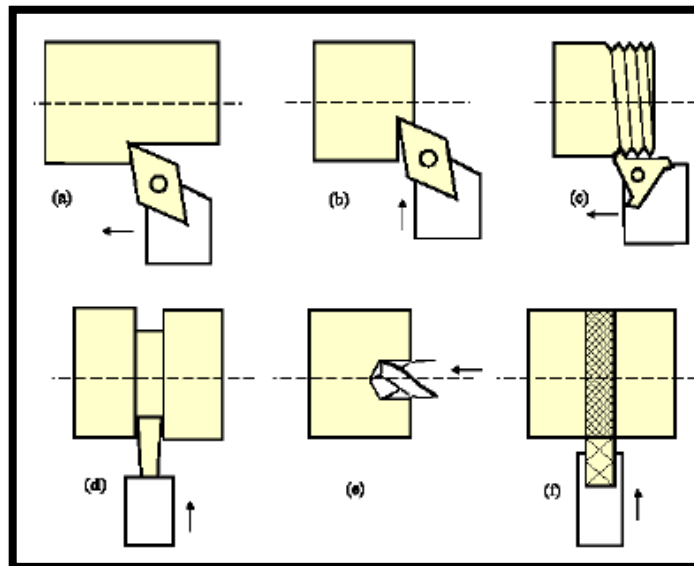


Figura 1.8: Operaciones de torneado

1.4.5. Parámetros de corte del torneado⁹.

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

- Velocidad de corte (V_c) expresada en metros/minuto.
- Diámetro exterior del torneado.

⁹http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/tron_p_b/capitulo2.pdf

- Revoluciones por minuto (rpm) del cabezal del torno.
- Avance en mm/min de la herramienta.
- Avance en mm/rev, de la herramienta.
- Profundidad de corte por pasada.
- Fuerzas de corte.
- Elección del tipo de herramienta más adecuado.
- Sistema de fijación de la pieza.

En base de la determinación de la **velocidad de corte** se puede determinar las revoluciones por minuto que tendrá el cabezal del torno, con la siguiente ecuación:

$$V_c \left(\frac{n}{min} \right) = \frac{RPM * \pi * D_c(mm)}{1000 (mm/m)} \quad (Ecu. 1.1)$$

De la Ecu. 1.1, se despeja el parámetro (**rpm**), para poder determinar la velocidad de rotación de la pieza.

La **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 ecuación:

$$F \left(\frac{mm}{min} \right) = N(rpm) * F \left(\frac{mm}{rev} \right) \quad (Ecu. 1.2)$$

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

$$T(minutos) = \frac{Longituddepasada (mm)}{F(mm/min)} \quad (Ecu. 1.3)$$

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:

$$F_C = K_S * A_C \quad (\text{Ecu. 1.4})$$

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:

$$F_C = K_{S0} * s * a_C \quad (\text{Ecu. 1.5})$$

Los valores k_{S0} y z son valores obtenidos experimentalmente y se puede 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 corte¹⁰.

MATERIAL	$K_S(N/mm^2)$	Z
Acero templado	225	0.2
Acero al carbono	186	0.2
Acero Inoxidable austenítico	179	0.2
Acero Inoxidable férrico	155	0.2
Aluminio	100	0.3
Cobre	78	0.3
Latón	58	0.3

¹⁰KALPAKJIAN Serope, Manufacturing Engineering and Technology, Prentice Hall, 2000, página.532.

1.5 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.

1.5.1. Parámetros del acero templado¹¹.

Se debe conocer los principales parámetros del material más duro a mecanizar, que en este caso es el acero templado:

Velocidades de corte:

$$V_c = 35 \left(\frac{m}{min} \right) \rightarrow \text{Acabado}$$

$$V_c = 27 \left(\frac{m}{min} \right) \rightarrow \text{Desbastado}$$

Avances:

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

$$S_{m\acute{a}x} = 0.75 \rightarrow \text{Desbastado}$$

Esfuerzo del Material:

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

Profundidad de corte (a):

$$a_{max} = 2 \text{ mm.}$$

$$a_{min} = 0.2 \text{ mm.}$$

Angulo óptimo de entrada de la herramienta:

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

¹¹<http://areamecanica.azc.uam.mx/Cnc/Archivos/Ejemplo%20Velocidad%20de%20corte>

1.5.2. Propiedades mecánicas de los aceros.

Los aceros al carbono simples (Tabla 1.2), muy bajos en carbono 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 (SAE 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 de aceros al carbono simple¹².

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.

¹²SMITH William F., Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales, McGraw Hill, Tercera Edición, página. 439.

1040	0.40 C, 0.45 Mn	Lam. Tosco Recocido	414 352 593	25 30 20	Ejes, pernos, tubos, con alta resistencia a la tensión, engranajes.
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 o Q & T↑	276	30	Termotratables de uso general; piezas de máquinas, ejes, válvulas.

1.6 HUSILLOS DE BOLAS¹³

Un tornillo de bolas (figura 1.9) es un actuador lineal que transmite una fuerza o movimiento con fricción mínima, la ranura tiene un ángulo de hélice que se ajusta con el ángulo de la hélice de la tuerca y de las bolas.

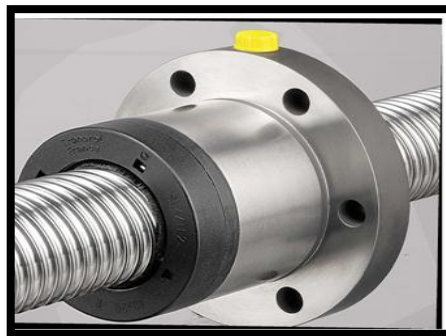


Figura 1.9: Husillo de bolas

Cuando el tornillo y la tuerca tienen movimientos relativos uno respecto del otro, las bolillas son apartadas de un extremo de la tuerca de bolas y son llevadas a través de la guías hasta el extremo opuesto de la tuerca, tal recirculación permite que la tuerca viaje sin restricciones con respecto al tornillo. Las pérdidas de fricción entonces son mínimas por dicho

¹³http://es.wikipedia.org/wiki/Husillo_de_bolas

rodamiento. Esta característica es una de las ventajas más importantes que los tornillos de bolas tienen sobre los de rosca, es posible tener eficiencias de 90% o mayores en una gama muy amplia de ángulos de hélice.

Ventajas:

- Eficiencia alta (90% o mayor).
- Vida esperada predecible.
- Posicionamiento preciso y repetibilidad de posición.
- No hay tendencia de “pegarse-deslizarse” como en los otros tornillos.
- La expansión térmica debido a la fricción es despreciable.
- Facilidad de precargarse para eliminar huelgos sin aumento apreciable de rozamiento.
- Se pueden usar motores relativamente pequeños por tener bajo par de arranque.
- Movimiento suave y control en todo el recorrido.

Desventajas:

- Debido a la alta eficiencia, su carga tiende a bajar por sí misma en aplicaciones verticales, por tanto si se requiere de sistema autotrabado será necesario instalar un freno externo.
- La inclusión de basura o materias extrañas pueden reducir o terminar con la vida del tornillo.

1.7 TRANSMISIÓN FLEXIBLE

La transmisión flexible (figura 1.10), se caracteriza por su forma especialmente sencilla, marcha silenciosa y una capacidad de absorber elásticamente los choques. Sus componentes tienen generalmente un precio reducido, que aproximadamente el 63% del de las transmisiones por engranajes cilíndricos, es por estas razones que se ha decidido utilizar este tipo de transmisión.



Figura 1.10: Acoples flexibles

1.8 SISTEMAS DE CONTROL¹⁴.

Sistema de control es el conjunto de dispositivos 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 que actúan juntos para lograr un objetivo de control.

Los sistemas de control deben conseguir los siguientes objetivos:

- Ser estables y robustos frente a perturbaciones y errores en los modelos.
- Ser eficiente según un criterio preestablecido evitando comportamientos bruscos e irreales.

1.8.1. Sistema de control de lazo abierto.

Un sistema de control en lazo o bucle abierto (figura 1.11), es aquél en el que la señal de salida no influye sobre la señal de entrada. La exactitud de estos sistemas depende de su calibración, de manera que al calibrar se establece una relación entre la entrada y la salida con el fin de obtener del sistema la exactitud deseada. El diagrama de bloque de un sistema en lazo abierto es:

¹⁴http://www.isa.cie.uva.es/~felipe/docencia/ra12itielec/tema1_trasp.pdf

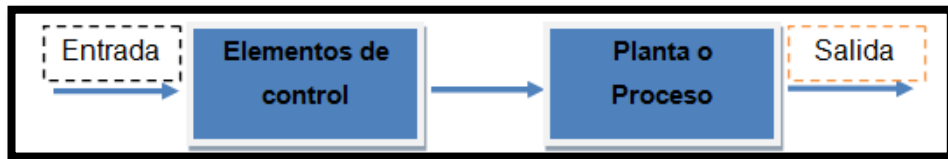


Figura 1.11: Sistema de control de lazo abierto.

Estos sistemas se caracterizan por:

- No se compara la salida del sistema con el valor deseado de la salida del sistema (referencia).
- La exactitud de la salida del sistema depende de la calibración del controlador.
- En presencia de perturbaciones estos sistemas de control no cumplen su función adecuadamente

1.8.2. Sistema de control de lazo cerrado.

Un sistema de control de lazo cerrado (figura 1.12), es aquél en el que la acción de control es, en cierto modo, dependiente de la salida. La señal de salida influye en la entrada. Para esto es necesaria que la entrada sea modificada en cada instante en función de la salida. Esto se consigue por medio de lo que llamamos realimentación o retroalimentación (feedback).

La realimentación es la propiedad de un sistema en lazo cerrado por la cual la salida se compara con la entrada del sistema (o una de sus entradas), de manera que la acción de control se establezca como una función de ambas.

Por lo tanto se define también a los sistemas de control en lazo cerrado como aquellos sistemas en los que existe una realimentación de la señal de salida, de manera que ésta ejerce un efecto sobre la acción de control.

El diagrama de bloques correspondiente a un sistema de control en lazo cerrado es:

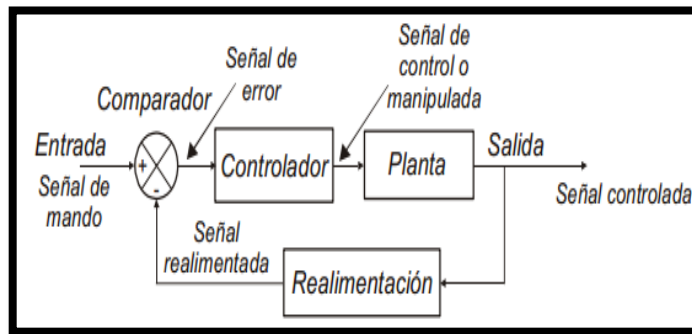


Figura 1.12: Sistemas de control de lazo cerrado¹⁵

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.

1.8.3. Precisión, exactitud y resolución¹⁶.

a. Precisión.

Es un parámetro relevante, especialmente en la investigación de fenómenos físicos, ámbito en el cual los resultados se expresan como un número más una indicación del error máximo estimado para la magnitud. Es decir, se indica una zona dentro de la cual está comprendido el verdadero valor de la magnitud

La precisión (figura 1.13) es la necesidad y obligación de exactitud y concisión a la hora de ejecutar algo. Para la ingeniería, sin embargo, precisión y exactitud no son conceptos sinónimos. La precisión, en este sentido, es la dispersión del conjunto de valores que se obtiene a partir de las mediciones repetidas de una magnitud: a menor dispersión, mayor

¹⁵ http://www.juntadeandalucia.es/averroes/ies_sierra_magina/d_tecnologia/bajables/2%20bachillerato/SISTEMAS%20AUTOMATICOS%20DE%20CONTROL.pdf

¹⁶ <http://es.scribd.com/doc/53462588/CONCEPTO-DE-PRECISION-sensibilidad-exactitud>

precisión. La exactitud, en cambio, hace referencia a la cercanía del valor medido al valor real.

b. Exactitud.

En ingeniería, se denomina exactitud a la capacidad de un instrumento de medir un valor cercano al valor de la magnitud real. Suponiendo varias mediciones; no se mide el error de cada una, sino la distancia a la que se encuentra la medida real de la media de las mediciones (cuán calibrado está el aparato de medición). Esta cualidad también se encuentra en instrumentos generadores de magnitudes físicas, siendo en este caso la capacidad del instrumento de acercarse a la magnitud física real

c. 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 (figura 1.13), 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.

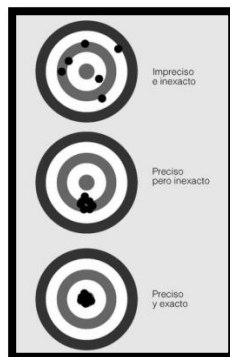


Figura 1.13: Precisión y resolución

1.9 ACTUADORES Y ELEMENTOS DE CONTROL.

1.9.1. Controlador CNC¹⁷

El controlador CNC (figura 1.14), es un dispositivo digital de control numérico que cumple la función controlar máquinas herramientas y sus procesos. Ofrecen capacidades que van desde el control de una simple relación de movimiento de punto a punto, hasta el control de algoritmos muy complejos, con múltiples ejes de control. Los controladores CNC se utilizan para equipar a muchos tipos de maquinaria en un taller o planta.

Hoy en día se ofrecen controladores CNC en forma de kits, para la modificación o conversión de una máquina herramienta manual a una máquina automática por CNC. El proceso de recambio de un sistema analógico NC (Numérico Control) a uno digital CNC o la implantación de un sistema CNC en una máquina herramienta manual, habitualmente recibe la denominación de “retrofitting o adaptación”, la cual resume la idea de las tareas necesarias para la incorporación de esta mejora en el dispositivo al cual se le está aplicando



Figura 1.14: Controlador CNC

¹⁷<http://tallerdedalo.es/web/MundoCNC/ControladorasCNC>

1.9.2. Motores eléctricos¹⁸.

Un **motor eléctrico** es un dispositivo que funciona con corriente alterna o directa y que se encarga de convertir la energía eléctrica en movimiento o energía mecánica.

Desde su invención, los motores eléctricos han pasado a ser **herramientas muy útiles** que sirven para realizar múltiples trabajos, y se les encuentra en diversas aplicaciones, tales como: ventiladores, bombas, equipos electrodomésticos, automóviles, etc.

a. Motores de corriente alterna (AC)

Bajo el título de motores de corriente alterna se reúne a los siguientes tipos de motor.

- **Motor Sincrónico**, este motor tiene la característica de que su velocidad de giro es directamente proporcional a la frecuencia de la red de corriente alterna que lo alimenta. Por ejemplo si la fuente es de 60Hz, si el motor es de dos polos, gira a 3600

RPM; si es de cuatro polos gira a 1800 RPM y así sucesivamente. Este motor o gira a la velocidad constante dada por la fuente o, si la carga es excesiva, se detiene.

El motor sincrónico es utilizado en aquellos casos en que los que se desea velocidad constante. En nuestro medio sus aplicaciones son mínimas y casi siempre están en relacionadas con sistemas de regulación y control mas no con la transmisión de potencias elevadas.

- **El Motor Asincrónico o de Inducción**, si se realizara a nivel industrial una encuesta de consumo de la energía eléctrica utilizada en alimentar motores, se daría que casi la totalidad del consumo estaría dedicado a los motores asincrónicos.

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

Estos motores tienen la peculiaridad de que no precisan de un campo magnético alimentado con corriente continua como en los casos del motor de corriente directa o del motor sincrónico.

Una fuente de corriente alterna (trifásica o monofásica) alimenta a un estator. La corriente en las bobinas del estator induce corriente alterna en el circuito eléctrico del rotor (de manera algo similar a un transformador) y el rotor es obligado a girar.

b. Servomotor¹⁹.

Un Servomotor (figura 1.15), podría definirse genéricamente, como un motor utilizado para obtener una salida precisa y exacta en función del tiempo. Dicha salida esta expresada habitualmente en términos de posición, velocidad y/o torque.

La principal ventaja de un servomotor, sobre los motores tradicionales de corriente continua o alterna, es la incorporación en los mismos, de un sistema de retroalimentación. Esta información puede ser utilizada para detectar un movimiento no deseado, o para garantizar la exactitud del movimiento ordenado. Un sistema de control de motor que responde a este diseño, es conocido como sistema de “Lazo Cerrado” (ClosedLoop). La retroalimentación es generalmente provista por un codificador de algún tipo.

Además; los servomotores, tienen un ciclo de vida más prolongado, que los típicos motores síncronos o asíncronos, a la hora de soportar el constante cambio de velocidad. Los servomotores también pueden actuar como un freno, por derivación de la electricidad generada, a partir del propio motor.

Es así que los servomotores están ganando un lugar de privilegio en muy diversos ámbitos de la industria, en los cuales se valora sus

¹⁹<http://robaq.blogspot.es/i2011-01/>

extraordinarios desempeños, cuando se busca implementar soluciones de automatización de gran confiabilidad. Se emplean en la potenciación de máquinas herramientas CNC, así como también en la automatización de plantas industriales y robóticas en general.



Figura 1.15: Servomotor.

Las características que presentan estos servomotores son:

- Diseño óptimo, prolijo y compacto, larga vida útil en el modo de trabajo nominal.
- Material magnético permanente de tierra rara de alta performance alta potencia, y gran capacidad de carga
- Inercia de motor acorde a la carga.
- Material aislante de nivel F para prolongar vida útil del motor.
- Componentes de realimentación importados, rodamientos de bajo ruido originales importados para reducir las vibraciones y el ruido.
- Sellado hermético completo y de alta confiabilidad para satisfacer las necesidades ambientales de la industria.
- Óptima correspondencia con el drive servo de CA para lograr una performance inmejorable.

1.9.3. Sensores²⁰.

Un sensor es un dispositivo diseñado para recibir información de una magnitud del exterior y transformarla en otra magnitud, normalmente eléctrica, fácil de cuantificar y manipular.

Normalmente estos dispositivos se encuentran realizados mediante la utilización de componentes pasivos (resistencias variables, PTC, NTC, LDR, etc... todos aquellos componentes que varían su magnitud en función de alguna variable), y la utilización de componentes activos.

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

- Sensores de proximidad.
- Sensores de contacto
- Sensores de posición angular.

a. Sensores de proximidad.

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:

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".

b. Sensor de contacto:

El sensor de contacto (figura 1.16), Limitswitch, son dispositivos eléctricos, neumáticos o mecánicos situados al final del recorrido de un elemento móvil, como por ejemplo una cinta transportadora, con el

²⁰http://www.profesormolina.com.ar/tecnologia/sens_transduct/que_es.htm

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 1.16: Sensor de contacto.

c. Sensores de posicionamiento angular (Encoder)²¹.

Un **encoder** es un codificador rotatorio, también llamado codificador del eje, suele ser un dispositivo electromecánico usado para convertir la posición angular de un eje a un código digital, lo que lo convierte en una clase de transductor.

Existen dos tipos de encoders: incrementales y absolutos.

Los **encoders incrementales** (figura 1.17), suelen tener un par de bandas de marcas transparentes y opacas repartidas a lo largo de un disco rotórico y separadas por un paso.

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

²¹http://www.fing.edu.uy/iimpi/academica/grado/instindustrial/teorico/080310-Sensores-parte_V.posici%C3%B3n.pdf

un sentido, y $\frac{3}{4}$ de período cuando gira en sentido contrario, lo cual se utiliza para discriminar el sentido de giro.

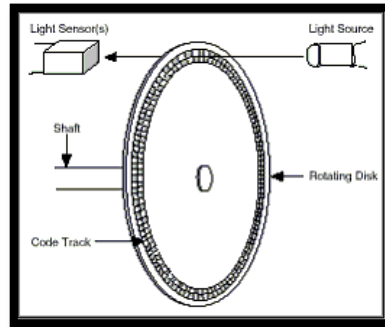


Figura 1.17: Encoder incremental.

Los **encoders absolutos** (figura 1.18), 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.

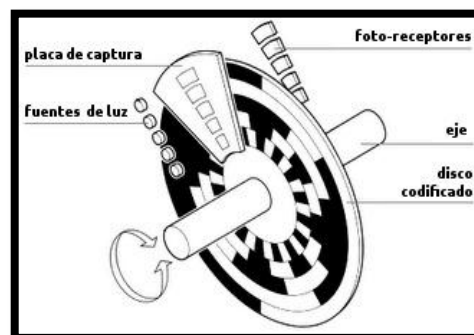


Figura 1.18: Encoder absoluto.

1.9.4. Variadores de frecuencia²².

El motor de corriente alterna, a pesar de ser un motor robusto, de poco mantenimiento, liviano e ideal para la mayoría de las aplicaciones industriales, tiene el inconveniente de ser un motor rígido en cuanto a su velocidad.

La velocidad del motor asíncrono depende de la forma constructiva del motor y de la frecuencia de alimentación. La velocidad de los motores asíncronos es constante, salvo que se varíe el número de polos, el resbalamiento o la frecuencia. El método más eficiente de controlar la velocidad de un motor eléctrico es por medio de un variador de frecuencia (figura 1.19)

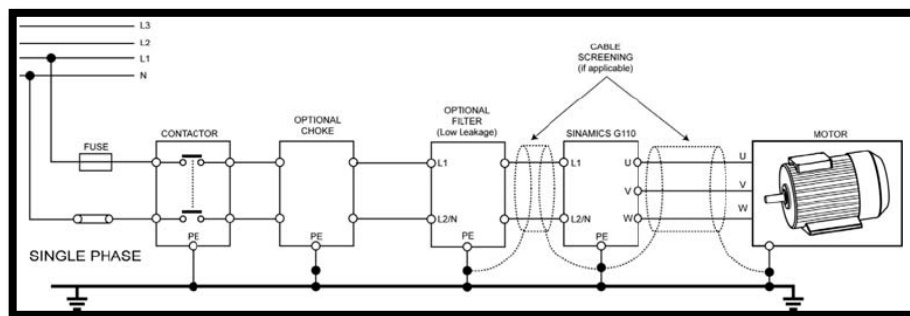


Figura 1.19: Variador de frecuencia.

El variador de frecuencia electrónico regula la frecuencia del voltaje aplicado al motor, logrando modificar su velocidad. Sin embargo, simultáneamente con el cambio de frecuencia, debe variarse el voltaje aplicado al motor para evitar la saturación del flujo magnético con una elevación de la corriente que dañaría el motor.

Componentes de un variador de frecuencia.

Los variadores de frecuencia están compuestos por:

²²http://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_frecuencia

- **Etapa Rectificadora.**-Convierte la tensión alterna en continua mediante rectificadores de diodos, tiristores, etc.
- **Etapa intermedia.**-Filtro para suavizar la tensión rectificada y reducir la emisión de armónicos.
- **Inversor.**- Convierte la tensión continua en otra de tensión y frecuencia variable mediante la generación de pulsos. Actualmente se emplean IGBT's (Isolatedgate Bipolar Transistors) para generar los pulsos controlados de tensión. Los equipos más modernos utilizan IGBT's inteligentes que incorporan un microprocesador con todas las protecciones por sobre corriente, sobre tensión, baja tensión, cortocircuitos, puestas a masa del motor, sobre temperaturas, etc.
- **Etapa de control.** Esta etapa controla los IGBT para generar los pulsos variables de tensión y frecuencia. Y además controla los parámetros externos en general, etc.

Los variadores más empleados utilizan modulación PWM (Modulación de Ancho de Pulsos) y usan en la etapa rectificadora puente de diodos rectificadores. En la etapa intermedia se usan condensadores y bobinas para disminuir las armónicas y mejorar el factor de potencia. Los fabricantes que utilizan bobinas en la línea en lugar del circuito intermedio, pero tienen la desventaja de ocupar más espacio y disminuir la eficiencia del variador.

El Inversor convierte la tensión continua de la etapa intermedia en una tensión de frecuencia y tensión variables. Los IGBT envían pulsos de duración variable y se obtiene una corriente casi senoidal en el motor.

La frecuencia portadora de los IGBT se encuentra entre 2 a 16kHz. Una portadora con alta frecuencia reduce el ruido acústico del motor pero disminuye el rendimiento del motor y la longitud permisible del cable hacia el motor. Por otra parte, los IGBT's generan mayor calor.

1.10 NORMAS DE SEGURIDAD PARA EL TRABAJO CON MÁQUINAS HERRAMIENTA²³.

1.10.1. Protección personal.

- Antes de hacer funcionar la máquina, el personal debe vestir: braga con mangas cortas, lentes, zapatos de seguridad.
- Los trabajadores deben utilizar anteojos de seguridad contra impactos (transparentes), sobre todo cuando se mecanizan metales duros, frágiles o quebradizos.
- 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.
- Es muy peligroso trabajar llevando anillos, relojes, pulseras, cadenas en el cuello, bufandas, corbatas o cualquier prenda que cuelgue.
- Así mismo es peligroso llevar cabellos largos y sueltos, deben recogerse bajo gorro o prenda similar. Lo mismo la barba larga.

1.10.2. Durante el torneado

- Para trabajar, la persona que vaya a tornear se situará de forma segura, lo más separado que pueda de las partes que giran. Las manos deben estar sobre los volantes del torno, y no sobre la bancada, el carro, el contrapunto ni el cabezal.
- Todas las operaciones de comprobación, ajuste, etc., deben realizarse con el torno completamente parado; especialmente las siguientes:
 - Sujeción de la pieza.
 - Cambio de la herramienta.

²³<http://www.achs.cl/portal/trabajadores/Capacitacion/Centro%20de%20Fichas/Documents/normas-de-trabajo-en-tornos.pdf>

- Medición o comprobación del acabado.
- Limpieza.
- Ajuste de protecciones o realización de reparaciones.
- No se debe frenar nunca el plato con la mano. Es peligroso llevar anillos o alianzas; ocurren muchos accidentes por esta causa.
- Para torneear entre puntos se utilizarán dispositivos de arrastre de seguridad. En caso contrario, se equiparán los dispositivos de arrastre corrientes con un aro de seguridad. Los dispositivos de arrastre no protegidos han causado numerosos accidentes, incluso mortales.
- Para limar en el torno, se sujetará la lima por el mango con la mano izquierda. La mano derecha sujetará la lima por la punta.
- Para medir, limar o esmerilar, la cuchilla deberá protegerse con un trapo o un capuchón de cuero. Así se evitan heridas en los brazos.

1.10.3. Seguridad y conservación del torno.

- El torno debe mantenerse en buen estado de conservación limpio y correctamente engrasado.
- Asimismo hay que cuidar el orden, limpieza y conservación de las herramientas, utillaje y accesorios; tener un sitio para cada cosa y cada cosa en su sitio.
- La zona de trabajo y las inmediaciones del torno deberán estar limpias y libres de obstáculos. Las manchas de aceite se eliminarán con serrín, que se depositará luego en un recipiente metálico con tapa. Los objetos caídos y desperdigados pueden provocar tropezones y resbalones peligrosos, por lo que deberán ser recogidos antes de que esto suceda.
- Se deben retirar las virutas con regularidad, sin esperar al final de la jornada, utilizando ganchos con cazoleta guardamanos para las virutas largas y cepillos o rastrillos para las virutas menudas.

- Las herramientas deben guardarse en un armario o lugar adecuado. No debe dejarse ninguna herramienta u objeto suelto sobre el torno. Las cuchillas se protegerán con capuchones de plástico o cuero.
- Eliminar las basuras, trapos o cotonos empapados en aceite o grasa, que pueden arder con facilidad, echándolos en contenedores adecuados. (metálicos y cerrados).
- Las averías de tipo eléctrico del torno, solamente pueden ser investigadas y reparadas por un electricista profesional; a la menor anomalía de este tipo desconecte la máquina, ponga un cartel de Máquina Averiada y avise al electricista.
- Las conducciones eléctricas deben estar protegidas contra cortes y daños producidos por las virutas y/o herramientas. Vigile este punto e informe a su inmediato superior de cualquier anomalía que observe.
- Durante las reparaciones coloque en el interruptor principal un cartel de No tocar Peligro Hombres trabajando. Si fuera posible, ponga un candado en el interruptor principal o quite los fusibles.

CAPÍTULO II

DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS MECÁNICOS DEL TORNO CNC

2.1 DISEÑO DEL TORNO CNC

En el laboratorio CNC de la ESPE Extensión Latacunga existe un torno paralelo convencional PINACHO SP-200R*1000 (figura 2.1), el cual fue adquirido para obtener una máquina herramienta que incorpore las funciones y movimientos de un torno convencional y CNC a la vez, ya que en nuestro medio se están implementando equipos sofisticados, con ciertas particularidades.



Figura 2.1: Torno PINACHO SP 200Rx1000

Con la ayuda del Software SolidWorks 2012, se empieza realizando el diseño mecánico del torno convencional PINACHO, que se ha decidido automatizar:

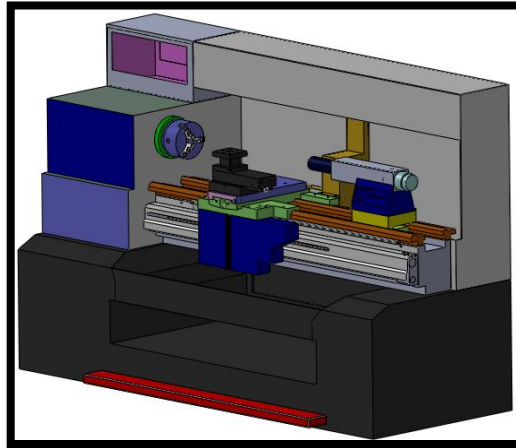


Figura 2.2: Estructura Inicial del Torno PINACHO SP 200Rx1000.

En la figura 2.2, se observa la estructura del torno convencional con sus sistemas de movimiento: transversal y longitudinal, en los que se basa el diseño mecánico, y debido a que el proyecto tiene como fundamento principal la conversión de un torno convencional a uno por control numérico computarizado, se aprovecha el buen rendimiento y eficiencia del torno por lo que se elaboraran mecanismos que permita elegir la opción de poder trabajar como un torno CNC o convencional.

El diseño mecánico del proyecto está basado en las necesidades del operario y las prestaciones que da el torno para trabajar en él para dicha automatización.

2.2 PARÁMETROS DE DISEÑO MECÁNICO.

Basándose en las especificaciones técnicas del torno Pinacho SP 200Rx1000, ver Anexo A; se toma los principales parámetros de diseño:

- Recorrido del eje X: 210mm.
- Recorrido del eje Z: 1000mm.
- Rendimiento Máquina: 0.84%
- Potencia de la máquina: $4\text{kw} * 0.84 = 3.36\text{Kw}$
- Avances longitudinales: 0.05-0.5mm

Las fuerzas de corte (F_c) del torno Pinacho²⁴, está dada por la figura 2.3.

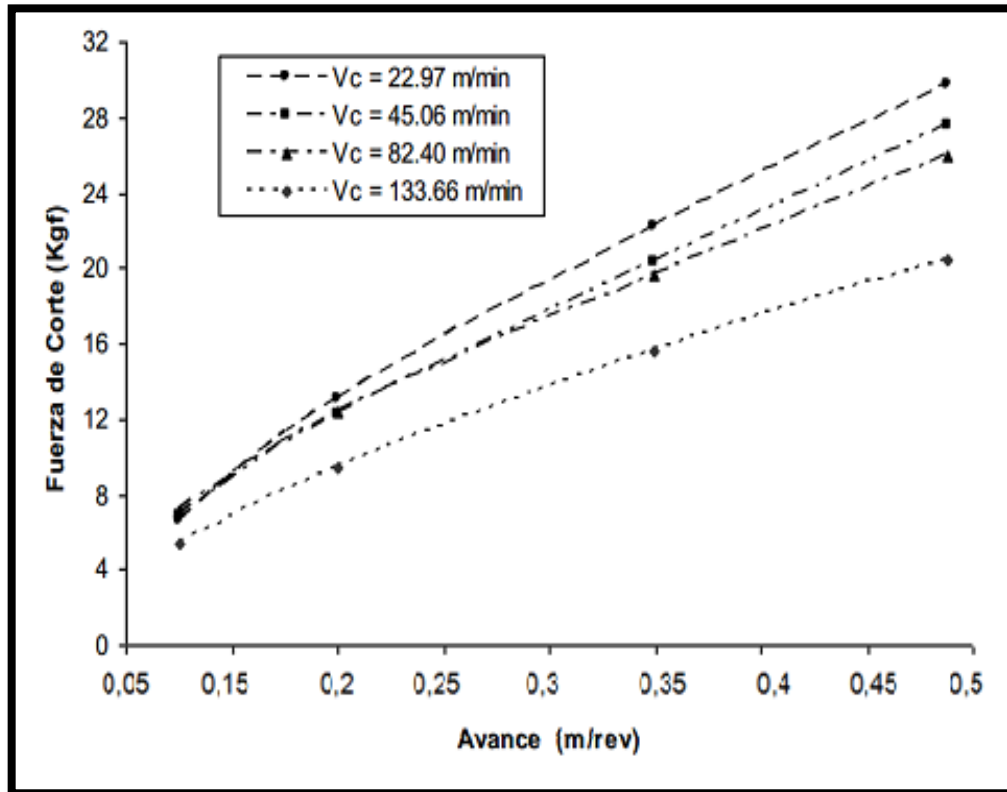


Figura 2.3: Gráfica de fuerza de corte.

Los materiales que se mecanizarán en el torno serán materiales utilizados en el mercado de la mecánica industrial, en la tabla 1.1 (ver sección 1.4.5) se detallan los valores de presión específica de corte (K_S).

El material de mayor dureza a mecanizar será el acero templado, por ello es importante conocer sus principales parámetros en la Sección 1.5.1, para realizar el análisis de: velocidad de corte, fuerza de corte, potencia de corte, profundidad y avance con los datos de este material.

²⁴ http://www.metosa-pinacho.com/catalogos/smart/pinacho_smart_turn_es.pdf

2.2.1. Comprobación de la potencia del motor del cabezal.

Se calcula fuerza de corte necesaria para realizar el diseño del torno, a partir de la ecuación 1.5; tomando en cuenta los parámetros detallados en la sección la Sección 1.5.1.

$$F_C = k_S * A_{corte} [N]$$

$$F_C = k_S * s * a [N]$$

Donde la presión específica de corte (k_S) es 225 N/mm², el avance de corte (f) es 0.5 mm, la profundidad de corte máxima (a) es 2mm

$$F_C = 225 * 0.5 * 2$$

$$F_C = 225 [N] \cong 23Kgf$$

Con este resultado se calcula la potencia absorbida en el trabajo de torneado (W) a partir de la siguiente ecuación:

La potencia de mecanizado²⁵, es:

$$P_M = \frac{V_C * F_C}{6,12 * 10^3 * \eta} \quad Ec. 2.1$$

Donde:

$\eta = Eficiencia\ mecánica = 0.84$, dato de placa del motor trifásico acoplado al cabezal del torno.

$$P_M = \frac{30m/min * 225N}{6,12 * 10^3 * 0.84}$$

$$P_C \cong 1,6 [kW]$$

La potencia del motor que demanda una operación de torneado depende la velocidad de corte y la resistencia del material, el cual se decidió mantener el motor AC MS 112 M-4 original del cabezal ya que este

²⁵http://www.haas.com.mx/descargas/Formulas_maquinado.pdf

patrocina un potencia superior a la necesaria, la cual es de 4KW; las características del motor se detallan en el ver Anexo B

2.2.2. Especificación del sistema mecánico de movimiento.

a. Sistema de movimiento para el eje X

Como se observa en la figura 2.4, el mecanismo de traslación del eje X el cual se conservó original del torno convencional, con la única variación del remplazo del tornillo transversal por un husillo de bolas el cual se explicara posteriormente en la sección 2.3.1

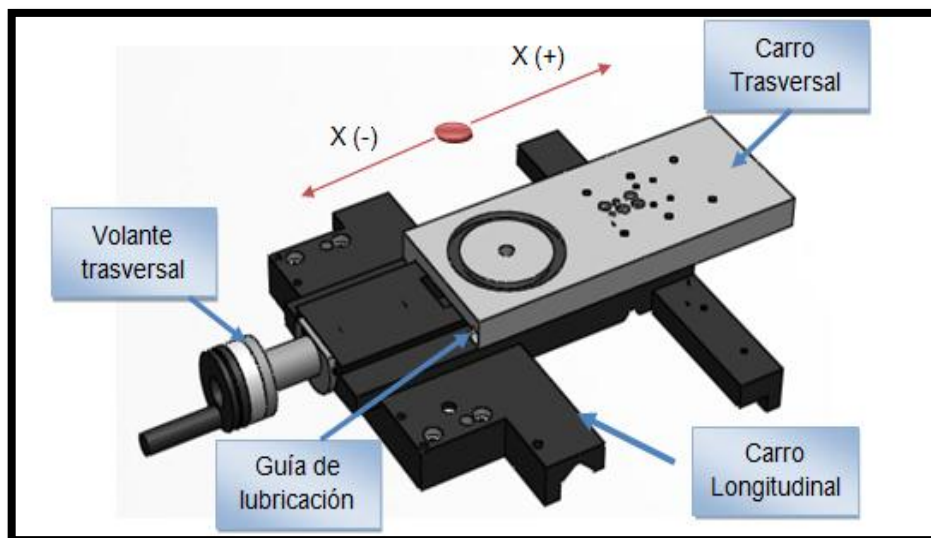


Figura 2.4: Mecanismo del carro transversal eje X

b. Sistema de movimiento para el eje Z

Con particular semejanza que el mecanismo de traslación transversal, en el eje Z también se mantiene el sistema de movimiento longitudinal original (figura 2.5), con la modificación del delantal del torno, debido a los cálculos posteriormente mostrados en la sección 2.3.2.

Todos los elementos van montados sobre la bancada principal, y el movimiento del torno se basa en el deslizamiento del carro principal que va montado sobre las guías prismáticas ubicadas en la bancada.

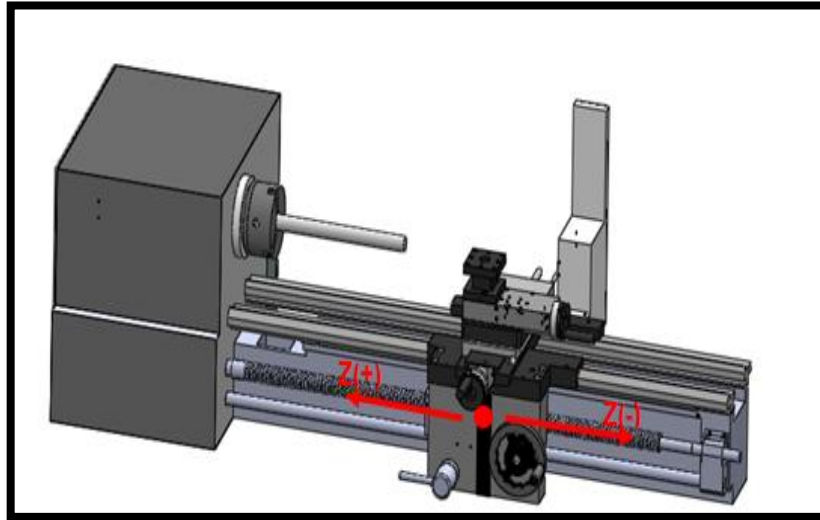


Figura 2.5: Sistema de movimiento para eje Z

2.2.3. Cálculo de cargas estáticas aplicadas a los ejes de movimiento.²⁶

a. Cálculo de cargas estáticas para el eje transversal.

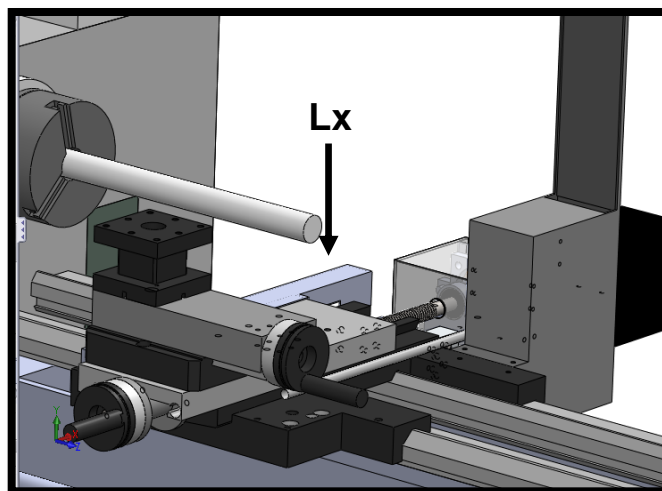


Figura 2.6: Fuerza resultante del peso de la estructura del eje X

Para este caso se tiene que:

$$L_x = W_x + F_c$$

²⁶<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3981/1/T-ESPEL-0105.pdf>

$L_x = F_{total\ sobre\ eje\ x} =$ Fuerza resultante de la sumatoria del peso de la carga externa para el eje X y la fuerza de corte.

$W_x =$ Carga externa para el eje X.

$F_c =$ Fuerza de corte

$$L_x = (m_{estructura} + m_{carga\ externa}) * g + F_c$$

$$L_x = (55,8kg + 10kg) * \left(9.8 \frac{m}{s^2}\right) + 225 N$$

$$L_x = 870.6 N$$

b. Cálculo de cargas estáticas para el eje longitudinal

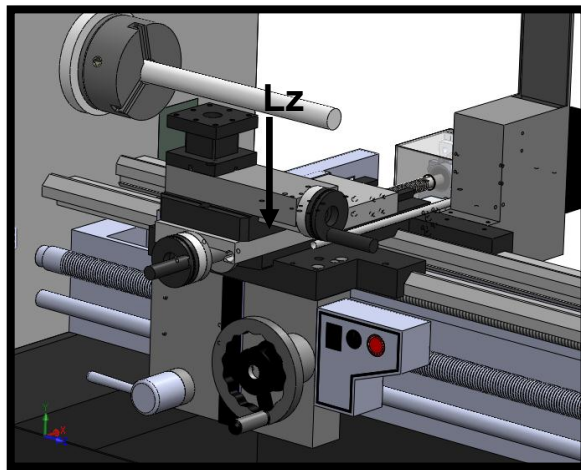


Figura 2.7: Fuerza resultante del peso de la estructura del eje Z

Para este se tiene:

$$F_{total\ x\ sobre\ z} = W_z + W_x + F_c$$

$L_z = F_{total\ x\ sobre\ z} =$ Fuerza resultante del peso de la estructura del eje X y la fuerza de corte, que actúa sobre el eje Z.

$W_x =$ Es el peso de la estructura del eje X y el servomotor montado sobre esta.

$W_z =$ Es el peso de la estructura actuantes en el desplazamiento del eje Z.

$$F_{total\ z} = (m_{estructura} + m_{servomotor} + m_{soporte}) * g + (m_{estructura}) * g + F_c$$

$$F_{total\ z} = (98.2 + 3\ kg + 2.6\ kg) * \left(\frac{9.8m}{s^2}\right) + (37kg) * \left(\frac{9.8m}{s^2}\right) + 225\ N$$

$$F_{total\ z} = 1684\ N$$

2.3 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN PARA EL MOVIMIENTO LINEAL DE EJES TRASVERSAL Y LOGITUDINAL

Se debe tomar en cuenta dos aspectos:

- Las guías para el movimiento lineal
- El mecanismo de transmisión de movimiento

2.3.1. Guías de movimiento lineal.

Como el torno convencional cuenta con guías prismáticas montadas en la bancada (figura 2.8), se conserva las mismas, por su correcto desempeño y debido a que no afecta en nada a la automatización.

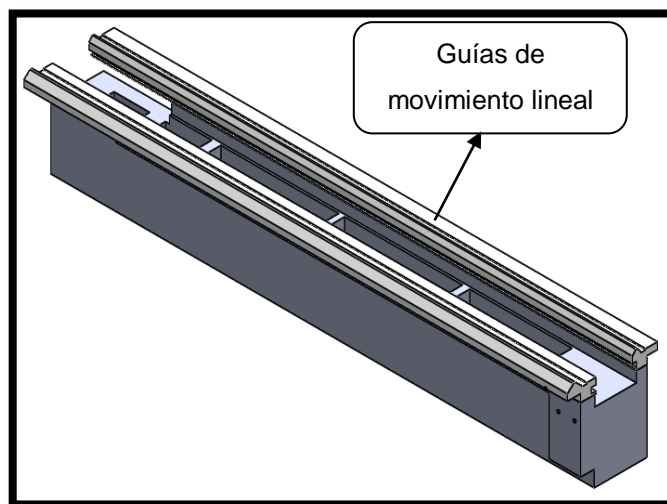


Figura 2.8: Guías prismáticas de movimiento lineal

2.3.2. Transmisión de movimiento

Para la transmisión de movimiento existen varios mecanismos entre los más comunes se encuentra²⁷:

- El **tornillo de bolas** es un componente transmisor de una fuerza mecánica mediante la transformación de un movimiento rotativo en uno rectilíneo. Garantiza una marcha suave, “**muy liviana y cero juego**”, mínimo rozamiento y aceptable velocidad de trabajo, controlada eficientemente con suma precisión, durante todos los desplazamientos, mas características ver sección 1.6
- El **piñón-cremallera** (figura 2.9), ofrece solidez y precisión en largos desplazamientos. Alternativa ideal para instalar en routers de robusta estructura, con puentes sobredimensionados para desplazar a régimen de velocidad de trabajo aceptable, en un sistema de transmisión a piñón-cremallera, la precisión es de **dos centésimas de milímetro**, menor si se la compara con la centésima de milímetro que ofrece el tornillo a bolas recirculantes

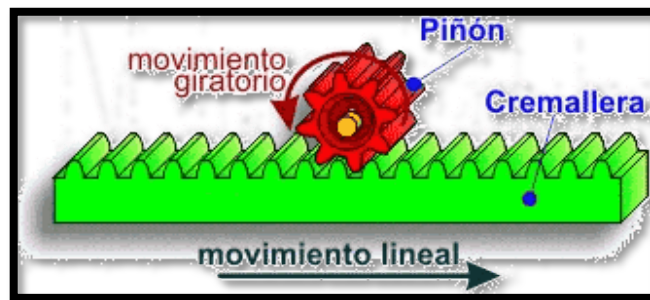


Figura 2.9: Mecanismo piñón - cremallera

Se optó por seleccionar el sistema de transmisión por tornillos de bolas, por ser el más adecuado para este proyecto, debido a las características antes mencionadas.

²⁷<http://www.revistalettreros.com/pdf/108-034a039.pdf>

2.4 CÁLCULO DE LOS HUSILLOS DE BOLAS.

2.4.1. Cálculo del husillo de bolas para el mecanismo del eje X.

Para el del husillo del eje X, se utiliza la fuerza calculada en la sección 2.2.2, $L_x = 870,6 \text{ N}$.

Si se considera un factor de seguridad²⁸ $N = 1,5$, 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.

Se calcula el esfuerzo de diseño con la ayuda de la ecuación:

$$\sigma_d = \frac{S_y}{N} \quad \text{Ec. 2.2}$$

$$\sigma_d = 276 \text{ MPa}/1,5$$

$$\sigma_d = 184 \text{ MPa}$$

En la fórmula de flexión, ecuación (2.2), se conoce $\sigma_A = \sigma_d = 184 \text{ MPa}$, a continuación se presenta el cálculo del momento mediante el software MDSolids, para luego poder obtener el valor del modulo de sección del husillo de bolas:

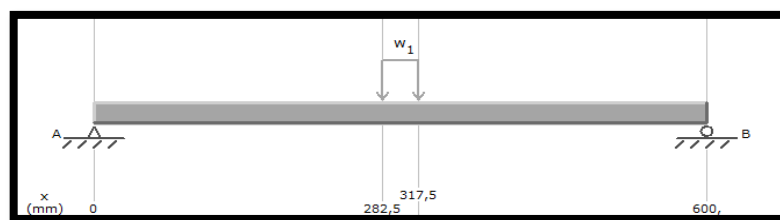


Figura 2.10: Diagrama de carga distribuida aplicada al husillo de bolas.

En la figura 2.10, se observa al husillo de bolas sometido a una carga distribuida de $25.14 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$ que se obtuvo de la siguiente ecuación:

²⁸MOTT Robert L., Diseño de Elementos de Máquinas, Prentice Hall, Cuarta Edición, página 185.

$$W = F/d \quad \text{Ec. 2.3}$$

$W =$ Carga distribuida a aplicar

$F =$ Fuerza total sobre en eje

$d =$ Distancia en la que actua la Fuerza(longitud de la tuerca)

$$W = \frac{870,6 \text{ N}}{37\text{mm}}$$

$$W = 23,53 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

A continuación se presenta los diagramas de fuerza cortante y de momento flexionante:

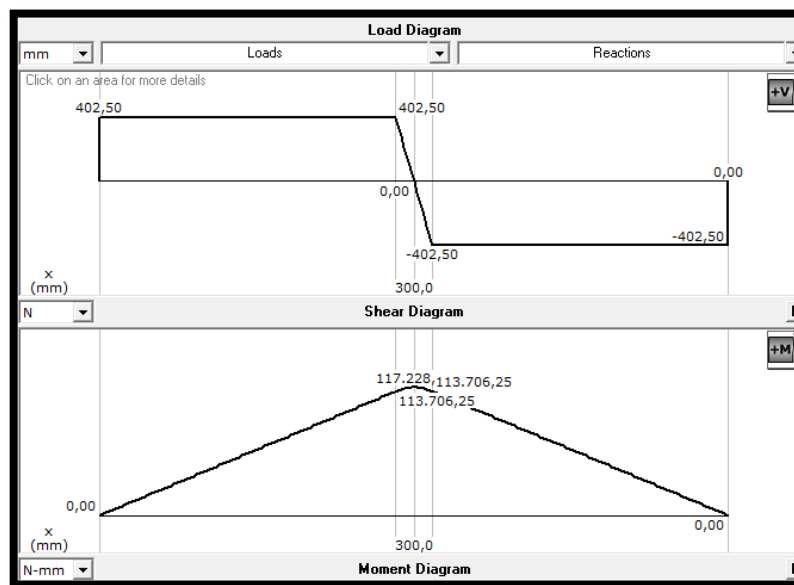


Figura 2.11: Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante del husillo de bolas

Con el análisis de fuerzas y el diagrama de momentos realizado en la figura 2.11 se tiene que $M = 117228 \text{ N-mm}$, por tanto el valor del módulo de la sección transversal está dado por:

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

$$S = M/\sigma_A$$

$$S = 117228 \text{ Nmm}/184\text{MPa}$$

$$S \cong 716 \text{ mm}^3$$

El diámetro del husillo de bolas debe ser:

$$D = \sqrt[3]{\frac{32S}{\pi}} \quad \text{Ec. 2.5}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{32(1274,21\text{mm}^3)}{\pi}}$$

$$D \cong 20\text{mm}$$

De esta forma se seleccionó el husillo de bolas para el eje X es de un diámetro de 20 mm, con un paso de 5 mm, de material de acero plata (K510 de Aceros Bohler), ver figura 2.12

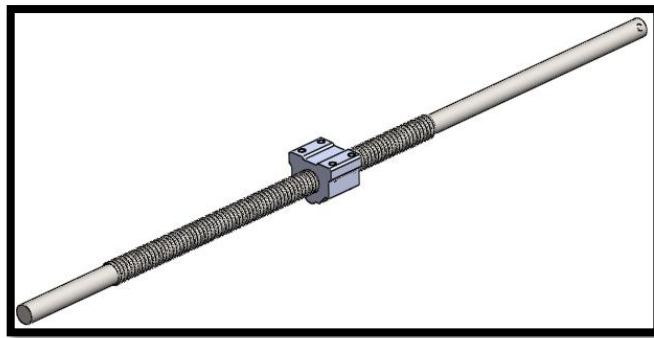


Figura 2.12: Husillo de bolas y la tuerca para eje X

2.4.2. Cálculo del husillo de bolas para el mecanismo del eje Z.

Para el del husillo del eje Z, se utiliza la fuerza calculada en la sección 2.2.2, $L_z = 1684 \text{ N}$

Si se considera un factor de seguridad $N=1.5$, y una resistencia a la fluencia $S_y = 276MPa$. Se Calcula el esfuerzo de diseño con la ayuda de la ecuación (2.2):

$$\sigma_d = S_y/N$$

$$\sigma_d = 276 MPa/1.5$$

$$\sigma_d = 184 MPa$$

En la fórmula de flexión, ecuación (2.1), se conoce $\sigma_A = \sigma_d = 184MPa$, a continuación se presenta el cálculo del momento mediante el software MDSolids, para luego poder obtener el valor del modulo de sección del husillo de bolas:

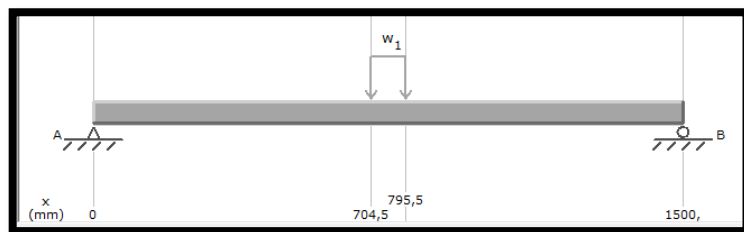


Figura 2.13: Diagrama de carga distribuida aplicada al husillo de bolas.

En la figura 2.13, se observa el husillo de bolas sometido a una carga distribuida de $20 \frac{N}{mm}$, que se obtuvo de la siguiente ecuación 2.3:

$$W = \frac{F}{d}$$

$$W = \frac{1684 N}{83mm}$$

$$W = 20 \frac{N}{mm}$$

A continuación se presenta los diagramas de fuerza cortante y de momento flexionante:

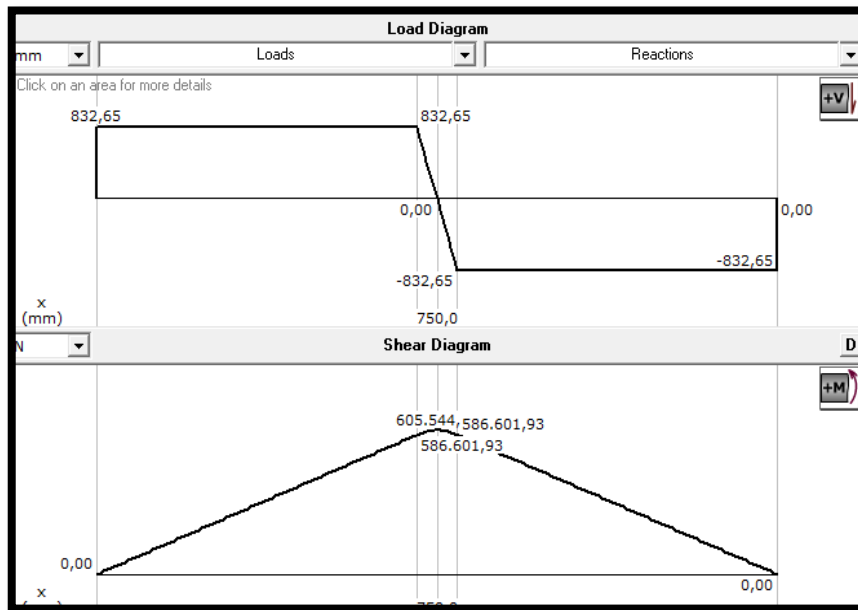


Figura 2.14: Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante del husillo de bolas

Con el análisis de fuerzas y el diagrama de momentos realizado en la figura 2.14, se tiene que $M = 605544 \text{ N}\cdot\text{mm}$, por tanto el valor del módulo de la sección transversal está dado por la ecuación 2.4:

$$\sigma_A = M/S$$

$$S = M/\sigma_A$$

$$S = 607544 \text{ Nmm}/184 \text{ MPa}$$

$$S \cong 3305 \text{ mm}^3$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{32(3305\text{mm}^3)}{\pi}}$$

$$D = 34 \text{ mm}$$

Debido que no existe en el mercado husillo de bolas del diámetro calculado, se seleccionó el husillo de bolas inmediato superior que es de

diámetro de 40 mm, con un paso de 10 mm, de material de acero plata (K510 de Aceros Bohler), ver figura 2.15

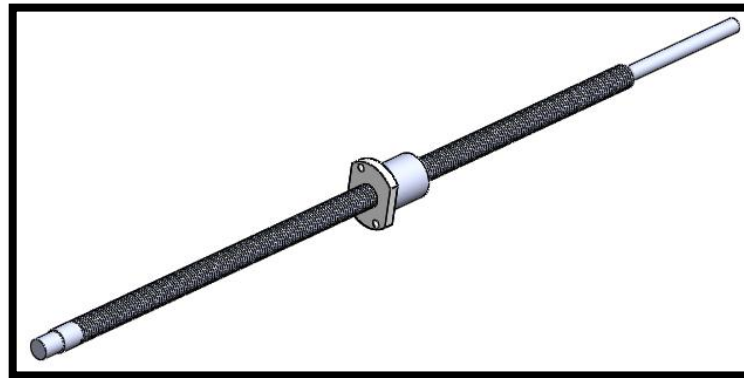


Figura 2.15: Husillo de bolas y la tuerca para eje Z

2.5 SELECCIÓN DEL HUSILLO DE BOLAS Y TUERCAS PARA LOS EJES X, Z.

Existen diferentes empresas que fabrican husillos de bolas con diámetros y pasos estándar, como por ejemplo: SKF, Atlanta, ISEL, LTK, THK, etc.

Tabla 2.1. Características estándar de selección de los husillos de bolas.

Requerimientos	SKF	THK
Diámetros requeridos	SI	SI
Tipo de tuerca requerida	SI	NO
Juego cero	SI	SI
Alta rigidez sin retroceso	SI	SI
Garantía de alta precisión	SI	SI

Los husillos de bolas para los ejes X y Z se eligen de la casa comercial ubicada en USA llamada SKF, por cumplir con todos los requerimientos para este proyecto (Hoja de Datos SKF, PDF).

En la tabla que se indica en el Anexo D se selecciona los husillos de bolas de 20mm de diámetro nominal con un paso de 5mm para el eje X y un

husillo de bolas de 40mm de diámetro nominal con un paso de 10mm para los ejes Z.

2.6 CÁLCULO DEL TORQUE PARA LAS ESTRUCTURAS²⁹.

Para el cálculo del par necesario, se especifica los datos técnicos de los husillos, como también fuerzas aplicadas como nos indica las empresas KORTA, SKF, empresas dedicadas al diseño y construcción de husillos de bolas, ver figura 2.16

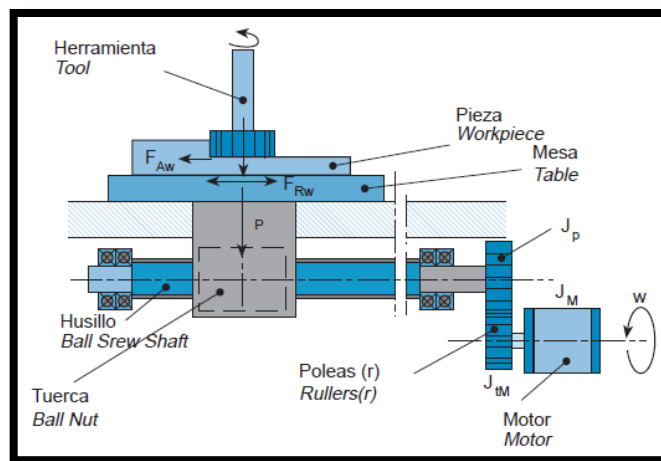


Figura 2.16: Fuerzas e inercias de la mesa de mecanizado.

Los parámetros de diseño que se necesitan especificar previo al cálculo de cada uno de los ejes son:

- d_ϕ = Diámetro del husillo de bolas
- ph = Paso del husillo
- L = longitud del husillo
- p = Densidad del material del husillo de bolas
- $F_L = F_C$
- F_V = Peso aplicado al eje
- F_p = Fuerza perpendicular

²⁹Korta. Catalogo técnico husillo a bolas. Cálculos de diseño. Par e inercia. Pag58.

2.6.1. Cálculo del torque para las estructuras de los ejes X.

Los parámetros de diseño para el eje "x" son:

- $d_{\phi} = 20mm = 0.02m$
- $ph = 10mm$
- $L = 600mm = 0.6m$
- $p = 7700 \text{ kg/m}^2$
- $F_L = F_C = 225[N]$
- $F_V = Lx = 362.6[N]$
- $F_P = 225[N]$

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

$$T_{tot} = r * T_E + T_D [N - m] \quad \text{Ec. 2.6}$$

Dónde: $T_E = \text{Par Estático } [N - m]$

$T_D = \text{Par Dinámico } [N - m]$

$r = \text{Relación de Poleas}$

El torque estático (T_E) viene dado por la siguiente ecuación:

$$T_E = T_{pr} + T_L + T_{rod} \quad \text{Ec. 2.7}$$

Dónde: $T_{pr} = 0$ (Par de precarga entre husillos de bolas y tuerca)

$T_L = \text{Par que deberá soportar el motor debido a la carga.}$

$T_{rod} = 0.08N\cdot m$ (Par de fricción rodamientos de apoyo; ver Anexo D)

El Par que soporta el motor T_L , está dado por:

$$T_L = \frac{F_A * P_h * 10^{-3}}{2\pi * n_p} \quad \text{Ec. 2.8}$$

Dónde: 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:

$$F_A = F_L + u_s(F_V + F_P) \quad \text{Ec. 2.9}$$

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

$F_V = L_x$ = 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 aluminio sobre bases de aluminio).³⁰

$$F_A = 225 [N] + 0.3[362,6 N + 225N]$$

$$F_A = 402 [N]$$

La eficiencia teórica viene dada por la siguiente ecuación:

$$n = \frac{1}{1 + \frac{\pi d \phi}{P_h} * u_c} \quad \text{Ec. 2.10}$$

Dónde:

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

³⁰http://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html

$$n = \frac{1}{1 + \frac{\pi(20)}{5} * 0.006} = 0.92$$

Para encontrar la eficiencia práctica n_p se emplea la ecuación:

$$n_p = n * 0.9 \quad \text{Ec. 2.11}$$

$$n_p = 0.92 * 0.9 = 0.828$$

Con estos valores se calcula el valor de T_L , con la Ecuación 2.10:

$$T_L = \frac{(402 [N])(5 \text{ mm}) 10^{-3}}{2\pi(0.828)} = 0,4 [N - m]$$

Con los valores obtenidos se calcula el torque estático T_E , con la Ecuación 2.8:

$$T_E = 0.4[N - m] + 0 + 0.08[N - m]$$

$$T_E = 0.48[N - m] \cong 0.5[N - m]$$

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

$$T_D = \bar{\omega} * J_S \quad \text{Ec. 2.12}$$

Donde:

T_D = Torque Dinámico

$\bar{\omega}$ = 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:

$$J_S = J_{MOTOR} + r^2(J_{HUSILLO} + J_{REDUCTOR} + J_{MESA}) \quad \text{Ec. 2.13}$$

La inercia del husillo de bolas se obtiene por:

$$J_{HUSILLO} = (\pi * L * \rho * d^4) \div 32 \quad \text{Ec. 2.14}$$

Donde: L = Longitud del husillo de bolas (0.6m)

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

d = Diámetro del husillo de bolas (0.02m)

$$J_{husillo} = (\pi * 0.6[m] * 7700[kg/m^3] * 0.02^4[m]) \div 32$$

$$J_{husillo} = 7,26 \times 10^{-5} [Kg - m^2]$$

La inercia de la mesa viene dada por:

$$J_{MESA} = \frac{m \left(\frac{P_h}{2\pi}\right)^2 * 10^{-6}}{n_p} \quad \text{Ec. 2.15}$$

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

$$J_{mesa} = \frac{1,5kg * \left(\frac{5mm}{2\pi}\right)^2 * 10^{-6}}{0.82}$$

$$J_{mesa} = 1,15 \times 10^{-6} [Kg - m^2]$$

La inercia del motor se opta por seleccionar una inercia promedio de servomotores aplicados a máquinas CNC, $J_{motor} = 0.83 \times 10^{-4} [Kg - m^2]$

Se calcula la inercia total J_S , de la estructura con la ecuación 2.13:

$$J_S = 0.83 \times 10^{-4} + 1 * (7,26 \times 10^{-5} + 1,15 \times 10^{-6} + 0) [Kg - m^2]$$

$$J_S = 1.56 \times 10^{-4} [Kg - m^2]$$

El torque dinámico (T_D) se obtiene con la ecuación 2.12:

$$T_D = \left(9100 \frac{rad}{seg^2}\right) \left(1.56 \times 10^{-4} \frac{Kg}{m^2}\right) = 1,3 [N - m]$$

El par total que deberá proporcionar el motor que acciona el husillo de bolas es:

$$T_{tot} = 1 * (0.5[N - m] + 1.3)[N - m]$$

$$T_{tot} = 1.8[N - m]$$

Con este torque obtenido se puede seleccionar los motores para mover las estructuras del eje X.

$$P = \frac{F_A * n * Ph}{6000 * n_p} \quad Ec. 2.16$$

Donde: $n = RPM$ promedio de servomotores

$$P = \frac{402 [N - m] * 2500 * 5}{6000 * 0.83}$$

$$P = 1022.5 \text{ Watt} \cong 0.15 \text{ Kwatt}$$

Aplicando un factor de servicio ³¹ N=1.5, se obtiene:

$$P_{MOTOR} = P_{tot} * N \quad Ec. 2.17$$

$$P_{MOTOR} = 0.15 \text{ Kwatt} * 1.5 \cong \mathbf{0.25KW}$$

2.6.2. Cálculo del torque para la estructura del eje Z.

Para el sistema de movimiento en el eje Z, queda de la siguiente manera:

- $d_\phi = 40mm = 0.04m$
- $ph = 10mm$
- $L = 1500mm = 1.5m$
- $p = 7700 \text{ kg/m}^2$
- $F_L = F_C = 225[N]$

³¹<http://www.mty.itesm.mx/etie/deptos/ie/profesores/allamas/cursos/ueee/motores/selecci%F3n.PDF>

- $F_V = LZ = 1684[N]$
- $F_P = 225[N]$

Se debe encontrar el valor de la carga axial F_A , con la ecuación 2.9:

$$F_A = F_L + \mu_s(F_V + F_P)$$

$$F_A = 225 N + 0.3[1684 N + 225N]$$

$$F_A \cong 800[N]$$

La eficiencia teórica n , viene dada por la ecuación 2.10:

$$n = \frac{1}{1 + \frac{\pi d \phi}{P_h} * u_c}$$

$$n = \frac{1}{1 + \frac{\pi \cdot 40mm}{10mm} * 0.006}$$

$$n = 0.93$$

Para encontrar la eficiencia práctica n_p , se emplea la ecuación 2.11:

$$n_p = n * 0.9$$

$$n_p = 0.93 * 0.9 = 0.837$$

Con estos valores se calcula el valor de T_L con la ecuación 2.8:

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

$$T_L = \frac{800 [N](10 mm) 10^{-3}}{2\pi(0.837)} \cong 1.6[N - m]$$

Con los valores obtenidos se calcula el torque estático T_E con la ecuación 2.7, el torque de precarga T_{rod} , está expresado en el Anexo D

$$T_E = T_L + T_{pre} + T_{rod}$$

$$T_E = 1.6[N - m] + 0.64[N - m]$$

$$T_E \cong 2,3[N - m]$$

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

$$J_S = J_{MOTOR} + r^2(J_{HUSILLO} + J_{REDUCTOR} + J_{MESA})$$

La inercia del husillo de bolas se obtiene por:

$$J_{husillo} = (\pi * L * \rho * d^4) \div 32$$

$$J_{husillo} = (\pi * 1,5[m] * 7700[kg/m^3] * 0.04^4[m]) \div 32$$

$$J_{husillo} = 2,9 \times 10^{-3}[Kg - m^2]$$

La inercia de la mesa:

$$J_{mesa} = \frac{m \left(\frac{P_h}{2\pi}\right)^2 * 10^{-6}}{n_p}$$

$$J_{mesa} = \frac{15kg * \left(\frac{10mm}{2\pi}\right)^2 * 10^{-6}}{0.84}$$

$$J_{mesa} = 1,79 \times 10^{-5}[Kg - m^2]$$

La inercia del motor se obtiene de la hoja de datos del mismo (80SJT-M024C, ver sección 2.5)

$$J_{motor} = 0.83 \times 10^{-4}[Kg - m^2]$$

Se calcula la inercia total J_S , de la estructura con la ecuación 2.13:

$$J_S = 0.83 \times 10^{-4} + 1 * (2.9 \times 10^{-3} + 1,79 \times 10^{-5}) [Kg - m^2]$$

$$J_s = 3 \times 10^{-3} [Kg - m^2]$$

El torque dinámico (T_D) se obtiene con la ecuación 2.12:

$$T_D = \left(9100 \frac{rad}{seg^2} \right) (3 \times 10^{-3} [Kg - m^2]) = 27.3 [N - m]$$

El par total que deberá proporcionar el motor que acciona el husillo de bolas es:

$$T_{tot} = 1 * (2.3 [N - m] + 27.3) [N - m]$$

$$T_{tot} \cong 30 [N - m]$$

Con este torque obtenido se puede seleccionar los motores para mover las estructuras del eje Z.

$$P = \frac{F_A * n * Ph}{6000 * n_p}$$

Donde: $n = RPM$ promedio de servomotores

$$P = \frac{800 [N - m] * 2500 * 10}{6000 * 0.83}$$

$$P = 4016 Watt \cong 0.5 Kwatt$$

Aplicando un factor de servicio $N=1.5$ se obtiene:

$$P_{MOTOR} = P_{tot} * N = 0.5 Kwatt * 1.5 \cong 0,75 Kwatt.$$

2.7 SELECCIÓN DE MOTORES PARA LOS EJES X, Z

En el mercado internacional existen diversos tipos de motores, pero para la implementación se trabajó con **Sistemas de Servomotores AC** (servomotor + drive de control), debido que estos se emplean en la potenciación de máquinas herramientas CNC, por las siguientes características:

- Los motores tradicionales empleados en una máquina CNC son servomotores AC.
- Brindan una salida precisa y exacta en función del tiempo. Dicha salida esta expresada habitualmente en términos de posición, velocidad y/o torque,
- Incorporan en los mismos un sistema de retroalimentación
- Tienen un ciclo de vida más prolongado, que los típicos motores síncronos o asíncronos, a la hora de soportar el constante cambio de velocidad.

Refiriéndose a lo que son servomotores en el mercado internacional existen diversas marcas entre las que se encuentra: SIEMENS, GSK, BRUSHLESS, MITSUBISHI, FAGOR, LENZE, TECO, SHANGHAI, MS MOTOR, entre muchas más.

Tabla 2.2. Características estándar de selección servomotores.

	GSK³² 80SJT-M024C	MITSUBISHI³³ HG-SR 520 B
Potencia nominal (KW)	0.5	0.5
Pares de polos	4	4
La unidad de control de tensión de entrada (V)	3-fase (o fase) de CA 220V	3-fase de CA 220V
Corriente nominal (A)	3	4.5
Cero par (N-m)	2.4	2.4
Par nominal (N-m)	2.4	2.4
Max. esfuerzo de torsión (N · m)	7.2	7.5

³²<http://www.cncmakers.com/uploads/soft/100929/SJT%20AC%20Servo%20Motor.pdf>

³³http://www.mitsubishielectric.com/fa/products/drv/servo/items/mr_j4/index.html

Velocidad nominal(RPM)	2000	2000
Max. acelerar (RPM)	2500	3000
Momento de inercia(kg.m²)	0,83 x 10 ⁻⁴	0,8 x 10 ⁻⁴
Peso (kg)	2.8	4.8
Aislamiento de grado	F	F
Grado de protección	IP65	IP65
Modo de trabajo	S1 (continuo)	Continuo
Codificador incrustado	Incremental 2500 p / r (configuración estándar)	22-bit encoder incremental de (resolución por revolución servomotor: 4194304 p / rev)
Freno	Ninguno	Ninguno

Se eligió los servomotores de marca **GSK**, debido a su bajo costo a comparación con la de otras marcas, así como también que se pudo encontrar en el mercado ,y por último que además de cumplir las características ya mencionadas de los servomotores, estos brindan conjuntamente una óptima correspondencia con el drive servo de CA para lograr una performance inmejorable.

Para el eje Z se debió implementar una caja reductora para el aumento del torque del servomotor, que se explica posteriormente.

En el Anexo E se detallan más características de los servomotores GSK 80SJT-M024C

2.8 SELECCIÓN DE LOS ACOPLER FLEXIBLES

Un acople flexible se aplica para conectar el eje del motor con el husillo de bolas en cada eje, debe cumplir con la condición principal de transmitir eficientemente la potencia total sin pérdidas, así como absorber la vibración y amortiguar las cargas de impacto.

Para la selección del acople flexible es necesario saber el torque que puede soportar, para esto se aplica la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{\text{Pot. Motor} * 63025 * f_s}{n_{(RPM)}} \quad \text{Ec. 2.18}$$

Donde:

$f_s = \text{Factor de seguridad}$

$n_{(RPM)} = \text{Numero de revoluciones del Motor}$

63025 = Constante de transformación

Tabla 2.3. Características de selección acoples flexibles.

	LOVEJOY ³⁴	SPRING-FLEX ³⁵
Diseño requerido	SI	NO
Capacidad de torque	Cumple	Cumple

2.8.1. Selección del acople flexible para el eje X.

Para el caso del eje X, se emplea los siguientes valores a la ecuación 2.18..

$$\sigma = \frac{0.5 \text{ KW} * 63025 * 1.5}{2500}$$

$$\sigma = 18.9 \text{ [lb - in]}$$

³⁴<http://www.lovejoy-inc.com/products/jaw-type-couplings/l-type.aspx>

³⁵<http://www.disai.net/public/images/catalogos/doc/HOHNER/Acoplamiento.pdf>

Por lo que se a seleccionado el acople flexible de la serie L-070 (figura 2.17), de la empresa Lovejoy, ver Anexo F.

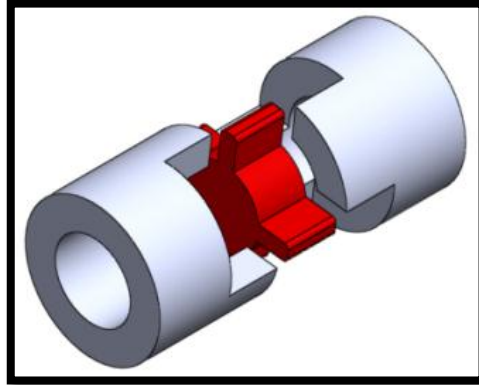


Figura 2.17: Acople flexible de mordazas L-70

2.8.2. Selección del acople flexible para el eje Z.

Para el caso del eje Z, se tiene los siguientes valores para la ecuación 2.18.

$$\sigma = \frac{1.2 \text{ KW} * 63025 * 1.5}{2500}$$

$$\sigma = 45.73 \text{ [in - lb]}$$

Por lo que se a seleccionado el acople flexible de la serie L-075 (figura 2.18), de la empresa Lovejoy, ver Anexo F

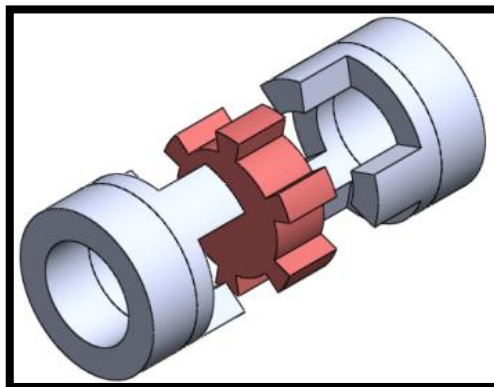


Figura 2.18: Acople flexible de mordazas L-75

2.9 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRASMISIÓN AUTOMÁTICO/MANUAL

Por tratarse de ser un proyecto único en el mercado, los diseños de cada uno de los elementos de adaptación se basan en el criterio, necesidades y prestaciones que brinda el torno para su conversión.

2.9.1. Diseño del mecanismo para el trabajo en modo CNC del eje X

Debido a que se debe adaptar el servomotor el cual será el encargado de dar movimiento al eje transversal, se vio en la necesidad de diseñar un soporte en el cual se ubique dicho motor junto a los mecanismos adecuados para su desempeño.

a. Diseño y construcción del soporte para el servomotor.

El diseño más adecuado que se obtuvo se observa en la figura 2.19:

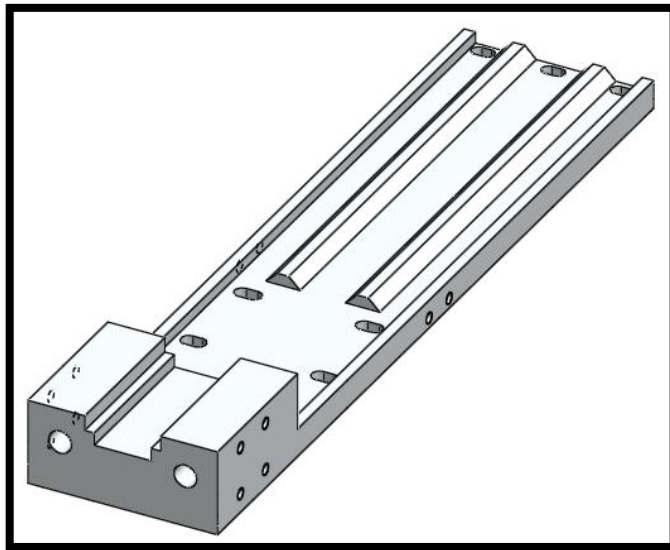


Figura 2.19: Soporte del servomotor para el eje X.

A continuación se presenta el análisis de fuerzas para el soporte del servomotor:

Para el diseño del soporte del servomotor, se especifica el material, para lo cual se seleccionó aluminio 6020 con una resistencia a la fluencia

$S_y = 90\text{MPa}$ ³⁶ , además este tipo de aluminio se lo puede encontrar fácilmente en el país debido a su amplia comercialización.

Con la ayuda del software SolidWorks, se realiza el análisis de fuerzas y deformaciones a la que se encuentra sometido el soporte, la fuerza a la cual va a estar sometido el soporte, la fuerza aplicada será de 50N, que se deduce de la siguiente manera:

$$W_t = (m_{motor} + m_{soporte} + m_{externa})kg * 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$W_t = (2.1 + 2 + 1)kg * 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$W_t = 50 N$$

El factor de seguridad obtenido de nuestro soporte con la aplicación de un $W_t = 50 N$ antes calculado es de 3 (figura 2.20), un FDS muy aceptado en el diseño de máquinas, por lo que se concluye que no habrá ningún inconveniente con dicho elemento en su trabajo diario.

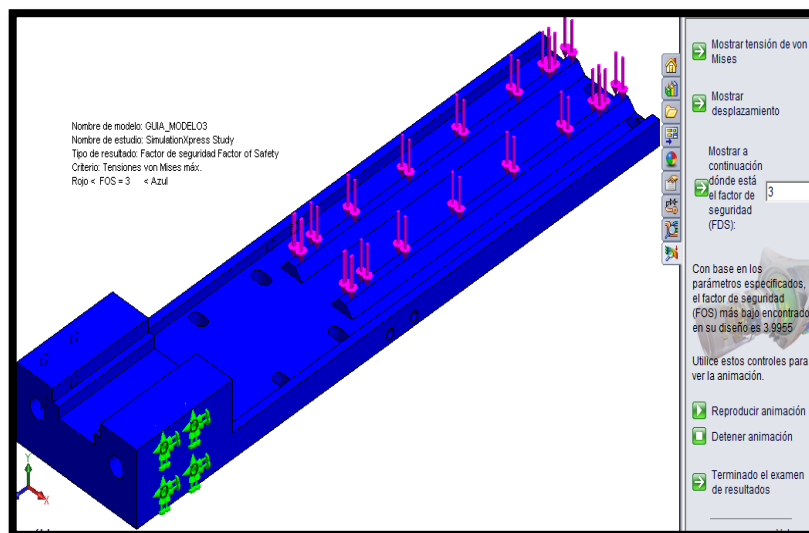


Figura 2.20: Análisis de fuerza del soporte del servomotor para eje X.

³⁶MOTT Robert L., Diseño de Elementos de Máquinas, Prentice Hall, Cuarta Edición, página A-15.

Si se considera un factor de seguridad³ $N = 1.5$, el esfuerzo de diseño máximo es:

$$\sigma' < \sigma_d = \frac{S_y}{N} \quad \text{Ec. 2.20}$$

$$\sigma_d = 90\text{MPa}/1.5 = 60\text{MPa}$$

En la figura 2.21 se muestra el análisis la carga distribuida aplicada a la estructura.

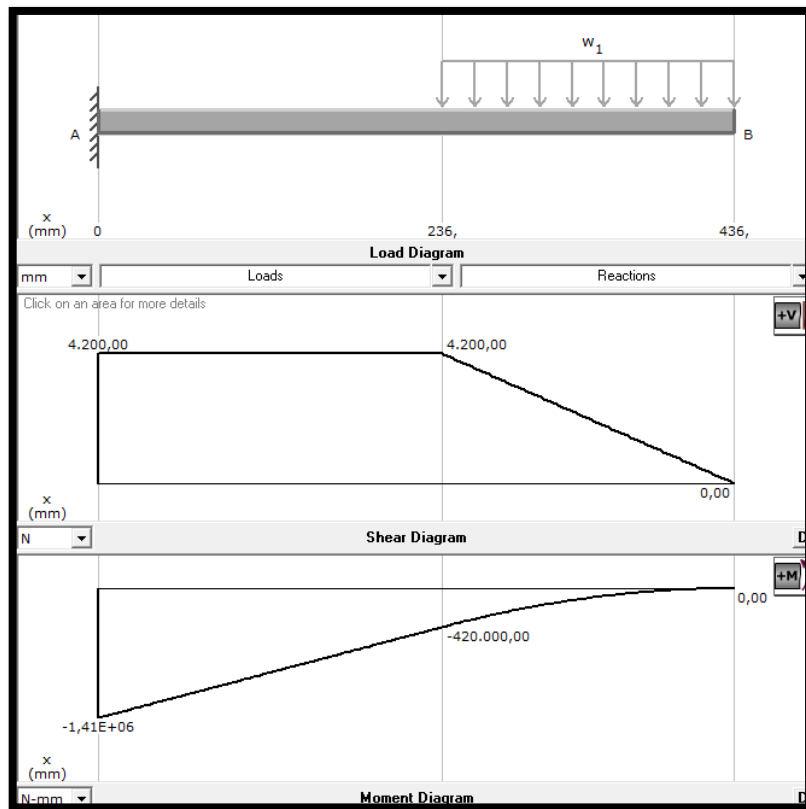


Figura 2.21: Diagrama de cuerpo libre, fuerzas y momentos para el soporte para el servomotor

A continuación se presenta el estudio de tensiones en SolidWorks:

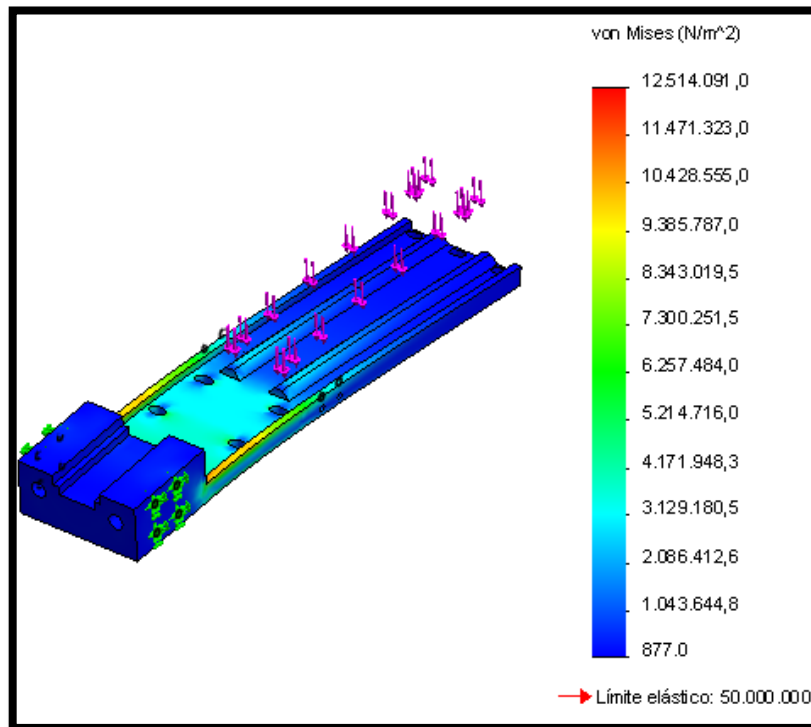


Figura 2.22: Escala de tensiones según el criterio de Von Mises.

En la figura 2.22, se observa la escala de Von Mises, donde el esfuerzo máximo es de 12.51MPa y el esfuerzo de diseño es igual a 60MPa cumpliendo con la ecuación 2.2:

$$\sigma' < \sigma_d$$

$$12,51 \text{ MPa} < 60 \text{ MPa}$$

Las dimensiones del soporte del servomotor se detallan en el Anexo C-3

b. Diseño y construcción de bocines para deslizamiento.

Para el deslizamiento se construyó bocines de desplazamiento las mismas que son de bronce fosfórico para aprovechar sus propiedades de deslizamiento y resistencia de desgaste a la corrosión.

En la figura 2.23 se muestran las guías de bronce fosfórico.

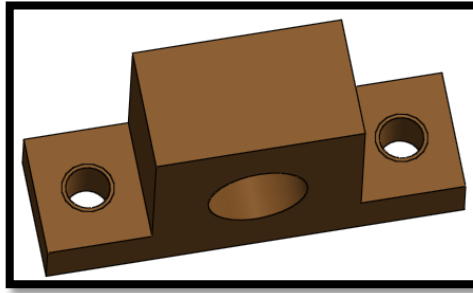


Figura 2.23: Guías de bronce fosfórico

Las dimensiones de las bocines de deslizamiento se detallan en el Anexo C-13

c. Diseño y construcción de bases de desplazamiento del servomotor.

Las bases de desplazamiento son de aluminio puesto que es un metal muy ligero y aprovechando también la resistencia de desgaste a la corrosión, el diseño se basa según a las necesidades de las mismas en este proyecto.

En la figura 2.24 se muestran los carros tanto frontal como trasero del servomotor en aluminio.

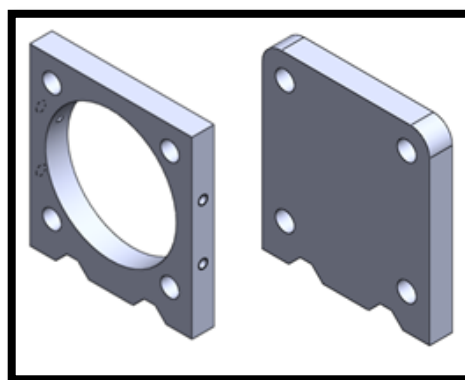


Figura 2.24: Carro de desplazamiento del servomotor

Las dimensiones de las bases de desplazamiento y bases de fijación se detallan en los Anexos C-11 y C-12.

d. Mecanismo de embrague para el eje x.

El mecanismo de embrague para el eje X se basa en la separación de los acople flexibles ajustado al eje del servomotor X con el del ajustado al husillo de bolas (figura 2.25), mediante la aplicación de una fuerza externa en la palanca de separación, las guías especificadas en la sección 2.7.1, son las encargadas de la precisión en el movimiento.

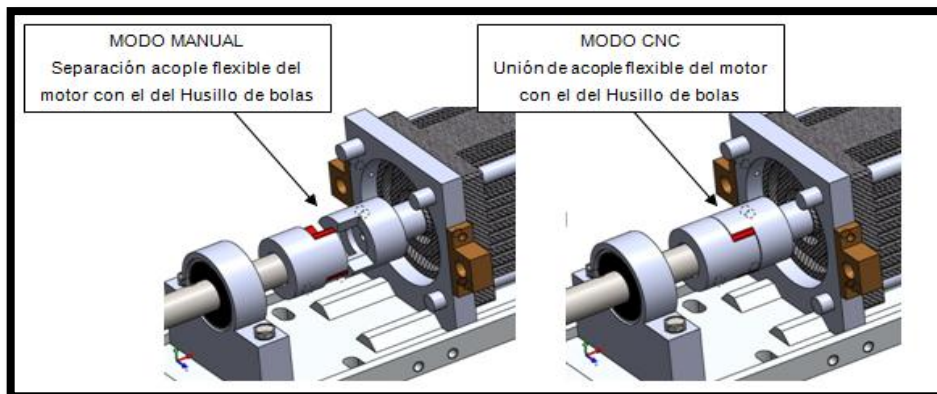


Figura 2.25: Separación del acople flexible.

En la figura 2.26, se observa el montaje estructural de todo el mecanismo de separación

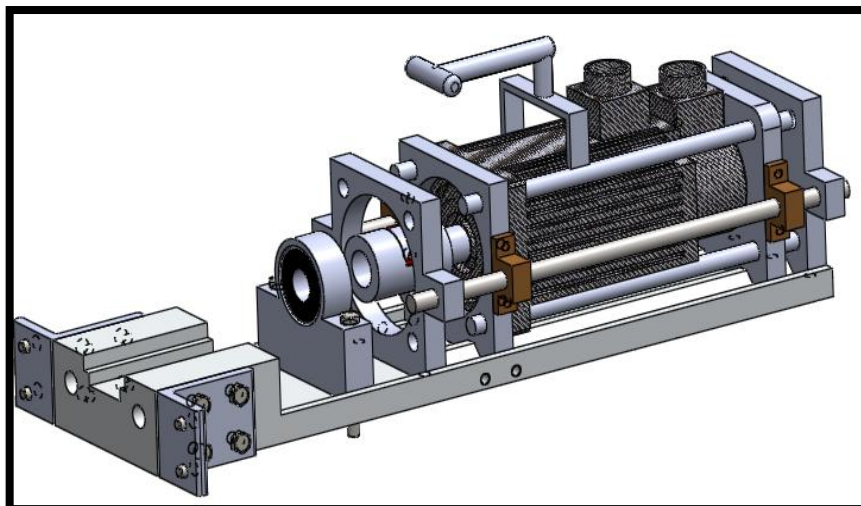


Figura 2.26: Carro de desplazamiento del servomotor

Las medidas y demás características se detallan en el Anexo C-2

2.9.2. Diseño del mecanismo para el trabajo en modo CNC del eje Z

De igual manera que en el eje X se debe adaptar un servomotor el cual será el encargado de dar movimiento al eje longitudinal, es por lo que se diseñó un soporte en el cual se ubique dicho servomotor junto a los mecanismos adecuados para su desempeño.

a. Selección de caja reductora.

El torque del servomotor seleccionado (ver sección 2.7) no es suficiente poder desplazar el carro transversal, por lo que se debe implementar una caja reductora para poder multiplicar el par, y no tener ningún inconveniente de sobrecarga en dicho servomotor.

En el mercado nacional se comercializan diversas marcas y tipos de cajas reductoras como son: REDMOT, RENOLD, SITI, BOSTON, entre otras.

Tabla 2.4. Características estándar de selección de caja reductora

	SITI³⁷ NHL 20- RIDUTTORE	BOSTON TR2³⁸ REDUCCIÓN
Relación de transmisión	20:1	60:1
Modelo	Lineal	Lineal
Máxima Velocidad de entrada	2500 RPM	2000RPM
Hp máximo:	1Hp	1,5 Hp

Se seleccionó la caja reductora de la marca SITI de serie NHL 20-RIDUTTORE (figura 2.27), debido a que se pudo encontrar en el mercado nacional a un costo accesible, y por cumplir con la relación de torque necesario.

³⁷<http://www.electrocouffigna.site.ac-strasbourg.fr/site-php/archives/archives2011-2012/documents-cours/siti-reducteur-choix.pdf>

³⁸http://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-403140957-reductor-de-velocidad-tr2-reduccion-601-_JM

La relación de transmisión de esta caja es de 20:1, de esta manera se obtiene un aumento de torque de **2.4N-m** a **48 N-m**, con esto no habrá ningún inconveniente en vencer el torque necesario para el movimiento del eje Z (ver sección 2.6.2)

Las características y planos de la caja reductora de la marca SITI se detallan en el Anexo G.

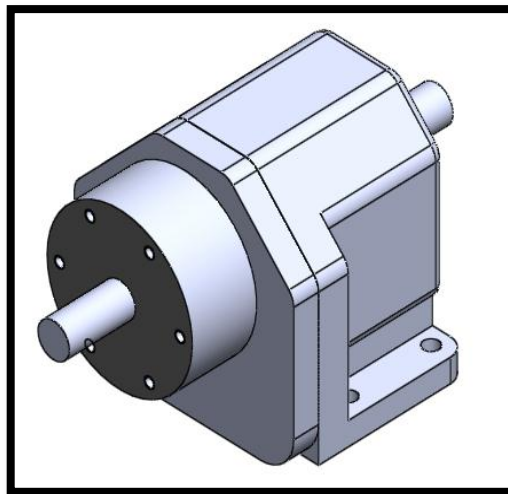


Figura 2.27: Caja reductora 20:1

b. Diseño y construcción de estructura para servomotor del eje Z.

De igual manera que en eje “X”, se ve en la necesidad de adaptar una estructura, la que será la encargada de resistir el peso tanto a la caja reductora ya mencionada junto al servomotor para el desplazamiento de este eje.

El diseño de la estructura que se obtuvo se muestra en la figura 2.28.

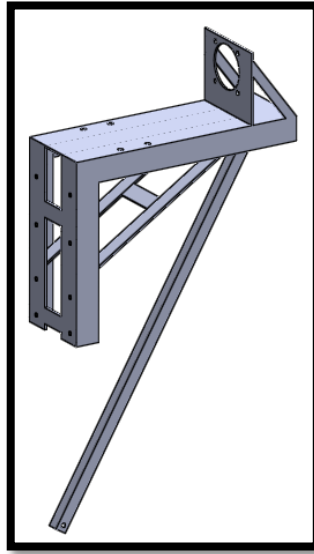


Figura 2.28: Estructura de soporte para eje Z

Las dimensiones de la estructura del servomotor se detallan en el Anexo C- 24

c. Diseño y construcción de soporte de tuerca y eslabones de sujeción

Para el acople de la tuerca en el eje Z, se tuvo que realizar un soporte donde va reposar la tuerca y los ejes encargados de eslabonar la misma contra el delantal del torno.

El diseño de que se obtuvo se muestra en la figura 2.29.

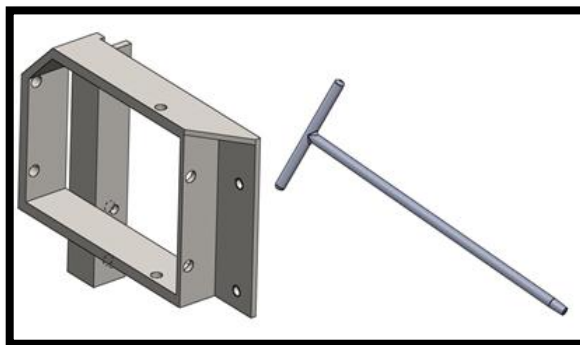


Figura 2.29: Soporte de tuerca y eslabones de sujeción

A continuación se presenta el análisis de fuerzas para la estructura soporte.

Para el diseño de la estructura se especifica el material a ocupar, para el cual se seleccionó acero SAE 1020, con una resistencia a la fluencia $S_y = 205\text{MPa}$ ³⁹, además este tipo de acero se lo puede encontrar fácilmente en el país debido a su amplia comercialización.

Con la ayuda del software SolidWorks, se realiza el análisis de fuerzas y deformaciones a la que se encuentra sometido la estructura, la fuerza a la cual va a estar sometido el soporte, la fuerza aplicada la fuerza de corte especificada en la sección 2.2; $F_C = 225\text{N}$,

El factor de seguridad mínimo obtenido de nuestro soporte es de 4 (figura 2.30); un FDS muy aceptado en el diseño de máquinas, por lo que se concluye que no existirá ningún inconveniente con dicho elemento en su trabajo diario.

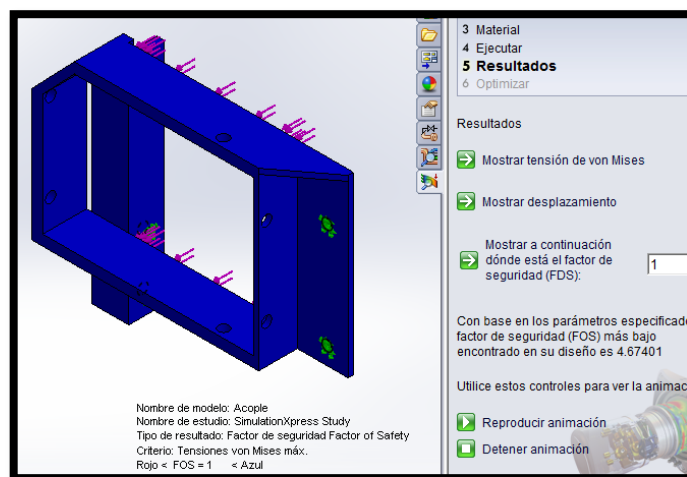


Figura 2.30: Análisis de fuerza del soporte del servomotor para eje Z.

Si se considera un factor de seguridad³ $N = 1.5$, el esfuerzo de diseño máximo es:

³⁹<http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%201020.pdf>

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

$$\sigma_d = 205 \text{MPa} / 1.5 = 136.67 \text{MPa}$$

A continuación se presenta el estudio de tensiones en SolidWorks:

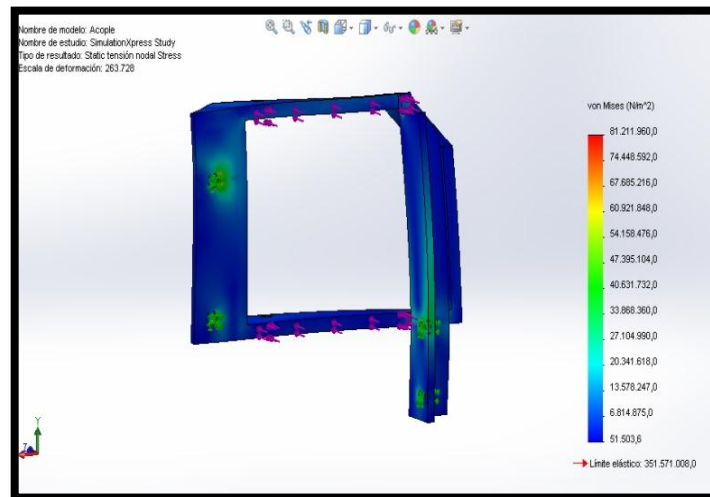


Figura 2.31: Escala de tensiones según el criterio de Von Mises.

En la figura 2.31, se observa la escala de Von Mises, donde el esfuerzo máximo es de 82 MPa y el esfuerzo de diseño es igual a 136.67 MPa, cumpliendo con la ecuación 2.2:

$$\sigma' < \sigma_d$$

$$82 \text{MPa} < 136.67 \text{MPa}$$

Las dimensiones del soporte y eslabones de sujeción se detallan en los Anexos C-22 y C-23

d. Mecanismo de embrague para el eje Z.

El mecanismo de embrague para el eje Z más práctico que se obtuvo después del diseño, se basa en el desacople mecánico de la tuerca responsable de la transmisión de movimiento entre el husillo de bolas y el delantal del torno.

Este acople o desacople mecánico se realiza mediante eslabones que aseguran o no, ya sea el caso la tuerca contra el delantal del torno, ver figura 2.32.

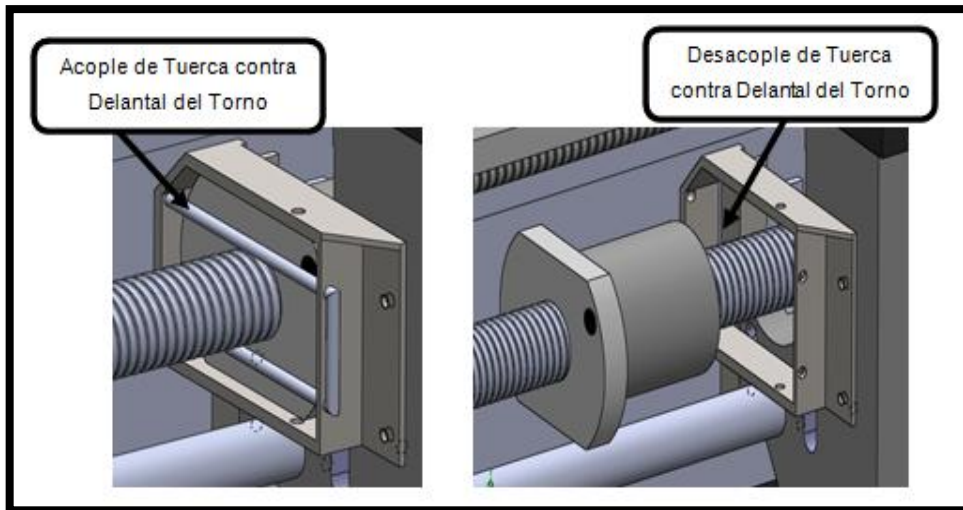


Figura 2.32: Acople o desacople mecánico para eje Z.

En la figura 2.33 se observa el montaje estructural de todo el mecanismo.

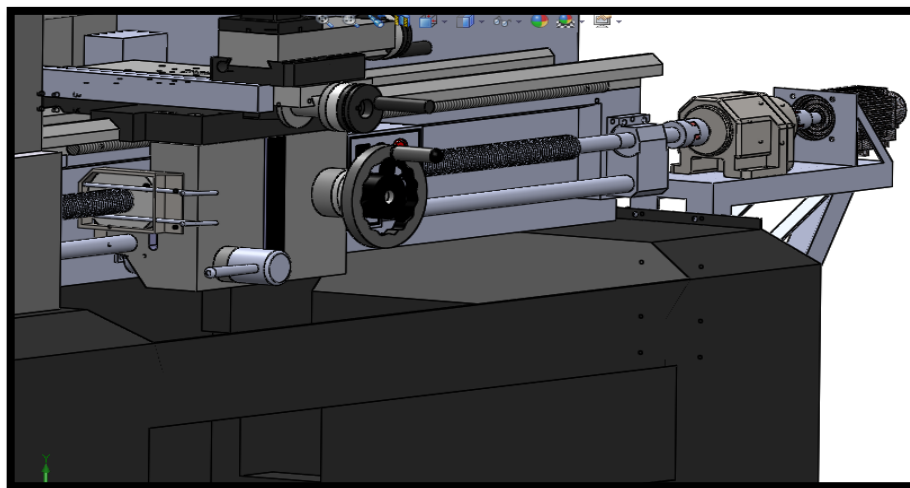


Figura 2.33: Mecanismo de eje Z

Las medidas y demás características se detallan en el Anexo C-18

CAPÍTULO III

DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO DEL CONTROL DEL TORNO CNC.

En el presente capítulo se describe el diseño y selección del sistema eléctrico y electrónico de control del torno CNC.

3.1 MODO DE OPERACIÓN

Debido que la idea central de la implementación fue obtener una máquina herramienta que brinde dos modos de operación mecánica, dando la opción al usuario de poder elegir cual crea el funcionamiento adecuado, ya sea convencional manteniendo las características iniciales de la máquina o a la vez mediante mecanismos acoplarla como máquina CNC, para así poder realizar mecanizados complejos y la producción en serie de piezas.

3.1.1. Selección eléctrica de funcionamiento

Para poder elegir el modo de operación ya sea convencional o CNC, se realizó la adaptación de un selector en el diagrama de control del torno manual, como se muestra en el Anexo H.

Dicho selector nos permite activar o desactivar el circuito de control da cada uno de los modos de operación, logrando con esto tener por separado dichos circuitos, manteniendo siempre activo el circuito de potencia de ambos.

3.1.2. Parámetros del modo de operación

El funcionamiento del torno se basa en dos modos de operación: Torno paralelo convencional y torno CNC, en este último se debe tomar en cuenta el número de ejes a controlar para que cumplan las funciones específicas.

Para la puesta en marcha de la máquina se debe verificar que se cumpla el diagrama que se muestra en la figura 3.1.

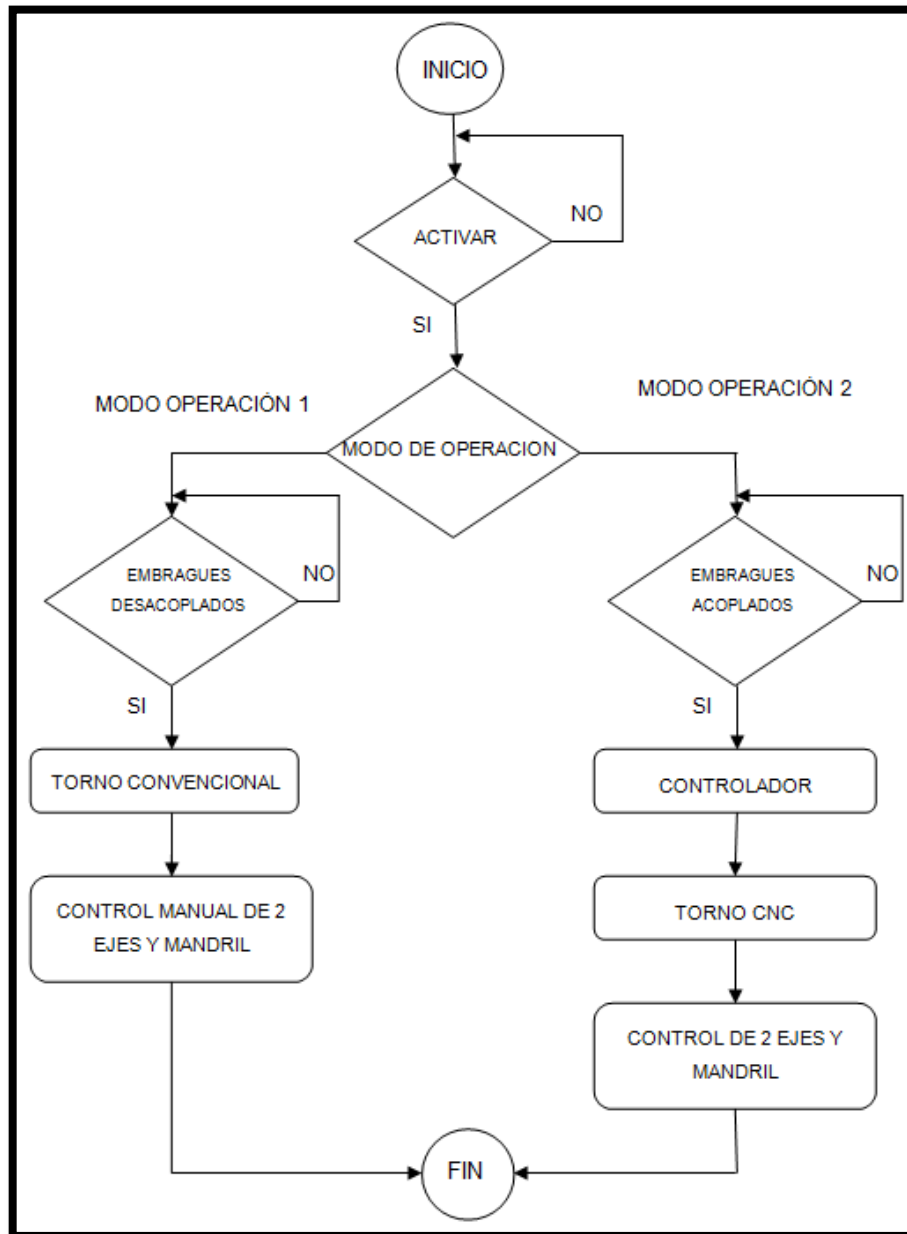


Figura 3.1: Diagrama de flujo de funcionamiento general del torno.

3.2 DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA MÁQUINA CNC

La figura 3.2 muestra el esquema general de funcionamiento del torno CNC.

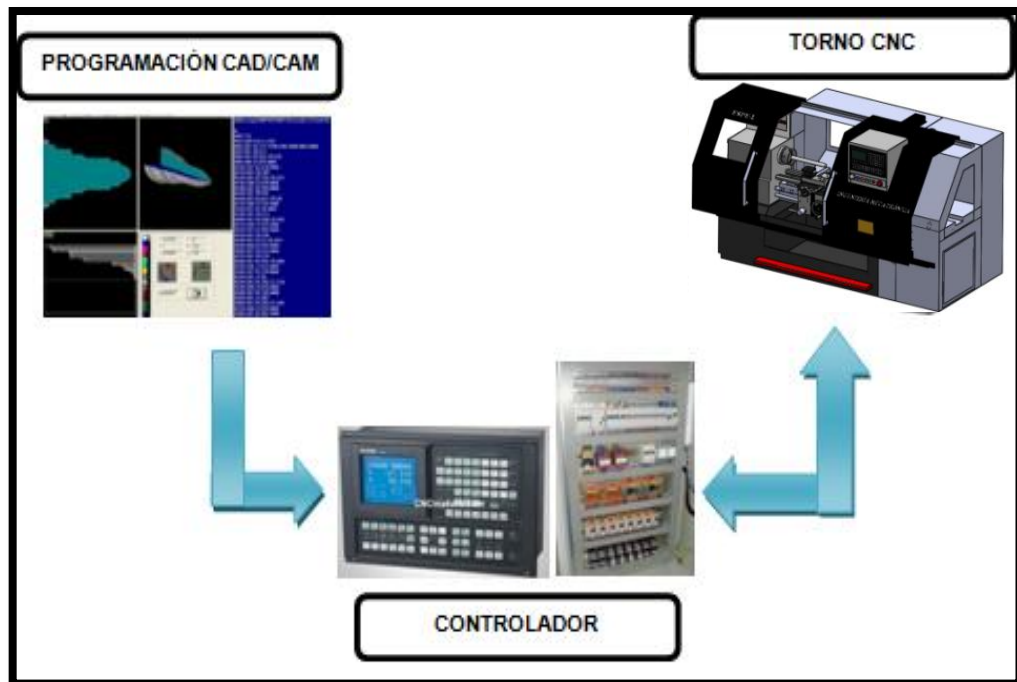


Figura 3.2: Esquema general de funcionamiento del torno CNC.

Para el diseño eléctrico y electrónico, se debe tener en cuenta los componentes principales de una máquina-herramienta CNC que son: Unidad de control de movimiento, Sistema de servomotores, Máquina-Herramienta (ver sección 1.4.2)

3.2.1. Parámetros de diseño de la unidad de control de movimiento del torno CNC.

La unidad de control de movimiento debe cumplir con ciertas características esenciales para controlar una máquina – herramienta CNC como son:

- **Interfaz hombre máquina.**
- **PLC o tarjetas controladoras**, capaces de:
 - a. Ejecutar comandos en códigos G.
 - b. Brindar correcta comunicación y compatibilidad con los sistemas de servomotores especificados en la sección 2.7
 - c. Controlar la velocidad de giro del motor trifásico del cabezal.
 - d. Almacenamiento de datos y posiciones.
 - e. Comprender las diferentes señales de entrada y salida de funciones como: Paros de emergencia, límites de carrera, encendido de refrigerante, etc.
 - f. Cumplir correctamente cualquier programa en comandos G, esto quiere decir ser **Flexible** al usuario.
 - g. Excelente control de posición y velocidad de los servomotores.
 - h. No tener impedimento de número de líneas en la lectura de los códigos G
- **Comunicación entre el HMI y el PLC.**

3.2.2. Diseño del software de control

El software tiene que ser amigable y eficaz al usuario, ya que él debe comunicarse con el PLC o tarjeta principal de control que controlará toda la máquina en forma manual (MPG o JOG) o en forma automática al torno CNC, en la figura 3.3, se observa el diagrama de flujo del software.

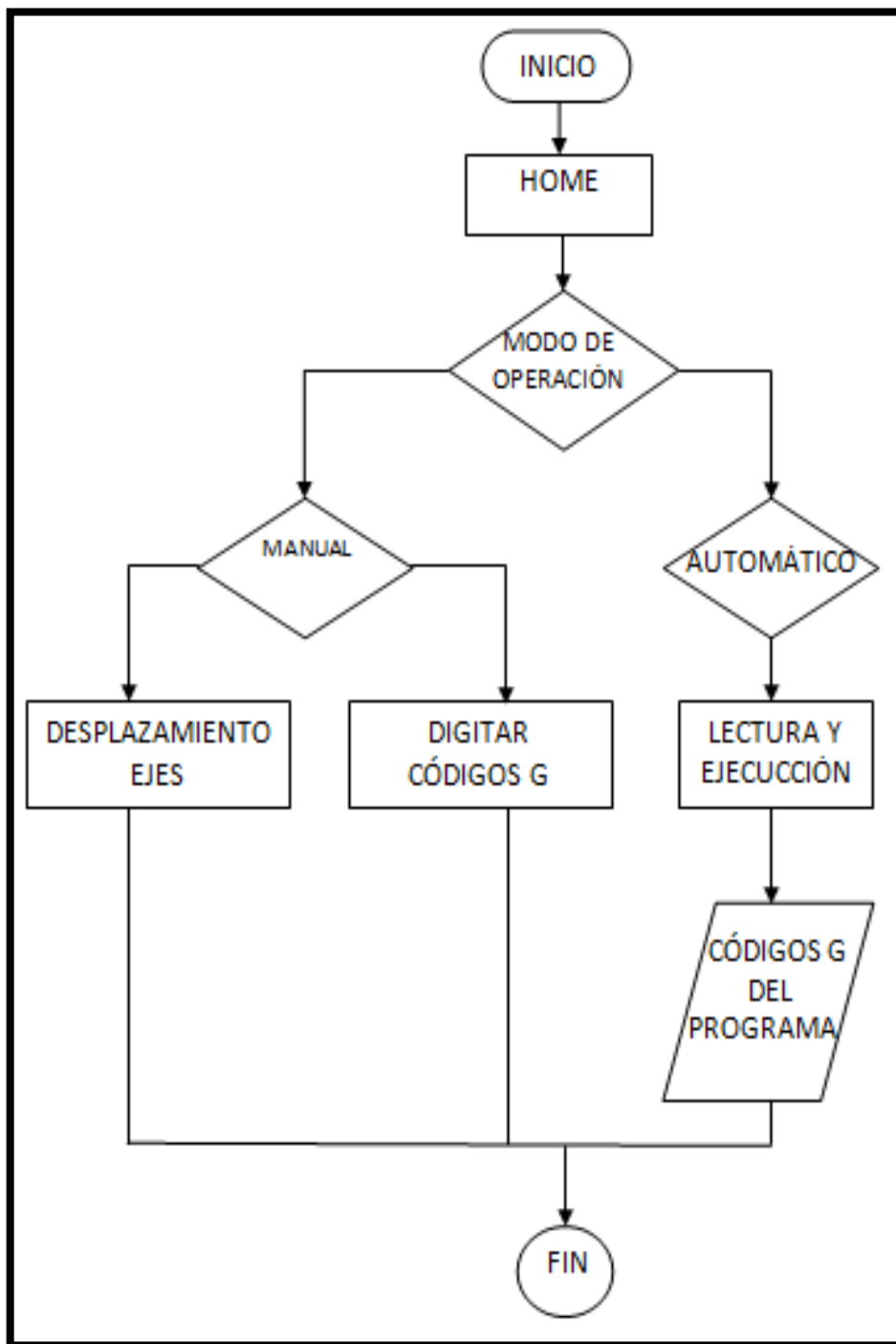


Figura 3.3: Diagrama de flujo del software.

3.2.3. Diseño del hardware de control.

En la figura 3.4 se describe el diagrama de bloque del hardware de las tarjetas controladoras o PLC.

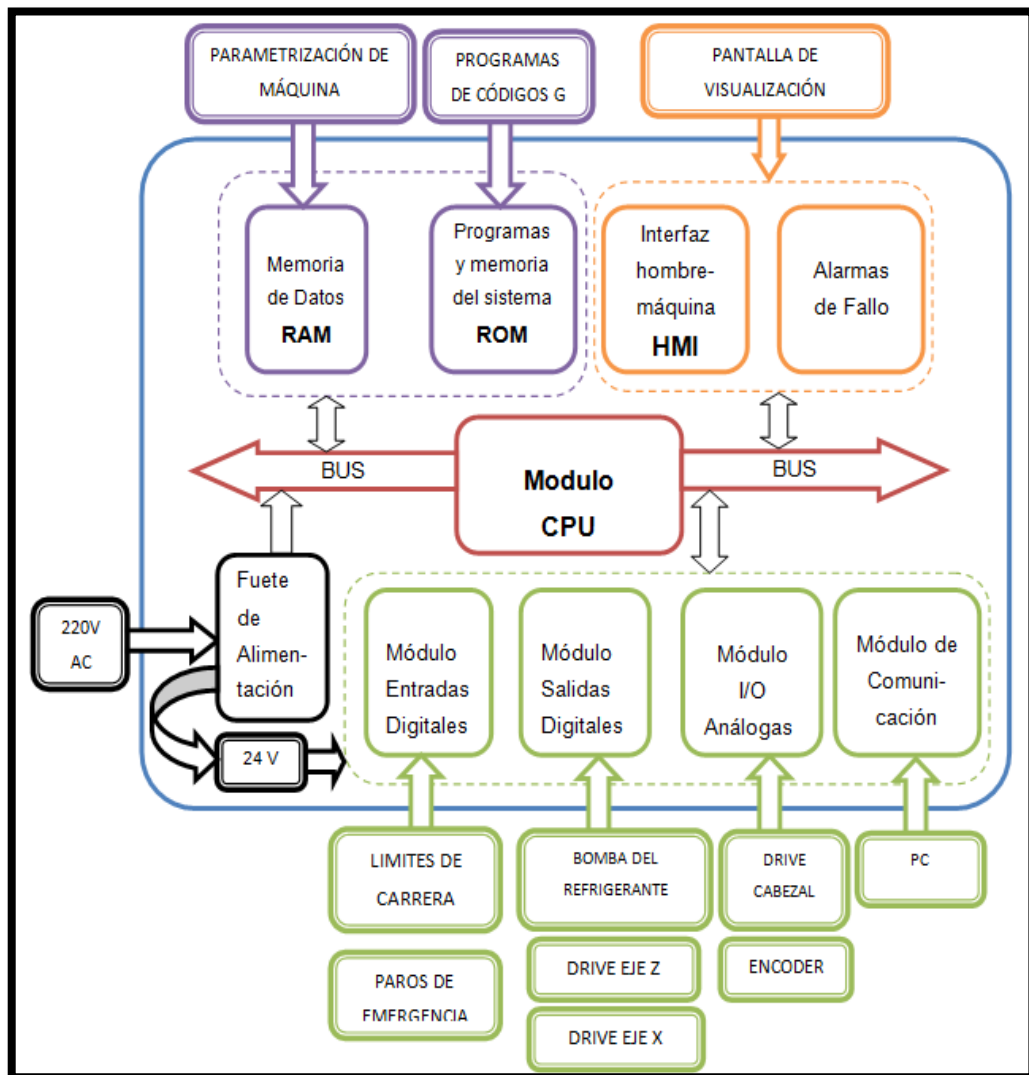


Figura 3.4: Diseño del hardware de control.

La tarjeta principal o el PLC, deben comunicarse con el software de control de una forma paralela y debe cumplir los requerimientos del software detallado en la Sección 3.2.1 y 3.2.2, para lo que se diseña el diagrama de bloques requeridos para la automatización

Como se indico en la sección 2.7, los servomotores cuentan con un sistema a lazo cerrado para el control de velocidad y posición, el control del cabezal del torno como se aprecia en la figura 3.4 es a lazo cerrado con la implementación de un encoder, que nos servirá como retroalimentación para mejor manejo de perturbaciones en el sistema.

Se comercializan diferentes controladores CNC; que cumplen con las funciones que se requiere para este control, de excelentes características y costos razonables para la magnitud de automatización que se está realizando; lo cual hace que sean accesibles para este proyecto. Por esta razón es recomendable hacer uso de estos controladores ya fabricados, en lugar de utilizar controladores diseñados propiamente que involucrarían mayor tiempo en su construcción.

3.3 SELECCIÓN DEL CONTROLADOR.

Se comercializan diferentes controladores CNC; que cumplen con las funciones que se requieren para este control, de excelentes características y costos razonables en base a relación a automatizaciones como esta, lo cual hace que sean accesibles para este proyecto. Es por esta razón que es recomendable hacer uso de controladores ya fabricadas y que se encuentran a la venta en la Web, en lugar de utilizar controladores diseñados propiamente que involucrarían mayor tiempo en su construcción. Es por este motivo que para todo el sistema de control del proyecto, se emplearán un controlador CNC, además de que en el mercado se encuentra que:

- Los software de máquinas CNC, existentes en el mercado tienen ciertas privaciones, como líneas de código a efectuar, adquisición de licencias de las mismas, trabajan a corrientes bajas y mas
- Los PLC compatibles con los sistemas de servomotores seleccionados, no tienen flexibilidad de programación, esto quiere decir que tienen limitaciones en la ejecución de comandos G.

- No existen en el mercado nacional o internacional tarjetas controladoras para servomotores AC.

Siendo estas razones suficientes se vio en la necesidad de implementar un controlador específico para máquinas CNC, disponible en el mercado internacional, ya que se comercializan distintas marcas y series entre las que se encuentran las siguientes: GSK, FANUC, MITSUBISHI, SIEMENS; cada uno de ellos cumplen con los requerimientos para este tipo de control.

Dentro de la gama de controladores GSK existen diversas series de controladores:

Tabla 3.1. Características básicas de los controladores GSK 980TDa y FANUC serie 0i-modelo TD

Características	GSK 980TDa	FANUC Serie 0i-Modelo TD
Resolución de mecanizado (μm)	1 ó 0,1	1 ó 0,10
Tamaño de pantalla	7"	8.4"
Gráficos	Recorrido de la herramienta	Recorrido de la herramienta
Ejes controlables	3	6
Ejes interpolables linealmente	3	4
Ejes interpolables circularmente	2	4
Modo de control de los ejes	Digital (Puls+Dir)	Digital (Puls+Dir)
Husillos analógicos	1 (0~10V)	1 (0~10V)/4-20mA
Interfaz MDI	Completa	Compleja
Roscado Sólido	SI	SI
PLC	SI	SI
Velocidad máxima m/min	30m/min	35m/min

Recorrido máximo	±99999999 x resolución	±99999999 x resolución
Lenguajes de pantalla disponibles	Castellano, Inglés, Chino, Ruso	Castellano, Inglés, Ruso
Capacidad de programas	38M (384 programas)	40M (420 programas)
Entradas / Salidas	25/32	25/32
RS232	SI	SI
Tarjeta externa de comunicación	NO	SI
Tipo de programación	ISO	ISO

Estos dos controladores tiene características semejantes, su funcionamiento es similar, la diferencia radica en la capacidad de números de ejes a controlar y en el precio del mercado.

Para el control del torno CNC solo se requiere en control de 2 ejes, por lo es suficiente con el controlador GSK 980TDa, ya que cumple los requerimientos de hardware y software (ver sección 3.2) y por sus excelentes características para aplicaciones de control de tornos CNC, además de su amplia comercialización en el mercado, precios accesibles para este tipo de implementación y su fácil importación.

3.3.1. GSK 980TDa

Es un controlador para máquinas CNC (figura 3.5), que permite controlar los movimientos de ejes tales como X, Y, Z y además nos permite controlar la velocidad del cabezal mediante códigos G. Este controlador tiene la capacidad de nosotros poder elegir los numero de ejes a controlar, su funcionamiento se basa en el ingreso de los códigos G en el controlador para el maquinado de la pieza; para luego enviarlos los datos hacia las drivers de cada uno de los motores y posteriormente hacia los actuadores.



Figura 3.5: Controlador GSK 980TDa.

Las especificaciones técnicas se detallan en el ANEXO I.

3.3.2. Características de controlador GSK980TDa

- Gran capacidad de comunicación y compatibilidad con drive como: **DA98** para servomotores de CA o **DY3** para accionamiento de motores paso a paso; mediante la entrada de señal de dirección de impulsos
- Ejes controlados (X, Y, Z), ejes de enlace (X, Z), 0.001 precisión de interpolación y máxima marcha rápida velocidad de 30m/min.
- Interpolaciones: lineal/arco, parábola/elipse.
- Valor mínimo de comando menos 0.001, relación de electrónica (1~32.767)/(1~32.767);
- Compensación de la holgura, la compensación de longitud de herramienta, compensación de desgaste de la herramienta y la herramienta de la corrección del radio.
- PLC incluido, editar escalera en el PC para ser descargados a la CNC.
- S, control de aceleración / desaceleración exponencial para cumplir con alta velocidad y alta precisión de mecanizado;
- Al tocar la máquina, rosca cónica, rosca superficie frontal, hilo, hilo de rosca métrico / pulgadas simple / múltiple recta de paso variable de alta velocidad agotado con la distancia de retracción conjunto, el ángulo y la velocidad.

- Programación en milímetros / pulgadas, biselado automático, gestión de vida útil.
- Declaración de programación de comandos macro, llamada del programa macro con parámetros.
- Interfaz de pantalla español, francés, italiano, chino e Inglés seleccionados por parámetros.
- Gran capacidad de memoria (38400KB, 384 programas de piezas) con pantalla editar.
- La comunicación bidireccional entre el CNC y el PC, CNC y CNC, software de comunicación y los programas de mejora CNC PLC

3.3.3. Señales I/O del controlador GSK 980TDa

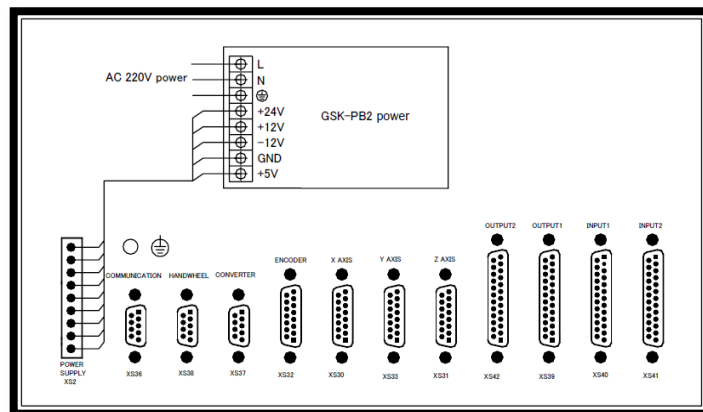


Figura 3.6: Controlador GSK 980TDa.

En la figura 3.6 se indica la vista posterior del controlador GSK 980TDa; que requiere una alimentación AC de 220V habilita el funcionamiento general del controlador. El controlador tiene diferentes señales I/O detalladas en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Conexiones del controlador GSK 980TDa

Puerto	Terminales	Funcionamiento
XS 30	EJE X	Puerto de comunicación con el drive X

XS 31	EJE Z	Puerto de comunicación con el drive Z
XS 32	ENCODER	Puerto de comunicación con el encoder del motor del cabezal.
XS 36	COMUNICACIÓN	Puerto de comunicación con la PC
XS 37	CONVERTIDOR	Puerto de comunicación de la salida del voltaje de 0-10V hacia el drive del motor del cabezal.
XS 38	HANDWHELL	Puerto de comunicación con el Handwhell del controlador, desplazamiento manual de ejes
XS 39	INPUT 1	Puerto de comunicación de las distintas señales de entrada
XS 40	OUTPUT 1	Puerto de comunicación de las distintas señales de salida

3.4 ESPECIFICACIÓN DE LOS DRIVERS DE CONTROL DE LOS SERVOMOTORES.

Los **Sistemas de Servomotores AC** como se vio en la sección 2.7, incluyen del servomotor y el drive de control para su control, por lo que son específicos para cada uno de ellos; se implementó en el proyecto el drive **GSKDA98B**, el cual brinda un excelente servicio y funcionamiento con el servomotor ya seleccionado.

3.4.1. GSK DA98B

El sistema de control para los ejes X y Z es de lazo cerrado (ver Sección 1.7.2), ya que estos servomotores cuentan con un encoder incluido que nos permite tener la posibilidad de poder controlar lo que es velocidad y posición de los mismos.

Para el control de los servomotores detallados en la sección 2.7, se ocupa los servodrives GSK DA98B específicos para el control de servomotores AC.

Los servodrivives GSK DA98B (figura 3.7), tiene la capacidad de controlar altas velocidades y con alta precisión con rango máximo de velocidad de hasta 3000rpm, las especificaciones técnicas se detallan en el Anexo J.



Figura 3.7: Servodrivives GSK DA98B.

Estos servodrivives se encargada de recibir y procesar la información que envía del controlador, para luego enviar pulsos o señales de control hacia los servomotores.

3.4.2. Características del servodrivives GSK DA98B

- El DSP exclusivo módulo IPM intelectiva para el control de motores con una alta integración y una excelente fiabilidad;
- Comando de pulsos y la entrada de mando analógica, salida de realimentación de posición y muchos interfaces de E / S definidas por el cliente, para que coincida con todo tipo de control de bucle cerrado, para darse cuenta del control de velocidad en lazo cerrado de la posición.
- El sistema simple y activa de comandos de un solo eje para evitar el error de la redacción de programación
- Control de la orientación, control de velocidad interior, analógica de control de velocidad, etc., y se aplica ampliamente en la línea de producción de automatización, maquinaria de embalaje y maquinaria de impresión y otro campo automático.

3.5 SELECCIÓN DE SISTEMA DE CONTROL PARA EL MOTOR TRIFÁSICO DEL CABEZAL

Como se vio en la sección 3.2 y 3.3, el control de velocidad de giro del cabezal del torno se realiza mediante un control análogo de 0 a 10V DC, es por ello que se requiere un variador de frecuencia para dicho control y un encoder como retroalimentación para realizar el control a lazo cerrado, para mejor precisión.

3.5.1. Selección de drive de control para motor trifásico principal

En el mercado existen diversos driver en lo que se refiere al control de motores trifásicos entre ellas se encuentran: Delta, Siemens, Toshiba, Allen Bradley, entre otros; se utiliza el Drive Delta VFD-B por su bajo costo y por su factibilidad en el lazo de control a implementar,

Tabla 3.3. Características estándar de los variadores de frecuencia Siemens y Delta VDF-B

Características estándar	Siemens SED2	Drive Delta VFD-B
Tensión de entrada	200 V CA a 240 V	200 V CA a 240 V
Frecuencia de entrada	47 a 63 Hz	50 o 60 Hz
Frecuencia de salida	0 a 150 Hz	0 a 150 Hz
Factor de potencia	≥ 0.9	≥ 0.9
Rendimiento	96 a 97 %	96 a 98 %
Capacidad de sobrecarga	110 % para 60 s	110 % para 60 s
Método de Control V/f	par cuadrático, lineal o programable	par cuadrático, lineal o programable
Entradas analógicas 2 programables	0-10 V, 2-10 V, 0-20 mA, 4-20 mA, LG-Ni1000	0-10 V, 2-10 V, 0-20 mA, 4-20 mA

Salidas relé	2 totalmente programables	3 totalmente programables
Interfaces	RS-485: P1(SBT), N2, Siemens USS	ModBus, RTU y ASCII
Nivel de protección	IP20 / IP54	IP20 / IP54
Par del motor	7.5 HP	7.5HP

Ambos drives tienen características semejantes y su funcionamiento es similar, la diferencia radica en el precio de comercialización en el mercado, por lo que se optó por trabajar con el drive Delta VFD-B (figura 3.8) puesto que se encuentra disponible en el mercado nacional a un costo accesible, es adecuado para la implementación del proyecto debido a que es apto para soportar la potencia del motor del cabezal (ver sección 2.2.1), es capaz de controlar motores trifásicos hasta de 7.5 Hp, mediante la retroalimentación del encoder en señal de cuadratura TTL.



Figura 3.8: Drive Delta VFD-B.

El sistema de control para el cabezal es de lazo cerrado (Sección 1.7.2); este sistema es utilizado por los motores AC acoplándolos un encoder ya que con ello se puede controlar el giro del motor. La unidad de control **980TDa** posee una salida de voltaje que se convierten en señales de 0 a

10V analógicos que se utilizan para controlar con PWM la velocidad del Motor AC, la cual ingresan como incrementos de velocidad al drive **VFD-B**, este es el encargado de recibir y procesar la información que envía por el controlador y el encoder, para luego enviar variaciones de frecuencia hacia el motor, las especificaciones técnicas del variador VDF-B se detallan en el Anexo K.

3.5.2. Selección del encoder para el control de velocidad giro del cabezal.

En el mercado nacional e internacional se comercializan distintas marcas y series de encoders como son: DELTA, DAHANER, ELTRA, GSK, MELCO, SIEMENS, ALLEN BRADLEY, entre muchos más,

Se ha seleccionado el encoder DELTA EH-5 (figura 3.9), por su disponibilidad en el mercado nacional, su bajo costo a comparación con los de otras familias y por ser de la misma gama de productos del variador de frecuencia seleccionado en la sección 3.5.1., brindándonos una excelente comunicación entre ambos.



Figura 3.9: Encoder Delta EH-5.

Las especificaciones técnicas del encoder se detallan en el Anexo L

3.6 DISEÑO DEL TABLERO DE CONTROL Y POTENCIA DEL TORNO CNC

Para el diseño del tablero de control se debe tomar en cuenta muchos parámetros tales como: Corriente nominal de motores, voltaje de alimentación para circuitos de control y potencia, número de entradas y salidas del controlador y protecciones.

3.6.1. Tensión trifásica 220V.

La tensión trifásica para el circuito de potencia es de 220V AC, que se utiliza para alimentación de: Motor del cabezal, motor de la bomba del refrigerante, controlador, servomotores, drives de control de cada uno de los servomotores.

3.6.2. Fusibles de protección.

Para la selección de los fusibles de protección, se necesita conocer dos aspectos muy importantes que son: Corriente Nominal y voltaje máximo de los servomotores y motor trifásico del cabezal.

Por ello se han seleccionado fusibles de 32A, a 500V.

3.6.3. Brakers de protección de drives de motores.

Para la protección de sobrecorriente o voltaje se seleccionó brakers de protección para equipos como: Drive del motor del cabezal y drives de servomotores, si hay demasiada electricidad, estos aparatos simplemente interrumpen el flujo eléctrico para evitar el daño por sobrecorriente en los equipos implementados, de igual manera que los fusibles se requiere conocer lo que es corriente nominal y voltaje máximo.

Por ello se han seleccionado fusibles de 32A, a 220V

3.6.4. Contactores de para arranque de motores.

Se seleccionó contactores de bobina a 220V, para el arranque de los motores trifásicos del cabezal y de la bomba del lubricante, los cuales tiene una corriente nominal de 18 A y 10 A respectivamente.

3.6.5. Relés eléctricos.

Para la activación y desactivación de variables de control se seleccionó relés de bobina a 24V DC y 10 A de corriente máxima.

3.6.6. Fuente de alimentación.

Se implementó una fuente de voltaje de 24 V DC con 5 A de corriente, para la alimentación del control del torno, la cual servirá para la alimentación de cada uno de los relés, y también para como entradas hacia el controlador de funciones específicas.

El diagrama de control y potencia del torno CNC se detalla en los Anexo M y N respectivamente.

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 realiza el montaje o implementación de sus partes.

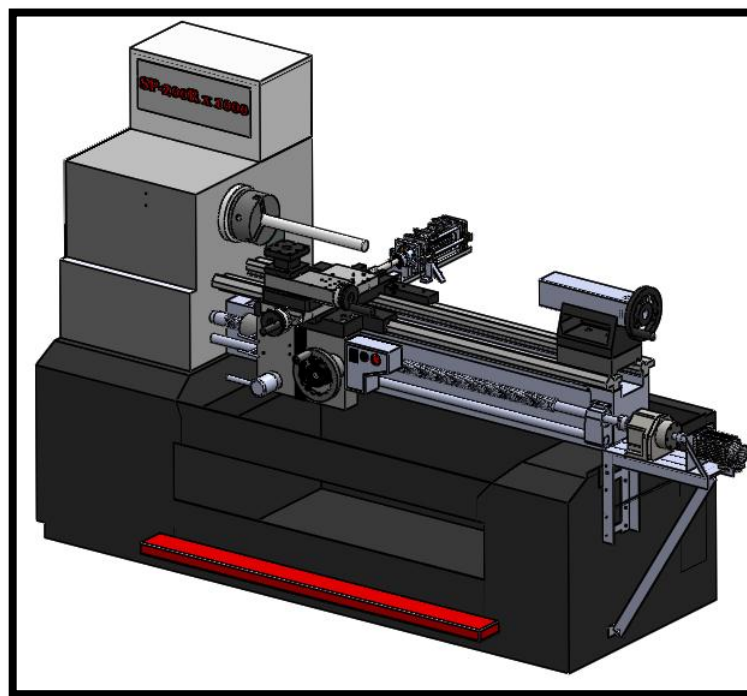


Figura 4.1: Implementación del diseño mecánico.

4.1.1. Implementación de la estructura de los ejes.

a. Implementación de la estructura del eje Z.

El Carro principal va montado sobre la bancada prismática (figura 4.2), mediante las guías deslizantes, como se describió en la Sección 2.2.3;

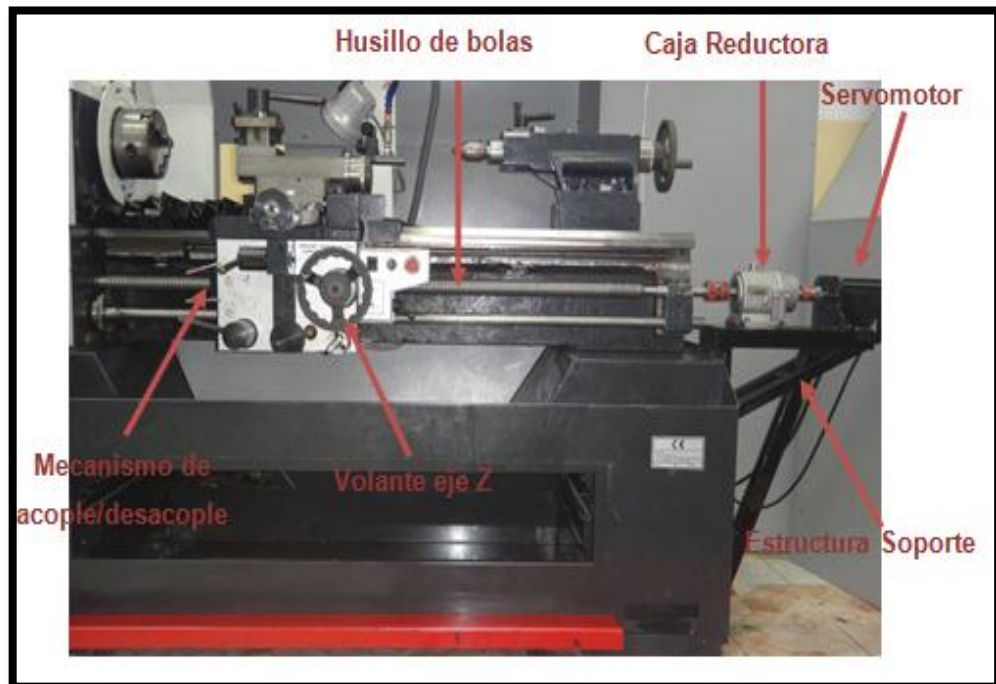


Figura 4.2: Montaje de la estructura del eje Z.

Para el movimiento del carro principal del torno se tiene 2 opciones de trabajo como:

- **Como torno CNC**

Aquí el movimiento se realiza con el husillo de bolas con su respectiva tuerca acoplada al carro principal mediante los ejes de acople, el husillo se encuentra situado en la bancada principal en remplazo del eje de roscar y unidos al servomotor y caja reductora mediante acoples flexibles como se muestra en la figura 4.3.

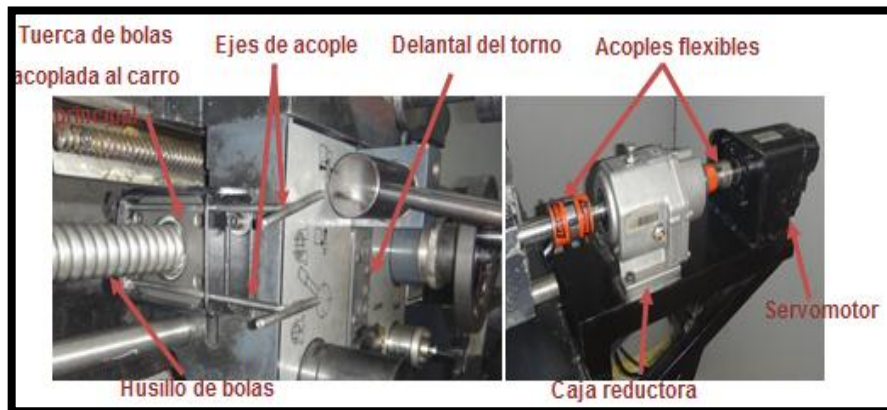


Figura 4.3: Deslizamiento de eje Z como torno CNC.

- **Como torno convencional.**

En este modo de operación del movimiento se encarga el tornillo patrón mediante la rotación del volante del carro principal, liberando la tuerca y los ejes de acoples del delantal del torno, como se observa en la figura 4.4.

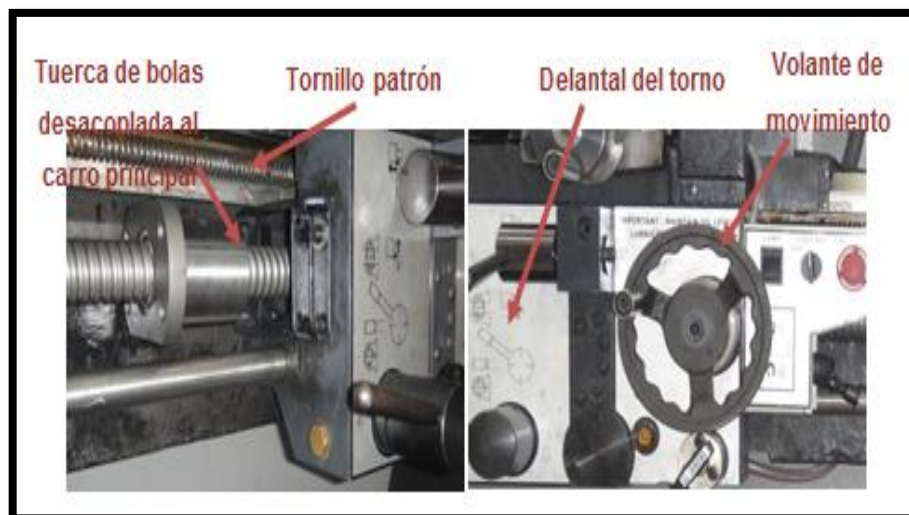


Figura 4.4: Deslizamiento de eje Z como torno convencional.

b. Implementación de la estructura del eje X.

El mecanismo de la estructura del eje X se mantuvo la del torno convencional, como se describió en la Sección 2.2.2, con la

implementación del mecanismo de embrague del motor (ver Sección 2.8.1), ver figura 4.5.

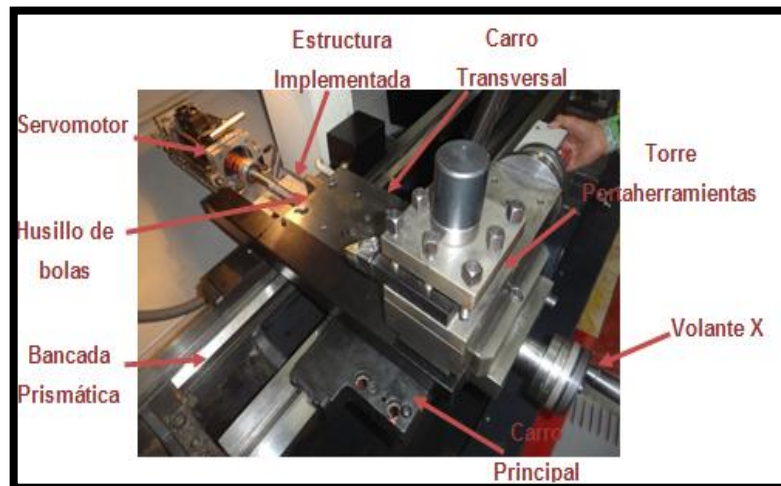


Figura 4.5: Implementación de la estructura del eje X.

Para el movimiento del carro principal del torno se tiene 2 opciones de trabajo como:

- **Como torno CNC**

Cuando la máquina trabaja como torno CNC, el servomotor es el encargado del movimiento del eje, mediante el husillo de bolas con su respectiva tuerca acoplada al carro transversal, como se observa en la figura 4.6.

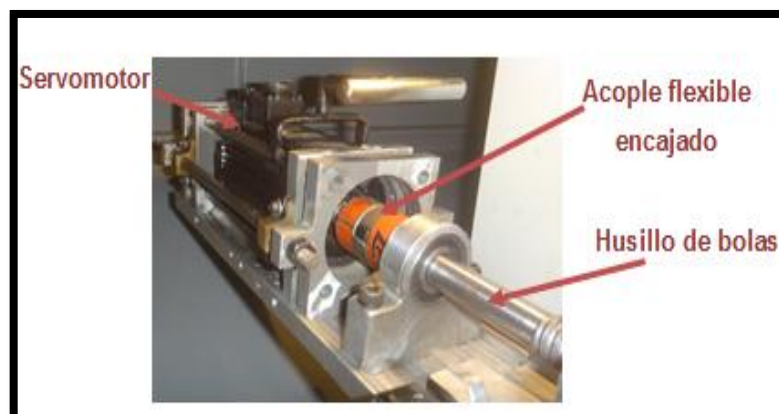


Figura 4.6: Servomotor acoplado al husillo de bolas.

- **Como torno convencional**

Se desacopla el acople flexible del motor con el del husillo de bolas, para que de esta manera el volante del carro transversal sea el encargado de transmitir el movimiento a este, ver figura 4.7.

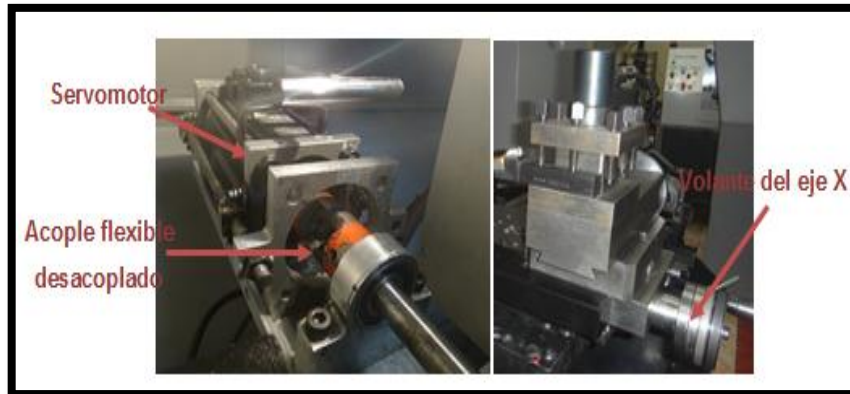


Figura 4.7: Servomotor acoplado al husillo de bolas.

c. Implementación del encoder.

El encoder va montado sobre la bancada principal y acoplado mediante una banca síncrona al eje del cabezal como se muestra en la figura 4.8.

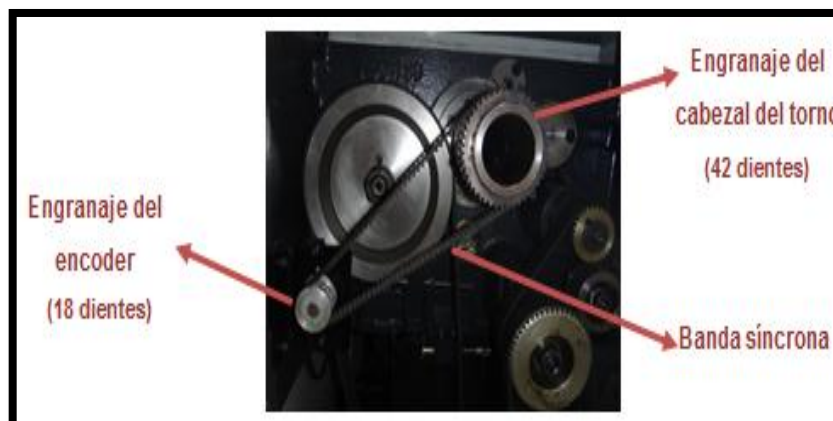


Figura 4.8: Implementación del encoder.

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, se implementa una carcasa de tol de 1/16" de espesor, como protección. En la figura 4.9, se aprecia toda la implementación mecánica.



Figura 4.9: Implementación del sistema mecánico.

4.2 IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL.

4.2.1. Parametrización del controlador GSK980TDa

Son varios los parámetros que se debe configurar de acuerdo a la aplicación deseada, el usuario debe hacer un estudio completo de los parámetros antes de buscar, establecer y ajustarlos mediante el panel de control.

**Tabla 4.1. Parametrización de los bits de parámetros del controlador
GSK980TDa**

PARÁMETRO	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
001	ABP	***	***	SPIN	MPG	PROG	ISC	INI
	0	0	0	1	1	0	0	0
002	CLK	***	***	LIFJ	MDITL	LIFC	TNRC	TLIF
	0	0	0	0	0	0	0	0
003	***	***	PEC	TLC	***	***	***	***
	0	0	0	1	0	0	0	0
004	***	RDRN	DECI	ORC	***	DCS	PROD	SCW
	0	1	0	0	0	0	0	0
005	***	***	SMAL	M30	***	***	PPD	PCMD
	0	0	0	1	0	0	1	1
006	***	***	***	OVRI	***	ZMY	ZMZ	ZMX
	0	0	0	0	0	0	0	0
007	DISP	***	***	***	SMZ	ZCY	ZCZ	ZCX
	0	0	0	0	0	0	0	0
008	***	HWY	HWZ	HWX	***	DIRY	DIRZ	DIRX
	0	0	1	1	0	0	1	1
009	***	***	***	***	RSJG	YALM	ZALM	XALM
	0	0	0	0	0	0	1	1
010	***	***	***	CPF5	CPF4	CPF3	CPF2	CPF1
	0	0	0	0	1	1	1	1

011	BDEC	BD8	***	CTCP	NORF	ZNIK	TSGN	TCPS
	0	0	0	0	0	1	0	1
012	APRS	WSFT	DOFSI	***	EAL	***	EBCL	ISOT
	1	0	1	0	1	0	1	1
014	***	***	***	***	***	ZRSY	ZRSZ	ZRSX
	0	0	0	0	0	0	0	1
164	AGER	AGIN	AGIM	SPTW	SPEN	SLTW	SLSP	SLQP
	1	1	1	0	0	1	1	0
168	SPB4	PB4	SPB3	PB3	***	PB2	SHT	PB1
	0	0	0	0	0	0	0	0
172	***	MST	MSP	MOT	ESP	***	***	SOVI
	0	1	1	0	0	0	0	0
173	***	***	***	***	***	***	SINC	SOUS
	0	0	0	0	0	0	0	0
174	***	***	***	***	KEY1	***	***	***
	0	0	0	0	1	0	0	0
175	SPHD	SAR	***	THDA	SPFD	YVAL	ZVAL	XVAL
	1	0	0	0	0	0	1	0
180	NAT	***	***	***	***	***	YPOS	SPOS
	0	0	0	0	0	0	0	0
183	***	***	***	***	***	MZRY	MZRZ	MARX
	0	0	0	0	0	0	1	0
184	***	PTEST	***	***	***	L2	L1	L0
	0	0	0	0	0	0	0	0

Los bits que se modifica para el proyecto son:

Tabla 4.2. Datos de parámetros del controlador GSK980TDa

Parámetro	Especificación	Valor registrado
015	CMRX(Coeficiente Multiplicador eje X)	1
016	CMRZ(Coeficiente Multiplicador eje Z)	1
017	CMDX(Coeficiente Divisor del eje X)	1
018	CMDZ(Coeficiente Divisor del eje Z)	1
019	THDCH(Longitud del descentramiento en el roscado)	5
021	PSANGNT(Voltaje máximo al husillo cuando SCV es10V)	220 V
022	RPGFX(Velocidad máxima de desplazamiento rápido para eje X)	800mm/min
023	RPGFZ(Velocidad máxima de desplazamiento rápido para eje Z)	700mm/min
024	LINTX(Tiempo constante de aceleración y Desaceleración en X para el desplazamiento rápido)	100 ms
025	LINTZ(Tiempo constante de aceleración y desaceleración en Z para el desplazamiento rápido)	100 ms
026	THRDT(Constante de aceleración en roscado)	150 ms
028	THDFL(Velocidad inicial de roscado)	120 mm/min
030	FEDFL(Velocidad de aceler./desaceler. exponencial)	50 mm/min
031	Máxima velocidad modo JOG	700 mm/min

032	RPDFL (Velocidad de ajuste F0)	400 mm/min
033	ZRNFL (Velocidad lenta en retorno al pto. de referencia)	200 mm/min
034	BKLX (Backslash en X)	100(*0.001)mm
035	BKLZ (Backslash en Z)	2000(*0.001)mm
036	SPDLC (Voltaje de compensación cuando SVC es 0V)	0 mV
037	GRMAX1 (Velocidad máximo del husillo)	1400r/min
041	JOGFL (Velocidad inicial en aceler./desaceler. exponencial JOG)	100 mm/min
042	SEQINC (Incremento del número de secuencia)	10
043	LOWSP (Velocidad del husillo mínimo)	50r/min
044	BRATE0 (Velocidad de la comunicación serie)	115200bit/s
045	LT1X1 (Límite de carrera en X+)	176000(*0.001)mm
046	LT1Z1 (Límite de carrera en Z+)	-300 (*0.001)mm
047	LT1X2 (Límite de carrera en X-)	-153000(*0.001)mm
048	LT1Z2 (Límite de carrera en Z-)	600000(*0.001)mm
049	PRSX (Valor en X del cero máquina)	0(*0.001)mm
050	PRSZ (Valor en Z del cero máquina)	0(*0.001)mm
061	AXESNUM (Cantidad de ejes a controlar: 2(x,z),3(x,y,z)	2
067	SFTREV (SCV en cambio)	1000ms

070	ENCODER_CNT(Pulsos por vuelta del Encoder del husillo)	1024pulsos/rev
071	RESET_TIME(Tiempo de la señal de Reset)	32ms
084	TMAX(Cambio total de herramientas)	1
087	SPDDL(Tiempo de espera desde el M5 al frenado SPZD)	50ms
110	MGR(Número de dientes del engranaje del husillo)	44
111	SGR(Número de dientes del engranaje del encoder)	18
112	LUBRICATE_TIME(Tiempo de lubricación (si se setea 0 no hay límite))	0ms

Los bits de parámetros nos sirven para activar o desactivar entradas o salidas digitales, a diferencia de los datos de parámetros que nos permite dar valores a cada una de nuestras variables de control, como son tiempos, distancias, velocidad, aceleraciones y número de herramientas.

4.2.2. Diagrama de conexión del GSK980TD al servodrive DA98B

nCP+, nCP-, son señales de pulso de código; nDIR+, nDIR-, son señales de dirección de código. Estas dos señales de grupo son ambos diferencial salida (AM26LS31), se recomienda recibir externamente por AM26LS3.

El nivel bajo o alto de alarma (nALM) del drive CNC es definido por el parámetro N° 009 BIT0, BIT1.

Durante el regreso al cero máquina (nPC), la señal de interruptor de proximidad del encoder del motor se toma como señal cero.

El diagrama de conexión se muestra en la figura 4.10

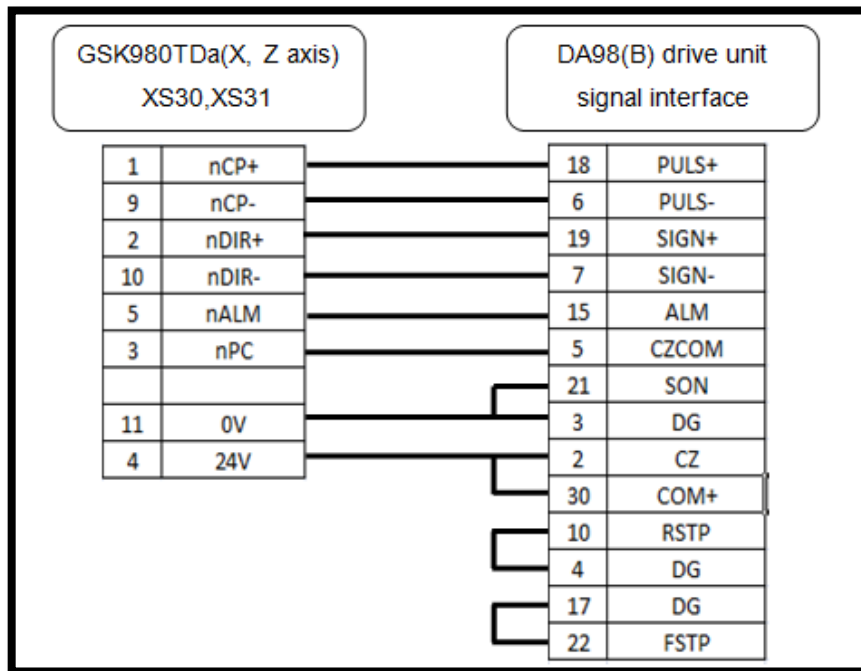


Figura 4.10. Diagrama de conexión de GSK980TDa a servodrive DA98B

4.2.3. Diagrama de conexión del GSK980TD al encoder del cabezal

PAS/*PAS, PBS/*PBS, PCS/ *PCS son las señales entrada de fase diferencial A, B, C respectivamente, que son recibidos por 26LS32; PAS/*PAS, PBS/*PBS, PCS/*PC S son ortogonales onda cuadrada con cambio de fase de 90° y su frecuencia máxima de la señal es menos de 1MHz, los pulsos del codificador para GSK se fijan con el parámetro N° 070 (ver Sección 4.2.1)

El diagrama de conexión se muestra en la figura 4.11.

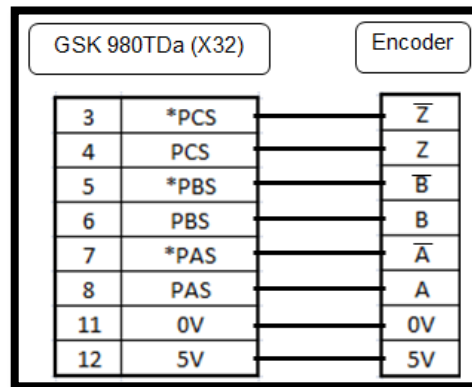


Figura 4.11 Diagrama de conexión de GSK980TD al encoder

4.2.4. Diagrama de conexión del GSK980TD al MPG

HA, HB son señales de entrada de fase A y B respectivamente al MPG.

El diagrama de conexión se muestra en la figura 4.12.

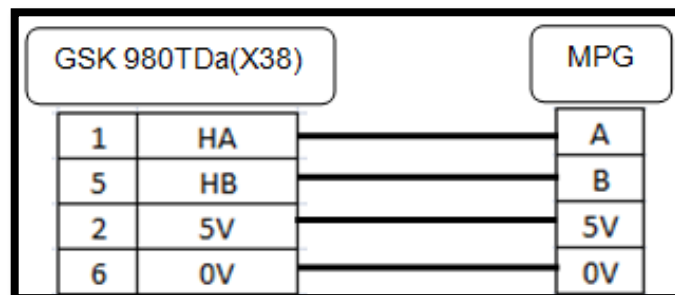


Figura 4.12 Diagrama de conexión del GSK980TD a MPG

4.2.5. Diagrama de conexión del GSK980TD a la entrada análoga de voltaje (AVI)

La interfaz analógica del cabezal SVC, da un voltaje de salida 0-10V, para el control de giro del mismo.

El diagrama de conexión se muestra en la figura 4.13.

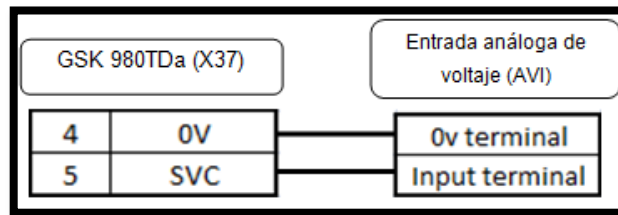


Figura 4.13 Diagrama de conexión del GSK980TD al AVI

4.2.6. Diagrama de conexión del GSK980TD a la PC

La comunicación entre GSK980TD y PC puede hacerse vía interfaz RS232 (es necesario el software de comunicación del GSK980)

El diagrama de conexión se muestra en la figura 4.14.

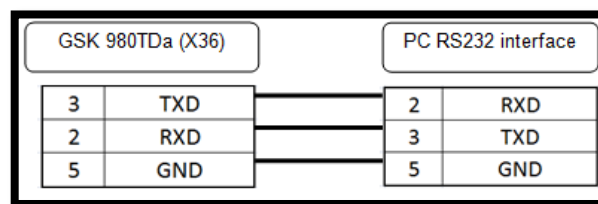


Figura 4.14 Diagrama de conexión del GSK980TD a la PC

4.2.7. Definición de interfaz estándar y expansión I/O

Las funciones de I/O digitales tienen un puerto específico para su lectura o ejecución, por lo que se realizan las conexiones de acuerdo al funcionamiento de nuestro proyecto.

a. Input XS40

Tabla 4.3. Especificación de pines de la entrada XS40 del controlador.

Pin N°	Address	Función	Descripción
1	X 0.3	XDEC	Señal de Cero máquina en X
9	X 1.3	ZDEC	Señal de Cero máquina en Z
10	X 0.5	ESP	Señal de paro de emergencia
11		+24V	

Si la entrada función está activa, la señal de salida es de 24 V. Si la entrada función está inactiva, la señal de entrada se corta con ella

b. Output XS39

Tabla 4.4. Especificación de pines de la salida XS39 del controlador.

Pin N°	Address	Función	Descripción
3	Y 0.4	M04	Encendido del cabezal en CCW
7	Y 1.2	M03	Encendido del cabezal en CW
15	Y 0.3	M08	Refrigerante

Si la función de salida está activa, la señal de salida es a través de a 0V. Si la función de salida está inactiva, la señal de salida se corta por impedancia

4.2.8. Finales de carrera, paros de emergencia e Interruptores de referencia.

Para la protección de la máquina se establecen 2 tipos de límites de carrera para cada una de las coordenadas X, Z: los límites de carrera programados (ver sección 4.2.1) y los límites de carrera paros de emergencia que están controlados mediante switches limitadores (figura 4.15)



Figura 4.15: Switch limitador de carrera.

Los límites de carrera paros de emergencia están conectados de acuerdo al esquema que se muestra en la figura 4.16. Los mismos que envían la señal al controlador que detengan el programa, en el caso de que las plataformas salgan de los límites de trabajo.

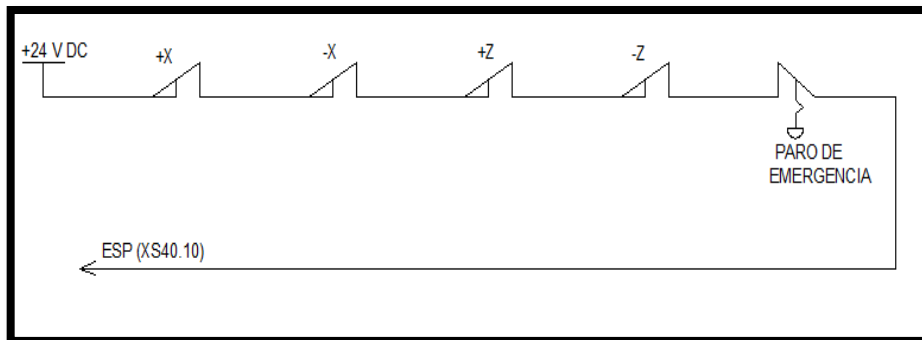


Figura 4.16: Conexión de los límites de carrera paros de emergencia.

El punto de referencia conocido como el home de la máquina es de vital importancia para la posición inicial de la máquina, así como también para el desacople de los mecanismos de embragues (ver sección 2.8), por lo tanto en las estructuras de los ejes X, Z, se implementó switches limitadores, lo que permite la máquina se ubique en el punto de coordenadas cero de donde iniciará su trabajo; estos sensores envían la señal al controlador mediante los parámetros NDEC (ver sección 4.2.7) , la cual es encargada de recibir y enviar una señal los drivers y estos a la vez a los motores para su posicionamiento, las señales DEC están conectados bajo el esquema de la figura 4.17, una vez que la máquina haya llegado al home tanto en el ejes X como también en Z, se detiene el movimiento de los servomotores y encerar la posición de la máquina. En la figura 4.18 se observa los switches limitadores del home de los ejes X, Z.

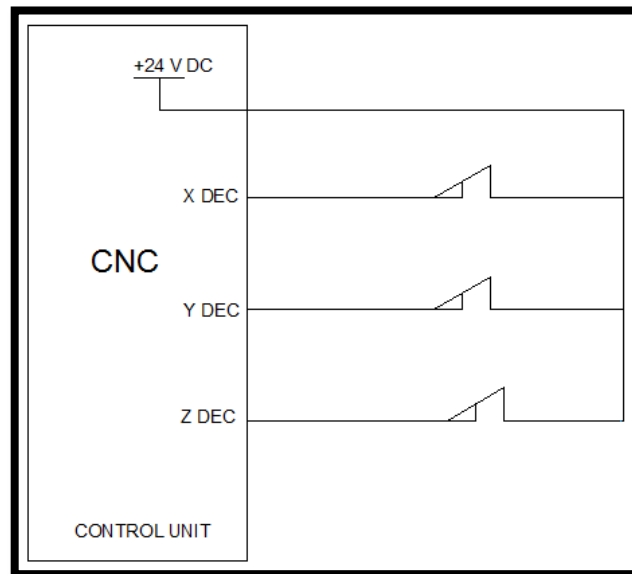


Figura 4.17: Conexión de los sensores home.

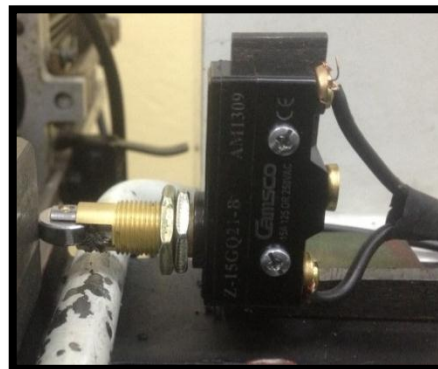


Figura 4.18: Sensores para el home.

4.2.9. Controles y modos de funcionamiento del controlador 980TDa.

El controlador GSK 980TDa es el dispositivo electrónico encargado de gestionar todas las acciones del centro de mecanizado, consta de: Panel de control, Panel de programación, Menú de visualización, Pantalla de visualización y Botonera de poder, aquí se detalla los controles que posee el controlador de la máquina, ver figura 4.19.

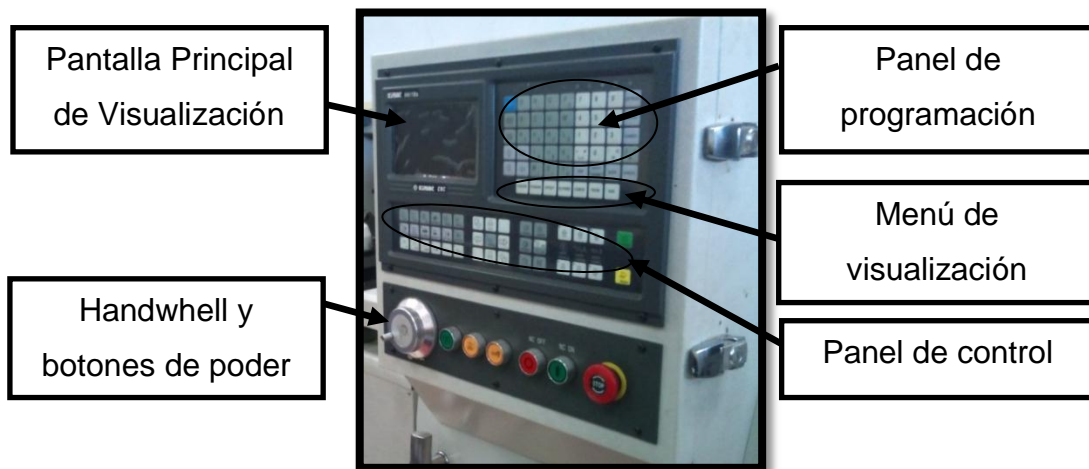



Figura 4.19: Controles de la pantalla principal.

a. Pantallas de visualización

La pantalla de visualización permite observar las distintas interfaces que tiene el controlador, según sea la necesidad del usuario, en la tabla 4.5, se indica el menú de visualización.



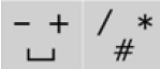







Tabla 4.5. Menú de visualización de pantalla principal.

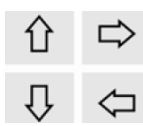
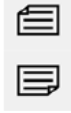
Tecla	Observación
POSITION	Para acceder al interfaz de posición. Donde se visualiza las posiciones relativas, absoluta, y las de máquina.
PROGRAM	Para acceder a la interfaz programa donde se encuentra la lista de programas y también nos permite digitar los códigos G,
OFFSET	Para entrar en corrección de herramienta, la interfaz macro, interfaz offset muestra valores de desplazamiento; macro para cnc macro variables.
ALARM	Para acceder a la interfaz de ALARMA, en la cual se indica si alguna alarma se encuentra activada.
SETTING	Para acceder a la configuración, la interfaz gráfica. Hay interruptor virtual, parámetros de operación, configuración de la contraseña en la interfaz de configuración.
PARAMETER	Introducir un parámetro de bit, datos de los parámetros, las interfaces de compensación de tornillo-paso (cambio entre cada interfaz pulsando repetidamente).

	Para entrar diagnóstico cnc, estado del plc, las interfaces valor plc muestra el estado de señal interna del cnc, direcciones del plc, mensaje de datos, la interfaz mensaje versión muestra software cnc.
---	--

b. Panel de programación

Tabla 4.6. Descripción de funcionamiento de teclas del panel de programación.




Botón	Nombre	Función
	Tecla RESET	CNC Reset
	Tecla DIRECCIÓN	Entrada de letras
	SÍMBOLO	Clave de la dirección doble, cambiándolas presionándolo repetidamente
	Tecla NÚMERO	Entrada de números
	PUNTO DECIMAL	Entrada de punto decimal
	Tecla ENTRADA	Parámetro, el valor de la compensación y la otra entrada de datos
	Tecla SALIDA	Salida de comunicación
	Tecla CAMBIO	Conmutación de mensajes, la pantalla
	Tecla EDIT	Insertar, modificar, borrar programas, los campos de trabajo en modo Edit.
	Tecla EOB	Introducción del carácter de final de bloque

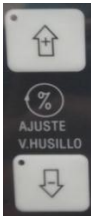






	<p>Tecla MOVIMIENTO DE CURSOR</p>	<p>Controla el movimiento de cursor</p>
	<p>Tecla VISUALIZACIÓN</p>	<p>Cambia la ventana en la misma pantalla de visualización</p>









c. Panel de control




En el panel de control o panel de máquina, son funciones definidos por el PLC interno del controlador, y cada una cumple una función específica, en la tabla 4.7 se indica las teclas con su respectiva función.

Tabla 4.7. Descripción de funcionamiento de teclas del panel de control.

Tecla	Nombre	Explicación de funcionamiento	Modo de funcionamiento
	<p>Tecla Pausa</p>	<p>La tecla puede pulsarse cuando la máquina está en marcha para hacer una pausa.</p>	<p>Auto, MDI</p>
	<p>Tecla Inicio de Ciclo</p>	<p>Inicio del ciclo comandado por el programa, el código de MDI</p>	<p>Auto, MDI</p>
	<p>Teclas de corrección de avance</p>	<p>Ajuste de la velocidad de avance</p>	<p>Auto, MDI, Edit , Machine Zero, MPG, Manual, Program zero</p>

	<p>Teclas de corrección de velocidad del cabezal</p>	<p>Ajuste de la velocidad del cabezal</p>	<p>Auto, MDI, Edit , Machine Zero, MPG, Manual, Program zero</p>
	<p>Teclas de corrección de velocidad en modo rápido</p>	<p>Ajuste de velocidad modo rápido</p>	<p>Auto, MDI, Edit , Machine Zero, MPG, Manual, Program zero</p>
	<p>Teclas de control de incremento de avance</p>	<p>Ajusta el incremento de movimiento de avance del eje seleccionado.</p>	
	<p>Teclas de refrigeración</p>	<p>Para la refrigeración ON / OFF</p>	<p>Auto, MDI, Edit , Machine Zero, MPG, Manual, Program zero</p>
	<p>Teclas de control de giro del cabezal</p>	<p>Para cabezal CCW Para parada Para cabezal CW</p>	<p>Machine zero, Manual, MPG, Program zero</p>
	<p>Tecla de ejecución bloque a bloque</p>	<p>Para cambiar de bloque / ejecución bloques, solo indicador de bloque se ilumina cuando el modo está activo</p>	<p>Auto, MDI</p>
	<p>Tecla de salto de bloque</p>	<p>Para saltar de bloque encabezado por "/" signo, si el interruptor se fija para ON, el salto de bloque se ilumina</p>	<p>Auto, MDI</p>

	Tecla de bloqueo de la máquina	Si la máquina se bloquea, su indicador se ilumina, y X, la salida del eje Z está inactivo.	Auto, MDI, Edit, Machine zero, Manual, MPG, Programzero
	Tecla de bloque M, S, T	Si la función auxiliar está bloqueado, su indicador se ilumina y M, S, T salida de la función está inactiva.	Auto, MDI
	Recorrido de prueba	Si recorrido de prueba está activa, el indicador seco luces dirigidas hacia arriba. Seque plazo para códigos de programa / MDI	Auto, MDI
	Teclas de avance manual	Para movimiento positivo / negativo de los ejes X, Z en modo manual	Machine zero, Manual, Program zero
	Tecla de modo EDIT	Para trabajar en modo EDIT	Auto, MDI, Machine zero, Manual, MPG, Programzero
	Tecla de modo AUTO	Para trabajar en modo AUTO	MDI, Edit, Machine zero, Manual, MPG, Program zero
	Tecla de modo MDI	Para trabajar en modo MDI	Auto, Edit, Machine zero, Manual, MPG, Programzero
	Tecla de modo MACHINE ZERO	Para trabajar en modo MACHINE ZERO	Auto, MDI, Edit, Manual, MPG, Program zero

	Tecla de modo MPG	Para trabajar en modo MPG	Auto, MDI, Edit, Machine zero, Manual, Program zero
	Tecla de modo MANUAL	Para trabajar en modo MANUAL	Auto, MDI, Edit, Machine zero, MPG, Program zero
	Tecla de modo PROGRAM ZERO	Para trabajar en modo PROGRAM ZERO	Auto, MDI, Edit, Machine zero, MPG, Manual

d. Modos de funcionamiento del torno CNC

- **Modo EDIT**, En este modo, se puede realizar la operación de configuración del programa de pieza, la supresión y la alteración.
- **Modo Auto**, En este modo, el programa se ejecuta de forma automática.
- **Modo MDI**, En este modo, se puede realizar la operación de entrada de parámetros, los bloques de comando de entrada y ejecución.
- **Modo cero máquina**, En este modo, el funcionamiento de X, Z retorno a cero de la máquina se puede realizar por separado.
- **Modo MPG**, En el modo de alimentación MPG, el movimiento se lleva a cabo por un incremento seleccionado por el sistema de CNC.
- **Modo manual**, En este modo, se puede realizar la operación de alimentación manual a cada eje, Manual rápido, avance el ajuste de anulación, el ajuste rápido de anulación y el husillo ON / OFF, lubricantes ON / OFF, jog del cabezal.
- **Modo de programa cero**, En este modo, el funcionamiento de X, Z retorno a cero programa puede llevar a cabo por separado.

4.2.10. Descargar un programa de código G en el controlador.

Para poder descargar un programa de códigos G entre PC y CNC se requiere del software TDComm2a, que es un software fácil de operar y tiene una comunicación alta eficiencia y la confiabilidad

Para la descargar un programa hacia el controlador, se ejecuta en software TDComm2a, se procede a dar clic en el botón [Add Files]>seleccione el archivo que se va a mecanizar > clic en el botón [Abrir], ver figura 4.20

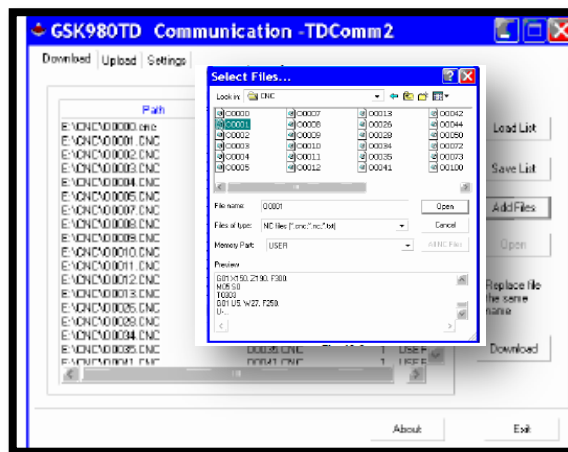


Figura 4.20: Forma de descargar un programa de códigos G

Una vez finalizado se da click en [Download], ver figura 4.21

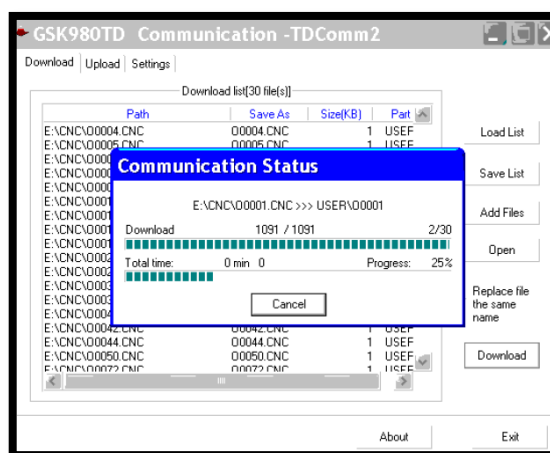


Figura 4.21: Forma de descargar un programa de códigos G

4.2.11. Tablero de control para el sistema automático del torno CNC.

En el tablero de control (figura 4.22) se implementa los siguientes elementos:

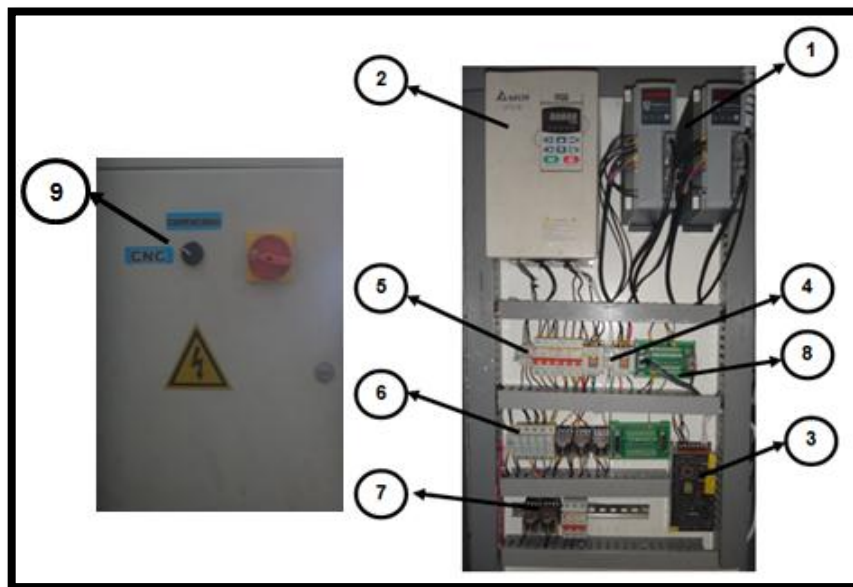


Figura 4.22: Tablero de control, parte externa e interior.

(1) Dos driver GSK DA98B alimentados con 220V de tensión AC para control servomotores, (2) Drive Delta VFD-B para el control del cabezal del torno con alimentación trifásica, (3) fuente de voltaje 24V DC que alimenta del circuito de control del torno y las entradas para el controlador, (4) dos contactores para el arranque de motores trifásicos, (5) tres brakers de protección para cada uno de los motores trifásicos, (6) 4 portafusibles y fusibles de protección de líneas de tensión, (7) 5 Relés a 24V DC(7), (8) tarjetas de comunicación de entradas y salidas digitales y analógicas, (9) selector de modos de operación.

4.2.12. Parametrización del servodrive.

Después de haber especificado los drives para el control de los servomotores de los ejes X y Z, (ver Sección 3.4), es necesario fijar los

valores adecuados de los parámetros necesarios para control de los mimos.

La relación de transmisión eléctrica para cada uno de los ejes (PA 12 y PA 13), viene dado por la ecuación 3.1:

$$G = \frac{N \times C \times 4}{P} \quad \text{Ec. 4.1}^{40}$$

Donde:

$$G = \text{relación de transmisión electrónica} = \frac{PA12}{PA13}$$

N = Numero de giros.

C = codificador fotoeléctrico líneas/rev, en este sistema C = 2500

P = Cantidad de pulso de entrada del controlador (1um por pulso)

El ajuste de los parámetros PA12 y PA13, es fácil para el usuario para que coincida con diversos recursos de pulso para conseguir la resolución de control deseable (es decir, ángulo/pulso).

a. Relación de transmisión eléctrica para eje X

$$P = \frac{Ph}{1 \text{ um}} \quad \text{Ec. 4.2}$$

Donde, Ph = paso del husillo.

$$P = \frac{5mm}{1 \text{ um}} \times \frac{1000um}{1mm}$$

$$P = 5000 \text{ pulsos}$$

La orientación por cantidad de pulsos para el eje x, viene dada por:

⁴⁰<http://www.despinsa.com.ar/uploads/productos/DA98/DA98B.pdf>

$$G = \frac{1 \times 2500 \times 4}{5000}$$

$$G = \frac{2}{1}$$

Por lo que el PA12 es igual a 2 y el PA13 es 1

b. Relación de transmisión eléctrica para eje Z

$$P = \frac{Ph}{1 \text{ um}}$$

$$P = \frac{10\text{mm}}{1 \text{ um}} \times \frac{1000\text{um}}{1\text{mm}}$$

$$P = 10000 \text{ pulsos}$$

Para calcular la orientación por cantidad de pulsos para el eje Z, se aplica la ecuación 4.1:

$$G = \frac{1 \times 2500 \times 4}{10000}$$

$$G = 1$$

Por lo que el PA12 es igual a 1 y el PA13 es 1

Es así que los parámetros de control fijados se detallan en la tabla 4.8.

Tabla 4.8. Parametrización de drive DA98B.

Parámetro N°	Función	Valor fijado	
		Eje X	Eje Z
PA 04	Modo de control	0	0
PA 05	Ganancia Proporcional de velocidad	150	150

PA 06	Velocidad integral de tiempo constante	6	2
PA 07	Frecuencia de corte del filtro de paso bajo de instrucción de esfuerzo de torsión.	200 %	600%
PA 08	Detección de aceleración de filtro paso bajo	800	800
PA 09	Ganancia proporcional de Orientación	30 /s	30/s
PA 11	Filtro de Orientación feedforward	300 Hz	300Hz
PA 12	Orientación de pulsos numerador	1	20
PA 13	Orientación de pulsos denominador	1	1

4.2.13. Parametrización del variador de frecuencia Delta VFD-B para el control de giro del cabezal.

Para el correcto desempeño del drive VFD-B, se necesitan fijar varios parámetros de acuerdo a las necesidades del proyecto, que se detallan a continuación en la tabla 4.9.

Tabla 4.9. Parametrización del drive VFD-B.

Parámetro N°	Función	Valor	Explicación
00-02	Parámetro de reset	10	(60Hz, 220V/440V/575V)
00-04	Visualización de función	00	Corriente de trabajo del motor
01-00	Frecuencia de salida máxima (Fmax)	60 Hz	50.00 a 400.00 Hz
01-02	Voltaje de salida máxima (Vmax)	230 V	series: 0.1V to 255.0V
01-05	Mínima salida de frecuencia (Fmi)	10HZ	0.10Hz a 400.00 Hz
01-06	Mínima salida de voltaje (Vmin)	10V	230V series: 0.1V a 255.0V
01-07	Límite máximo de salida de frecuencia	100%	1 - 120%

01-08	Límite mínimo de salida de frecuencia	0%	0 - 100%
01-09	Tiempo 1 de aceleración	5s	0.01 a 3600.0 sec
01-10	Tiempo 1 de desaceleración	5s	0.01 a 3600.0 sec
01-15	Aceleración / deceleración automática	00	Aceleración/ Desaceleración lineal
02-00	Fuente del Primer Comando de Frecuencias	01	0 a +10 V de AVI
02-01	Fuente de mando primera operación	01	Terminales externos. Teclado STOP / RESET habilitado.
02-02	Método de STOP	02	STOP: Rampa para parar; E.F.: Rampa para parar
02-03	PWM portador de selecciones de frecuencia	09	7.5-25hp/5.5-18.5kW: 01-15kHz
02-04	Control de la dirección del motor	00	Habilitación de avance / retroceso operación
04-02	Ganancia del AVI	100%	0-200%
07-00	Corriente nominal del motor	100%	30 a 120%
07-01	Corriente sin carga del motor	40%	01 a 90%
07-04	Numero de polos del motor	04	02 a10

4.3 PRUEBAS DEL SISTEMA MECÁNICO Y DE CONTROL DEL TORNO.

Una vez finalizada la implementación del sistema mecánico y de control se procede a efectuar las pruebas de funcionamiento en los ejes X,Z, como también del cabezal; 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, vibraciones y sin ruidos extraños.

4.3.1. Desplazamiento de los carros a lo largo de las coordenadas X, Z.

Para la verificación del movimiento de los ejes X, Z, se tiene 2 métodos, los cuales son:

- a. **Modo Jog** con los botones de avance rápido, figura 4.23



Figura 4.23 Controles de avance.

- b. **Modo MPG** con el Handwhell, seleccionando el eje a desplazarse y su respectivo incremento de avance, figura 4.24.



Figura 4.24: Control de avance.

Ambos métodos nos brindan la opción de mover los ejes correspondientes tanto X+, X-, Z+, Z-, para comprobar que se mueven de manera correcta en la dirección seleccionada.

4.3.2. Encendido del cabezal.

Una vez culminada la configuración de los parámetros necesarios para encender el cabezal tanto el controlador **980TDa** como en el drive **VDF-B**, se verifica la alimentación de la máquina y se procede a realizar el encendido del cabezal (figura 4.25) tomando en cuenta las precauciones necesarias para el arranque del mismo, ya sea mediante los comandos G o modo JOG.

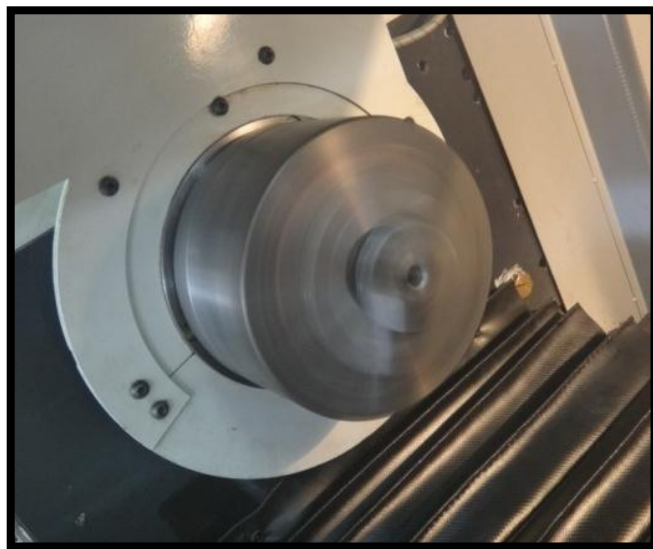


Figura 4.25: Encendido del cabezal.

4.4 ENLACE CAD/CAM.

El diseño asistido por computadora (CAD) de las piezas a mecanizar se realiza mediante el software SolidWorks, como se observa en la figura 4.26.

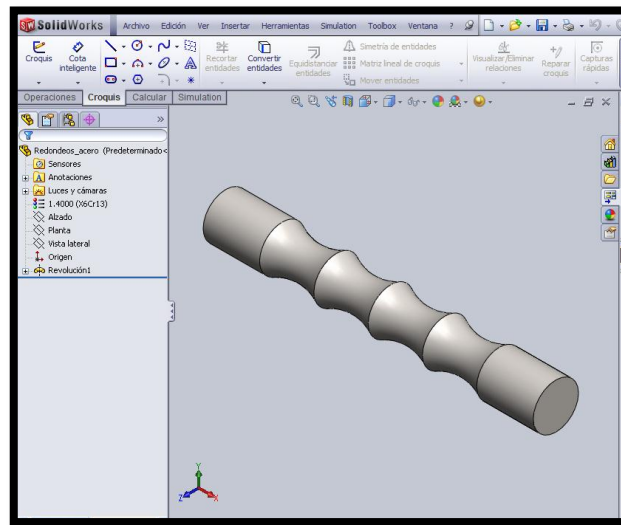


Figura 4.26: CAD en SolidWorks.

Ya finalizada el diseño de la pieza a mecanizar se procede a exportarla a Mastercam, que es un paquete computacional de apoyo para realizar CAM (manufactura asistida por computadora), generando programas de control numérico, permitiendo la creación de geometrías y trayectorias de herramientas en 2 y 3 dimensiones, ofreciendo soluciones para distintas los distintos tipos de operaciones de mecanizado, configurando previamente las velocidades de avance y del cabezal, además se puede simular el mecanizado (figura 4.27).

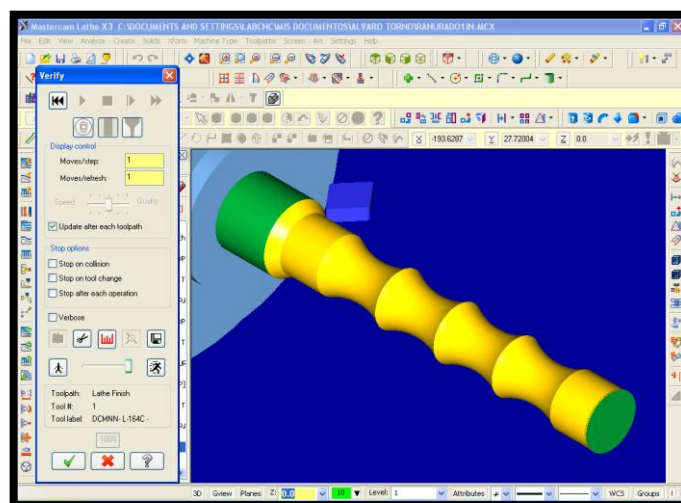
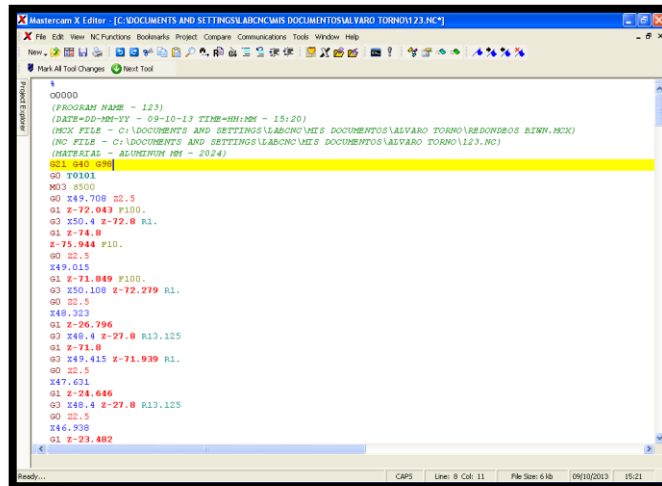


Figura 4.27: CAM en Mastercam.

Para finalizar una vez verificado el correcto mecanizado virtual, Mastercam permite generar los códigos G como se observa en la figura 4.28, de la pieza a procesar.



```
O0000
(PROGRAM NAME = 123)
(DATE=DD-MM-YY - 09-10-13 TIME=HH:MM - 15:20)
(MCM FILE = C:\DOCUMENTS AND SETTINGS\LABOR\MIS DOCUMENTOS\ALVARO TORNO\RENDIDOS BINN.MCM)
(CNC FILE = C:\DOCUMENTS AND SETTINGS\LABOR\MIS DOCUMENTOS\ALVARO TORNO\123.NC)
(MATERIAL = ALUMINUM 6061 - 2024)
G1 G40 G90
M03 S500
G0 X49.708 Z2.5
G1 Z-72.043 F100.
G3 X50.4 Z-72.8 R1.
G1 Z-74.8
Z-75.944 F10.
G0 Z1.5
X49.015
G1 Z-71.849 F100.
G3 X50.108 Z-72.279 R1.
G0 Z1.5
X48.323
G1 Z-26.796
G3 X48.4 Z-27.8 R13.125
G1 Z-71.8
G3 X49.415 Z-71.939 R1.
G0 Z1.5
X47.631
G1 Z-24.646
G3 X48.4 Z-27.8 R13.125
G0 Z1.5
X46.938
G1 Z-23.482
```

Figura 4.28: Códigos G.

4.5 PRUEBAS DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DEL TORNO CNC

4.5.1. Cero absolutos o referencia de la máquina.

La máquina necesita partir de un punto de referencia ya configurado en el controlador 980TDa (ver sección 4.2.1), donde el mismo referencia a cada eje, los cuales se van a trasladar hasta llegar a las coordenadas del home X, Z hasta que los sensores de referencia o cero absoluto detengan los carros en la coordenada 0,0 de la máquina

En la figura 4.29, se puede observar el punto de referencia donde los carros se posicionan y esperan la orden de inicio.

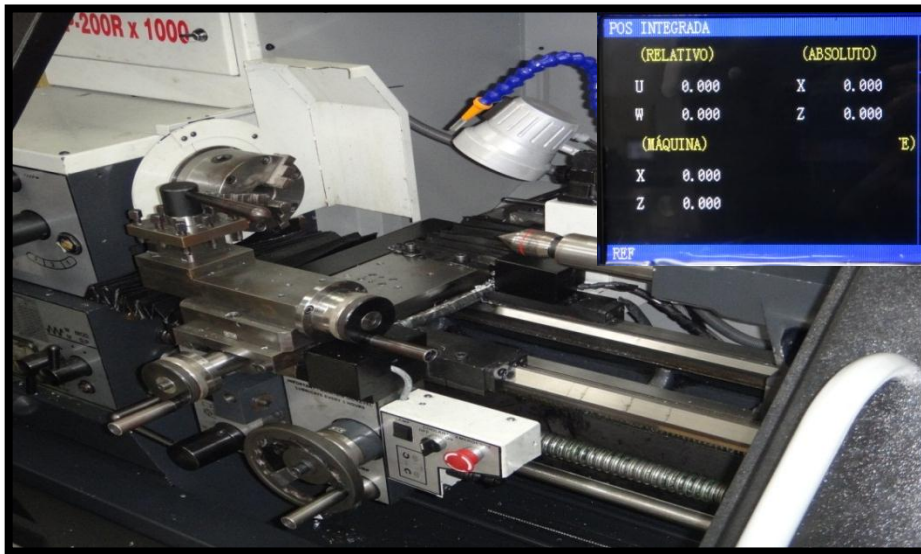


Figura 4.29: Punto de referencia o cero absoluto.

Esta misma posición es la que se utiliza como punto base, para el desacople o acople de los ejes ya sea para utilizarla la máquina como torno convencional o CNC

4.5.2. Mecanizado del torno CNC

Para realizar una explicación detallada de pruebas de mecanizado, se diseñó una pieza de torneado como se observa en la figura 4.30, el diseño de la pieza en SolidWorks.

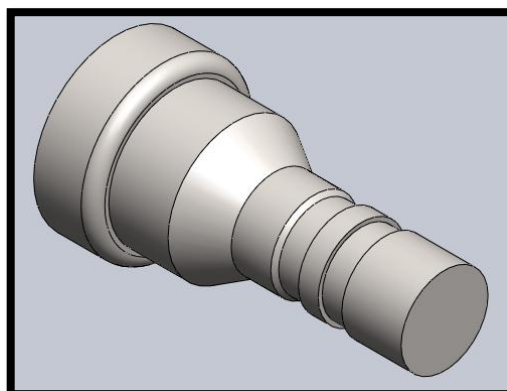


Figura 4.30: Diseño de la pieza de torneado en SolidWorks.

a. Referencia de la pieza para torneado.

El controlador **GSK 980TDa** 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 los ejes del home hasta llegar al cero pieza de torneado, guardándolo como coordenadas cero pieza (G50 X0, Z0)

La figura 4.31, se muestra el cero pieza para torneado.

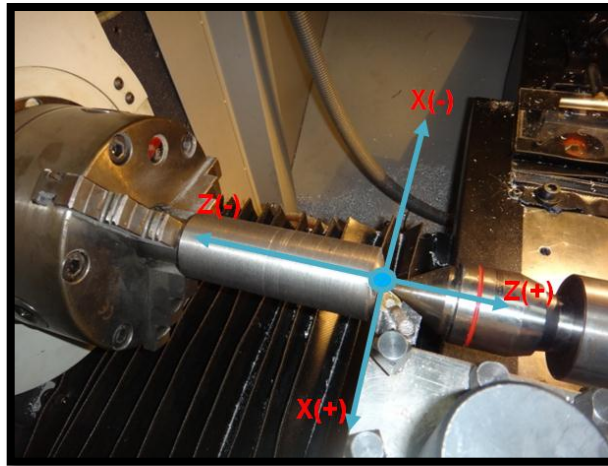


Figura 4.31: Cero pieza del torneado.

b. Mecanizado de la pieza para torneado.

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 al controlador (Sección 4.2.10). 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 4.32 se muestra el mecanizado en torno.



Figura 4.32: Mecanizado en Torno.

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 O.

4.7 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

Los siguientes resultados fueron obtenidos durante los procesos de prueba del torno CNC, en forma real y precisa.

4.7.1. Resolución de la máquina.

La resolución promedio en tornos CNC, viene dado por la tabla 4.10, independientemente para cada eje con respecto al diámetro del husillo.

Tabla 4.10. Resolución promedio en tornos CNC

Diámetro exterior del eje de husillo (mm)		Desviación máxima
Por encima	O menos	(um)
8	12	14
12	20	14
20	32	20
32	50	20
50	80	20

Por lo tanto la resolución del cada eje es:

- Eje X = 0,02 mm
- Eje Z = 0,02 mm

4.7.2. Cálculo de la precisión de la máquina.

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

$$P = R \pm J \quad \text{Ec. 4.3}$$

En donde:

R= Resolución obtenido por cada eje, la cual fue calculada en la Sección 4.7.1.

J= Juego característico de los tornillos acoplados en cada una de las estructuras móviles del torno.

En los carros X 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 $J_x = J_z = \pm 0$.

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: X=0.02mm y Z= 0.02mm; durante los procesos de maquinado real se pudo verificar que se obtuvieron resultados aceptables, los tiempos de maquinado son considerables pequeños.

4.7.3. Pruebas de precisión y resolución en torneado.

Se procede a realizar un cilindrado de un eje de acero de 52mm a 38mm de diámetro (figura 4.33), por una longitud de 95mm para poder determinar sus variaciones se toma varios puntos de muestreo.



Figura 4.33: Toma de muestra de cilindrado.

La toma de muestras se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 4.11. Muestras del cilindrado.

CILINDRADO DE EJE DE ACERO				
<i>De $\phi=52\text{mm}$ a $\phi=38\text{mm}$</i>				
Nº de muestra	Medidas tomadas			
	0° - 180°	45° - 225°	90° - 270°	135° - 315°
1	38.000	38.025	37.983	37.986
2	37.964	37.980	37.991	38.051
3	38.007	38.004	38.019	38.026
4	38.002	38.020	38.000	38.042
5	38.034	37.974	37.971	38.008
6	37.978	37.985	38.002	38.021
7	38.011	38.032	37.985	38.005
8	38.021	38.021	37.968	37.945
Promedio	38.002	38.005	37.990	38.011

Con los datos de la tabla 4.11 se realiza los gráficos estadísticos siguientes:

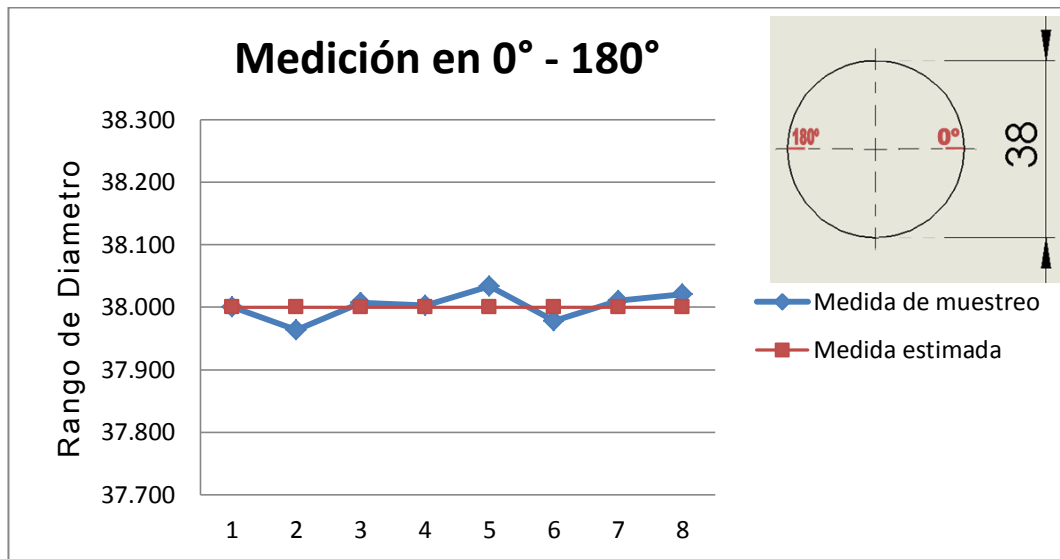


Figura 4.34: Medición en 0°-180°.

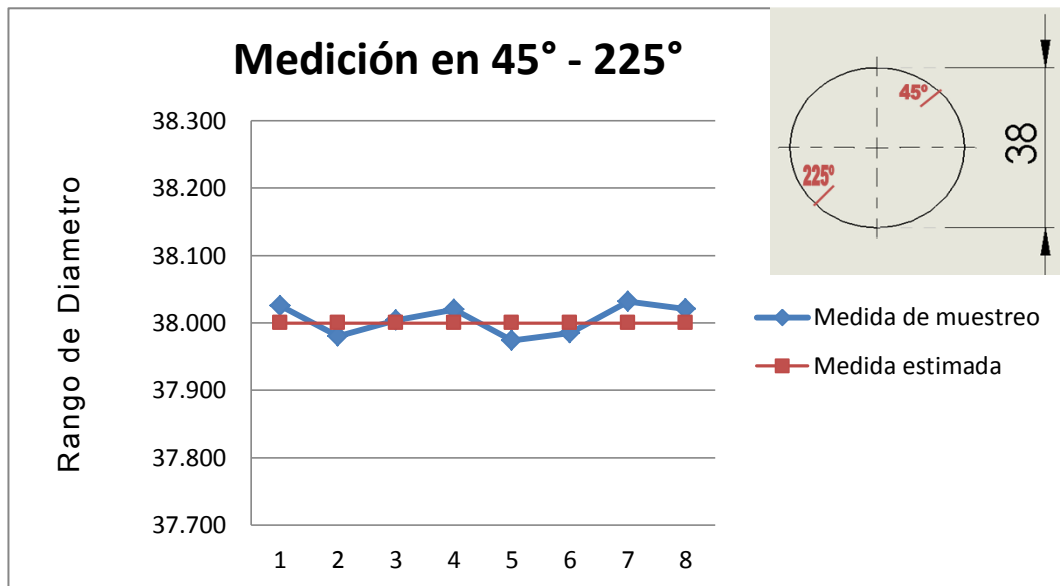


Figura 4.35: Medición en 45°- 225°.

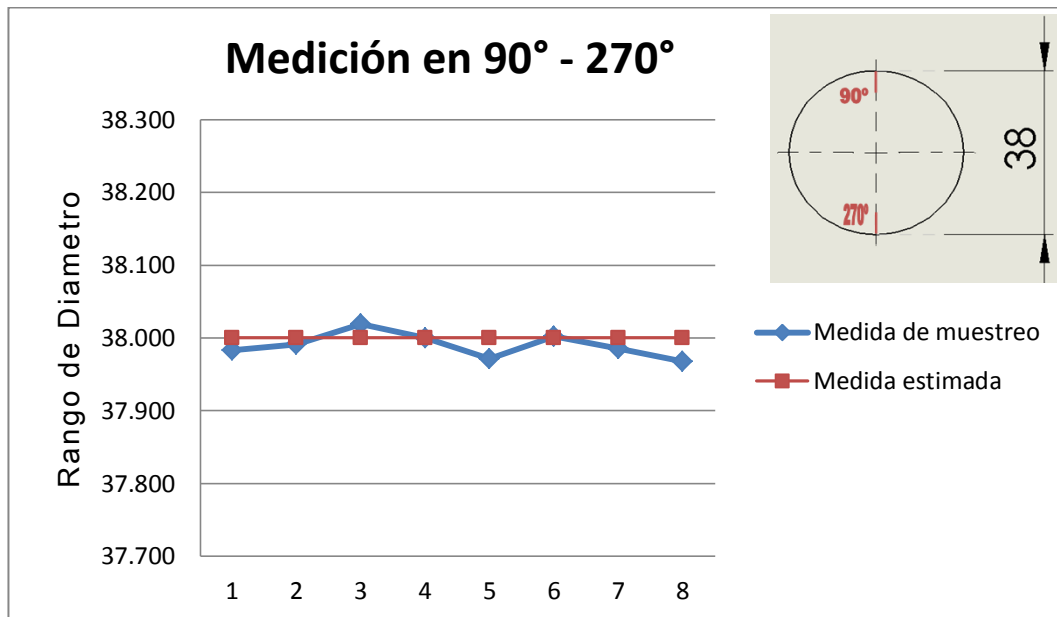


Figura 4.36: Medición en 90° - 270°.

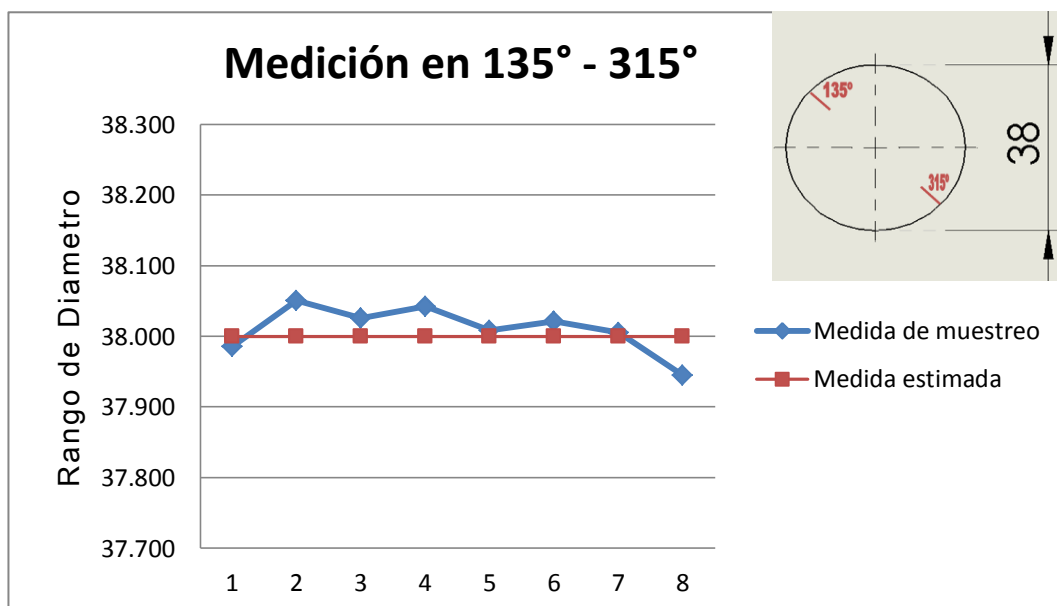


Figura 4.37: Medición en 135° - 315°.

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 máquina está dentro de los parámetros de diseño.

Para un mayor análisis se realiza un ranurado sinusoidal; con las dimensiones que se observa en la figura 4.38.

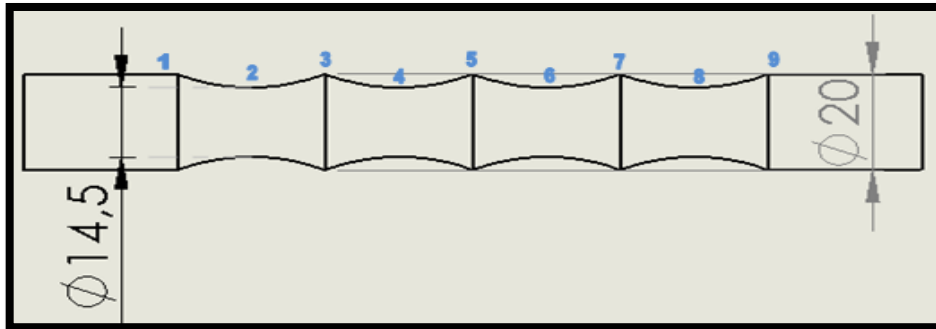


Figura 4.38: Dimensiones de Ranurado sinusoidal.

Como se observa en la figura 4.39, se determina varios puntos de muestreo para el producto final.



Figura 4.39: Ranurado sinusoidal.

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

Tabla 4.12. Muestras de ranurado sinusoidal.

RANURADO SINUSOIDAL			
Nº Muestra	Medidas estimadas	Medidas tomadas	Resolución
1	20,000	19,985	0,015
2	14,500	14,495	0,005
3	20,000	20,000	0,000

4	14,500	14,512	0,012
5	20,000	20,014	0,014
6	14,500	14,519	0,019
7	20,000	19,961	0,039
8	14,500	14,514	0,014
9	20,000	20,021	0,021

Con los datos de la tabla 4.12, se realiza el siguiente gráfico estadístico (figura 4.40).



Figura 4.40: Muestreo de ranurado sinusoidal.

De la gráfica se puede concluir que las medidas de error en resolución, se encuentran dentro del rango de valores aceptados para máquinas CNC, a excepción de la medida de 0.039 que se puede asumir como error en la medición.

4.7.4. Pruebas de penetración, avance y fuerza máxima permitida

Uno de los materiales más duros en el mercado nacional es el Acero inoxidable con un $K_s = 179$, es por ello que se realiza pruebas de avance y penetración máxima permitida en este material.

En la figura 4.41 se visualiza el croquis de la pieza a mecanizar para esta prueba.

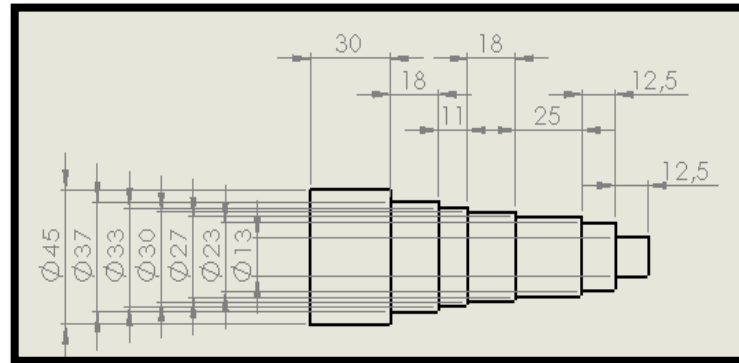


Figura 4.41: Dimensiones de pieza de pruebas de penetración.

a. Velocidades de corte :

- **Aceros**

$$V_c = 35 \left(\frac{m}{min} \right) \rightarrow \text{Acabado}$$

$$V_c = 27 \left(\frac{m}{min} \right) \rightarrow \text{Desbastado}$$

- **Aluminio**

$$V_c = 61 \left(\frac{m}{min} \right) \rightarrow \text{Acabado}$$

$$V_c = 93 \left(\frac{m}{min} \right) \rightarrow \text{Desbastado}$$

b. Velocidad de avance máxima:

- **Aceros**

La velocidad de avance máxima permitida en desbaste para aceros inoxidables es de **70mm/min.**

- **Aluminio**

La velocidad de avance máxima permitida en desbaste para aluminio es de **120mm/min.**

c. Avances máximo:

$$s = 0.5 \left(\frac{mm}{rev} \right) \rightarrow \text{Aceros}$$

$$s = 0.75 \left(\frac{mm}{rev} \right) \rightarrow \text{Aluminio}$$

De la sección 1.4.5, se verifica la ecuación 1.5:

$$F_C = k_{S0} * s * a$$

Tabla 4.13. Cálculo de fuerzas de corte.

Diámetro	45 a 37	37 a 33	33 a 30	30 a 27	27 a 23	23 a 13
Profundidad por pasa (a)[mm]	0.25	0.5	1	1.5	2	2.5
Fc (Acero Inoxidable) [N – m]	22.38	44.75	89.50	134.25	179.00	223.75
Fc (aluminio) [N – m]	18.75	37.50	75.00	112.50	150.00	187.50

Con los datos de la tabla 4.13 se realiza el siguiente gráfico estadístico, (figura 4.42).

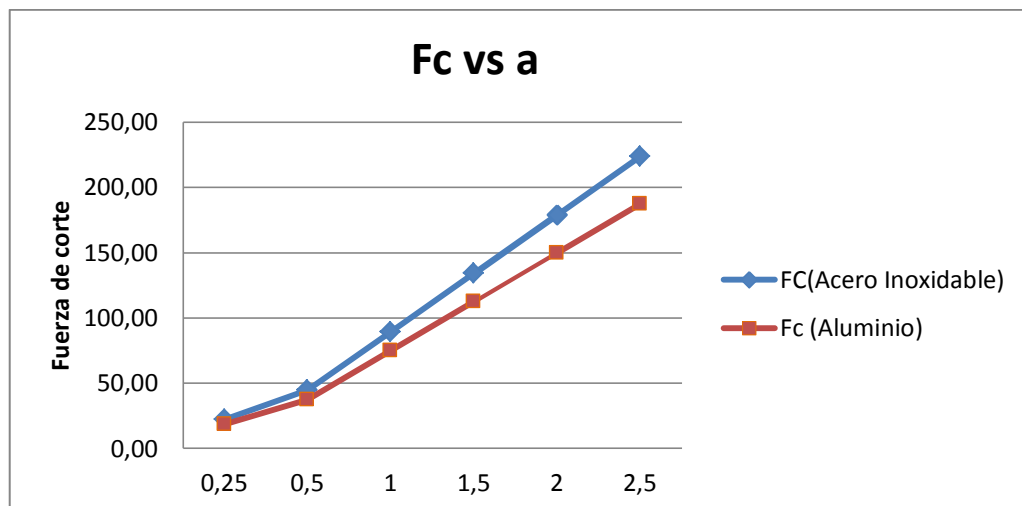


Figura 4.42: Muestreo fueras de corte.

Después de las pruebas de penetración y avance en aceros inoxidables, se obtiene y con los gráficos estadísticos mostrados se puede concluir

que la máquina-herramienta no tendrá ningún inconveniente de trabajo si se maneja dentro de los rangos especificados.

4.7.5. Análisis de corriente y potencia eléctrica consumida.

Dato de vital importancia, es la corriente consumida por el motor principal al momento del mecanizado, por ello se tomo los datos de corriente requerida por el motor en el momento de mecanizar acero a distintas profundidades por pasada, con los datos obtenidos se elabora la siguiente tabla:

Tabla 4.14. Corriente medida en variador de frecuencia al mecanizar acero.

Diámetro (mm)	45 a 37	37 a 33	33 a 30	30 a 27	27 a 23	23 a 13
Profundidad por pasa (a)[mm]	0,25	0,5	1	1,5	2	2,5
Corriente Medida (I) [A]	6,50	7,20	8,90	10,80	11,30	12,10

Con los datos de la Tabla 4.14 se realiza el siguiente gráfico estadístico (figura 4.43).

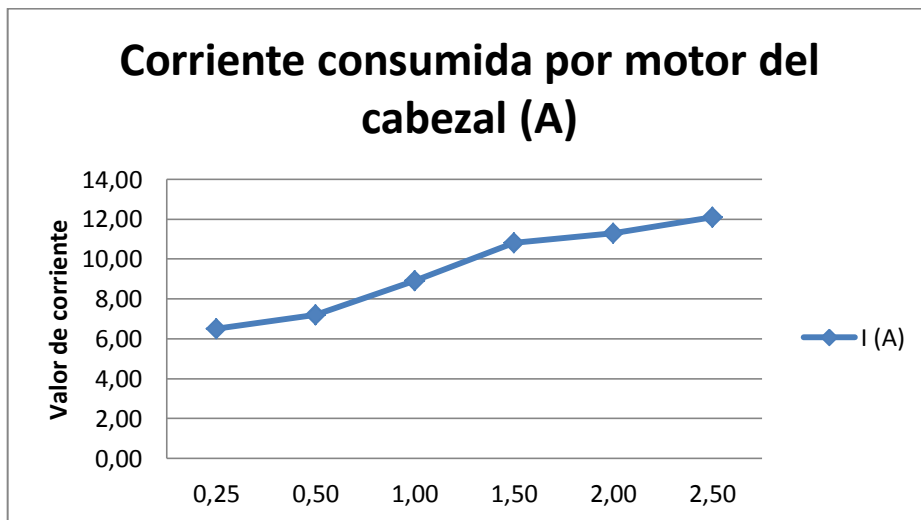


Figura 4.43: Muestreo de corriente consumida.

- **Cálculo de potencia eléctrica consumida:**

La potencia eléctrica se calcula mediante la ecuación 4.4.

$$\text{Potencia eléctrica (W)} = \text{Voltaje (V)} \times \text{Corriente eléctrica (A)} \quad \text{Ec. 4.4}$$

El voltaje de alimentación de la máquina es de 220V, ver Anexo N.

Tabla 4.15. Potencia consumida por profundidad de pasada.

a (mm)	0,25	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
I (A)	6,50	7,20	8,90	10,80	11,30	12,10
Potencia eléctrica (Kw)	1,43	1,58	1,96	2,38	2,49	2,66

Con los datos de la tabla 4.15 se realiza el siguiente gráfico estadístico (figura 4.44).

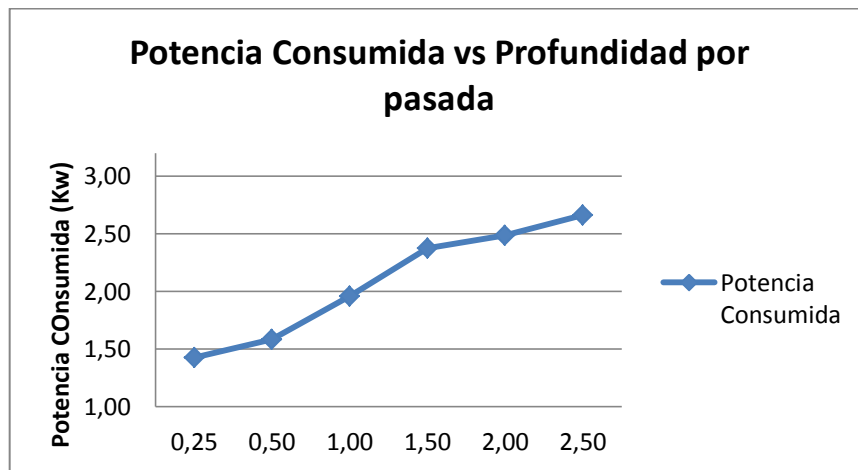


Figura 4.44: Muestreo de potencia consumida

Conociendo que la potencia de la máquina es de 3.36Kw, ver sección 2.2, se puede decir que si se trabaja bajo los parámetros especificados de velocidad de corte, velocidad de avance y profundidad de pasada la máquina se desempeñara con un porcentaje de trabajo de: **87.5%**, y de manera se puede concluir que no tendrá ningún tipo de inconveniente en el mecanizado.

En la figura 4.45 se observa la pieza mecanizada en esta prueba.

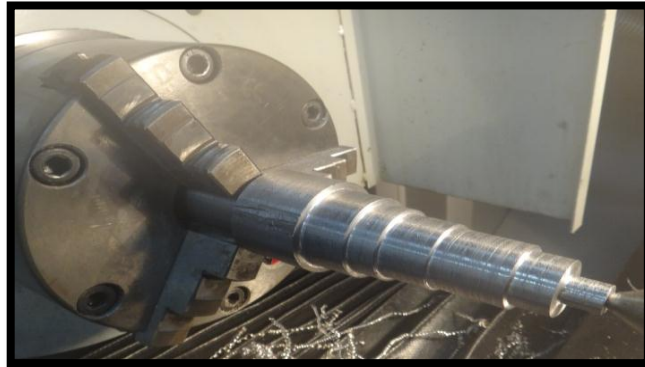


Figura 4.45: Pieza de pruebas de penetración.

4.7.6. Prueba de repetibilidad.

Para realizar un análisis de repetibilidad, se realizo pruebas de posicionamiento de la cuchilla con respecto a un solo cero pieza (figura 4.46), al realizar distintas operaciones de ranurado CNC y manual simultáneamente.



Figura 4.46: Posición de repetibilidad

En la figura 4.47 se indica la modificación de la lista de los códigos G para el programa, para que la cuchilla se posicione en la zona de repetibilidad.

```

%
O0032
G21 G40 G98
G0 T0101
G1 X55 Z10 F500 (ZONA DE REPETIBILIDAD)
M03 S350
G0 X37.01 Z2.5
G98 G1 Z-59.8 F60.
X38.
G0 Z2.5
X36.02
G1 Z-59.8
X37.41
G1 X235 F600 (CERO MÁQUINA CON RESPECTO A DATOS DEL CERO F
M01
Z-90.3 (CERO MÁQUINA CON RESPECTO DATOS DEL CERO PIE
M05
T0100
M30
%
```

Figura 4.47: Códigos de posicionamiento en la zona de seguridad.

Los datos medidos se detallan en la tabla 4.16.

Tabla 4.16. Tabla de repetibilidad en cilindrado.

Operación	CNC	Manual	CNC	Manual	CNC	Manual	CNC	Manual	Promedio	Promedio
Tamaño	40,000	38,000	36,000	34,000	32,000	30,000	28,000	26,000		
Longitud	60,000	60,000	60,000	60,000	60,000	60,000	60,000	60,000		
Zona de seguridad X	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	CNC	Manual
Zona de seguridad Z	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000		
Error eje X	0,125	0,895	0,234	0,790	0,084	1,285	0,152	1,950	0,149	1,230
Error eje Z	0,105	1,230	0,129	2,350	0,210	2,510	0,136	1,440	0,145	1,883

Con los datos de la tabla 4.16 se realiza el siguiente gráfico estadístico (figura 4.48).

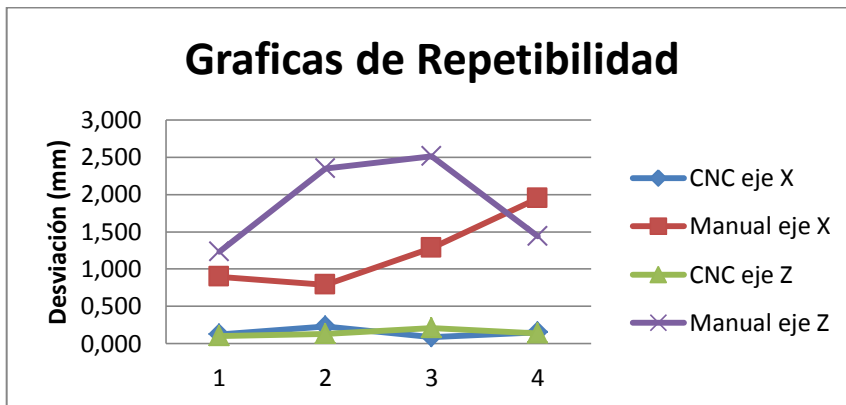


Figura 4.48: Muestreo de repetibilidad.

Con esto se puede concluir, que los valores de repetibilidad a pesar de no tener una excelente precisión, se encuentran bajo medidas considerables a comparación de una máquina convencional en la cual la zona de repetibilidad depende del ojo humano.

Para realizar un mecanizado CNC perfecto, se debe tomar muy en cuenta los valores promedios de error.

4.8 ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO

Una vez implementado el torno CNC y con su correcto funcionamiento, es necesario realizar un análisis técnico - económico para valorar su aplicación.

En la tabla 4.17, se indican el costo de materiales y equipos para la implementación.

Tabla 4.17. Valores de elementos utilizados

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	P.UNITARIO	P. TOTAL
1	Torno PINACHO	1	14500	14500
2	Husillos de bolas de diámetro 20	1	100	100
3	Tuerca BTN 20-05 para husillo de bolas	1	160	160
4	Husillo de bolas de diámetro 40	1	667	667
5	Tuerca THZ 40-10 para husillo de bolas	1	400	400
6	Sistemas de Servomotores AC	2	2200	4400
7	Controlador GSK 980TDa	1	2000	2000
8	Variador de frecuencia VDF-B	1	900	900

9	Encoder	1	120	120
10	Material Eléctrico	1	500	500
11	Material Mecánico	1	700	700
12	Carcasa	1	850	850
13	Mano de obra (mensual básico de un ingeniero)	4	380	1520
			TOTAL	26.817

Con todas las inversiones anteriormente mencionadas se realizó una inversión total de 26.817 USD para el proyecto; tornos CNC PINACHO de serie Mustang 200R*1000 se encuentran evaluados a un costo de 45.000 USD, con lo que se obtuvo un costo beneficio de 18.183 USD.

Por las características de la máquina, se trata de un torno único en el mercado nacional, el cual puede ser implementado a nivel industrial, para el desempeño laboral de operarios que no dominen la programación en códigos G, hasta que sean capacitados y obtengan experiencia en el uso de maquinaria CNC.

4.9 VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS.

La hipótesis planteada para el proyecto es:

¿Disponiendo de un torno paralelo convencional y diseñando el sistema de control, se podrá convertir en un torno paralelo de Control Numérico Computarizado?

Se pudo convertir el torno convencional en uno por control numérico computarizado con la ayuda del Laboratorio CNC de la ESPE extensión Latacunga; este proyecto será útil para prácticas del mismo laboratorio y para la producción en serie de piezas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. CONCLUSIONES:

- La máquina que se obtuvo es única en el mercado nacional, la cual nos permite realizar la producción en serie de piezas como torno CNC, y piezas en cantidades menores como torno convencional.
- La máquina tiene la posibilidad de ser implementada a nivel industrial para poder contribuir a la generación de trabajo y la producción de mejores recursos en diferentes empresas a nivel nacional.
- La resolución promedio de la máquina es de 0.018mm, una resolución muy aceptada en la industria de la maquinaria CNC.
- La potencia eléctrica de la máquina después de someterla a distintas pruebas con profundidades por pasada diferentes, no excede a la nominal, puesto que tiene un consumo equivalente al 87.5%.
- La corriente máxima medida en el proceso de maquinado es de 11.3 A, dicho valor se encuentra dentro del rango de corriente nominal del motor principal.
- Al realizar las pruebas como torno CNC y manual, se puede notar que es una máquina eficiente, ya que con los recursos utilizados trabaja de manera similar a de máquinas importadas desde el extranjero.
- La conversión de un torno convencional a uno por control numérico computarizado, es un proyecto que posee un gran nivel de investigación ya que se recopiló información sobre el funcionamiento y operación de distintos tornos convencionales y

CNC con el fin de implementar una máquina con las dos opciones de operación.

- 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.
- La máquina por brindarnos dos opciones de desempeño, que permite elegir a conveniencia de usuario su modo de operación, de acuerdo a la complejidad de la pieza y del número de las mismas que se desea obtener.
- Con la implementación de este sistema automático de torno 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 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,.
- El manejo de programas tales como SolidWorks (CAD) y Mastercam (CAM), hacen que el uso del torno CNC sea común y por consiguiente accesible para la mayoría de estudiantes y docentes que conocen acerca de estos programas.

5.2. RECOMENDACIONES:

- Bajo ningún motivo superar los límites de velocidad de avance ya especificados, para materiales duros como acero.

- Para el proyecto implementado producto del diseño se recomienda diseñar proyectos relacionados un cambiador automático de herramientas, ya que con esto complementara la automatización de la máquina.
- Después de analizar los errores de repetibilidad, se recomienda mejorar el mecanismo de piñón-cremallera existente en el del volante del eje Z, ya que con esto se mejorar la precisión del torno en este eje.
- Tener en muy cuenta los datos de repetibilidad, para el uso de torno en mecanizados que requieran el uso manual y CNC
- Antes de operar la máquina se deben conocer sus características técnicas, tales como: recorridos de los ejes, velocidades máximas tanto del cabezal, 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 O.
- Verificar de forma regular los parámetros de configuración o calibración del torno dentro del controlador GSK 980TDa, con el fin de arreglar algún tipo de desconfiguración que se haya dado, además para obtener los mejores resultados de mecanizado posibles.
- 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 puede causar lesiones por quemaduras o corte, además ayuda al operario para que se acostumbre al momento de utilizar una máquina a nivel industrial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ñema Gutiere, Torno y sus partes. Extraído el 15 de octubre del 2012, <http://victoria1.blogia.com/2009/042802-8.2.-torno-y-sus-partes.php>
- Raúl Alonso González Franco, Conceptos fundamentales de CAD/CAM/CAE. Extraído el 16 de octubre del 2012, <http://es.scribd.com/doc/12750150/CONCEPTOS-FUNDAMENTALES-CADCAMCAE>
- Universidad Tecnológica Nacional, Que es CNC. Extraído el 20 de octubre del 2012, <http://www.frvt.utn.edu.ar/cadcam-info.asp>
- WESCO, Torno CNC. Extraído el 20 de octubre del 2012, <http://www.metalactual.com/revista/12/maquinariatornoscnc.pdf>
- CIMCO Documentación, Operaciones de torneado. Extraído el 24 de octubre del 2012 desde, http://www.cimco.com/docs/cimco_cnc-calc/v6/es/#frontpage
- 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 27 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.
- VillalbaD, Velocidades y avance para corte, Extraído el 5 de noviembre del 2012 desde, <http://areamecanica.azc.uam.mx/Cnc/Archivos/Ejemplo%20Velocidad%20de%20corte.pdf>
- SMITH William F., Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales, McGraw Hill, Tercera Edición, página. 439.

- Felipe D., Introducción a los sistemas de control, Extraído el 16 de noviembre del 2012 desde, http://www.isa.cie.uva.es/~felipe/docencia/ra12itielec/tema1_trasp.pdf
- Carlos Alex, Conceptos de precisión, sensibilidad y exactitud, Extraído el 17 de noviembre del 2012 desde, <http://es.scribd.com/doc/53462588/CONCEPTO-DE-PRECISION-sensibilidad-exactitud>
- Bolaños D, Motores Eléctricos. Extraído el 16 de noviembre del 2012 desde, <http://www.bolanosdj.com.ar/MOTORES/MOTORES.PDF>
- Robaq, Los servomotores. Extraído el 20 de noviembre del 2012 desde, <http://robaq.blogspot.es/i2011-01/>
- P.Molina, Que es un sensor. Extraído el 22 de noviembre del 2012 desde, http://www.profesormolina.com.ar/tecnologia/sens_transduct/que_es.htm
- WIKINPEDIA, Variador de frecuencia. Extraído el 26 de noviembre del 2012 desde, http://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_frecuencia
- Nicolás V. Castiglione, Transmisión del movimiento a los ejes de los CNC, Extraído el 02 de diciembre del 2012 desde, <http://www.revistalettreros.com/pdf/108-034a039.pdf>
- METOSA, PINACHO. Extraído el 28 de noviembre del 2012 desde, http://www.metosapinacho.com/catalogos/smart/pinacho_smart_turn_es.pdf
- MOTT Robert L., Diseño de Elementos de Máquinas, Prentice Hall, Cuarta Edición, página 185.
- Korta. Catalogo técnico husillo a bolas. Cálculos de diseño. Par e inercia. Pag58.

- The Engineering ToolBox. Friction and Coefficients of Friction.Extraído el 18 de diciembre del 2012 desde, http://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html
- NationalElectricalManufacturerAssociation, La vida del motor. Extraído el 20 de diciembre del 2012 desde, <http://www.mty.itesm.mx/etie/deptos/ie/profesores/allamas/cursos/ueee/motores/selecci%F3n.PDF>
- CNCmakers Limited, SJT Series AC Servomotor. Extraído el 4 de enero del 2013 desde, <http://www.cncmakers.com/uploads/soft/100929/SJT%20AC%20Servo%20Motor.pdf>
- MITSUBISHI ELECTRIC, MelservoJ3, Extraído el 4 de enero del 2013 desde, http://www.mitsubishielectric.com/fa/products/drv/servo/items/mr_j3/index.html
- SMITH William F., Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales, McGraw Hill, Tercera Edición, página. 468.
- Lovejoy., Acoples flexibles de mordaza. Extraído el 14 de enero del 2013 desde, <http://www.lovejoy-inc.com/>
- DISAI, Acoples flexibles, Extraído el 20 de enero del 2013 desde, http://www.disai.net/public/images/catalogos/doc/HOHNER/A_coplamientos.pdf
- MOTT Robert L., Diseño de Elementos de Máquinas, Prentice Hall, Cuarta Edición, página 185, Apéndice 1, página A-1.
- SUMITEC, Aceros Grado Maquinaria, Extraído el 3 de febrero del 2013 desde, <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%201020.pdf>

GLOSARIO

A

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

D

Delantal: Es la parte del carro que da hacia abajo, frente al operador. Contiene los engranajes y los embragues de avance que transmiten el movimiento del tornillo patrón y de la barra de cilindrar carro longitudinal y transversal.

Ductilidad: Es una propiedad que presentan algunos materiales, como las aleaciones metálicas o materiales asfálticos, los cuales bajo la acción de una fuerza, pueden deformarse sosteniblemente sin romperse

H

Hardware: Todos los elementos físicos del computador ó PLC.

Hermético: cierra perfectamente y no deja pasar el aire ni el líquido:

I

IGBT: Insulated Gate Bipolar Transistor

S

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

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

SKF: SvenskaKullagerfabriken AB, Empresa dedicada a la automatización de máquinas herramientas.

ANEXOS