



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

AUTOR: JORGE ARMANDO ALMEIDA DOMÍNGUEZ

**TEMA: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL RETROFIT DE UN TORNO
CM6241X1500 DE 1500 mm. DE DISTANCIA ENTRE CENTROS PARA LA
EMPRESA MIVILTECH S.A”**

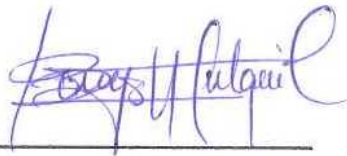
DIRECTOR: ING. BORYS CULQUI

CODIRECTOR: ING. HUGO ORTIZ

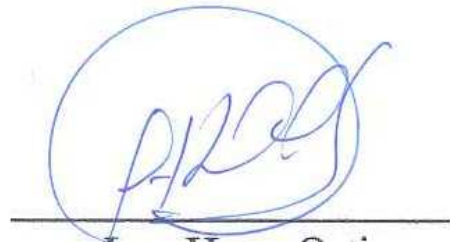
SANGOLQUÍ, AGOSTO 2015

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL RETROFIT DE UN TORNO CM6241X1500 DE 1500 mm. DE DISTANCIA ENTRE CENTROS PARA LA EMPRESA MIVILTECH S.A**”, fue realizado en su totalidad por Jorge Armando Almeida Domínguez, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica



Ing. Borys Culqui
DIRECTOR



Ing. Hugo Ortiz
CODIRECTOR

SANGOLQUÍ, AGOSTO 2015

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

JORGE ARMANDO ALMEIDA DOMÍNGUEZ

El proyecto denominado **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL RETROFIT DE UN TORNO CM6241X1500 DE 1500 mm. DE DISTANCIA ENTRE CENTROS PARA LA EMPRESA MIVILTECH S.A”**, ha sido ejecutado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos de autor, conforme a las citas que constan en el texto desarrollado, cuyas fuentes se incorporan en el capítulo de referencias bibliográficas.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del presente proyecto de grado.



Jorge Armando
Almeida Domínguez

SANGOLQUÍ, AGOSTO 2015

AUTORIZACIÓN

Yo: Jorge Armando Almeida Domínguez

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL RETROFIT DE UN TORNO CM6241X1500 DE 1500 mm. DE DISTANCIA ENTRE CENTROS PARA LA EMPRESA MIVILTECH S.A”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.



Jorge Armando
Almeida Domínguez

SANGOLQUÍ, AGOSTO 2015

DEDICATORIA

A Dios por brindarme fuerza necesaria cada día para poder concluir el presente proyecto.

A mis padres Jorge e Isabel, por darme su apoyo, comprensión e incentivar me día a día para lograr las metas propuestas.

A mis hermanos Javier y Ma. Isabel por darme ánimos para seguir siempre adelante.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa MIVILTECH S.A por darme la oportunidad de realizar el presente proyecto.

A la carrera de Ing. Mecatrónica de la Universidad de la Fuerzas Armadas "ESPE", por los conocimientos impartidos a lo largo de la carrera universitaria.

Al Sr. Ing. Borys Culqui y al Sr. Ing. Hugo Ortiz, por la ayuda impartida para la realización del presente proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xvii
PALABRAS CLAVES:	xvii
ABSTRACT.....	xviii
CAPÍTULO I.....	1
GENERALIDADES	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes.....	1
1.3. Justificación.....	2
1.4. Alcance.....	3
1.4.1. Objetivos.....	4
1.4.1.1. Objetivo General.....	4
1.4.1.2. Objetivos Específicos.....	4
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Descripción del Torno.....	5
2.1.1. Torno Paralelo.....	6
2.1.2. Tornos CNC.....	10
2.2. Fundamentos de la automatización.....	12
2.2.1. Retrofit.....	12
2.3. Fundamentos de las máquinas herramientas de control numérico.....	13
2.3.1. Flujo de procesos necesarios para producir una pieza usando control numérico.....	14
2.3.1.1. Tareas OFF-LINE.....	15
2.3.1.2. Tareas ON-LINE.....	16

2.3.1.3. Tareas POST-LINE.	16
2.3.2. Componentes de una máquina herramienta CNC.....	17
2.4. Componentes del software de una máquina CNC.	17
2.4.1. HMI.	19
2.4.2. NCK.....	21
2.4.3. PLC.....	21
2.5. Sistemas de avance de una máquina CNC.....	22
2.5.1. Sistemas de transmisión.	22
2.5.2. Motores.....	24
2.6. Encoders	26
2.7. Velocidades y avance para corte.	27
2.7.1. Velocidad de corte.	27
2.7.1.1. Cálculo de la velocidad de rotación del husillo.	30
2.7.2. Velocidad de avance del torno (s).	31
2.8. Fuerza de corte.....	33
2.9. Cálculo del tiempo de maquinado.	35
2.10. Programación de una máquina CNC.	35
CAPÍTULO III	39
DISEÑO SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO	39
3.1. Introducción.....	39
3.2. Detalle de la mejor alternativa.....	41
3.3. Parámetros de diseño.	44
3.3.1. Comprobación del motor para el mandril.....	44
3.4. Selección de los tornillos de bolas para los ejes longitudinal y transversal. ...	48
3.4.1. Tornillo de bolas para el eje X.	48
3.4.1.1. Paso del tornillo de bolas.....	48
3.4.1.2. Diámetro del tornillo de bolas.	49
3.4.2. Tornillo de bolas para el eje Z.	51
3.4.2.1. Paso del tornillo de bolas.....	52
3.4.2.2. Diámetro del tornillo de bolas.	52
3.4.3. Niveles de precisión de los tornillos de bolas.	54
3.5. Selección de tuercas para los tornillos de bolas de los ejes X, Z.	60
3.6. Selección de acoples para motor – tornillo de bolas ejes X, Z.....	61

3.7.	Cálculo de torque requerido para mover las estructuras horizontales.	63
3.7.1.	Cálculo del torque requerido para mover la estructura del eje X.	64
3.7.2.	Cálculo del torque requerido para mover la estructura del eje Z.	70
3.8.	Selección de servomotores para los ejes X, Z.	75
3.9.	Diseño de las bases para servomotores.	77
3.9.1.	Base para el servomotor del eje X.	78
3.9.2.	Base para el servomotor del eje Z.	78
3.10.	Diseño de acoples para las tuercas de los tornillos de bolas.	79
3.10.1.	Acople para la tuerca del tornillo de bolas para el eje X.	79
3.10.2.	Acople para la tuerca del tornillo de bolas para el eje Z.	80
3.11.	Diseño de caja para tuerca del tornillo de bolas para el eje Z.	81
CAPÍTULO IV.....		82
SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL PARA EL TORNO CNC.		82
4.1.	Parámetros de selección para el sistema de control del torno CNC.	82
4.2.	Diagrama de flujo del funcionamiento del torno CNC.	83
4.3.	Cuadro comparativo de controladores disponibles para el torno.	85
4.4.	Controlador ADTECH CNC 4620.	86
4.4.1.	Características del controlador ADTECH CNC 4620.	86
4.4.2.	Definición de las entradas y salidas del controlador ADTECH CNC 4620.	89
4.4.2.1.	Salidas para interconexión con motores (XS 1 – XS 4).	90
4.4.2.2.	Entradas digitales (XS 5).	91
4.4.2.3.	Salidas digitales (XS 6).	93
4.4.2.4.	Interfaz para volante (XS 7).	95
4.4.2.5.	Entradas analógicas (XS 8).	96
4.4.2.6.	Comunicación RS232 (XS 9).	97
4.4.2.7.	Interfaz para encoder principal (XS 12).	98
4.5.	Servo drivers QS7AA020M Y QS7AA030M.	99
4.5.1.	Características de los servo drivers QS7AA020M y QS7AA030M.	100
4.5.2.	Funciones de los servo drivers QS7AA020M y QS7AA030M.	101
4.5.2.1.	Modo de control de posición.	101
4.5.2.2.	Modo de control de velocidad.	102
4.5.2.3.	Modo de control de torque.	103

4.5.3. Descripción de entradas y salidas los servo drivers QS7AA020M y QS7AA030M.....	103
CAPÍTULO V	105
DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA EL TORNO CNC.....	105
5.1. Esquema general de los componentes de la máquina.....	105
5.2. Diseño del sistema de potencia de la máquina.	109
5.2.1. Selección de la fuente de 24 V DC.....	110
5.2.2. Selección del transformador.	110
5.2.3. Selección de los dispositivos de protección.	112
5.3. Diseño del tablero de control.....	113
5.3.1. Diagrama de conexión general.	114
5.3.2. Conexión del controlador ADTECH CNC 4620.....	114
5.3.3. Conexión del servo driver para el mandril del torno.....	115
CAPÍTULO VI.....	117
IMPLEMENTACIÓN, CALIBRACIÓN Y PRUEBAS DEL TORNO CNC.....	117
6.1. Implementación del sistema mecánico.....	117
6.1.1. Montaje de los tornillos de bolas.....	118
6.1.2. Montaje de los servomotores.....	119
6.1.3. Montaje de los finales de carrera.....	120
6.2. Calibración del sistema de control.	121
6.2.1. Parametrización del controlador CNC 4620.....	121
6.2.2. Parametrización de los servo drivers para los ejes X, Z.....	122
6.2.2.1. Parametrización del servo driver para el eje X.....	122
6.2.2.2. Parametrización del servo driver para el eje Z.	123
6.2.2.3. Sintonización de servomotores.....	124
6.2.3. Parametrización del servo driver para el mandril.....	127
6.3. Pruebas de posición, velocidad y funcionamiento de la máquina.	128
6.3.1. Pruebas de velocidad y posición ejes X y Z.....	128
6.3.2. Pruebas de velocidad del mandril.....	129
6.3.3. Pruebas de funcionamiento de la máquina.	130
CAPÍTULO VII	133
COSTOS	133
7.1. Costo de componentes utilizados.	133

7.2.	Costo de envío de componentes utilizados.....	136
7.3.	Costo de trámites de importación de componentes utilizados.....	137
7.4.	Costo de mano de obra de partes fabricadas.....	137
7.5.	Costo total.....	137
CAPÍTULO VIII.....		139
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		139
8.1.	Conclusiones.....	139
8.2.	Recomendaciones.....	140
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		141
ANEXOS		143

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Funciones de HMI.....	20
Tabla 2. Comparación de los sistemas de transmisión de movimiento	23
Tabla 3. Comparación de Motores usados en Máquinas CNC.	25
Tabla 4. Velocidades de Corte en un Torno.....	28
Tabla 5. Velocidades de avance del torno.....	31
Tabla 6. Valores de Energía Específica y Presión específica de corte de materiales frecuentes.	33
Tabla 7. Profundidades de corte para cualquier tipo de cuchilla	34
Tabla 8. Direcciones y funciones asociadas más comunes	37
Tabla 9. Características del Torno CM6241X1500.	40
Tabla 10. Matriz morfológica selección del sistema de transmisión	41
Tabla 11. Matriz morfológica selección para los servomotores	41
Tabla 12. Criterios a evaluar en las alternativas de diseño	42
Tabla 13. Evaluación de criterios para selección de la mejor alternativa.	42
Tabla 14. Mejores alternativas para el diseño	43
Tabla 15. Parámetros de diseño	44
Tabla 16. Parámetros para torneado.....	45
Tabla 17. Niveles de precisión de husillos de bolas por aplicación.....	54
Tabla 18. Estándar internacional de los grados de precisión para los Tornillos de bolas	55
Tabla 19. Combinaciones estándar del diámetro del tornillo y el paso	55
Tabla 20. Datos del tornillo de bolas	57
Tabla 21. Selección tornillo de bolas SFW.....	58
Tabla 22. Datos del tornillo de bolas	59
Tabla 23. Selección tornillo de bolas OSFW	59
Tabla 24. Selección de tuercas para los tornillos de bolas.....	60
Tabla 25. Cubos para el eje X.....	62
Tabla 26. Cubos para el eje Z.....	62
Tabla 27. Estrellas para los ejes X, Z.....	63

Tabla 28.Examinación de resultados.....	69
Tabla 29.Examinación de resultados.....	75
Tabla 30. Servomotores AC ADTECH.	76
Tabla 31.Comparación entre controladores	85
Tabla 32.Parámetros de funcionamiento del controlador ADTECH CNC 4620.....	86
Tabla 33. Función de los conectores del Controlador ADTECH CNC 4620	89
Tabla 34. Descripción de los pines del conector (XS 1 – XS 4).....	91
Tabla 35. Descripción de los pines del conector (XS 5).....	92
Tabla 36. Descripción de los pines del conector (XS 6).....	94
Tabla 37.Descripción de los pines del conector (XS 7).....	95
Tabla 38.Descripción de los pines del conector (XS 8).....	96
Tabla 39.Descripción de los pines del conector (XS 9).....	97
Tabla 40.Descripción de los pines del conector (XS 12).....	98
Tabla 41.Características principales de los servo drivers serie QS7.....	100
Tabla 42. Pulsos necesarios para el control de posición	102
Tabla 43. Descripción de los elementos del tablero eléctrico	108
Tabla 44. Elementos conectados al sistema de potencia.....	109
Tabla 45. Parámetros requeridos para la fuente y el transformador	112
Tabla 46. Consumo de corriente de los componentes del sistema.....	112
Tabla 47.Parametrización del controlador CNC 4620	121
Tabla 48. Parametrización del Servo Driver QS7AA020M.....	123
Tabla 49. Parametrización del Servo Driver QS7AA030M.....	124
Tabla 50. Parametrización del Servo Driver DST2000.	127
Tabla 51. Pruebas de velocidad y posición ejes X y Z.....	128
Tabla 52. Pruebas de velocidad del mandril	130
Tabla 53. Parámetros de maquinado para pruebas.....	131
Tabla 54. Resultados de las pruebas	131
Tabla 55. Detalle de costos de componentes utilizados.....	133
Tabla 56. Detalle de costos de envío de componentes utilizados.	136
Tabla 57. Detalle de costos de trámites de importación.....	137

Tabla 58. Detalle de costos de mano de obra de partes fabricadas.	137
Tabla 59. Detalle de costo total.	138

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes de un torno paralelo	10
Figura 2. Torno CNC	11
Figura 3. Flujo de procesos de una máquina CNC	14
Figura 4. Arquitectura de una máquina CNC.....	17
Figura 5. Interacción de los elementos de software de una máquina CNC.....	18
Figura 6. Interfaz HMI de un controlador de torno CNC	20
Figura 7. Mecanismo de movimiento lineal.....	22
Figura 8. Encoder Incremental.....	26
Figura 9. Encoder Absoluto	27
Figura 10. Formato de un programa y sus partes constitutivas.....	36
Figura 11. Torno Mecánico paralelo CM6241X1500.....	39
Figura 12. Esquema del torno CNC	43
Figura 13. Fuerzas que actúan en el torneado	46
Figura 14. Tipos de soporte para husillos de bolas	48
Figura 15. Velocidad de rotación vs. Longitud entre apoyos	50
Figura 16. Velocidad de avance vs. Longitud entre apoyos	53
Figura 17. Nomenclatura de Tornillos de bolas	56
Figura 18. Tornillo de bolas FSW diámetro 16mm, paso 5mm.....	57
Figura 19. Tornillo de bolas OFSW diámetro 32mm, paso 10mm.....	58
Figura 20. Tuerca FSW	60
Figura 21. Acople tipo Mordaza	61
Figura 22. Sistema de transmisión por tornillo de bolas.....	64
Figura 23. DCL carro transversal plano x-y.....	65
Figura 24. DCL carro transversal plano y-z.....	65
Figura 25. Diagrama de Aceleración y Desaceleración del servomotor del eje X	68
Figura 26. DCL carro longitudinal plano x-y.....	71
Figura 27. DCL carro longitudinal plano y-z.....	71
Figura 28. Diagrama de Aceleración y Desaceleración del servomotor del eje Z.....	74

Figura 29. Dimensiones Servomotor ACH-08075DI-G	77
Figura 30. Dimensiones Servomotor ACH-11120DI-G	77
Figura 31. Base para servomotor del eje X.....	78
Figura 32. Base para servomotor del eje Z	79
Figura 33. Acople para tuerca del eje X.....	80
Figura 34. Acople para tuerca del eje Z.....	80
Figura 35. Caja para tuerca del eje Z	81
Figura 36. Esquema del Funcionamiento del Torno CNC.....	82
Figura 37. Diagrama de flujo del Funcionamiento del torno	84
Figura 38. Dimensiones generales del controlador ADTECH CNC 4620.....	88
Figura 39. Dimensiones generales del controlador ADTECH CNC 4620.....	88
Figura 40. Distribución de los conectores en el controlador ADTECH CNC 4620	89
Figura 41. Conector DB 15 para servomotores ejes X y Z	90
Figura 42. Conector DB 25 para entradas digitales	92
Figura 43. Conector DB 25 para salidas digitales.....	93
Figura 44. Conector DB15 para el volante	95
Figura 45. Conector DB9 para entradas analógicas	96
Figura 46. Conector DB9 para comunicación RS232.....	97
Figura 47. Conector DB15 para comunicación RS232.....	98
Figura 48. Distancias recomendadas para una buena ventilación.....	100
Figura 49. Entradas y salidas de los servo drivers QS7AA020M y QS7AA030M.	103
Figura 50. Esquema eléctrico general del Torno CNC	105
Figura 51. Dimensiones generales del Gabinete Eléctrico.....	106
Figura 52. Vista frontal y posterior del gabinete de control	107
Figura 53. Diagrama conexión general	114
Figura 54. Conexión entre Controlador CNC y Servodrivens.....	115
Figura 55. Conexión del Servo driver para el mandril.....	116
Figura 56. Torno CNC	117
Figura 57. Tornillo de bolas eje X con acople a la tuerca.....	118
Figura 58. Tornillo de bolas eje Z con acople a la tuerca	118

Figura 59. Servomotor Eje X	119
Figura 60. Servomotor Eje Z.....	119
Figura 61. Servomotor Mandril.....	120
Figura 62. Finales de carrera eje X	120
Figura 63. Finales de carrera eje Z.....	121
Figura 64. Software de comunicación de los servo motores.....	125
Figura 65. Pestaña Drive parameters del programa Servosoft.....	126
Figura 66. Visualización de los parámetros de sintonización de servomotores.....	126
Figura 67. Posición eje X.....	128
Figura 68. Posición eje Z	129
Figura 69. Posición de velocidad de la caja Norton.....	130
Figura 70. Pieza 1.....	131
Figura 71. Pieza 2.....	132
Figura 72. Pieza 3.....	132

RESUMEN

El presente proyecto de grado, tiene como objetivo principal diseñar e implementar un retrofit en un torno CM6241X1500, el cual influirá de manera directa al área de producción de la empresa Miviltech S.A, para esto se reemplazará los tornillos originales del torno por tornillos de bolas para el movimiento de las estructuras horizontales, además los mecanismos de movimiento manual por servomotores AC en cada uno de los ejes del torno, por último se sustituirá el motor original del que utiliza el torno para el movimiento del mandril por un servomotor AC, el control de movimiento tanto de los ejes como el mandril se lo realizará mediante un controlador CNC, para los cuales se realizará la selección de la mejor alternativa dentro de las disponibles en el mercado que satisfagan los parámetros de diseño, de acuerdo a la información existente en manuales y catálogos de los diferentes fabricantes de controladores, tornillos de bolas y servomotores. El controlador CNC deberá tener la capacidad de controlar los servomotores de los dos ejes del torno y mandril, además de opciones de roscado y control de refrigerante. Una vez concluido el proyecto el torno será capaz de maquinar piezas mediante el ingreso de código G en el controlador CNC directamente o mediante algún software que genere dicho código.

PALABRAS CLAVES:

- **RETROFIT**
- **TORNO**
- **TORNILLOS DE BOLAS**
- **SERVOMOTORES**
- **CNC**

ABSTRACT

This graduation project, whose main objective is to design and implement a retrofit on a lathe CM6241X1500 , which directly affect the production area of Miviltech SA company, the original screws for this lathe will be replaced by ball screws for the movement of the horizontal structures, also the manual movement mechanisms will be replaced by AC servomotor in each of the lathe axes, finally the original engine using the lathe chuck for movement will be replaced by an AC servo motor, the control movement of both axes and the chuck will be conducted by a CNC controller, for which the selection of the best alternative will be enhanced within the available on the market that meet the design parameters, according to the information in manuals and catalogs of different manufacturers of controllers, servo motors and ball screws. The CNC controller would have the ability to control the servo motors of the lathe axes and chuck and further threading of options and control of coolant. Once the project is completed the lathe will be able to machine parts by entering the G-code CNC controller directly or through some software that generates the code.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Introducción.

El presente proyecto de grado, tiene como objetivo principal diseñar e implementar un retrofit en un torno CM6241X1500, el cual influirá de manera directa al área de producción de la empresa Miviltech S.A, disminuyendo los tiempos de maquinado del proceso, teniendo mayor precisión en las medidas y acabados de las piezas, debido a que no estaría involucrado el error humano en el proceso, excepto en la fase de programación del control numérico, innovando e introduciendo nuevos y mejores productos al mercado nacional.

1.2. Antecedentes.

En la mayoría de empresas del sector industrial, se realizan procesos que involucran maquinado de piezas para lo cual es necesario la utilización de máquinas herramientas, debido a que facilitan los procesos de mecanizado necesarios para obtener un producto terminado.

A través de los años las empresas han ido incrementando su capacidad productiva por lo que es necesario seguir introduciendo nuevas técnicas y tendencias para lograr ser competitivo en el mercado actual, debido a que se requiere tener una producción mucho más rápida y precisa.

En la actualidad la industria se ve involucrada directamente la automatización de procesos, el control numérico computarizado (CNC) ha aportado cambios significativos dentro de la industria, ya que se pueden realizar piezas con una mayor precisión que en una máquina herramienta convencional, además de poder producir piezas en serie las veces que sean necesarias solo con la reutilización del código de programación y por supuesto la disponibilidad de materia prima.

1.3. Justificación.

Con la adaptación de un control CNC se puede mejorar las máquinas de corte convencionales mediante la adaptación de actuadores a sus componentes mecánicos, ya que la empresa dispone de un torno convencional CM6241X1500, la opción más adecuada es realizar la conversión de este torno, debido a su bajo costo en relación a obtener una máquina moderna CNC, obteniendo los mismos resultados en cuanto se refiere al maquinado de partes y piezas que serán utilizados.

Como resultado de la aplicación de este proyecto se busca principalmente aumentar la funcionalidad, productividad y capacidad de trabajo del torno CM6241X1500 que dispone la empresa lo cual permitirá aumentar las líneas de producción existentes efectuando trabajos que resultaban imposibles de realizar de forma manual.

Además, el presente proyecto es la base fundamental para que la empresa pueda realizar una producción en serie e ingresar al mercado con nuevos y mejores productos que los de la competencia y ser líder a nivel provincial con una proyección a nivel nacional.

Ventajas de un retrofit incluyen:

- Velocidades de maquinado más rápido.
- Mayor precisión de las piezas de corte.

El retrofit es la solución definitiva que combina beneficio técnico, económico y altas prestaciones.

1.4. Alcance.

Al concluir el presente proyecto el torno CM6241X1500 será capaz de maquinar piezas a partir de un código G programado por el usuario con la ayuda de un HMI donde se visualizarán todos los parámetros de corte y vista previa de la pieza a ser maquinada, logrando movimientos simultáneos de los ejes X y Z, para el movimiento de los ejes se acoplarán servomotores, además el sistema estará previsto de un servomotor para el movimiento del cabezal o mandril con el fin de poder operar a diferentes velocidades.

Para el sistema de control del presente proyecto es necesario un sistema CNC que será seleccionado de acuerdo a las características del torno y posteriormente se adaptará al mismo.

Por medio del sistema CNC (Control Numérico Computarizado), se ingresará el código G, el cual va a ser traducido en un controlador digital encargado de controlar los movimientos a lo largo de los ejes X y Z, es decir se encarga del control de los servomotores colocados en los ejes de operación del torno, para lo cual todos los movimientos que se requiera que realice la máquina deben ser previamente programados en el software del sistema CNC.

1.4.1. Objetivos.

1.4.1.1. Objetivo General.

Diseñar e implementar el Retrofit de un torno CM6241X1500 que tiene una distancia entre centros de 1500 mm, para el maquinado automático de piezas mediante un sistema CNC el cual comandará los ejes X, Z, y el mandril que serán accionados por servomotores.

1.4.1.2. Objetivos Específicos.

- Analizar los requerimientos de los servomotores para los movimientos de los ejes X y Z y para el movimiento del cabezal principal en las diferentes velocidades utilizadas para el maquinado de piezas.
- Seleccionar los Motores y sus Drivers para el control de los mismos.
- Establecer el sistema CNC que va a ser utilizado para la programación en código G por medio de un HMI.
- Demostrar el correcto funcionamiento de la máquina mediante pruebas de maquinado.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Descripción del Torno.

El torno es una máquina-herramienta para mecanizar piezas por revolución arrancando material en forma de viruta mediante una herramienta de corte.

Movimiento de corte: por lo general se imparte a la pieza que gira rotacionalmente sobre su eje principal. Este movimiento lo imprime un motor eléctrico que transmite su giro al husillo principal mediante un sistema de poleas o engranajes.

El husillo principal tiene acoplado a su extremo distintos sistemas de sujeción (platos de garras, pinzas, mandrinos auxiliares...), los cuales sujetan la pieza a mecanizar.

Movimiento de avance: es debido al movimiento longitudinal o transversal de la herramienta sobre la pieza que se está trabajando.

En combinación con el giro impartido al husillo, determina el espacio recorrido por la herramienta por cada vuelta que da la pieza.

El movimiento también puede no ser paralelo a los ejes, produciéndose así conos. En ese caso se gira el carro de debajo del transversal ajustando en una escala graduada el ángulo requerido, que será la mitad de la conicidad deseada.

Profundidad de pasada: movimiento de la herramienta que determina la profundidad de material arrancado en cada pasada aunque la cantidad de material arrancado queda siempre sujeto al perfil del útil de corte usado, tipo de material mecanizado, velocidad de corte, etc. El torno puede realizar operaciones de cilindrado, mandrinado, roscado, refrendado, ranurado, taladrado, escariado, moleteado, cilindrado

en línea, etc., mediante diferentes tipos de herramientas y útiles intercambiables con formas variadas según la operación de conformado que realizar.

Con los accesorios apropiados, que por otra parte son sencillos, también se pueden efectuar operaciones de fresado, rectificado y otra serie de operaciones de mecanizado (Ospina, 2014).

Clases de torno

Existen 4 clases principales de tornos:

- Tornos paralelos.
- Tornos verticales.
- Tornos copiadores.
- Tornos CNC.

2.1.1. Torno Paralelo.

Este es el tipo de torno que evolucionó partiendo de los tornos antiguos, cuando se le fueron incorporando nuevos equipamientos que lograron convertirlo en una de las máquinas herramienta más importante que han existido. Sin embargo, en la actualidad este tipo de torno está quedando relegado a realizar tareas poco importantes, a utilizarse en los talleres de aprendices y en los talleres de mantenimiento para realizar trabajos puntuales o especiales.

Los tornos paralelos pueden ser como poleas, mono poleas o de ataque directo. Dentro de este conjunto también encontramos los tornos frontales, que tienen la característica de poseer grandes dimensiones. Los mismos se utilizan en la fabricación de grandes piezas.

En los tornos paralelos, como en las demás maquinas herramientas, se necesitan varias velocidades de corte. Para obtenerlas, en los tornos cono poleas, está montada sobre el eje y entre los cojinetes una polea de escalones, la cual transmite su movimiento de rotación al eje, directamente por medio de una combinación de engranajes.

En los tornos mono poleas, el mismo cabezal constituye una caja de velocidades de engranajes. El ataque se hace generalmente por una polea de correas trapeciales desde el motor. En los tornos de ataque directo el eje del motor lleva ya el primer engranaje de la caja.

Los tornos más utilizados hoy en día son los tornos mono poleas, por ser los de mejor rendimiento.

Estructura del torno paralelo

Las partes principales del torno son (figura 1):

- El cabezal principal
- Bancada
- Eje Principal
- Contrapunto y
- Carros

El cabezal principal: Es una caja fijada al extremo de la bancada por medio de tornillos o bridas, en ella contiene los engranes, poleas lo cual impulsan la pieza de trabajo y las unidades de avance. El cabezal, incluye el motor, husillo, selector de velocidad, selector de unidad de avance y selector de sentido de avance. El mecanismo que más se emplea para lograr las distintas velocidades es por

medio de trenes de engranajes. Además sirve para soporte y rotación de la pieza de trabajo que se soporta el husillo.

La bancada: Es un zócalo de fundición soportado por uno o más pies, que sirve de apoyo y guía a las demás partes principales del torno. La fundición debe ser de la mejor calidad; debe tener dimensiones apropiadas y suficientes para soportar las fuerzas que se originan durante el trabajo, sin experimentar deformación apreciable, aún en los casos más desfavorables. Para facilitar la resistencia suele llevar unos nervios centrales. Las guías han de servir de perfecto asiento y permitir un deslizamiento suave y sin juego al carro y contrapunto. Deben estar perfectamente rasqueteadas o rectificadas. Es corriente que hayan recibido un tratamiento de temple superficial, para resistir el desgaste. A veces, las guías se hacen postizas, de acero templado y rectificado.

Eje principal: Es el órgano que más esfuerzos realiza durante el trabajo. Por consiguiente, debe ser robusto y estar perfectamente guiado por los rodamientos, para que no haya desviaciones ni vibraciones. Para facilitar el trabajo en barras largas suele ser hueco. En la parte anterior lleva un cono interior, perfectamente rectificado, para poder recibir el punto y servir de apoyo a las piezas que se han de tornearse entre puntos. En el mismo extremo, y por su parte exterior, debe llevar un sistema para poder colocar un plato porta piezas.

El contrapunto o cabezal móvil: es una pieza de fundición que se desliza sobre la bancada. Pudiendo fijarse en cualquier punto de la bancada mediante una tuerca y un tornillo de cabeza de grandes dimensiones que se desliza por la parte inferior de la bancada., la función primaria es servir de apoyo al borde externo de la pieza de trabajo.

Carros: En el torno la herramienta cortante se fija en el conjunto denominado carro.

Carro principal: Consta de dos partes, una de las cuales se desliza sobre la bancada y la otra, llamada delantal, está atornillada a la primera y desciende por la parte anterior. El delantal lleva en su parte interna los dispositivos para obtener los movimientos automáticos y manuales de la herramienta, mediante ellos, efectuar las operaciones de roscar, cilindrar y refrentar.

Carro transversal: El carro principal lleva una guía perpendicular a los de la bancada y sobre ella se desliza el carro transversal. Puede moverse a mano, para dar la profundidad de pasada o acercar la herramienta a la pieza, o bien se puede mover automáticamente para refrentar con el mecanismo ya explicado.

Carro orientable: El carro orientable, llamado también carro portaherramientas, está apoyado sobre una pieza llamada plataforma giratoria, que puede girar alrededor de un eje central y fijarse en cualquier posición al carro transversal por medio de cuatro tornillos. Un círculo o limbo graduado indica en cualquier posición el ángulo que el carro portaherramientas forma con la bancada. Esta pieza lleva una guía en forma de cola de milano en la que se desliza el carro orientable. El movimiento no suele ser automático, sino a mano mediante un husillo que se da vueltas por medio de una manivela o un pequeño volante. Lleva el husillo un tambor similar al del husillo del carro transversal (Palma, 2014).

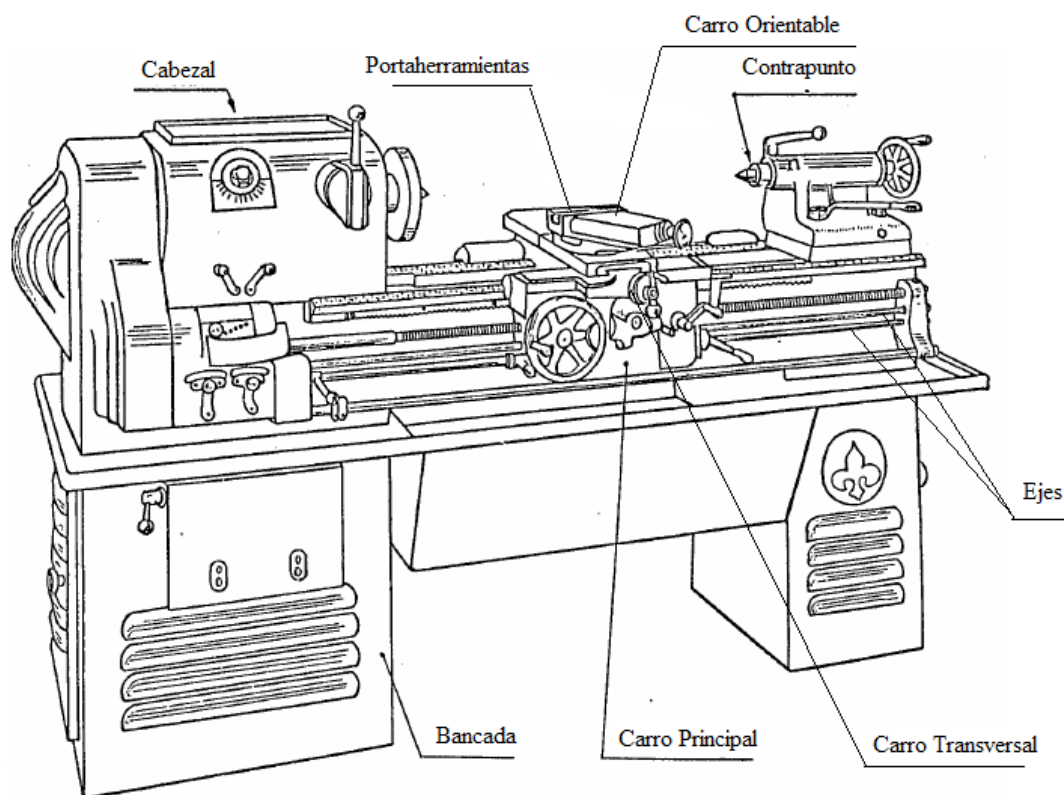


Figura 1. Partes de un torno paralelo
Fuente: (Rossi, 1981)

2.1.2. Tornos CNC.

Es un tipo de torno operado mediante control numérico por computadora (figura 2). Se caracteriza por ser una máquina herramienta muy eficaz para mecanizar piezas de revolución. Ofrece una gran capacidad de producción y precisión en el mecanizado por su estructura funcional y porque la trayectoria de la herramienta de torneado es controlada a través del ordenador que lleva incorporado, el cual procesa las órdenes de ejecución contenidas en un software que previamente ha confeccionado un programador conocedor de la tecnología de mecanizado en torno. Este control numérico se basa en un sistema de lenguaje que se comunica a través de la emisión de "códigos G", que no es

más que un sistema de comunicación alfanumérico en este tipo de máquinas sofisticadas. Es una máquina ideal para el trabajo en serie y mecanizado de piezas complejas, revolucionando el mercado porque han facilitado la realización de cortes horizontales, verticales, curvos, los cuales anteriormente tomaban muchas horas de realización (Kalpakjian, 2009).

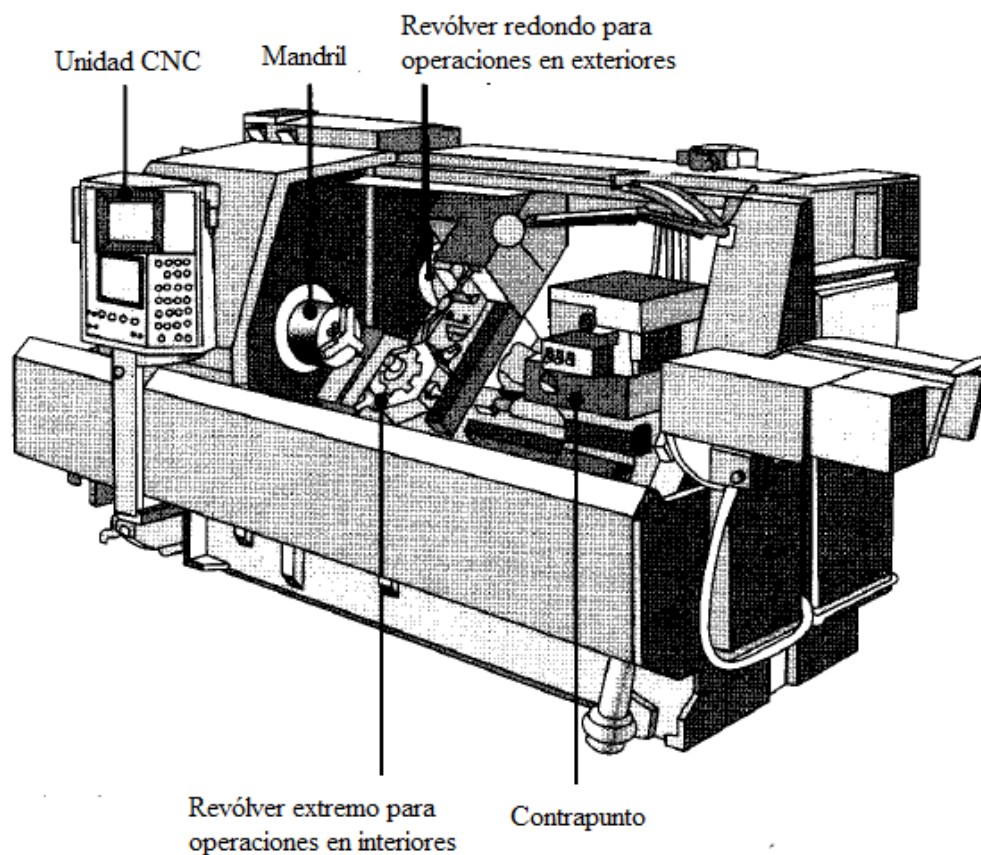


Figura 2. Torno CNC
Fuente: (Kalpakjian, 2009)

2.2. Fundamentos de la automatización.

Durante toda su historia el ser humano ha encontrado en la creación de máquinas los sustitutos ideales para el trabajo manual, utilizando distintos recursos como fuentes de energía aunque controlados por el ser humano. Por control entendemos al proceso de:

- Observar el fenómeno.
- Decidir qué acción se necesita realizar.
- Ajustar los parámetros de los dispositivos para lograr esta acción.

La evolución de las industrias (favorecida por la aparición de las máquinas) ha hecho que las máquinas que forman parte del proceso de manufactura, sean cada vez más potentes, rápidas y precisas. Por este motivo el control ya no podía ser realizado por el ser humano y se hizo necesario que las máquinas sean controladas por otras máquinas. A este control se le llama automatización (Festo Didactic, 2014)

2.2.1. Retrofit.

Un retrofit de un torno convencional en CNC consiste en la sustitución de los componentes mecánicos por componentes electrónicos de última generación.

Los principales componentes a ser reemplazados son los mecanismos de avance a los largo de los ejes X y Z por servomotores que deben ser controlados a partir de un computador.

Para el control de los servomotores debe incluir un control CNC, para que la máquina pueda realizar el trabajo o maquinado previamente programado.

En la mayoría de los casos un retrofit es una inversión muy efectiva pues permite disminuir los costos de mantenimiento y tiempos de paro que una máquina convencional puede generar. Además, instalar un control CNC de última generación extiende la vida útil y productiva de una máquina a un costo muy competitivo comparado con la compra de una máquina nueva.

2.3. Fundamentos de las máquinas herramientas de control numérico.

Las máquinas de control numérico son la evolución de las máquinas herramientas, las indicadas para la creación de partes de otras máquinas debido a su gran precisión y velocidades optimizadas de corte o movimiento. El control numérico fue creado con el fin de mecanizar piezas con forma complicada en una manera precisa. En un inicio la tecnología de control numérico fue aplicada a máquinas fresadoras y taladradoras, luego se expandieron a todas las máquinas herramientas.

Actualmente el control numérico se usa para otros tipos de máquinas como los robots industriales, instrumentos de dibujo y pintura, máquinas bordadoras, CMM (máquinas de medición por coordenadas), siendo el pilar fundamental para la automatización industrial.

En general el proceso necesario para obtener una pieza específica consiste primero en determinar la geometría de la pieza, obtener una parte de código que la máquina interpretará para que sus actuadores y herramientas puedan procesar una pieza en bruto a la que se le dará la forma que fue determinada al inicio.

2.3.1. Flujo de procesos necesarios para producir una pieza usando control numérico.

Los pasos necesarios a seguir para la fabricación de una pieza mediante una máquina herramienta con control numérico se muestran en la figura 3. Todos estos pasos están descritos en las siguientes tareas:

- Tareas offline: Dentro de estas tareas tenemos los procesos: CAD (computer aided design), CAM (Computer aided Manufacture).
- Tareas online: Maquinado usando control numérico, monitoreo y posicionamiento.
- Tareas post-line: CAI (computer aided inspection), procesos de post (Suh, Kang, Chung, Stroud , 2008).

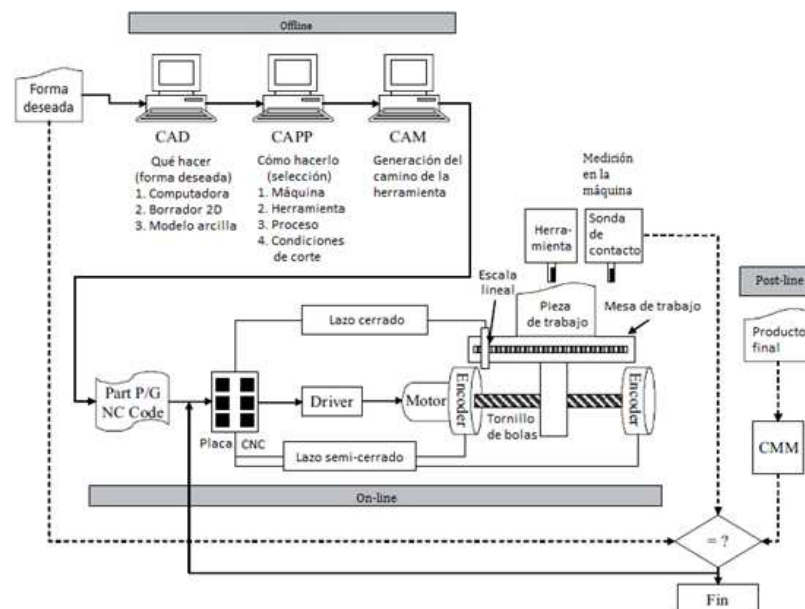


Figura 3. Flujo de procesos de una máquina CNC
Fuente: (Suh, Kang, Chung, Stroud , 2008)

2.3.1.1. Tareas OFF-LINE.

Las tareas off-line están encaminadas a la creación de un programa para comandar a la máquina de control numérico. Dicho programa contendrá una serie de instrucciones entendibles para la máquina.

Se empieza decidiendo la forma y la geometría de las piezas a ser maquinadas, mediante el uso de un software CAD (Computer aided design) un modelo geométrico en 2D o 3D es creado.

Posterior a la obtención de un modelo geométrico es necesario un proceso en el que todos los parámetros para el maquinado tales como la selección de herramientas, decisiones acerca de las condiciones de corte, refrigerantes, secuencias de maquinado y otros sean definidos claramente, este proceso es conocido como CAPP (Computer aided process planning). Este proceso generalmente depende de la experiencia de los operarios debido a su complejidad y a la falta de desarrollo tecnológico del CAPP.

Finalmente mediante el uso de software CAM (Computer aided manufacturing) se generan los caminos para las herramientas basados en toda la información proporcionada por las etapas CAD y CAPP. El software CAM optimiza tiempos y el desempeño de la máquina al considerar interferencias entre la herramienta y la pieza. El uso de software CAM es fundamental para generar los caminos de las herramientas que sean en 2.5 D o 3D en máquinas herramientas con más de tres ejes.

El resultado del uso del software CAM es una serie de instrucciones llamadas bloques de código que puede ser interpretado por el controlador (Suh, Kang, Chung, Stroud , 2008).

2.3.1.2. Tareas ON-LINE.

Las tareas on-line son aquellas que son necesarias para el maquinado de piezas usando máquinas de control numérico. En esta etapa es en donde las instrucciones proporcionados en la etapa off-line son interpretadas y traducidas en el movimiento de los diferentes ejes de la máquina, mediante el control de la velocidad y posición de los motores que generalmente son servomotores o motores a pasos. Estos actuadores están conectados generalmente a tornillos de bolas o sistemas de piñón cremallera entre otros para convertir el movimiento circular en lineal, y hacer posible el movimiento controlado tanto en posición como en velocidad de la herramienta.

Todo el proceso de maquinado durante la etapa on-line es monitoreado con el fin de realizar acciones como determinar un desgaste o rotura de la herramienta de corte, control adaptativo, compensación de desviación de herramienta monitoreando la fuerza de corte, calor y corriente aplicada durante el maquinado (Suh, Kang, Chung, Stroud , 2008).

2.3.1.3. Tareas POST-LINE.

En esta etapa se lleva a cabo un proceso CAI (computer aided inspection) mediante el uso de herramientas CMM (coordinate measurement machine) para comparar la pieza obtenida con el modelo geométrico teórico. Luego de conocer el error existente entre la pieza real y la diseñada mediante el proceso CAD, se puede modificar la compensación de la herramienta o decidir qué proceso se aplicará a las piezas (Suh, Kang, Chung, Stroud , 2008).

2.3.2. Componentes de una máquina herramienta CNC.

Una máquina herramienta CNC, contiene componentes de software y hardware (figura 4) que deben estar ligados entre sí para poder funcionar de una manera correcta.

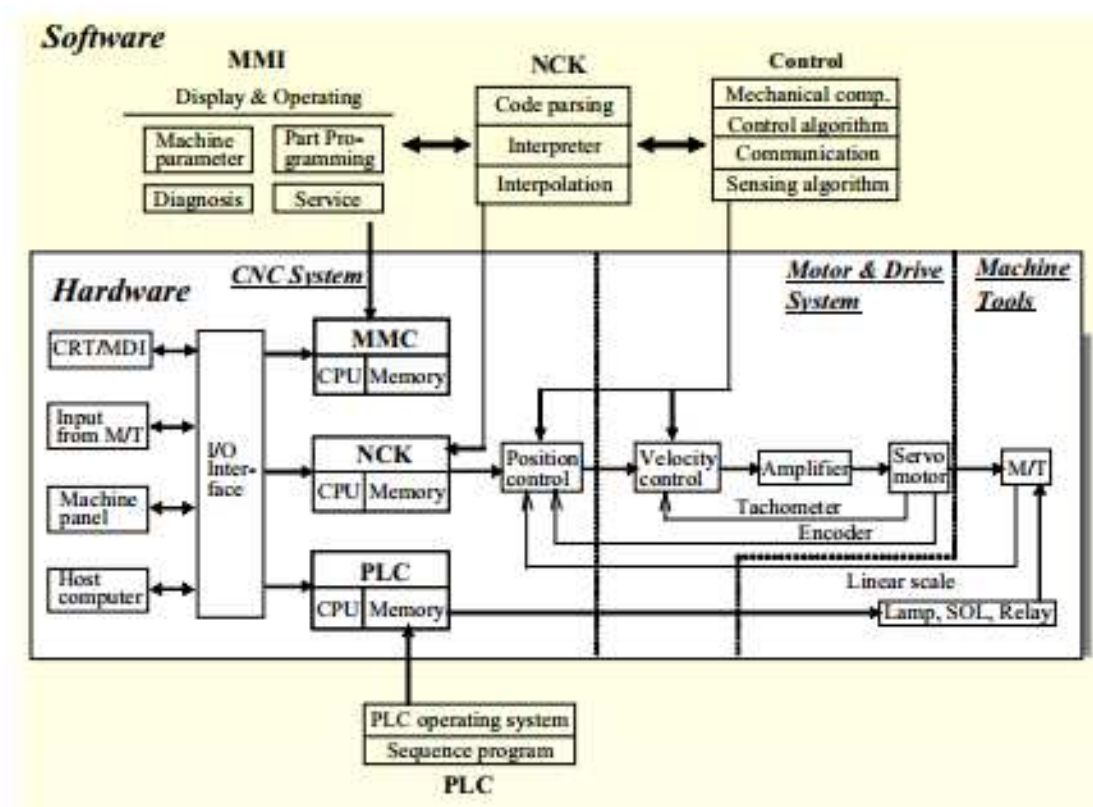


Figura 4. Arquitectura de una máquina CNC
Fuente: (Suh, Kang, Chung, Stroud , 2008)

2.4. Componentes del software de una máquina CNC.

Los componentes de una máquina CNC desde el punto de vista del software son: HMI, NCK y el PLC. A continuación se puede visualizar en la figura 5 la forma en que estas partes del software interactúan entre sí, además se puede observar cómo se

interconecta con las otras partes de la máquina y la intervención del humano (Suh, Kang, Chung, Stroud , 2008).

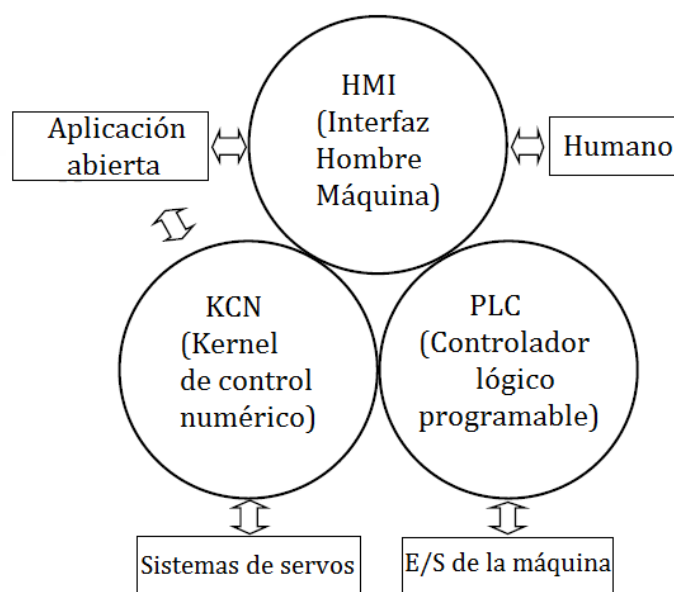


Figura 5. Interacción de los elementos de software de una máquina CNC
Fuente: (Suh, Kang, Chung, Stroud , 2008)

En pocas palabras un sistema CNC deberá poseer un medio para introducir y visualizar datos, estos deberán ser guardados en una memoria para que puedan ser enviados a los actuadores, de quienes reciben también retroalimentación.

Además un sistema de control numérico realiza operaciones tanto lógicas como cálculos matemáticos. Las operaciones lógicas comunes en un sistema CNC son las de indicar en qué momento liberar el refrigerante o detener el sistema si uno de los fines de carrera así lo indica. Las operaciones matemáticas tienen que ver con los controles de aceleración e interpolación de líneas, círculos y otros.

Estas tareas son realizadas por tres componentes fundamentales de un controlador numérico: el HMI que se encarga del ingreso y visualización de datos, el Kernel que se encarga de la parte matemática y control de servo motores y el PLC quien se encarga de las operaciones lógicas de la máquina.

A continuación dichas tareas se explican con más detalle así como los componentes de cada uno de estas partes.

2.4.1. HMI.

HMI significa “Human Machine Interface” (Interfaz Humano Máquina), es decir es el dispositivo o sistema que permite el interfaz entre la persona (operador) y la máquina o proceso (Nievas, 2014).

Tradicionalmente estos sistemas consistían en paneles compuestos por indicadores y comandos, tales como luces pilotos, indicadores digitales y análogos, etc.

En la actualidad, es posible contar con sistemas de HMI bastantes más poderosos y eficaces, además de permitir una conexión más sencilla y económica con el proceso o máquinas.

Un HMI de un sistema CNC (figura 6) es donde se ingresan, muestran y pueden ser editados todos los parámetros que debe tener la máquina para poder realizar el maquinado de una pieza, además una vez que se esté realizando el proceso de maquinado se pueden visualizar los estados del proceso, las funciones del HMI se muestran en la tabla 1.

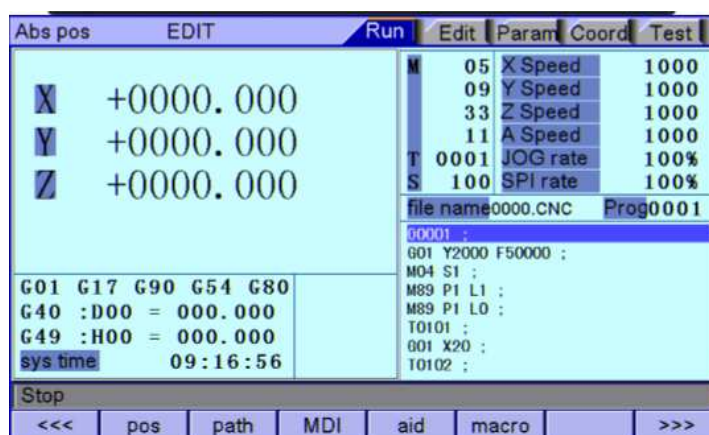


Figura 6. Interfaz HMI de un controlador de torno CNC
Fuente: (Adtech, Manual controlador Adtech CNC 4620, 2015)

Tabla 1.
Funciones de HMI

Tarea	Descripción
Funciones de operación	Muestra el estatus actual de los componentes de la máquina y de sus procesos como la posición de un eje o la velocidad del husillo. Además se pueden controlar las todas las funciones de la máquina como las velocidades, manejo de herramientas, etc.
Configuración de parámetros	Permite configurar los parámetros de máquina como coordenadas, compensación de herramienta; parámetros de programa; y los parámetros de pieza.
Función de edición de programa	Gracias a esta función se puede editar el código G para la obtención de la pieza que requiera el usuario.
Monitoreo y funciones de Alarma	Provee la información del monitoreo de la máquina, y muestra los estados de alarma, los pasos necesarios para continuar luego de una alarma, el estado del PLC y la parte del programa que se está ejecutando.
Funciones de servicio	Son las funciones que permiten copiar programas del exterior a la CNC, de la CNC al exterior y la comunicación con computadoras externas.

2.4.2. NCK.

Durante el proceso de control de una actividad en una máquina CNC, el NCK, (Numerical control Kernel), es el encargado de realizar las siguientes actividades:

- Leer el código de programa introducido por el usuario, interpretar el código ASCII de cada uno de sus bloques, guardar esta información. Todos estos procesos son realizados por el intérprete del kernel de control numérico.
- Con los datos guardados previamente en el buffer por el intérprete, el interpolador del kernel se encarga de leer secuencialmente los datos almacenados en un buffer por el intérprete con los que calcula la velocidad y posición de cada uno de los ejes.
- El kernel aplica filtros a los datos de aceleración/desaceleración entregados por el interpolador con el fin de evitar vibraciones en el funcionamiento de la máquina.
- Finalmente el kernel envía los datos al controlador de cada uno de los actuadores quien se encarga de determinar si la posición y velocidad son las correctas generalmente mediante la lectura de los datos de un encoder (Suh, Kang, Chung, Stroud , 2008).

2.4.3. PLC.

Es el encargado de controlar secuencialmente los cambios de herramienta, velocidad de husillo, cambio de pieza de trabajo, es decir todo el comportamiento de la máquina con excepción del control de los servo motores.

2.5. Sistemas de avance de una máquina CNC.

El avance de una máquina herramienta CNC funciona de la siguiente manera (figura 7), el comando del NC (Control Numérico) hace que el servomotor se mueva, el movimiento del servomotor es transmitido a un tornillo de bolas mediante un acople, el movimiento del tornillo de bolas es transformado en movimiento lineal de una tuerca y finalmente la mesa con el espacio de trabajo se mueve linealmente.

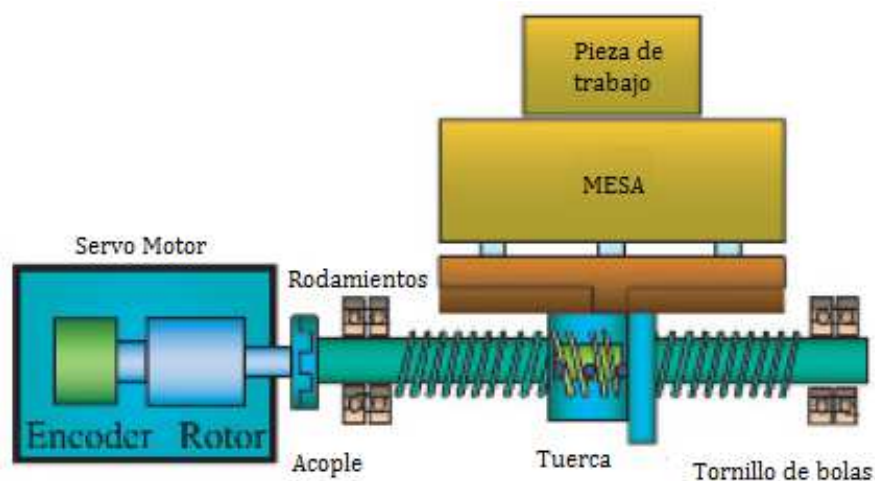


Figura 7. Mecanismo de movimiento lineal
Fuente: (Suh, Kang, Chung, Stroud , 2008)

2.5.1. Sistemas de transmisión.

Los sistemas de transmisión más comunes para máquinas CNC son los siguientes:

- Transmisión por tornillos de bolas.
- Transmisión de movimiento por piñón cremallera.
- Transmisión por cadena.
- Transmisión por banda dentada.

En la tabla 2 se muestra una comparación entre los sistemas mencionados:

Tabla 2.
Comparación de los sistemas de transmisión de movimiento

Sistema	Ventajas	Desventajas
Tornillos de bolas	Vida útil totalmente predecible Precisión	Precio No apto para controlar movimientos de carrera larga La inercia de los tornillos aumentan la potencia requerida por el motor
Piñón cremallera	Longitudes ilimitadas Backlash puede ser controlado Disponibilidad Gran rango de transmisión de fuerzas La inercia del piñón es, siendo el peso a mover lo más crítico para la selección del motor.	Se necesita de una superficie extremadamente plana para su montaje Desgaste de los dientes el desempeño no es el mismo durante toda la vida útil por lo que se hacen necesarios ajustes en el mallado piñón cremallera.
Transmisión por cadena	No requiere mayor mantenimiento El polvo del ambiente no afecta su desempeño La inercia del piñón es el peso a mover lo más crítico para la selección del motor.	No apto para sistemas de gran longitud Gran backlash
Transmisión por banda dentada	No requiere mayor mantenimiento	No apto para sistemas de gran longitud



El polvo del ambiente no afecta su desempeño La inercia de la polea es, siendo el peso a mover lo más crítico para la selección del motor.	Gran backlash
---	---------------

Fuente: (Hiwin, 2015)

2.5.2. Motores

Los motores usados en las máquinas herramientas deben cumplir con las siguientes características.

- Ser capaz de proporcionar la potencia adecuada de acuerdo a la carga.
- Rápida respuesta a las instrucciones.
- Buenas características de aceleración y desaceleración.
- Tener un amplio rango de velocidades.
- Ser capaz de controlar la velocidad de una manera segura en cualquier rango de velocidades.
- Poder ser operado de manera continua, por un largo tiempo.
- Estar en capacidad de proporcionar aceleración y desaceleración constantemente.
- Tener una alta resolución para generar un torque adecuado con cargas pequeñas.
- Facilidad de rotación y alta precisión de rotación.
- Generar un torque adecuado para detenerse.
- Ser confiable y tener una larga vida de uso.
- Mantenimiento fácil (Suh, Kang, Chung, Stroud , 2008).

En la tabla 3 se muestra una comparación entre los motores comúnmente usados en máquinas CNC.

Tabla 3.
Comparación de Motores usados en Máquinas CNC.

	Servomotor DC	Servomotor síncrono AC	Servomotor de inducción AC	Motor a pasos
Ventajas	Bajo precio Amplio rango de velocidad Fácil control	Sin escobillas Fácil de frenar	Estructura simple No se necesita detector	Precio bajo Simpleza Gran disponibilidad
Desventajas	Calentamiento Desgaste de las escobillas Ruidoso Se necesita detector de posición	Estructura compleja Variación de torque Vibración Detección de posición requerido	Freno dinámico es imposible Pérdidas de calor	Vibraciones Pérdida de torque a altas velocidades
Capacidad	Pequeña	Pequeña y mediana	Mediana o grande	Mediana
Sensores	No necesario	Encoder, resolver	No necesario	No necesario
Período de vida	Depende de la duración de las escobillas	Depende de la vida de los rodamientos	Depende de la vida de los rodamientos	Depende de la vida de los rodamientos
Altas velocidades	Inadecuada	Aplicable	Optimizada	Se pierde hasta 80% del torque máximo
Resistencia	Pobre	Buena	Buena	Buena



Imán permanente	Existe	Existe	Ninguno	Ninguno
------------------------	--------	--------	---------	---------

2.6. Encoders

Los encoders son captadores de velocidad y posición angular, estos constan de un disco transparente con una serie de marcas opacas colocadas radialmente y equidistantes entre sí, de un sistema de iluminación y de un elemento foto receptor vienen incluidos en los servomotores.

Existen dos tipos de encoders:

Encoder Incremental: En este tipo de encoder (figura 8) el eje cuya posición se quiere medir va acoplado al disco, a medida que el eje gira se van generando pulsos en el receptor cada vez que la luz atraviese las marcas, llevando una cuenta de estos pulsos es posible conocer la posición del eje. La resolución depende del número de marcas que se pueden poner físicamente en el disco.

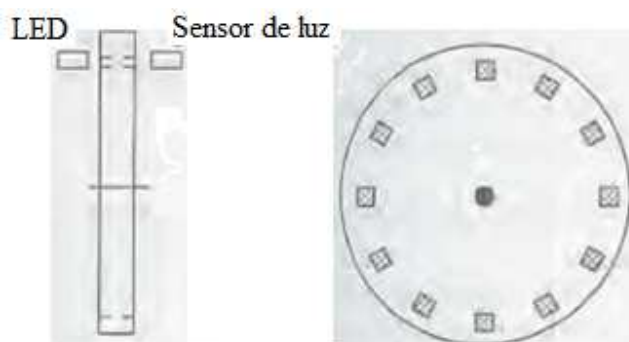


Figura 8. Encoder Incremental
Fuente: (Bolton, 2010)

Encoder Absoluto: El funcionamiento de un encoder absoluto es similar (figura 9), pero el disco se divide en un número de sectores (potencia de 2), codificándose cada uno

de ellos con un código binario (código Gray), con zonas transparentes y opacas. La resolución es fija y viene dada por el número de anillos que posea el disco granulado (Bolton, 2010).

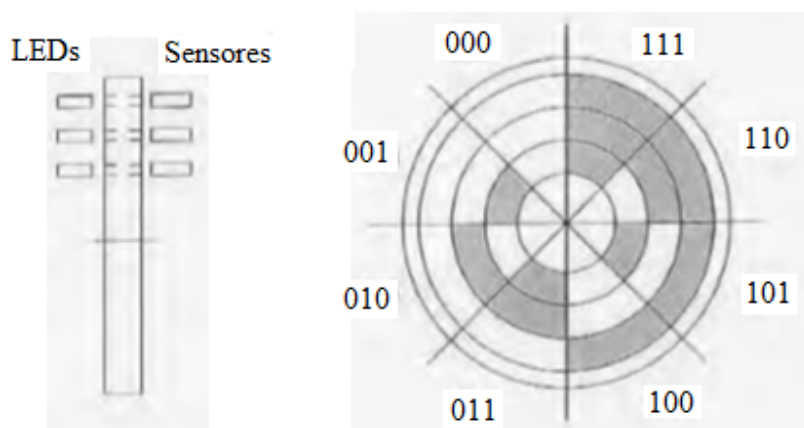


Figura 9. Encoder Absoluto
Fuente: (Bolton, 2010)

2.7. Velocidades y avance para corte.

La velocidad a la cual gira la pieza de trabajo en el torno es un factor importante y puede influir en el volumen de producción y en la duración de la herramienta de corte.

Una velocidad muy baja en el torno ocasionará pérdidas de tiempo; una velocidad muy alta hará que la herramienta se desafilé muy pronto y se perderá tiempo para volver a afilarla. Por ello, la velocidad y el avance correctos son importantes según el material de la pieza y el tipo de herramienta de corte que se utilice (Sandvick Coromant, Velocidades de corte y avance, 2014)

2.7.1. Velocidad de corte.


La velocidad de corte para trabajo en un torno se puede definir como la velocidad con la cual un punto en la circunferencia de la pieza de trabajo pasa por la herramienta

de corte en un minuto. La velocidad de corte se expresa en pies o en metros por minuto. Por ejemplo, si el acero de máquina tiene una velocidad de corte de 100 pies (30 m) por minuto, se debe ajustar la velocidad del torno de modo que 100 pies (30 m) de la circunferencia de la pieza de trabajo pasen frente a la punta de la herramienta en un minuto.

La velocidad de corte (V_C) recomendada para diversos materiales aparece en la tabla 4. Estas velocidades de corte las han determinado los productores de metales y fabricantes de herramientas de corte como las más convenientes para la larga duración de la herramienta y el volumen de producción.

Tabla 4.
Velocidades de Corte en un Torno

Torneado					
Material de la pieza	Herramienta de corte	Condiciones iniciales en propósito general		Desbaste y Acabado	
		pies/min	m/min	pies/min	m/min
Aceros al bajo C y de libre maquinado	Carburo recubierto con TiN (C. cementado)	350-500	105-150	200-750	60-230
	Cermet (Cerámico - Metal)	700-950	215-290	350-1500	105-455
Aceros al mediano y alto C	Carburo recubierto con TiN (C. cementado)	300-650	90-200	150-700	45-215
	Cermet (Cerámico - Metal)	550-800	170-245	350-1000	105-305



Fundición Gris	Carburo recubierto con TiN (C. cementado)	300-450	90-135	200-700	60-215
	Cermet (Cerámico - Metal)				
Acero Inoxidable Austénico	Carburo recubierto con TiN (C. cementado)	275-525	85-160	175-650	55-200
	Cermet (Cerámico - Metal)	600-700	185-215	350-950	105-290
Aleaciones para alta temperatura a base de níquel (Acero templado)	Carburo recubierto con TiN (C. cementado)	95-175	30-55	60-275	20-85
	Cerámica de Al ₂ O ₃	850	260	600-1300	185-395
Aleaciones de aluminio y libre maquinado	Carburo recubierto con TiN (C. cementado)	1800	550	200-3000	60-915
	Cermet (Cerámico - Metal)	1600	490	700-2600	215-795
Aleaciones de cobre	Carburo recubierto con TiN (C. cementado)	300-900	90-275	150-1500	45-455
	Cermet (Cerámico - Metal)	800-1400	245-425	650-2000	275-915

Fuente: (Kalpakjian, 2009)

2.7.1.1. Cálculo de la velocidad de rotación del husillo.

Para poder calcular la velocidad la velocidad de rotación del husillo en (rpm) a las cuales se debe ajustar el torno, hay que conocer el diámetro de la pieza y la velocidad de corte del material.

Aplique una de las siguientes fórmulas para calcular la velocidad en rpm a la cual se debe graduar el torno.

Cálculo en pulgadas:

$$n = \frac{V_c * 12}{\pi * d} \quad (Ec: 2.1)$$

Dónde:

n= Velocidad de rotación del husillo (rpm).

V_C= Velocidad de Corte (pies/min).

d= Diámetro de la pieza (pulgadas).

Cálculo en milímetros:

Las velocidades del husillo cuando se trabaja en milímetros se calculan con la siguiente ecuación:

$$n = \frac{V_c * 1000}{\pi * d} \quad (Ec: 2.2)$$

Dónde:

n= Velocidad de rotación del husillo (rpm).

V_C= Velocidad de Corte (m/min).

d= Diámetro de la pieza (mm).

2.7.2. Velocidad de avance del torno (s).

El avance de un torno se define como la distancia que avanza la herramienta de corte a lo largo de la pieza de trabajo por cada revolución del husillo. Por ejemplo, si el torno está graduado por un avance de 0.008 pulg. (0.20 mm), la herramienta de corte avanzará a lo largo de la pieza de trabajo 0.008 pulg. (0.20 mm) por cada vuelta completa de la pieza. El avance de un torno paralelo depende de la velocidad del tornillo o varilla de avance. Además, se controla con los engranes desplazables en la caja de engranes de cambio rápido.

Las velocidades de avance del torno de acuerdo al tipo de cuchilla y material que se va mecanizar se muestran en la tabla 5.

Tabla 5.
Velocidades de avance del torno

Torneado					
Material de la pieza	Herramienta de corte	Condiciones iniciales en propósito general		Desbaste y Acabado	
		mm/rev	pulg/rev	mm/rev	pulg/rev
Aceros al bajo C y de libre maquinado	Carburo recubierto con TiN (C. cementado)	0.35	0.014	0.15-1.1	0.006-0.045
	Cermet (Cerámico - Metal)	0.3	0.012	0.15-1.1	0.006-0.045
Aceros al mediano y alto C	Carburo recubierto con TiN (C. cementado)	0.3	0.012	0.15-0.75	0.006-0.03
	Cermet (Cerámico - Metal)	0.25	0.010	0.15-0.75	0.006-0.03



	Metal)				
Fundición Gris	Carburo recubierto con TiN (C. cementado)	0.32	0.013	0.1-0.75	0.004-0.03
	Cermet (Cerámico - Metal)				
Acero Inoxidable Austénico	Carburo recubierto con TiN (C. cementado)	0.35	0.014	0.08-0.75	0.003-0.03
	Cermet (Cerámico - Metal)	0.3	0.012	0.08-0.75	0.003-0.03
Aleaciones para alta temperatura a base de níquel (Acero templado)	Carburo recubierto con TiN (C. cementado)	0.15	0.006	0.1-0.3	0.004-0.012
	Cerámica de Al ₂ O ₃	0.15	0.006	0.1-0.3	0.004-0.012
Aleaciones de aluminio y libre maquinado	Carburo recubierto con TiN (C. cementado)	0.45	0.018	0.08-0.62	0.003-0.025
	Cermet (Cerámico - Metal)	0.45	0.018	0.08-0.62	0.003-0.025
Aleaciones de cobre	Carburo recubierto con TiN (C. cementado)	0.25	0.010	0.15-0.75	0.006-0.03
	Cermet (Cerámico - Metal)	0.25	0.010	0.15-0.75	0.006-0.03

Fuente: (Kalpakjian, 2009)

Siempre que sea posible, sólo se deben hacer dos cortes para dar el diámetro requerido: un corte de desbastado y otro de acabado. Dado que la finalidad del corte de desbastado es remover el material con rapidez y el acabado de superficie no es muy importante, se puede usar un avance basto. El corte de acabado se utiliza para dar el diámetro final requerido y producir un buen acabado de superficie; por lo tanto, se debe utilizar un avance fino.

2.8. Fuerza de corte.

Para calcular la fuerza de corte el método más utilizado es de presión de corte el cual manifiesta que la fuerza de corte es directamente proporcional a la sección de viruta deformada con una constante de proporcionalidad denominada presión de corte K_S .

$$F_C = K_S * A_C [N]$$

Para determinar el valor de K_S se debe relacionar con el valor de viruta indeformada, para ello experimentalmente la presión específica de corte K_{S0} corresponde con el valor de K_S cuando la sección de viruta es la unidad (Ávila, 2011), pero también se pueden obtener estos valores de tablas para materiales de uso frecuente, estos valores se muestran en la tabla 6.

$$F_C = K_{S0} * s * a [N] \quad (Ec: 2.3)$$

Tabla 6.
Valores de Energía Específica y Presión específica de corte de materiales frecuentes.

Valores de energía específica de corte ($W*s/mm^3$) Presión específica de corte (N/mm^2)		
MATERIAL	($W*s/mm^3$)	K_{S0} (N/mm^2)
Aleaciones de Aluminio	0.4 – 1.1	400 – 1100
Hierros Fundidos	1.5 – 5.5	1500 – 5500
Aleaciones de cobre	1.4 – 3.3	1400 – 3300



Aleaciones de alta temperatura	3.3 – 8.5	3300 – 8500
Aleaciones de Magnesio	0.4 – 0.6	400 – 600
Aceros Inoxidables	3.0 – 5.2	3000 – 5200
Aceros	2.7 – 9.3	2700 – 9300
Aleaciones de Titanio	3.0 – 4.1	3000 - 4100

Fuente: (Kalpakjian, 2009)

Las profundidades de corte para el tipo de cuchilla se muestran en la tabla 7.

Tabla 7.
Profundidades de corte para cualquier tipo de cuchilla

Torneado				
Material de la pieza	Condiciones iniciales en propósito general		Desbaste y Acabado	
	mm	pulg	mm	pulg
Aceros al bajo C y de libre maquinado	1.5-6.3	0.06-0.25	0.5-7.6	0.02-0.30
Aceros al mediano y alto C	1.2-4.0	0.05-0.20	2.5-7.6	0.10-0.30
Fundición Gris	1.25-6.3	0.05-0.25	0.4-12.7	0.015-0.5
Acero Inoxidable Austénico	1.5-4.4	0.06- 0.175	0.5-12.7	0.02-0.5
Aleaciones para alta temperatura a base de níquel (Acero templado)	2.5	0.10	0.25-6.3	0.01-0.25
Aleaciones de aluminio y libre maquinado	1.5-5	0.06-0.20	0.25-8.8	0.01-0.35
Aleaciones de cobre	1.5-5	0.06-0.20	0.4-7.51	0.015-0.3

Fuente: (Kalpakjian, 2009)

2.9. Cálculo del tiempo de maquinado.

A fin de calcular el tiempo requerido para maquinar cualquier pieza de trabajo se deben tener en cuenta factores tales como velocidad, avance y profundidad del corte. El tiempo requerido se puede calcular con facilidad con la fórmula siguiente:

$$t = \frac{l}{s * n} \quad (Ec: 2.4)$$

Dónde:

t= Tiempo de maquinado.

l= Longitud de la pieza.

s= Velocidad de avance.

n= Velocidad de rotación del husillo (rpm).

2.10. Programación de una máquina CNC.

Un programa para una máquina CNC es una lista secuencial de instrucciones ordenada por bloques, cada bloque puede ser definido mediante el uso de los siguientes comandos:

- Comandos de control numérico como G, M, S, T, H, D, F y sus respectivas direcciones.
- Llamado a subprogramas y mensajes.

- Uso de variables y llamados a programas condicionales (Suh, Kang, Chung, Stroud, 2008).

Como se puede observar en la figura 10 un programa consiste de una secuencia de bloques, cada bloque contiene varias palabras y cada palabra está constituida por una dirección y un número. A continuación se describen con más detalle los elementos de un programa.

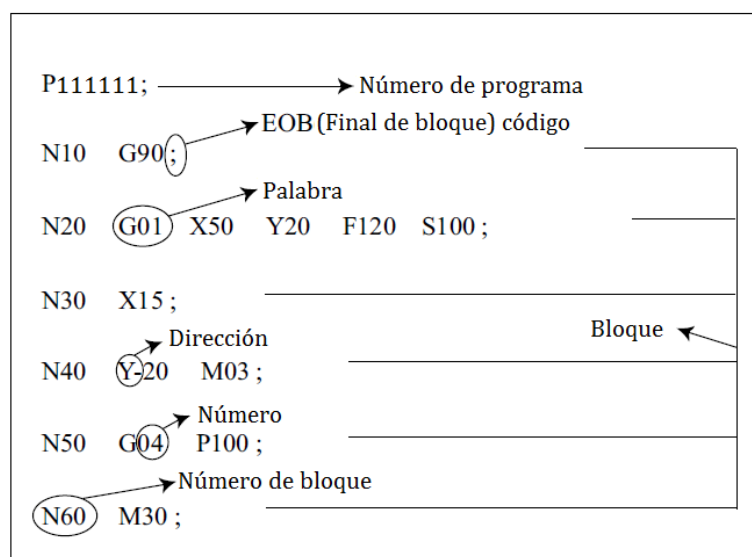


Figura 10. Formato de un programa y sus partes constitutivas

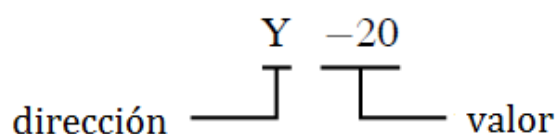
Fuente: (Suh, Kang, Chung, Stroud , 2008)

Número de programa: Una máquina CNC puede ejecutar 9999 líneas de programas por lo que es necesario identificar cada programa con un número que se coloca al inicio de cada programa.

Bloque: Un bloque tiene en su estructura un número de bloque, al menos una palabra y un final de bloque.

Palabra: Una palabra es un conjunto de caracteres en un orden específico siendo la unidad mínima necesaria para que la máquina herramienta se desempeñe de una manera determinada.

La estructura de la palabra es la siguiente:



La dirección puede ser cualquier letra del alfabeto (de la A a la Z) o una combinación de las mismas. El valor subsecuente da a conocer el dato que es requerido para que se produzca el comportamiento que está asociado con la dirección. En la tabla 8 se muestran las direcciones más comunes utilizadas para la programación en código G.

Tabla 8.
Direcciones y funciones asociadas más comunes

Función	Dirección	Significado (Ejemplo)	Unidad
Número de programa	O	Número de programa 00001	
Número de bloque	N	Número de secuencia de control numérico N99999	
Función preparatoria	G	Comando de modo G01,G02	mm, in
Coordenadas (ejes traslacionales)	X,Y,Z / U,V,W	Eje / dirección	mm, in
Coordenadas (ejes rotacionales)	X,Y,Z/ U,V,W	Eje A30	grados



Velocidad de avance	F	Velocidad de avance por minuto F200	mm/min in/min grados/min
		Velocidad de avance por revolución F1	mm/rev in/rev grados/rev
Velocidad de husillo	S	S3000	Rpm
Herramienta	T	Número de herramienta T12	
Función auxiliar	M	Comando de máquina M06	
Compensación	H, D	Registro de compensación H10	
Número de repeticiones del subprograma	L	Iteración número L5	
Radio de círculo o arco	R	Radio de arco o círculo R3	mm, in
Chaflán	C	Valor de chaflán C2	mm, in
Posición del centro de círculo	I, J, K	Coordenadas de centro de círculo	mm, in

Fuente: (Suh, Kang, Chung, Stroud , 2008)

CAPÍTULO III

DISEÑO SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO

3.1. Introducción.

La Empresa MIVILTECH S.A. cuenta con un torno CM6241X1500 (Figura 11), en la actualidad dicho torno es ocupado para realizar el maquinado de piezas necesarias en la producción de la empresa, debido a la demanda existente se ha decidido automatizar dicho torno ya que hoy en día la industria se ve involucrada directamente en producción en línea.



Figura 11. Torno Mecánico paralelo CM6241X1500
Fuente: MIVILTECH S.A.

Las características del torno CM6241X1500, se presentan en la tabla 9, se deben tomar en cuenta dichas características debido a que para la automatización se van a utilizar la gran mayoría de los sistemas propios del torno, con algunas modificaciones.

Tabla 9.
Características del Torno CM6241X1500.

Características del torno CM6241X1500	
Diámetro de volteo sobre la bancada	410 mm
Diámetro de volteo sobre el carro transversal	255 mm
Distancia entre centros	1500 mm
Ancho de la bancada	250 mm
Sección Máxima del soporte portaherramientas	20 x 20 mm
Carrera máxima del carro transversal	210 mm
Carrera máxima del carro de torre	140 mm
Diámetro del agujero del husillo	52 mm
Nariz del Husillo	D 1 - 6
Agujero cónico del husillo	M.T (Morse Taper) # 6
Número de velocidades	16
Rango de velocidades	45-1800 RPM
Varilla Roscada – Paso	4 T.P.I (6 mm)
Escala de rosca en pulgadas	2 – 72 T.P.I (45 tipos)
Escala de rosca métrica	0.2 – 14 mm (39 tipos)
Carrera máxima del mango del contrapunto	120 mm
Parte interna del mango del contrapunto.	M.T (Morse Taper) # 4
Potencia Motor principal	3.3/2.2 kW (3.0 HP)
Potencia del motor de la bomba de refrigeración	0.1 kW (1/8 HP)
Dimensiones totales (L*W*H)	2440*580*1320 mm
Peso Bruto	1565 Kg

Fuente: (Torno CM6241X1500, 2014)

3.2. Detalle de la mejor alternativa.

En las tablas 10 y 11 se muestran las matrices morfológicas de las alternativas que pueden ser utilizadas en el presente proyecto.

Tabla 10.

Matriz morfológica selección del sistema de transmisión

SISTEMA	Transmisión			
ITEM: Movimiento	Tornillos de bolas	Piñón cremallera	Cadena	Banda dentada
GRAFICO				
VENTAJAS	Vida útil totalmente predecible	Longitudes ilimitadas	No requiere mayor mantenimiento	No requiere mayor mantenimiento
DESVENTAJAS	No apto para movimientos de carrera larga	Se necesita una superficie plana para su montaje	No apto para sistemas de gran longitud	No apto para sistemas de gran longitud

Tabla 11.

Matriz morfológica selección para los servomotores

SISTEMA	Motores		
ITEM: Movimiento	Servomotores DC	Servomotores AC	A pasos
GRAFICO			
VENTAJAS	Amplio Rango de velocidad	Fácil de frenar, robustos	Gran disponibilidad
DESVENTAJAS	Ruidoso	Detección de posición requerido	Pérdida de torque a altas revoluciones

En la tabla 12 se muestran los criterios a evaluar cada una de las opciones de diseño que pueden ser empleadas en el presente proyecto.

Tabla 12.
Criterios a evaluar en las alternativas de diseño

Criterios a Evaluar			
		Símbolo	Valoración
1	Manufactura	M	5
2	Seguridad	S	15
3	Mantenimiento	MT	5
4	Costos	C	15
5	Vibraciones	V	5
6	Tamaño	T	15
7	Funcionalidad	F	15
8	Piezas estándar	PS	5
9	Peso	P	15
10	Sustentabilidad	ST	5
			100

En la tabla 13 se muestra la matriz de valoración para proceder a seleccionar la mejor alternativa para el diseño de la máquina.

Tabla 13.
Evaluación de criterios para selección de la mejor alternativa.

SISTEMA	ITEM	CRITERIOS											Total
		TIPOS	M	S	MT	C	V	T	F	PS	P	ST	
Transmisión	Movimiento	Tornillo de bolas	3	14	4	5	3	10	11	5	5	5	65
		Piñón Cremallera	4	12	3	3	3	9	10	4	2	3	53
		Cadena	2	12	3	4	3	6	8	5	4	4	51
		Banda dentada	3	13	2	2	3	8	6	5	3	3	48
Motores	Movimiento	Servomotores DC	4	12	3	3	3	7	10	4	2	3	51
		Servomotores AC	5	10	5	5	4	13	10	5	5	4	66
		A pasos	5	12	4	4	3	5	6	3	3	3	48

De acuerdo a los criterios de evaluación de las alternativas que se pueden utilizar en el diseño de este proyecto y luego de analizar los requerimientos necesarios para cada uno de los componentes que van a ser reemplazados se procede a detallar en la tabla 14 la mejor alternativa para cada componente.

Tabla 14.
Mejores alternativas para el diseño

Mejores alternativas para el diseño	
Sistema de transmisión para los ejes X,Z	Tornillos de bolas
Motores para los ejes X,Z	Servomotores AC síncronos

Todos los elementos que no son tomados en cuenta en la tabla 14, se mantendrán los propios del torno: guías lineales, motor principal, motor de la bomba de refrigeración, estructura de la máquina.

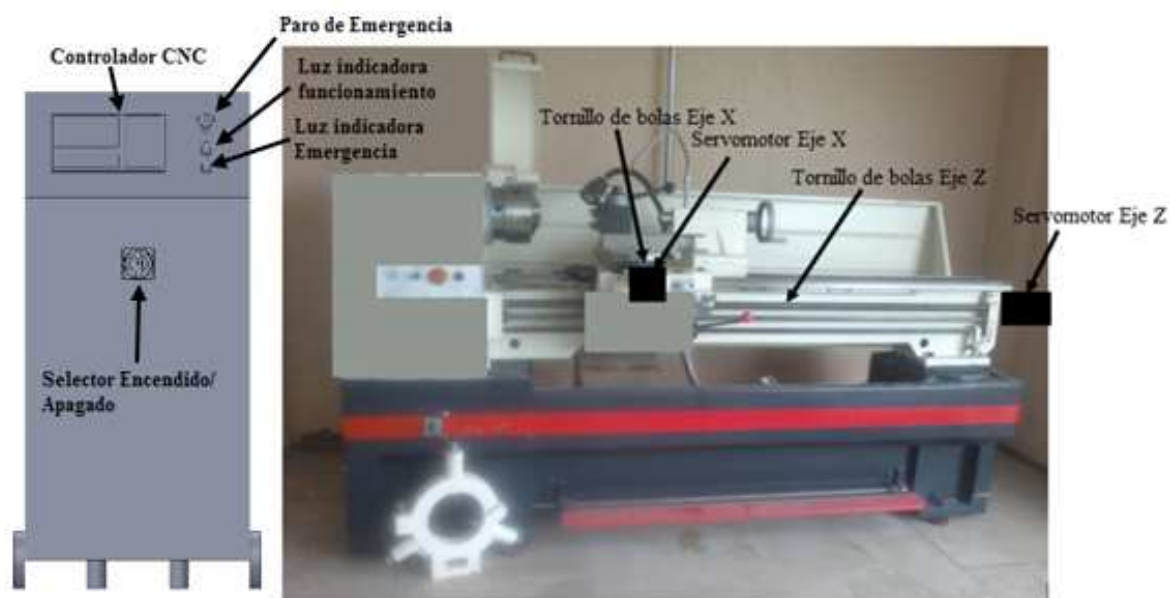


Figura 12. Esquema del torno CNC

3.3. Parámetros de diseño.

Los parámetros necesarios para comenzar con el diseño del torno se muestran en la tabla 15.

Tabla 15.
Parámetros de diseño

Parámetros del torno cm6241x1500	
Recorrido del carro del eje Z	1500 mm
Recorrido del carro del eje X	210 mm
Potencia de la máquina	5.5 kW (7.3 HP)
Potencia del motor de la bomba de refrigeración	0.1 kW (1/8 HP)
Rendimiento de la máquina	85.5 %
Rango de velocidades continuas	0 a 1800 RPM
Rango de avances continuos	0 – 7500 (mm/min)
Avance rápido eje x	12 (m/min)
Avance rápido eje z	12 (m/min)
Precisión de posicionamiento	0.01 (mm)

Fuente: MIVILTECH S.A

3.3.1. Comprobación del motor para el mandril.

La presente comprobación se la realiza para determinar si el motor que dispone el torno para el movimiento del mandril es el adecuado para satisfacer las operaciones de torneado que requiere hacer la empresa.

Para determinar la potencia que deberá tener el motor del mandril del torno, se ven involucradas directamente las características de los materiales a ser maquinados.

Por esta razón se va a elegir el material más duro a ser maquinado que se indica en las tablas 6 y 7. Es el acero templado y con una cuchilla de TiN (Carburo cementado) de donde tenemos lo siguiente:

$$K_{S0} = 3000 \text{ N/mm}^2 \text{ (Presión Específica de corte)}$$

$$s = 0.1 - 0.3 \text{ mm/rev. (Avance de corte)}$$

$$a = 0.25 - 6.3 \text{ mm (profundidad de corte)}$$

Con estos parámetros podemos aplicar la ecuación 2.3 detallada en la sección 2.7 para poder calcular la fuerza de corte.

Ya que tenemos rangos en los parámetros que están involucrados en los cálculos, se van a realizar alternativas para saber cuáles son los parámetros más adecuados que satisfagan las necesidades de maquinado dentro de la empresa, estos parámetros se muestran en la tabla 16.

Tabla 16.
Parámetros para torneado

Parámetros Acero Templado con cuchilla de TiN (Carburo cementado)	
Parámetros	Resultados
s=0.3 mm/rev a=6.3 mm Vc=20 m/min	Fc=5670 N P _M =1.89 kW
s=0.3 mm/rev a=0.25 mm Vc=85 m/min	Fc=225 N P _M =0.32 kW
s=0.1 mm/rev a=6.3 mm Vc=85 m/min	Fc=1890 N P _M =2.67 kW



s=0.2 mm/rev	F _c =3300 N
a=5.5 mm	P _M =3.3 kW
V _c =60 m/min	
s=0.3 mm/rev	F _c =3600 N
a=4 mm	P _M =3.3 kW
V _c =56 m/min	

Fuente: (Kalpakjian, 2009)

De todas las opciones propuestas en la tabla 16, la última opción es la más óptima para el maquinado del acero templado ya que tenemos el máximo avance, profundidad media y velocidad media, se detallan los cálculos a continuación:

Primero se debe determinar la fuerza de corte (figura 13) ya que es la fuerza que nos permite conocer la potencia de mecanizado Ec: (2.3).

$$F_c = K_{s0} * s * a [N]$$

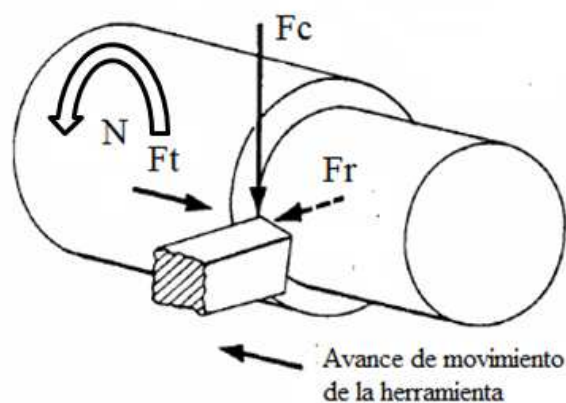


Figura 13. Fuerzas que actúan en el torneado

Fuente: (Kalpakjian, 2009)

Dónde:

F_C = Consume el 99% de potencia.

F_t = 40% de F_C .

F_r = Despreciable.

$$F_C = 3000 \text{ N/mm}^2 * 0.3 \text{ mm/rev} * 4 \text{ mm} [N]$$

$$F_C = 3600 [N]$$

$$F_C = \frac{3600 \text{ N}}{9.8} = 367.3 \text{ Kgf}$$

Una vez obtenida la fuerza de corte se procede a calcular la potencia absorbida en el torneado a partir de la siguiente ecuación:

P_M = Potencia de mecanizado (Sandvick Coromant, Fórmulas de torneado, 2014)
[kW]

$$P_M = \frac{V_C * F_C}{60 * 10^3} [kW] \quad (Ec: 3.1)$$

Dónde:

V_C = 20 - 85 m/min (velocidad de corte tabla 4)

$$P_M = \frac{56 \text{ m/min} * 3600 \text{ N}}{60 * 10^3} [kW]$$

$$P_M = 3.3 [kW]$$

De acuerdo a los cálculos realizados se observa que la potencia a ser absorbida en el maquinado de acero templado es de 3.3 kW, se decide sustituir el motor original que posee el torno para el movimiento del mandril debido a que este es un motor de inducción y se debería realizar un acople de un encoder más un variador de frecuencia para el control de velocidad y posición, este motor va a ser sustituido por un servomotor

de 5.5 kW que nos permitirá satisfacer completamente las necesidades de maquinado que se van a realizar en los procesos de fabricación de la empresa, además el servomotor es más preciso que el arreglo con encoder y variador de frecuencia y lo más importante el costo es similar.

3.4. Selección de los tornillos de bolas para los ejes longitudinal y transversal.

De acuerdo a lo analizado en la sección 2.5.1 se decidió por un sistema de transmisión por tornillos de bolas, debido a que es el más adecuado para este tipo de aplicación, en la figura 14 se muestran los tipos de soporte para un tornillo de bolas.

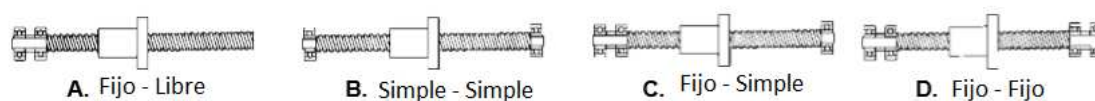


Figura 14. Tipos de soporte para husillos de bolas
Fuente: (Techno Inc, 2014).

3.4.1. Tornillo de bolas para el eje X.

Para iniciar la selección del tornillo de bolas es necesario considerar los parámetros de diseño más importantes que son: velocidad de giro del husillo (rpm), velocidad crítica y la fuerza de compresión máxima.

3.4.1.1. Paso del tornillo de bolas.

Para calcular el paso del tornillo de bolas para el eje x, se necesita como dato el avance rápido que para un torno CNC es de 12 m/mim, mediante la siguiente ecuación.

$$P = \frac{V}{N} \quad (Ec: 3.2)$$

Donde:

P= Paso.

V= Avance rápido típico del eje de un torno CNC (velocidad lineal).

N= Velocidad nominal típica de un servomotor.

$$P = \frac{12 \text{ m/ min} * 1000}{3000 \text{ rpm}}$$

$$P = 4 \text{ mm}$$

El paso obtenido es 4, lo que quiere decir que es el paso que debe tener el tornillo de bolas para satisfacer la velocidad lineal.

3.4.1.2. Diámetro del tornillo de bolas.

Por medio de la figura 15 se determina el diámetro del husillo de bolas basado en la velocidad de crítica y distancia entre apoyos.

Para iniciar la selección del tornillo de bolas debemos tomar en cuenta la velocidad a la que va a rotar el eje que para este caso es 2400 rpm. Esta velocidad se la obtiene de la combinación de las ecuaciones (3.2 y 3.9) de las secciones (3.4.1.1 y 3.7.1).

Para esta aplicación todos los diámetros que están a la derecha de la intersección de las líneas son válidos, en este caso el primer diámetro que satisface las condiciones es el de 10 mm y paso 3 pero en la sección anterior se calculó que el paso debe ser mínimo 4 entonces ese diámetro queda descartado, el siguiente es un diámetro de 12 mm y paso 5, este diámetro si cumple estas condiciones pero pertenece a los tornillos miniatura y el fabricante no dispone de la longitud necesaria, por lo tanto se elige el diámetro siguiente

que es de 16 mm y paso 5 que pertenece a los tornillos estándar y está disponible en la longitud necesaria.

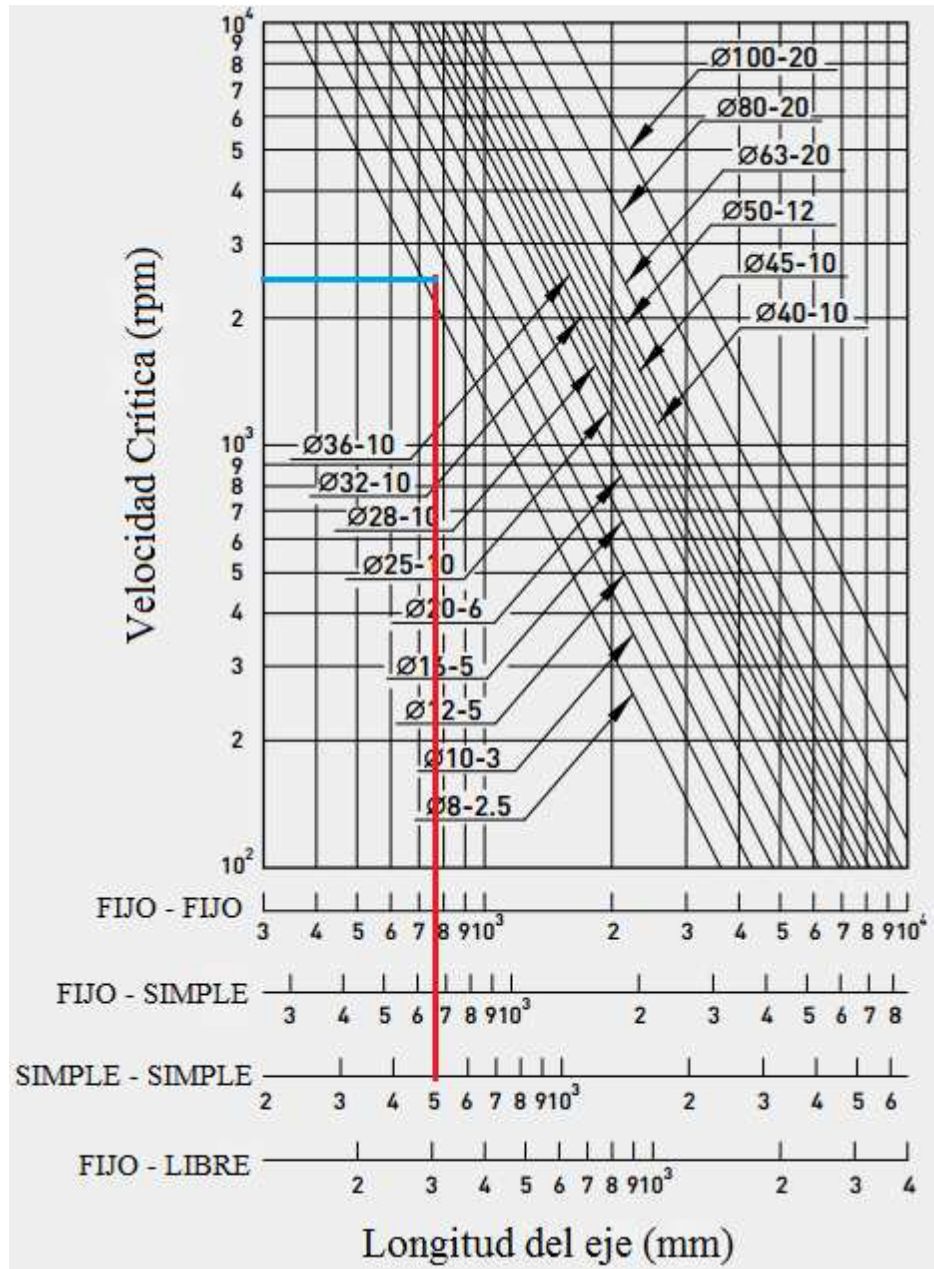


Figura 15. Velocidad de rotación vs. Longitud entre apoyos
Fuente: (Hiwin, 2015).

De acuerdo a la figura 14 para este tornillo de bolas se va a seleccionar el tipo de soporte B (simple - simple).

Velocidad crítica:

$$N_c = 2.71 \times 10^8 * \frac{M_f * d_r}{L_t^2} \quad (Ec: 3.3)$$

Donde:

N_c = Velocidad crítica (rpm).

d_r = Diámetro interno del Husillo (mm).

L_t = Distancia entre soportes (mm).

M_f = Factor de soporte.

- Caso A = 0.157
- Caso B = 0.441
- Caso C = 0.689
- Caso D = 1

$$N_c = 2.71 \times 10^8 * \frac{0.441 * 13.324}{500^2} = 6369.46 \text{ rpm}$$

3.4.2. Tornillo de bolas para el eje Z.

Para iniciar la selección del tornillo de bolas es necesario considerar los parámetros de diseño más importantes que son: velocidad de giro del husillo (rpm), velocidad crítica y la fuerza de compresión máxima.

3.4.2.1. Paso del tornillo de bolas.

Para calcular el paso del tornillo de bolas para el eje z, se necesita como dato el avance rápido que para un torno CNC es de 12 m/mim, mediante la siguiente ecuación 3.2.

$$P = \frac{12 \text{ m/min} * 1000}{3000 \text{ rpm}}$$

$$P = 4 \text{ mm}$$

El paso obtenido es 4, lo que quiere decir que es el paso mínimo que debe tener el tornillo de bolas para satisfacer la velocidad lineal.

3.4.2.2. Diámetro del tornillo de bolas.

Por medio de la figura 16 se determina el diámetro del husillo de bolas basado en la velocidad de avance y distancia entre apoyos.

Para iniciar la selección del tornillo de bolas debemos tomar en cuenta la velocidad a la que va a rotar el eje que para este caso es 1200 rpm. Esta velocidad se la obtiene de la combinación de las ecuaciones (3.2 y 3.9) de las secciones (3.4.1.1 y 3.7.1).

Para esta aplicación todos los diámetros que están a la derecha de la intersección de las líneas son válidos, el diámetro 32 y paso 10 satisface todas las condiciones y está disponible en la longitud necesaria.

De acuerdo a la figura 14 para tornillo de bolas se va a seleccionar el tipo de soporte C (fijo - simple).

Velocidad crítica:

Aplicamos la ecuación 3.3

$$N_c = 2.71 \times 10^8 * \frac{0.689 * 26.91}{2000^2} = 1256.15 \text{ rpm}$$

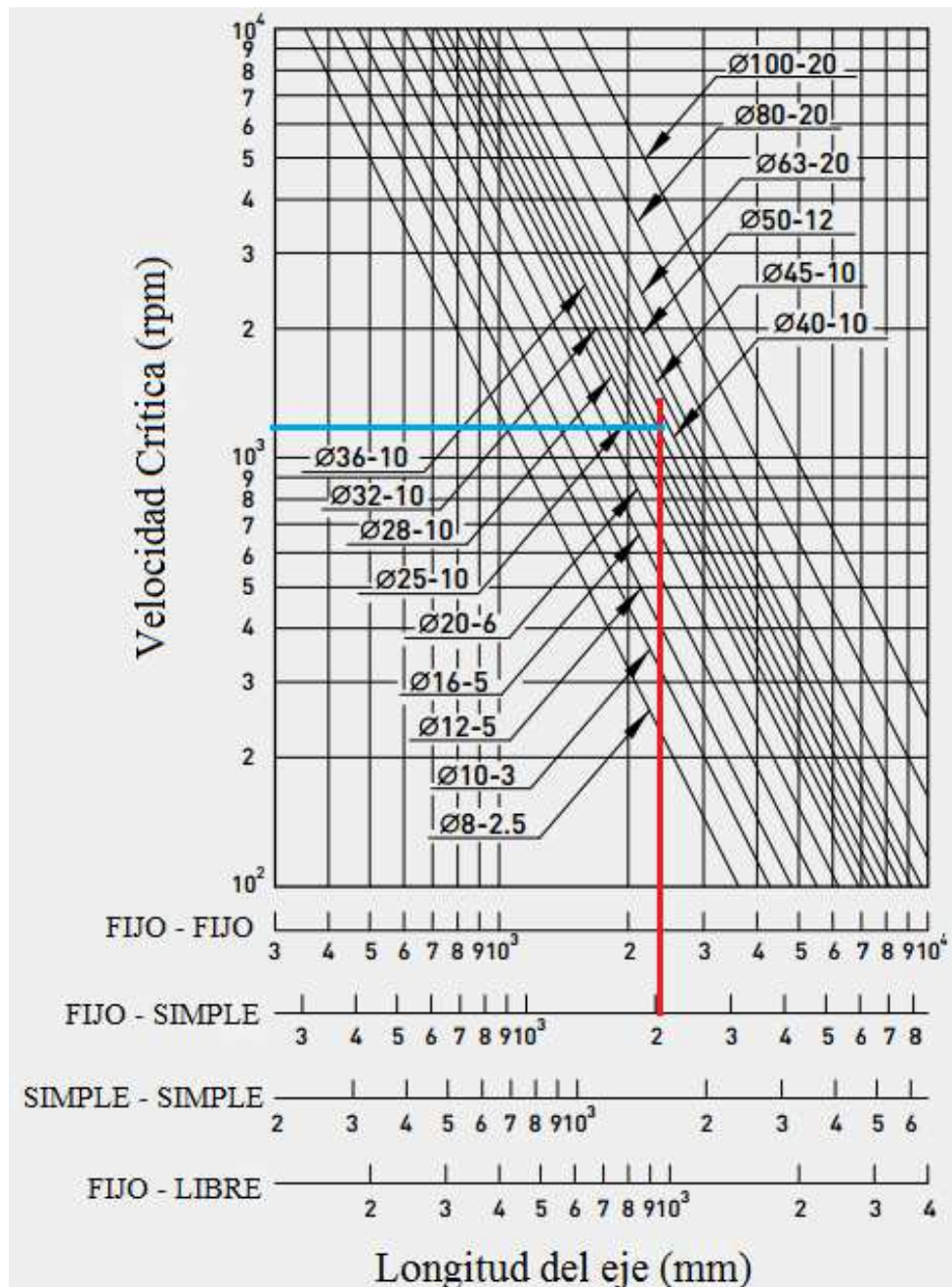


Figura 16. Velocidad de avance vs. Longitud entre apoyos

Fuente: (Hiwin, 2015).

3.4.3. Niveles de precisión de los tornillos de bolas.

En las tablas 17 y 18 se muestran los niveles de precisión de los husillos de bolas para un torno son C1, C2, C3, C4 C5, por lo que se va a escoger la tolerancia C4 para el eje X y C5 para el eje Z.

Tabla 17.
Niveles de precisión de husillos de bolas por aplicación

Application grade	AXIS	Accuracy grade									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	10
Lathes	X	•	•	•	•	•					
	Z				•	•	•				
Milling machines Boring machines	X		•	•	•	•	•				
	Y		•	•	•	•	•				
Machine Center	Z			•	•	•	•				
	X		•	•	•	•					
Machine Center	Y		•	•	•	•					
	Z			•	•	•					
Jig borers	X	•	•								
	Y	•	•								
	Z	•	•								
Drilling machines	X				•	•	•				
	Y				•	•	•				
	Z					•	•	•			
Grinders	X	•	•	•							
	Y		•	•	•						
EDM	X		•	•	•						
	Y		•	•	•						
	Z			•	•	•	•				
Wire cut EDM	X		•	•	•						
	Y		•	•	•						
	U		•	•	•	•					
Laser Cutting Machine	V		•	•	•	•					
	X			•	•	•					
	Y			•	•	•					
Z			•	•	•						

Fuente: (Hiwin, 2015)

Tabla 18.
Estándar internacional de los grados de precisión para los Tornillos de bolas

Unidad: 0.001mm

Grade		Ground									
							Rolled				
		C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C10
σ_{300p}	ISO, DIN		6		12		23		52		210
	JIS	3.5	5		8		18		50		210
	HIWIN	3.5	5	6	8	12	18	23	50	100	210

Fuente: (Hiwin, 2015).

En la tabla 19 se muestran las combinaciones estándar para tornillos de bolas disponibles en el mercado.

Tabla 19.
Combinaciones estándar del diámetro del tornillo y el paso

Diámetro exterior del eje de husillo	Paso																						
	1	2	4	5	6	8	10	12	15	16	20	24	25	30	32	36	40	50	60	80	90	100	
4	●																						
5	●																						
6	●																						
8	●	●						●	○														
10		●	●					●	○														
12		●		●			●																
13		●									○												
14		●	●	●			●																
15								●			●			○				○					
16			○	●	○			○		●													
18								●															
20			○	●	○	○	○	●	○	●							○		○				
25			○	●	○	○	○	●	○	○		○	●		○			○		○			
28				○	●	○	○	○															
30																					○		○
32			○	●	●	○	○	●	○		○				○								
36					○	○	○	●	○		○	○	○				○						
40				○	○	○	○	●	○		○	○					○				○		
45					○	○	○	○	○		○	○					○						
50				○		○	○	○	○		○	○					○		○				○
55								○	○		○	○					○						
63								○	○		○	○											
70								○	○		○												
80								○	○		○												
100											○												
120																							

●: productos en existencia [productos normalizados en almacén con los husillos estandarizados (con extremos de eje sin acabado/extremos de eje con acabado)]
○: seminormalizado en almacén

Fuente: (THK, 2015)

En la figura 17 se muestra la nomenclatura para la selección de los modelos de tornillos de bolas HIWIN.

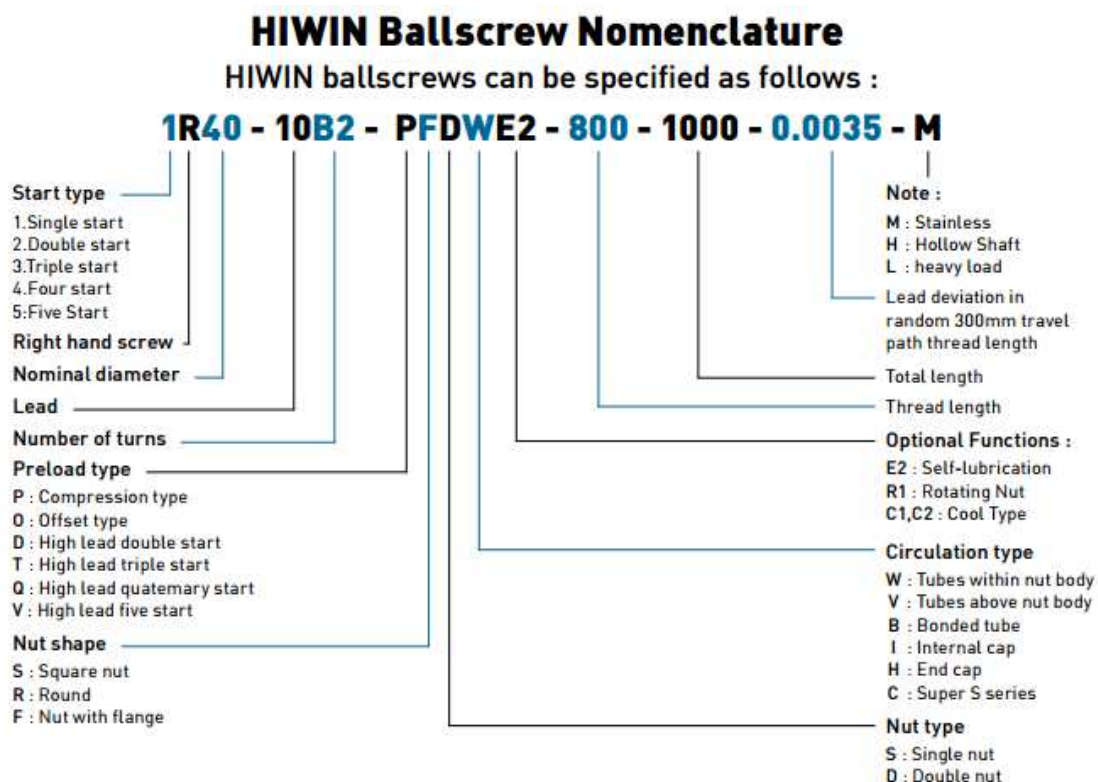


Figura 17. Nomenclatura de Tornillos de bolas

Fuente: (Hiwin, 2015).

Tornillo de bolas para el eje X.

De acuerdo a lo analizado en la sección 3.4.1 para el eje X es necesario un Tornillo de bolas de diámetro 16 mm, paso 5 mm, precisión C4, con estos parámetros ingresamos al catálogo HIWIN, en la figura 18 se muestran las dimensiones del tornillo seleccionado.

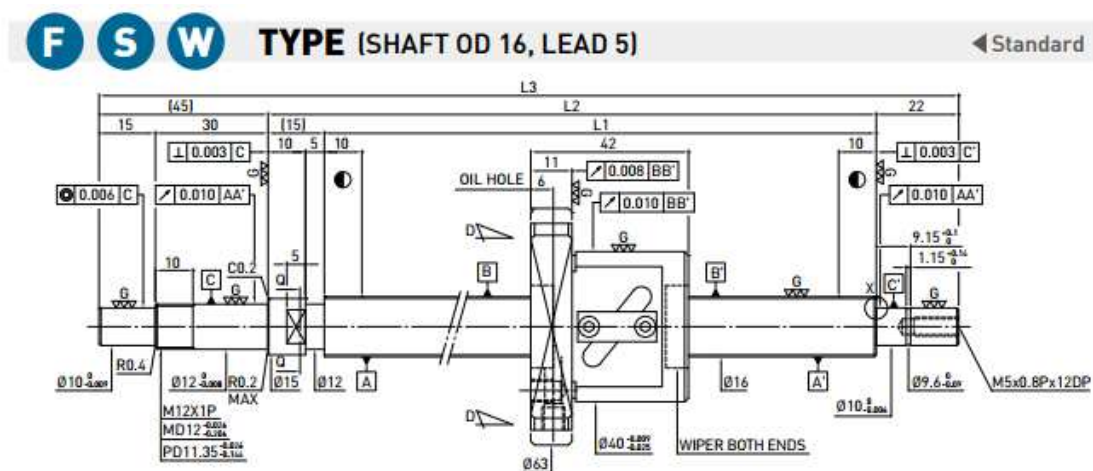


Figura 18. Tornillo de bolas FSW diámetro 16mm, paso 5mm

Fuente: (Hiwin, 2015).

En la tabla 20 se muestran las características del tornillo seleccionado.

Tabla 20.
Datos del tornillo de bolas

Ballscrew Data		
Direction	Right Hand	
Lead (mm)	5	
Lead Angle	5.48°	
P.C.D (mm)	16.6	
Screw P.C.D (mm)	16.2	
RD (mm)	13.324	
Steel Ball (mm)	Ø3.175	
Circuits	2.5x1	
Dynamic Load C (Kgf)	481	763
Static Load Co (Kgf)	700	1399
Axial Play (mm)	0	0.005 or less
Drag Torque (Kgf-cm)	0.15~0.8	0.2MAX
Spacer Ball	1 : 1	-

Fuente: (Hiwin, 2015)

En la tabla 21, se muestra el modelo de tornillo de bolas seleccionado.

Tabla 21.
Selección tornillo de bolas SFW

Stroke	HIWIN Code	L1	L2	L3	Accuracy grade
100	R16-5B1-FSW-189-271-0.018	189	204	271	5
200	R16-5B1-FSW-289-371-0.018	289	304	371	5
300	R16-5B1-FSW-389-471-0.018	389	404	471	5
400	R16-5B1-FSW-489-571-0.018	489	504	571	5
600	R16-5B1-FSW-689-771-0.018	689	704	771	5
800	R16-5B1-FSW-889-971-0.018	889	904	971	5

Fuente: (Hiwin, 2015)

Tornillo de bolas para el eje Z.

De acuerdo a lo analizado en la sección 3.4.2 para el eje Z es necesario un Tornillo de bolas de diámetro 32 mm, paso 10 mm, precisión C5, con estos parámetros ingresamos al catálogo HIWIN, en la figura 18 se muestran las dimensiones del tornillo seleccionado.

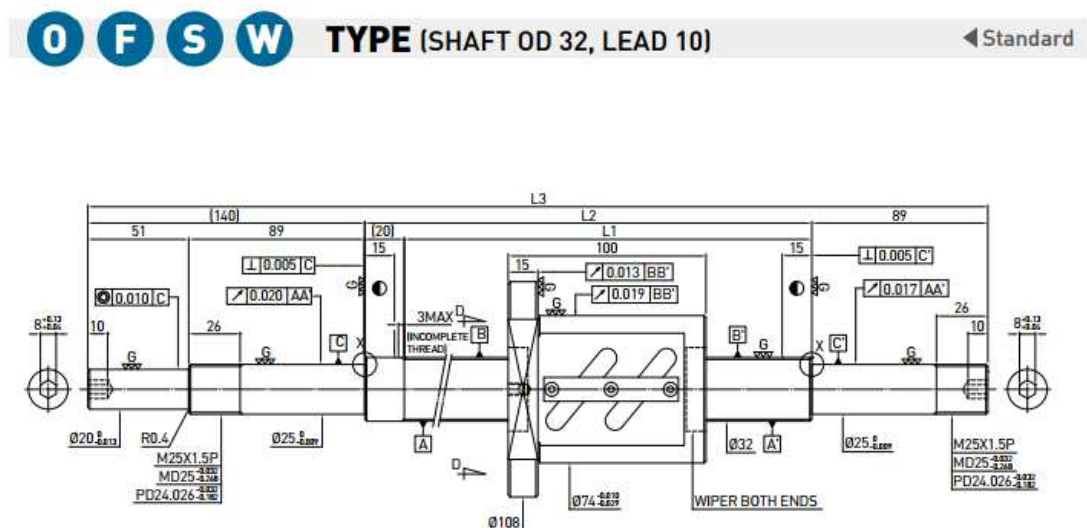


Figura 19. Tornillo de bolas OFSW diámetro 32mm, paso 10mm

Fuente: (Hiwin, 2015)

En la tabla 22 se muestran las características del tornillo seleccionado.

Tabla 22.
Datos del tornillo de bolas

Ball screw Data	
Direction	Right Hand
Lead (mm)	10
Lead Angle	5.44°
P.C.D (mm)	33.4
Screw P.C.D (mm)	33.4
RD (mm)	26.91
Steel Ball (mm)	Ø6.35
Circuits	2.5x1
Dynamic Load C (Kgf)	2650
Static Load Co (Kgf)	5599
Axial Play (mm)	0
Drag Torque (Kgf-cm)	3.58-7.44
Spacer Ball	-

Fuente: (Hiwin, 2015)

En la tabla 23, se muestra el modelo de tornillo de bolas seleccionado

Tabla 23.
Selección tornillo de bolas OSFW

Stroke	HIWIN Code	L1	L2	L3	Accuracy grade
250	R32-10B1-OSFW-380-629-0.018	380	400	629	5
350	R32-10B1-OSFW-480-729-0.018	480	500	729	5
450	R32-10B1-OSFW-580-829-0.018	580	600	829	5
550	R32-10B1-OSFW-680-929-0.018	680	700	929	5
650	R32-10B1-OSFW-780-1029-0.018	780	800	1029	5
850	R32-10B1-OSFW-980-1229-0.018	980	1000	1229	5
1050	R32-10B1-OSFW-1180-1429-0.018	1180	1200	1429	5
1350	R32-10B1-OSFW-1480-1729-0.018	1480	1500	1729	5
1650	R32-10B1-OSFW-1780-2029-0.018	1780	1800	2029	5

Fuente: (Hiwin, 2015)

3.5. Selección de tuercas para los tornillos de bolas de los ejes X, Z.

Con los tipos de tornillos de bolas seleccionados en la sección anterior se procede a seleccionar las tuercas apropiadas (figura 20), de acuerdo al diámetro de cada uno de los tornillos.

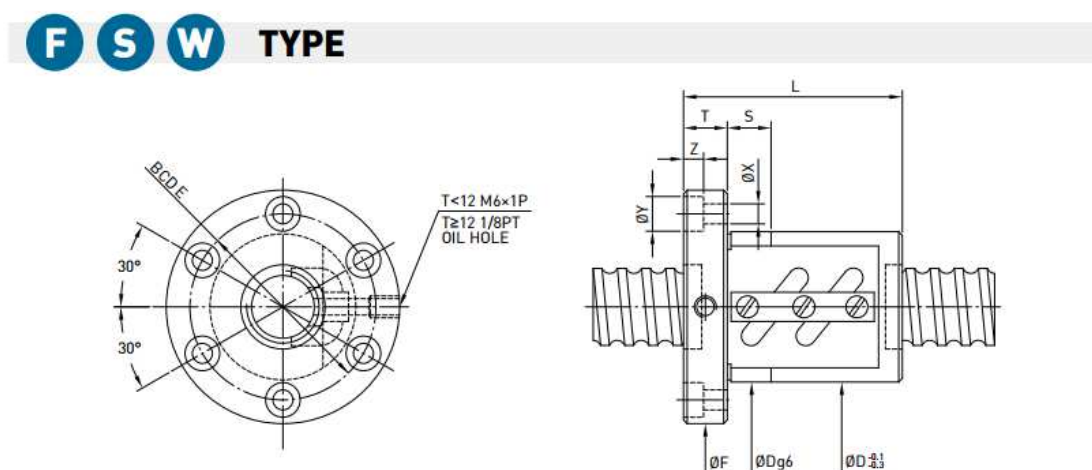


Figura 20. Tuerca FSW

Fuente: (Hiwin, 2015)

En la tabla 24 se muestran los modelos de tuercas seleccionados.

Tabla 24.
Selección de tuercas para los tornillos de bolas

Model	Size		Ball Dia.	PCD	RD	Circuits	Stiffness kgf / μm K	Dynamic Load 1×10^6 revs C (kgf)	Static Load Co (kgf)	Flange					Bolt				Fit
	Nominal Dia.	Lead								D	L	F	T	BCD-E	X	Y	Z	S	
8-2.5T3	8	2.5	1.500	8.2	6.652	3	8	170	267	18	28	35	5	27	4.5	0	0	0	
14-2.54T3	14	2.54	2.000	14.2	12.136	3	12	339	655	30	39	50	10.6	40	5	7	5	0	
14-4T3		4		14.2	12.136	3	12	339	655	26	33	48	6	36	5.5	0	0	0	
16-2T3	16	2	1.500	16.2	14.652	3	14	252	593	27	36	44	10	34	4.5	8	4.5	0	
16-2.5T3		2.5		16.2	14.652	3	14	252	593	27	36	44	10	34	4.5	8	4.5	0	
16-5T3	16	5	3.175	16.6	13.324	3	11	731	1331	30	46	54	12	41	5.5	9.5	5.5	12	
16-5T4		5		16.6	13.324	4	12	936	1775	30	52	54	12	41	5.5	9.5	5.5	12	
16-6T4	16	6	3.175	16.6	13.324	4	21	936	1775	32	58	54	12	42	5.5	9.5	5.5	12	
20-2T6		2		20.2	18.652	6	32	518	1551	32	52	52	10	40	5.5	9.5	5.5	12	
20-2T4	20	2	1.500	20.2	18.652	4	36	399	1112	32	40	52	10	40	5.5	9.5	5.5	12	
20-2.5T5		2.5		20.2	18.136	5	28	637	1635	36	51	59	12	47	5.5	9.5	5.5	12	
20-2.54T6	20	2.54	2.000	20.2	18.136	6	33	745	1962	36	55	59	12	47	5.5	9.5	5.5	12	
20-4T3		4		2.381	20.25	17.792	3	17	509	1134	36	40	59	10	47	5.5	9.5	5.5	12
20-5T3	20	5	3.175	20.6	17.324	3	20	852	1767	34	46	57	12	45	5.5	9.5	5.5	12	
20-5T4		5		20.6	17.324	4	27	1091	2356	34	53	57	12	45	5.5	9.5	5.5	12	
20-6T3	20	6	3.969	20.8	16.744	3	20	1091	2081	36	51	60	12	48	5.5	9.5	5.5	12	
20-6T4		6		20.8	16.744	4	27	1398	2774	36	61	60	12	48	5.5	9.5	5.5	12	
20-10T3	20	10	3.969	20.8	16.744	3	20	1091	2080	35	64	57	12	45	5.5	9.5	5.5	12	

Model	Size		Ball Dia.	PCD	RD	Circuits	Stiffness kgf / μm K	Dynamic Load 1×10^6 revs C (kgf)	Static Load Co (kgf)	Nut			Flange			Bolt			Fit
	Nominal Dia.	Lead								D	L	F	T	BCD-E	X	Y	Z	S	
32-5T3	32	5	3.175	32.6	29.324	3	33	1117	3081	44	48	46	74	12	60	6.6	11	6.5	12
32-5T4				32.6	29.324	4	42	1431	4108	44	48	53	74	12	60	6.6	11	6.5	12
32-5T6		32.6	29.324	6	63	2027	6162	44	48	66	74	12	60	6.6	11	6.5	12		
32-6T3		6	3.969	32.8	28.744	3	33	1446	3620	45	50	51	76	12	62	6.6	11	6.5	12
32-6T4				32.8	28.744	4	43	1852	4826	45	50	61	76	12	62	6.6	11	6.5	12
32-6T6		32.8	28.744	6	65	2625	7239	45	50	75	76	12	62	6.6	11	6.5	12		
32-8T3		8	4.763	33	28.132	3	35	1810	4227	47	52	63	78	16	64	6.6	11	6.5	12
32-8T4				33	28.132	4	47	2317	5635	47	52	74	78	16	64	6.6	11	6.5	12
32-10T3	10	6.350	33.4	26.91	3	35	2539	5327	51	56	72	82	16	68	6.6	11	6.5	12	
32-10T4	33.4	26.91	4	48	3252	7102	51	56	83	82	16	68	6.6	11	6.5	12			
40-5T4	40	5	3.175	40.6	37.324	4	50	1599	5280	51	54	53	80	16	66	6.6	11	6.5	12
40-5T6				40.6	37.324	6	74	2265	7919	51	54	66	80	16	66	6.6	11	6.5	12
40-5.08T6		5.08	3.175	40.6	37.324	6	74	2265	7919	53	56	65	90	15	72	9	14	8.5	15
40-6T4		6	3.969	40.8	36.744	4	50	2136	6420	53	56	65	88	16	72	9	14	8.5	15
40-6T6				40.8	36.744	6	74	3028	9630	53	56	79	88	16	72	9	14	8.5	15
40-8T4		8	4.763	41	36.132	4	52	2728	7596	55	60	78	92	16	75	9	14	8.5	15
40-8T6				41	36.132	6	76	3866	11394	55	60	99	92	16	75	9	14	8.5	15
40-10T3		10	6.350	41.4	34.91	3	40	2959	7069	60	65	76	96	16	80	9	14	8.5	15
40-10T4	41.4			34.91	4	51	3789	9426	60	65	87	96	16	80	9	14	8.5	15	

Fuente: (Hiwin, 2015)

3.6. Selección de acoples para motor – tornillo de bolas ejes X, Z.

Para acoplar los motores a cada uno de los tornillos de bolas se utiliza acoples de tipo mordaza que son los más apropiados para este tipo de aplicación (figura 21).

Los acoplamiento de mordaza son un ensamblaje de tres piezas lo cual lo hace altamente personalizable, tienen inercia baja y se recomiendan para aplicaciones en donde se requiere amortiguación de cargas de impacto comunes.



Figura 21. Acople tipo Mordaza
Fuente: (Ruland, 2015)

En las tablas 25 y 26 se muestran los diámetros de cubos seleccionados para el eje X y Z.

Tabla 25.
Cubos para el eje X

Abrazadera	Tornillo Prisionero	Agujero B	Usar con Estrella	Diámetro Exterior OD	Longitud de Cubo LH	Longitud L	Pene-tración del Eje	Tornillo Abraz.	Tornillo Fijación	Abrazadera con Chavetero	Tornillo Prisionero con Chavetero	Chavetero
JC10	JS10	1/8" - 1/4"	JD10/15	0,590"	0,300"	0,860"	0,300"	M2	M3	-	-	-
MJC15	MJS15	3 - 6mm		15,0mm	7,6mm	21,8mm	7,6mm					
JC12	JS12	3/16" - 5/16"	JD12/19	0,750"	0,385"	1,070"	0,385"	M2,5	M3	-	-	-
MJC19	MJS19	4 - 8mm		19,1mm	9,8mm	27,2mm	9,8mm					
JC16	JS16	1/4" - 1/2"	JD16/25	1,000"	0,467"	1,390"	0,467"	M3	M4	JCC16	JSC16	3/32" - 1/8"
MJC25	MJS25	6 - 12mm		25,4mm	11,9mm	35,3mm	11,9mm			MJCC25	MJSC25	2 - 4mm
JC21	JS21	5/16" - 5/8"	JD21/33	1,313"	0,590"	1,750"	0,590"	M3	M4	JCC21	JSC21	3/32" - 3/16"
MJC33	MJS33	8 - 16mm		33,3mm	15,0mm	44,5mm	15,0mm			MJCC33	MJSC33	2 - 5mm
JC26-6-A	JS26-6-A	0,375"	JD26/41	1,625"/ 41,3mm	0,710"/ 18,0mm	2,086"/ 53,0mm	0,710"/ 18,0mm	M4	M5	JCC26-6-A	JSC26-6-A	3/32"
JC26-8-A	JS26-8-A	0,500"								JCC26-8-A	JSC26-8-A	1/8"
JC26-10-A	JS26-10-A	0,625"								JCC26-10-A	JSC26-10-A	3/16"
JC26-12-A	JS26-12-A	0,750"								JCC26-12-A	JSC26-12-A	3/16"
MJC41-10-A	MJS41-10-A	10mm								MJCC41-10-A	MJSC41-10-A	3mm
MJC41-12-A	MJS41-12-A	12mm								MJCC41-12-A	MJSC41-12-A	4mm
MJC41-14-A	MJS41-14-A	14mm								MJCC41-14-A	MJSC41-14-A	5mm
MJC41-15-A	MJS41-15-A	15mm								MJCC41-15-A	MJSC41-15-A	5mm
MJC41-16-A	MJS41-16-A	16mm								MJCC41-16-A	MJSC41-16-A	5mm
MJC41-17-A	MJS41-17-A	17mm								MJCC41-17-A	MJSC41-17-A	5mm
MJC41-19-A	MJS41-19-A	19mm	MJCC41-19-A	MJSC41-19-A	6mm							
MJC41-20-A	MJS41-20-A	20mm	MJCC41-20-A	MJSC41-20-A	6mm							

Fuente: (Ruland, 2015)

Tabla 26.
Cubos para el eje Z

Abrazadera	Tornillo Prisionero	Agujero B	Usar con Estrella	Diámetro Exterior OD	Longitud de Cubo LH	Longitud L	Pene-tración del Eje	Tornillo Abraz.	Tornillo Fijación	Abrazadera con Chavetero	Tornillo Prisionero con Chavetero	Chavetero
JC10	JS10	1/8" - 1/4"	JD10/15	0,590"	0,300"	0,860"	0,300"	M2	M3	-	-	-
MJC15	MJS15	3 - 6mm		15,0mm	7,6mm	21,8mm	7,6mm					
JC12	JS12	3/16" - 5/16"	JD12/19	0,750"	0,385"	1,070"	0,385"	M2,5	M3	-	-	-
MJC19	MJS19	4 - 8mm		19,1mm	9,8mm	27,2mm	9,8mm					
JC16	JS16	1/4" - 1/2"	JD16/25	1,000"	0,467"	1,390"	0,467"	M3	M4	JCC16	JSC16	3/32" - 1/8"
MJC25	MJS25	6 - 12mm		25,4mm	11,9mm	35,3mm	11,9mm			MJCC25	MJSC25	2 - 4mm
JC21	JS21	5/16" - 5/8"	JD21/33	1,313"	0,590"	1,750"	0,590"	M3	M4	JCC21	JSC21	3/32" - 3/16"
MJC33	MJS33	8 - 16mm		33,3mm	15,0mm	44,5mm	15,0mm			MJCC33	MJSC33	2 - 5mm
JC26-6-A	JS26-6-A	0,375"	JD26/41	1,625"/ 41,3mm	0,710"/ 18,0mm	2,086"/ 53,0mm	0,710"/ 18,0mm	M4	M5	JCC26-6-A	JSC26-6-A	3/32"
JC26-8-A	JS26-8-A	0,500"								JCC26-8-A	JSC26-8-A	1/8"
JC26-10-A	JS26-10-A	0,625"								JCC26-10-A	JSC26-10-A	3/16"
JC26-12-A	JS26-12-A	0,750"								JCC26-12-A	JSC26-12-A	3/16"
MJC41-10-A	MJS41-10-A	10mm								MJCC41-10-A	MJSC41-10-A	3mm
MJC41-12-A	MJS41-12-A	12mm								MJCC41-12-A	MJSC41-12-A	4mm
MJC41-14-A	MJS41-14-A	14mm								MJCC41-14-A	MJSC41-14-A	5mm
MJC41-15-A	MJS41-15-A	15mm								MJCC41-15-A	MJSC41-15-A	5mm
MJC41-16-A	MJS41-16-A	16mm								MJCC41-16-A	MJSC41-16-A	5mm
MJC41-17-A	MJS41-17-A	17mm								MJCC41-17-A	MJSC41-17-A	5mm
MJC41-19-A	MJS41-19-A	19mm	MJCC41-19-A	MJSC41-19-A	6mm							
MJC41-20-A	MJS41-20-A	20mm	MJCC41-20-A	MJSC41-20-A	6mm							

Fuente: (Ruland, 2015)

Una vez elegidos los cubos del acople se procede a seleccionar la estrella, ésta debe tener el mismo diámetro exterior (OD) que el de los cubos, en la tabla 27 se muestran las estrellas seleccionadas para los cubos de los ejes X y Z.

Tabla 27.
Estrellas para los ejes X, Z.

Clave de Producto	Dureza / Color	Diámetro Exterior OD	Rigidez Torsional		Par nominal		Par máximo		Angular (Grados)	DESALINEAMIENTO Lateral		Axial	
			(Grados/libra-pulg.)	(Grados/Nm)	(libra-pulg.)	(Nm)	(libra-pulg.)	(Nm)		pulg.	mm	pulg.	mm
JD10/15-98R	98 Shore A ROJO	0,590"/ 15,0mm	0,121	1,068	8	0,9	16	1,8	0,8	0,002	0,05	0,020	0,51
JD10/15-92Y	92 Shore A AMARILLO		0,270	2,384	5	0,6	10	1,1	0,9	0,004	0,10	0,020	0,51
JD10/15-85B	85 Shore A AZUL	0,750"/ 19,1mm	0,450	3,972	2,4	0,3	4,8	0,5	1,0	0,005	0,13	0,020	0,51
JD12/19-98R	98 Shore A ROJO		0,024	1,007	15	1,7	30	3,4	0,8	0,003	0,05	0,020	0,51
JD12/19-92Y	92 Shore A AMARILLO	0,750"/ 19,1mm	0,257	2,269	9	1,0	18	2,0	0,9	0,004	0,10	0,020	0,51
JD12/19-85B	85 Shore A AZUL		0,406	3,583	5	0,6	10	1,1	1,0	0,005	0,13	0,020	0,51
JD16/25-98R	98 Shore A ROJO	1,000"/ 25,4mm	0,024	0,212	75	8,5	150	17,0	0,8	0,003	0,08	0,030	0,76
JD16/25-92Y	92 Shore A AMARILLO		0,067	2,592	29	3,3	58	6,6	0,9	0,005	0,13	0,030	0,76
JD16/25-85B	85 Shore A AZUL		0,108	0,953	15	1,7	30	3,4	1,0	0,006	0,15	0,030	0,76
JD21/33-98R	98 Shore A ROJO	1,313"/ 33,3mm	0,012	0,106	87	9,9	174	19,7	0,8	0,003	0,08	0,030	0,76
JD21/33-92Y	92 Shore A AMARILLO		0,045	0,397	35	4,0	70	7,9	0,9	0,005	0,13	0,030	0,76
JD21/33-85B	85 Shore A AZUL		0,075	0,662	18	2,0	36	4,1	1,0	0,006	0,15	0,030	0,76
JD26/41-98R	98 Shore A ROJO	1,625"/ 41,3mm	0,006	0,053	165	18,7	330	37,4	0,8	0,004	0,10	0,050	1,27
JD26/41-92Y	92 Shore A AMARILLO	2,000"/ 50,8mm	0,012	0,106	97	11,0	194	22,0	0,9	0,006	0,15	0,050	1,27
JD32/51-98R	98 Shore A ROJO		0,004	0,035	275	31,2	550	62,3	0,8	0,005	0,13	0,050	1,27
JD32/51-92Y	92 Shore A AMARILLO	2,250"/ 57,2mm	0,005	0,044	220	24,9	440	49,8	0,9	0,006	0,15	0,050	1,27
JD36/57-98R	98 Shore A ROJO		0,003	0,026	410	46,5	820	92,9	0,8	0,004	0,10	0,050	1,27
JD36/57-92Y	92 Shore A AMARILLO	0,004	0,035	285	32,3	570	64,6	0,9	0,005	0,13	0,050	1,27	

Fuente: (Ruland, 2015)

De acuerdo a los diámetros exteriores la estrella de OD se seleccionan las estrellas para los ejes X, Z.

3.7. Cálculo de torque requerido para mover las estructuras horizontales.

En esta sección se muestra el cálculo del torque que deben tener los servomotores para poder mover cada una de las estructuras del torno que se mueven horizontalmente y es conducida por medio del husillo de bolas y su tuerca, en la figura 22 se muestra un ejemplo de transmisión de movimiento de un servomotor con husillo de bolas.

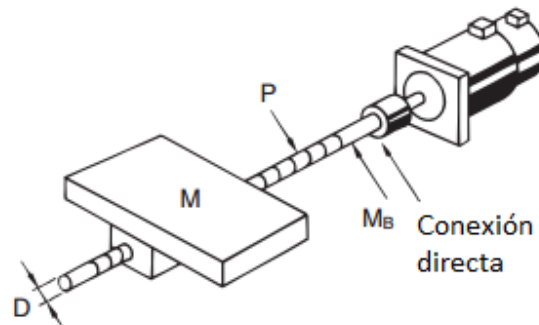


Figura 22. Sistema de transmisión por tornillo de bolas
Fuente: (OMRON,2014)

3.7.1. Cálculo del torque requerido para mover la estructura del eje X.

Los parámetros para el eje X son los siguientes:

- Masa de la Carga $M_X = M_1 + M_2 = 9 \text{ kg} + 27 \text{ kg} = 36 \text{ kg}$.
- Paso del Tornillo de bolas $P = 5 \text{ (mm)}$.
- Diámetro del Tornillo de bolas $D = 16 \text{ (mm)}$.
- Masa del Tornillo de bolas $M_B = 1.3 \text{ kg/m} * 0.5 \text{ m} = 0.65 \text{ kg}$.
- Coeficiente de fricción del Tornillo de bolas $\mu = 0.1$.
- Sin desacelerador $G = 1, \eta = 1$.
- Velocidad lineal (Avance rápido) $V = 12 \text{ (m/min)}$.
- Carrera $L = 210 \text{ (mm)}$.
- Tiempo de Aceleración $t_A = 0.2 \text{ (s)}$.
- Precisión de posicionamiento $A_p = 0.01 \text{ (mm)}$.

En las figuras 23 y 24 se muestran los diagramas de cuerpo libre del carro transversal.

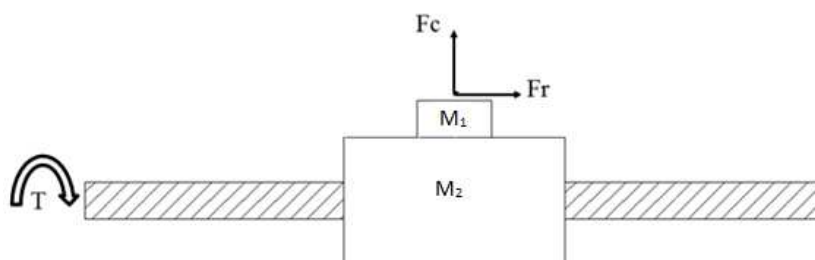


Figura 23. DCL carro transversal plano x-y

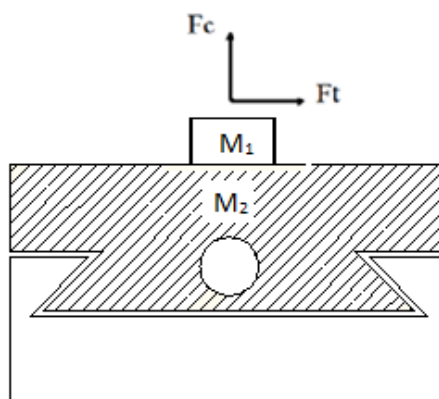


Figura 24. DCL carro transversal plano y-z

Como se puede observar en los diagramas de cuerpo libre la única fuerza que va a producir una resistencia al movimiento del carro transversal es la fuerza Fr pero ya que esta fuerza es despreciable (figura 23), no influirá en los cálculos posteriores para determinar el torque del servomotor para el eje x.

Inercia del Tornillo de Bolas J_B .

$$J_B = \frac{M_B * D^2}{8} \times 10^{-6} [kg.m^2] \quad (Ec: 3.4)$$

$$J_B = \frac{0.65 Kg * 16^2 mm}{8} \times 10^{-6}$$

$$J_B = 2.1 \times 10^{-5} [kg.m^2]$$

Inercia de la carga J_W .

$$J_W = M_X * \left(\frac{P}{2\pi}\right)^2 \times 10^{-6} + J_B [kg.m^2] \quad (Ec: 3.5)$$

$$J_W = 36 Kg * \left(\frac{5 mm}{2\pi}\right)^2 \times 10^{-6} + 2.1 \times 10^{-5}$$

$$J_W = 4.4 \times 10^{-5} [kg.m^2]$$

Conversión de la inercia de carga a inercia del eje del motor.

$$J_L = G^2 * (J_W + J_2) + J_1 [kg.m^2] \quad (Ec: 3.6)$$

$$J_L = J_W = 4.4 \times 10^{-5} [kg.m^2]$$

Torque en contra de la fricción.

$$T_W = \mu * M_X * g * \left(\frac{P}{2\pi}\right) \times 10^{-3} [N.m] \quad (Ec: 3.7)$$

$$T_W = 0.1 * 36 Kg * 9.8 * \left(\frac{5 mm}{2\pi}\right) \times 10^{-3} [N.m]$$

$$T_W = 2.8 \times 10^{-2} [N.m]$$

Conversión del torque de carga a torque eje del motor.

$$T_L = \frac{G}{\eta} * T_W [N.m] \quad (Ec: 3.8)$$

$$T_L = T_W = 2.8 \times 10^{-2} [N.m]$$

Cálculo de la velocidad de rotación.

$$N = \frac{1000 * V}{P * G} [rpm] \quad (Ec: 3.9)$$

$$N = \frac{1000 * 12 m/min}{5mm * 1} [rpm]$$

$$N = 2400 [rpm]$$

Selección temporal del servomotor.

La inercia del rotor del servomotor seleccionado es mayor que el 1/30 de la carga:

$$J_M \geq \frac{J_L}{30} [kg.m^2] \quad (Ec: 3.10)$$

$$J_M \geq \frac{4.4 \times 10^{-5}}{30} [kg.m^2]$$

$$J_M = 1 \times 10^{-6} [kg.m^2]$$

Se selecciona el modelo ACH-08075DI-G del catálogo de servomotores síncronos AC marca ADTECH que tiene las siguientes características. Inercia del rotor: $J_M = 2.45 \times 10^{-4} \text{ kg.m}^2$, Torque nominal: $T_M = 2.4 \text{ N.m}$.

El 80% del torque nominal del servomotor seleccionado debe ser mayor que el valor de conversión para el torque de carga en el eje del servomotor.

$$T_M \times 0.8 > T_L [N.m] \quad (Ec: 3.11)$$

$$T_M = 2.4 \text{ N.m} \times 0.8 > T_L = 2.8 \times 10^{-2} [N.m]$$

$$T_M = 1.92 \text{ N.m} > T_L = 2.8 \times 10^{-2} [N.m]$$

Torque de aceleración y desaceleración.

$$T_A \geq \frac{2\pi * N}{60 * t_A} \left(J_M + \frac{J_L}{\eta} \right) [N.m] \quad (Ec: 3.12)$$

$$T_A = \frac{2\pi * 2400}{60 * 0.2} \left(2.45 \times 10^{-4} + \frac{4.4 \times 10^{-5}}{1} \right) [N.m]$$

$$T_A = 0.36 [N.m]$$

Torque máximo y Torque efectivo.

En la figura 25 se muestra el diagrama de aceleración y desaceleración del servomotor del eje X.

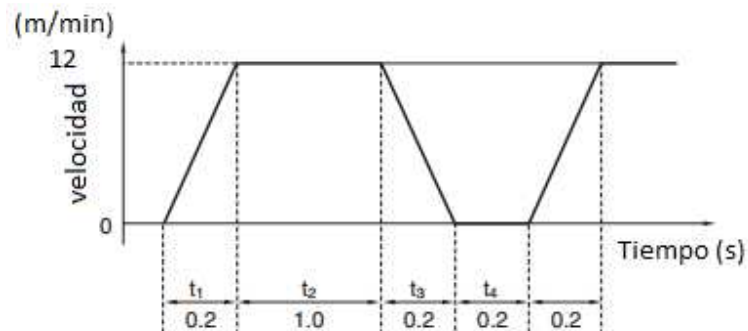


Figura 25. Diagrama de Aceleración y Desaceleración del servomotor del eje X

Torque máximo requerido.

$$T_1 = T_A + T_L [N.m] \quad (Ec: 3.13)$$

$$T_1 = 0.36[N.m] + 2.8 \times 10^{-2}[N.m]$$

$$T_1 = 0.388 [N.m]$$

$$T_2 = T_L [N.m] \quad (Ec: 3.14)$$

$$T_2 = 2.8 \times 10^{-2}[N.m]$$

$$T_3 = T_L - T_A [N.m] \quad (Ec: 3.15)$$

$$T_3 = 2.8 \times 10^{-2}[N.m] - 0.388[N.m]$$

$$T_3 = -0.36[N.m]$$

Torque Efectivo Trms.

$$Trms = \sqrt{\frac{T_1^2 * t_1 + T_2^2 * t_2 + T_3^2 * t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}} [N.m] \quad (Ec: 3.16)$$

$$Trms = \sqrt{\frac{0.388^2 * 0.2 + (2.8 \times 10^{-2})^2 * 1 + (-0.36)^2 * 0.2}{0.2 + 1 + 0.2 + 0.2}}$$

$$Trms = 0.188 [N.m]$$

Resolución del Encoder.

$$R = \frac{P * G}{Ap * S} [Pulsos/Revolución] \quad (Ec: 3.17)$$

$$R = \frac{5 * 1}{0.01 * 1} [Pulsos/Revolución]$$

$$R = 500 [Pulsos/Revolución]$$

En la tabla 28 se muestra la examinación de resultados para la selección del servomotor.

Examinación de resultados (Omron, 2015).

Tabla 28.
Examinación de resultados

Inercia de carga	[Inercia de carga $J_L = 4.4 \times 10^{-5} \text{ kg-m}^2$] \leq [Inercia del rotor del motor $J_M = 2.45 \times 10^{-4} \text{ kg-m}^2$]*[Inercia aplicada=30].	Cumple
Torque Efectivo	[Torque efectivo $Trms = 0.188 \text{ (N-m)}$] $<$ [Torque nominal del servomotor $2.4 \text{ (N-m)} * 0.8$]	Cumple
Torque máximo	[Torque máximo $T_1 = 0.388 \text{ (N-m)}$] $<$ [Torque máximo del servomotor $7.1 \text{ (N-m)} * 0.8$]	Cumple
Velocidad Máxima de rotación	[Rotación máxima requerida $N = 2400 \text{ (rpm)}$] \leq [Velocidad nominal de rotación del servomotor 3000 (rpm)]	Cumple
Resolución del encoder	[$R = 500 \text{ (Pulsos/Revolución)}$] \leq [Resolución del encoder = $2500 \text{ (Pulsos/Revolución)}$]	Cumple

3.7.2. Cálculo del torque requerido para mover la estructura del eje Z.

Los parámetros para el eje Z son los siguientes:

- Masa de la Carga $M_X = M_1 + M_2 + M_3 = 9 \text{ kg} + 27 \text{ kg} + 66.7 \text{ kg} = 102.7 \text{ kg}$.
- Paso del Tornillo de bolas $P = 10 \text{ (mm)}$.
- Diámetro del Tornillo de bolas $D = 32 \text{ (mm)}$.
- Masa del Tornillo de bolas $M_B = 3.5 \text{ kg/m} * 2 \text{ m} = 7 \text{ kg}$.
- Coeficiente de fricción del Tornillo de bolas $\mu = 0.1$.
- Sin desacelerador $G = 1, \eta = 1$.
- Velocidad lineal (Avance rápido) $V = 12 \text{ (m/min)}$.
- Carrera $L = 1500 \text{ (mm)}$.
- Tiempo de Aceleración $t_A = 0.2 \text{ (s)}$.
- Precisión de posicionamiento $A_p = 0.01 \text{ (mm)}$.

En las figuras 26 y 27 se muestran los diagramas de cuerpo libre del carro transversal.

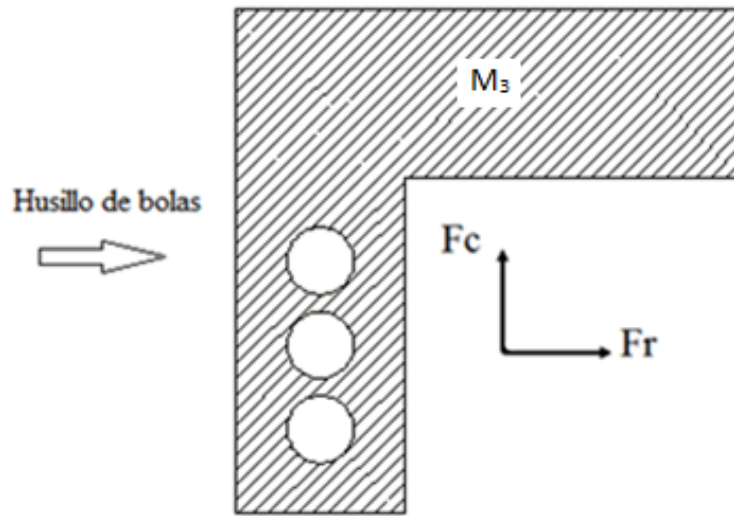


Figura 26. DCL carro longitudinal plano x-y

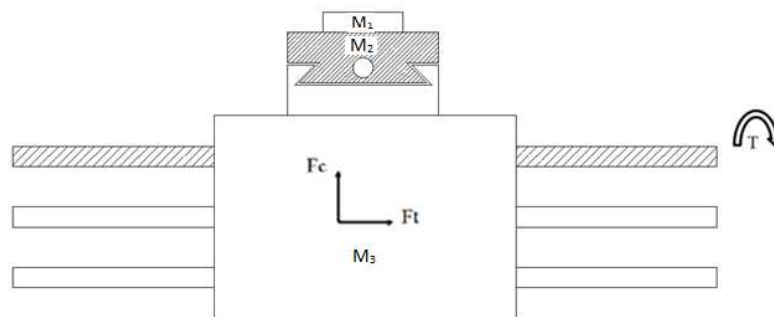


Figura 27. DCL carro longitudinal plano y-z

Como se puede observar en los diagramas de cuerpo libre la única fuerza que va a producir una resistencia al movimiento del carro longitudinal es la fuerza Ft que es el 40% de F_C (figura 13), esta fuerza debe ser incluida en los cálculos posteriores para determinar el torque del servomotor para el eje Z.

Inercia del Tornillo de Bolas J_B Ec: 3.4.

$$J_B = \frac{7 \text{ Kg} * 32^2 \text{ mm}}{8} \times 10^{-6}$$

$$J_B = 9 \times 10^{-4} [kg.m^2]$$

Inercia de la carga J_W Ec: 3.5.

$$J_W = 102.7 \text{ Kg} * \left(\frac{10 \text{ mm}}{2\pi}\right)^2 \times 10^{-6} + 9 \times 10^{-4}$$

$$J_W = 1.16 \times 10^{-3} [kg.m^2]$$

Conversión de la inercia de carga a inercia del eje del motor Ec: 3.6.

$$J_L = J_W = 1.16 \times 10^{-3} [kg.m^2]$$

Torque en contra de la fricción Ec: 3.7.

$$T_W = 0.1 * 102.7 \text{ Kg} * 9.8 * \left(\frac{10 \text{ mm}}{2\pi}\right) \times 10^{-3} [N.m]$$

$$T_W = 0.16 [N.m]$$

Torque para vencer la fuerza F_t .

$$F_t = F_c * 0.4 [N]$$

$$F_t = 3600 \text{ N} * 0.4$$

$$F_t = 1440 \text{ N}$$

$$T_t = F_t * \left(\frac{P}{2\pi}\right) \times 10^{-3} [N.m] \quad (\text{Ec: 3.18})$$

$$T_t = 1440 * \left(\frac{10 \text{ mm}}{2\pi}\right) \times 10^{-3} [N.m]$$

$$T_t = 2.29 [N.m]$$

Conversión del torque de carga a torque eje del motor.

$$T_L = \frac{G}{\eta} * T_W + T_t [N.m] \quad (\text{Ec: 3.19})$$

$$T_L = T_W + T_t = 0.16 + 2.29 [N.m]$$

$$T_L = 2.45 [N.m]$$

Cálculo de la velocidad de rotación Ec: 3.9.

$$N = \frac{1000 * 12 \text{ m/min}}{10\text{mm} * 1} [\text{rpm}]$$

$$N = 1200 [\text{rpm}]$$

Selección temporal del servomotor.

La inercia del rotor del servomotor seleccionado es mayor que el 1/30 de la carga Ec:

3.10:

$$J_M \geq \frac{1.16 \times 10^{-3}}{30} [\text{kg.m}^2]$$

$$J_M = 3.9 \times 10^{-5} [\text{kg.m}^2]$$

Se selecciona el modelo ACH-11120DI-G del catálogo de servomotores síncronos AC marca ADTECH que tiene las siguientes características. Inercia del rotor: $J_M = 5.4 \times 10^{-4} \text{ kg.m}^2$, Torque nominal: $T_M = 4 \text{ N.m}$.

El 80% del torque nominal del servomotor seleccionado debe ser mayor que el valor de conversión para el torque de carga en el eje del servomotor Ec: 3.11.

$$T_M = 4 \text{ N.m} \times 0.8 > T_L = 3.2 [\text{N.m}]$$

$$T_M = 3.2 \text{ N.m} > T_L = 2.45 [\text{N.m}]$$

Torque de aceleración y desaceleración Ec: 3.12.

$$T_A = \frac{2\pi * 1200}{60 * 0.2} \left(7.6 \times 10^{-4} + \frac{1.16 \times 10^{-3}}{1} \right) [\text{N.m}]$$

$$T_A = 1.21 [\text{N.m}]$$

Torque máximo y Torque efectivo.

En la figura 28 se muestra el diagrama de aceleración y desaceleración del sermotor del eje Z.

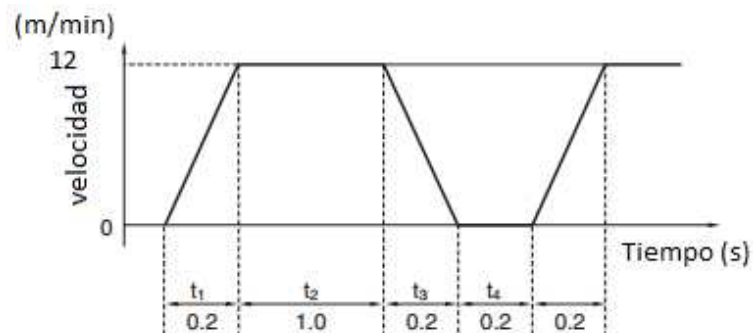


Figura 28. Diagrama de Aceleración y Desaceleración del servomotor del eje Z

Torque máximo requerido.

Ec: 3.13.

$$T_1 = 1.21 [N.m] + 2.45[N.m]$$

$$T_1 = 3.66 [N.m]$$

Ec: 3.14.

$$T_2 = 2.45 [N.m]$$

Ec: 3.15.

$$T_3 = 2.45 [N.m] - 1.21[N.m]$$

$$T_3 = 1.24 [N.m]$$

Torque Efectivo Trms Ec: 3.16.

$$Trms = \sqrt{\frac{3.66^2 * 0.2 + 2.45^2 * 1 + (1.24)^2 * 0.2}{0.2 + 1 + 0.2 + 0.2}}$$

$$Trms = 2.37 [N.m]$$

Resolución del Encoder Ec: 3.17.

$$R = \frac{10 * 1}{0.01 * 1} [Pulsos/Revolución]$$

$$R = 1000 \text{ [Pulsos/Revolución]}$$

En la tabla 29 se muestra la examinación de resultados para la selección del servomotor.

Examinación de resultados (Omron, 2015).

Tabla 29.
Examinación de resultados

Inercia de carga	[Inercia de carga $J_L = 1.16 \times 10^{-3} \text{ kg-m}^2$] \leq [Inercia del rotor del motor $J_M = 5.4 \times 10^{-4} \text{ kg-m}^2$]*[Inercia aplicada=30].	Cumple
Torque Efectivo	[Torque efectivo $T_{rms} = 2.37 \text{ (N-m)}$] $<$ [Torque nominal del servomotor 4 (N-m)*0.8]	Cumple
Torque máximo	[Torque máximo $T_1 = 3.66 \text{ (N-m)}$] $<$ [Torque máximo del servomotor 12 (N-m)*0.8]	Cumple
Velocidad Máxima de rotación	[Rotación máxima requerida $N = 1200 \text{ (Rpm)}$] \leq [Velocidad nominal de rotación del servomotor 3000 (Rpm)]	Cumple
Resolución del encoder	[$R = 1000 \text{ (Pulsos/Revolución)}$] \leq [Resolución del encoder= 2500(Pulsos/Revolución)]	Cumple

3.8. Selección de servomotores para los ejes X, Z.

De acuerdo con las características de los motores para máquinas CNC vistas en la tabla 3 de la sección 2.5.2, se ha decidido utilizar los servomotores síncronos AC.

Con el análisis de resultados obtenidos en la tabla 28 en la sección 3.7.1, se puede observar que el servomotor ACH-08075DI-G del catálogo de servomotores síncronos AC marca ADTECH cumple con todas las características necesarias, entonces este va a ser el servomotor ocupado para realizar el movimiento en el eje X del torno.

Con el análisis de resultados obtenidos en la tabla 29, se puede observar que el servomotor ACH-11120DI-G del catálogo de servomotores síncronos AC marca ADTECH cumple con todas las características necesarias, entonces este va a ser el servomotor ocupado para realizar el movimiento en el eje Z del torno, en la tabla 26 se muestran las características de los servomotores seleccionados.

Tabla 30.
Servomotores AC ADTECH.

ADTECH ACH Series Servo Motor List							
Low-inertia Series Servo Motor							
Mode	ACH-06020DC	ACH-06040DC	ACH-11060D	ACH-09075DC	ACH-11120DC	ACH-11150D	ACH-11180D
Matching driver	QS7AA010M	QS7AA010M	QS7AA020M	QS7AA020M	QS7AA030M	QS7AA030M	QS6AA050M2
Flange (mm)	60	60	110	86	110	110	110
Rated power (Kw)	0.2	0.4	0.6	0.75	1.2	1.5	1.8
Rated torque (Nm)	0.64	1.27	2.00	2.40	4.00	5.00	6.00
Max torque (Nm)	1.91	3.80	6.00	7.10	12.00	15.00	18.00
Rated current (A)	1.5	2.8	2.5	3.0	5.0	6.0	6.0
Rated speed (rpm)	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Rated voltage (V)	220	220	220	220	220	220	220
Inertia Kgm ² x 10 ⁻⁴	0.17	0.302	3.1	2.45	5.4	6.3	7.6
Wire q'ty of encoder (ppr)	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
Dia. Of shaft (mm)	14	14	19	16	19	19	19
Motor length (mm)	102	122	159	149	189	204	219

Fuente: (Adtech, Catálogo Servomotores AC, 2015)

Los motores seleccionados ACH-09075DC y ACH-11120DC tienen las mismas características de los motores ACH-08075DI-G y ACH-11120DI-G respectivamente que tiene disponibles el proveedor.

En las figuras 29 y 30, se muestran las dimensiones de los servomotores seleccionados para los ejes X y Z.

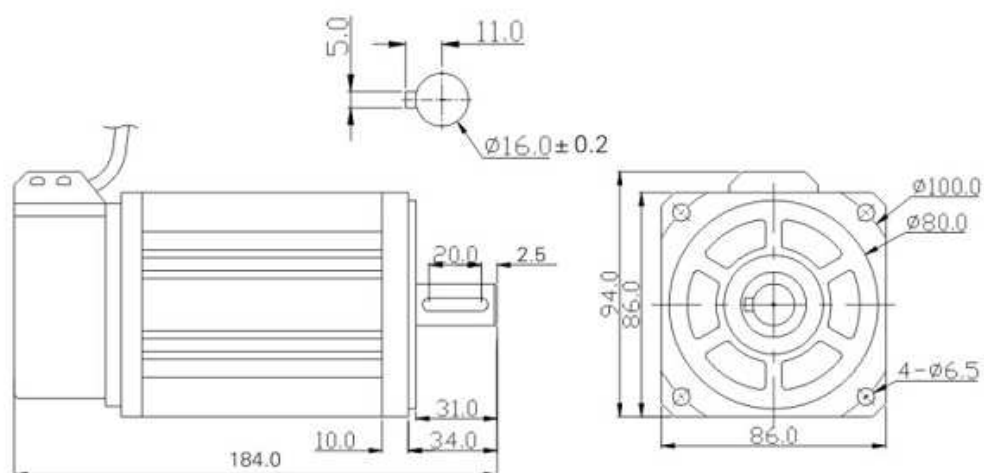


Figura 29. Dimensiones Servomotor ACH-08075DI-G
Fuente: (Adtech, Catálogo Servomotores AC, 2015)

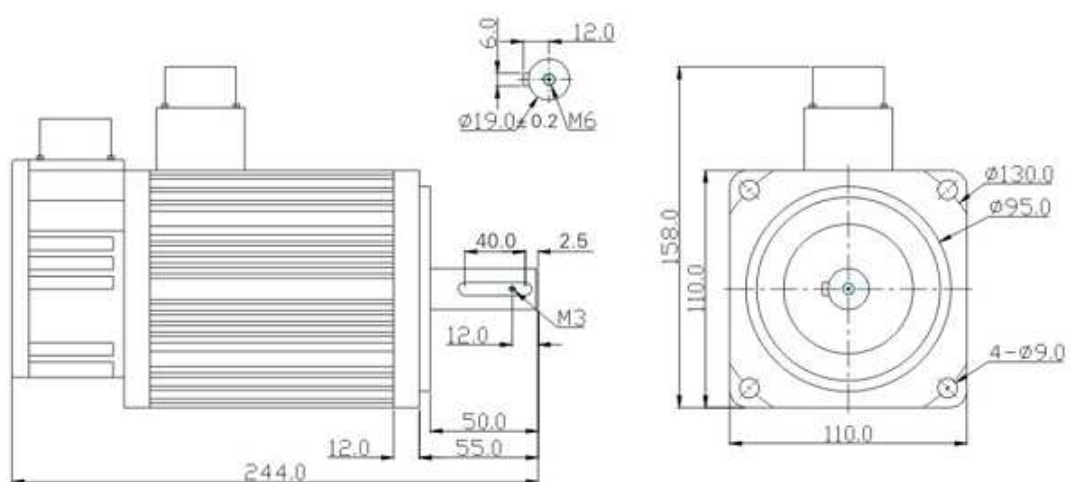


Figura 30. Dimensiones Servomotor ACH-11120DI-G
Fuente: (Adtech, Catálogo Servomotores AC, 2015)

3.9. Diseño de las bases para servomotores.

A continuación se muestra el diseño de las bases necesarias para acoplar los servomotores en los dos ejes del torno, las bases han sido diseñadas en acero A36 de 8

mm de espesor, debido a que es un material que existe en abundancia, tiene un costo bajo y resiste las cargas a ser aplicadas.

3.9.1. Base para el servomotor del eje X.

En la figura 31, se muestra la base que ha sido diseñada para soportar el peso del servomotor que es 2.65 kg.

Las dimensiones se detallan en los anexos planos JA-MEC-005, JA-MEC-005-01, JA-MEC-005-02.

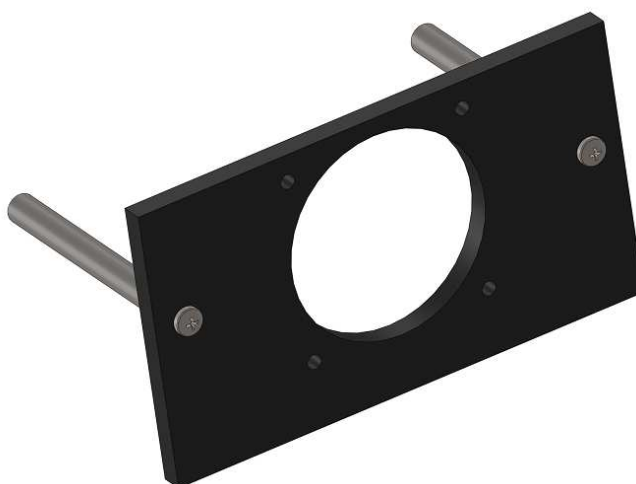


Figura 31. Base para servomotor del eje X

3.9.2. Base para el servomotor del eje Z.

En la figura 32, se muestra la base que ha sido diseñada para soportar el peso del servomotor que es 12.7 kg.

Las dimensiones se detallan en los anexos planos JA-MEC-006, JA-MEC-006-01, JA-MEC-006-02.

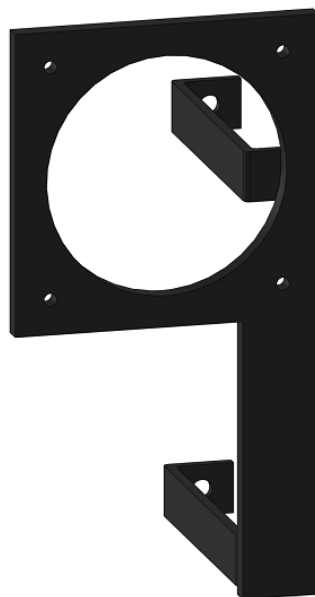


Figura 32. Base para servomotor del eje Z

3.10. Diseño de acoples para las tuercas de los tornillos de bolas.

A continuación se muestra el diseño de los acoples para las tuercas necesarios para poder sustituir los tornillos originales del torno por tornillos de bolas, estos acoples han sido diseñados en acero de transmisión SAE 1018, debido a que es fácil de maquinar y se puede llegar a tener la forma deseada.

3.10.1. Acople para la tuerca del tornillo de bolas para el eje X.

Este acople (figura 33) ha sido diseñado de tal manera que alcance en la cavidad que dispone el torno para el tornillo que proporcione el movimiento para el eje X, además que éste se pueda acoplar fácilmente al tipo de tuerca que posee el tornillo de bolas adquirido.

Las dimensiones se detallan en los anexos plano JA-MEC-003.

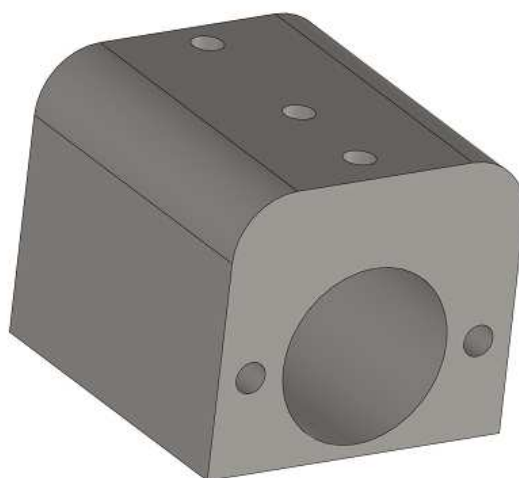


Figura 33. Acople para tuerca del eje X

3.10.2. Acople para la tuerca del tornillo de bolas para el eje Z.

Este acople (figura 34) ha sido diseñado de tal manera que alcance en la cavidad que dispone el torno para el tornillo que proporcione el movimiento para el eje Z, además que éste se pueda acoplar fácilmente al tipo de tuerca que posee el tornillo de bolas adquirido.

Las dimensiones se detallan en los anexos plano JA-MEC-004.

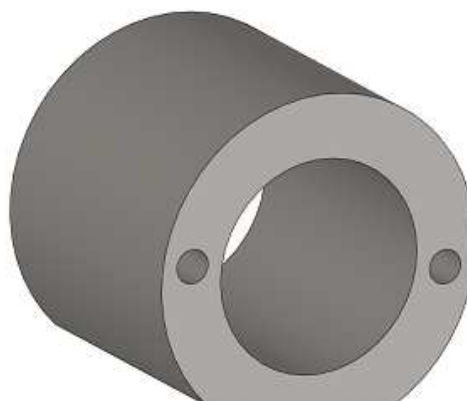


Figura 34. Acople para tuerca del eje Z

3.11. Diseño de caja para tuerca del tornillo de bolas para el eje Z.

Esta caja (figura 35) ha sido diseñada con el fin de acoplar de una mejor manera la tuerca para el tornillo de bolas a que va a ser utilizado en el eje Z del torno, además de que para el torno CNC no es necesario ninguno de los mecanismos que contiene la caja original del torno, esta caja ha sido diseñada en Acero A36.

Las dimensiones se detallan en los anexos planos JA-MEC-007, JA-MEC-007-01, JA-MEC-007-02, JA-MEC-007-03.

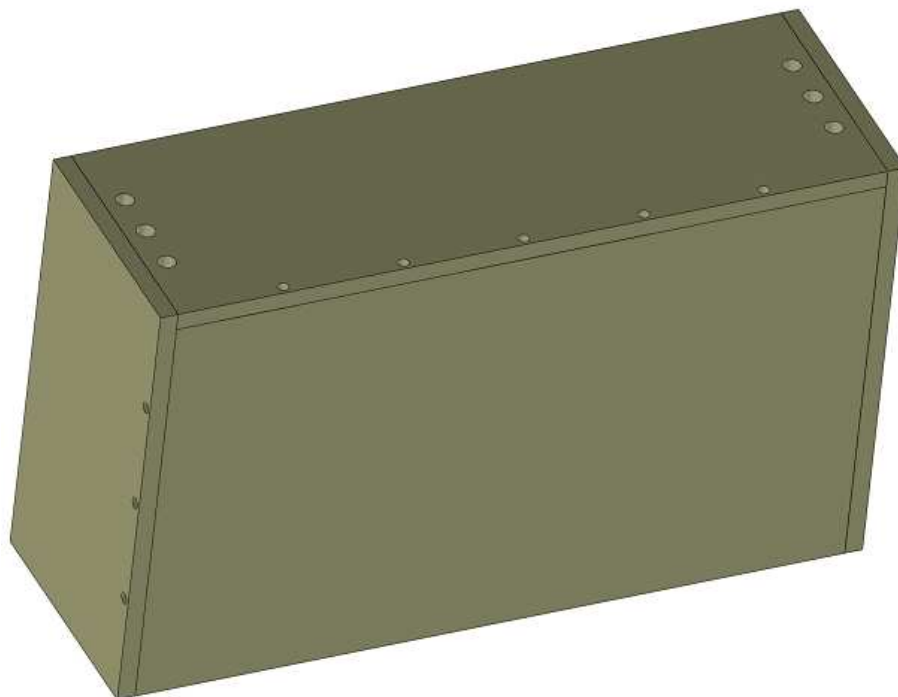


Figura 35. Caja para tuerca del eje Z

CAPÍTULO IV

SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL PARA EL TORNO CNC.

4.1. Parámetros de selección para el sistema de control del torno CNC.

Se propone un sistema de control centrado en un controlador CNC el cual se encargará de controlar las funciones de todos los componentes del torno (figura 36).

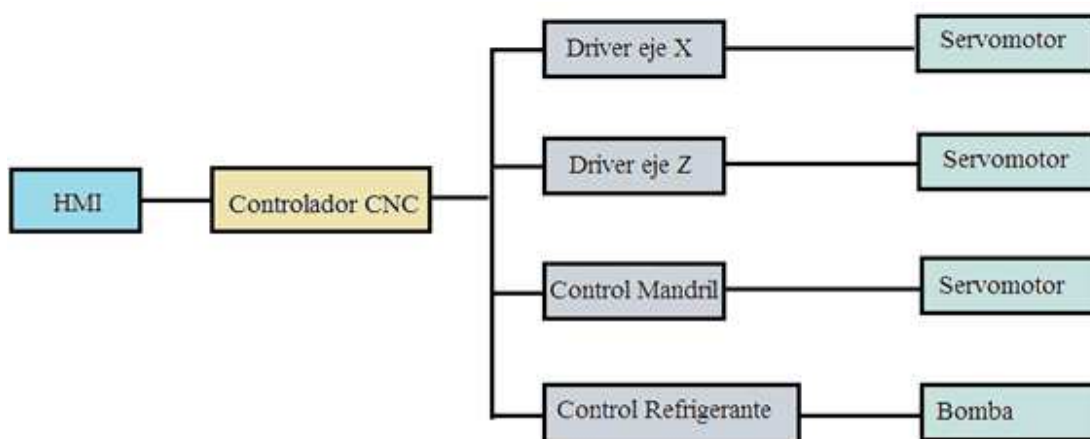


Figura 36. Esquema del Funcionamiento del Torno CNC

De acuerdo a la sección 2.4 el control de una máquina CNC debe constar de una función de HMI, PLC y Kernel de control numérico, del esquema de funcionamiento (figura 36), tenemos que el controlador CNC a ser elegido deberá ser el encargado de ejecutar tanto tareas de control numérico como funciones de PLC.

El sistema de control seleccionado debe poseer las siguientes características:

- Compatibilidad con los servomotores seleccionados.
- Capacidad de controlar 2 servomotores y sincronizarlos.
- Capacidad de controlar el motor del mandril.
- Capacidad de control de refrigerante.
- Operación rápida y estable con el poder de ejecutar múltiples tareas.
- Memoria de almacenamiento considerable para que los programas más complejos puedan ser ejecutados.
- Tener funciones específicas para el proceso de torneado
- Poseer funciones de roscado.
- Poseer funciones de compensación de herramienta.
- Maquinar en coordenadas absolutas e incrementales.
- Comunicación USB.
- Capacidad de actualización de software.
- Precio en el rango de presupuesto para la construcción de la máquina.

4.2. Diagrama de flujo del funcionamiento del torno CNC.

El diagrama de flujo que necesita seguir la máquina a construirse se muestra en la figura 37 y nos permitirá definir todos los parámetros que deberán cumplir los elementos de control.

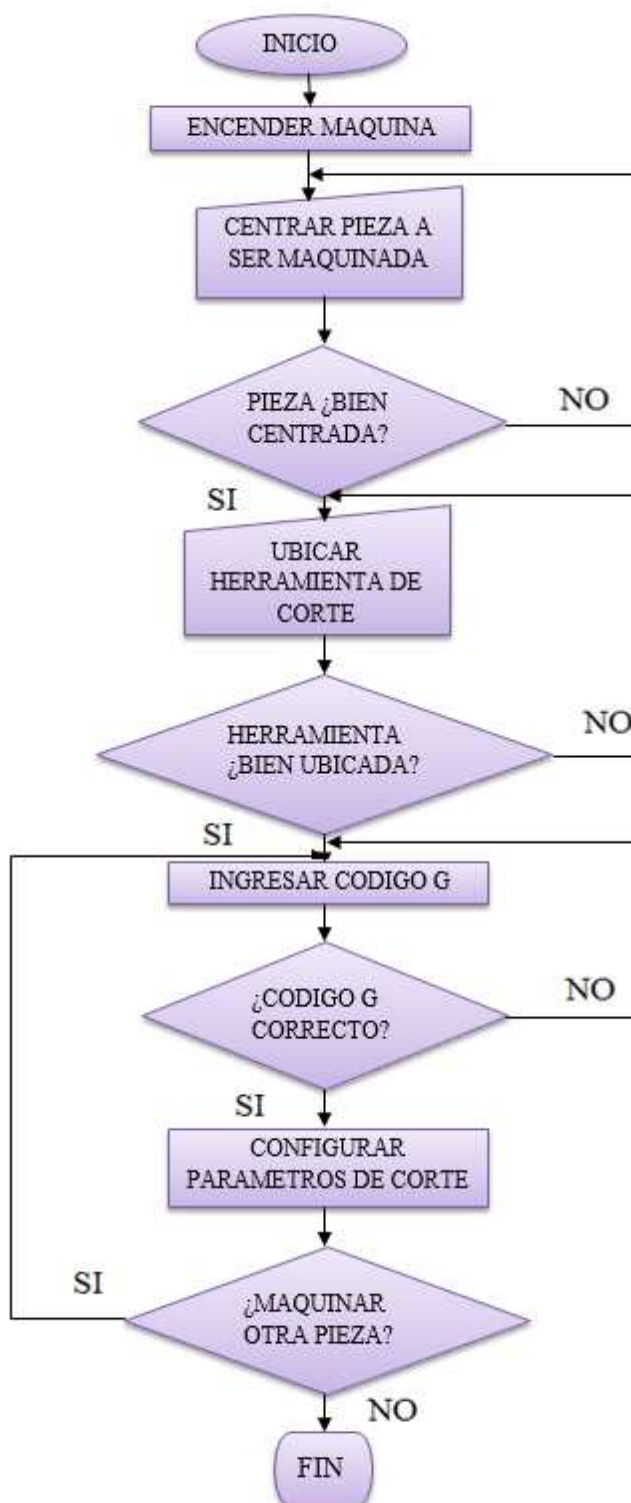


Figura 37. Diagrama de flujo del Funcionamiento del torno

4.3. Cuadro comparativo de controladores disponibles para el torno.

En la tabla 31 se muestra una comparación de controladores aptos para la máquina.

Tabla 31.
Comparación entre controladores

Parámetro / Controlador	Adtech CNC 4620	Mach 3	Fagor CNC 8037
Tipo de controlador	Hardware	Software	Hardware
Comunicación servo motores	Directa	Necesita de tarjetas electrónicas extras para la interconexión	Directa
Entradas y salidas			
Número de ejes que se pueden controlar	2	2	2
Posibilidad de sincronizar servomotores	Si	Si	Si
HMI	Integrado	Monitor necesario	Integrado
Entrada de paro de emergencia	Si	Si	Si
Control del motor del mandril	Si	Si	Si
Precio \$(0 - 10000)	Medio	Bajo	Alto
Soporte técnico	Si, por parte del fabricante	De gran acogida en los foros	Si, por parte del fabricante
Protección al polvo	Totalmente hermético	Depende del hardware en el que se ejecute	Totalmente hermético
Compensación de	Si,	Si, configurable	Si, configurable



herramienta	configurable		
Opciones de Roscado	Si	Si	Si

De acuerdo a los parámetros necesarios y luego de analizar las opciones que tenemos se ha decidido seleccionar el controlador CNC 4620 de la marca ADTECH, ya que cumple con las especificaciones de diseño, tiene un costo razonable y es el más adecuado para la implementación del presente proyecto.

4.4. Controlador ADTECH CNC 4620.

El controlador de CNC 4620 de la marca ADTECH está diseñado para controlar tornos y centros de torneado de 2 ejes y 1 cabezal, cuenta con un diseño compacto con dimensiones adaptadas para máquinas sencillas y dispone de un LCD 7" a color.

4.4.1. Características del controlador ADTECH CNC 4620.

En la tabla 32 se pueden observar las características del ambiente que permitirán un buen uso del controlador.

Tabla 32.

Parámetros de funcionamiento del controlador ADTECH CNC 4620

Parámetro	Valor
Fuente de alimentación	24 V DC (con filtro)
Temperatura de operación	0°C – 45°C
Temperatura de operación óptima	5°C – 40°C
Humedad en operación	10% – 90% (no condensado)
Humedad en operación óptima	20% – 85%
Temperatura de almacenamiento	0°C – 50°C
Humedad de almacenamiento	10% – 90%

Fuente: (Adtech, Manual controlador Adtech CNC 4620, 2015)

Las principales funciones y características del controlador ADTECH CNC 4620 son las siguientes:

- CPU de alto desempeño ARM mainboard industrial, FPGA programable, tareas de control múltiples en tiempo real y tecnología de interpolación lineal e interpolación para arcos.
- 60 Mb de memoria para guardar archivos.
- Capaz de controlar 2 servo motores o motores a pasos, sincronizarlos o controlar 2 ejes con los 2 motores funcionando independientemente.
- Capaz de controlar motor del mandril del torno.
- HMI que cuenta con una pantalla a color de 7".
- Diseñado específicamente para los procesos de torneado.
- Capacidad de reanudar desde el mismo punto en caso de un paro de emergencia o falla en la fuente de alimentación.
- Compensación de herramienta y de backlash del sistema.
- Comunicación vía USB o mediante puerto serial RS232.
- Rango de velocidad: 0 – 9999 mm/min, recorrido: (+)9999.999 – (-) 9999.999 mm.

En las figuras 38 y 39 se muestran las dimensiones generales del controlador ADTECH CNC 4620.

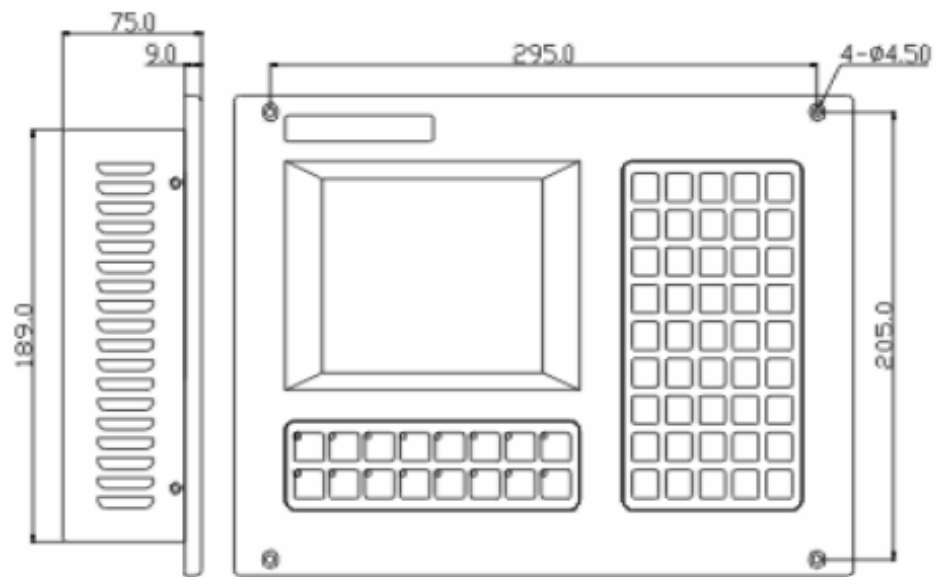


Figura 38. Dimensiones generales del controlador ADTECH CNC 4620
Fuente: (Adtech, Manual controlador Adtech CNC 4620, 2015)

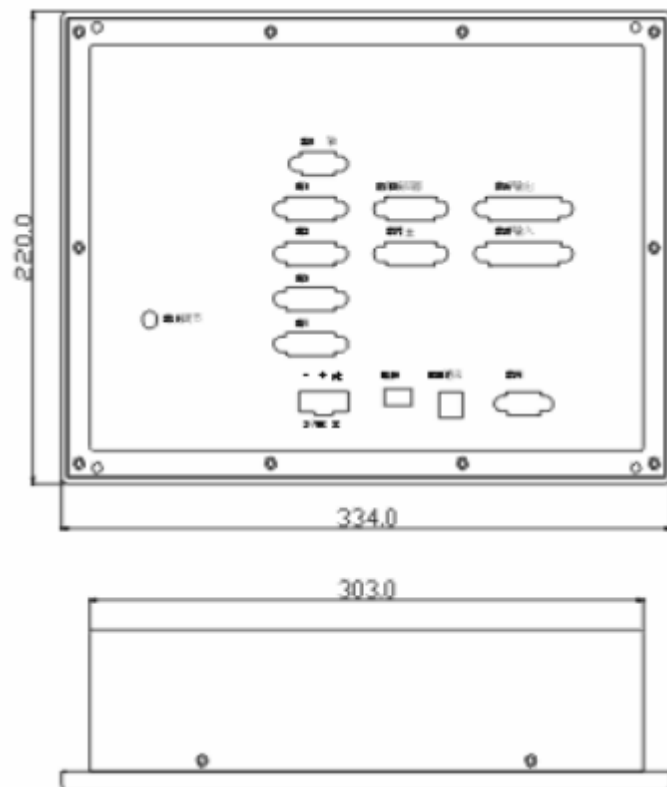


Figura 39. Dimensiones generales del controlador ADTECH CNC 4620
Fuente: (Adtech, Manual controlador Adtech CNC 4620, 2015)

4.4.2. Definición de las entradas y salidas del controlador ADTECH CNC 4620.

En la figura 40 se detallan todos los conectores que se encuentran en la parte posterior del controlador y en la tabla 33 podemos observar a qué corresponde cada uno de los conectores.

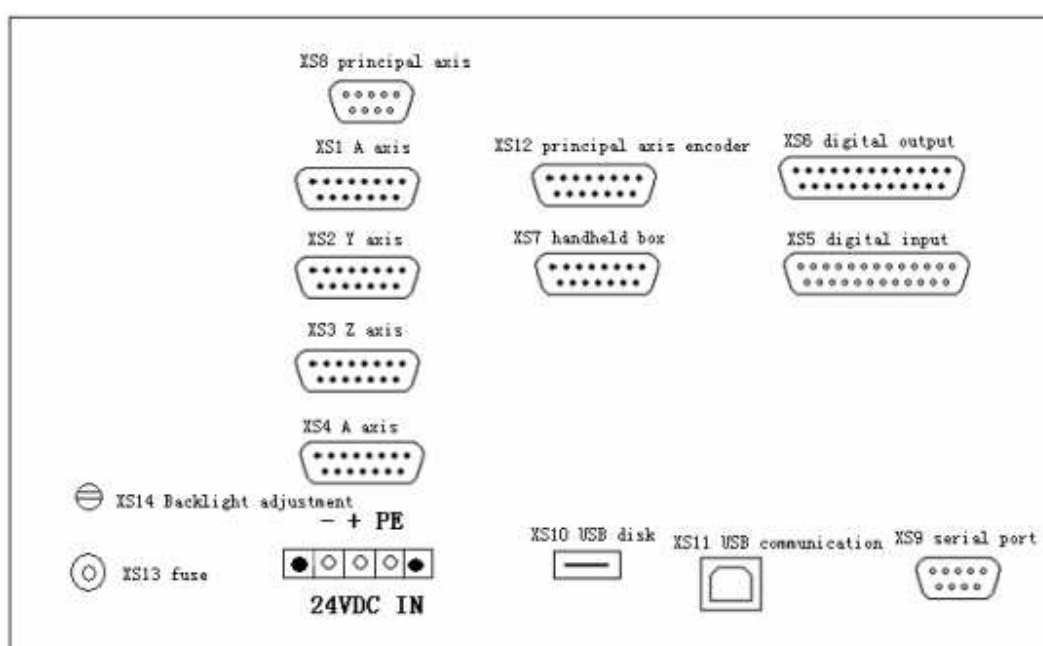


Figura 40. Distribución de los conectores en el controlador ADTECH CNC 4620
Fuente: (Adtech, Manual controlador Adtech CNC 4620, 2015)

Tabla 33.

Función de los conectores del Controlador ADTECH CNC 4620

Función de los Conectores del controlador ADTECH CNC 4620	
XS 1	Eje X
XS 2	Eje Y
XS 3	Eje Z
XS 4	Eje A
XS 5	Entradas Digitales
XS 6	Salidas Digitales



XS 7	Volante
XS 8	Eje Principal (Mandril)
XS 9	Puerto Serial
XS 10	Puerto USB
XS 11	Comunicación USB
XS 12	Encoder del Eje Principal
XS 13	Fusible
XS 14	Ajuste de Contraste
PE	Fuente de Alimentación

Fuente: Manual controlador ADTECH CNC 4620

4.4.2.1. Salidas para interconexión con motores (XS 1 – XS 4).

El controlador ADTECH CNC 4620 utiliza conectores DB 15 para conectar los ejes X y Z, los dos ejes tienen la misma definición que se muestra a en la figura 41 y la descripción de pines se muestra en la tabla 34.

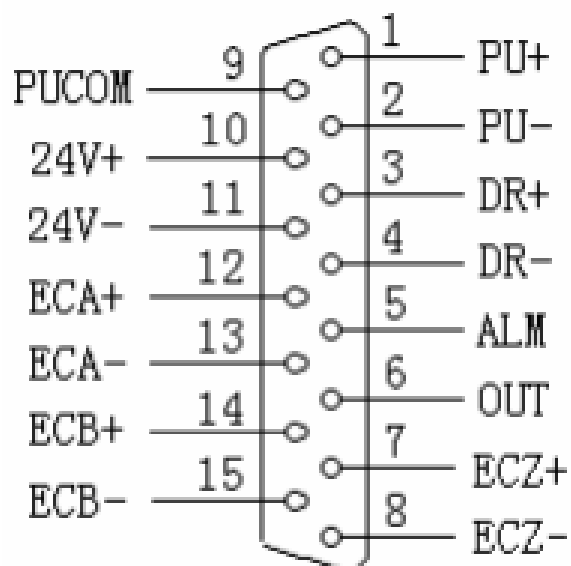


Figura 41. Conector DB 15 para servomotores ejes X y Z
Fuente: (Adtech, Manual controlador Adtech CNC 4620, 2015)

Tabla 34.
Descripción de los pines del conector (XS 1 – XS 4)

Línea S/N	Nombre	Función
1	PU+	Señal de pulso positiva
2	PU-	Señal de pulso negativa
3	DR+	Señal de dirección positiva
4	DR-	Señal de dirección negativa
5	ALM	Señal de entrada de alarma del servo
6	OUT	Señal de salida de alarma de reseteo de eje
7	ECZ+	Entrada de encoder fase Z positiva
8	ECZ-	Entrada de encoder fase Z negativa
9	PUCOM	Entrada para controlador de final simple
10	24V+	Fuente incorporada internamente, directamente
11	24V-	conectada a la fuente de 24 V del controlador
12	ECA+	Entrada de encoder fase A positiva
13	ECA-	Entrada de encoder fase A negativa
14	ECB+	Entrada de encoder fase B positiva
15	ECB-	Entrada de encoder fase B negativa

Fuente: (Adtech, Manual controlador Adtech CNC 4620, 2015)

4.4.2.2. Entradas digitales (XS 5).

En el controlador ADTECH CNC 4620 la interface de entradas digitales contiene la señal de los límites de cada eje y emplea un conector DB25, su definición se la muestra en la figura 42 y la descripción de los pines se muestra en la tabla35.

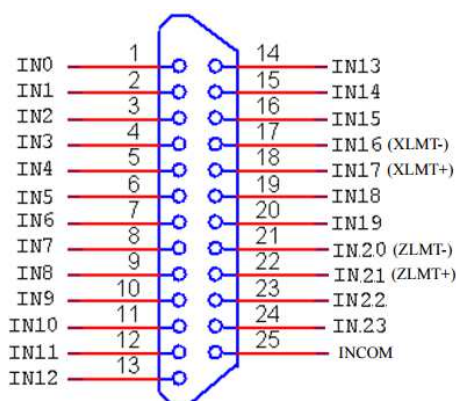


Figura 42. Conector DB 25 para entradas digitales

Fuente: (Adtech, Manual controlador Adtech CNC 4620, 2015)

Tabla 35.
Descripción de los pines del conector (XS 5)

Línea S/N	Nombre	Función
1	IN0	Punto cero eje X
2	IN1	Entrada en espera
3	IN2	Punto cero eje Z
4	IN3	Entrada en espera
5	IN4	Espacio para herramienta #1
6	IN5	Espacio para herramienta #2
7	IN6	Espacio para herramienta #3
8	IN7	Espacio para herramienta #4
9	IN8	Espacio para herramienta #5
10	IN9	Espacio para herramienta #6
11	IN10	Espacio para herramienta #7
12	IN11	Espacio para herramienta #8
13	IN12	Entrada en espera
14	IN13	Entrada en espera
15	IN14	Entrada en espera
16	IN15	Entrada en espera



17	IN16 (XLMT-)	Limite negativo eje X (en espera IN32)
18	IN17 (XLMT+)	Limite positivo eje X (en espera IN33)
19	IN18	
20	IN19	
21	IN20 (ZLMT-)	Limite negativo eje Z (en espera IN36)
22	IN21 (ZLMT+)	Limite positivo eje Z (en espera IN37)
23	IN22	
24	IN23	
25	INCOM	Entrada común (24V+,12V+) conectado a fuente interna o externa

Fuente: (Adtech, Manual controlador Adtech CNC 4620, 2015)

4.4.2.3. Salidas digitales (XS 6).

En el controlador ADTECH CNC 4620 la interface de salidas digitales emplea un conector DB25, su definición se la muestra en la figura 43 y la descripción de los pines se muestra en la tabla36.

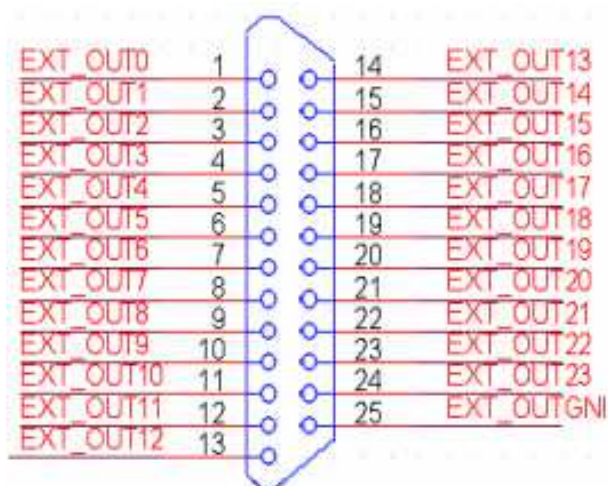


Figura 43. Conector DB 25 para salidas digitales
Fuente: (Adtech, Manual controlador Adtech CNC 4620, 2015)

Tabla 36.
Descripción de los pines del conector (XS 6).

Línea S/N	Nombre	Función
1	OUT0	Rotación positiva del eje principal (M03)
2	OUT1	Rotación reversa del eje principal (M04)
3	OUT2	Rotación positiva del regulador de la herramienta (M56,M57)
4	OUT3	Rotación reversa del regulador de la herramienta y salida de bloqueo (M58,M59)
5	OUT4	Refrigerante (M08,M09)
6	OUT5	Lubricación (M32,M33)
7	OUT6	Salida en espera (M10,M11)
8	OUT7	Salida en espera (M20,M21)
9	OUT8	Bloqueo del mandril (M12)
10	OUT9	Desbloqueo del mandril (M13)
11	OUT10	Salida en espera (M16,M17)
12	OUT11	Salida en espera (M18,M19)
13	OUT12	Salida en espera (M40,M41)
14	OUT13	Salida en espera (M42,M43)
15	OUT14	Salida en espera (M44,M45)
16	OUT15	Salida en espera (M46,M47)
17	OUT16	Salida en espera (M48,M49)
18	OUT17	Salida en espera (M50,M51)
19	OUT18	Salida en espera
20	OUT19	Salida en espera
21	OUT20	Interruptor de velocidad de frecuencia variable 3 (M66,M67)
22	OUT21	Interruptor de velocidad de frecuencia variable 2 (M64,M65)
23	OUT22	Interruptor de velocidad de frecuencia variable 1 (M62,M63)
24	OUT23	Interruptor de velocidad de frecuencia variable 0 (M60,M61)
25	OUTGND	Entrada común (24V-,12V-) conectado a fuente interna o externa

Fuente: (Adtech, Manual controlador Adtech CNC 4620, 2015)

4.4.2.4. Interfaz para volante (XS 7).

En el controlador ADTECH CNC 4620 la interface para el volante emplea un conector DB15, su definición se la muestra en la figura 44 y la descripción de los pines se muestra en la tabla37.

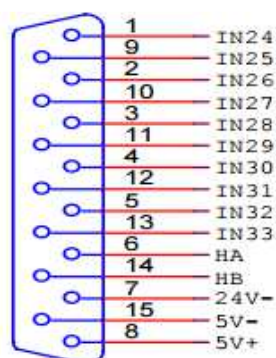


Figura 44. Conector DB15 para el volante
Fuente: (Adtech, Manual controlador Adtech CNC 4620, 2015)

Tabla 37.
Descripción de los pines del conector (XS 7)

Línea S/N	Nombre	Función
1	(IN24) Interruptor	0.1 engrane - velocidad alta
2	(IN26) Interruptor	0.01 engrane - velocidad media
3	(IN28) Interruptor	0.001 engrane - velocidad baja
4	(IN30) Botón	Ciclo start
5	(IN32) Botón	Paro de emergencia
7	24V-	Polo negativo de la fuente interna 24V
9	(IN25) Selección de eje	Eje X
10	(IN27) Selección de eje	Eje Y
11	(IN29) Selección de eje	Eje Z
12	(IN31) Selección de eje	Eje A
13	(IN33) Botón	Paro de emergencia



6	HA	Entrada de señal de encoder manual fase A
14	HB	Entrada de señal de encoder manual fase B
15	5V-	Polo negativo de la fuente interna 5V
8	+5V	Polo positivo de la fuente interna 5V
7	24V-	Polo negativo de la fuente interna 24V

Fuente: (Adtech, Manual controlador Adtech CNC 4620, 2015)

4.4.2.5. Entradas analógicas (XS 8).

En el controlador ADTECH CNC 4620 la interface para entradas analógicas emplea un conector DB 9, su definición se la muestra en la figura 45 y la descripción de los pines se muestra en la tabla 38.

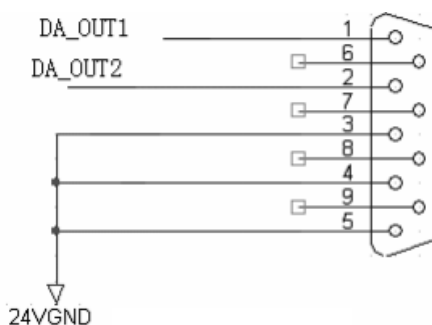


Figura 45. Conector DB9 para entradas analógicas
Fuente: (Adtech, Manual controlador Adtech CNC 4620, 2015)

Tabla 38.
Descripción de los pines del conector (XS 8)

Línea S/N	Nombre	Función
1	DAOUT1	Salida analógica de voltaje (0 – 10) V
2	DAOUT1	Salida analógica de voltaje (0 – 10) V
3	GND	Tierra Interna 24 V
4	GND	Tierra Interna 24 V
5	GND	Tierra Interna 24 V

Fuente: (Adtech, Manual controlador Adtech CNC 4620, 2015)

4.4.2.6. Comunicación RS232 (XS 9).

En el controlador ADTECH CNC 4620 la interface para la comunicación RS232 emplea un conector DB 9, su definición se la muestra en la figura 46 y la descripción de los pines se muestra en la tabla 39.

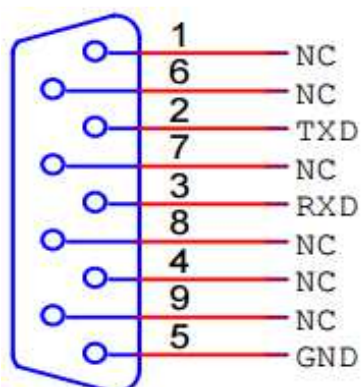


Figura 46. Conector DB9 para comunicación RS232
Fuente: (Adtech, Manual controlador Adtech CNC 4620, 2015)

Tabla 39.
Descripción de los pines del conector (XS 9)

Línea S/N	Nombre	Función
1	NC	No usado
2	TXD	Transmisión de datos
3	RXD	Recepción de datos
4	NC	No usado
5	GND	Tierra
6	NC	No usado
7	NC	No usado
8	NC	No usado
9	NC	No usado

Fuente: (Adtech, Manual controlador Adtech CNC 4620, 2015)

4.4.2.7. Interfaz para encoder principal (XS 12).

En el controlador ADTECH CNC 4620 la interface para la comunicación RS232 emplea un conector DB 15, su definición se la muestra en la figura 47 y la descripción de los pines se muestra en la tabla 40.

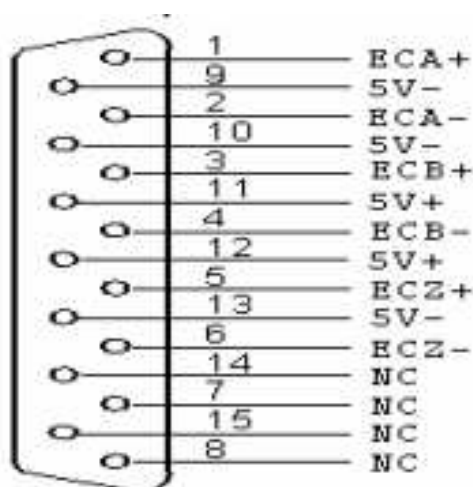


Figura 47. Conector DB15 para comunicación RS232
Fuente: (Adtech, Manual controlador Adtech CNC 4620, 2015)

Tabla 40.

Descripción de los pines del conector (XS 12)

Línea S/N	Nombre	Función
1	ECA+	Entrada de encoder positivo fase A
2	ECA-	Entrada de encoder positivo fase A
3	ECB+	Entrada de encoder positivo fase A
4	ECB-	Entrada de encoder positivo fase A
5	ECZ+	Entrada de encoder positivo fase A
6	ECZ-	Entrada de encoder positivo fase A
7	NC	No utilizado
8	NC	No utilizado
9	5V-	Terminal negativo de fuente interna 5V, no se puede



conectar fuente externa		
10	5V-	Terminal negativo de fuente interna 5V, no se puede conectar fuente externa
11	5V+	Terminal positivo de fuente interna 5V, no se puede conectar fuente externa
12	5V+	Terminal positivo de fuente interna 5V, no se puede conectar fuente externa
13	5V-	Terminal negativo de fuente interna 5V, no se puede conectar fuente externa
14	NC	No utilizado
15	NC	No utilizado

Fuente: (Adtech, Manual controlador Adtech CNC 4620, 2015)

4.5. Servo drivers QS7AA020M Y QS7AA030M.

Los servo drivers QS7AA020M y QS7AA030M son los encargados de controlar los motores seleccionados para los ejes X y Z respectivamente es decir cada uno de los motores necesita de un drive.

Los servo drivers QS7AA020M y QS7AA030M hacen uso de tecnología digital de procesamiento de señal DSP y FPGA programable. En cuanto al manejo de energía hace uso de tecnología IPM.

Las distancias recomendadas por parte del fabricante para la instalación de varios servo drivers en un mismo gabinete con una correcta ventilación se muestran en la figura 48.

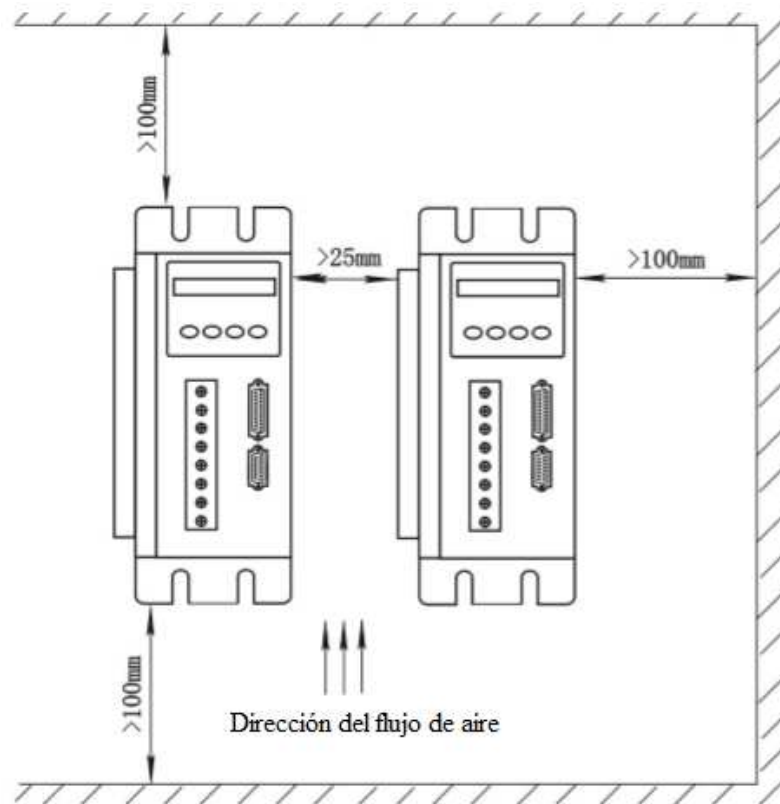


Figura 48. Distancias recomendadas para una buena ventilación
 Fuente: (Adtech, Manual de usuario de servo drivers adtech series QS7, 2015).

4.5.1. Características de los servo drivers QS7AA020M y QS7AA030M.

Las características de los dos modelos de servo drive se muestran en la tabla 41, son las mismas, solo difieren en la potencia de los motores que pueden controlar.

Tabla 41.
 Características principales de los servo drivers serie QS7

Técnica de control	Rectificación de onda completa trifásica SVPWM Control espacios vectoriales
Alimentación	AC220, -15%-10%



Reacción		Encoder fotoeléctrico incremental, 2500 líneas
Condiciones de uso	Temperatura: uso/almacenamiento	45°C/-40°C a 55°C
	Humedad: uso/almacenamiento	40% a 80% / 90%
	Nivel de protección	IP10
	Resistencia a vibración/impacto	4,9 m/s ² /19,6m/s ²
	Elevación sobre el nivel del mar	<1000 m
	Presión atmosférica	86 a 106 kpa

Fuente: (Adtech, Manual de usuario de servo drivers adtech series QS7, 2015)

4.5.2. Funciones de los servo drivers QS7AA020M y QS7AA030M.

Existen varios modos de funcionamiento de los servo drivers QS7AA020M y QS7AA030M, en esta aplicación se utilizará uno de ellos que es el modo de entradas y salidas (o I/O mode), dichos modos de funcionamiento se muestran a continuación:

4.5.2.1. Modo de control de posición.

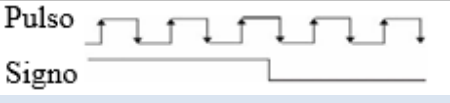
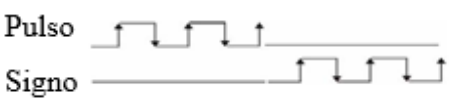
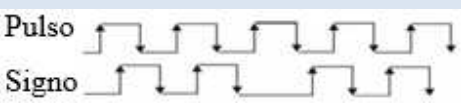
En este modo podemos controlar al servo motor mediante 4 parámetros: la velocidad, dirección, aceleración y desaceleración. Los dos primeros parámetros son controlados mediante pulsos ingresados al servo driver externamente, mientras que los parámetros de aceleración y desaceleración forman parte de la configuración interna del driver.

Existen dos tipos de impulsos que el usuario puede proporcionar con el fin de controlar la posición: diferencial y con el colector en circuito abierto. La diferencia radica principalmente en la frecuencia de los pulsos que el usuario puede ingresar, en el

modo diferencial la frecuencia es de 500 KHz y en el modo de colector abierto de 200 KHz.

La descripción de los pulsos se muestra en la tabla 42 que se muestra a continuación.

Tabla 42.
Pulsos necesarios para el control de posición

Tipo de pulso	Forma de onda	Descripción
Pulso + signo		Pulso + signo
Pulso CCW (antihorario) Pulso CW (horario)		Pulsos CW+CCW
Pulsos A+B		A+B 90° Pulsos ortogonales

Fuente: (Adtech, Manual de usuario de servo drivers adtech series QS7, 2015)

4.5.2.2. Modo de control de velocidad.

Al igual que en el control de posición son necesarios 4 parámetros para controlar al servo motor: velocidad, dirección, aceleración y desaceleración. La diferencia radica en que la velocidad y dirección son determinadas por el valor del voltaje que ingresemos por uno de sus puertos y la dirección por el signo de dicho voltaje. El voltaje máximo que podemos ingresar es de 10 V y el mínimo de -10 V, 10 V corresponderán a la velocidad máxima que hayamos ingresado por medio de uno de los parámetros del servo motor.

4.5.2.3. Modo de control de torque.

Este modo nos permite controlar externamente el torque del servo motor ingresando un voltaje por uno de los puertos del servo driver. 10 V corresponderán al máximo torque que se haya ajustado en uno de los parámetros del servo driver, el signo del voltaje indicará la dirección de giro del motor. La velocidad de giro es ajustada una sola vez en el servo driver mediante su interfaz de usuario.

4.5.3. Descripción de entradas y salidas los servo drivers QS7AA020M y QS7AA030M.

Los puertos de entrada y de salida que deberemos conectar con el controlador ADTECH CNC 4620, con el servo motor y el encoder se muestran en la figura 49.

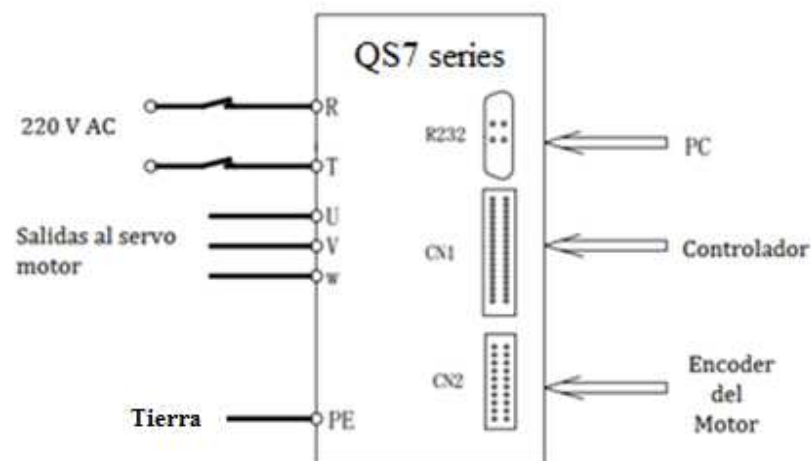


Figura 49. Entradas y salidas de los servo drivers QS7AA020M y QS7AA030M.

Como podemos ver en la figura 49 el servo driver cuenta con un puerto de 36 pines (CN1) para que ingresen las señales de control proporcionadas por el controlador

ADTECH CNC 4620, un puerto de 20 pines (CN2) para la comunicación con el encoder del motor y un puerto RS232 para la comunicación con un computador.

La alimentación al servo motor se la realiza mediante las terminales U, V y W.

CAPÍTULO V

DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA EL TORNO CNC

5.1. Esquema general de los componentes de la máquina.

Con todos los parámetros de cada uno de los componentes es necesario determinar primeramente a breves rasgos la manera en que irán conectados los elementos entre sí. La conexión se muestra en la figura 50.

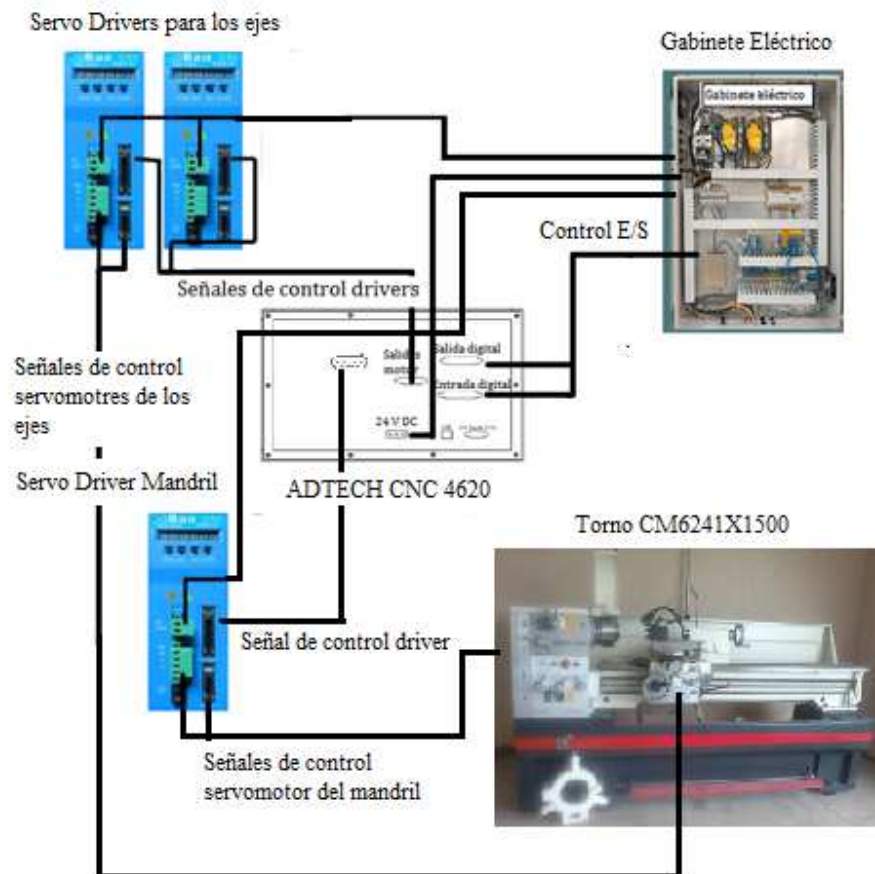


Figura 50. Esquema eléctrico general del Torno CNC

El elemento central de control será el controlador ADTECH CNC 4620 que será el encargado de enviar y recibir las señales a los servo drivers, que controlan mediante

señales de pulso y dirección a los motores que tienen la tarea de generar los movimientos de los ejes de la máquina y el motor que genera el movimiento del mandril. Además recibirá las señales de paros de emergencia. La alimentación necesaria la recibirá desde una fuente de voltaje de 24 voltios.

Los servo drivers serán los encargados de comunicar las acciones necesarias que son determinadas por el controlador CNC a los servo motores. Será alimentado directamente desde la línea eléctrica disponible en la empresa.

En la figura 51 se muestran la geometría y dimensiones (mm) del gabinete eléctrico sobre el cual irán montados los elementos necesarios para el funcionamiento de la máquina.

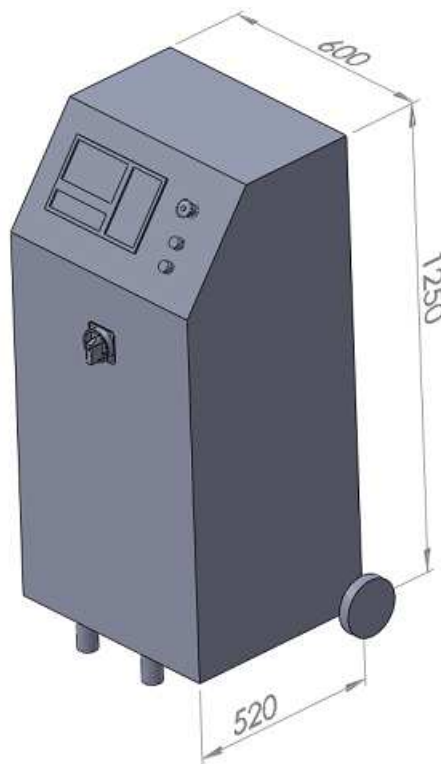


Figura 51. Dimensiones generales del Gabinete Eléctrico

Todos los elementos eléctricos y electrónicos irán montados sobre un gabinete que contendrá los botones, luces indicadoras, breakers, elementos de poder y los controladores.

La ubicación de los elementos se muestra en la figura 52. En la tabla 43 se detallan los componentes y la función dentro del sistema eléctrico de la máquina.

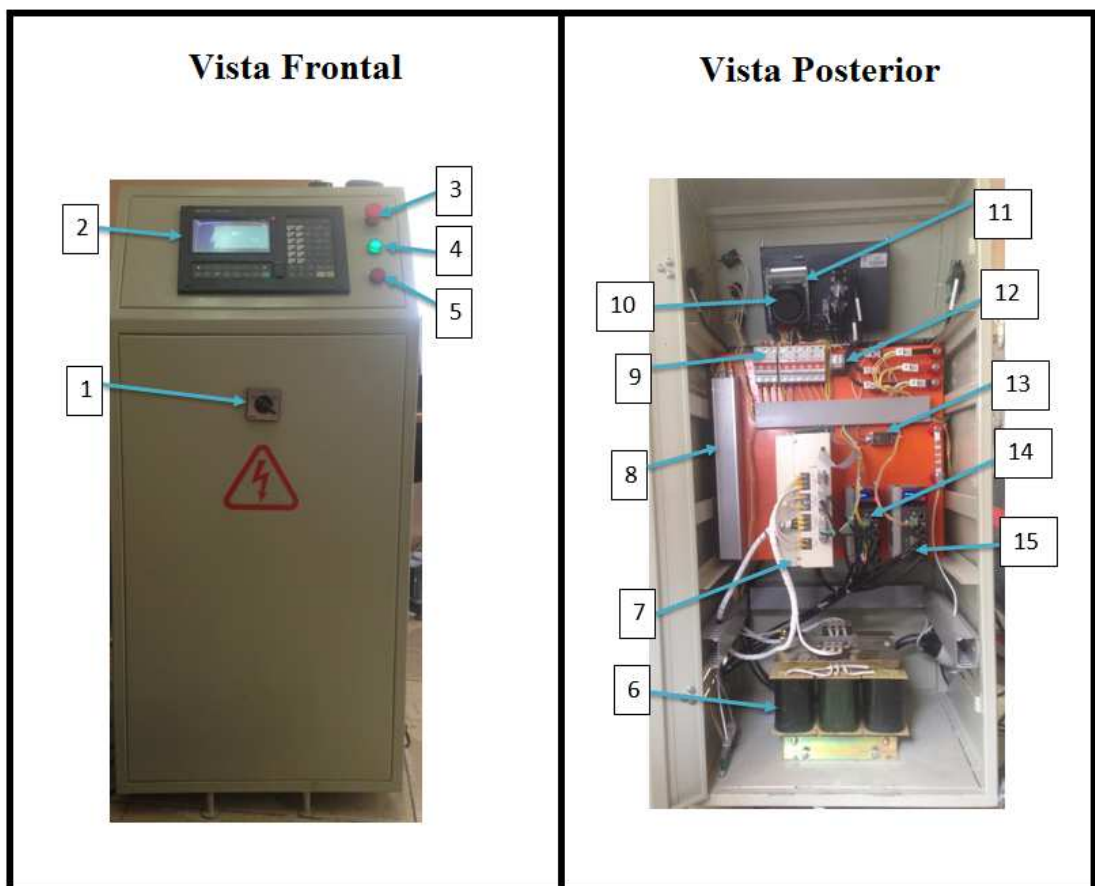


Figura 52. Vista frontal y posterior del gabinete de control

Tabla 43.
Descripción de los elementos del tablero eléctrico

Número	Componente	Descripción
1	Selector	Encendido y apagado del sistema
2	Controlador ADTECH 4620	Controlador CNC
3	Pulsador 1	Paro de emergencia
4	Luz indicadora 1	Luz piloto sistema energizado
5	Luz indicadora 2	Luz piloto estado de emergencia
6	Transformador	220V a 380V
7	Servo driver Mandril	Servo driver que controla el servo motor del mandril
8	Resistencia	Freno del servo motor del mandril
9	Breakers	Protección ante irregularidades eléctricas para el sistema
10	Ventilador	Protección para temperatura de la fuente 24 VDC
11	Fuente DC	Fuente 24 V DC que alimenta al controlador CNC
12	Relé	Relé 24 VDC
13	Filtro	Filtro para fuente 24 V DC
14	Servo driver Eje X	Servo driver que controla el servo motor del Eje X
15	Servo driver Eje Z	Servo driver que controla el servo motor del Eje Z

5.2. Diseño del sistema de potencia de la máquina.

Para el diseño del sistema de potencia de la máquina primeramente definiremos todos los componentes que necesitarán ser alimentados con el fin de que el sistema que estamos implementando funcione. Tales componentes y los parámetros de alimentación respectivos se muestran en la tabla 44.

Tabla 44.
Elementos conectados al sistema de potencia

Elemento	Voltaje	Corriente
Controlador ADTECH CNC 4620	24 V DC	0,1667 A
Servo driver QS7AA020M	220 V AC	20 A
Servo driver QS7AA030M	220 V AC	30 A
Servo driver DS2000T (mandril)	380 V AC	11.5 A

La empresa MIVILTECH S.A cuenta con una red de alimentación trifásica 220 V AC dentro de sus instalaciones por lo tanto no se requerirán elementos extra para la alimentación de los servo drivers de los ejes, para el servo driver del mandril es necesario utilizar un transformador ya que necesita 380 V AC para su funcionamiento, el controlador CNC necesita de una fuente de voltaje 24 V DC.

Los elementos como servo motores, pueden tomar la alimentación de sus respectivos controladores por lo que no se incluyeron en este análisis.

5.2.1. Selección de la fuente de 24 V DC.

Para la selección se consideró el voltaje requerido y la corriente necesaria. La fuente de 24 V DC solamente alimentará al controlador ADTECH CNC 4620 por lo tanto para encontrar el valor de potencia que se requiere se debe aplicar la siguiente ecuación.

$$P_f = V_C * I_C * f_s \quad (Ec: 5.1)$$

Donde:

P_f : Potencia de la fuente.

V_C : Voltaje de alimentación requerido.

I_C : Corriente que consume el controlador.

f_s : Factor de seguridad (1,25).

$$P_f = 24 * 0,1667 * 1,25 = 5W$$

Entonces se debe seleccionar una fuente DC de al menos 5 W de potencia.

5.2.2. Selección del transformador.

El transformador servirá exclusivamente para proporcionar voltaje al servomotor del mandril, para seleccionar el transformador primero se debe determinar la relación de transformación aplicando la siguiente ecuación:

$$m = \frac{V_p}{V_s} \quad (Ec: 5.2)$$

Donde:

m : Relación de transformación.

V_p : Voltaje de entrada (220 V AC).

Vs: Voltaje de salida (380 V AC).

$$m = \frac{220}{380} = 0.57$$

La relación de transformación deberá ser de 0.57:1. El servomotor del mandril acepta en su entrada valores de 380 V AC $\pm 5\%$ lo que quiere decir que se puede alimentar dicho servomotor con valores que van desde 361 hasta 399 V AC.

Al no encontrar transformadores en el mercado que proporcionen una relación como la requerida redondeamos el valor al número entero más cercano: 0.6 Con este valor el voltaje de salida será de 366.6 V que es un valor que está dentro del rango aceptable.

Ahora se debe calcular la potencia necesaria que debe tener el transformador de la misma manera como se calculó la potencia para la fuente con los datos de la tabla 40:

$$P_t = V_{Ch} * I_{Ch} * fs$$

Donde:

P_f : Potencia de la fuente.

V_{Ch} : Voltaje de alimentación requerido por el servomotor.

I_{Ch} : Corriente que consume el control servomotor.

fs : Factor de seguridad (1,25).

$$P_f = 380 * 11.5 * 1.25 = 5463VA \approx 5.5 kVA$$

Los datos necesarios para la fuente y el transformador se detallan a continuación en la tabla 45.

Tabla 45.
Parámetros requeridos para la fuente y el transformador

Elemento	Voltaje salida	Potencia	Relación de transformación
Fuente DC	24 V DC	5W	No aplica
Transformador	366.6 V AC	5.5 kVA	0.6:1

5.2.3. Selección de los dispositivos de protección.

Con el fin de proporcionar protección a los elementos que forman parte del panel de control será necesario el uso de breakers que corten el flujo de corriente hacia los componentes que vayan directamente conectados hacia la alimentación de 220 V AC que se puede obtener en cualquier punto de la empresa Miviltech S.A. Dichos componentes se muestran en la tabla 46.

Tabla 46.
Consumo de corriente de los componentes del sistema

Componente	Cantidad	Corriente consumida
Fuente de voltaje	1	0.1667 A
Servo driver DS2000T (mandril)	1	11.5 A
Servo driver QS7AA020M	1	20 A
Servo driver QS7AA030M	1	30 A
Total:		61.6 \approx 62 A

El único dato que necesitamos para la selección de los breakers es el consumo máximo de corriente que se producirá en determinado momento, el consumo máximo

será cuando todos los elementos trabajen a plena carga, por lo tanto los breakers seleccionado deberán ser:

- Breaker de 3 polos 12 A.
- Breaker de 2 polos 3 A.
- Breaker de 2 polos 20 A.
- Breaker de 2 polos 30 A.

5.3. Diseño del tablero de control.

En esta sección se determinan las conexiones necesarias entre los distintos elementos de control a ser utilizados en el torno, estos son controlador ADTECH CNC 4620, servo drivers QS7AA020M, QS7AA030M, motor del mandril con su respectivo driver y luces indicadoras.

Para las conexiones que se van a realizar dentro del tablero de control, se debe tomar en cuenta que el consumo máximo de corriente con los elementos trabajando a plena carga va a ser 62A, por lo tanto se deben seleccionar elementos que soporten esta corriente, estos elementos son: Selector toma corriente y enchufe, las conexiones para estos elementos se debe realizar con cable AWG 8.

Las conexiones de los elementos a 380 V. se deben realizar con cable AWG 10.

Las conexiones entre los elementos restantes se deben realizar con cable AWG 16.

5.3.1. Diagrama de conexión general.

A continuación en la figura 53 se muestra el esquema general de conexión de los elementos necesarios para el control del torno.

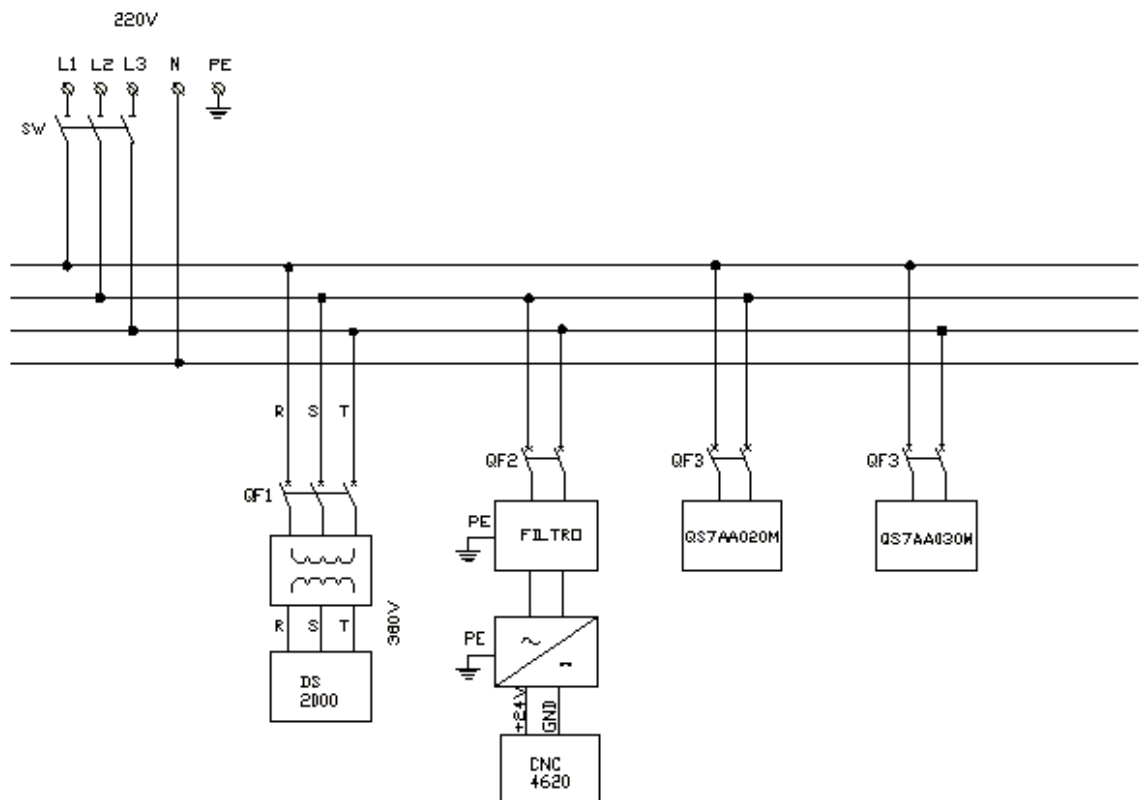


Figura 53. Diagrama conexión general

5.3.2. Conexión del controlador ADTECH CNC 4620.

A continuación en la figura 54 se detallan las conexiones entre el controlador y cada uno de los servo drivers ocupados para controlar los ejes del torno, se muestra solo uno de los ejes ya que para el otro eje va a ser exactamente igual.

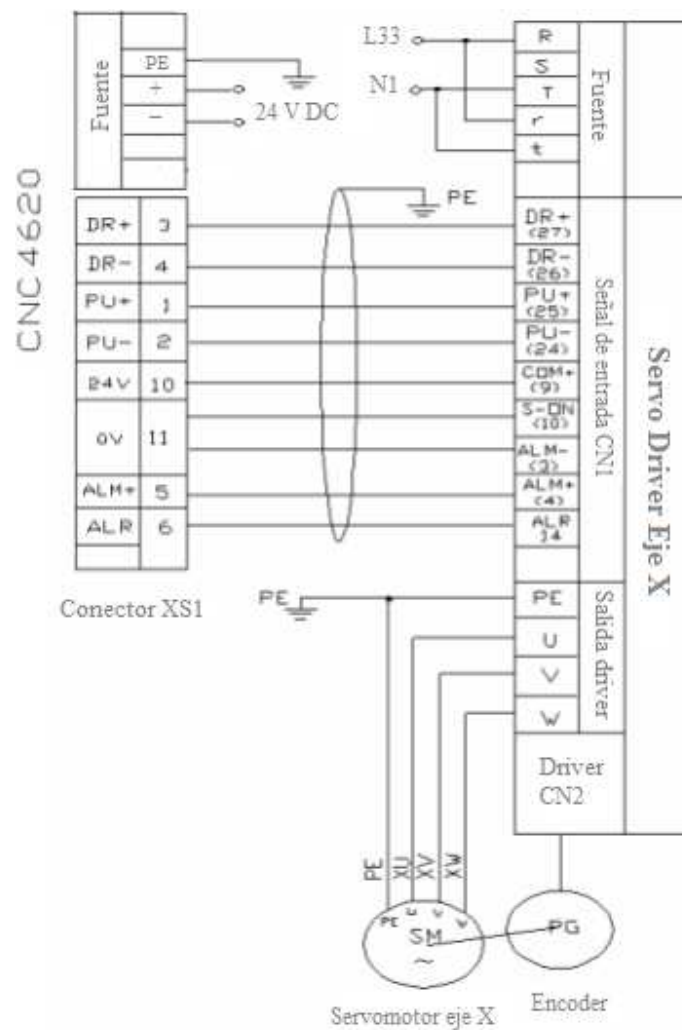


Figura 54. Conexión entre Controlador CNC y Servodrivrs
Fuente: (Adtech, Manual controlador Adtech CNC 4620, 2015)

5.3.3. Conexión del servo driver para el mandril del torno.

A continuación en la figura 55 se detalla la conexión para el servo driver del mandril.

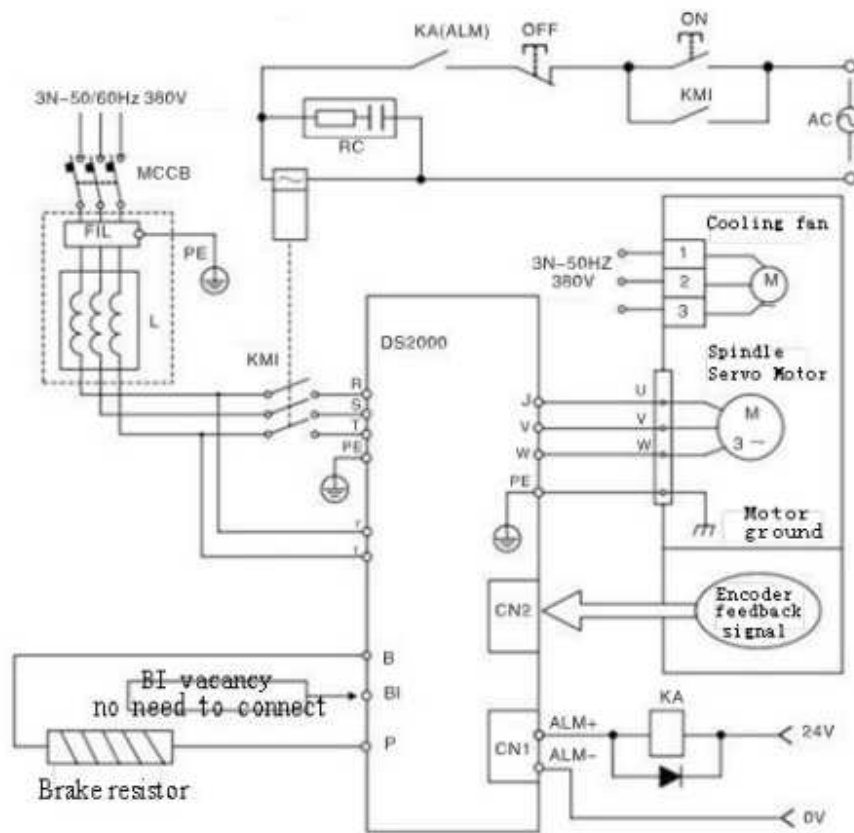


Figura 55. Conexión del Servo driver para el mandril
Fuente: (Wenling, 2015)

CAPÍTULO VI

IMPLEMENTACIÓN, CALIBRACIÓN Y PRUEBAS DEL TORNO CNC.

6.1. Implementación del sistema mecánico.

A continuación en la figura 56 se detalla el montaje de los tornillos de bolas, servomotores con sus respectivas bases y los finales de carrera que son necesarios para poner los límites dentro de los cuales puede operar la máquina.



Figura 56. Torno CNC

6.1.1. Montaje de los tornillos de bolas.

En las figuras 57 y 58 se muestran los tornillos de bolas con sus respectivos acoples montados en el Torno.

Tornillo de bolas eje X.



Figura 57. Tornillo de bolas eje X con acople a la tuerca

Tornillo de bolas eje Z.



Figura 58. Tornillo de bolas eje Z con acople a la tuerca

6.1.2. Montaje de los servomotores.

En las figuras 59 y 60 se muestran los servomotores y sus respectivas bases montados en el torno.

Servomotor eje X.

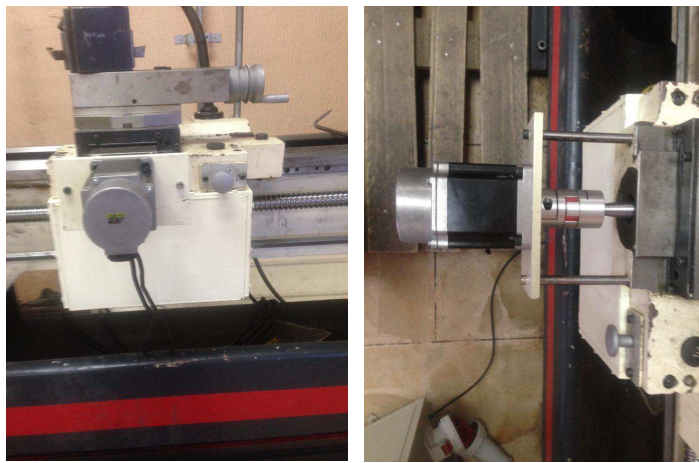


Figura 59. Servomotor Eje X

Servomotor eje Z.



Figura 60. Servomotor Eje Z

Servomotor para el mandril

En la figura 61 se muestra el montaje del servomotor para el mandril del torno.



Figura 61. Servomotor Mandril

6.1.3. Montaje de los finales de carrera.

En las figuras 62 y 63 se muestran el montaje de los finales de carrera.

Finales de carrera eje X.

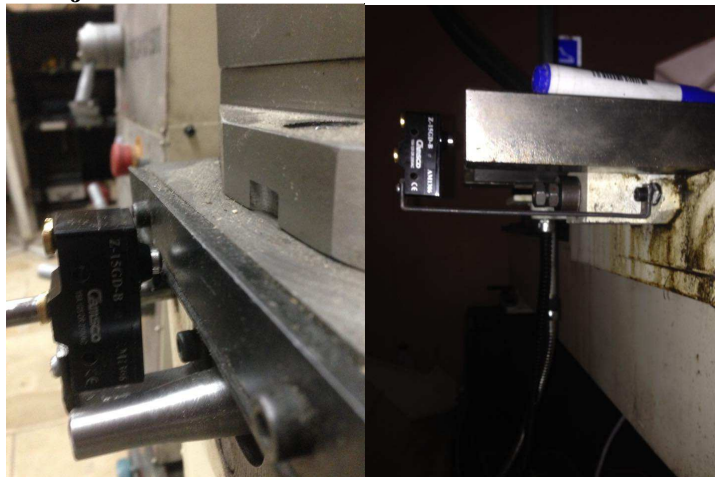


Figura 62. Finales de carrera eje X

Finales de carrera eje Z.



Figura 63. Finales de carrera eje Z

6.2. Calibración del sistema de control.

6.2.1. Parametrización del controlador CNC 4620.

A continuación en la tabla 47 se detallan los parámetros que han sido variados de los valores de fábrica del controlador CNC 4620, esto se realiza con la finalidad de obtener el funcionamiento deseado para la máquina.

Tabla 47.

Parametrización del controlador CNC 4620

No. De Parámetro	Nombre de Parámetro	Valor
General 009	Avance Rápido eje X (mm/min)	12000
General 011	Avance Rápido eje Z (mm/min)	12000
Spindle 020	Máxima velocidad del mandril	6000
Spindle 022	Numerador de la transmisión eléctrica	5
Spindle 023	Denominador de la transmisión eléctrica	2
IO 008	Paro de emergencia (SCRAM)	15

6.2.2. Parametrización de los servo drivers para los ejes X, Z.

En cada uno de los servo drivers es necesario setear los valores de los parámetros para poder obtener los movimientos adecuados para cada uno de los ejes.

La relación de transmisión eléctrica es un parámetro que debemos fijar y se la calcula mediante las siguientes ecuaciones (Adtech, Manual de usuario de servo drivers adtech series QS7, 2015):

$$G = \frac{N * C * 4}{P} \quad (Ec: 6.1)$$

Donde:

G = relación de transmisión electrónica P12/P13.

N = Numero de giros.

C = Líneas del encoder óptico, generalmente es C = 2500.

P = Cantidad de pulso de entrada del controlador (1 μ m por pulso).

6.2.2.1. Parametrización del servo driver para el eje X.

A continuación se procede a encontrar la relación de transmisión eléctrica.

$$P = \frac{Ph}{1\mu m} \quad (Ec: 6.2)$$

Donde:

Ph = Paso del Tornillo de bolas.

$$P = \frac{5mm}{1\mu m} * \frac{1000\mu m}{1mm}$$

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

Aplicamos la ecuación 6.1.

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

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

Con esto tenemos que: P12=2 y P13=1.

A continuación en la tabla 48 se muestran los parámetros que han sido cambiados en el servo driver, los demás se los mantiene con los valores de fábrica.

Tabla 48.
Parametrización del Servo Driver QS7AA020M

No. De Parámetro	Nombre de Parámetro	Valor
P2	Modelo de motor	750
P4	Modo de control	0
P5	Control del servo	1
P12	Numerador de la transmisión eléctrica	2
P13	Denominador de la transmisión eléctrica	1

6.2.2.2. Parametrización del servo driver para el eje Z.

Aplicamos la ecuación 6.2.

$$P = \frac{10mm}{1\mu m} * \frac{1000\mu m}{1mm}$$

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

Aplicamos la ecuación 6.1.

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

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

Con esto tenemos que: P12=1 y P13=1.

A continuación en la tabla 49 se muestran los parámetros que han sido cambiados en el servo driver, los demás se los mantiene con los valores de fábrica.

Tabla 49.
Parametrización del Servo Driver QS7AA030M.

No. De Parámetro	Nombre de Parámetro	Valor
P2	Modelo de motor	1200
P4	Modo de control	0
P5	Control del servo	1
P12	Numerador de la transmisión eléctrica	1
P13	Denominador de la transmisión eléctrica	1

6.2.2.3. Sintonización de servomotores.

Los servomotores utilizados en los 2 ejes se configuraron haciendo uso del software de comunicación Servosoft que cuenta con tres pestañas: drive status, drive parameters, waveform monitor. La pantalla que se muestra en la pestaña drive status se muestra en la figura 64.

Para poder comunicar el software con la computadora es necesario modificar el parámetro P43 (bps) y se hace coincidir con el número de baudios (Baud Rate Selection) escogido en el software.

Luego es necesario comprobar la comunicación RS 232 con la computadora y elegir el puerto adecuado como se muestra en la figura 64.

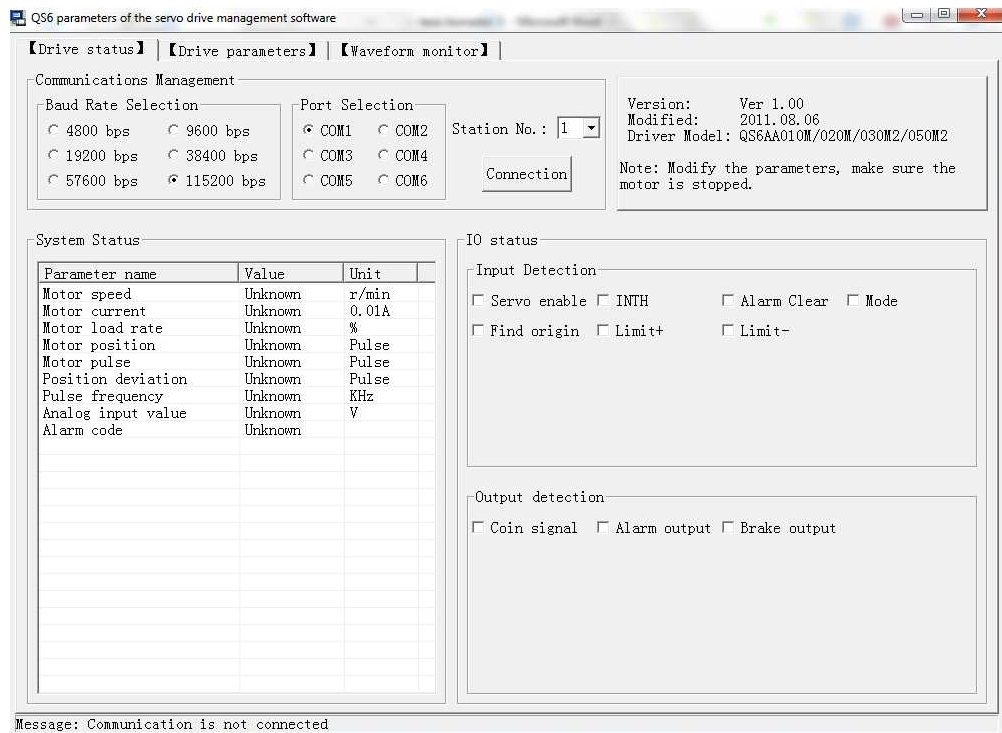


Figura 64. Software de comunicación de los servo motores
Fuente: (Adtech, Software servodriver, 2015)

En la pestaña Drive parameters es posible modificar todos los parámetros del servo motor sin necesidad de tener acceso a los botones del driver. Esto se puede observar en la figura 65.

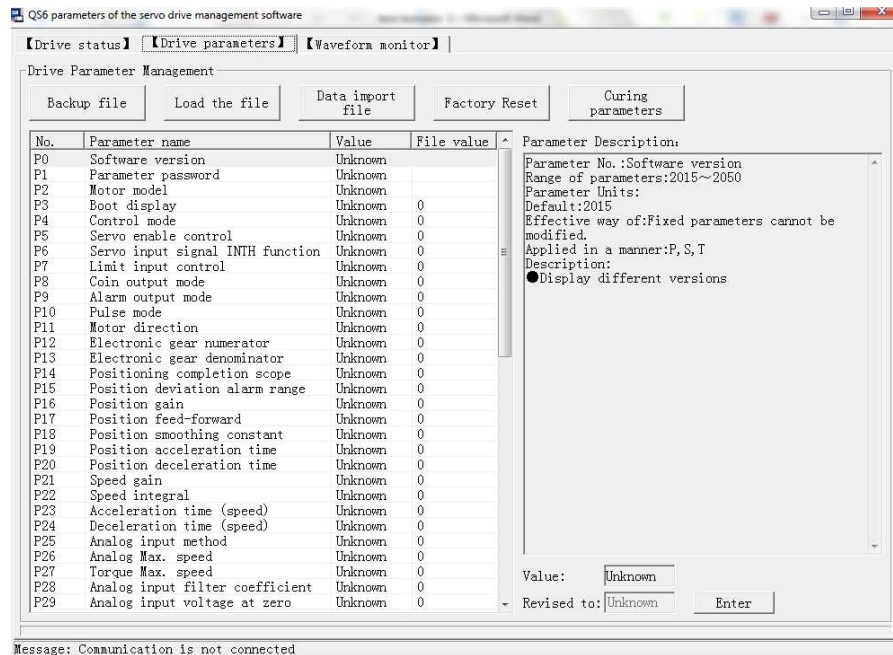


Figura 65. Pestaña Drive parameters del programa Servosoft
Fuente: (Adtech, Software servodriver, 2015)

La última pestaña fue la que se utilizó para la sintonización de los servo motores. En la figura 66 se muestra la ventana de visualización de parámetros del servo motor en el tiempo.

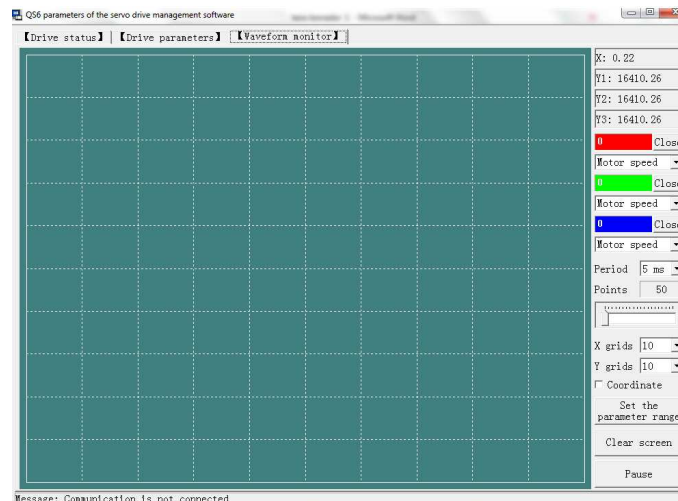


Figura 66. Visualización de los parámetros de sintonización de servomotores
Fuente: (Adtech, Software servodriver, 2015)

El control PID que llevan a cabo los drivers del servo motor es un control en cascada. En este tipo de control el lazo de corriente por lo general no necesita ser modificado, así que solo se modificaron los parámetros P e I tanto del lazo de posición como del lazo de velocidad.

Es necesario obtener una respuesta *críticamente amortiguada* para cada uno de estos lazos, para tal fin se siguió el siguiente procedimiento recomendado por el fabricante en sus manuales:

- Setear un valor relativamente bajo para la ganancia de posición (parámetro P16), para este caso se lo puso en 50.
- Setear un valor alto para la ganancia de velocidad (parámetro P21), para este caso se lo puso en 100.
- Ir aumentando el valor de ganancia de velocidad y disminuyendo el valor de ganancia de posición hasta obtener un buen desempeño.

6.2.3. Parametrización del servo driver para el mandril.

A continuación en la tabla 50 se muestran los parámetros que han sido cambiados en el servo driver, los demás se los mantiene con los valores de fábrica.

Tabla 50.
Parametrización del Servo Driver DST2000.

No. De Parámetro	Nombre de Parámetro	Valor
PA1	Modelo de motor	511
PA4	Modo de trabajo del servo	3
PA5	Comando de modo de posición	1
PA6	Comando de modo de posición	1
PA33	Selección de salida de la realimentación de posición	1

6.3. Pruebas de posición, velocidad y funcionamiento de la máquina.

6.3.1. Pruebas de velocidad y posición ejes X y Z.

Para determinar el correcto funcionamiento de los ejes del torno se ha procedido a realizar las siguientes pruebas que se detallan en la tabla 51.

Tabla 51.

Pruebas de velocidad y posición ejes X y Z

Pruebas de velocidad y posición ejes X y Z				
Posición	Posición Enviada por controlador	Posición real desplazada	Posición de retorno	Compensación
Eje X	30 mm	30 mm	0 mm	0 mm
Eje Z	50 mm	50 mm	0 mm	0 mm
Velocidad	Velocidad seteada en controlador	Distancia recorrida	Tiempo transcurrido	Velocidad real de avance
Eje X	12000 mm/min	200 mm	1.02 s	11764 mm/min
Eje Z	12000 mm/min	1000 mm	5.17 s	11614 mm/min

En las figuras 67 y 68 se muestran las pruebas de posición en los ejes X y Z del torno.



Figura 67. Posición eje X

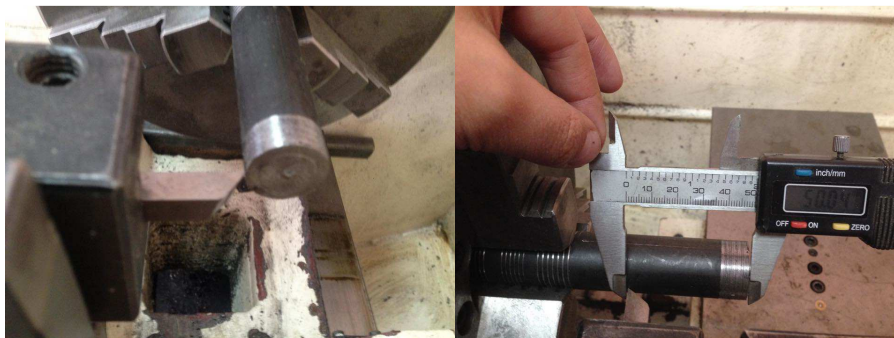


Figura 68. Posición eje Z

Si fuera necesario poner una compensación, esto se lo hace en un parámetro del controlador que se llama backlash.

Se puede concluir que las características de velocidades de la máquina varían de acuerdo a los parámetros de velocidad y aceleración inicial, debido a que la velocidad calculada es la velocidad media y está en función de la aceleración y velocidad inicial a valores altos de dichos parámetros mayor aproximación a la velocidad seteada por software.

6.3.2. Pruebas de velocidad del mandril.

El motor del mandril del torno está acoplado a la caja Norton propia del torno, por esta razón para tener la velocidad más aproximada de acuerdo a la seteada en el controlador y la verdadera se procede a poner la caja Norton en 330 rpm (figura 69), pero también se deben cambiar los parámetros para el mandril en controlador CNC como se muestra en la tabla 43 de la sección 6.2.1.



Figura 69. Posición de velocidad de la caja Norton

En la tabla 52 se muestran las velocidades seteadas en el controlador y las obtenidas en el mandril.

Tabla 52.
Pruebas de velocidad del mandril

Pruebas de velocidad del Mandril	
Velocidad seteada en controlador (rpm)	Velocidad real (rpm)
100	95
870	827
1800	1710

Para poder tener estas velocidades la caja Norton debe estar únicamente en la posición mostrada, ya que si se mueve a cualquier otra posición, no daría un rango totalmente diferente de velocidades.

6.3.3. Pruebas de funcionamiento de la máquina.

Para determinar el funcionamiento de la máquina, se realizaron pruebas de maquinado con diferentes dimensiones, haciendo maquinados rectos, chaflanes y radios, cada una de las piezas se maquinó dos veces.

En la tabla 53 se muestran los parámetros de maquinado que fueron ingresados en la máquina para realizar las pruebas, y en la tabla 54 se muestran los resultados.

Tabla 53.
Parámetros de maquinado para pruebas

Parámetros de maquinado para pruebas			
	Profundidad de corte (a)	Avance de maquinado (f)	Velocidad del mandril (s)
Ciclo de desbaste	0.2 mm	0.2 mm/rev	600 rpm
Ciclo de acabado	0.2 mm	0.08 mm/rev	1000 rpm

Tabla 54.
Resultados de las pruebas

Resultados de las pruebas							
Pieza 1	D1(mm)	L1(mm)	L2(mm)	D2(mm)			
1era vez	9.99	8.00	12.00	19.99			
2da vez	10.01	8.01	12.02	20.01			
Pieza 2	D1(mm)	L1(mm)	L2(mm)	D2(mm)	L3(mm)	D3(mm)	L4(mm)
1era vez	10.00	5.01	8.01	15.00	2.99	20.00	7.00
2da vez	10.00	5.00	8.01	15.00	3.00	20.01	7.00
Pieza 2	D1(mm)	L1(mm)	L2(mm)	D2(mm)	L3(mm)	D3(mm)	L4(mm)
1era vez	10.00	5.00	8.01	14.00	7.00	20.00	3.01
2da vez	9.99	5.00	8.00	14.00	7.01	20.00	3.00

En las figuras 70, 71 y 72, se muestran los maquinados de las piezas de prueba.



Figura 70. Pieza 1



Figura 71. Pieza 2



Figura 72. Pieza 3

CAPÍTULO VII

COSTOS

En esta sección se detallan los costos de los componentes utilizados para la implementación del presente proyecto, componentes eléctricos, mecánicos, mano de obra, trámites de importación.

7.1. Costo de componentes utilizados.

El costo de componentes incluye los componentes mecánicos y eléctricos que se han utilizado para la implementación del proyecto y se detallan en la tabla 55.

Tabla 55.
Detalle de costos de componentes utilizados.

Detalle de costos de los elementos utilizados en el proyecto				
Modelo	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Total
CNC4620	ADT-CNC4620 Controlador CNC 2 ejes/torno	1	465,00	465,00
ACH-08075DI-G	Servomotor 750W, 3000RPM, 2.4NM, 3.5A, AC220V	1	126,00	126,00
QS7AA020M	AC Servo Driver, AC220V, 20A, Para servomotor AC 400W~750W	1	155,00	155,00
JB1LX-3M	3 metros de cable (Encoder, controlador, alimentación) para 0.1-	1	22,00	22,00



0.75kW				
ACH-11120DI-G	Servomotor 1,2kW, 3000RPM, 4,0NM, 5,0A, AC220V	1	152,00	152,00
QS7AA030M	AC Servo Driver, AC220V, 30A, Para servomotor AC 1.0kW~2.0kW	1	168,00	168,00
JB2LX-3M	3 metros de cable (Encoder,controlador, alimentación)para 1.0kW~2.0kW	1	30,00	30,00
204ZJY-4-5.5-15 +driver	Motor para el mandril (5.5KW) +driver + cable de conexión	1	800,00	800,00
Transformador	Transformador para 5.5kW (220V a 380V)	1	285,00	285,00
R16-5T3-FSI-316- 471	Husillo de bolas diam. 16mm. 471mm. Con tuerca y maquinado final	1	52,60	52,60
R32-10T3-FSI- 1832-2039	Husillo de bolas diam. 32mm. 2039mm. Con tuerca y maquinado final	1	238,00	238,00
12*16*D40*66mm	Acople Husillo de bolas/ servomotor	1	6,50	6,50
17*19*D40*66mm	Acople Husillo de bolas/ servomotor	1	6,50	6,50
B-681	Breaker 2*4 LS	1	13,35	13,35
B-6814	Breaker 2*20 LS	1	13,33	13,33



B-6814	Breaker 2*32 LS	1	14,76	14,76
B-6821	Breaker 3*20 LS	1	15,17	15,17
VENE80	Ventilador 80*80*38 230V	1	5,75	5,75
C63-099	Selector 63A camco	1	35,67	35,67
LUZP02	Luz piloto Verde 220V camco	1	1,59	1,59
V-1018	Pulsador 22mm Hongo rojo	1	4,08	4,08
EL-58724	Toma semiempotrable 63A legrand	1	55,00	55,00
EL-58704	Enchufe trifásico 63A legrand	1	43,00	43,00
CIF10	Cable flexible 10 AWG	16	0,91	14,56
O1210	Terminal ojo amarillo	30	0,06	1,68
CA2U	Terminal talon simple	8	0,83	6,63
TERUR	Terminal en U rojo	30	0,04	1,34
CI4*12	Cable concentrico 4*12	4	3,39	13,57
AM-1308	Micro Switch	4	4,29	17,16
LUZP06	Luz piloto roja 110V camco	1	1,50	1,50
CZF080A-E	Base para rele	1	1,34	1,34
MK2P	Rele auxiliar 24VDC	1	4,66	4,66
RU125	Par de ruedas 125	1	16,00	16,00
Varios	Materiales varios	1	11,08	11,08
			TOTAL	2797,84

7.2. Costo de envío de componentes utilizados.

El costo de envío de los componentes importados se detalla en la tabla 56, el costo de envío desde Hong Kong a Quito es elevado debido al peso de los componentes además de que fue transporte aéreo, se tomó la decisión por este tipo de transporte porque era necesario tener los componentes en el país lo antes posible.

Tabla 56.

Detalle de costos de envío de componentes utilizados.

Detalle de costos de envíos de los elementos					
Origen	Destino	Medio	Descripción	Peso (Kg)	Valor
Shenzhen(China)	Shenzhen(China)	Terrestre	Controlador, sevomotores	32,00	0,00
Wenling(China)	Shenzhen(China)	Terrestre	Motor mandril, transformador	105,50	40,00
Tianjin (China)	Shenzhen(China)	Terrestre	Husillos de bolas, acoples	17,50	12,00
Shenzhen(China)	Hong Kong(China)	Terrestre	Todos los elementos	155,00	86,00
Hong Kong(China)	Quito(Ecuador)	Aéreo	Todos los elementos	155,00	1364,00
Quito(Ecuador)	Ambato(Ecuador)	Terrestre	Todos los elementos	155,00	80,00
TOTAL				155,00	1582,00

7.3. Costo de trámites de importación de componentes utilizados.

El costo de envío de los componentes importados se detalla en la tabla 57.

Tabla 57.
Detalle de costos de trámites de importación.

Detalles de costos Trámites de importación	
Descripción	Precio
Manejo de documentos y bodega	30,00
Honorarios por empresa	300,00
Exportación	239,33
Desaduanización de mercadería	1190,00
TOTAL	1759,33

7.4. Costo de mano de obra de partes fabricadas.

El costo de mano de obra de partes fabricadas se detalla en la tabla 58.

Tabla 58.
Detalle de costos de mano de obra de partes fabricadas.

Detalle de costos de mano de Obra			
Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Total
Fabricación de soportes para servomotores	2	30,00	60,00
Fabricación de gabinete eléctrico	1	300,00	300,00
Fabricación de Acoples para tuercas	2	25,00	50,00
		TOTAL	410,00

7.5. Costo total.

El costo total del proyecto se detalla en la tabla 59.

Tabla 59.
Detalle de costo total.

Costo total del proyecto	
Descripción	Precio
Elementos utilizados en el proyecto	2797,84
Trámites de Importación	1759,33
Mano de Obra	410,00
Envíos de los elementos	1582,00
TOTAL	6549,17

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones.

- El retrofit en el torno CM6241X1500 se ha diseñado e implementado, logrando el maquinado automático de piezas mediante un controlador CNC, además de la adaptación de servomotores para sus ejes y mandril.
- El movimiento de los ejes X y Z del torno requieren servomotores AC de 0.75 kW, 2.4 N-m y 1.2kW, 4 N-m respectivamente y para el movimiento del mandril un servomotor de 5.5 kW.
- Los motores ACH-08075DI-G, ACH-11120DI-G han sido seleccionados con sus drivers QS7AA020M y QS7AA030M de la marca ADTECH para el control de los ejes X y Z respectivamente, y el motor 204ZJY-4-5.5-15 con driver DS2000T de la marca YUHAI para el control del mandril.
- El controlador CNC ADTECH 4620 es el que comanda los servomotores implementados en el torno para poder realizar las distintas operaciones de mecanizado mediante código G, que puede ser visualizado en la pantalla propia del controlador, se muestran todos los parámetros de maquinado y además se puede visualizar un trazado previo del maquinado a ser realizado.

- El torno CNC cumple con las especificaciones de diseño, avance rápido en los ejes de 12000 mm/min, velocidades continuas en el mandril de 0 a 1800 rpm, precisión de posicionamiento 0.01 mm.
- El costo del proyecto tiene un total de \$ 6549.17 a esto hay que sumarle el costo del torno convencional utilizado que es \$ 6000 sumando la cantidad de 12549.17, lo cual resulta económico frente a la adquisición de un torno CNC de las similares características avaluado en \$50000.
- El tiempo total de realización del proyecto fue de 10 meses, se demoró un poco más de tiempo de lo programado debido a que se tuvo que importar la mayoría de componentes.

8.2. Recomendaciones.

- No exceder los parámetros de corte establecidos para cada cuchilla y material que se vaya a maquinar.
- Determinar el cero de las piezas cada vez que se vaya a realizar el maquinado ya que este varía cada vez que se ponga una nueva pieza en el mandril.
- Ingresar correctamente el código G para que el torno realice las operaciones de maquinado deseadas.
- No exceder la velocidad de 1800 rpm en el mandril, puesto que los rodamientos del torno están diseñados para esta velocidad máxima.
- Tomar en cuenta las normas de seguridad necesarias para operar una máquina herramienta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adtech. (10 de 03 de 2015). *Catálogo Servomotores AC*. Obtenido de <http://www.adtechen.com/download.php?type=1>
- Adtech. (10 de 03 de 2015). *Manual controlador Adtech CNC 4620*. Obtenido de <http://www.adtechen.com/download.php?type=0>
- Adtech. (10 de 04 de 2015). *Manual de usuario de servo drivers adtech series QS7*. Obtenido de <http://www.adtechen.com/download.php?type=0>
- Adtech. (10 de 04 de 2015). *Software servodriver*. Obtenido de <http://www.adtechen.com/download.php?type=0>
- Bolton, W. (2010). *Mecatrónica*. México: Alfaomega.
- Cerón, J. (10 de 10 de 2011). *Torno CNC*. Obtenido de <http://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/torno-cnc>
- Festo Didactic. (10 de 25 de 2014). *Fundamentos de la Automatización*. Obtenido de http://lehrerfortbildung-bw.de/faecher/nwt/fb/atechnik/grundlagen/es/kapitel/563062_Fundamentos_de_la_tecnica_de_automatizacion.pdf.
- Hiwin. (15 de 01 de 2015). *Catalog ballscrew technical information*. Obtenido de <http://www.hiwin.com/pdf/ballscrews.pdf>
- Kalpakjian, S. (2009). *Manufacturing Engineering and Technology*. Estados Unidos: Prentice Hall.
- Nievas, C. (10 de 11 de 2014). *Automatización Industrial*. Obtenido de www.cec.uchile.cl/~cnievas/Docencia/DUOC/AI/AI_C9.ppt
- Omron. (27 de 02 de 2015). *Selección de servomotores*. Obtenido de [http://www.ia.omron.com/data_pdf/guide/14/servo_selection_tg_e_1_1_3-13\(further_info\).pdf](http://www.ia.omron.com/data_pdf/guide/14/servo_selection_tg_e_1_1_3-13(further_info).pdf)
- Ospina, C. (2 de 10 de 2014). *El torno*. Obtenido de [trabajos35/torno.shtml](http://www.trabajos35/torno.shtml): <http://www.trabajos35/torno.shtml>

- Palma, R. (2 de 10 de 2014). *Tecnología aplicada*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/89576884/Torno-Concepto-Clasificacion-y-Aplicaciones>.
- Rossi, M. (1981). *Máquinas Herramientas Modernas*. España: Dossat.
- Ruland. (25 de 02 de 2015). *catálogo acoples tipo mordaza*. Obtenido de <http://www.ruland.com/espanol/acoplamiento-elastico-estrellas.asp>
- Sandvick. (15 de 12 de 2014). *Torneado en Seco*. Obtenido de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/avila_h_re/capitulo3.pdf.
- Sandvick Coromant. (15 de 12 de 2014). *Fórmulas de torneado*. Obtenido de http://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/general_turning/formulas-and-definitions/pages/default.aspx.
- Sandvick Coromant. (15 de 12 de 2014). *Velocidades de corte y avance*. Obtenido de , <http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso2/Practicas/Torno-Desarrollo/Capi8.htm>
- Suh, Kang, Chung, Stroud . (2008). *Theory and design of CNC systems*. Newport: Springer.
- Techno Inc. (15 de 12 de 2014). *Linear motion Products CatalogH860*. Obtenido de <http://www.techno-isel.com/lmc/H860/860Download.asp?Page=AcmeBallScrews>
- THK. (20 de 01 de 2015). *Catálogo tornillos de bolas*. Obtenido de http://www.thk.com/sites/default/files/documents/mx_pdf/product/2009/DCatalogEspanol_1.pdf
- Torno CM6241X1500. (15 de 12 de 2014). *Torno CM6241X1500*. Obtenido de <http://gnvacd.wix.com/gnva#!c6241-x-1500/cy1d>
- Wenling, Y. (2015). *Manual servo driver DS2000T*. Zehian: Wenling Yuhai.

ANEXOS